

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE
LA PRODUCCIÓN

LABORATORIO DE SISTEMAS EMBEBIDOS



PROYECTO

PLACA CALIENTE PARA SOLDAR SMD.

ESTUDIANTE:

MARCOS ANDRÉS MONTOYA GUTIÉRREZ

Ingeniería Mecatrónica / 0999681879 / mamontoy@espol.edu.ec

PARALELO:

101-PAO-II-22

PROFESOR:

TONNY TOSCANO

FECHA DE ENTREGA:

16/01/2022

Justificación del proyecto

El objetivo principal es controlar la potencia que caliente una plancha de metal (plancha casera), con la finalidad de alcanzar la curva de temperatura deseada para que cumpla la función de soldar placas PCB.

Descripción del Proyecto:

Mediante una pantalla LCD y botones, se realizará el ingreso de datos e inicio del proceso, el usuario seleccionará el modo en el que operará la placa, y mediante otro botón dará inicio a la ejecución de dicho modo.

De esta manera empezará a calentarse la placa de la plancha con la potencia siendo controlada por el arduino, de acuerdo a las lecturas de temperatura del termopar que mantiene una constante medición sobre la placa e ingresa los datos de dicha medición al arduino.

Una vez que se ha elevado la temperatura siguiendo la curva necesaria para la soldadura del estaño, un zumbador sonará indicando que se ha realizado la soldadura con éxito, retornando al modo 0 nuevamente y enfriando la placa.

Durante todo el proceso, el arduino imprimirá en la pantalla LCD los datos como la potencia, la temperatura, el modo en que se encuentra operando, e indicará si los relés de estado sólido se encuentran encendidos, y a su vez mostrará la curva de temperatura en Monitor Serial.

Especificaciones del proyecto/Criterios:

Lo que se busca realizar es una plancha capaz de elevar su temperatura y permita soldar placas electrónicas de una manera rápida y sencilla, cuyo nicho de mercado podría ser institutos tecnológicos que impartan las clases de electrónica y enseñen a sus alumnos a soldar. Las limitaciones que se podrían presentar son la del manejo del voltaje y sobre todo el amperaje adecuado, de tal manera que hay que hacer los cálculos necesarios para así poder obtener la potencia deseada.

- **Materiales:**

1. Plancha de ropa (Potencia 3000W)
2. Termómetro- Termopar tipo K
3. Amplificador MAX6675
4. Relés de estado sólido
5. Disipador de color
6. Pantalla LCD
7. Placa Arduino UNO
8. Pulsadores
9. Resistencias
10. Diodos LED
11. Potenciómetro
12. Fuente 12V

- **Rangos de temperatura:**

Lo que se espera es que la plancha alcance como mínimo 231.9 °C para alcanzar el punto de fusión del estaño, alcanzando valores máximos controlables a los valores de entrada de voltaje y amperaje de 310 °C aproximadamente.

- **Rangos de voltaje de operación:**

El voltaje de entrada:

- ✓ Placa Arduino UNO: 5v
- ✓ Relés de estado sólido: 120 V
- ✓ Plancha de calentamiento: 120V

- **Recursos computacionales:**

- ✓ Computadora con procesador Core I5 con software de Arduino para programar la placa.

Objetivos

Objetivo General:

- Implementar los conocimientos sobre sistemas embebidos para controlar el calentamiento de una plancha soldadora.

Objetivos Específicos:

- Definir las propiedades del microcontrolador que deben ser aprovechadas para el funcionamiento del proyecto, las variables a implementar y los puertos a utilizar según ello.
- Diseñar esquemáticamente el sistema con todos los componentes que contribuyan al control y ejecución del proyecto.
- Programar el código del microcontrolador para ejecutar las funciones necesarias para el funcionamiento del proyecto.
- Implementar físicamente el proyecto para demostrar su funcionamiento exitoso.

Trabajos relacionados

En el año 2006, los estudiantes de Ingeniería en Electrónica y Automática de la Universidad de Las Palmas, C. Betancor, J. Cerezo y A. Vega elaboraron un trabajo académico donde se propone el diseño de un sistema de control de temperatura desde un enfoque analógico, usando recursos tecnológicos como el toolbox Real Time Windows Target del software Matlab para el diseño y simulación en tiempo real de un sistema de control continuo.

Lo principal fue la identificación del sistema y la definición del modelo matemático, posteriormente el diseño del controlador aplicando distintas reglas como la regla de Ziegler-Nichols, de Cohen-Coon y la técnica del lugar de las raíces, optimizando la respuesta del sistema mediante el toolbox de matlab anteriormente mencionado.

La estructura del sistema de control está compuesta por un controlador, la etapa de potencia, la planta, y un acondicionador o sensor, estructura típica

de un sistema SISO. Donde la planta está constituida por un sistema térmico que corresponde a una resistencia calefactora, y una placa metálica, integrando una fuente de corriente y un transistor como elemento de potencia, y un sensor de temperatura LM35 pegados a la placa metálica.

El 20 de julio del 2018, el egresado de la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid, Eduardo Alonso de Blas, presentó su trabajo de fin de carrera, correspondiente al diseño y construcción de un horno para soldadura SMD.

En este trabajo, se realizó el diseño de PCB necesario para interconectar todos los elementos, la programación del proceso en código en sistemas embebidos Arduino UNO y Arduino MEGA, para establecer control mediante un sistema de lazo cerrado actuando sobre el horno, basado en lecturas de temperaturas y de manera reactiva a botones integrados al sistema, de tal manera que se logre producir una curva de temperatura decente para la soldadura SMD mediante la calibración de parámetros PID.

