



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

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL  
PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS”**

Propuesta tecnológica presentada previa a la obtención del Título de  
Ingeniero en Electromecánica

**Autores:**

Melendres Peña Isabel Noemi  
Moya Rodríguez Jhonny Paúl

**Tutor:**

Ing. Navarrete López Luis Miguel M. Sc.

**LATACUNGA-ECUADOR**  
**FEBRERO-2024**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

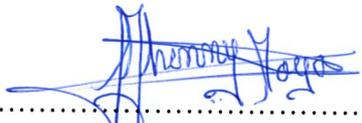
Melendres Peña Isabel Noemi con cédula de ciudadanía N. 1721140083 y Moya Rodríguez Jhonny Paúl con cédula de ciudadanía N. 1718818519, declaramos ser autores de la presente **PROPUESTA TECNOLÓGICA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS”**, siendo Ing. Luis Miguel Navarrete López M. Sc., tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero del 2024



.....  
Melendres Peña Isabel Noemi  
C.C.: 1721140083



.....  
Moya Rodríguez Jhonny Paúl  
C.C.: 1718818519

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte MELENDRES PEÑA ISABEL NOEMI, identificado con cédula de ciudadanía No. 1721140083 de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Electromecánica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS**”, el cual se encuentra elaborado según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: marzo 2013- septiembre 2014

Finalización de la carrera: octubre 2023- febrero 2024

Aprobación en consejo directivo: 23 de febrero del 2024

Tutor. Ing. Luis Miguel Navarrete López M. Sc.

Tema: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS**”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** – **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los días 23 del mes de febrero del 2024.



Melendres Peña Isabel Noemi  
**LA CEDENTE**

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph. D.  
**LA CESONARIA**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte MOYA RODRÍGUEZ JHONNY PAÚL, identificado con cédula de ciudadanía No. 1718818519 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Electromecánica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS**”, el cual se encuentra elaborado según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: marzo 2013- septiembre 2014

Finalización de la carrera: octubre 2023- febrero 2024

Aprobación en consejo directivo: 23 de febrero del 2024

Tutor. Ing. Luis Miguel Navarrete López M. Sc.

Tema: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS**”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** – **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como

de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los días 23 del mes de febrero del 2024.

Moya Rodríguez Jhonny Paúl  
**EL CEDENTE**

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph. D.  
**LA CESONARIA**

## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS”**, de Melendres Peña Isabel Noemi y Moya Rodríguez Jhonny Paúl, de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicha propuesta tecnológica es merecedora del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre defensa.

Latacunga, febrero del 2024



.....  
Ing. Navarrete López Luis Miguel M. Sc.  
C.C.: 1803747284  
**TUTOR**

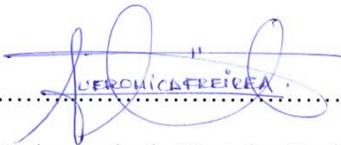
## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **MELENDRES PEÑA ISABEL NOEMI** y **MOYA RODRÍGUEZ JHONNY PAÚL**, con el título de Proyecto de titulación: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, febrero del 2024

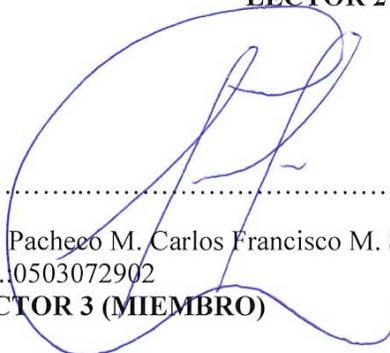
Para constancia firman:

  
.....  
VERÓNICA FREIRE

Ing. Freire Andrade Verónica Paulina M. Sc.  
C.C.: 0502056229  
**PRESIDENTE**

  
.....  
Cristian Gallardo

Ing. Gallardo M. Cristian Fabián M. Sc.  
C.C.: 0502847692  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

  
.....  
Ing. Pacheco M. Carlos Francisco M. Sc.  
C.C.: 0503072902  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco infinitamente a Dios y a mi madre que se encuentra a su lado, por ser mi fe y esperanza, y protegerme en cada paso dado hasta este momento tan añorado para mí. También agradezco a los docentes de la UTC que me ayudaron con su sabiduría y buenos consejos, que siempre me tendieron la mano para poder culminar esta hermosa carrera y por último agradezco a mi pareja por tantos sueños, algunos cumplidos y otros fallidos, pero siempre unidos.*

***Isabel Melendres***

## **AGRADECIMIENTO**

*Mi más sincero agradecimiento va a Dios y a la virgen del Quinche por protegerme en todo momento y lugar, a mis padres los cuales son los pilares fundamentales a lo largo de mi vida estudiantil alentándome siempre a superarme y ser mejor cada día, este logro no es solo mío sino también de ellos*

***Jhonny Moya***

## **DEDICATORIA**

*Dedico este documento a mi madre, quien ya se encuentra en cielo, pero sé que se alegraría mucho de saber que su hija logró cumplir una de sus tantas metas, y que va por más, siempre llevando su recuerdo en su mente y corazón.*

***Isabel Melendres***

## **DEDICATORIA**

*Con todo el amor y cariño posible dedico este fruto de mis años de estudio profesional a mi madre Gladis Rodríguez quien supo darme todo su apoyo tanto económico como emocional para que logre cumplir esta meta tan anhelada, a mi padre Marco Moya por siempre tenderme su mano en momentos difíciles y aconsejarme para ser un profesional con un alto grado de valores morales y éticos.*

***Jhonny Moya***

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	vi
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	ix
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	x
AGRADECIMIENTO .....	xi
AGRADECIMIENTO .....	xii
DEDICATORIA.....	xiii
DEDICATORIA.....	xiv
RESUMEN .....	xxiv
ABSTRACT .....	xxv
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xxvi
INFORMACIÓN GENERAL .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. EL PROBLEMA .....	4
1.1.1. Situación Problemática .....	4
1.1.2. Formulación del problema .....	5
1.1.3. Planteamiento del problema.....	5
1.2. BENEFICIARIOS .....	5
1.2.1. Beneficiarios directos .....	5
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	6
1.4. OBJETIVOS .....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos .....	6
1.5. TAREAS POR OBJETIVO.....	7

1.6.	RELACIÓN DE VARIABLES .....	8
1.6.1.	Variable dependiente .....	8
1.6.2.	Variable independiente .....	9
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	9
2.1.	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	9
2.2.	SOLDADURA .....	10
2.3.	SOLDADURA POR RESISTENCIAS .....	11
2.3.1.	Soldadura por resistencia de costura.....	11
2.3.2.	Soldadura por resistencia de protuberancia .....	12
2.3.3.	Soldadura por resistencia de rodillo o enrollable.....	12
2.3.4.	Soldadura de resistencia por puntos (RSW) .....	12
2.4.	PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA RSW.....	14
2.4.1.	Calor.....	14
2.4.2.	Presión .....	15
2.4.3.	Corriente .....	15
2.4.4.	Resistencia .....	15
2.4.5.	Tiempo.....	15
2.5.	CICLO RSW .....	16
2.5.1.	Squeeze time .....	16
2.5.2.	Weld time.....	17
2.5.3.	Cold time.....	17
2.5.5.	Off time.....	17
2.6.	PARTE MECÁNICA DE LA RSW .....	20
2.7.	PARTE ELÉCTRICA DE LA RSW .....	20
2.7.1.	El transformador .....	20
2.7.2.	Rectificador controlado de silicio (SCR).....	21

2.8.	TARJETA DE CONTROL.....	21
2.9.	CONTROL DE FASE APLICADO EN RSW .....	21
2.10.	ETAPAS EN EL CONTROL DE FASE.....	22
2.10.1.	Cruce por cero.....	22
2.10.2.	Ángulo de disparo .....	23
2.10.3.	Control de fase con dos SCR´s conectados en antiparalelo .....	23
2.11.	MICROCONTROLADOR PROGRAMABLE.....	24
2.11.1.	Entradas y salidas (E/S) .....	24
2.11.2.	CPU.....	24
2.11.3.	Memoria.....	24
2.12.	MICROCONTROLADOR ARDUINO .....	24
2.13.	ARDUINO NANO .....	25
2.14.	PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE DATOS LCD.....	25
2.15.	SENSOR.....	26
2.15.1.	Sensor de voltaje .....	26
2.15.2.	Sensor de temperatura.....	26
2.16.	ACTUADOR.....	27
2.16.1.	Ventilador .....	27
3.	METODOLOGÍA .....	28
3.1.	VOLTAJES Y CORRIENTES EN EL TRANSFORMADOR.....	28
3.2.	CRUCE POR CERO .....	28
3.3.	SCR´s CONECTADOS EN ANTIPARALELO .....	29
3.4.	RED SNUBBER.....	30
3.5.	STEP DOWN .....	31
3.6.	FILTRO PASA BAJO .....	32
3.7.	POTENCIÓMETROS .....	32

3.8.	FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	33
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	33
4.1.	RESISTENCIA EN BOBINADOS .....	33
4.2.	CÁLCULOS GENERALES.....	34
4.2.1.	Cálculos de corrientes en el transformador.....	34
4.2.2.	Cálculo de resistencias para optoacoplador PC817 .....	35
4.2.3.	Rango de funcionamiento del NCT 100K .....	36
4.2.4.	Cálculo de resistencias para MOC3021 .....	37
4.2.5.	Cálculo para Red Snubber .....	39
4.2.6.	Cálculo para Step Down .....	40
4.2.7.	Cálculo de capacitores .....	40
4.2.8.	Cálculo de resistencias variables .....	41
4.2.9.	Fuente de DC .....	42
4.2.10.	Cálculo de fusible de protección.....	42
4.2.11.	DISEÑO BÁSICO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	43
4.3.	SIMULACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL .....	44
4.4.	PROGRAMACIÓN EN IDE (ARDUINO).....	45
4.4.1.	Programación visualizada en pantalla LCD.....	45
4.4.2.	Diagramas de flujo del funcionamiento de RSW .....	47
4.5.	CONSTRUCCIÓN DE PLACA DE CONTROL .....	50
4.5.1.	Proceso CNC para elaboración de placa base.....	50
4.5.2.	Soldadura de elementos electrónicos .....	50
4.5.3.	Montaje y cableado de elementos de control.....	51
4.6.	IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL.....	51
4.6.1.	Fijación de módulo de control .....	51
4.6.2.	Instalación de elementos de visualización y regulación .....	52

4.7.	CALIBRACIÓN FINAL Y PUESTA EN MARCHA .....	52
4.8.	ENSAYOS DESTRUCTIVOS.....	53
4.9.	CURVAS I vs T.....	53
4.10.	OBTENCIÓN DE ÁNGULOS DE DISPARO .....	59
4.11.	TABLAS DE POTENCIA Y TIEMPOS .....	61
4.12.	ENSAYOS DE TRACCIÓN CON DIFERENTES ESPESORES.....	61
4.13.	ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	65
4.14.	IMPACTOS.....	67
4.14.1.	Impacto tecnológico.....	67
4.14.2.	Impacto social .....	67
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
5.1.	CONCLUSIONES.....	67
5.2.	RECOMENDACIONES .....	68
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
	ANEXOS.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de Ishikawa.....	5
Figura 2.1 Proceso de soldadura con electrodo .....	11
Figura 2.2 Soldadura por resistencia de costura .....	11
Figura 2.3 Soldadura por resistencia de protuberancia .....	12
Figura 2.4 Soldadura por resistencia de rodillo .....	12
Figura 2.5 Esquema de funcionamiento de una soldadura por resistencia por puntos.....	13
Figura 2.6 Funcionamiento de una soldadora de punto.....	13
Figura 2.7 Soldadora de resistencia por puntos .....	14
Figura 2.8 Factores que influyen en la soldadura.....	15
Figura 2.9 Fases de la soldadura por resistencia por puntos .....	16
Figura 2.10 Ciclo de soldadura por resistencia por puntos (RSW) .....	18
Figura 2.11 Sistema general de funcionamiento de una soldadora por resistencia por puntos	20
Figura 2.12 Transformador ideal .....	21
Figura 2.13 Simbología del SCR.....	21
Figura 2.14 Formas de onda de voltaje de entrada y de la carga usando el control de fase.....	22
Figura 2.15 Circuito detector cruce por cero inversor.....	22
Figura 2.16 Formas de ondas Entrada y Salida del circuito detector cruce por cero inversor .	23
Figura 2.17 Circuito aplicando el control de fase directo .....	23
Figura 2.18 Partes del Arduino Nano .....	25
Figura 2.19 Pantalla LCD 20X4 .....	25
Figura 2.20 Aplicaciones de los sensores .....	26
Figura 2.21 Tipos de actuadores.....	27
Figura 4.1 Medición de resistencia de bobinados.....	33
Figura 4.2 Conexión del cruce por cero .....	36
Figura 4.3 Conexión del NCT 100K .....	37

Figura 4.4 Conexión MOC3021 .....	39
Figura 4.5 Red Snubber instalado en módulo tiristor .....	40
Figura 4.6 Conexión de filtros capacitivos .....	41
Figura 4.7 Circuito regulador de potencia y tiempo de soldadura.....	41
Figura 4.8 Fuente DC 5 (V) / 2 (A) conectada al módulo de control.....	42
Figura 4.9 Fusible de protección para módulo de control .....	43
Figura 4.10 Diseño de la propuesta tecnológica.....	43
Figura 4.11 Circuito simulado de la propuesta tecnológica .....	45
Figura 4.12 Mensaje de bienvenida .....	46
Figura 4.13 Mensaje de parámetros.....	46
Figura 4.14 Programación de control de temperatura potencia y tiempo.....	46
Figura 4.15 Diagrama de flujo de una RSW .....	48
Figura 4.16 Diagrama de flujo de una RSW .....	49
Figura 4.17 Elaboración de placa base mediante CNC .....	50
Figura 4.18 Placa base elaborada con máquina CNC.....	50
Figura 4.19 Proceso de soldadura.....	51
Figura 4.20 Módulo de control .....	51
Figura 4.21 Colocación de módulo de control .....	51
Figura 4.22 Vista frontal de máquina soldadora .....	52
Figura 4.23 Onda de salida rectificadas .....	52
Figura 4.24 Pruebas de soldadura por puntos.....	53
Figura 4.25 Esquema de probetas para ensayos de tensión.....	53
Figura 4.26 Región de soldadura.....	54
Figura 4.27 Exceso y falta de aplicación de corriente.....	54
Figura 4.28 Curva I vs T con e= 0,4 (mm).....	55
Figura 4.29 Curva I vs T con e= 0,5 (mm).....	56

