



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PARA SOLDADURA DE
DISPOSITIVOS SMD

AUTORA

Jennifer Guadalupe Muzo Guañuna

AÑO

2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PARA SOLDADURA DE DISPOSITIVOS
SMD

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los
requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniera
en Electrónica y Redes de la Información

Profesor Guía

MSc. Jorge Luis Rosero Beltrán

Autora

Jennifer Guadalupe Muzo Guañuna

Año

2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Implementación de un equipo para soldadura de dispositivos SMD, a través de reuniones periódicas con la estudiante Jennifer Guadalupe Muzo Guañuna, en el semestre 201920, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Jorge Luis Rosero Beltrán

Máster en Ciencias con Especialidad en Automatización

C.I. 180361018-5

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Implementación de un equipo para soldadura de dispositivos SMD, de la estudiante Jennifer Guadalupe Muzo Guañuna, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

David Fernando Pozo Espín

Máster Universitario en Automatización y Robótica

C.I. 171734014-3

DECLARACIÓN DE AUTORIA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

Jennifer Guadalupe Muzo Guañuna

CI.172277550-7

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de llegar a cumplir una meta más en mi vida.

A mis padre, padrinos, hermanos y primos por confiar en mi e inculcarme sus valores para ser una excelente profesional.

También agradezco a mis maestros por llenarme de sus conocimientos y poner la confianza en mí.

Y a mis amigos Roger Salazar, Adrián Áreas y Leidy Huera por el apoyo incondicional que me brindaron en el transcurso del desarrollo de mi proyecto de titulación.

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a mis Padres Oswaldo y Mercedes por la confianza ciega en mi carrera y apoyarme.

También, dedico este proyecto a mi padrino Nicolás, quien fue la persona que me apoyo de manera incondicional.

Y lo dedico a mi abuelita Rosa (+) por confiar siempre en mí y por ser un ejemplo de lucha y responsabilidad.

RESUMEN

En la actualidad la mayoría de los dispositivos usan tarjetas que contienen componentes de montaje superficial para poder reducir su tamaño, por ende, los más usados cuando se trata de trabajar con placas. Además, permite trabajar específicamente con la soldadura por reflujo, la misma que considera el hecho de que los componentes no pueden presentar cambios bruscos de temperatura para que los dispositivos puedan adherirse correctamente en la placa PCB, evitando de esta manera que se genere una cristalización o choque térmico en los componentes. En este proyecto de titulación, se diseña e implementa un prototipo que permitirá controlar la temperatura de tal forma que los componentes SMD puedan ser soldados a una tarjeta PCB siguiendo el perfil de rango correspondiente, con el fin de evitar cambios bruscos de su temperatura y sin generar daños a los componentes que van a ser utilizados al momento de ser soldados.

Entonces al desarrollar dicho sistema de control se disminuye el tiempo de soldadura, debido a que se pueden realizar varias soldaduras al mismo tiempo todos los componentes que se encuentren en la placa.

El proyecto consta de un área de calentamiento y uno de enfriamiento. En dónde, en un inicio el área de calentamiento trabaja a una potencia máxima debido a que la temperatura inicial es inferior a la esperada de la primera zona, al llegar a la temperatura deseada puede existir una ligera elevación de temperatura, la misma que debe ser evitada para lo cual se pone en funcionamiento el área de enfriamiento, permitiendo trabajar en conjunto con el área de calentamiento, con la finalidad de tener una temperatura controlada en cada una de las zonas de soldadura. Estos datos son capturados a través de un software, el cual nos mostrará el comportamiento que tiene la resistencia en el momento de su funcionamiento.

En conclusión, se obtiene que el prototipo realizado tiene un control de temperatura, para poder verificar que cada una de sus zonas esté respetando el perfil de temperatura correspondiente.

ABSTRACT

Nowadays, most devices use cards containing surface-mounted components to reduce their size, therefore, the most used when it comes to working with boards.

In addition, it allows to work specifically with reflow welding, which considers the fact that the components cannot present sudden changes in temperature so that the devices can adhere correctly to the PCB board, consequently, it will prevent the generation of a crystallization or thermal shock in the components used. In this titling project, the design and implementation of a prototype that will control the temperature in the system is contemplated. In such a way that the SMD components can be welded to a PCB board following the corresponding range profile in order to prevent abrupt changes in temperature and without causing damage to the components that are going to be used at the moment of being welded.

Then, when developing said control system, the welding time will be reduced, because several simultaneous welds of all the components that are on the board can be made.

The project consists of a heating system and a cooling system. Where, initially, the heating system works at a maximum power because the initial temperature is lower than that expected from the first zone, when reaching the desired temperature there may be a slight temperature rise which must be avoided for which the cooling system is put into operation, allowing to work together with the heating system in order to have a controlled temperature in each of the welding zones. These data are captured through a software which will show us the behavior of the resistance at the moment of its operation.

In conclusion, the realized prototype has a temperature control to be able to verify that each one of its zones is respecting the corresponding temperature profile.

ÍNDICE

1	Capítulo I. Introducción	1
1.1	Alcance	2
1.2	Justificación	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo General	2
1.3.2	Objetivos Específicos	2
2	Capítulo II. Marco Teórico	3
2.1	Componentes de montaje superficial	3
2.1.1	Tecnología de montaje superficial	4
2.2	Soldadura por reflujo	5
2.2.1	Zona de precalentamiento	6
2.2.2	Zona de saturación	6
2.2.3	Zona de reflujo	6
2.2.4	Zona de enfriamiento	7
2.3	Microcontrolador	8
2.4	AVR-STUDIO	9
2.5	Puente rectificador	10
2.6	Optoacoplador	10
2.7	Triacs	11
2.8	Termocupla	11
2.9	Módulo de alimentación	12
2.10	Control de temperatura	12

2.11	Fuente de calor.....	13
3	Capítulo III. Diseño e Implementación	14
3.1	Adquisición de datos.....	15
3.1.1	Monitoreo.....	15
3.1.2	Control	16
3.1.3	Interfaz.....	16
3.2	Diseño de hardware	16
3.2.1	Toma de datos.....	17
3.2.1.1	Arduino Mega.....	17
3.2.1.2	Termocupla Tipo K.....	18
3.2.1.3	MAX6675.....	19
3.2.2	Área de calentamiento	20
3.2.3	Área de enfriamiento	22
3.2.3.1	Ventilador y tubo flexible de aluminio.....	22
3.2.3.2	L298N y regulador 12V	22
3.2.4	Diseño de la planta.....	23
3.3	Diagramas utilizados para la creación de la planta.	24
3.3.1	Área de calentamiento	24
3.3.1.1	Detector de cruce por cero	24
3.3.1.2	Control de Potencia	25
3.3.2	Área de enfriamiento	26
3.3.3	Termocupla y MAX6675.....	27
3.4	Diagrama de los componentes en Proteus.....	28
3.5	Gráficas del comportamiento de la corriente alterna dentro de la planta	29

3.6	Control de fase directo	31
3.7	Diseño de software.....	31
3.7.1	Controlador PID.....	32
3.7.1.1	Proporcional.....	32
3.7.2	Integral.....	33
3.7.3	Derivativo.....	33
4	Capítulo IV. Pruebas y Resultados	34
4.1	Captura de datos.....	34
4.1.1	Detección de temperatura.....	34
4.1.2	Controlador PID.....	36
4.2	Pruebas de soldadura por reflujo	39
5	Conclusiones y Recomendaciones	45
5.1	Conclusiones.....	45
5.2	Recomendaciones.....	46
	Referencias	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para soldadura	8
Tabla 2. Controladores PID.....	13
Tabla 3. Especificaciones técnicas	18
Tabla 4. Características de una termocupla.....	19
Tabla 5. Características de MAX6675.....	20
Tabla 6. Conexión del optoacoplador	25
Tabla 7. Conexión Moc3021	25
Tabla 8. Conexión Triac	26
Tabla 9. Conexión L298n	27
Tabla 10. Conexión de la termocupla	28
Tabla 11. Datos de la fuente de calor tomados con la termocupla.	35
Tabla 12. Pruebas del proceso de soldadura.....	39
Tabla 13. Tiempos de los procesos de soldadura en 5 pruebas diferentes.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resistencia inserción y resistencia SMD	4
Figura 2. Perfil de Reflujo	5
Figura 3. Microcontrolador	9
Figura 4. Pantalla principal de Atmel Studio.....	9
Figura 5. Diagrama de conexión de un puente rectificador	10
Figura 6. Optoacoplador 4N35.....	10
Figura 7. Terminales de un Triac	11
Figura 8. Termocupla	11
Figura 9. Fuente de alimentación 12v 5A.....	12
Figura 10. Resistencia (Niquelina).....	13
Figura 11. Diagrama de interconexión.....	14
Figura 12. Diagrama con los componentes.....	15
Figura 13. Arduino Mega.....	17
Figura 14. Termocupla tipo K.....	18
Figura 15. MAX6675.....	19
Figura 16. Instalación de la resistencia y fusible térmico.....	21
Figura 17. Niquelina fijada a la estructura de madera.	21
Figura 18. Resistencia y Termocupla	21
Figura 19. Acoplamiento del ventilador con la resistencia.....	22
Figura 20. Conexión de los componentes de la área de enfriamiento.	23
Figura 21. Diagrama Cruce por cero	24
Figura 22. Diagrama control de Potencia	25
Figura 23. Componente L298N.....	26
Figura 24. Max6675.....	27

Figura 25. Diagrama de componentes conectados al Arduino Mega.....	28
Figura 26. Diseño de la placa PCB.....	29
Figura 27. Grafica de la corriente alterna	29
Figura 28. Gráfico del cruce por cero	30
Figura 29. Gráfico de la generación de pulsos.....	30
Figura 30. Gráfico del control de fase directo.....	31
Figura 31. Diagrama de bloques de un controlador PI	32
Figura 32. Gráfica de las acciones de un controlador PID	33
Figura 33. Placas PCB	34
Figura 34. Comportamiento de la Niquelina	35
Figura 35. Gráfica del control PID_Niquelina sobre la fuente de calor.....	36
Figura 36. Gráfica del comportamiento de los controladores PID.....	37
Figura 37. Gráfica de temperatura con los valores de PID calibrados.....	38
Figura 38. Placa PCB.....	40
Figura 39. Placa PCB y estaño en pasta Sn63PB37	40
Figura 40. Componente SMD a soldar	40
Figura 41. Placa PCB sobre el Equipo de soldadura.....	41
Figura 42. Placa mal soldada.....	41
Figura 43. Gráfica con el nuevo valor del Set_point2	42
Figura 44. Placas con sus componentes SMD soldadas de manera correcta.....	44

1 Capítulo I. Introducción

En 1996 con la idea de ensamblar componentes electrónicos en tarjetas PCB. A finales de 1970 sobresalió esta tecnología debido a que incremento la necesidad de tener circuitos con alta densidad. Esto genero un aumento en el costo, al realizar agujeros en la tarjeta PCB para colocar los componentes de inserción, logrando generar un mayor número de conductores es los circuitos (Ceron,1992).

Al ver los altos costos y gran tamaño de las placas PCB por sus componentes, surge La tecnología de montaje superficial por sus siglas en inglés SMT(*Surface Mount Technology*) la cual permite realizar montajes de mayor densidad y confianza con menor peso, volumen y costo. Al tener la posibilidad de soldar componentes en la superficie del sustrato, cambian los aspectos de la electrónica por ejemplo: diseño, material, montaje, proceso y soldadura de los componentes. Debido a la disminución de tamaño los componentes de SMT pueden llegar a ocupar la mitad o un tercio del espacio que ocupa un circuito impreso sobre una tarjeta electrónica. Otra de las ventajas de esta tecnología es que disminuye de manera significativa el tamaño de la tarjeta debido a que ya no se utiliza componentes de inserción, teniendo inductancia o capacitancia debido a la corta longitud de los pines (Salas, Pérez, & & Ramírez, 2017).

Para soldar estos componentes se tiene dos técnicas: soldadura por ola y soldadura por reflujo. La soldadura por ola, se utiliza para el desarrollo de circuitos impresos con componentes SMT. En este proceso, el PCB pasa sobre un flujo de lámina de soldadura líquida. Sin embargo, se debe tomar mucho en cuenta que el contacto de la soldadora puede causar un grave daño debido al choque térmico (Ceron,1992). En la soldadura por reflujo el PCB es calentado a una temperatura lo suficientemente alta para derretir la soldadura, para luego disminuir de manera controlada la temperatura de los componentes, siguiendo los perfiles de temperatura determinados (López, 2015). Sin embargo, cambios bruscos en el proceso de calentamiento pueden producir daños en el circuito impreso y en los elementos. Los cambios bruscos en el enfriamiento puede romper las uniones de soldadura (Aguayo, 2016).

Dentro de este proyecto se decide utilizar la soldadura por reflujo, debido a que los componentes son soldados en la placa de manera segura ante el cambio brusco de temperatura, ya que este cambio puede ser controlado.

1.1 Alcance

Implementación de un sistema de control de temperatura en un equipo, el cual proporcionara altas temperaturas en un tiempo establecido, con el fin de la disolución de la pasta de soldadura que se encuentra en el componente SMD. Cumpliendo con la función de soldar el componente en la placa electrónica, sin dañarlo.