Finalmente, el 1 de diciembre del 2020, los estudiantes de la Universidad de Ciencias Aplicadas Ravensburg Waingarten, Stephan Scholz y Lothar Berger elaboraron el trabajo Modeling of a Multiple Source Heating Plate, donde establecen que las placas calefactoras describen una transferencia de calor desde un actuador hacia un elemento objetivo, es decir, separan las fuentes del calor del elemento calentado, pudiendo utilizarse para una aplicar una distribución de calor específica sobre el objeto. De esta manera, afirman que se debe establecer una descripción exacta de la dinámica térmica del sistema y una coordinación eficiente de sus actuadores para conseguir un perfil de temperatura en función del tiempo deseado de manera precisa. Así, en este trabajo científico se modela la termodinámica de una placa calefactora de fuente múltiple como una ecuación de calor quasi-lineal y se discute la configuración de los actuadores y sensores del sistema.

Análisis teórico

El término PCB viene de las siglas en inglés referidas a Printed Circuit Board, es decir, placa de circuito impreso, o tarjeta de circuito impreso; como su nombre lo dice, una PCB aloja y conecta los componentes electrónicos mediante pistas, para el correcto funcionamiento de un circuito o producto. Podemos encontrar PCB en la mayoría de piezas tecnologías del mercado como celulares, computadoras, la alarma de un auto, etc.

Las PCB están ampliamente relacionadas al desarrollo de productos electrónicos, formando parte importante del diseño electrónico, y hay diferentes tipos o tecnologías de PCB según las necesidades del proyecto que se diferencian en cómo se acoplan los componentes electrónicos a la placa.

La más básica de estas tecnologías es el ensamblado Through Hole, en el que los componentes atraviesan la placa a través de orificios, siendo

posteriormente soldados a las pistas que se encuentran del lado al que llegan las terminales de los componentes.

Otro tipo de tecnología empleada en el ensamblaje de las PCB es la SMT o Surface Mount Technology, es decir, Tecnología de Montaje Superficial, y consiste en la construcción de circuitos electrónicos donde los componentes están soldados directamente sobre la superficie de la PCB, en zonas conductoras.

Los componentes utilizados para esta tecnología de ensamblado de PCB son conocidos como SMD es decir, Surface Mount Device, y normalmente son más pequeños que los regulares para through hole, ya que tienen terminales más pequeños que ellos o simplemente no los tienen, ya que pueden tener contactos planos o matrices de esferas de estaño (conexión Ball Grid Array).

Las ventajas de este tipo de componentes se basan en su reducido tamaño, pues ahorran espacio hasta 4 veces, y, en consecuencia, se reduce también la longitud de las pistas, también reducidas a causa de la eliminación de terminales atravesando agujeros. Adicionalmente, los SMD son componentes usualmente más ligeros, por lo que es recomendable su uso para tecnologías de aviación, deporte, armamento, etc.

En términos físicos, la eliminación de terminales supone una mejora en la inductancia y resistencia parasitas, lo que favorece a los circuitos de alta frecuencia o velocidad, ya sea analógico, digital o PWM, ya que no hay terminales que hagan de antena accidentalmente, hay menos overshoot y tiempos de subida y bajada menores.

Una ventaja adicional, es que los componentes SMD, al ser hechos para tecnología más reciente, están normados para soportar ácidos, disolventes y que la eliminación de residuos de soldadura (pueden formar resistencias y capacitancias parasitas) sea más simple, solo sumergiendo el circuito en acetona.

Por otro lado, la principal desventaja de los SMD también está ligada a su tamaño reducido, ya que esto implica una menor superficie de disipación, y una resistencia térmica mayor entre el interior y el exterior del componente. Sin embargo, estos efectos son predecibles, y se pueden contrarrestar durante la fase de diseño del circuito, para evitar un shock térmico que dificulte el funcionamiento. Dicho shock térmico también se debe evitar en la fase de soldadura, donde es necesario un precalentamiento entre 80OC y 120OC, y que la diferencia de temperatura entre la pista y el componente no exceda los 150OC.

Lo mencionado al final del párrafo anterior, es parte de lo conocido como perfil de temperatura. Un perfil de temperatura para el ensamble de PCB es un factor sumamente importante para tener en cuenta para poder conseguir uniones de soldadura confiables en placas de montaje superficial, para evitar poner en peligro la integridad de los componentes y, por ende, del funcionamiento del producto ensamblado.

Si se representan sus valores gráficamente, se puede obtener una curva donde se evidencian las distintas etapas que atraviesa el proceso de soldadura.

Antes de analizar dichas curvas, es necesario conocer de manera concisa varios conceptos importantes.

El flux es un producto químico en forma de pasta o contenido en la aleación de soldadura, que elimina el óxido existente entre componentes que van a ser soldados en los que se la ha aplicado, aumentando la calidad de la soldadura.

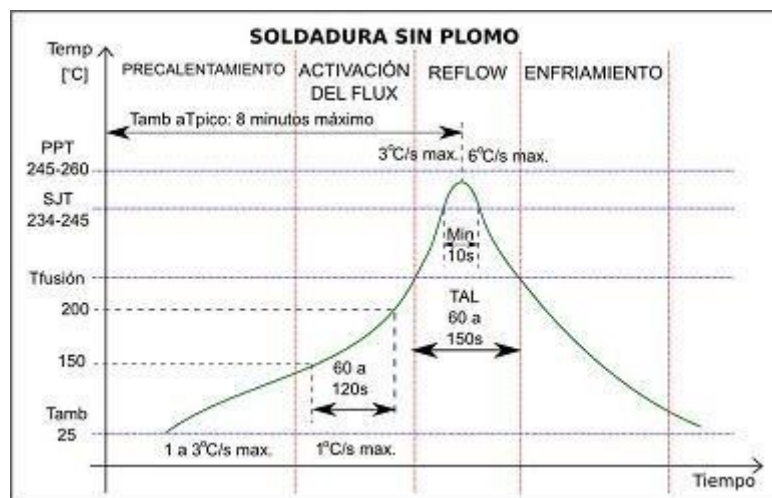
El **punto de fusión** es la temperatura donde la aleación soldadora pasa de estado sólido a líquido.