Figura 4.30 Curva I vs T con $e= 0,7$ (mm).....	56
Figura 4.31 Curva I vs T con $e= 0,9$ (mm).....	57
Figura 4.32 Curva I vs T con $e= 1,0$ (mm).....	58
Figura 4.33 Curva I vs T con $e= 1,2$ (mm).....	58
Figura 4.34 Curva I vs T con $e= 1,5$ (mm).....	59
Figura 4.35 Máquina de ensayos de tracción .....	62
Figura 4.36 Curva Última Fuerza Aplicada VS espesor aplicado.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tareas por objetivo .....	7
Tabla 1.2 Variable dependiente .....	8
Tabla 1.3 Variable Independiente.....	9
Tabla 2.1 Condiciones óptimas para RSW .....	19
Tabla 4.1 Valores de operación del transformador.....	33
Tabla 4.2 Características de cables super flexibles .....	35
Tabla 4.3 Valores de funcionamiento del NCT 100K.....	37
Tabla 4.4 Sumatoria de corrientes de consumo .....	43
Tabla 4.5 Pruebas de soldadura con $e= 0,4$ (mm) .....	55
Tabla 4.6 Pruebas de soldadura con $e= 0,5$ (mm) .....	55
Tabla 4.7 Pruebas de soldadura con $e= 0,7$ (mm) .....	56
Tabla 4.8 Pruebas de soldadura con $e= 0,9$ (mm) .....	57
Tabla 4.9 Pruebas de soldadura con $e= 1,0$ (mm) .....	57
Tabla 4.10 Pruebas de soldadura con $e= 1,2$ (mm) .....	58
Tabla 4.11 Pruebas de soldadura con $e= 1,5$ (mm) .....	59
Tabla 4.12 Formas de onda en la carga con varios espesores .....	60
Tabla 4.13 Medición de Potencia, tiempo y diámetro de punto fusionado .....	61
Tabla 4.14 Resultados de ensayos destructivos.....	62
Tabla 4.15 Resultados de Ensayos de Tracción .....	63
Tabla 4.16 Resultados finales.....	64
Tabla 4.17 Detalle de costos de Módulo de Control .....	65
Tabla 4.18 Detalle de equipos utilizados.....	66
Tabla 4.19 Detalle de transporte utilizado.....	66
Tabla 4.20 Detalle de mano de obra.....	66
Tabla 4.21 Costo total de la Propuesta Tecnológica .....	67

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

### TITULO: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS”

#### **Autores:**

Melendres Peña Isabel Noemi

Moya Rodríguez Jhonny Paúl

#### **RESUMEN**

La presente propuesta tecnológica consiste en el desarrollo de un módulo de control para la soldadora de resistencia por puntos marca Spotmatic International ubicada en la Universidad Técnica de Cotopaxi mediante la implementación de elementos electrónicos fáciles de conseguir para la generación soldaduras resistentes a la tracción. Es importante indicar que el control anterior de la máquina era inestable lo que ocasionó el paso de corrientes altas por las pistas de la placa principal y por el elemento de control de potencia causando daños irreparables. Para lograr un mejor control en los parámetros de soldadura se resolvió la implementación de una nueva tarjeta de control que contiene varios elementos electrónicos, los cuales son: un sensor de temperatura de tipo termistor NTC; un sensor de voltaje, optoacopladores, un módulo tiristor, un microcontrolador programable y finalmente potenciómetros que varían la potencia entregada al transformador y el tiempo de soldadura dependiendo del espesor que se desee soldar, además los valores parametrizados de temperatura, tiempo de soldadura, potencia aplicada y voltaje eficaz pueden ser visualizados mediante una interfaz HMI. Obteniendo como resultado de las pruebas de tracción efectuadas, con un espesor de 0,4 (mm) se separó el material a una fuerza de 1983,91 (N) mientras que con un espesor de 1,5 (mm) se desprendió el material con una fuerza de 10110,81 (N), en adición para láminas metálicas con espesores de 0,4 (mm) la potencia aplicada es de 50 (%) con un tiempo de soldadura de 100 (ms) mientras que, para espesores de 1,5 (mm) su potencia será fijada en 95 (%) con un tiempo de soldadura de 300 (ms).

**Palabras clave:** máquina soldadora, control, microcontrolador, sensor, actuador, SCR.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**TITLE: “DESIGN AND CONSTRUCTION OF A RESISTANCE SPOT WELDING MACHINE CONTROL MODULE”**

**Authors:**

Melendres Peña Isabel Noemi

Moya Rodríguez Jhonny Paúl

## ABSTRACT

The present technological proposal consists of the development of a control module for the Spotmatic International brand resistance spot welder located at the Technical University of Cotopaxi through the implementation of easily available electronic elements for the generation of traction-resistant welds. It is important to indicate that the previous control of the machine was unstable, which caused high currents to pass through the tracks of the main board and through the power control element, causing irreparable damage. To achieve better control of the welding parameters, the implementation of a new control card was resolved that contains several electronic elements, which are: an NTC thermistor type temperature sensor; a voltage sensor, optocouplers, a thyristor module, a programmable microcontroller and finally potentiometers that vary the power delivered to the transformer and the welding time depending on the thickness to be welded, in addition to the parameterized values of temperature, welding time, applied power and effective voltage can be displayed through an HMI interface. Obtaining as a result of the tensile tests carried out, with a thickness of 0.4 (mm) the material was separated at a force of 1983.91 (N) while with a thickness of 1.5 (mm) the material was detached with a force of 10110.81 (N), in addition for metal sheets with thicknesses of 0.4 (mm) the applied power is 50 (%) with a welding time of 100 (ms) while, for thicknesses of 1.5 (mm) its power will be set at 95 (%) with a welding time of 300 (ms).

**Keywords:** welding machine, control, microcontroller, sensor, actuator, SCR

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

**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**Melendres Peña Isabel Noemi**  
**Moya Rodríguez Jhonny Paúl**

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

**Cárdenas Guanoluisa Olga María de los Ángeles** con cedula de identidad N.- **1707530141**, Magister en la Enseñanza de Inglés, con número de registro del SENECYT: **1027-11-720602**; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen de la propuesta tecnológica con el título **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS”** de: **Melendres Peña Isabel Noemi y Moya Rodríguez Jhonny Paúl**, egresados de la carrera de **Ingeniería Electromecánica** perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

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

Latacunga, febrero 2024

**Cárdenas Guanoluisa Olga María de los Ángeles**

C.I. 1707530141

Email: ocardenas7@yahoo.com

## **INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del proyecto:**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA UNA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS”

**Tipo de proyecto:** Propuesta Tecnológica

**Fecha de inicio:** octubre 2023

**Fecha de finalización:** febrero 2024

**Lugar de ejecución:** Laboratorio de Mecanizado de la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Electromecánica

### **Equipo de trabajo:**

#### **Tutor de Titulación:**

**Nombres y Apellidos:** Ing. Luis Navarrete M. Sc.

**Cedula de ciudadanía:** 1803747284

**Número telefónico:** 0988556656

**E-mail:** [luis.navarrete7284@utc.edu.ec](mailto:luis.navarrete7284@utc.edu.ec)

#### **Ponente 1:**

**Nombres y Apellidos:** Isabel Noemi Melendres Peña

**Cedula de ciudadanía:** 1721140083

**Número telefónico:** 0981828019

**E-mail:** [isabel.melendres3@utc.edu.ec](mailto:isabel.melendres3@utc.edu.ec)

**Ponente 2:**

**Nombres y Apellidos:** Jhonny Paúl Moya Rodríguez

**Cedula de ciudadanía:** 1718818519

**Número telefónico:** 0998973968

**E-mail:** [jhonny.moya9@utc.edu.ec](mailto:jhonny.moya9@utc.edu.ec)

**Área de Conocimiento:** (07) Ingeniería, industria y construcción

**Subárea de conocimiento:** (071) Ingeniería y profesiones afines

**Subárea específica de conocimiento:** (0714) Electrónica y automatización

**Línea de investigación:** Procesos industriales

**Sub líneas de investigación:** Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las soldadoras de resistencia por puntos desempeñan un papel vital en la fabricación de componentes electromecánicos, proporcionando conexiones precisas y eficientes. Sin embargo, enfrentan desafíos a la hora de controlar la precisión, la corriente que pasa por los electrodos y el exceso de temperatura durante la soldadura produciendo daños en las chapas metálicas. Las soluciones de control existentes pueden carecer de la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones de trabajo sin optimizar la calidad de las uniones soldadas.

Otro problema existente, es que las soldadoras con más de 10 años en funcionamiento pasan a ser obsoletas disminuyendo los repuestos necesarios en caso de alguna falla en su sistema, ya que las nuevas máquinas soldadoras son digitales y contiene aparatos electrónicos más sensibles y con un mayor rango de variación en sus parámetros de soldadura.

La falta de un módulo de control dedicado para soldadoras de resistencia por puntos antiguas u obsoletas limita su eficiencia operativa y la ampliación de su vida útil. Es posible que las tecnologías actuales no satisfagan plenamente las necesidades cambiantes de la industria, por lo que existe una clara necesidad de un enfoque innovador para mejorar la precisión, flexibilidad y eficiencia adaptables a los antiguos sistemas de operación.

Por ello, la propuesta tecnológica se centra en diseñar y construir un módulo de control avanzado para solucionar la deficiencia de las soldadoras de resistencia por puntos antiguas como la existente en el Laboratorio de Mecanizado de la Facultad de Ciencias de la ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi y proporcionar soluciones integrales obteniendo resultados de calidad en los puntos de soldadura generados.

Este módulo de control constará de un sensor de temperatura, un sensor de voltaje, varios potenciómetros, un microcontrolador programable, finalizando con un módulo tiristor que cuenta en su interior dos SCR's de potencia, los cuales se conectarán en antiparalelo, los valores de temperatura, potencia y tiempo serán visualizados en la parte frontal de la soldadora de resistencia por punto mediante una pantalla LCD.

## **1.1. EL PROBLEMA**

### **1.1.1. Situación Problemática**

En la actualidad el Laboratorio de Mecanizado de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, tiene una soldadora de resistencia por puntos que se encuentra deshabilitada debido al daño en su tarjeta principal y el dispositivo de control de potencia contando solo con su parte estructural, la cual está conformada por: carcasa, porta electrodos, electrodos y un transformador en su parte interior, ocupando un espacio muerto.

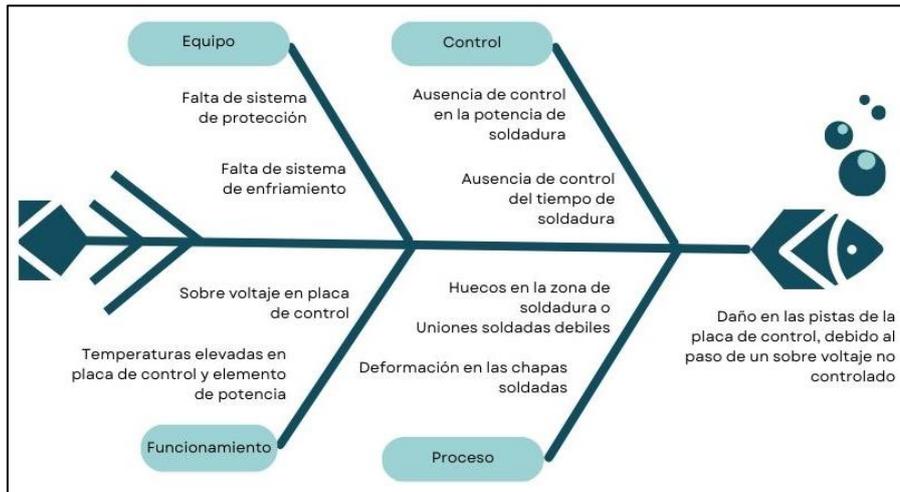
El daño se produjo por la inexistencia de control sobre sus parámetros de funcionamiento al momento de soldar como, por ejemplo, al momento de soldar planchas metálicas de espesores menores a 0.7 (mm) de espesor circulaba una sobre corriente por los electrodos generándose un calor superior al estandarizado provocando huecos en la zona de soldadura y viceversa cuando se deseaba soldar chapas metálicas mayores a 1 (mm) de espesor circulaba una corriente baja sin producirse la unión de los materiales.

Tampoco fue posible el encontrar repuestos similares a los originales ya que no están disponibles en la actualidad por la discontinuidad de su fabricación, por lo que se volvió imprescindible el diseño de una nueva placa de control, con una mejora en la regulación del control de su potencia, en los tiempos de soldadura y de la temperatura en el módulo tiristor.

Para solucionar este inconveniente principal se desarrollará un módulo de control que constará principalmente de un microcontrolador programable, una fuente de alimentación, un sensor de temperatura, un sensor de voltaje, un módulo tiristor que consta de dos SCR's que serán conectados en antiparalelo, mientras que para la regulación de la forma de onda y tiempo de conducción del proceso de soldadura se utilizarán dos potenciómetros, estos parámetros de regulación se podrán visualizar mediante una pantalla LCD, además se contará con una luz piloto que dará aviso de que la máquina soldadora se encuentra en funcionamiento y tendrá un pulsante de emergencia que detendrá el proceso de soldadura inmediatamente, desactivando el módulo tiristor y la tarjeta de control.

La soldadora de resistencia por puntos será accionada de manera manual, mientras que su tiempo y potencia de soldadura serán controlados de forma digital. La implementación de la propuesta tecnológica estará compuesta por dispositivos electrónicos y de control industrial fabricados y utilizados en la actualidad.

### 1.1.2. Formulación del problema



**Figura 1.1** Diagrama de Ishikawa  
**Fuente:** Grupo Investigador

### 1.1.3. Planteamiento del problema

En la soldadora de resistencia por puntos se evidenció daños en las pistas de la placa de control, lo que indica que existió un sobre voltaje no controlado que pasó a través de los elementos electrónicos de dicha placa generando daños irreparables en las etapas de cruce por cero, sistema de control, y control de potencia, lo que ocasionó que la misma quede fuera de funcionamiento. Cabe señalar que estas tarjetas de control ya no se encuentran en el mercado por lo que no fue posible la obtención de un reemplazo de la misma con el proveedor o fabricante.

## 1.2. BENEFICIARIOS

### 1.2.1. Beneficiarios directos

Estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, así como también los docentes, empleados que requieran de esta máquina soldadora dentro del Laboratorio de Mecanizado de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### 1.2.2. Beneficiarios indirectos

Miembros de la comunidad por medio de la vinculación con la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

En base a la problemática planteada en el diagrama de Ishikawa en la figura 1.1 y correlacionado con el planteamiento del problema se pueden evidenciar los daños en los elementos electrónicos en la placa de control debido al paso de altos valores de voltaje por las pistas, así como la carencia de los repuestos de los componentes debido a su discontinuidad en la fabricación. Otra posible causa de la falla de la máquina soldadora es la falta de un sistema de protección adecuado lo que ocasionó corrientes inversas de retorno.

En la actualidad estas máquinas soldadoras se encuentran descontinuadas en su fabricación, adicionalmente la soldadora de resistencias por puntos marca Spotmatic International modelo SCA- 250 24 fue fabricada hace 19 años por lo que es muy difícil encontrar maquinarias similares que cuente con las misma características y funcionamiento para encontrar repuestos.