1.2 Justificación

La Unidad de Innovación Tecnológica (UITEC) de la Universidad de las Américas, tiene la necesidad de implementar un equipo de soldadura, para realizar sueldas de montaje superficial de dispositivos electrónicos miniatura (SMD) en tarjetas electrónicas, facilitando al estudiante la soldadura de los componentes electrónicos en las tarjetas impresas, los cuales son utilizados para los proyectos educativos. Los estudiantes tienen otra optativa que es el envío de las placas con sus componentes a diferentes empresas donde les ayudan con la soldadura, pero los costos son muy elevados y los tiempos para su entrega son muy demorosos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de un equipo para soldadura de componentes electrónicos de montaje superficial, implementando un control digital de temperatura.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Implementar los componentes físicos del equipo de soldadura de acuerdo con un análisis de requerimientos.
- Implementar un control digital de temperatura.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo.

2 Capítulo II. Marco Teórico

2.1 Componentes de montaje superficial

Al evolucionar el mercado Tecnológico, se ve el consumo e inclinación a los dispositivos de menor tamaño y peso, por lo cual, la tecnología electrónica decide evolucionar a la mano del mercado para brindar portabilidad de los dispositivos, manteniendo la funcionalidad de un equipo de mayor tamaño o peso. Para desarrollar la evolución de los componentes electrónicos se decide suplantar la mayoría de los componentes electrónicos de inserción por los componentes electrónicos de montaje superficial, por sus siglas en inglés SMD (*Surface Mount Devices*).

En su mayoría los componentes SMD son utilizados dentro de los equipos industriales, ya que estos equipos anteriormente eran de gran tamaño y peso, ya que en su interior utilizaba componentes tradicionales con una automatización básica. Al ver estas falencias existentes en los equipos se tienden a cambiar los elementos tradicionales por los componentes SMD.

Los componentes SMD permite reducir tamaño y peso de los nuevos equipos como se muestra en la (Figura1), esto se debe a que los componentes pasaron a ser encapsulados en pequeñas pastillas en forma de: bloque, cilíndrica o plano y con mayor tecnología, lo cual permite que dichos componentes puedan ser automatizados con mayor facilidad, debido a su tamaño y composición, estos componentes deben ser soldados de manera cuidadosa y directa a la placa PCB.

La placa PCB contarán con pistas a las cuales deben ser añadidos los componentes, sin la necesidad de realizar agujeros en la placa para insertar los componentes tradicionales.

La ventaja principal de los componentes SMD es la reducción de tamaño, permitiendo que exista ahorro de espacio en la placa y que los dispositivos electrónicos que lleven la placa de manera interna sean más pequeños y menos robustos para uso del usuario, sin embargo, estos componentes están diseñados únicamente para la disipación de potencia de 1 o 2 W (Perez, 2017).

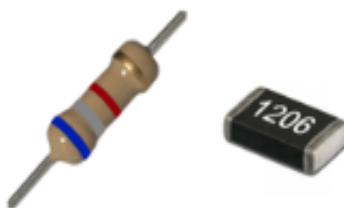


Figura 1. Resistencia inserción y resistencia SMD

Tomado de (Electronica, 2017)

2.1.1 Tecnología de montaje superficial

En el año de 1970, la tecnología para ensamblar los componentes por inserción eran a base de estaño y cautín, este tipo de soldadura genera varios problemas en los componentes ya que se formaban cristales en su soldadura, esto es causa de que la temperatura en la que se suelda los componentes a la placa son altas pero al quitar el circuito de la soldadura existe un cambio drástico de la temperatura, y este tipo de soldadura no puede ser utilizada en los componentes SMD debido a que pueda existir daños en los componentes o unión de pistas, debido a que no cuenta con los componentes de inserción.

Los componentes SMD ya no necesitan de ese tipo de soldadura y es por eso que se conoce la tecnología de montaje superficial para poder realizar la soldadura de los componentes de una rápida y segura sin que exista daño de los mismos, otro de los problemas se debe a que se desea colocar más componentes al mismo tiempo, reduciendo así el tiempo de demora para realizar la soldadura (Sánchez, 2010).

Los Componentes de montaje superficial dio paso a una nueva tecnología de ensamblaje aumentando el grado de automatización, con una mayor densidad de los circuitos mejor el desempeño y disminuyendo costo y tamaño de los dispositivos. Para ensamblar varios componentes a la vez a la placa PCB se la utilizara el proceso de Soldadura por reflujo (Marquez, 2000).

2.2 Soldadura por reflujo

La soldadura por reflujo, es un proceso utilizado para fijar los componentes electrónicos al circuito impreso(PCB). Antes de realizar el proceso de soldadura, se debe aplicar la pasta de soldadura sobre los pads de los componentes SMD, para luego ubicar a los componentes en la posición correcta. Para realizar la soldadura por reflujo es necesario calentar el circuito impreso a una temperatura superior al punto de fusión, para permitir que el estaño se fusione hasta llegar a una forma líquida para dar paso a la unión del estaño con el pad del PCB y los pines del componente (Whallev, 2017)(Lee,2017,p. 5).

Para lograr el control de calentamiento del circuito con sus componentes, se debe considerar varios parámetros que se encuentran especificados en la (figura2), la cual se utilizará como ejemplo para el perfil de temperatura que comúnmente es utilizado para la soldadura. El perfil de temperatura consta con cuatro zonas: precalentamiento, saturación, reflujo y enfriamiento.

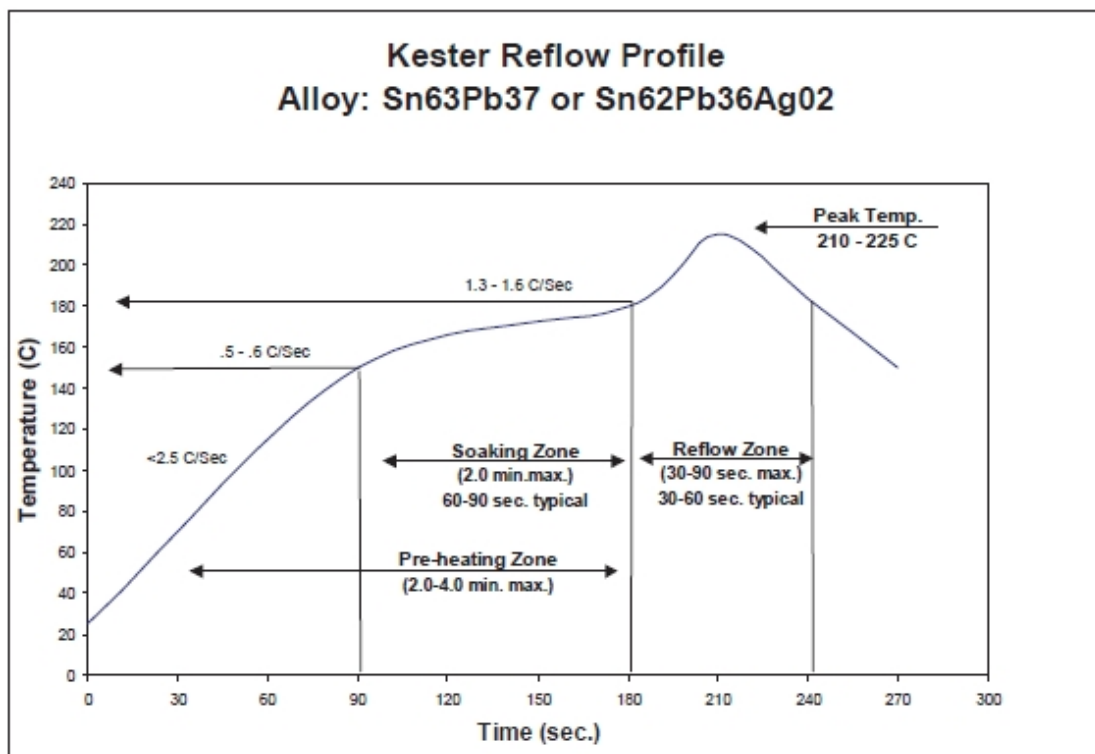


Figura 2. Perfil de Reflujo

Tomado de (Lee, 2017)

El perfil de la temperatura puede variar según el tipo de estaño que se va a ocupar para la soldadura de los componentes.

2.2.1 Zona de precalentamiento

Esta es la primera etapa del proceso de reflujo que tiene como objetivo principal llevar el área de ensamblaje a un ritmo controlado, seguro y constante a la temperatura de reflujo previo, esto permite desgasificar los solventes de la pasta de una manera adecuada para que el ensamblaje alcance de una manera segura las temperaturas, sin dañar los componentes que se encuentran sobre la placa (AG, 2018).

La elevación de la temperatura está en el rango 120°C y 150 °C, permitiendo la eliminación de la humedad y de los gases residuales de los componentes, esta transición de temperatura debe de ser suave ya que debe transcurrir entre 1 a 5 minutos, pero este parámetro puede cambiar dependiendo del número de componentes y el tamaño del PCB (AG, 2018).

2.2.2 Zona de saturación

Es la segunda etapa del proceso de reflujo que tiene como objetivo llevar a los circuitos a una temperatura uniforme antes de entrar a la zona de reflujo. En esta zona se activa el flux y los solventes del estaño (AG, 2018).

Para lograr la activación del flux, se debe considerar la composición de la pasta para esto existe varios rangos de temperatura para soldar: baja(150°C y 180°C), media(180°C y 220°C), alta en caso de que la aleación no tenga estaño(220°C y 250°C). Es necesario tener la información de la soldadura y estaño para tener la temperatura adecuada en la que se debe trabajar, pero también se debe tener en cuenta que la temperatura de la zona de saturación debe ser 10°C por debajo de la zona de reflujo (AG, 2018).

2.2.3 Zona de reflujo

Es la tercera etapa del proceso de reflujo que tiene como objetivo complementar el proceso de ensamblaje por reflujo. La temperatura de soldadura y de las superficies a soldar, deben estar por encima de la temperatura de saturación y

así la soldadura pueda fluir de una forma correcta para llegar a los lugares de soldadura del componente SMD.

Debido a las altas temperaturas, pueden existir daños en los componentes, pero a su vez esa temperatura es necesaria para lograr un ensamblaje adecuado, ya que la soldadura tiende a disolverse y se presenta en estado líquido, por lo que los componentes SMD se tienden a mover a la posición de soldadura, donde se forma una capa de aleación de estaño para formar una soldadura correcta.

El tiempo de demora debe ser entre 10 a 30 segundos, sin embargo, se debe tener en cuenta el tamaño de la tarjeta PCB y de la densidad del componente. Si el tamaño de la placa es grande se debe tener un periodo mayor de tiempo, pero si se trabaja en tarjetas PBC pequeñas su periodo de tiempo debe ser más corto, para así garantizar la calidad de la soldadura.

En esta etapa lo más conveniente es tener el tiempo más corto debido a posibles daños de los componentes SMD.

2.2.4 Zona de enfriamiento

En la última etapa del proceso de soldadura tiene como objetivo disminuir la temperatura de manera paulatina hasta llegar a la temperatura ambiente. En la zona de enfriamiento se debe tener en cuenta que el cambio brusco de la temperatura también puede dañar a los componentes, por eso se debe considerar que para el enfriamiento la temperatura debe disminuir casi de manera regular y así evitar que exista el choque térmico.

Nota: Los parámetros que se deben considerar para la curvatura de temperatura dependen mucho del tipo de soldadura que se va a utilizar, a continuación, se detallará en la (Tabla1.)

Tabla 1.

Parámetros para soldadura

Tipo de Soldadura	Proporción	Pre calentamiento	Saturación	Reflujo
Baja Temperatura con plomo	Sn43-Pb43- Bi14	100-120 °C	130-150 °C	200-210 °C
Baja Temperatura sin plomo	Sn42-Bi58	100-120 °C	120-130 °C	180-200 °C
Baja Temperatura sin plomo	Sn48-In52	100-120 °C	120-130 °C	180-200 °C
Temperatura media con plomo	Sn63-Pb37	130-150 °C	170-180 °C	230-240 °C
Temperatura media con plomo	Sn60-Pb40	130-150 °C	170-180 °C	230-240 °C
Temperatura media con plomo	Sn62-Pb46- Ag2	130-150 °C	170-180 °C	230-240 °C
Temperatura media sin plomo	Sn96.5 - Ag3.5	130-150°C	180-190 °C	240-250 °C
Temperatura media sin plomo	Sn87 -Ag3 - Cu3 - In7	130-150 °C	180-190 °C	240-250 °C
Temperatura media sin plomo	Sn91 -Zn9	130-150 °C	180-190 °C	240-250 °C
Temperatura media sin plomo	Sn95.4 - Ag3. 1 - Cn1.5	130-150 °C	180-190 °C	250-260 °C
Temperatura media sin plomo	Sn99.3 - Cu0.7	130-150 °C	180-190 °C	270-280 °C
Temperatura alta sin plomo	Sn94 -Ag3 - Cu3	130-150 °C	190-220 °C	240-250 °C
Temperatura alta sin plomo	Sn97 -Cu3	130-150 °C	190-220 °C	270-280 °C
Temperatura alta sin plomo	Sn95 -Sd5	130-150 °C	190-220 °C	270-280 °C

Tomado de (Agelectronica,2013)

2.3 Microcontrolador

Es un circuito integrado que en su interior tiene una unidad central de procesamiento (CPU), la cual puede ser programada con órdenes que se almacenan en la memoria, las ordenes que son dadas al microcontrolador se

pueden dar por diferentes softwares, que sean compatibles. Dentro del proyecto se utilizó un software libre llamado Atmel Studio, este software es utilizado para la programación del controlador de temperatura, el cual tiene de manera interna un controlador PID (Usategui, Yesa & M., 2006).