TAL, las siglas correspondientes a Time Above Liquidus, corresponde, como su nombre lo dice, al tiempo mientras el cual la aleación supera su temperatura de fusión; regularmente se recomienda un tiempo de entre un minuto y dos minutos y medio.

PPT, las siglas correspondientes a Package Peak Temperature, es la temperatura medida en el encapsulado del componente. Dicha temperatura no debe superarse para evitar dañar los componentes electrónicos.

SJT, correspondiente a Soldier Joint Temperature, es la temperatura deseada en las juntas de soldadura para lograr una óptima unión, donde importa la mínima necesaria para soldar correctamente la aleación. Se recomienda regularmente mantener esta temperatura al menos durante 10 segundos.

Conociendo dichos términos, se puede profundizar en el perfil de temperatura para soldadura SMD y sus etapas.



La primera etapa es la etapa de **precalentamiento**. Esta etapa, donde la PCB va desde temperatura ambiente hasta 120oC-150oC sirve para la evaporación de humedad y la eliminación de tensiones internas y gases residuales.

Si en esta etapa hay un exceso de temperatura en función del tiempo, se pueden producir fracturas en el encapsulado de los componentes, si, por otro lado, la función es muy lenta, la soldadura estará expuesta al calor demasiado tiempo, además de que la PCB no alcanzará la temperatura necesaria para poder pasar a fase de activación.

La segunda etapa es la etapa de **activación** o remojo. Esta etapa, gracias al calentamiento, permite activar el flux contenido en la aleación y, en consecuencia, eliminar las capas de oxido en los componentes que van a ser soldados. Esto comienza a suceder alrededor de los 150oC, y generalmente finaliza al llegar a los 200oC. Se recomienda mantener la placa entre ambas temperaturas durante uno o dos minutos.

Si no se ejecuta esta etapa correctamente podría no activarse el flux, manteniendo ciertos elementos volátiles, y la placa no podrá alcanzar la temperatura adecuada para pasar a la siguiente etapa, produciendo defectos en la soldadura, ya que los componentes tendrán una elevada dificultad para adherirse a la soldadura debido a su tensión superficial.

La tercera etapa es la etapa de **reflow**, donde ocurre la soldadura. En esta etapa se alcanza la temperatura más alta del proceso. En esta etapa, los metales primarios de la soldadura forman compuestos con los metales en los terminales de los componentes y en el circuito impreso. Los componentes, luego de la fusión de la aleación, empiezan a 'flotar' sobre la superficie de la misma en estado líquido, para luego ser empujados hacia el centro de los puntos de soldadura, posicionándose automáticamente.

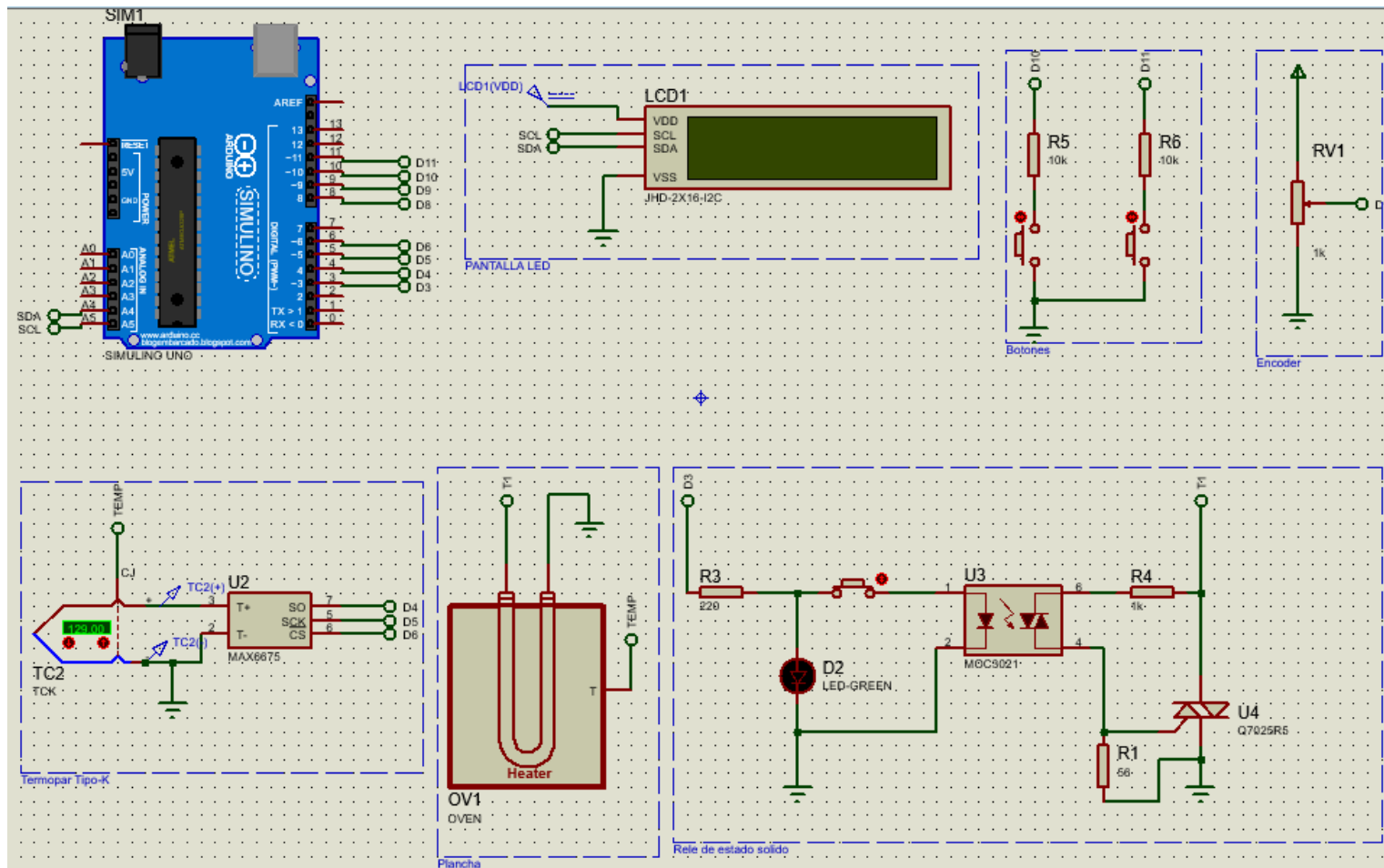
En esta etapa los componentes pueden sufrir daños fácilmente si la temperatura o el tiempo son erróneos, por ende, esta etapa debe mantenerse lo más corta posible, evitando sobrecalentamiento, y siempre la temperatura debe mantenerse por debajo de la PPT.