Por los motivos antes descritos es necesario el diseño e implementación de una nueva placa principal de control que cuente con elementos electrónicos existentes en el mercado que tengan mejores rangos de precisión al momento de controlar los tiempos, la temperatura y la potencia de soldadura, así como también que cumplan con los parámetros de diseño.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Desarrollar un módulo de control para la soldadora de resistencia por puntos ubicado en el Laboratorio de Mecanizado de la Universidad Técnica de Cotopaxi, mediante la implementación de elementos electrónicos de potencia, elementos eléctricos y elementos de protección para la producción de puntos resistentes a la tracción.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Investigar los datos técnicos de funcionamiento de este modelo de soldadura de resistencia por puntos mediante la navegación por internet de fuentes bibliográficas.
- Diseñar el módulo de control con los componentes eléctricos y electrónicos actuales en el mercado para la rehabilitación de esta máquina soldadora.
- Implementar el módulo de control en la soldadora de resistencia por puntos para la realización de puntos de suelda con diferentes espesores de chapas metálicas.
- Validar el funcionamiento de la máquina soldadora con el control de potencias y tiempos de suelda.

## 1.5. TAREAS POR OBJETIVO

Tabla 1.1 Tareas por objetivo

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
<p>Investigar los datos técnicos de funcionamiento de este modelo de soldadura de resistencia por puntos mediante la navegación por internet de fuentes bibliográficas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación del proceso de soldadura de resistencias por puntos, reuniendo fuentes bibliográficas virtuales.</li> <li>• Compilación de datos sobre soldadoras que tengan el mismo principio de funcionamiento.</li> <li>• Búsqueda de elementos electrónicos de control existentes en el mercado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación de bibliografía seleccionada sobre procesos de soldadura, tipos de soldadoras que existen, y principio de funcionamiento de la soldadura por resistencias por puntos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Búsqueda en la red.</li> <li>• Data sheet's de elementos electrónicos.</li> </ul>
<p>Diseñar el módulo de control con los componentes eléctricos y electrónicos actuales en el mercado para la rehabilitación de esta máquina soldadora.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección de elementos de control en páginas oficiales de distribuidores autorizados de materiales electrónicos dentro y fuera del país.</li> <li>• En el programa de simulación electrónico se realiza los diagramas con todos los elementos de control y cableado en general.</li> <li>• Compra de baquelita, elementos electrónicos, y de control de potencia.</li> <li>• Impresión del circuito base en la baquelita.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista seleccionada de repuestos eléctricos y electrónicos para ser implementados en la placa principal.</li> <li>• Planos del circuito de control y fuerza de la placa principal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuniones con proveedores.</li> <li>• Uso de programas de simulación y diseño electrónico.</li> </ul>

Implementar el módulo de control en la soldadora de resistencia por puntos para la realización de pruebas de soldadura con diferentes espesores de chapas metálicas, calibración y puesta en marcha.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soldadura de los elementos ya seleccionados en la placa principal.</li> <li>• Colocación de la placa principal y sus componentes en la estructura de soporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulo de control con buena sujeción de los elementos y cables de conexión, además de la visualización de los parámetros de control, en la pantalla LCD, misma que esta empotrada en la soldadora de resistencia por puntos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método CNC en baquelita.</li> <li>• Soldadura electrónica con estaño 60/40 que tiene (60%) estaño y 40(%) plomo.</li> <li>• Calibrador Vernier.</li> <li>• Flexómetro.</li> <li>• Cizalla manual.</li> </ul>
Validar el funcionamiento de la máquina soldadora con el control de potencias y tiempos de suelda.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboración de probetas de chapas metálicas de diferentes espesores.</li> <li>• Ensayos destructivos de tracción en probetas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección visual y medición de puntos de soldadura para calibración de parámetros de tiempo y potencia.</li> <li>• Mediciones de última fuerza aplicada (N)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina de ensayos destructivos.</li> </ul>

Fuente: Grupo Investigador

## 1.6. RELACIÓN DE VARIABLES

### 1.6.1. Variable dependiente

Tabla 1.2 Variable dependiente

<b>Variable Dependiente: Unión de dos materiales a través de un proceso de soldadura mejorando tiempo y ciclos.</b>					
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumento</b>
Control de espesores de chapas metálicas por medio del control del tiempo y potencia para la optimización de la soldadora de resistencia por puntos.	Tiempo	Tiempo de control de fase	ms	Medición	Osciloscopio
	Voltaje	Forma de onda de fase	Hz	Medición	Osciloscopio
	Espesor	Dimensión de soldadora	mm	Medición	Calibrador pie de rey

Fuente: Grupo Investigador

## 1.6.2. Variable independiente

Tabla 1.3 Variable Independiente

<b>Variable Independiente: Construcción de una placa de control para la soldadora de resistencia por puntos a través del control de dos SCR's conectados en antiparalelo.</b>						
<b>Concepto</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Ítem</b>	<b>Indicador</b>	<b>Instrumento</b>
Proceso de cambio de magnitudes físicas a magnitudes eléctricas para lectura y control del proceso de soldadura.	Análoga	Temperatura	Voltaje variable	1(°C) / 10 (mV)	LCD (20X4)	Multímetro
	Análoga	Voltaje	Voltaje variable	0-250 (V)	LCD (20X4)	Multímetro
	Análoga	Potenciómetro	Voltaje variable	0-5 (V)	LCD (20X4)	Multímetro
	Digital	Cruce por cero	ON-OFF	0-5 (V)	Programación	Osciloscopio
	Digital	Ángulo de disparo	ON-OFF	0-5 (V)	Programación	Multímetro
	Digital	Paro de emergencia	ON-OFF	0-5 (V)	Programación	Multímetro
	Digital	LCD	I2C	Programación	LCD (20X4)	Programación
	Digital	SCR	Voltaje variable	0-5 (V)	LCD (20X4)	Osciloscopio

Fuente: Grupo Investigador

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

A finales del siglo XIX se realizó el descubrimiento de la conversión de energía eléctrica en calor por parte del James Prescott Joule siendo este el principio de funcionamiento de la soldadura por resistencia, implicando la generación de una cantidad controlada de calor por la resistencia al paso de corriente eléctrica a través de un conductor.

En el siglo XX la producción de soldadoras de resistencia por puntos fue en aumento ya que este método era el más rápido y eficaz para conseguir uniones de chapas metálicas en la manufactura de carrocerías. En la actualidad este método de soldadura es requerido en la fabricación de electrodomésticos, electrónica, automóviles, entre otros.

A continuación se presentan varios proyectos de titulación donde se desarrollaron la automatización de soldadoras por puntos:

- En 2011 la Escuela Politécnica Nacional en Quito - Ecuador tuvo como tesista al Sr. Diego Armando Nacimba Nacimba realizó la “Automatización de una soldadora de punto

estática” donde se implementó dos tipos de alarmas asegurando mejores resultados en los puntos de soldadura con la presión justa inyectando aire suficiente calibrando la corriente de soldadura utilizando un teclado matricial y una pantalla LCD, con un rango de 50 (%) al 99 (%) correspondiendo a 7,5 (kA) y 13 (kA) respectivamente al momento de activar la máquina soldadora [1].

- En 2013 la Universidad Tecnológica Equinoccial en Santo Domingo – Ecuador tuvo como tesis a los Srs. Franco Paúl Sotomayor Cueva y Ayrton Michael Tandazo Nivelá que realizaron el “Diseño y construcción de una soldadora semiautomática por puntos de resistencia para espesores de hasta 3mm” contando con un sistema eléctrico con varios elementos como un contactor, un relay, un PLC, disyuntores, pulsadores, un sistema de control y una pantalla HMI de 7”. Se concluyó por medio de pruebas de corriente que en el TAP 4 su intensidad empieza en 2 949 (A) y llega a 4 638 (A) mientras que su voltaje se disminuye de 1,48 (V) a 1,43 (V) con un tiempo de 8 (s) de sujeción de los electrodos durante su proceso de soldadura [2].
- En 2017 la Escuela Politécnica Nacional en Quito - Ecuador tuvo como tesis al Sr. Edwin Augusto Villacis Pabón realizó la “Implementación de un sistema de control en la soldadora de resistencia por puntos marca Kywi operada por pie del Laboratorio de Soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica” implementando un relé lógico programable LOGO OBA6 el cual indica el modo de variación de tiempo y potencia aplicados en los electrodos tomando en cuenta que su periodo medido de ciclos de soldadura es de  $\frac{1}{60}$  (s) que fue regulando con el uso de un temporizador on delay [3].

## 2.2. SOLDADURA

Como se indica en la figura 2.1 es un proceso donde se unen dos o más piezas metálicas o diferentes aleaciones, generalmente metales o en ciertos casos materiales termoplásticos, mediante la aplicación de calor, presión o una combinación de ambos. El objetivo de la soldadura es crear conexiones fuertes y duraderas entre piezas o partes metálicas para que actúen como una única unidad estructural. Indispensable en la fabricación y la construcción de estructuras metálicas, este método hace viables formaciones intrincadas y funde piezas de metal en una infinidad de campos como el transporte, la exploración espacial, la arquitectura, la tecnología y otros [4].



**Figura 2.1** Proceso de soldadura con electrodo  
**Fuente:** [5]

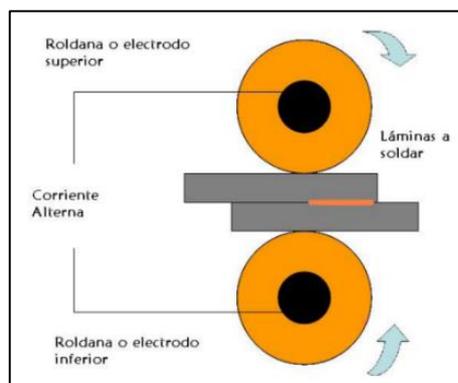
La soldadura tiene varias técnicas y métodos para lograr la unión de dos chapas o partes metálicas de diferentes espesores dependiendo del proceso que se necesite ensamblar se suelen implementar soldaduras utilizando arco eléctrico, resistencia, gas, láser, explosión, etc. Estos métodos varían en la fuente de calor utilizada, el tipo de equipo necesario y las aplicaciones para las que son más adecuados. La soldadura desempeña un papel crucial en la fabricación moderna y la construcción, contribuyendo a la creación de una amplia variedad de productos y estructuras.

### **2.3. SOLDADURA POR RESISTENCIAS**

Su principio de funcionamiento son las resistencias eléctricas que calientan la zona de unión entre las piezas por medio del paso de una alta corriente eléctrica a través de los electrodos, aplicando una cierta presión generándose la soldadura [6].

#### **2.3.1. Soldadura por resistencia de costura**

Esta es similar a la soldadura de resistencia por puntos, aplicándose a lo largo de una costura continua como se observa en la figura 2.2 siendo ocupada para la unión de planchas o láminas metálicas largas [7].



**Figura 2.2** Soldadura por resistencia de costura  
**Fuente:** [7]

### 2.3.2. Soldadura por resistencia de protuberancia

También se la conoce como soldadura por resistencia de botones o soldadura de espárragos, en la figura 2.3 se visualiza la unión de espárragos o protuberancias metálicas a una superficie base, produciendo una conexión sólida, fácil y rápida [8].

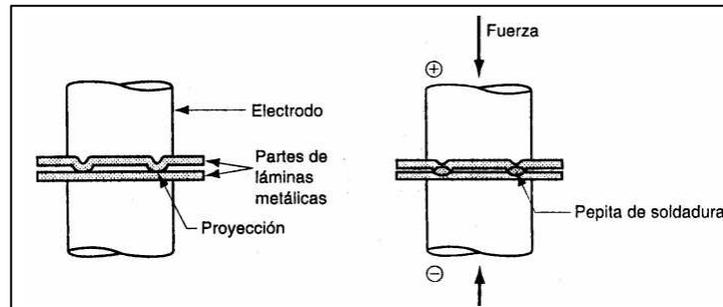


Figura 2.3 Soldadura por resistencia de protuberancia  
Fuente: [9]

### 2.3.3. Soldadura por resistencia de rodillo o enrollable

En la figura 2.4 se puede ver esta soldadura, donde las piezas se colocan entre rodillos conductores que aplican una cierta presión y corriente eléctrica, siendo utilizada para la unión de tanques y tubos [10].

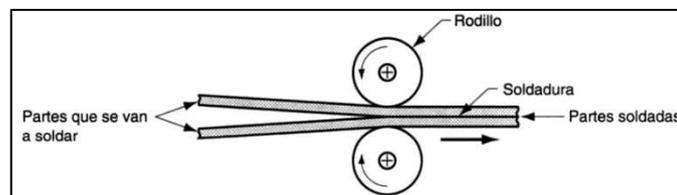


Figura 2.4 Soldadura por resistencia de rodillo  
Fuente: [9]

### 2.3.4. Soldadura de resistencia por puntos (RSW)

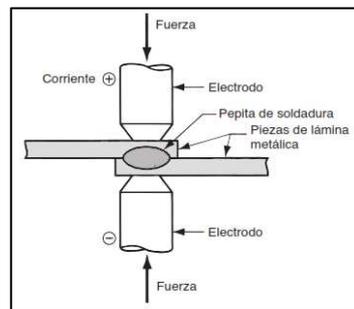
Resistance Spot Welding en inglés o soldadura de resistencia por puntos se fundamenta la combinación de presión y en la generación de calor por medio de resistencias eléctricas que se activan cuando pasa una cierta cantidad alta de corriente a través de los metales por unir.

Para este método las láminas metálicas delgadas son las más utilizadas, teniendo diferentes finalidades como, la construcción de estructuras de puertas, cerramientos, techos, partes de automóviles, entre otros.

Su proceso de soldadura como se indica en la figura 2.5 es la siguiente:

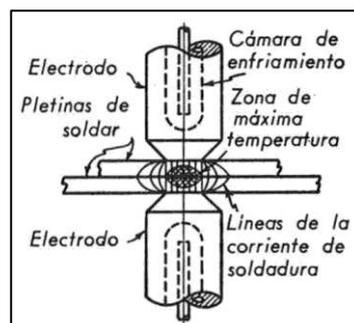
Se colocan entre las puntas (electrodos) de la máquina soldadora dos o más piezas de material metálico o termo plástico.

Las piezas metálicas se funden cuando una cantidad de corriente eléctrica muy alta fluye a lo largo de los electrodos hacia los metales en el punto de contacto, produciendo calor haciendo que se forme la unión mediante la fundición [11].



**Figura 2.5** Esquema de funcionamiento de una soldadura por resistencia por puntos  
**Fuente:** [11]

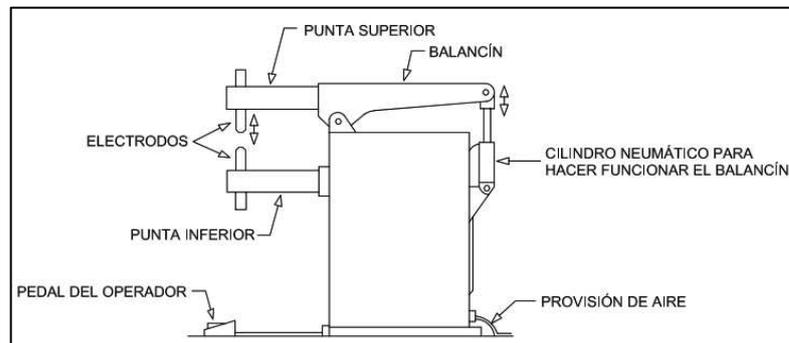
Cuando la presión es aplicada en los electrodos se cierra el circuito pasando la corriente en el punto de la zona de contacto de las planchas metálicas, derritiendo el material donde es la zona específica de generación de calor, obteniendo un punto de suelda dado por la fundición de las piezas, segundos después dichas piezas se enfrían y se solidifican, en la figura 2.6 se detalla las zonas de calor en los distintos puntos de los electrodos cuando cierran el circuito y dejan pasar la corriente que puede ser igual o mayor a 10000 (A) [12].