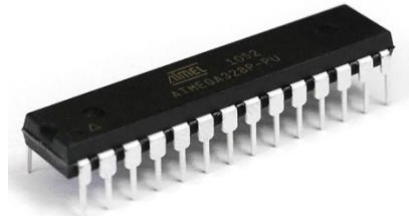


Figura 3. Microcontrolador

Tomado de (Oxdea, 2017)

2.4 AVR-STUDIO

AVR es el entorno en el que se desarrolla la programación del controlador de temperatura, el programa realizado en este software es reenviado al microcontrolador. Su programación puede ser en Lenguaje C/C++ o con código de ensamblaje.

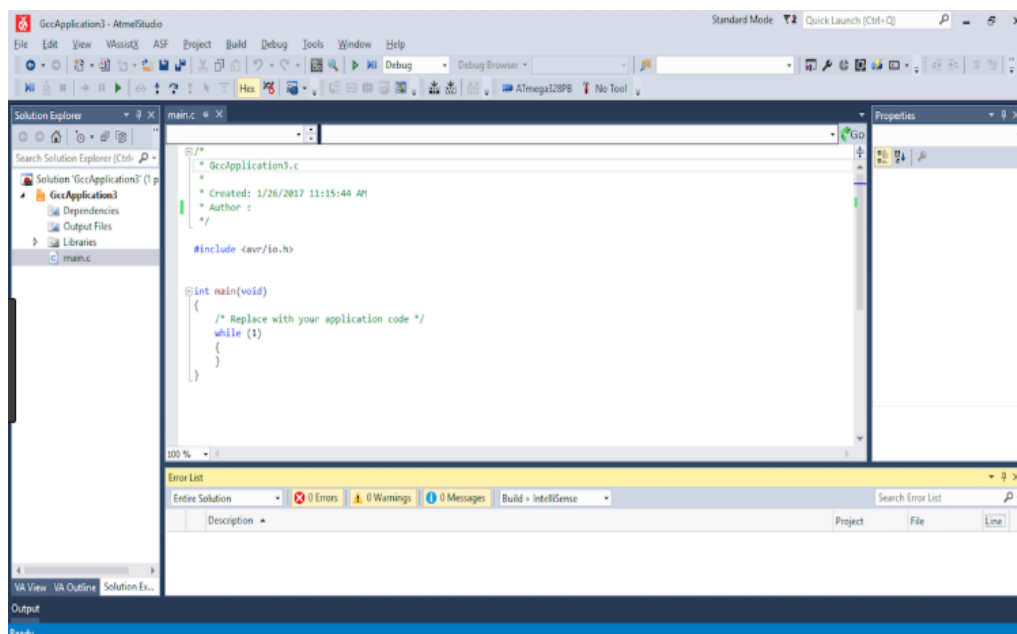


Figura 4. Pantalla principal de Atmel Studio

El lenguaje que se utiliza dentro del proyecto es lenguaje C, el cual fue aprendido en el transcurso de la carrera, estas órdenes son transferidas a través del puerto USB.

2.5 Puente rectificador

Es un circuito formado por 4 diodos, que aprovecha los dos hemisiclos de la corriente alterna (AC), donde se obtiene una corriente directa con un nivel de intensidad superior y una tensión menor al aplica una carga al otro extremo del sistema.

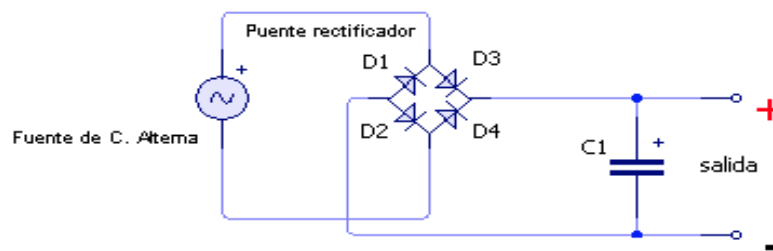


Figura 5. Diagrama de conexión de un puente rectificador

Tomado de (Electronica, 2017)

El puente de diodos es utilizado en el proyecto, para que la corriente alterna(AC) que ingresa de como salida una corriente continua(DC), la cual es utilizada por los demás componentes que estan dentro del proyecto.

2.6 Optoacoplador

Es un circuito que está compuesto por diodos LED y un fototransistor, que es utilizado para la protección de los picos de la tensión. Los picos de tensión son provocados por la corriente alterna que ingresa al proyecto (Enriquez, 2019).

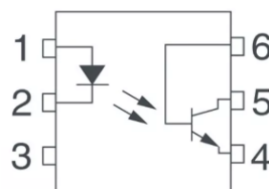


Figura 6. Optoacoplador 4N35

Tomado de (Electronica, 2017)

2.7 Triacs

Es un componente electrónico utilizado para el control de la corriente alterna, ya que realiza la función de interruptor de un transistor. El triac cuenta con 3 terminales: 2 ánodos y un Gate.

En los terminales ánodos se colocan la corriente alterna y el elemento que se desea controlar y por último el terminal Gate actúa como un interruptor, que para ser activado la corriente debe sobre pasar a la corriente umbral (Frank, 2019).

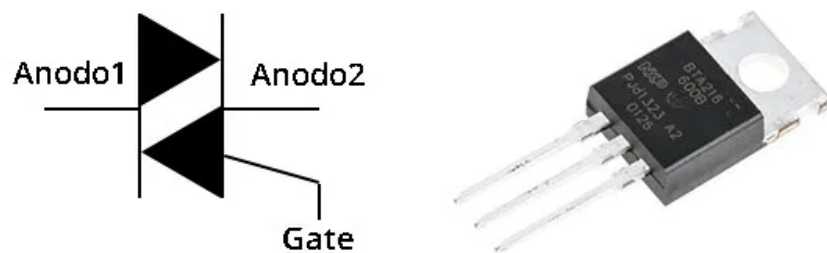


Figura 7. Terminales de un Triac

Tomado de (Electronica, 2017)

El Triac que se ocupó dentro del proyecto, es BTA41-500B, debido a que la planta trabaja con un voltaje de 30 A y con 110v, por ende, se decide escoger este componente ya que trabaja con una corriente de 40 A y un voltaje de 600v.

2.8 Termocupla



Figura 8. Termocupla

Es el sensor de temperatura más utilizado en la industria. La termocupla está formada por dos alambres de distinto material que al aplicar una temperatura en la unión genera un voltaje(mv) (Figura8), para después tomarlo como un valor de temperatura. Existen varias características que se deben considerar para seleccionar el tipo de termocupla correcta (Arian, 2018).

2.9 Módulo de alimentación

Es fuente se alimenta de 110V la cual está encargado de suministrar la energía a toda la planta, pero dentro de la planta existen componentes que necesitan de menos voltaje, por ende, posee conectores de 12- 5v como se ve en la Figura9



Figura 9. Fuente de alimentación 12v 5A.




2.10 Control de temperatura

Es un elemento que ayuda a mantener de una forma estable la temperatura que se desee controlar, con una mínima variación evitando así daños a los componentes, debido a la existencia de muchas variaciones de potencia dentro de otros dispositivos como: hornos, niquelinas, duchas, ventiladores, etc.

En la Tabla2 se detallará algunos de los controladores que son utilizados por los diferentes dispositivos electrónicos antes mencionados, estos controladores existen dentro del mercado ecuatoriano y son de acceso fácil para ser comprados.

Tabla 2.

Controladores PID

Controlador	Imagen	Tipo de entrada	Modo de control	Alimentación
Berme REX-C100		termocupla J-K-S-E(0-400 °C)	on-off, Fuzzy PID	110-220v
Termostato PID Maxwell		termocupla J-K	on-off, PID	90-260v
Controlador PID Tc4s-14r Autonic		Termocupla J,K, RTD PT100	on-off, PID	110-220v
Emko Hornos		termocupla tipo J(800 °C)	on-off, PID	115v
PID Relay Y Ssr		termocupla J-K	on-off, Proporcional, PID Fuzzy	110-220 V

Estos controladores de temperatura no son usados en el proyecto, debido a sus elevados costos y por tener un Set_Point establecido desde fabrica, lo cual no permite que el controlador trabaje a diferentes zonas respetando los parámetros que se encuentran establecidos en el perfil de temperatura, para lograr la soldadura de los componentes.

2.11 Fuente de calor

Como fuente de generación de calor dentro del proyecto se utiliza una niquelina (Figura10), para aumentar la temperatura de la placa y así lograr que sus componentes se suelden. Para lograr esta soldadura, a la niquelina se le controlara la potencia con la que trabajara en cada zona de soldadura.



Figura 10. Resistencia (Niquelina)

3 Capítulo III. Diseño e Implementación

En el presente capítulo se detallará el diseño del equipo de soldadura para dispositivos SMD. Además, se describirá los materiales y software utilizados para el diseño de hardware y software.

En el diseño del equipo de soldadura se utilizarán los siguientes componentes, se implementó una termocupla que indicará la temperatura que tiene la niquelina, de esta manera se podrá controlar la potencia en la que deberá trabajar la niquelina la cual proporciona el calor dentro de la estructura, logrando que los componentes SMD se ensamblen en la placa PCB.

Para evitar el daño de los componentes se utiliza un ventilador de 12v permitiendo mantener la temperatura adecuada dentro de la estructura. Además, se utilizó el software de Atmel Studio con un lenguaje C, el cual nos permite programar el sensor para poder controlar la potencia de la planta de energía que obtendrá la Niquelina. También se utilizará este método para controlar la zona de enfriamiento de los componentes, evitando así que se produzca un shock térmico de la soldadura al tener un cambio brusco de la temperatura. A continuación, se detallará cada uno de los componentes electrónicos utilizados en el diseño y la manera en la cual fueron aplicados.

En la Figura 11, se muestra el diagrama de bloques donde se da a conocer la interconexión de los diferentes componentes.

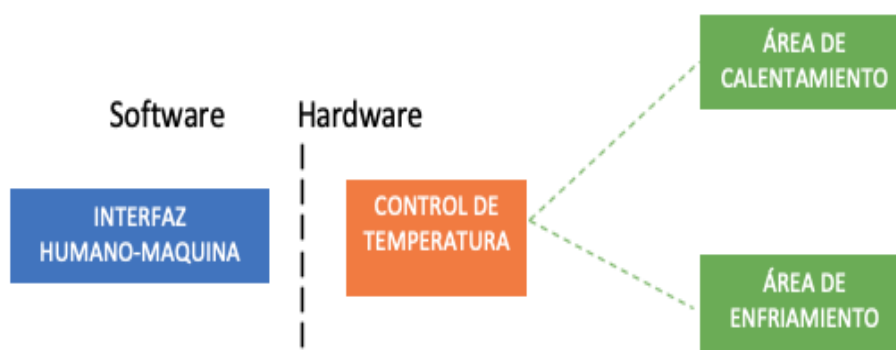


Figura 11. Diagrama de interconexión

Al tener en claro la interconexión de los componentes de este prototipo, se procede a dividir el diseño en segmentos donde se define su funcionamiento de ejecución al implementar en el prototipo. Para este proyecto se procede a dividir en 4 zonas para el desarrollo del control de temperatura.

A continuación, se presenta el diagrama (Figura 12), con los componentes a utilizar en el proyecto

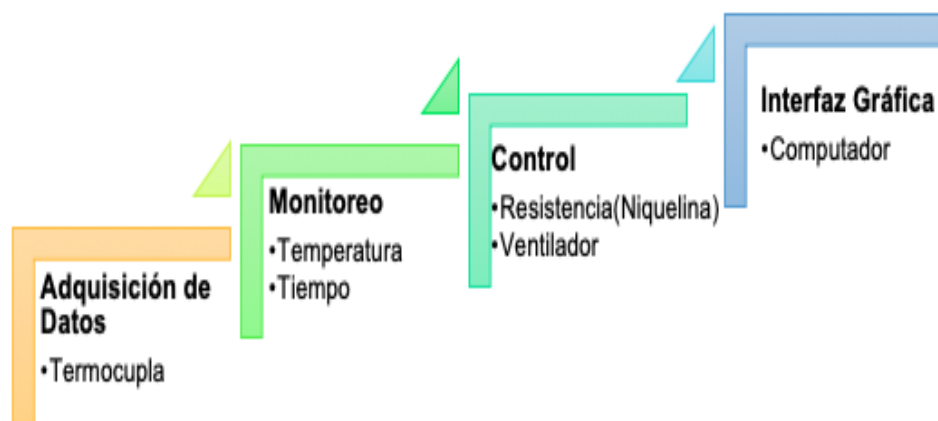


Figura 12. Diagrama con los componentes.