Si se ejercen valores muy altos, se pueden producir torceduras, quemaduras o delaminados en las placas; por otro lado, con valores más bajos que la temperatura recomendada, podrán producirse soldaduras deficientes o pastosas.

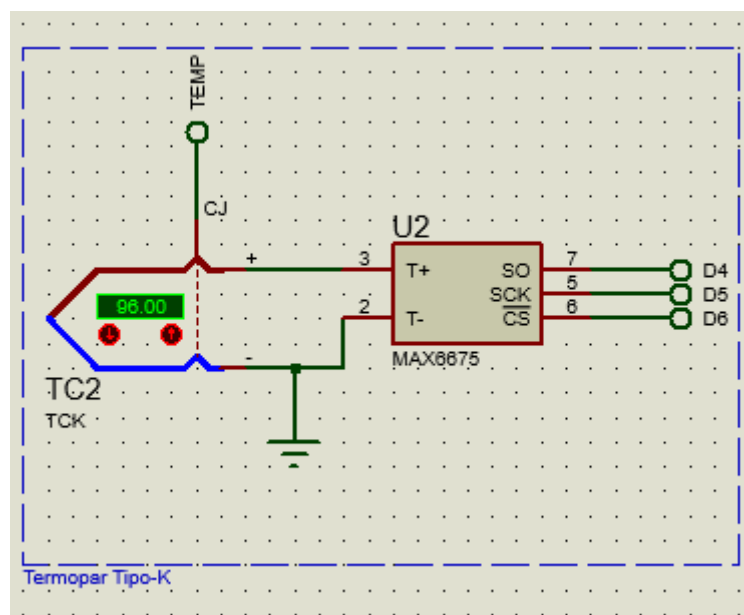
La etapa final corresponde a la etapa de **enfriamiento**, donde los materiales y componentes regresan a la temperatura ambiente. Esta etapa debe ejecutarse siempre de manera gradual para evitar un shock térmico en los componentes o la placa y debe ser un proceso espejo de la etapa de reflow, es decir, la temperatura en función del tiempo debe darse de manera inversa que en la fase anterior.



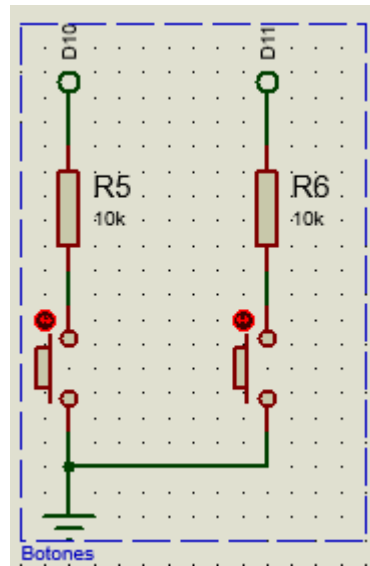
Diagrama esquemático del proyecto



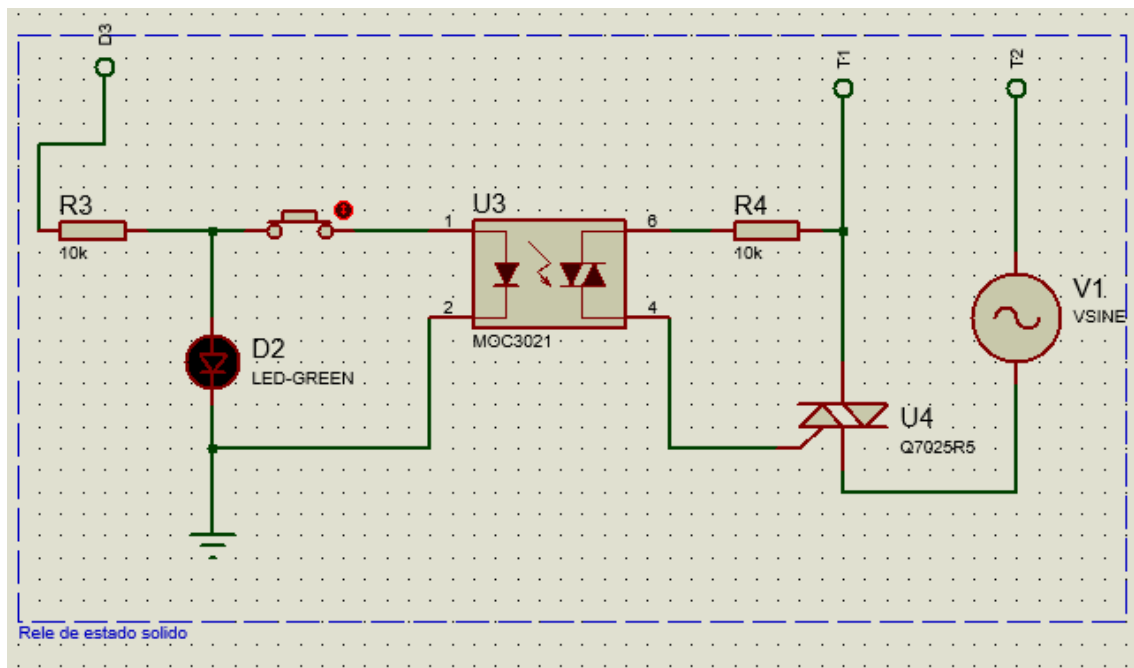
- Circuito de conexión Termopar tipo K**