**Figura 2.6** Funcionamiento de una soldadora de punto  
**Fuente:** [12]

La mayoría de las soldadoras por resistencia por puntos, tienen el esquema de la figura 2.7, donde sus electrodos están fabricados con aleaciones de cobre, y compuestos de materiales refractarios (cobre y tungsteno) minimizando la resistencia eléctrica permitiendo así el mejor paso de la corriente que se da a través de ellos, disipando el calor rápidamente, en cambio las piezas a soldar, que por lo general son metálicas, tienen una resistencia superior a la de los electrodos, entonces, al momento de aplicar una cantidad alta de corriente que pasa por los

electrodos trata de pasar por el material que se desea unir, causando un derretimiento en la zona de contacto que se le conoce como punto de soldadura, de allí que llevan su denominación [13].



**Figura 2.7** Soldadora de resistencia por puntos

Fuente: [14]

## 2.4. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA RSW

### 2.4.1. Calor

La generación de calor está dada por la circulación de corriente, acompañados con el control en la resistencia y el tiempo empleados durante la unión de los metales a soldar, todo esto está compilado en la siguiente ecuación.

$$Q = k * I^2 * R * t \quad (2.1)$$

Donde:

Q = Calor generado (J)

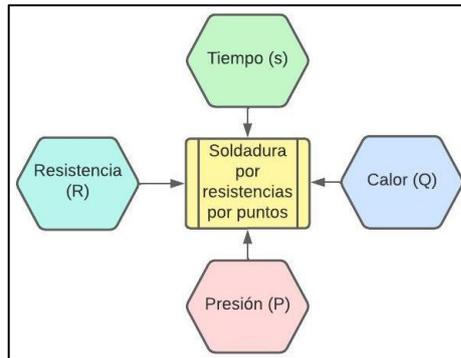
I = Corriente (I)

R = Resistencia

t = Tiempo (s)

k= Constante de perdida de calor

La figura 2.8 conforma los factores que afecta directamente a la soldadura de resistencia por puntos, son la corriente (I) la resistencia (R) el tiempo (s) y la presión (P), este último parámetro es el que cierra el circuito juntando los electrodos teniendo en medio de ellos las piezas metálicas que se desean soldar llegando a provocar una fusión entre ellas generando así un punto de soldadura consistente y de buena calidad.



**Figura 2.8** Factores que influyen en la soldadura  
**Fuente:** Grupo Investigador

### 2.4.2. Presión

La presión debe ser la adecuada al momento de soldar dos piezas metálicas, ya que si esta es muy débil se producen esparcimientos internos y externos, porosidades en las superficies de los materiales, quedando incluso rebabas adheridas en los electrodos. En cambio, si se ejerce demasiada presión, lo cual se produce, en ciertos casos, por el desgaste de los electrodos, generan penetraciones profundas o perforaciones en el material a soldar.

### 2.4.3. Corriente

Se mide en el orden de miles de amperios, con un valor típico de 10000 (A). Mientras mayor sea la corriente que pase por los electrodos, mayor será el calor generado en la zona de soldadura debido al efecto joule impuesto en la ecuación anteriormente descrita, teniendo sus valores de funcionamiento desde los 7000 (A) hasta los 18000 (A) para el acero.

### 2.4.4. Resistencia

La resistencia del material de los electrodos de la soldadora de puntos dependerá del grosor, longitud y conductividad de las piezas a soldar, su valor aumenta cuando se colocan piezas de mayor espesor, entonces para que se llegue a completar el proceso de soldadura la resistencia de estos electrodos deben estar en el orden de los micro ohmios por metro ( $\mu\Omega\text{m}$ ), por lo general el acero tiene resistencia de 60 ( $\mu\Omega\text{m}$ ) a 150 ( $\mu\Omega\text{m}$ ) [15].

### 2.4.5. Tiempo

Previamente al inicio del proceso de soldadura, se debe tener en cuenta la naturaleza finita del tiempo, generar calor en la zona de soldadura de las piezas para que se encuentre cerca de su punto de fusión necesita un tiempo suficiente para que la intensidad de corriente produzca un efecto antes de la aplicación de presión para soldarlas firmemente. El tiempo en la soldadura de

resistencia por puntos se ajusta y prueba según las cualidades únicas de cada aplicación. Para esto se debe conocer el pulso de soldadura, siendo este el tiempo que se demoran los electrodos en soldar piezas metálicas o de ciertas aleaciones.

Si su pulso es largo se produce demasiado calor, provocando deformaciones o agujeros en los materiales, ahora si su pulso es corto no se genera la unión en la zona de soldadura, por lo tanto, es necesario la optimización de la relación calor-tiempo, para esto en la actualidad tenemos controles electrónicos, que dan un excelente control del tiempo, siendo utilizados para una buena soldadura por puntos donde la operación de unión se realiza extremadamente rápido, en aproximadamente medio minuto [16].

## 2.5.CICLO RSW

La soldadura de resistencia por puntos tiene un ciclo se divide en tres fases que se miden en ciclos por segundo, proporciona la capacidad de analizar la creación de un punto de soldadura que se podría considerar que se genera al instante, pero no es así, es una progresión que lleva tiempo [17].

En cada fase de soldadura que se visualiza en la figura 2.9 tenemos parámetro de funcionamiento, en la fase mecánica, existe el Squeeze Time y el Off Time, después tenemos la fase eléctrica donde aparecen el Weld Time y el Cold Time, ya por último tenemos la fase metalúrgica donde surge el Hold time [18].

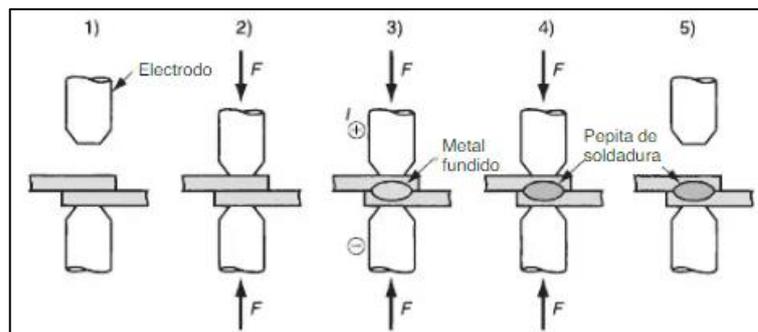


Figura 2.9 Fases de la soldadura por resistencia por puntos

Fuente: [19]

### 2.5.1. Squeeze time

También llamado tiempo de apriete, es el tiempo durante el cual los electrodos se cierran para aplicar presión a las piezas que se están uniendo, asegurándose el buen contacto entre piezas, preparándolas antes de que comience el paso de la corriente de soldadura.

### **2.5.2. Weld time**

Es el intervalo de tiempo programado durante el cual fluye corriente a través del material a soldar (el mismo material que está bajo presión). Este tiempo de soldadura asegura la generación y formación del punto de soldadura, es decir, el tiempo necesario para formar un punto de suelda.

### **2.5.3. Cold time**

Este tiempo se produce cuando la corriente del Weld time acaba produciéndose un enfriamiento garantizado. Debido a que la corriente y el calor generado son grandes, pudiendo derretir el material del electrodo en ciertos casos, por lo que generalmente se usa para soldar con espesores gruesos y si estamos trabajando con soldaduras de costuras donde existen la secuencia Weld Time - Cold Time - Weld Time.

### **2.5.4. Hold time**

Conocido como tiempo de presión, es el intervalo de tiempo durante el cual el electrodo se acerca al material y comprime la unión soldada hasta asegurar suficiente presión para el proceso de soldadura. Este tiempo será normalmente largo siendo el necesario para obtener el contacto entre la punta de los electrodos y la zona a soldar antes de que fluya la corriente.

### **2.5.5. Off time**

Conocido como tiempo de apertura, es el intervalo de tiempo durante el cual el electrodo se desprende de la unión soldada y reinicia el ciclo para realizar el siguiente punto de soldadura. En este tiempo se origina la separación del electrodo y en ciertos casos da paso a repetir el ciclo de soldadura [20]

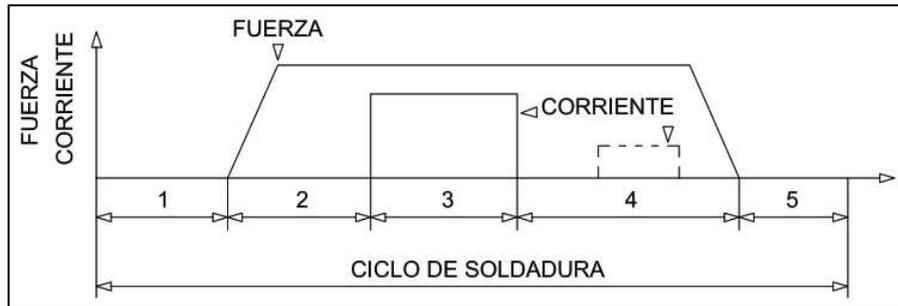
En la figura 2.10 se puede visualizar las fases del ciclo de soldadura de resistencia por puntos donde:

Squeeze time: 1, 2

Weld time: 3

Cold time: 4

Off time: 5

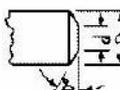
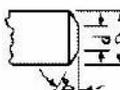
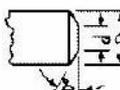
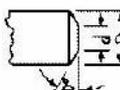
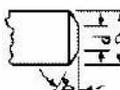
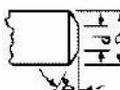
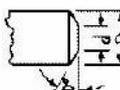
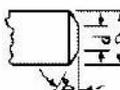
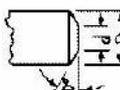
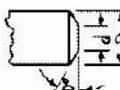
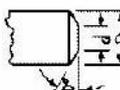
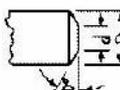
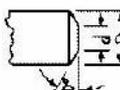


**Figura 2.10** Ciclo de soldadura por resistencia por puntos (RSW)

Fuente: [21]

La soldadora por resistencia por puntos tiene la capacidad de soldar piezas con espesores de hasta 3 (mm) o 0,125 (pulg), además el tamaño y la forma de las uniones de soldadura se determinan según la punta del electrodo, generalmente redonda, aunque también se producen puntas hexagonales, cuadradas y otras. El punto de soldadura resultante suele tener un diámetro de 0,2 (pulg) a 0,4 (pulg) o de 5 (mm) a 10 (mm) y la zona que se afecta debido al calor producido en el momento de la fusión se extiende ligeramente del punto de fusión dentro del metal base. De la tabla 2.1 se tomarán los valores de espesores desde 0.021 (pulg) que equivale a 0.53 (mm) hasta 0.091 (pulg) que es igual a 2.31(mm) correspondiendo a 6 y 34 ciclos respectivamente.

**OPTIMUM CONDITIONS  
SCHEDULES FOR SPOT WELDING LOW CARBON STEEL-SAE 1010**

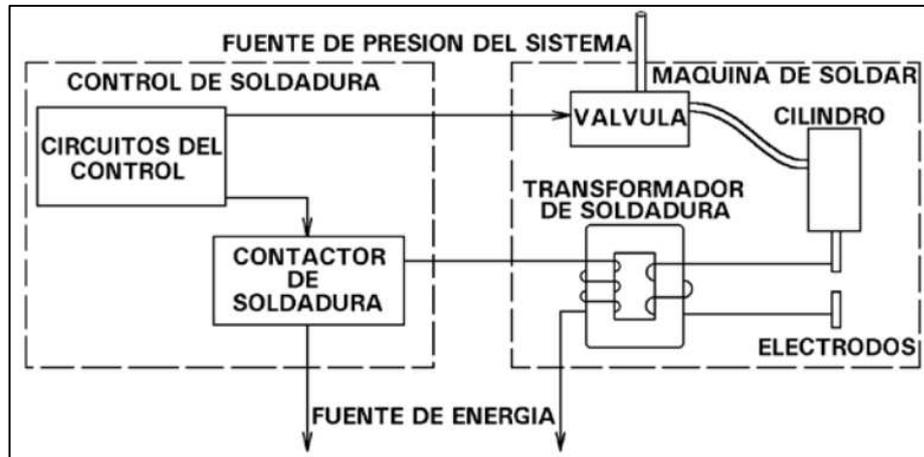
1	2		3		4		5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Electrode Diameters and Shapes*				Radius Face	Radius R									
Thickness of Thinnest Outside Piece (Inches)	Flat Face		Min. D (Inches)	Radius R (Inches)	Recommended Minimum Standard Electrode Size	Weld Force (lbs.)	Weld Time (Cycles) (60 Cycles per Sec.)	Hold Time (Cycles) Min.	Welding Current (Amps.) (Approx.)	Weld Shear Strength (For Steels Having Ultimate Tensile Strengths of 90,000 PSI and below) Minimum Strength (Lbs./Weld)	Diameter of Fused Zone (Approx.)	Minimum Weld Spacing	Minimum Contacting Overlap		
	Maximum d (Inches)	Diagram 1												Diagram 2	Diagram 3
0.010	0.125		1/2	2	Morse Taper No. 1	160	4	5	4,000	130					
0.021	0.187		1/2	2	Morse taper No. 1	244	6	8	6,500	300	0.113	1/4	3/8		
0.031	0.187		1/2	2	Morse Taper No. 1	326	8	10	9,000	530	0.139	3/8	7/16		
0.040	0.250		5/8	3	Morse Taper No. 2	412	10	12	8,800	812	0.161	1/2	1/2		
0.050	0.250		5/8	3	Morse Taper No. 2	554	14	16	9,900	1,195	0.181	3/4	1/2		
0.062	0.250		5/8	3	Morse Taper No. 2	670	18	20	10,600	1,717	0.210	7/8	9/16		
0.078	0.312		5/8	3	Morse Taper No. 2	903	25	30	11,000	2,365	0.231	1	5/8		
0.094	0.312		5/8	4	Morse Taper No. 3	1,160	34	35	13,000	3,054	0.268	1 1/8	11/16		
0.109	0.375		7/8	4	Morse Taper No. 3	1,440	45	40	14,200	3,672	0.304	1 1/4	3/4		
0.125	0.375		7/8	4	Morse Taper No. 3	1,760	60	45	15,600	4,300	0.338	1 5/16	13/16		
0.156	0.500		7/8	6	Male or Female Threaded	2,500	93	50	18,000	6,500	0.375	1 1/2	7/8		
0.187	0.625		1	6	Male or Female Threaded	3,340	130	55	20,500	9,000	0.416	1 3/4	1		
0.250	0.750		1 1/4	6	Male or Female Threaded	5,560	230	60	26,000	18,000	0.516	2	1 1/4		
											.660	4		1 1/2	

\* Electrode Material-Class 2 Alloy

Tabla 2.1 Condiciones óptimas para RSW

Fuente: [22]

La máquina está compuesta por varios sistemas, que a su vez están conformados por numerosos elementos para completar el ciclo de trabajo a lo largo del proceso de soldadura. En la figura 2.11 tenemos un esquema general del funcionamiento de cualquier soldadora de resistencia por puntos.