3.1 Adquisición de datos

Se realiza la obtención de los datos físicos de la temperatura que emite la niquelina al encenderse, hasta llegar a la temperatura de ajuste (Set_Point) del sistema de control.

Para lograr que el estaño pase a estado líquido se crea un segundo Set_Point2, logrando así la soldadura de los componentes SMD a la placa PCB.

3.1.1 Monitoreo

Los parámetros que se obtendrá al monitorear la termocupla, es temperatura con respecto al tiempo, este monitoreo se dará de manera continua, con el fin de mantener una temperatura adecuada con respecto al perfil de reflujo. El perfil de reflujo depende mucho del tipo de estaño líquido que se va a utilizar para la soldadura.

3.1.2 Control

En esta etapa los dispositivos que generan calor(resistencia) y frio (Ventilador) se accionan de manera automática ya que permiten la estabilización de la temperatura. La resistencia producirá calor hasta llegar a los Set_Point establecidos, al tener la presencia de una temperatura mayor al ajuste se empieza a encender el ventilador con la velocidad que sea necesaria, para lograr que se establezca la temperatura de una manera casi constante para respetar el perfil de reflujo.

3.1.3 Interfaz

Para que el usuario tenga un conocimiento del comportamiento de la planta, es necesario desarrollar la interfaz gráfica en un computador desde el entorno de AVR-Studio, lo que facilitara la visualización del comportamiento de la temperatura en cada una de las zonas que tiene en perfil de reflujo.

3.2 Diseño de hardware

Para el diseño del controlador y de la estructura se utiliza varios elementos. A continuación, se detallará:

Toma de datos:

- Arduino Mega
- Termocupla Tipo k
- Max6675

Área de Calentamiento:

- Niquelina

Área de Enfriamiento:

- Ventilador
- Fuente switching
- L298N
- Tubo flexible de aluminio

Planta:

- Puente de diodos
- Resistencias (22koh,330oh, entre otras)
- 4N35
- moc3021
- Triac (BTA41-500B)

Una vez detallado los elementos que se van a utilizar para realizar el proyecto se procede a conectar cada uno de los materiales al Arduino Mega, con el fin de cumplir el objetivo del proyecto que es la soldadura de los componentes SMD a la placa PCB.

3.2.1 Toma de datos

3.2.1.1 Arduino Mega

Es una placa electrónica programable que está basada en el microcontrolador ATmega2560(Figura13), se particulariza por tener 70 pines, los cuales se dividen en 54 pines de entrada-salida digital y 16 pines de entrada análogas. También en el Arduino se tiene una conexión USB, el cual es utilizado para tener una comunicación serial con el computador, permitiendo así que los datos dados por este puerto puedan ser mostrados en una interfaz gráfica que se encuentra dentro del entorno de AVR-Studio. El arduino es muy sencillo de utilizar.

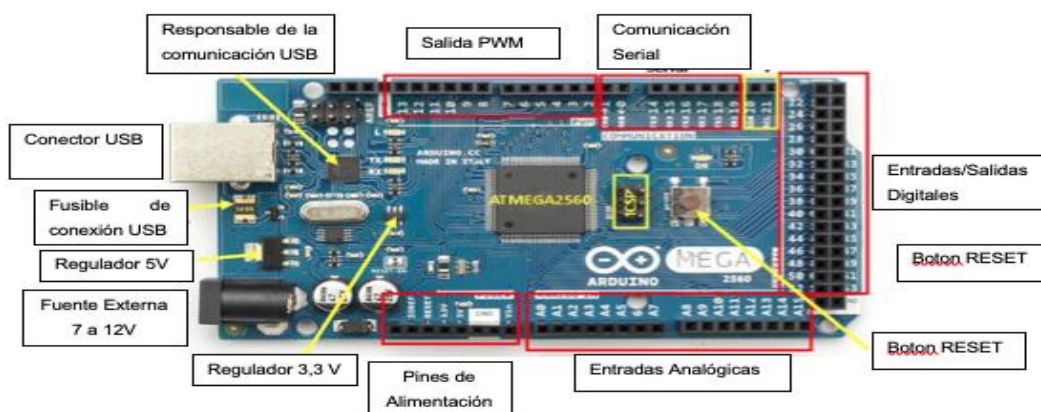


Figura 13. Arduino Mega

Tomado de (Electronica, 2017)

En el proyecto se consideró el Arduino Mega porque cumple con los requerimientos necesarios. A continuación, en la Tabla3, se detallará las especificaciones técnicas.

Tabla 3.

Especificaciones técnicas

Datos Técnicos	Valores
Voltaje de funcionamiento	5v
Amperaje	50mA
Memoria SRAM	8 KB
Memoria EEPROM	4KB
Memoria Flash	256 KB
Velocidad del reloj	16MHz
In-Out digitales	54
In-Out análogas	16
Amperaje In-Out	20 mA

3.2.1.2 Termocupla Tipo K

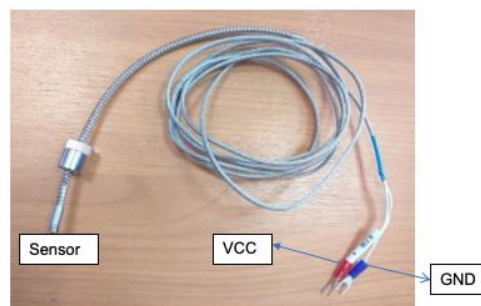


Figura 14. Termocupla tipo K

Es un sensor digital que tiene como objetivo conocer la temperatura en la que se encuentra el ambiente, esta termocupla cuenta con dos cables que van conectados Vcc y Gnd respectivamente, como se muestra en la Figura14.

La termocupla seleccionada para el proyecto es de tipo k, debido a que cumple con los parámetros técnicos necesarios, los cuales que se detallan en la tabla 4.

Tabla 4.

Características de una termocupla.

Medidas	Tipo k
Sensibilidad	3,6 mV/100 °C
Rango de Temperatura	(-40) a 1200
Tiempo de Respuesta	0,22

La selección de esta termocupla se da al cumplir con un parámetro esencial que es soportar una temperatura mayor a 300 °C sin que exista daño en el sensor, ya que es la temperatura máxima a la que se sueldan los componentes a la tarjeta PCB.

3.2.1.3 MAX6675

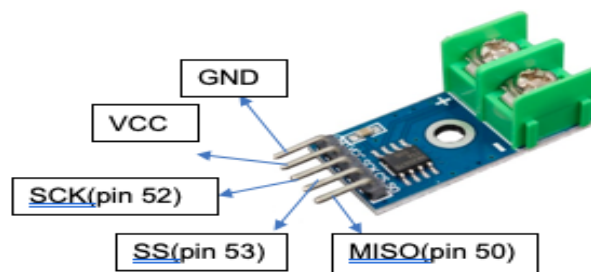


Figura 15. MAX6675

En un conversor Análogo-Digital que es utilizado específicamente para la termocupla tipo K, lo cual facilita la conexión con el microcontrolador por medio de una comunicación SPI. Dentro del circuito se encuentra lo necesario para amplificar, compensar y convertir los valores analógicos que nos da la termocupla a valores digitales. A continuación, se muestran en la tabla 5 los parámetros del módulo.

Tabla 5.

Características de MAX6675

Medidas	Driver max6675
Voltaje de funcionamiento	3.3 a 5v
Corriente	1.5 mA
Rango de Temperatura	0-800 °C
Tiempo de Captura	0,17
Resolución	12 bits
Comunicación	SPI

3.2.2 Área de calentamiento

En este sistema se utiliza una resistencia (Figura16) que trabaja con un fusible térmico, el cual permite que llegue a una temperatura máxima de 320 grados centígrados. Se utiliza esta resistencia debido a la facilidad de implementación en el proyecto.

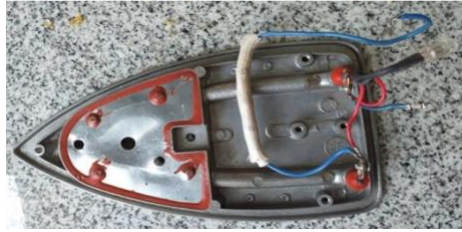


Figura 16. Instalación de la resistencia y fusible térmico.

Al tener en claro, de lo que se va a utilizar de la niquelina se realiza una caja de madera, donde se coloca la resistencia para tener la firmeza y así evitar quemaduras al encontrarse fuera de una protección. El diseño de la protección realizada se muestra en la Figura17, aprovechando la niquelina de mejor manera y a su vez evitando que los bordes topen la madera, donde se esquivo provocar que la madera se queme por la intensidad de calor que emite la resistencia al estar encendida.



Figura 17. Niquelina fijada a la estructura de madera.

Para obtener los datos de la temperatura con respecto al tiempo que es emitida por la Resistencia (Niquelina), se procede a colocar la termocupla una parte específica de la resistencia con el fin de obtener la temperatura correcta.

A continuación, en la Figura18 se muestra cómo se adapta la resistencia para la colocación de la termocupla.



Figura 18. Resistencia y Termocupla

3.2.3 Área de enfriamiento

3.2.3.1 Ventilador y tubo flexible de aluminio

Dispositivo encargado para inyectar aire en el proyecto, trabaja a 12V con 1.5 A cuenta con 2 aspas con el fin de que el aire que ingrese sea potente, debido a que el aire se distribuirá por una tubería flexible de aluminio para evitar el contacto directo con la resistencia ya que la temperatura a la que llegara será muy elevada y lo cual puede provocar daño al ventilador. A continuación, en la Figura19 se muestra cómo se realizó la unión del ventilador con la resistencia.



Figura 19. Acoplamiento del ventilador con la resistencia.

3.2.3.2 L298N y regulador 12V

El L298N permitirá controlar el ventilador el cual trabaja a 12V y 1.5A, ya que este cuenta con un regulador de tensión que tiene como un valor máximo de 36v, el voltaje que se entrega al módulo será tomado desde el regulador debido a que en regulador entrara un voltaje de 110V y me devuelve un voltaje de 12V, este valor es el que soporta el módulo L298N.

En la figura 20 se muestra la forma en la que está conectado los componentes para lograr controlar el ventilador, con el objetivo de cumplir funcionalidad del área de enfriamiento.

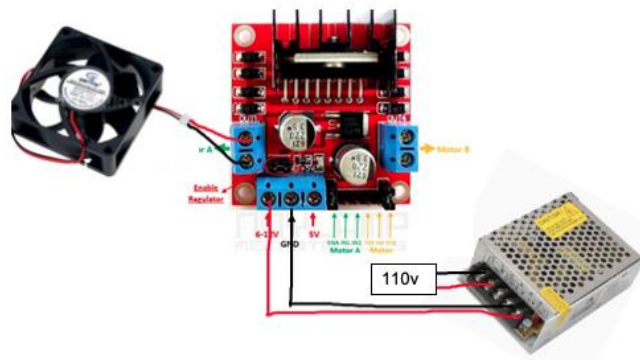


Figura 20. Conexión de los componentes de la área de enfriamiento.

Una vez realizada las conexiones de los componentes se procede a conectar al Arduino, desde el cual se enviará pulsos para regular la tensión del ventilador, estos pulsos se enviarán desde la planta por el control PID del ventilador.

3.2.4 Diseño de la planta

La planta esta creada por un circuito de cruce por cero y por un circuito controlador de potencia, estos permiten que la corriente alterna pueda trabajar sobre componentes eléctricos de baja potencia y sin tener el temor que exista un daño a los componentes. A continuación, se describirá el funcionamiento de la planta.

El circuito de detector de cruce por cero (figura 21) permite la transmisión de señales digitales en un circuito de corriente alterna. En el proyecto que se está elaborando tiene como alimentación el voltaje que es proporcionado por la Empresa Eléctrica Quito(110v), el cual pasa por el rectificador para dividir en dos derivaciones, la primera derivación pasa por el cruce por cero que está formado por un puente de diodos, el cual entrega una señal al microcontrolador para lograr el retardo de los disparos del Triac. La segunda derivada alimenta a la niquelina con la potencia que esta requiere para lograr su funcionamiento correcto, bajo los parámetros que se han establecido para lograr la soldadura de los componentes SMD en la placa PCB.

El optoacoplador(4n35) se encarga de censar la señal que se proporcionara al microcontrolador de una manera indirecta, lo cual la señal que nos proporciona el 4N35 se envía al TRIAC para impedir que exista algún daño permanente, para

esto brinda una protección a las tarjetas de control, microcontrolador (Atmega2560) o a su programa.

En el proyecto se utiliza diferentes voltajes para cada una de sus etapas, como por ejemplo la señal TTL utiliza 0v (0 lógico) y 5V (1 lógico), también para la activación de los módulos se utiliza un voltaje de 3-5v y por último se utiliza una corriente continua de 110V la cual esta rectificada pero no filtrada con el fin de ser conducida por medio del TRIAC hasta llegar a la resistencia (Niquelina).

El Triac(BTA41-500) se encuentra conectado a un optoacoplador(moc3021) el cual actúa como un interruptor para brindar seguridad a los componentes en caso de la existencia de algún daño, ya que este optoacoplador toma los picos que son entregados del Triac para enviarlos uno a uno al controlador PID, el cual es el encargado de realizar el control de la temperatura con el fin de mantener estable la temperatura que se entregada por parte de la niquelina a la placa PCB y así lograr la soldadura de los componentes SMD.