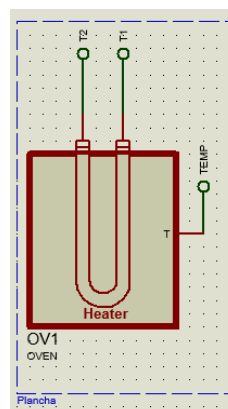
- **Conexión de botones/controles del sistema**



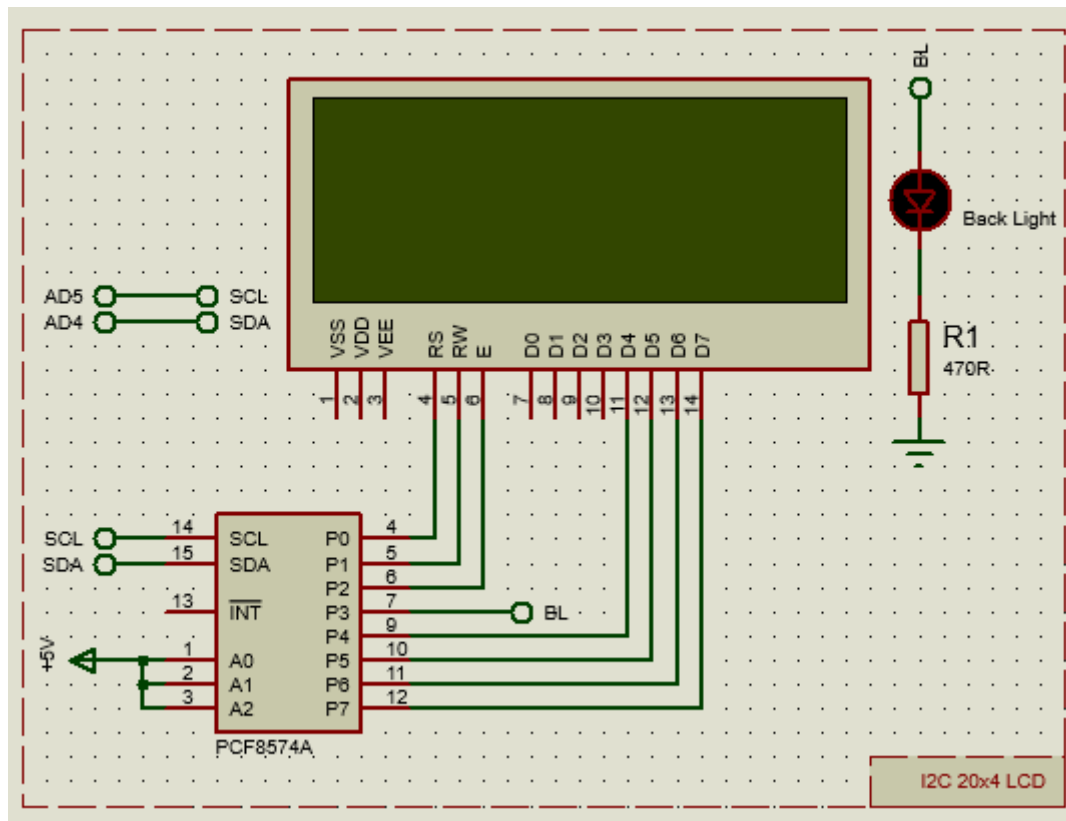
- **Conexión del relé de estado solido**



- **Conexión de la plancha**



- **Conexión de pantalla LCD 20X4 con I2C**



Datos experimentales

Con la culminación del proyecto se pudo obtener una placa para soldar SMD, la cual, muestra un calentamiento adecuado y preciso de tal manera que cumple el proceso de soldadura, es decir, cumple con la etapa de precalentamiento, activación, reflow y su correcto enfriamiento. Este proceso se lleva a cabo gracias al control de PWM que se tiene, en el cual controla el voltaje que se está enviando desde la placa Arduino hacia la plancha. De esta manera se comprueba que se puede obtener un equipo para soldar con los conocimientos adquiridos en la materia, teniendo en cuenta tanto la parte de conocimientos técnicos de voltaje y corriente para el circuito, así como, la parte de programación y a su vez la teoría sobre el control de PWM y manejo de datos de temperatura.

De manera adicional, se puede describir el control que tiene el usuario con la plancha para soldar el cual resulta bastante sencillo considerando una interfaz adaptable para estudiantes tanto de institutos tecnológicos como para estudiantes de Educación Superior, cumpliendo con la expectativa inicial que se tuvo del proyecto.