**Figura 2.11** Sistema general de funcionamiento de una soldadora por resistencia por puntos  
Fuente: [23]

## 2.6. PARTE MECÁNICA DE LA RSW

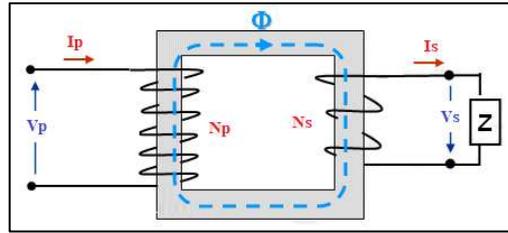
Los sistemas mecánicos forman la carcasa y los mecanismos relacionados para soportar el trabajo y aplicar fuerzas de soldadura. Sus elementos dependen del tipo de máquina, si es fija o móvil (portátil). En las máquinas estacionarias, el sistema mecánico consta de: carcasa, soportes inferior y superior, porta electrodos, etc.

## 2.7. PARTE ELÉCTRICA DE LA RSW

Consta de un transformador, una placa principal de control y un módulo tiristor con dos SCR's conectados en antiparalelo.

### 2.7.1. El transformador

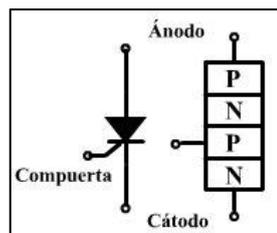
Este elemento eléctrico que se visualiza en la figura 2.12 es fundamental para realizar el proceso de soldadura, este contiene un núcleo de hierro y es del tipo reductor. El devanado primario se enrolla con muchas vueltas, mientras que el devanado secundario consta de una sola vuelta. Los transformadores están diseñados para operar durante un período de rendimiento del 50(%), que se define como el porcentaje de tiempo que el transformador está energizado o es cuando la corriente fluye a través del circuito secundario [24]



**Figura 2.12** Transformador ideal  
Fuente: [25]

### 2.7.2. Rectificador controlado de silicio (SCR)

Es un dispositivo semiconductor de potencia, que es un tiristor unidireccional, esto significa que su paso de corriente lo tiene en un solo sentido. Este elemento conductivo, cuya simbología se tiene en la figura 2.13 cuenta con cuatro capas de material semiconductor formando la estructura PNPN con dos uniones PN, además sus terminales se denominan, ánodo, cátodo y compuerta. en la siguiente figura se indica la configuración interna de un SCR [26].



**Figura 2.13** Simbología del SCR  
Fuente: [27]

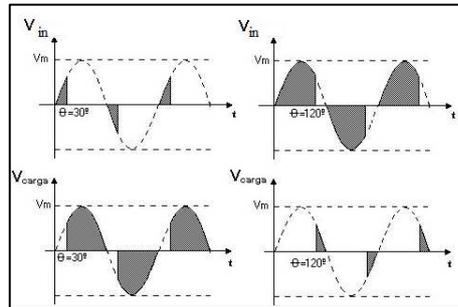
## 2.8. TARJETA DE CONTROL

La tarjeta de control es una placa con un circuito impreso. La función principal de la tarjeta controladora es controlar y monitorear la funcionalidad de los demás componentes que componen el disco duro.

## 2.9. CONTROL DE FASE APLICADO EN RSW

La forma más común de control de potencia mediante tiristores es el control de fase. En este modo de operación, el tiristor permanece apagado durante una parte de la mitad del medio ciclo de la onda de entrada, lo que, por supuesto requiere que tenga una fuente de voltaje CA o AC, al momento de activarse permanece encendido durante el resto del medio ciclo, mismo que es determinado por la tarjeta de control. El tiristor sólo puede controlar la mitad del ciclo de la onda sinusoidal. Para controlar la onda completa, se requieren dos SCR's conectados en antiparalelo; los Triacs también se pueden utilizar en otras aplicaciones. El circuito de control de fase más simple y común es el oscilador de relajación, que genera pulsos cargando y

descargando un capacitor para activar un conjunto de tiristores, un vistazo a las formas de onda de entrada y salida es la indica en la figura 2.14.



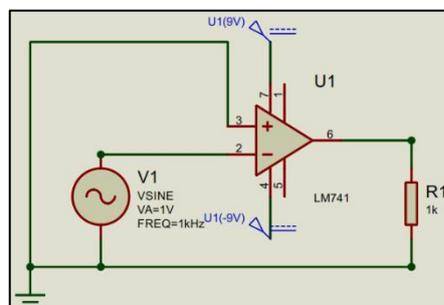
**Figura 2.14** Formas de onda de voltaje de entrada y de la carga usando el control de fase  
**Fuente:** [28]

## 2.10. ETAPAS EN EL CONTROL DE FASE

El control de fase determina el tiempo desde el inicio de la onda hasta la activación de los tiristores, este tiempo está relacionado directamente con el ángulo de activación o disparo que se requiera. El control de fase puede darse mediante dispositivos semiconductores tales como: dos SCR's conectados en antiparalelo, un TRIAC, dos tiristores GTO, entre otros transistores [29].

### 2.10.1. Cruce por cero

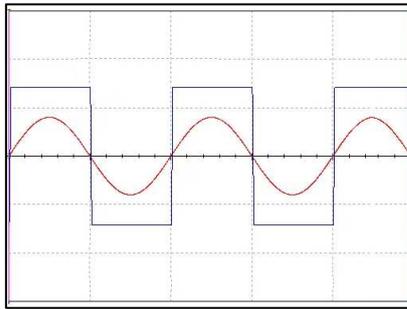
Cuando la señal de la onda sinusoidal pase por el punto de cero voltios, lo cual ocurre dos veces en cada ciclo, en ese punto es el llamado cruce por cero, lo que significa que a partir de los cero voltios la señal alterna de voltaje comienza el conteo de tiempo con relación al ángulo requerido. Esto se puede lograr reduciendo el voltaje por medio de resistencias, transformadores u optoacopladores funcionando como inversores como se observa en la figura 2.15.



**Figura 2.15** Circuito detector cruce por cero inversor  
**Fuente:** Grupo Investigador

El control de fase que tenemos en la forma de onda de salida de la figura 2.16 puede darse mediante dispositivos semiconductores tales como: dos SCR's conectados en antiparalelo, un

TRIAC, dos tiristores GTO, entre otros transistores, y los diodos, triacs, SCR pueden ser configurados con este cruce por cero.



**Figura 2.16** Formas de ondas Entrada y Salida del circuito detector cruce por cero inversor  
**Fuente:** Grupo Investigador

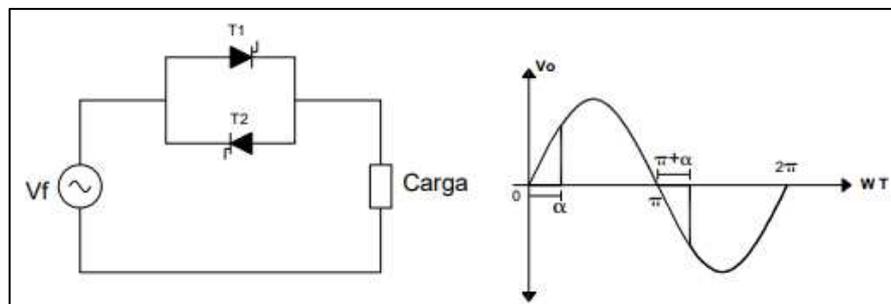
### 2.10.2. Ángulo de disparo

Para generar un ángulo de disparo en un triac o SCR, se debe tomar en cuenta que la onda sinusoidal completa cuenta con 360 grados, con dos semiciclos de 180 grados cada uno, un positivo y un negativo, en caso de Latinoamérica se trabaja con una frecuencia de 60 Hz por lo que se obtiene la siguiente ecuación para obtener el periodo total de onda [30].

Cada grado de la onda sinusoidal es de 46,29 ( $\mu$ s) por ejemplo, en la figura 2.14 tenemos un ángulo de disparo de  $30^\circ$ , obtenemos que su tiempo es de 1,39 (ms) lo que sería su cruce por cero [31].

### 2.10.3. Control de fase con dos SCR's conectados en antiparalelo

En la figura 2.17 se observa la conexión de dos SCR's que están con conexión en antiparalelo, lo que significa que se tiene un control de fase directo, donde se aplica el flujo de potencia hacia la carga es controlado alterando el ángulo de activación o disparo ( $\alpha$ ), entre  $0^\circ$  hasta  $180^\circ$  [32].



**Figura 2.17** Circuito aplicando el control de fase directo  
**Fuente:** [32]

Como se puede observar en dicha figura al momento de energizar el circuito, cuando la corriente pasa por el SCR T1 la onda de salida sufrirá un retardo que tendrá un ángulo  $\alpha$  en su semiciclo

positivo y cuando la corriente pasa por el SCR T2 la onda de salida tendrá el mismo ángulo  $\alpha$  pero en su semiciclo negativo.

## **2.11. MICROCONTROLADOR PROGRAMABLE**

Un microcontrolador es un dispositivo compacto y completo que integra en un solo chip un procesador (unidad central de procesamiento o CPU), memoria (RAM y ROM/Flash), periféricos de entrada/salida y otros componentes esenciales para el funcionamiento de un sistema embebido.

### **2.11.1. Entradas y salidas (E/S)**

Estos pines son entradas (sensores) y salidas (actuadores) de información los cuales pueden ser digitales o analógicas.

### **2.11.2. CPU**

Siendo la parte más importante de un microcontrolador, tiene la función de ejecutar un sinnúmero de instrucciones de la manera correcta y ordenada.

### **2.11.3. Memoria**

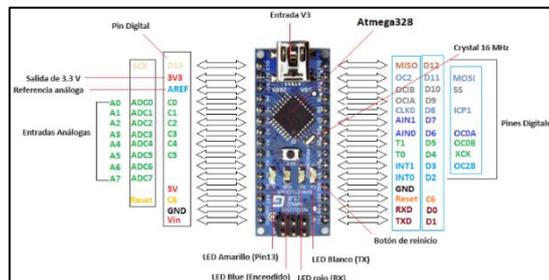
Aquí se almacena la información, tanto las instrucciones como los datos que son procesados, ayuda al CPU a ingresar a la base de datos, en ciertas ocasiones los datos se eliminan cuando se retira su alimentación eléctrica (memoria volátil) y en otras ocasiones los datos no se eliminan aun sin alimentación eléctrica (memoria persistente).

## **2.12. MICROCONTROLADOR ARDUINO**

El Arduino es el conjunto de una placa de hardware libre, un software libre gratis y de multiplataforma con un lenguaje de programación propio, existen muchas placas Arduino teniendo una arquitectura AVR, desarrollada y fabricada por la empresa Atmel.

Se tiende a elegir Arduino por su bajo costo, es libre y extensible, pudiendo ser mejorado tanto en su hardware como en su software, es ampliamente utilizado en todo el mundo, su programación puede ser ejecutada en cualquier plataforma (Windows, Macintosh OSK y Linux/GNU). Sus placas son versátiles ya que varios sensores pueden ser conectados a las distintas entradas y salidas de datos procesando los datos de manera independiente generando señales hacia los actuadores de diferentes maneras [33].

También son aptas para el reciclaje ya que sus placas son reutilizables en distintos proyectos, debido a que el microcontrolador es reprogramable.



**Figura 2.18** Partes del Arduino Nano  
Fuente: [34]

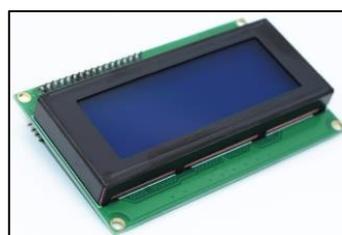
En la figura 2.18 se muestra el microcontrolador Arduino Nano que tiene microprocesador ATmega328, está diseñado con 14 pines digitales para conexión de elementos externos, 6 pines analógicos que contienen una resolución de 10 bits, GND es conexión a tierra, AVCC es conexión eléctrica al convertidor digital que se encuentra internamente, AREF es conexión analógica al convertidor, los demás pines son de entrada o salida de información.

### 2.13. ARDUINO NANO

Esta placa se basa en el Arduino UNO R3 pero de manera compacta y en un tamaño más reducido, teniendo el mismo controlador pero con 22 pines de conexión de entrada y salida de información, donde 6 de sus pines son salida PWN (modulación de pulso) modificando el voltaje que ingresará a la carga, 8 son entradas analógicas, 4 pines para alimentación eléctrica y tierra [35].

### 2.14. PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE DATOS LCD

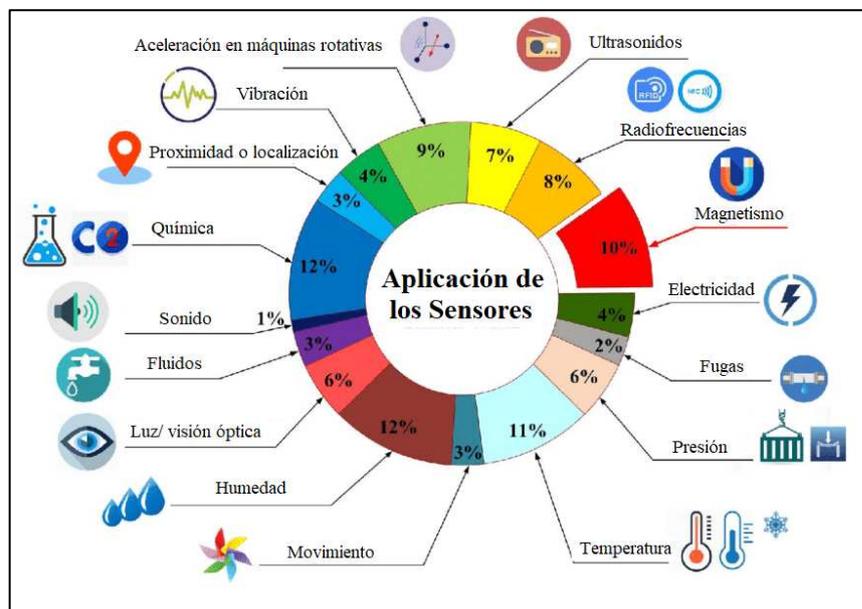
“Liquid Cristal Display” en inglés tiene la diferencia con las pantallas LED que son más difíciles de conectar, así como su manejo es un poco más complejo. Las pantallas LCD como la que tenemos en la figura 2.19 están fabricadas con material de cristal líquido de ahí su nombre que cambia su orientación en respuesta a un campo eléctrico aplicado [36].