3.3 Diagramas utilizados para la creación de la planta.

3.3.1 Área de calentamiento

3.3.1.1 Detector de cruce por cero

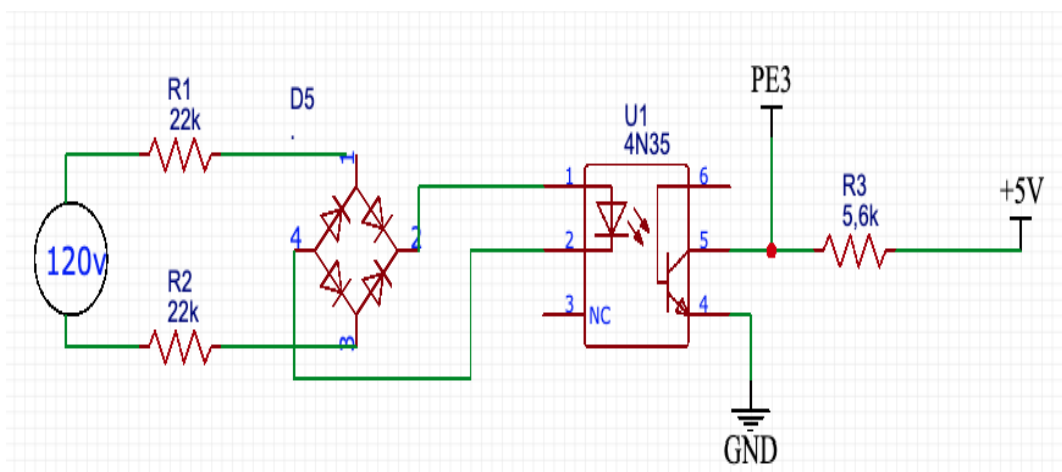


Figura 21. Diagrama Cruce por cero

A continuación, se detallara la conexión utilizada para el optoacoplador (Tabla 6) con el fin evitar una mala conexión y posible daño del componente.

Tabla 6.

Conexión del optoacoplador

4n35	Conexión
Pin 1-2	Salidas del puente rectificador
Pin 4	GND
Pin 5	Resistencia R3 y PE3

3.3.1.2 Control de Potencia

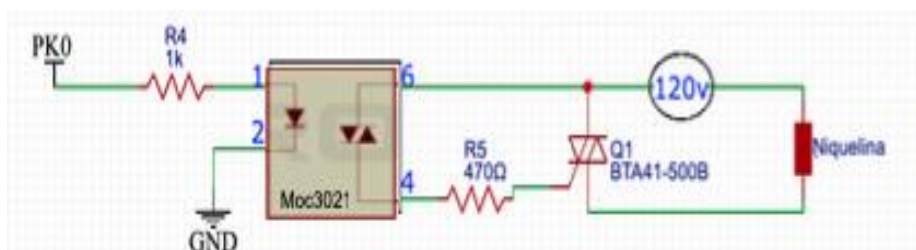


Figura 22. Diagrama control de Potencia

A continuación, en las tablas 7-8 se especificará la conexión correcta de los componentes que se encuentran en este diagrama con el fin de evitar posible daño. Para esto también se encuentra conectado al arduino, lo cual permite que el controlador PID_Niquelina pueda controlar la potencia con la se trabajara la niquelina para respetar las zonas del perfil de reflujo.

Tabla 7.

Conexión Moc3021

Moc3021	Conexión
Pin 1	Resistencia R4, PK0
Pin 2	GND
Pin 4	Resistencia R5, G del Triac

Pin 6	A2 del Triac
-------	--------------

Tabla 8.

Conexión Triac

Triac(BTA41-500B)	Conexión
A2	Un extremo 1 de 120v
A1	Un extremo2 de la Niquelina
Extremo 2 de 120v y extremo 1 de la Niquelina	Conectadas entre si

3.3.2 Área de enfriamiento

El componente L298N se encuentra conectado al arduino, lo cual permite que el controlador PID_Ventilador pueda controlar la potencia con la que el ventilador se ejecutara.

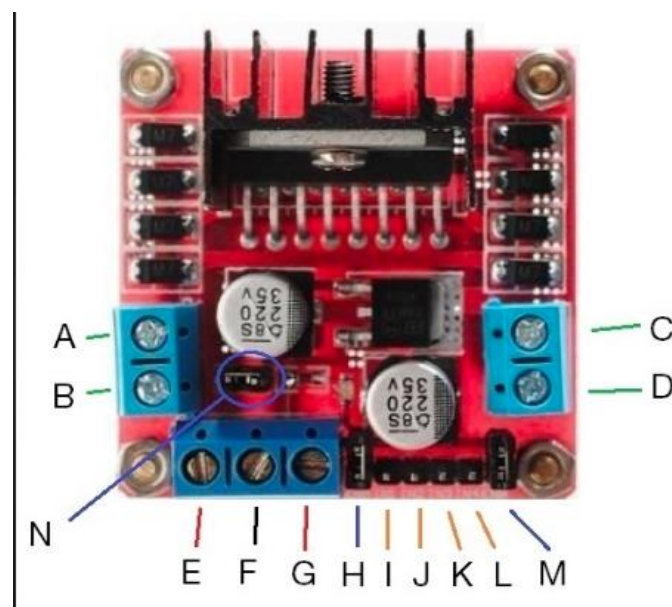


Figura 23. Componente L298N

Tomado de (Stepper Motor,2016)

En esta área el componente L298N y el ventilador se encuentra conectado de la manera como se especificará en la Tabla9.

Tabla 9.

Conexión L298n

L298N	Conexión
A-B	ventilador
E	+12v
F	-12 v
F-J	GND
I	5V
H	PH6

3.3.3 Termocupa y MAX6675

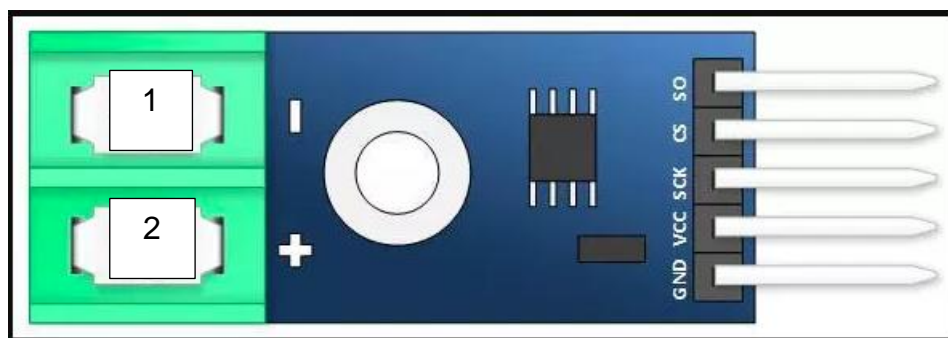


Figura 24. Max6675

Tomado de (Henry's Bench,2015)

A continuación, en la Tabla10 se especificará la conexión que tiene la termocupa y el componente MAX6675 con el microcontrolador, esto permite obtener los datos correctos de la temperatura que es emitida por la niquelina, con el fin de lograr que la planta trabaje bajo los parámetros del perfil de reflujo.

Tabla 10.

Conexión de la termocupla

MAX6675	Conexión
1-2	Termocupla
GND	GND
VCC	5V
SCK	PB1
CS	PB0
SO	PB3

3.4 Diagrama de los componentes en Proteus.

Una vez seleccionada los componentes a utilizar y conocida las conexiones que se utilizara entre ellos o a su vez al microcontrolador Atmega2560, se procede a realizar el diagrama de conexión para luego realizar el diseño de la placa que se utilizara en el proyecto. A continuación, en la Figura25 se muestra el diagrama de la planta con cada uno de los componentes que están sobrepuestos en la interfaz del Arduino Mega ya que la placa realizada tendrá el diseño para ser insertado de manera directa al Arduino.

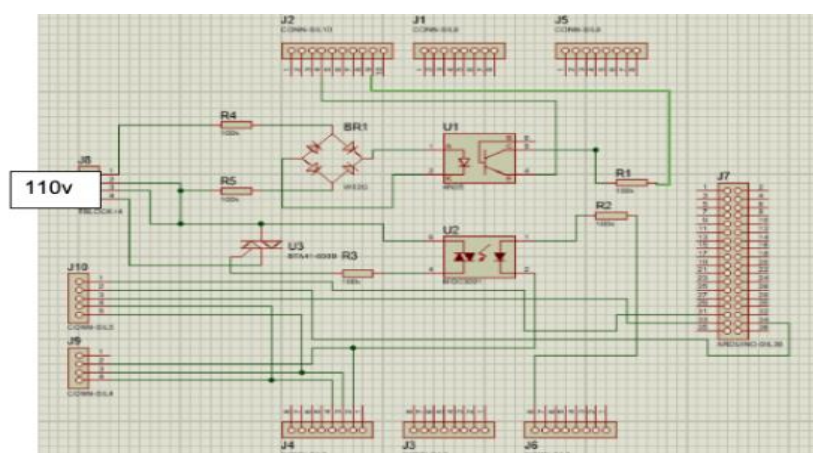


Figura 25. Diagrama de componentes conectados al Arduino Mega.

Una vez teniendo en claro el diagrama de conexión se realiza el diseño de la placa como se muestra en la Figura 26, este diagrama es diseñado con el objetivo de tener fijado a cada uno de los componentes sin ser desconectados en el caso de que exista el transporte del equipo para evitar problemas de desconexión de cables y su posible falla en el funcionamiento.

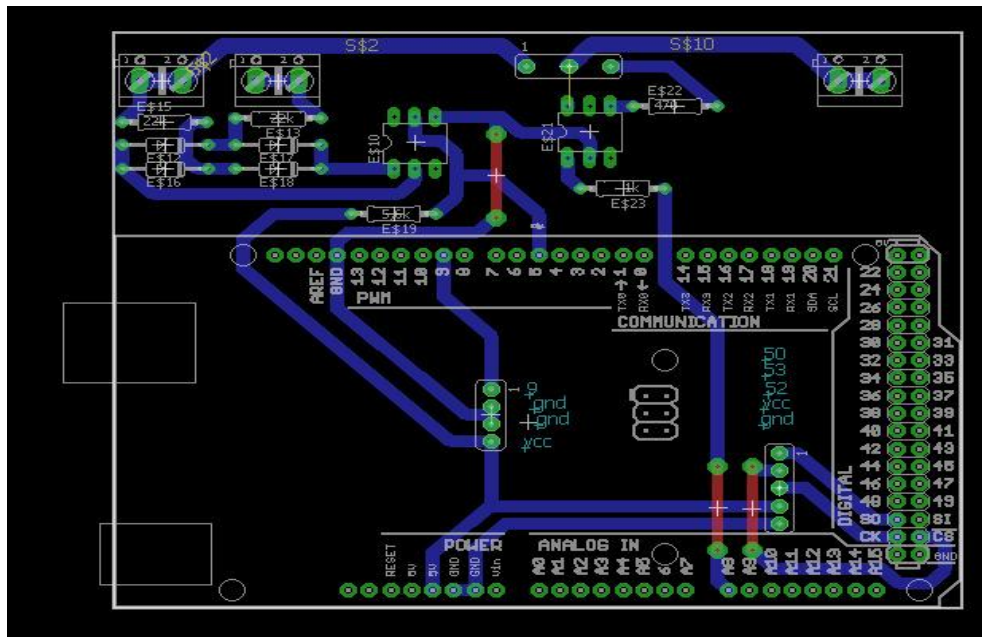


Figura 26. Diseño de la placa PCB

3.5 Gráficas del comportamiento de la corriente alterna dentro de la planta

La empresa eléctrica nos brinda una curva senoidal, como se muestra en a Figura 27, la cual ingresa al circuito de cruce por cero y para brindar corriente a la niquelina.

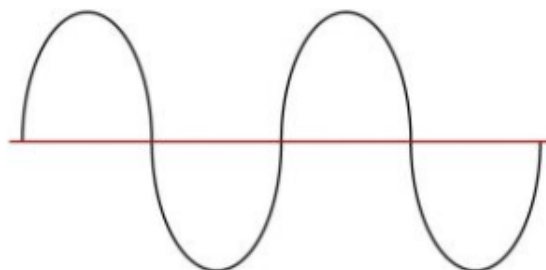


Figura 27. Grafica de la corriente alterna

La corriente alterna al pasar por cruce por cero se obtiene la Figura28, el cual ayuda activar al Triac en un tiempo determinado y no causar daños en los circuitos.

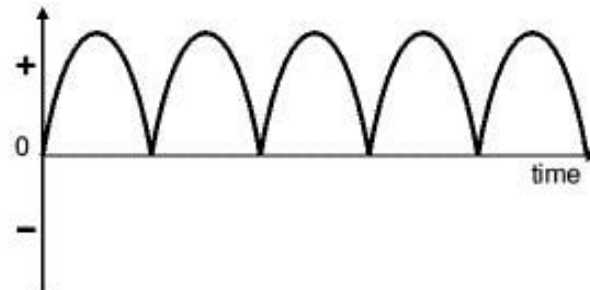


Figura 28. Gráfico del cruce por cero

Tomado (Ogata, 2010)

El microcontrolador toma los pulsos que son generados por el cruce por cero, esto sucede cuando la tensión de la entrada llega a ser 0 voltios, como se muestra en la Figura29.