Implementación

- Revisar Imágenes de anexos

Tabla de componente y precios referenciados

Descripción de los componentes	Costo referencial
Plancha de ropa (Potencia 3000W)	\$15
Amplificador MAX6675	\$ 8.35
Optoacoplador Moc3021	\$ 0.65
Disipador de color	\$ 0.35
Pantalla LCD	\$ 4.50
Placa Arduino UNO	\$ 18
Pulsadores	\$ 0.25
Resistencias	\$ 0.1
Diodos LED	\$ 0.10
Triac BTA16	\$ 0.85
Fuente 5V-2A	\$ 4.5
Total	\$ 52.65

Especificaciones técnicas del proyecto

Placa Arduino

- ❖ Microcontrolador: ATmega328P.
- ❖ Velocidad de reloj: 16 MHz.
- ❖ Voltaje de trabajo: 5V.
- ❖ Voltaje de entrada: 7,5 a 12 voltios.
- ❖ Pinout: 14 pines digitales (6 PWM) y 6 pines analógicos.
- ❖ 1 puerto serie por hardware.
- ❖ Memoria: 32 KB Flash (0,5 para bootloader), 2KB RAM y 1KB Eeprom

Pantalla LCD 20x4

- ❖ Modelo: 2004A
- ❖ Formato de presentación: 20 caracteres X 4 líneas
- ❖ Interfaz de entrada: 4-Bits / 8-Bits
- ❖ Retroiluminación: LED blanco
- ❖ Controlador: SPLC780D (compatible con Hitachi HD44780)
- ❖ Modo de presentación: Fondo azul / Caracteres blancos
- ❖ Caracteres: 5X8 puntos
- ❖ Voltaje de funcionamiento: 5V
- ❖ Consumo de corriente del LCD: aproximadamente 2 mA
- ❖ Consumo de la luz de fondo (retroiluminación): 40 mA

Botones Push

- ❖ Aguanta hasta 50 A.
- ❖ Voltaje: 120 VDC/ 220 VAC.
- ❖ Tamaño muy reducido.
- ❖ 2 pines amigables para usar en el protoboard.

Termopar Tipo K

- ❖ Retardo de tiempo ajustable max 30 segundos
- ❖ Auxiliar de CA en el rango de 57,7 a 480 voltios
- ❖ Calibración a temperatura distinta de 23 ° C

Amplificador MAX6675

- ❖ Voltaje de Operación: 5V DC
- ❖ Corriente de trabajo: 50mA
- ❖ Rango de Temperaturas Termocupa: -200°C hasta 1300°C
- ❖ Resolución Transmisor MAX6675: 12 bits (0°C – 1023°C)
- ❖ Resolución de temperatura: 0.25°C
- ❖ Interfaz de comunicación: SPI

Octoacoplador Moc3021

- ❖ Tensión de entrada inversa del diodo: 3V
- ❖ Corriente de entrada continua del diodo: 50mA
- ❖ Tensión máxima de apagado repetitiva (V_{drm}): 400 V
- ❖ Corriente repetitiva en estado de apagado en cualquier dirección (I_{drm}): 10 nA
- ❖ Corriente de activación de LED: 15mA
- ❖ Resistencia de aislamiento: 10Ω
- ❖ Voltaje de aislamiento: 7.5 kV
- ❖ Rango temperatura de operación: -40°C a 150°C
- ❖ Disipación continua de energía a 25 °C del diodo emisor de infrarrojos: 100 mW

Triac BTA16

- ❖ Serie: BTA16 600B
- ❖ Encapsulado: TO-220
- ❖ Pines: 3 pines
- ❖ Voltaje V_{DRM}: 600 V
- ❖ Voltaje activado: 1.55 V
- ❖ V_{gt}: 1.3 V
- ❖ Corriente I_{T(rms)}: 16 A
- ❖ I_h máxima: 50 mA
- ❖ I_{gt}: 100 mA
- ❖ Temperatura máxima de funcionamiento: +125 °C
- ❖ Temperatura mínima de funcionamiento: -40 °C

Recomendaciones

- ✓ Se recomienda hacer el análisis de corriente del circuito AC debido a que se debe controlar el calor de disipación que se tiene entre el controlador (Circuito DC) y la carga (Circuito AC)
- ✓ Se recomienda utilizar valores de resistencias adecuados para cada parte del circuito que lo requiera.
- ✓ Se recomienda realizar un análisis de temperatura para controlar las distintas etapas de soldadura.
- ✓ Se recomienda revisar las conexiones en sus respectivos pines y además revisar que no exista problemas en los cables, esto incluye que sean del amperaje correcto y a su vez que los terminales estén en buen estado.