**Figura 2.19** Pantalla LCD 20X4  
Fuente: [37]

## 2.15. SENSOR

Es un dispositivo o elemento de control que censa cambios en su entorno generando respuestas a estos cambios mediante una señal o con la activación de un proceso. Los sensores tienen un papel fundamental en varios campos o aplicaciones, desde la tecnología de la información hasta la industria, la medicina, entre otras indicadas en la figura 2.20. teniendo como principio de funcionamiento la conversión de señales análogas como el sonido, el magnetismo o la presión, etc a señales eléctricas o digitales que serán interpretados y usados en otro elementos o sistemas. También los sensores guardan información en tiempo real tomando decisiones de manera automatizada dando una mejora en los sistemas [38].



**Figura 2.20** Aplicaciones de los sensores  
Fuente: [39]

### 2.15.1. Sensor de voltaje

Es un dispositivo que mide voltaje entre dos puntos de cualquier circuito eléctrico, obteniendo mediciones en voltios o (V), su función es medir caída de potencial en componentes resistivos, capacitivos o inductivos con un rango de operación específico, teniendo uso crucial en aplicaciones electrónicas y eléctricas [40].

### 2.15.2. Sensor de temperatura

Como su nombre lo indica censa la temperatura en cualquier dispositivo eléctrico o electrónico y la variación que se da de temperatura en un lugar o ambiente seleccionado, son muy utilizados

en aires acondicionados, procesos de elaboración de alimentos donde debe existir un riguroso control de temperatura [41].

## 2.16. ACTUADOR

Un actuador puede ser un dispositivo mecánico, eléctrico o hidráulico el cual convierte señales de entrada en movimientos o acciones físicas. En la figura 2.21 están los tipos de actuadores que son partes esenciales dentro de los sistemas de control y más aún en la automatización porque dan ordenes de movimientos físicos a señales y comandos ingresados previamente. Es decir, los actuadores son los responsables de realizar acciones físicas basadas en la información ingresada por sensores u otros dispositivos de entrada de señal [42].

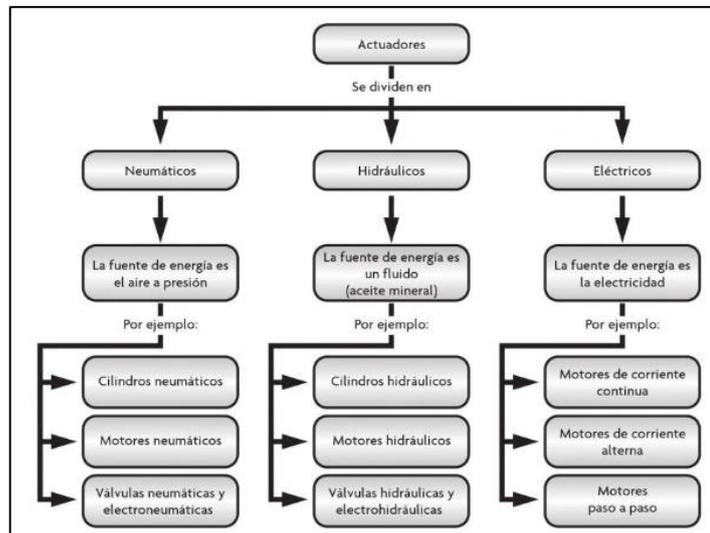


Figura 2.21 Tipos de actuadores

Fuente: [43]

### 2.16.1. Ventilador

Es un dispositivo de salida o actuador que realiza una acción como respuesta a una señal de control, teniendo como función principal la generación de un flujo determinado de aire dependiendo de las necesidades de su entorno. Estos dispositivos son usados en sistemas de climatización o de refrigeración con control de su velocidad de giro, de encendido y apagado.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. VOLTAJES Y CORRIENTES EN EL TRANSFORMADOR

El voltaje de entrada para la máquina es de 220 (V), mientras que su potencia máxima de 28 (kVA) según datos de placa arrojando un voltaje en el secundario de 3,3 (V) por lo tanto, estos valores serán reemplazados en la siguiente ecuación.

$$I_s = \frac{P}{V_s} \text{ (A)} \quad (3.1)$$

Donde:

I= corriente en el secundario del transformador

P= potencia del transformador

V<sub>s</sub>= voltaje en el bobinado secundario del transformador

Después de haber obtenido la corriente que circula por el bobinado secundario del transformador se procedió a la obtención de la relación de transformación con la siguiente ecuación.

$$n = \frac{V_p}{V_s} \quad (3.2)$$

Donde

n= relación de transformación

V<sub>p</sub>= voltaje en el bobinado primario del transformador

Con la obtención de la relación de transformación se obtuvo la corriente en el primario del transformador utilizando la siguiente ecuación.

$$I_p = \frac{I_s}{n} \text{ (A)} \quad (3.3)$$

Donde

I<sub>p</sub>= corriente del primario del transformador

#### 3.2. CRUCE POR CERO

Este parámetro es utilizado en el proceso de soldaduras de resistencia por puntos para reconocer cuando la onda de CA suministrada por la red eléctrica pasa por el punto cero sincronizando los disparos del módulo tiristor.

Para la detección del cruce por cero en nuestra placa de control se necesitó un optoacoplador que aisle el circuito eliminando adicionalmente el ruido de la señal de onda sinusoidal. Este optoacoplador compara la señal senoidal con la referencia del cero, entonces cuando pase por el punto de 0 (V) envía la información al microprocesador generando un pulso el cual es el indicador del cruce por cero y se puede empezar el control del SCR según las configuraciones que se realicen. La colocación de las resistencias que se encuentran en los pines de entrada del optoacoplador PC 817 tienen como finalidad la reducción del voltaje rectificado que atraviesa el puente de diodos, para que solo ingrese un valor de 6 (V) según su data sheet, para esto se utiliza la siguiente ecuación.

$$R_T = 250 V_p (\Omega) \quad (3.4)$$

Donde:

$V_p$ = Voltaje pico de entrada

$R_T$ = resistencia de entrada al optoacoplador

Debido a que la resistencia obtenida es la total de conducción se procedió a dividirla a la mitad ocupando la ecuación descrita a continuación.

$$R_1 = R_2 = \frac{R_T}{2} (\Omega) \quad (3.5)$$

### 3.3. SCR's CONECTADOS EN ANTIPARALELO

Controlado el cruce por cero, se procede a la realización de disparo del módulo tiristor que contiene dos SCR's que están conectados en antiparalelo utilizando otro optoacoplador MOC3021, este dispositivo electrónico utiliza un emisor de luz LED con un fototriac en su interior activándose por un bajo voltaje o por un microcontrolador y tiene la capacidad de aislar circuitos de alto y bajo voltaje con el uso de tecnología de estado sólido.

Haciendo hincapié en que el control se realizará el lado primario del transformador, se toma en consideración la corriente del primario, dando lugar al cálculo del voltaje de la resistencia de disparo necesario para la activación del módulo tiristor, con la siguiente ecuación.

$$V_{RD} = V_{pico} - V_{D1} - V_{D2} - V_{GT}(V) \quad (3.6)$$

Donde:

$V_{RD}$  = Voltaje de la resistencia de disparo

$V_{pico}$  = Voltaje de entrada de la red

$V_{D1}$  = Voltaje en diodo 1

$V_{D2}$  = Voltaje en diodo 2

$V_{GT}$  = Voltaje de compuerta obtenida del data sheet

Con este valor se procede al cálculo de la resistencia de disparo que es un componente primordial para que el módulo tiristor pase de un estado de bloqueo al estado de conducción. Para esto se utiliza la siguiente ecuación.

$$R_D = \frac{V_{RD}}{I_{GT}} (\Omega) \quad (3.7)$$

Donde:

$R_D$  = Resistencia de disparo

$I_{GT}$  = Corriente de compuerta

Los valores comerciales que se colocaron en la placa de control fueron aproximados a los calculados, por ende, el cálculo real de la corriente de disparo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$I_{GT} = \frac{V_{RD}}{R_D} (A) \quad (3.8)$$

### 3.4. RED SNUBBER

En los elementos de control de potencia como son los SCR's o módulos tiristores se tiene transitorios de voltaje que son provocados por procesos de recuperación invertidas conjuntamente con acciones de conmutación.

Para evitar la absorción de los picos elevados de voltaje evitando transitorios que se producen en cualquier sistema eléctrico o electrónico, la red snubber está compuesta por una resistencia y un capacitor conectados en paralelo, un extremo al ánodo 1- cátodo 2 (A1-K2) y el otro extremo conectado al cátodo 1 (K1).

Para llegar a la obtención de los valores de la resistencia y del capacitor de la red snubber primero se calculó la resistencia de línea del lado primario del transformador  $R_L$  con la siguiente ecuación.

$$R_L = \frac{V_S}{P} (\Omega) \quad (3.9)$$

Con este valor se utilizó la siguiente ecuación para la obtención de la resistencia de la red snubber.

$$R_S = \frac{P}{(I_D)^2} (\Omega) \quad (3.10)$$

Donde:

$R_S$  = Resistencia de la red snubber

$I_D$  = Corriente de descarga

Ya que el módulo tiristor es un elemento que controla corrientes y voltajes altos la resistencia que sea instalada en la placa de control debe ser capaz de soportar una alta potencia, por esta razón el valor del capacitor que será colocado en serie con la resistencia de la red Snubber se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$C_S = \frac{0,632(R_L)(V_P)}{(R_S + R_L)^2 \left(\frac{d_v}{d_t}\right)} (F) \quad (3.11)$$

Donde:

$C_S$  = Capacidad de snubber

$R_p$  = Resistencia del primario

$\frac{d_v}{d_t}$  = Variación de voltaje en función del tiempo según data sheet

### 3.5. STEP DOWN

Este dispositivo electrónico reduce el voltaje de 12 (V) en DC de la fuente de alimentación del circuito a 5 (V) en DC para la energización de la parte de control. Para el cálculo de la corriente de salida del Step Down se debe sumar todas las corrientes de consumo de los elementos a conectarse ocupando la ecuación señalada a continuación.

$$I_{ST} = I_{AN} + I_{MOC} + I_{PC817} + I_{POT} + I_{NTC} + I_{PLCD} + I_{LP}(mA) \quad (3.12)$$

Donde:

$I_{ST}$  = Corriente de salida del Step Down

$I_{AN}$  = Corriente de consumo del microcontrolador

$I_{PC817}$  = Corriente del optoacoplador PC817

$I_{MOC}$  = Corriente del optoacoplador MOC 3021

$I_{POT}$  = Corriente de potenciómetros

$I_{NTC}$  = Corriente de sensor de temperatura

$I_{PLCD}$  = Corriente de consumo de pantalla LCD

$I_{LP}$  = Corriente de consumo de luces piloto

### 3.6. FILTRO PASA BAJO

Estos filtros sirven para eliminar las perturbaciones existentes en la salida del regulador de voltaje llamado Step Down, los cuales se determinan mediante las siguientes ecuaciones.

$$\tau = R * C \quad (3.13)$$

Donde:

R= resistencia de filtro

C= Capacitancia del filtro

Como la constante de tiempo se encuentra relacionada con su frecuencia de corte la obtención de la misma se da con la siguiente ecuación.

$$F_c = \frac{1}{2\pi * \tau} \quad (3.14)$$

Donde:

$F_c$  = Frecuencia de corte

### 3.7. POTENCIÓMETROS

Básicamente los potenciómetros funcionan como un divisor de voltaje del cual el pin central va conectado a un pin de entrada PWM del microcontrolador, por ende, para la obtención del valor de esta resistencia variable se toma el criterio de precisión y tolerancia mediante las ecuaciones a continuación descritas.

$$R_{min} = \frac{V_{CC}}{I_{max}} \quad (3.15)$$

Donde:

$R_{min}$  = Resistencia mínima

$V_{CC}$  = Voltaje de alimentación del circuito de control

$I_{max}$  = Corriente máxima que ingresa al pin PWM del microcontrolador

$$R_{max} = \frac{V_{CC}}{I_{min}} \quad (3.16)$$

$R_{max}$  = Resistencia máxima

$I_{min}$  = Corriente mínima en el pin PWM del microcontrolador

### 3.8. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para la selección de la fuente de alimentación adecuada para nuestro circuito debemos obtener los valores de

$$I_F = I_{ST} + I_{SD} + I_{SV} \text{ (mA)} \quad (3.17)$$

Donde:

$I_F$  = Corriente de la fuente

$I_{SD}$  = Corriente de consumo del Step Down

$I_{SV}$  = Corriente del sensor de voltaje

A esto se le debe multiplicar por un factor de seguridad del 1,5 para garantizar su correcto funcionamiento.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. RESISTENCIA EN BOBINADOS

Para la comprobación de funcionamiento del transformador se realizó la medición de la resistencia en cada uno de los extremos de sus bobinados tanto en el primario como en el secundario, esto se lo realiza que con la ayuda de un multímetro digital como se muestra en la figura 4.1.



**Figura 4.1** Medición de resistencia de bobinados

**Fuente:** Grupo Investigador

La medición de los bobinados primario y secundario del transformador se encuentran detallados en la tabla 4.1 esto se lo realizó sin la colocación del módulo de control.

**Tabla 4.1** Valores de operación del transformador

Voltaje de entrada	Resistencia en bobinado primario	Resistencia en bobinado secundario
218 (V)	1,32 ( $\Omega$ )	0,3( $\Omega$ )

**Fuente:** Grupo Investigador

De esta manera se comprobó que el transformador se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento, ingresando un voltaje monofásico a 218 (V) en su bobinado primario.

## 4.2. CÁLCULOS GENERALES

### 4.2.1. Cálculos de corrientes en el transformador

Para el diseño del módulo de control que se realizó a esta máquina soldadora se tuvo los siguientes datos conocidos:

$$V_p \text{ (RMS)} = 220 \text{ (V)}$$

$$V_s = \text{ voltaje del bobinado secundario} = 3,3 \text{ (V)}$$

$$P = 28000 \text{ (VA)}$$

Primeramente, se obtuvo la corriente en el secundario del transformador con el uso de la ecuación 3.1 por consiguiente, reemplazando valores tenemos.

$$I_s = \frac{28000 \text{ (VA)}}{3,3 \text{ (V)}} \text{ (A)}$$

$$I_s = \mathbf{8484,8 \text{ (A)}}$$

El valor de transformación del transformador se consiguió utilizando la ecuación 3.2 donde reemplazando valores se obtuvo lo siguiente.

$$n = \frac{220 \text{ (V)}}{3,3 \text{ (V)}}$$

$$n = \mathbf{66,7}$$

Por último, se calculó la corriente que pasa por el primario del transformador con la ecuación 3.3. se reemplazó valores obtenidos previamente, consiguiendo el siguiente dato de intensidad.

$$I_p = \frac{8484,8}{66,7} \text{ (A)}$$

$$I_p = \mathbf{127,2 \text{ (A)}}$$

Esta corriente es un dato primordial ya que la misma ingresará en el módulo tiristor accionando los dos SCR's conectados en antiparalelo por medio de pulsos pequeños alrededor de los (ms). Todo esto dependerá de los tiempos de soldadura que son regulados con los potenciómetros.