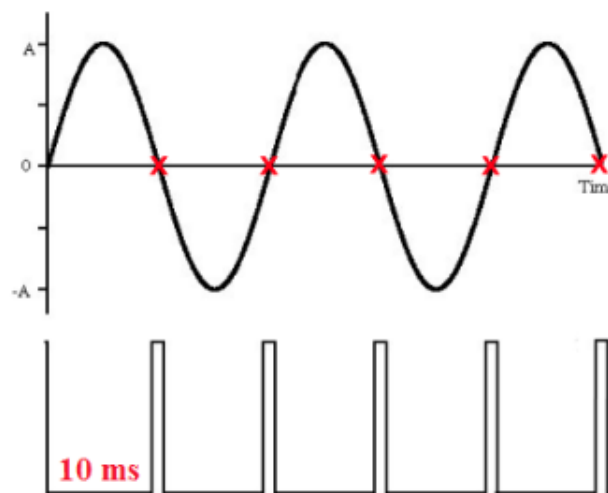


Figura 29. Gráfico de la generación de pulsos.

Tomado (Ogata, 2010)

La tensión que existe entre la fase y la tensión del optoacoplador(moc3021) es la encargada de suministrar la corriente al Triac, los pulsos disparados permiten conducir un parte del voltaje a la resistencia(Figura30), esto permite que se envíe

la potencia necesaria a la niquelina, con el fin de brindar seguridad a todos los componentes que se encuentran en la conexión de la planta y obtener así una temperatura adecuada para cumplir con los parámetros del perfil de temperatura para la soldadura de los componentes.

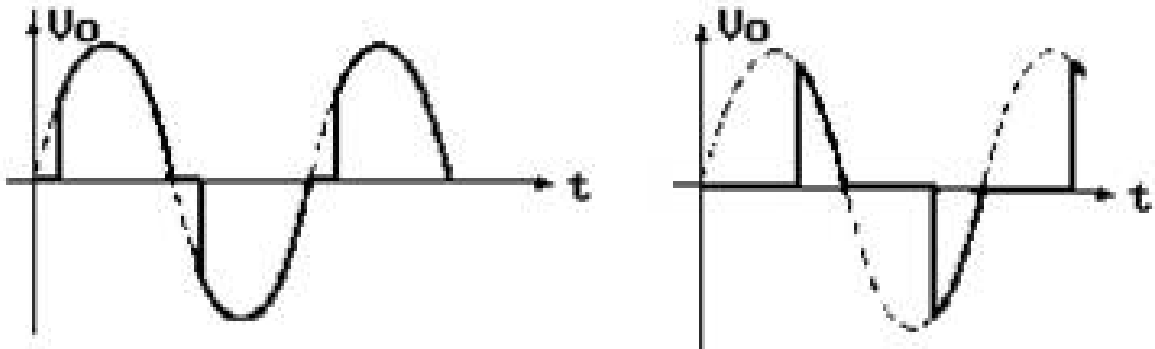


Figura 30. Gráfico del control de fase directo

Tomado (Ogata, 2010)

3.6 Control de fase directo

Es uno de los métodos más utilizados, debido a que permite variar el valor eficaz de una tensión alterna por medio del control por ángulo de fase, el cual entrega un semiciclo de la red para accionar el interruptor en un determinado ángulo, haciendo que la carga esté conectada a la entrada por un intervalo de tiempo menor a la de un semiciclo.

Una vez teniendo en claro el concepto de control por fase directo se decide trabajar en el proyecto con un Triac, el cual permite que el flujo de potencia que se dirige hacia la carga sea controlado, al variar el ángulo de disparo que puede ser entre 0° y 180° . (AcademiaEduca, 2016)

3.7 Diseño de software

En esta sección se realizará el diseño del controlador PID, el cual permite controlar la temperatura de una manera correcta bajo los parámetros establecidos dentro de cada zona de soldadura.

3.7.1 Controlador PID

Es un controlador que esta realimentado por la fuente que tiene como propósito que el error en estado estacionario, la señal de referencia $e(t)$ y la señal de Salida de la planta $y(t)$ (Figura26.) sean cero de manera prolongada con respecto al tiempo, esto se logra con el uso de la acción integral. Además, se puede decir que el controlador tiene la capacidad de anticipar lo que va a pasar con ayuda de la acción derivativa, la cual tiene un efecto predictivo sobre el valor de la salida del proceso (Vallejos, 2013)

Este controlador es el más utilizado dentro de la industria, electrónica, etc. Ya que permite controlar los procesos que se van a realizar, el algoritmo que utiliza el controlador PID está basado en tres acciones: Proporcional (P), Integral (I) y Derivativo (D), como se muestra en la (Figura31) (AcademiaEduca, 2016)



Figura 31. Diagrama de bloques de un controlador PI

Tomado de (Ogata, 2010).

3.7.1.1 Proporcional

En la acción proporcional la salida del controlador $u(t)$ es igual al error del sistema $e(t)$ multiplicado por la ganancia K_p con, como se muestra en la (Figura27.) y en la (Ecuación 1) (Mazzone, 2012)

$$P = \text{Err} * K_p \quad (\text{Ecuación 1})$$

P o $u(t)$: salida del controlador

Err o $e(t)$: Error del sistema

Kp: Ganancia que es proporcional al ajuste

3.7.2 Integral

En la acción integral la salida del controlador $u(t)$ es la suma del error actual con el error anterior y proporcional a la ganancia K_i , como se ve en la (Ecuación 2).

Para obtener el error actual es la diferencia entre el valor máximo de la salida del control y el nuevo valor de la salida del controlador como se muestra en la (Ecuación 3).

$$P = (Err_{actual} + Err_{anterior})K_i \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$Err_{actual} = u(t)_{m\acute{a}ximo} - u(t)_{nuevo} \quad (\text{Ecuación 3})$$

3.7.3 Derivativo

La acción Derivativa se utiliza la siguiente formula

$$P = (K_p * Err + K_p * T_d \left(\frac{dErr}{dt}\right)) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Td: tiempo derivativo

El tiempo derivativo permite que el sistema tenga una respuesta más rápida, pero a su vez tiene una desventaja porque existe presencia de ruido y saturación en el actuador. Esta acción actúa con respecto al tiempo que se transita (Mazzone, 2012).

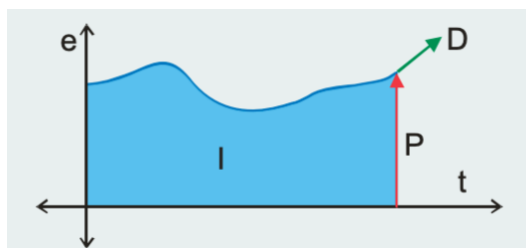


Figura 32. Gráfica de las acciones de un controlador PID

Tomado de (Ogata, 2010)

El tiempo de muestreo que es utilizado en el proyecto es de un 500ms, con este tiempo se logra capturar los datos que son emitidos por la termocupla con respecto al comportamiento de la planta, estos datos son mostrados en la interfaz de AVR-Studio donde se logra visualizar de manera gráfica el

comportamiento de la planta al utilizar el PID_Niquelina o PID_Ventilador, el uso de los PID dependen mucho en la zona en la que encuentra con respecto al perfil de reflujo.

4 Capítulo IV. Pruebas y Resultados

En este presente proyecto se procede a realizar las pruebas de funcionalidad, las cuales constan con la comprobación del funcionamiento del proceso de soldadura por reflujo, para el efecto se realiza el diseño de las placas pequeñas (Figura33) en las cuales se coloca los componentes electrónicos SMD que serán soldados.

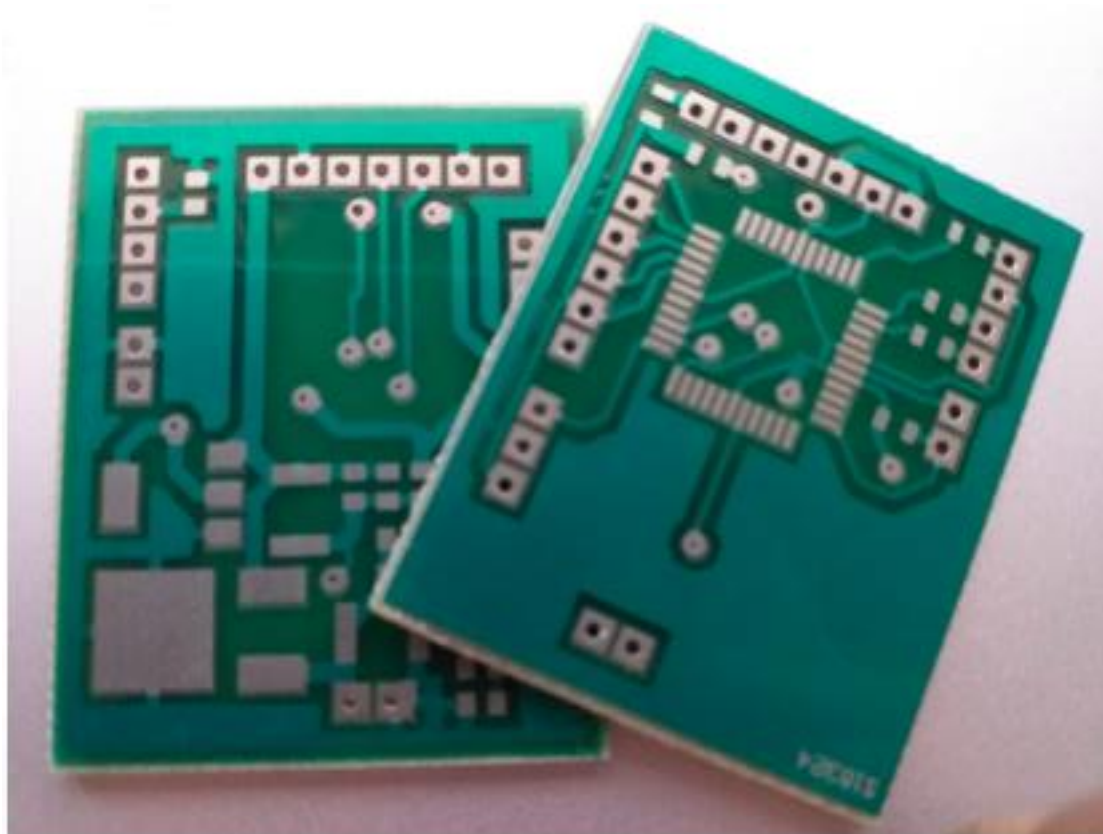


Figura 33. Placas PCB

4.1 Captura de datos

4.1.1 Detección de temperatura

Los datos de la temperatura que emite la niquelina son tomados por medio de una termocupla con el fin de verificar la temperatura correcta. La termocupla en

un inicio toma el valor de la temperatura ambiente, el cual se puede encontrar en un rango de 20°C - 25°C (Ecuador). Para confirmar el funcionamiento de la termocupla se procede a realizar la medición de la temperatura, colocando al sensor en un punto estratégico dentro de la niquelina en un tiempo de 6 minutos, con un periodo de muestreo de 500 ms (Tabla11).

Tabla 11.

Datos de la fuente de calor tomados con la termocupla.

Temperatura °C	Tiempo (ms)
38	500
49	100
100	1500
149	2000
200	2500
242	3000
270	3500
305	4000
316	4500
330	5000
347	5500
360	6000

Al obtener los datos de la temperatura de la niquelina se procede a realizar la gráfica, donde se podrá observar el comportamiento que tendrá la resistencia (niquelina) al iniciar el proceso de calentamiento. A continuación, en la Figura34 se puede observar los datos admitidos por la termocupla de manera gráfica.

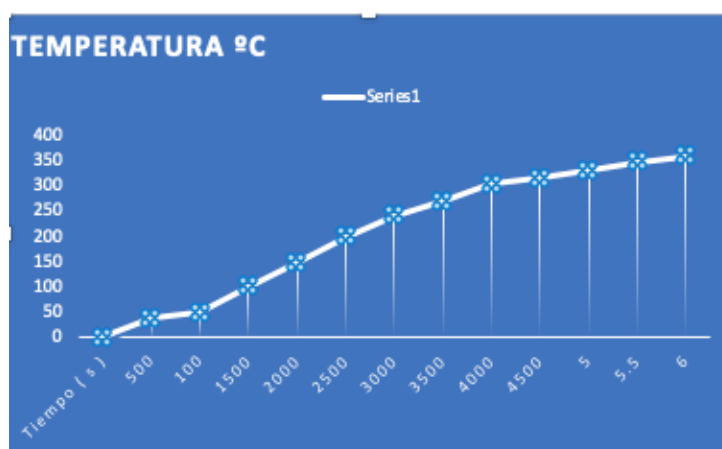


Figura 34. Comportamiento de la Niquelina

4.1.2 Controlador PID

Una vez obtenido el comportamiento de la fuente de calor (niquelina) se procede a realizar un controlador PID, el cual se integra en dos áreas: enfriamiento y calentamiento cada una de las áreas cuenta con un controlador PID por área con el objetivo de mantener una temperatura estable.