Conclusiones y análisis de resultado

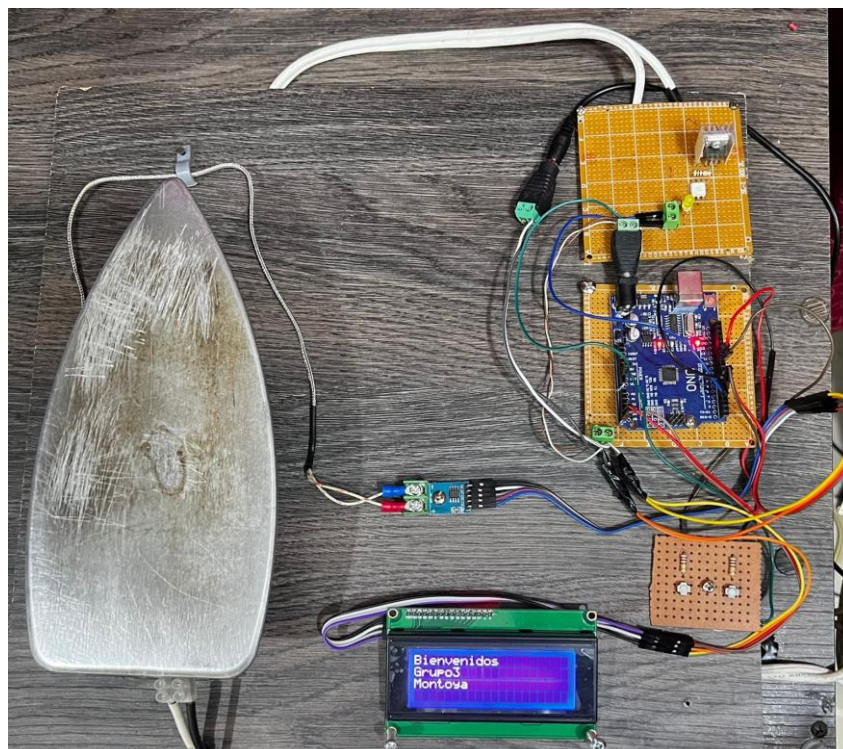
La propuesta que se brinda permite obtener la soldadura de una placa PCB, de tal manera que a nivel personal permita realizar nuevos circuitos para futuros proyectos, por otro lado, se considera la parte que se pueda implementar a un nivel comercial para institutos de enseñanza. Se puede acotar, que por medio de un control de temperatura básico por medio del control de PWM desde la placa Arduino se tiene distintos valores de temperatura que permite obtener diferentes resultados según el grado de temperatura alcanzado. Mediante el uso de la placa Arduino y la programación que incluye la misma se puede obtener el resultado que se ha implementado, considerando valores de corriente y voltaje adecuado para cada etapa del circuito, además se estima que el control se lo puede desarrollar aún más mediante control por medio de bluetooth o incluso wifi.

Bibliografía

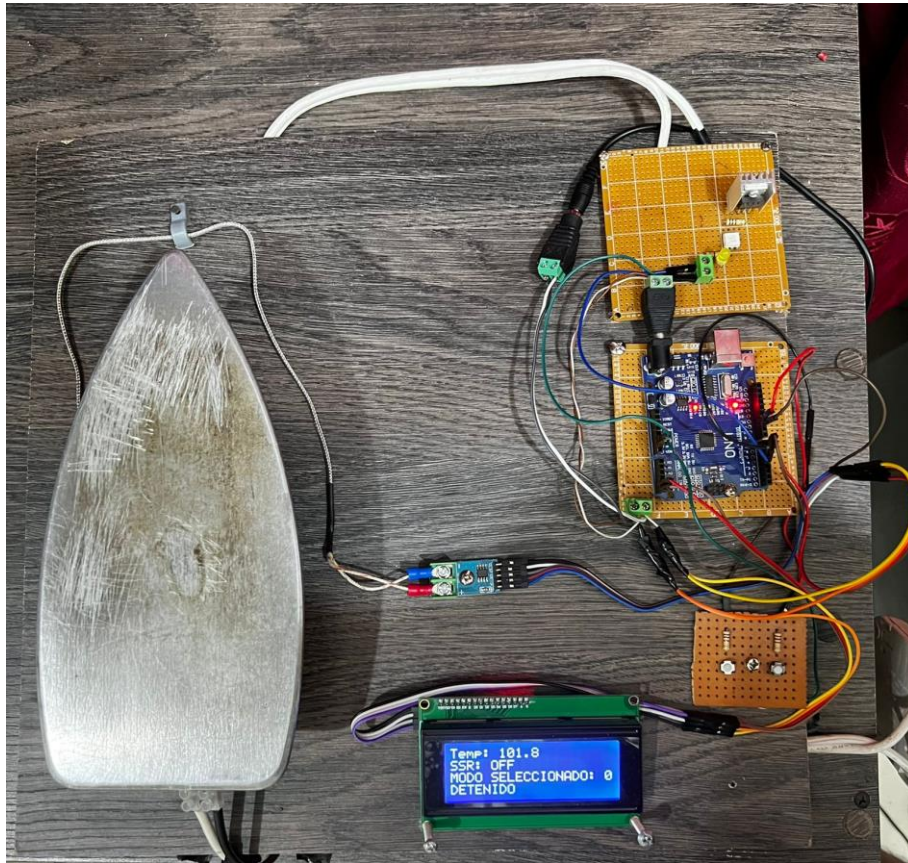
- Betancor, C. V. (s.f.). *Diseño de un sistema de control de Temperatura*. Obtenido de <http://espacio.uned.es/fez/eserv/taee:congreso-2006-1116/S3F04.pdf>
- Blas, E. A. (20 de julio de 2018). *Diseño y construcción de horno para soldadura SMD*. Obtenido de upm: https://oa.upm.es/52383/1/PFC_EDUARDO_ALONSO_DE_BLAS.pdf
- Centro Integrado de Formación Profesional Tartanga. (s.f.). *Soldadura SMD con tecnología BGA*. Obtenido de La teoría: <http://bga.blog.tartanga.eus/cuestiones-teoricas/>
- LADELEC. (s.f.). *LADELEC*. Obtenido de Que es la tecnología de montaje superficial?: <https://www.ladelec.com/teoria/informacion-tecnica/407-que-es-la-tecnologia-de-montaje-superficial-smt>
- Laverde, A. (s.f.). *Adelta Technologies*. Obtenido de ¿PCB qué es y para qué sirve?: <https://www.aldeltatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/pcb-que-es-y-para-que-sirve/>
- Microensamble.com. (18 de Febrero de 2016). *Microensamble*. Obtenido de ¿Qué es un perfil de temperatura para ensamble de circuitos impresos?: <https://microensamble.com/perfil-de-temperatura-circuitos-impresos/>
- Scholz, B. (1 de Diciembre de 2020). *Modeling of a multiple source heating plate*. Obtenido de <https://arxiv.org/pdf/2011.14939.pdf>
- Tecnología de Montaje Superficial*. (s.f.). Obtenido de <https://tecnologiademontajessuperficial.es.tl/PRINCIPAL.htm>