Para la selección del conductor que soportará la corriente de **127,2 (A)** se basó en la tabla 4.2 de cables super flexibles seleccionando el # 6AWG el cual soporta hasta **139 (A)**.

**Tabla 4.2** Características de cables super flexibles

SUPERFLEX MULTICONDUCTOR - 3 FASES +1 TIERRA								
Calibre AWG/kcmil	Sección nominal mm <sup>2</sup>	Diámetro del conductor aprox. mm	Espesor aislación mm	Diámetro exterior aprox. mm	Peso total aprox. kg/km	Capacidad de corriente A		
						Ducto enterrado (1) Temp. amb. 20 °C	Direct. enterrado (2) Temp. amb. 20 °C	Aire libre (3) Temp. amb. 40 °C
14	2,08	1,9	0,7	5,5	49	26	40	-
12	3,31	2,4	0,7	5,9	62	40	53	-
10	5,26	3,0	0,7	6,6	82	51	69	-
8	8,37	3,8	0,7	7,4	115	61	108	83
6	13,3	4,7	0,7	8,4	164	79	110	139
4	21,2	6,0	0,9	10,0	244	104	178	145
2	33,6	7,7	0,9	11,5	368	137	230	190
1	42,4	8,7	1,0	12,6	442	158	261	225
1/0	53,5	9,4	1,0	13,7	545	182	297	260
2/0	67,4	10,7	1,1	15,1	675	212	340	300
3/0	85,0	11,7	1,1	16,3	803	240	379	345
4/0	107	12,9	1,2	18,2	1.026	278	433	400
250	127	13,8	1,2	19,4	1.197	308	471	445
350	177	17,4	1,6	22,9	1.649	375	557	550
500	253	20,8	1,7	27,9	2.413	473	684	695
750	380	25,2	2,0	32,9	3.579	599	840	900
1000	507	29,8	2,2	38,8	4.845	710	980	1075

(1) Ducto enterrado a 0,7m. 3 cables por ducto. Rho del terreno 0,9.  
(2) Cables enterrados a 0,9m, separados a 0,2m desde sus centros. Rho del terreno 0,9.  
(3) Cables al aire, en disposición plana separados a 1 diámetro y no expuestos al sol. Para cables separados a menos de 1 diámetro, la capacidad de corriente debe derratearse a un 75% del valor indicado en la tabla.

Fuente: [44]

#### 4.2.2. Cálculo de resistencias para optoacoplador PC817

Para que este elemento electrónico tenga un funcionamiento adecuado al momento de enviar los pulsos, cada vez que detecte el cruce por cero se coloca una resistencia del mismo valor en la entrada del pin 1 y pin 2 del PC817, dicho valor se obtuvo con la ecuación 3.4 como, se indica a continuación.

$$R_T = 250 (220\sqrt{2}) (\Omega)$$

$$R_T = 250 (311.13) (\Omega)$$

$$R_T = 77750(\Omega)$$

Esta resistencia que colocada a la entrada del puente de diodos se obtuvo con la ecuación 3.5 reemplazando el valor de  $R_T$ .

$$R_1 = R_2 = \frac{77\ 750}{2} (\Omega)$$

$$R_1 = R_2 = 38875 \ (\Omega)$$

Su resistencia comercial que se ajusta a las necesidades del circuito de control es de **39 (kΩ)** y para saber que potencia es la adecuada para cada resistencia se ocupa la siguiente ecuación.

$$P_{RT} = \frac{V_P}{125} \ (W) \quad (4.1)$$

Reemplazando valores tenemos:

$$P_{RT} = \frac{220\sqrt{2}}{125} \ (W)$$

$$P_{RT} = 2,49 \ (W)$$

Esta potencia total será dividida a la mitad como se indica a continuación.

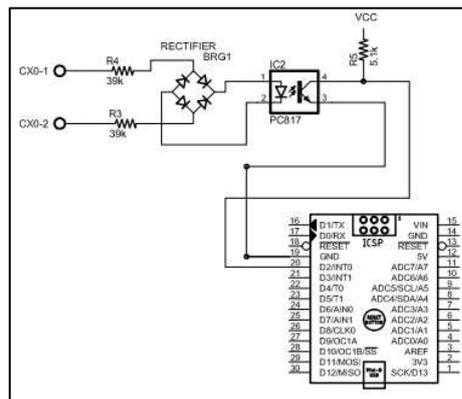
$$P_{R1} = P_{R2} = \frac{P_{RT}}{2} \ (W) \quad (4.2)$$

Reemplazando valores tenemos:

$$P_{R1} = P_{R2} = \frac{2,49}{2} \ (W)$$

$$P_{R1} = P_{R2} = 1,25 \ (W)$$

Para esta parte del circuito tenemos el uso de dos resistencias de **39 (kΩ)** con una potencia de **2 (W)** cada una que están conectadas en la entrada al puente de diodos como se indica en la figura 4.2.



**Figura 4.2** Conexión del cruce por cero  
Fuente: Grupo Investigador

### 4.2.3. Rango de funcionamiento del NCT 100K

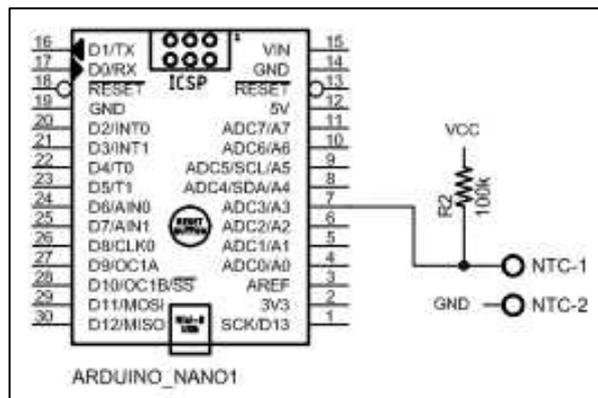
Tomando como referencia el data sheet del sensor de temperatura se tiene una constante de disipación del aire de 6 (mV) por cada °C, cabe recalcar que su rango de operación va desde -40 °C hasta 300 °C y su corriente máxima admisible es de 15 (mA), por consiguiente, se tiene en la tabla 4.3 donde se detalla el funcionamiento del sensor a diferentes grados de temperatura.

**Tabla 4.3** Valores de funcionamiento del NCT 100K

Temperatura (°C)	Resistencia (kΩ)	Voltaje (mV)
25	100	150
30	80.65	180
40	53.3	240

Fuente: Grupo Investigador

El termistor NTC 100K necesitó la conexión de una resistencia igual a su valor interno, en este caso es de 100 (kΩ) en serie al circuito de control para lograr la obtención de un divisor de voltaje con su entrada de regulación al pin 7 del microcontrolador programable como se visualiza en la figura 4.3.



**Figura 4.3** Conexión del NCT 100K

Fuente: Grupo Investigador

#### 4.2.4. Cálculo de resistencias para MOC3021

Para la obtención de la resistencia de disparo del módulo tiristor que fue colocada en la salida del optoacoplador MOC3021 previamente se calculó el voltaje de esta resistencia usando la ecuación 3.6 donde se reemplazó los voltajes de 0,7 (V) correspondientes a los diodos de silicio 2n4007 mientras que le voltaje de compuerta o  $V_{GT}$  es 6(V).

$$V_{RD} = [(220\sqrt{2}) - 0,7 - 0,7 - 6](V)$$

$$V_{RD} = 303,73(V)$$

Ahora se procede a calcular la resistencia de disparo con el uso de la ecuación 3.7. reemplazando la corriente de compuerta o  $I_{GT}$  con un valor proporcionado del data sheet de 0,2 (A).

$$R_D = \frac{303,73}{0,2} (\Omega)$$

$$R_D = 1518,63(\Omega)$$

El resultado se ajustó a los valores comerciales con una resistencia de disparo de 1,5 (kΩ) siendo su potencia calculada P<sub>RD</sub> con la siguiente ecuación.

$$P_{RD} = V_{GT} * I_{GT}(\Omega) \quad (4.3)$$

Reemplazando valores tenemos:

$$P_{RD} = (6 * 0,2)(w)$$

$$P_{RD} = 1,2(w)$$

La potencia para la resistencia de disparo será de **2 (w)** ya que este es su valor comercial, y por último teniendo el valor real de este elemento resistivo y su potencia de trabajo, se procede al cálculo real de la corriente de disparo con la ecuación 3.8.

$$I_{GT} = \frac{303,73 (V)}{1500 (\Omega)}$$

$$I_{GT} = 0,21(A)$$

La resistencia que fue colocada en la entrada del LED del MOC3021 e ingresa a la entrada del pin 28 del Arduino Nano se calculó con la siguiente ecuación.

$$R_b = \frac{V_{cc} - V_f}{I_{LED}} (\Omega) \quad (4.4)$$

Donde:

V<sub>cc</sub>= Voltaje de alimentación

V<sub>f</sub>= Voltaje del LED desde data sheet

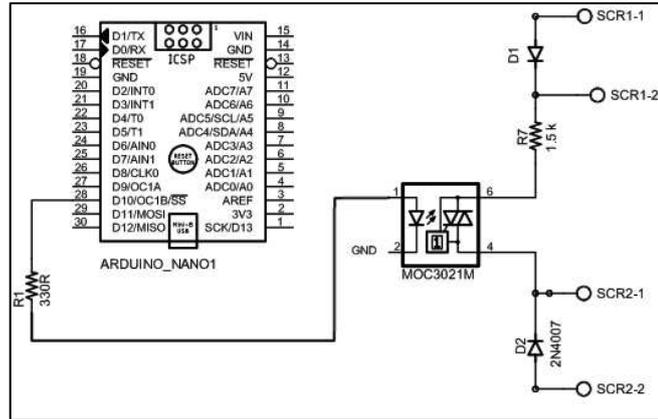
I<sub>LED</sub>=Corriente de LED desde data sheet

Reemplazando valores tenemos

$$R_b = \frac{5 - 1.15}{0,015} (\Omega)$$

$$R_b = 256,67 (\Omega)$$

El valor comercial que se acerca al valor calculo es de **300 (Ω)** con esto se obtuvo la corriente real de entrada al optoacoplador, misma que es de **12,83 (mA)**, la conexión de las resistencias de entrada y de disparo de este elemento electrónico se puede observar en la figura 4.4.



**Figura 4.4** Conexión MOC3021  
Fuente: Grupo Investigador

#### 4.2.5. Cálculo para Red Snubber

Esta configuración de protección para triacs, SCR's o tiristores tiene tres partes, la primera es la designación del valor de la resistencia de línea, la cual se obtiene con la ecuación 3.9 donde se reemplazan el voltaje del secundario y la potencia de la máquina.

$$R_L = \frac{(220 V)^2}{28000 (kVA)} (\Omega)$$

$$R_L = 1,73 (\Omega)$$

Con este valor se procedió al cálculo de la resistencia de la red snubber con la ecuación 3.10.

$$R_s = \frac{28000 (kVA)}{(10 * 1,73)^2} (\Omega)$$

$$R_s = 93,55 (\Omega)$$

Se elige el valor comercial de **100 (Ω)** que se aproxima al calculado con una potencia de **5 (w)** ya que el módulo tiristor es un elemento que controla corrientes y potencias altas, además con este valor se procede a calcular el valor del capacitor con la ecuación 3.11.

$$C_s = \frac{0,632(1,73)(220)}{(100 + 1,73)^2(1000)} (F)$$

$$C_s = 0,13 (\mu F)$$

Aproximando a valores comerciales tenemos un capacitor de **0,1 (μF)** con un voltaje de trabajo hasta **400 (V)**, ya que se tomó en cuenta el voltaje pico que es  $220\sqrt{2}$  o 311,13 (V), teniendo como resultado la colocación de la red snubber en el módulo tiristor como se observa en la figura 4.5.



**Figura 4.5** Red Snubber instalado en módulo tiristor  
Fuente: Grupo Investigador

#### 4.2.6. Cálculo para Step Down

Mediante el uso de la ecuación 3.11. se obtuvo la corriente mínima necesaria para la selección del Step Down como se muestra a continuación.

$$I_{ST} = 400 + 60 + 50 + 10 + 30 + 125 + 30(mA)$$

$$I_{ST} = 705(mA)$$

A este valor se le aumenta un factor de seguridad de 1,5 dando como resultado un valor de **1057 (mA)** buscando en el mercado se seleccionó el de 3 (A) que es el **LM2596** que tiene regulación lineal de voltaje con un bajo margen de error entregando a su salida un voltaje de 5 (V) DC de forma estable, siendo colocado

#### 4.2.7. Cálculo de capacitores

Para la eliminación de las variaciones en los voltajes que ingresan al microcontrolador se coloca un capacitor que tiene como función ser un filtro de las perturbaciones con la finalidad de entregar un voltaje constante, el cual se calculó con la ecuación 3.13. y 3.14.

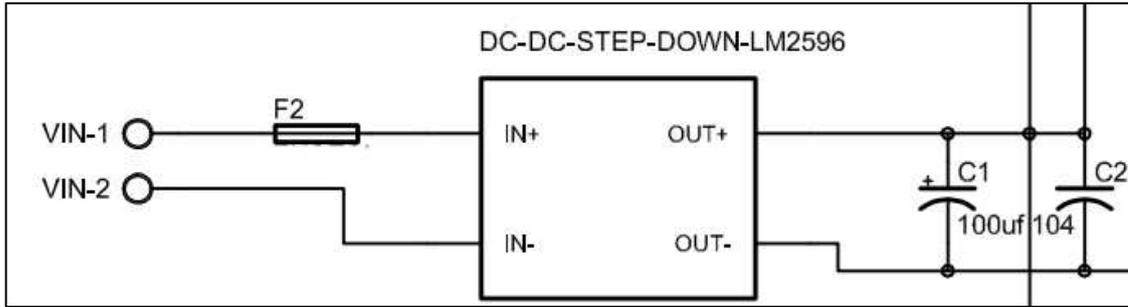
$$C = \frac{\tau}{R}$$

$$C = \frac{1}{2\pi F_c R}$$

$$C = \frac{1}{2\pi(1KHz)(1,5 k\Omega)}$$

$$C = 100 (\mu F)$$

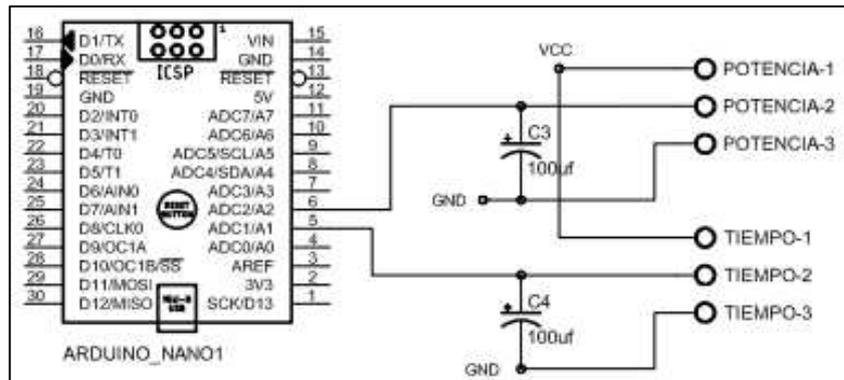
Estos capacitores están colocados en las entradas de los potenciómetros y en la salida del Step Down como se muestra en la figura 4.6.