Para realizar la primera prueba del controlador PID se acciona únicamente el control PID_Niquela y a su vez colocando un Set_Point=100 en un tiempo de muestreo de 500 ms, el cual es graficado en AVR-Studio con el fin de observar el comportamiento que tiene el control PID sobre la fuente de calor (Figura35).

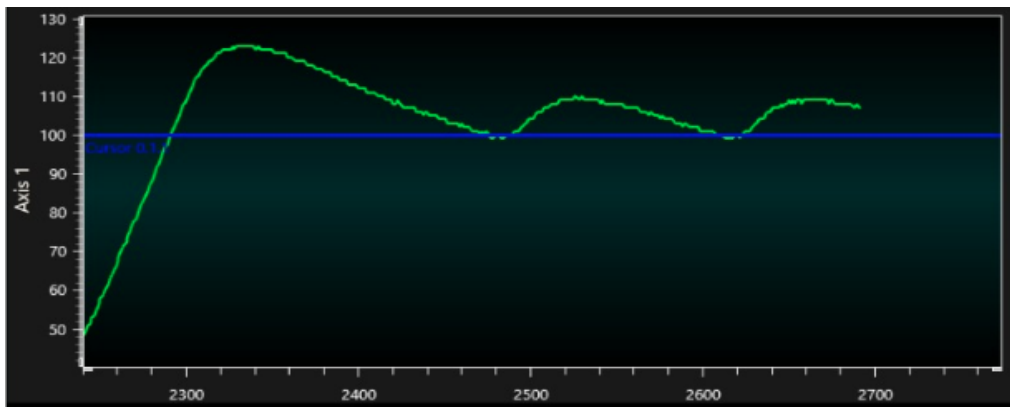


Figura 35. Gráfica del control PID_Niquelina sobre la fuente de calor

Al observar el comportamiento de la temperatura que emite la fuente de calor se procede a realizar los ajustes necesarios en los valores de K_p , K_i y K_d del PID, estos valores están estipulados dentro del programa con el fin de cumplir el perfil de reflujo (Figura.2).

Para la segunda prueba se acciona los dos controladores PID: PID_Ventilador y PID_Niquelinacada, cada uno de estos con su valor respectivo de K_p , K_i y K_d con Set_Point=180 y Set_Point2= 220. Los valores que fueron asignados a los Set_Point son adquiridos del perfil de reflujo con el fin de cumplir con cada una de sus zonas y así evitar el daño en los componentes SMD al ser soldados.

En la Figura36 se muestra la prueba realizada con los dos controladores PID, el controlador PID_Niquelina permite controlar la potencia con el cual trabaja la niquelina y el controlador PID_Ventilador se encarga de regular la potencia con

el cual se activa el área de enfriamiento (ventilador), esto se lo realiza con el propósito de ayudar a la fuente de calor para que se mantenga dentro de los rangos estipulados por el perfil de reflujo.

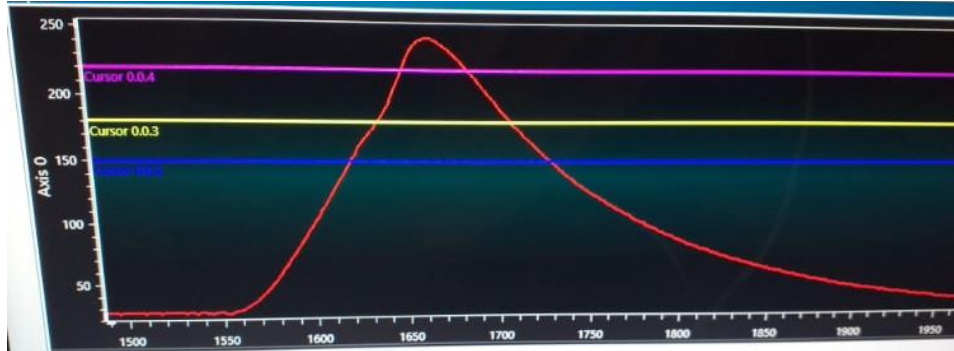


Figura 36. Gráfica del comportamiento de los controladores PID.

Luego de realizar la segunda prueba, se observa en la gráfica que el controlador de potencia aún no está trabajando de manera adecuada, por esta razón se toma la decisión de calibrar de la mejor manera los valores de K_p , K_i y K_d que son correspondientes a cada PID.

El Controlador PID de la niquelina tiene los siguientes valores:

$$K_p = 0.048$$

$$K_i = 0.12$$

$$K_d = 1$$

El controlador PID del ventilador tiene los siguientes valores:

$$K_p = 0.1$$

$$K_i = 0.04$$

$$K_d = 0.7$$

Para cumplir con cada una de las zonas se especifica los siguientes Set_Point:

Set_Point=180 es el punto al cual se debe llegar para cumplir con la zona de saturación.

Set_Point2=210 es el valor pico de la gráfica en donde se encuentra la zona de reflujo.

Para la tercera prueba se activa los dos controladores PID correctamente calibrados, y a su vez dentro del programa se estipula los valores de Set_Point y los tiempos en los cuales se debe cumplir para el cambio de la zona, con el fin de cumplir con el perfil de reflujo.

Se inicia la prueba correspondiente con todo lo antes mencionado, en el cual tiene como resultado la Figura 37, donde se muestra la gráfica obtenida, la cual cumple con cada una de sus zonas en el tiempo establecido con el fin de evitar que la soldadura llegue a dañar al componente.

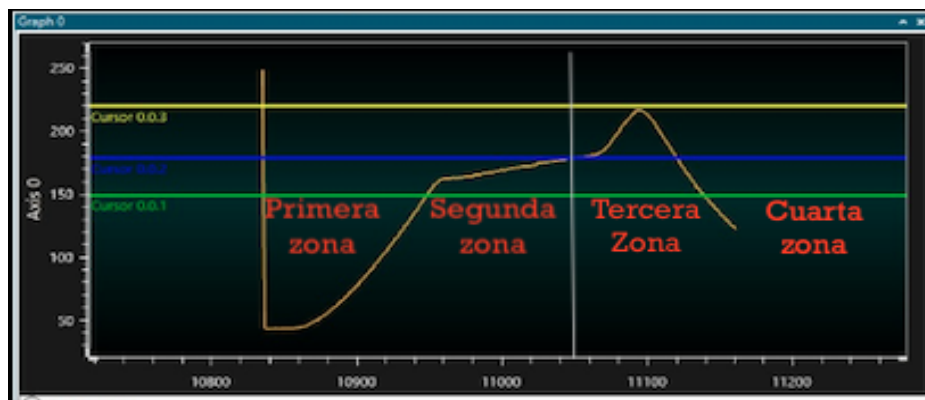


Figura 37. Gráfica de temperatura con los valores de PID calibrados.

Tiempos de cada zona:

- Primera zona (Precalentamiento): 90 segundos
- Segunda zona (Saturación): 90 segundos
- Tercera zona (Reflujo): 60 segundos
- Cuarta zona (Enfriamiento): 400 segundos

Con la tercera prueba se pudo obtener la gráfica correspondiente al perfil de reflujo, esto se debe a que cumple con los parámetros establecidos dentro de la investigación con respecto al perfil de reflujo que tiene el estaño en pasta Sn63Pb37, el cual trabaja con un tipo de soldadura de temperatura media con plomo.

Para seguir verificando el comportamiento de la curva de temperatura se hizo varias pruebas, con el objetivo de demostrar que la gráfica será la misma al iniciar o finalizar un proceso de soldadura. A continuación, se mostrará varias tomas en cada una de las zonas del proceso de soldadura de inicio a fin.

Tabla 12.

Pruebas del proceso de soldadura

	Zona de Precalentamiento Tem_Ambiente - 150 °C	Zona de Saturación 150 °C - 180 °C	Zona de Reflujo 180 °C - 210 °C	Zona de Enfriamiento 210 °C - Tem_Ambiente
TIEMPO(S)	131,9	100	51,72	405,2
	129,7	100,9	52,21	384,1
	141,05	105,4	50,74	414,3
	138	102,5	52,6	380,4
	133,9	102,6	51,67	421,5
	133,3	100,1	51,04	430,4
	134,2	110,9	51,47	430,6

En la Tabla12 se muestran los tiempos en que se demora en realizar cada etapa para cumplir con el proceso de soldadura, estos valores fueron tomados en cada una de las zonas. Este cambio de cifras del tiempo no soy muy significativas, debido a que los datos cambian de manera simultánea en cada etapa para evitar que el perfil de reflujo tenga algún cambio.

Como resultado de los datos tomados de cada zona se deduce que los valores varían de manera simultanea, con la posibilidad que los tiempos que fueron tomados de cada zona se hayan realizado con cambios de 0,3 segundos en cada zona con respecto al tiempo estipulado en el perfil de reflujo.

4.2 Pruebas de soldadura por reflujo

Pasos para realizar el proceso de soldadura:

- 1) Disponer de una la placa PCB a la cual se va a soldar los componentes SMD

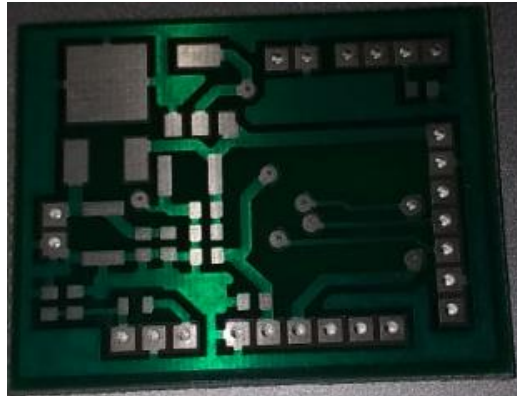


Figura 38. Placa PCB

- 2) Colocar el estaño en pasta (Sn63Pb37) de manera cuidadosa en los espacios seleccionados para la ubicación de los componentes.



Figura 39. Placa PCB y estaño en pasta Sn63PB37

- 3) Ubicar los componentes sobre el estaño en pasta que fue aplicado



Figura 40. Componente SMD a soldar

- 4) Colocar la placa con los componentes en el equipo e iniciar el proceso de soldadura.

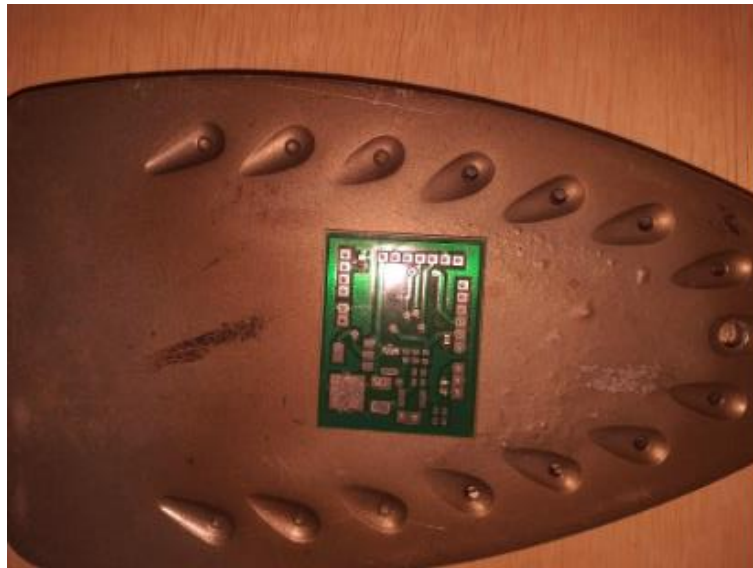


Figura 41. Placa PCB sobre el Equipo de soldadura

- 5) Esperar que la zona de enfriamiento termine.
- 6) Retirar y verificar que la soldadura sea la correcta.

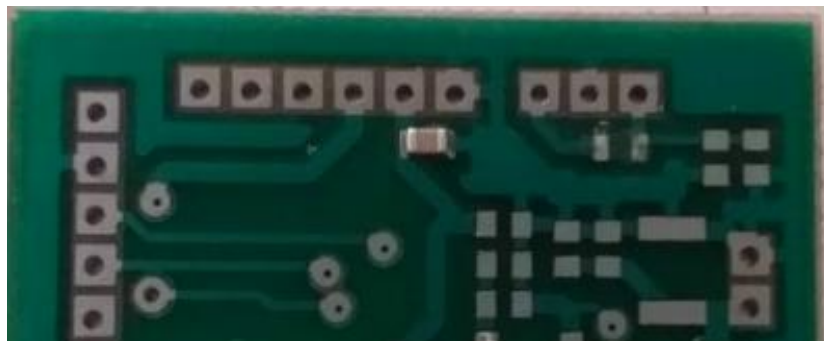


Figura 42. Placa mal soldada

Una vez conocidos los pasos a seguir se procede a realizar las pruebas de soldadura, que tiene como resultado una mala soldadura debido a que no se cristaliza el estaño, esto se debe a que la temperatura de la placa no llega al Set_Point de la zona de reflujo. En esta zona se debe llegar a 210°C y el sensor que se encuentra en la fuente de calor nos da la temperatura de la zona, pero al constatar que no se realiza la soldadura del componente se procede a tomar la

temperatura con un multímetro y termocupla a la placa que se encuentra soldando.