Imágenes de Implementación

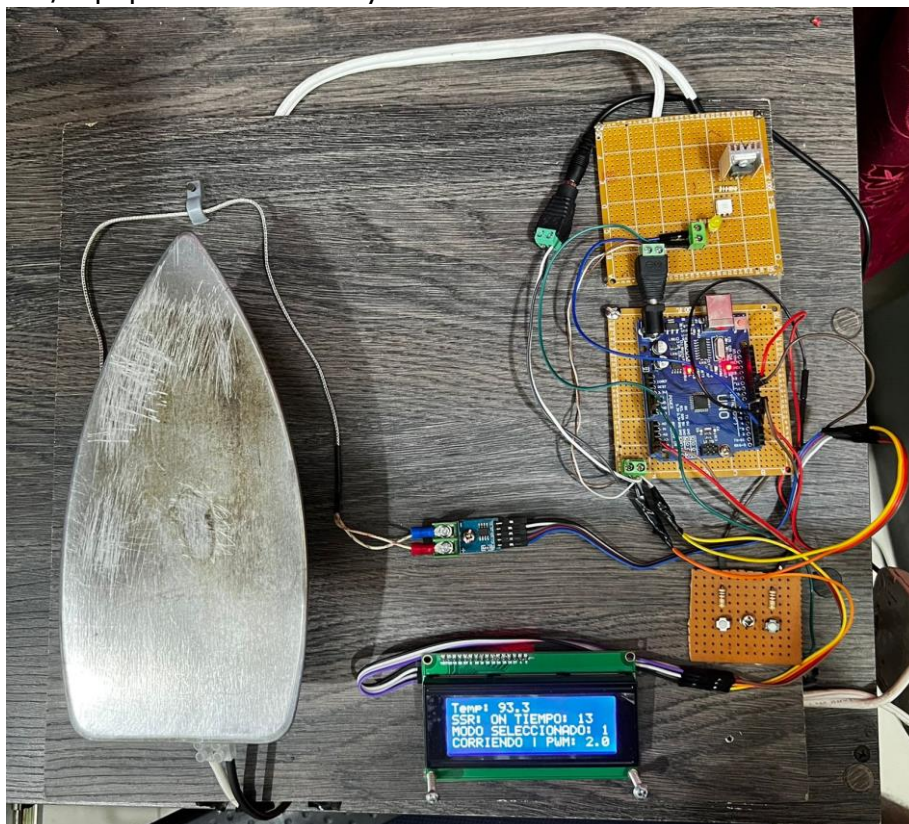
➤ Mensaje Bienvenida



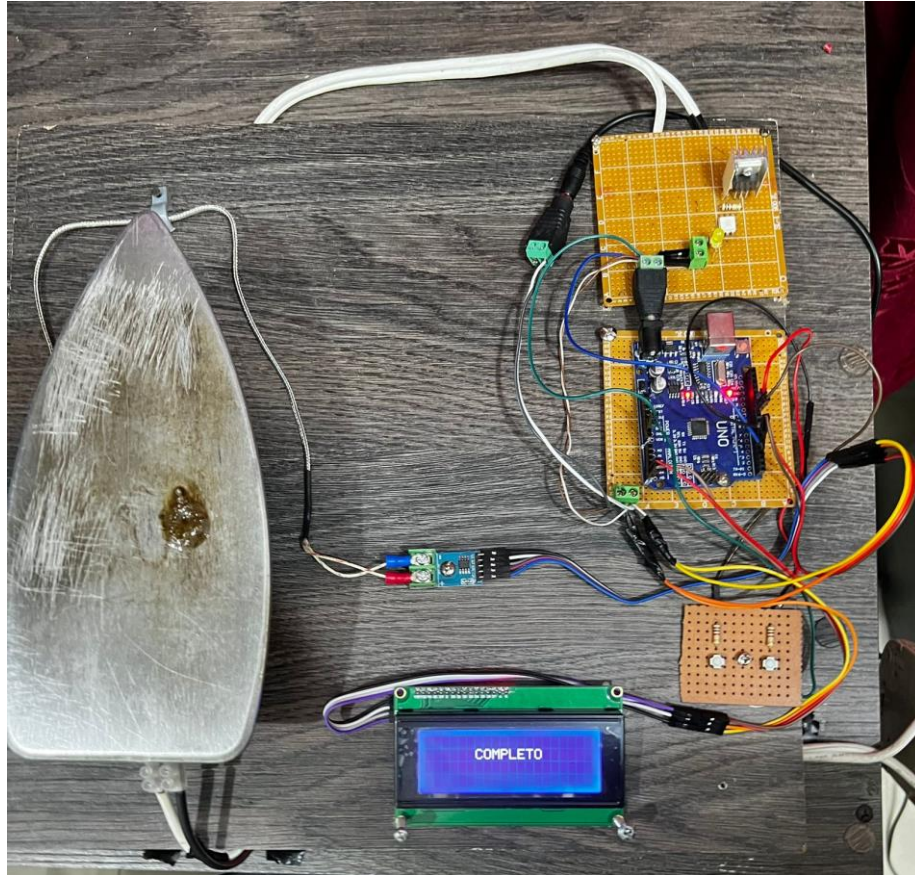
- Modo 0/Equipo detenido



- Modo 1/Equipo funcionando y calentando



- Plancha llega a la temperatura deseada/ Soldadura Completa



- Enfriamiento de plancha