Al realizar la toma de la temperatura se verificó que la placa no alcanza a llegar a la temperatura establecida dentro de la zona de reflujo, por ende, provoca que los componentes no estén soldados de manera correcta o fija a la placa.

Teniendo en cuenta este problema se procede a realizar cambios en el valor del Set_Point2 que pertenece a la zona de reflujo. El Set_Point2 toma ahora el valor de 300, pero al realizar este cambio se obtiene una nueva curva de temperatura en la Figura43, debido a que los rangos de tiempo en cada zona del perfil de reflujo deben actuar de manera más rápida para llegar al Set_Point2 establecido.

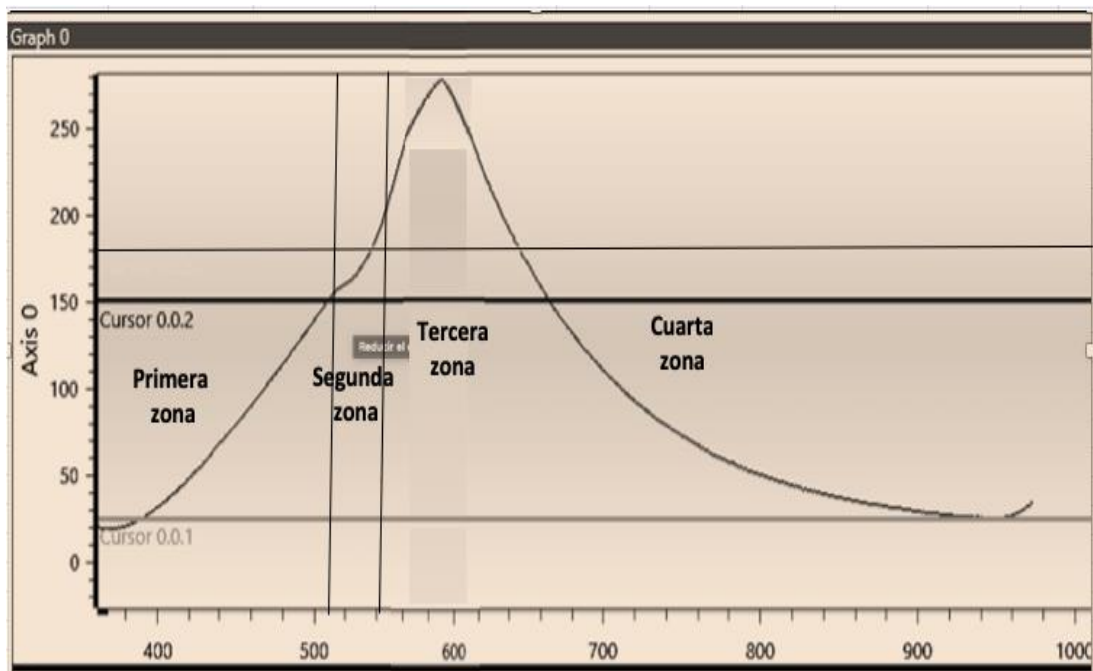


Figura 43. Gráfica con el nuevo valor del Set_point2

Tiempos de cada zona:

- Primera zona (Precalentamiento): 116s
- Segunda zona (Saturación): 27.7s
- Tercera zona (Reflujo): 108.3 s
- Cuarta zona (Enfriamiento): 304,8 s

Con el cambio que se realizó al Set_Point2 (Zona de reflujo) se realiza una nueva prueba, en el cual se logra la cristalización de la pasta de soldar entre la placa y el componente SMD, teniendo así la soldadura adecuada y sin la existencia de daños en el componente SMD (Dispositivo de montaje superficial).

Tabla 13.

Tiempos de los procesos de soldadura en 5 pruebas diferentes.

	Zona de Precalentamiento Tem_Ambiente - 150 °C	Zona de Saturación 150 °C - 180 °C	Zona de Reflujo 180 °C - 210 °C	Zona de Enfriamiento 210 °C - Tem_Ambiente
TIEMPO(S)	115,9	27,69	108,3	304,8
	120,5	29,02	103,8	300,8
	120,4	26,41	112,8	296,8
	122,3	34,09	108,3	302,3
	119,4	27,07	108,3	300,9
	116,2	27,07	105,8	297,3
	108,3	40,18	105,3	297,3

En la Tabla13 se muestra los tiempos que se demora en cada una de las zonas con un nuevo Set_Point2=300, estos tiempos cambiaron debido a que el área de calentamiento utiliza un solo controlador PID y que al realizar este cambio en el pico de la gráfica de temperatura se tienden a cambiar los tiempos. Con los valores obtenidos en la Tabla.13, se puede observar de manera correcta la variación del tiempo que se obtuvo al realizar dicho cambio.

Para comprobar que el proceso de soldadura sea el correcto, se realiza nuevamente las pruebas con el equipo de soldadura siguiendo los pasos antes mencionados. Al finalizar el proceso de soldadura se procede a la verificación de cristalización del estaño el cual fue el correcto. A continuación, en la Figura44 se mostrará los resultados finales que se obtuvo con el equipo de soldadura.

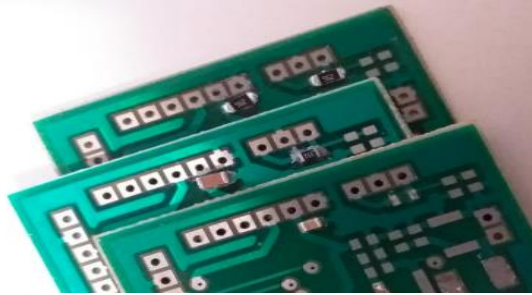


Figura 44. Placas con sus componentes SMD soldadas de manera correcta.

5 Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se dará a conocer las conclusiones que se pudieron obtener mediante la realización del proyecto y de las pruebas realizadas. También se incluyen las recomendaciones que se debe considerar para realizar un nuevo desarrollo o continuar con el prototipo.

5.1 Conclusiones

El tiempo que se demora en responder el sistema no depende únicamente del controlador y de la planta, sino que también depende mucho del voltaje de alimentación, el cual es tomada desde la Empresa Eléctrica Quito(110v) y de esta manera se determina la corriente máxima que debe circular en la planta para lograr la estabilidad del área de calentamiento.

En este proyecto se determinó, el cruce por cero con el objetivo de verificar el ángulo de disparo con respecto al tiempo que se tardará la señal en llegar nuevamente.

Se logró diseñar el controlador de temperatura para el proceso de soldadura en sus diferentes zonas, optimizando el tiempo que se emplea en realizar la soldadura de los componentes SMD en una placa PCB.

Los datos de la temperatura que son tomados con la termocupla empiezan desde una temperatura ambiente, este sistema tiende a estabilizarse en el valor dado del Set_Point, esta estabilidad ocurre cuando el controlador reacciona de manera rápida y a su vez se encuentra calibrado de manera correcta.

La tarjeta de arduino tiene un tiempo de procesamiento de 16MHz, el cual es el adecuado para implementar un controlador de fase directo, lo cual fue aplicado en la elaboración del proyecto.

Para lograr establecer la temperatura que está reflejada en el Set_Point se genera dos áreas: enfriamiento y calentamiento, cada una de las áreas cuenta con un controlador PID. Las cuales trabajan juntas para impedir el cambio brusco de la temperatura que puede existir en el equipo.

El control de fase directo es el más sencillo de implementar, pero a su vez el menos recomendable ya que produce varios armónicos, los cuales pueden ser perjudiciales para la planta.

El ángulo del disparo permite visualizar la cantidad de voltaje que llegará a la carga a través de la emisión de la intensidad de la luz, esto quiere decir que mientras más cerca este a 180° la cantidad de la luz se disminuye.

Mediante las pruebas, se pudo concluir que el controlador PID reacciona de una manera eficiente ante el proceso de soldadura, evitando así los daños en los componentes al querer que los dispositivos de montaje superficial se adhieran a la placa PCB.

5.2 Recomendaciones

Se deben revisar los parámetros de cada uno de los componentes electrónicos en datasheet para evitar daños y de esta manera conocer la instalación correcta de cada uno de sus pines.

El controlador PID se debe calibrar de una manera correcta y casi exacta con el fin de evitar la existencia de cambios bruscos de los pulsos que son entregados por medio del Triac a la niquelina.

Fijar el sensor de temperatura en una posición, en el cual nos indique los valores reales, para que de esta manera se pueda calibrar los valores del control PID de manera correcta.

Elegir de manera correcta el sensor de temperatura que se va a utilizar, considerando la temperatura a la cual va a estar expuesto el sensor.

Establecer de manera adecuada los tiempos de demora de cada una de las zonas de la soldadura por reflujo, si es necesario de aumentar el tiempo pues se debe realizarlo y evitar los problemas al no llegar a la temperatura de reflujo del estaño.

Para tener un correcto funcionamiento del equipo de soldadura se debe utilizar diferentes alimentaciones dependiendo de las áreas: calentamiento o enfriamiento.

Se debe tener en cuenta que las conexiones de los componentes se encuentren conectados de manera correcta, con el fin de evitar que existan pérdidas de picos en la planta.

Se debe considerar la creación de un control PID por cada una de las zonas de la soldadura por reflujo, para evitar la distorsión de los parámetros del PID al cambiar el valor del Set_Point.

Tener en cuenta la temperatura a la que debe llegar la placa para cumplir con la soldadura donde se obtendrá la cristalización del estaño, llegando a la temperatura establecida en la zona de reflujo, para esto es recomendado que el equipo de soldadura sea implementado en un entorno cerrado ya que será más fácil que el calor se concentre en la placa más no en el exterior del equipo.

Referencias

- AcademiaEduca. (2016). Monofásicos, Control de Fase Directo y Arrancador Suave para Motores. Recuperado el 20 Junio de 2019 de https://www.academia.edu/14058248/Control_de_Fase_Directo
- AG, E. (2018). Horno de reflujo de precisión SMT. Recuperado el 28 de Enero de 2019 de www.agspecinfo.com/pdfs/Q/QS5188C.PDF
- Aguayo, F. (2016). Ventajas que ofrecen los componentes SMD. Recuperado el 16 de Febrero de 2019 de https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/39868/PRO_Aguayo_1986_Ventajas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arian. (2018). Termocupla y su funcionamiento. Recuperado el 15 de Marzo de 2019 de <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
- Vallejos,C. (2013). Modelacion, simulació, control PID y control Predictivo de un secador rota disco en la industria pesquera. Recuperado el 10 de Junio de 2019 de https://www.academia.edu/12143201/MODELACION_SIMULACION_CONTROL_PID_Y_CONTROL_PREDICTIVO_DE_UN_SECADOR_ROTA_DISCO_EN_LA_INDUSTRIA_PESQUERA
- Ceron, J. (1992). Diseño y construccion del control de temperatura de un horno de gas. Recuperado el 28 de Mayo de 2019 de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11623/1/T451.pdf>
- Desconocido. (2019). Motores de paso. Recuperado el 17 de Mayo de 2019 de <https://impmedia.net/l298n-stepper-motor/>
- Electronica, M. (2017). Componentes Electronicos. Recuperado el 19 de Junio de 2019 de <https://mundoelectronica.net/>

- Enriquez, E. (2019). Partes y funciones de un optoacoplador. Recuperado el 21 de Marzo de 2019 de www.educachip.com/optoacoplador-que-es-y-como-utilizarlo/
- Frank. (2019). Triac y sus aplicaciones. Recuperado el 15 de Mayo de 2019 de <https://www.ingmecafenix.com/electronica/triac/>
- Lee, N.-C. (2017). Procesos de soldadura por reflujo y resolución de problemas. CSP y Flip chip.
- López, R. P. (2015). Sistemas electrónicos de la placa al chip. Recuperado el 12 de Abril de 2019 de <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-873-sistemas-electronicos--placa-chip.aspx>
- Mazzone, V. (2012). Controladores PID. Recuperado el 2 de Junio de 2019 de <https://www-eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>
- Ogata, K. (2010). Ingenieria de control moderado. Recuperado el 12 de Abril de 2019 de https://www.academia.edu/26807297/Ingenieria_De_Control_Moderna_K._Ogata_Sistemas_Lineales_En_Espa%C3%B1ol.pdf
- Oxdea. (2017). Microcontrolador ATMEGA328-PU. Recuperado el 10 de Mayo de 2019 de <https://www.oxdea.com/shop/product/atmega-microcontrolador-atmega328-pu-19064?page=9&category=121>
- Perez, A. (2017). Componentes SMD. Recuperado el 27 de Abril de 2019 de https://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_amplificadores/SMD/SMD.html#inicio
- Salas, R., Pérez, J., & Ramírez, J. (2017). Técnicas de diseño, desarrollo y montaje de circuitos impresos. Recuperado el 21 de Febrero de 2019 de http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/26205/tecnicas_diseno.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez, I. (2010). Estudio de la influencia de nitrógeno y aire en uniones de soldadura libre de plomo para componentes de uso electrónico. Recuperado el 8 de Junio de 2019 de <http://eprints.uanl.mx/2194/1/1080164795.pdf>

Whalley. (2017). A simplified reflow soldering process model. Recuperado el 25 de Mayo de 2019 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09240136040008>