**Figura 4.6** Conexión de filtros capacitivos  
Fuente: Grupo Investigador

#### 4.2.8. Cálculo de resistencias variables

En la figura 4.7 se puede apreciar la parte reguladora del tiempo y potencia de soldadura por puntos los cuales son controlados en los pines 5 y 6 del Arduino Nano.



**Figura 4.7** Circuito regulador de potencia y tiempo de soldadura  
Fuente: Grupo Investigador

Para la obtención de los valores de las resistencias variables que se encuentran instaladas internamente en cada potenciómetro se usa las ecuaciones 3.15 y 3.16.

$$R_{min} = \frac{5 (V)}{0,02 (A)}$$

$$R_{min} = 250 (\Omega)$$

$$R_{max} = \frac{5 (V)}{0,002 (A)}$$

$$R_{max} = 2500 (\Omega)$$

Para la colocación de los potenciómetros las entradas PWM del microcontrolador programable de seleccionó un valor de 10 (k $\Omega$ ) los cuales estarán instalados en la parte frontal de la máquina soldadora, en la figura se muestra la conexión de estos elementos resistivos variables.

#### 4.2.9. Fuente de DC

La tarjeta de control de la máquina soldadora Spotmatic International tiene una fuente de corriente continua de 5 (V) con 2 (A), este dispositivo tiene un transformador de 110/220 (V) y otros elementos electrónicos que permiten el funcionamiento de los sensores de voltaje, de temperatura, módulo de relés, potenciómetros, el microcontrolador Arduino Nano y una pantalla LCD. Como se indica en la figura 4.8.



**Figura 4.8** Fuente DC 5 (V) / 2 (A) conectada al módulo de control  
**Fuente:** Grupo Investigador

Para llegar a esta conclusión se procedió a sumar las corrientes de los componentes de la placa de control, donde cada una de estas corrientes es obtenida de los data sheet's ingresados al final de este documento, reemplazando valores en la ecuación 3.17 se tiene los siguiente.

$$I_{FUENTE} = 705 + 300 + 2 (mA)$$

$$I_{FUENTE} = 1007 (mA)$$

#### 4.2.10. Cálculo de fusible de protección

El fusible seleccionado es de 1 (A) a 250 (V) colocado en la entrada de la tarjeta de control cuyo objetivo es la protección del apareamiento de picos de voltaje y de corrientes excesivas que podrían superar los valores nominales del fusible, si esto llegará a ocurrir este elemento protector se funde interrumpiendo el paso de corriente protegiendo así a todos los elementos del circuito reduciendo la probabilidad de daños en los mismos y aumentando la vida útil del módulo de control. Este fusible se lo visualiza en la figura 4.9.



**Figura 4.9** Fusible de protección para módulo de control  
**Fuente:** Grupo Investigador

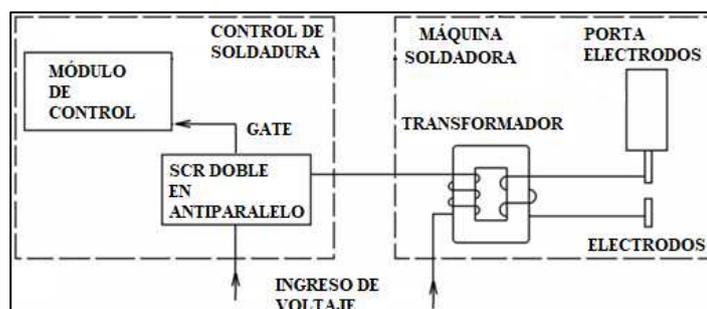
El circuito de la placa de control tiene varios elementos electrónicos de control y de potencia, los cuales consumen una cierta cantidad de corriente en el orden de los (mA) cada uno de ellos especificados en la tabla 4.4, aunque no llegue a 1 (A) es necesario la protección de los mismos garantizando así una larga vida útil.

**Tabla 4.4** Sumatoria de corrientes de consumo

Elemento utilizado	Corriente de consumo (mA)
Arduino Nano	400
Step Down LM2596	25
Pantalla LCD 20X4	125
Optoacoplador PC817	50
MOC3021	60
Sensor NCT 100K	30
Sensor ZMPT101B	2
Potenciómetros	10
Pulsador de paro de emergencia	1
Pulsador de marcha tipo pedal	1
Luces piloto	30
Módulo tiristor MCC132-08io1B (IGT)	200
<b>Corriente total de la tarjeta</b>	<b>934 (mA)</b>

**Fuente:** Grupo Investigador

#### 4.2.11. DISEÑO BÁSICO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA



**Figura 4.10** Diseño de la propuesta tecnológica  
**Fuente:** Grupo Investigador

En la figura 4.10 referente a la propuesta tecnológica se toma el ingreso de la corriente y voltaje desde el primario de transformador donde se procedió a la colocación de un actuador que es un módulo tiristor contando en su interior con dos SCR´s que fueron conectados en antiparalelo, una línea de la red eléctrica va directo al primario del transformador, mientras que la otra línea ingresa al módulo tiristor enviando una señal de disparo a un optoacoplador que se encuentra instalado en la placa de control permitiendo el paso de voltaje rectificado hacia los electrodos de la máquina soldadora. En dicha placa se encuentra también un sensor de temperatura que mediante el registro de datos da como resultado un valor estable predeterminado registrado entre 25 °C a 40 °C según data sheet, otro sensor de voltaje que mide tensiones de la red de suministro con un máximo de 250 (V) en CA (corriente alterna), entregando valores adecuados de forma análoga al microcontrolador. Los datos otorgados desde los sensores ingresan al microcontrolador programable, el cual envía señales digitales de control hacia los actuadores y datos de visualización (de temperatura, tiempo y porcentaje de potencia) a la pantalla HMI, estas señales y datos dependen de la programación del microcontrolador.

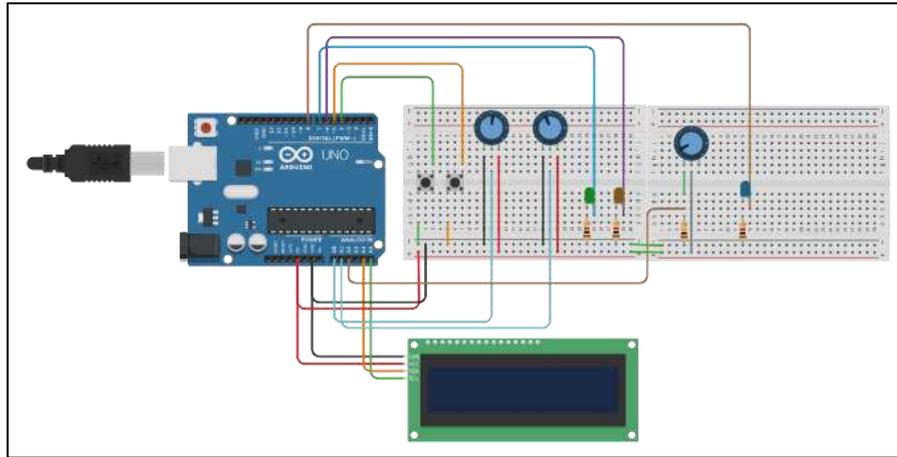
### **4.3. SIMULACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL**

El diagrama electrónico que será utilizado previamente a la construcción de la placa de control será simulado en softwares como Proteus, Eagle y Tinkercad permitiendo el modelamiento, simulación y verificación del funcionamiento del circuito.

Mediante la simulación se procede a una revisión de las posibles fallas en los componentes físicos, evitando daños reales disminuyendo pérdidas económicas. Proteus tiene varias formas de realizar las simulaciones entre ellas están:

- ✓ Simulación de esquemáticos
- ✓ Simulación en tiempo real
- ✓ Simulación de microcontroladores

La simulación en tiempo real será la opción elegida para la presente propuesta tecnológica ya que es más eficiente con el uso de microcontroladores y componentes dinámicos, en la figura 4.11 se observa el circuito de la soldadora de resistencia por punto simulado en el programa Tinkercad con los dispositivos electrónicos que serán implementados en la placa física.



**Figura 4.11** Circuito simulado de la propuesta tecnológica  
**Fuente:** Grupo Investigador

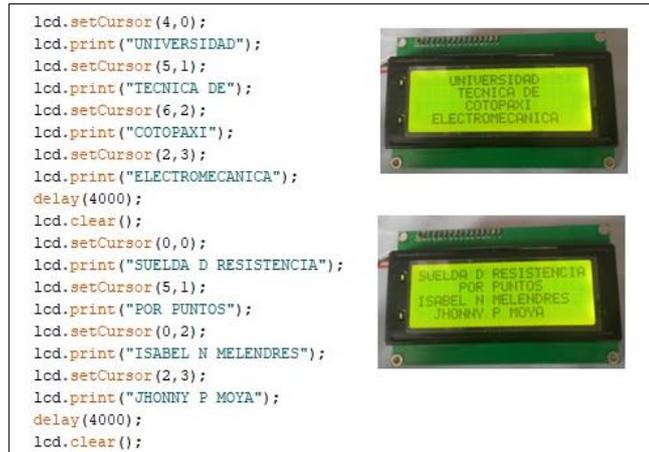
#### **4.4. PROGRAMACIÓN EN IDE (ARDUINO)**

IDE (Integrated Development Environment) que significa: Entorno de Desarrollo Integrado es una plataforma digital que se encuentra en desarrollo permite escribir, compilar y cargar códigos en cualquier placa de Arduino, ya sea Arduino UNO hasta el Arduino Nano. Este software contiene:

- ✓ Editor de texto con el lenguaje C++.
- ✓ Gestión de proyectos organizándolos por carpetas dentro del software, con la posibilidad de abrir varias carpetas en el mismo tiempo.
- ✓ Compilador convirtiendo cualquier código ingresado en lenguaje apropiado para Arduino.
- ✓ Carga de código mediante una entrada USB que podrá ser conectada a cualquier computador fijo o portable.
- ✓ Librerías que interactúan con una gran cantidad de componentes y periféricos.
- ✓ Herramientas de depuración básicas para la detección de errores al cargar el código.
- ✓ Soporte multiplataforma disponible para Windows, MacOS y Linux.

##### **4.4.1. Programación visualizada en pantalla LCD**

La pantalla LCD que se utilizó fue la 20x4 con la biblioteca Liquid Crystal que facilita la comunicación con la pantalla, mediante la conexión de sus pines de datos y de control a los pines digitales del microcontrolador Arduino Nano, obteniéndose una programación para que en la pantalla se vea el siguiente mensaje de bienvenida visualizado en la figura 4.12.



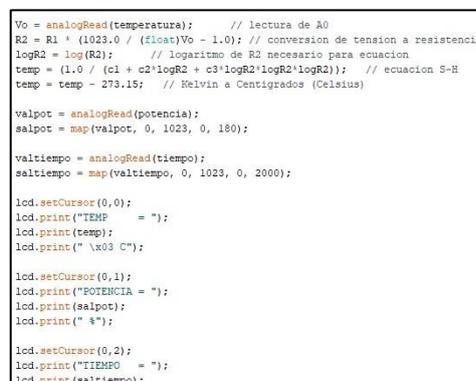
**Figura 4.12** Mensaje de bienvenida  
**Fuente:** Grupo Investigador

Pasados cuatro segundos se visualiza los parámetros de funcionamiento de la máquina soldadora indicada en la figura 4.13 con su respectiva programación.



**Figura 4.13** Mensaje de parámetros  
**Fuente:** Grupo Investigador

A continuación, se procedió a la programación del rango de operación de la temperatura, la potencia y el tiempo mismos que puede observar en la figura 4.14.

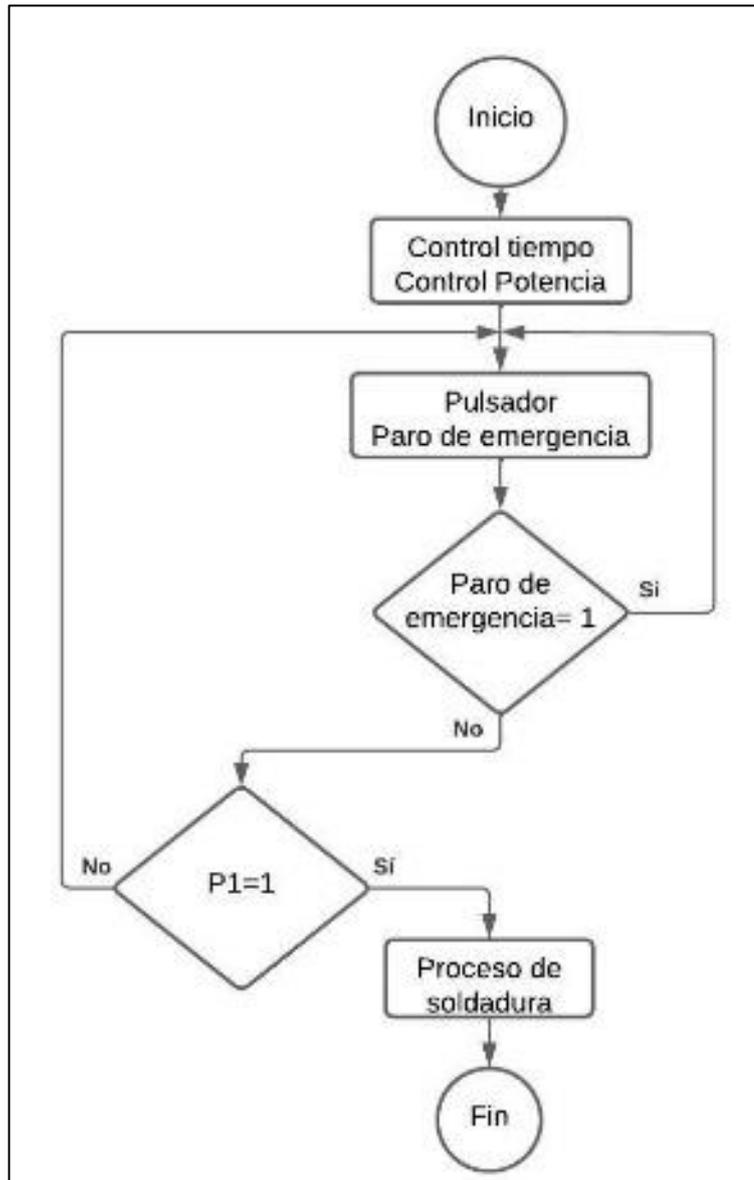


**Figura 4.14** Programación de control de temperatura potencia y tiempo  
**Fuente:** Grupo Investigador

#### 4.4.2. Diagramas de flujo del funcionamiento de RSW

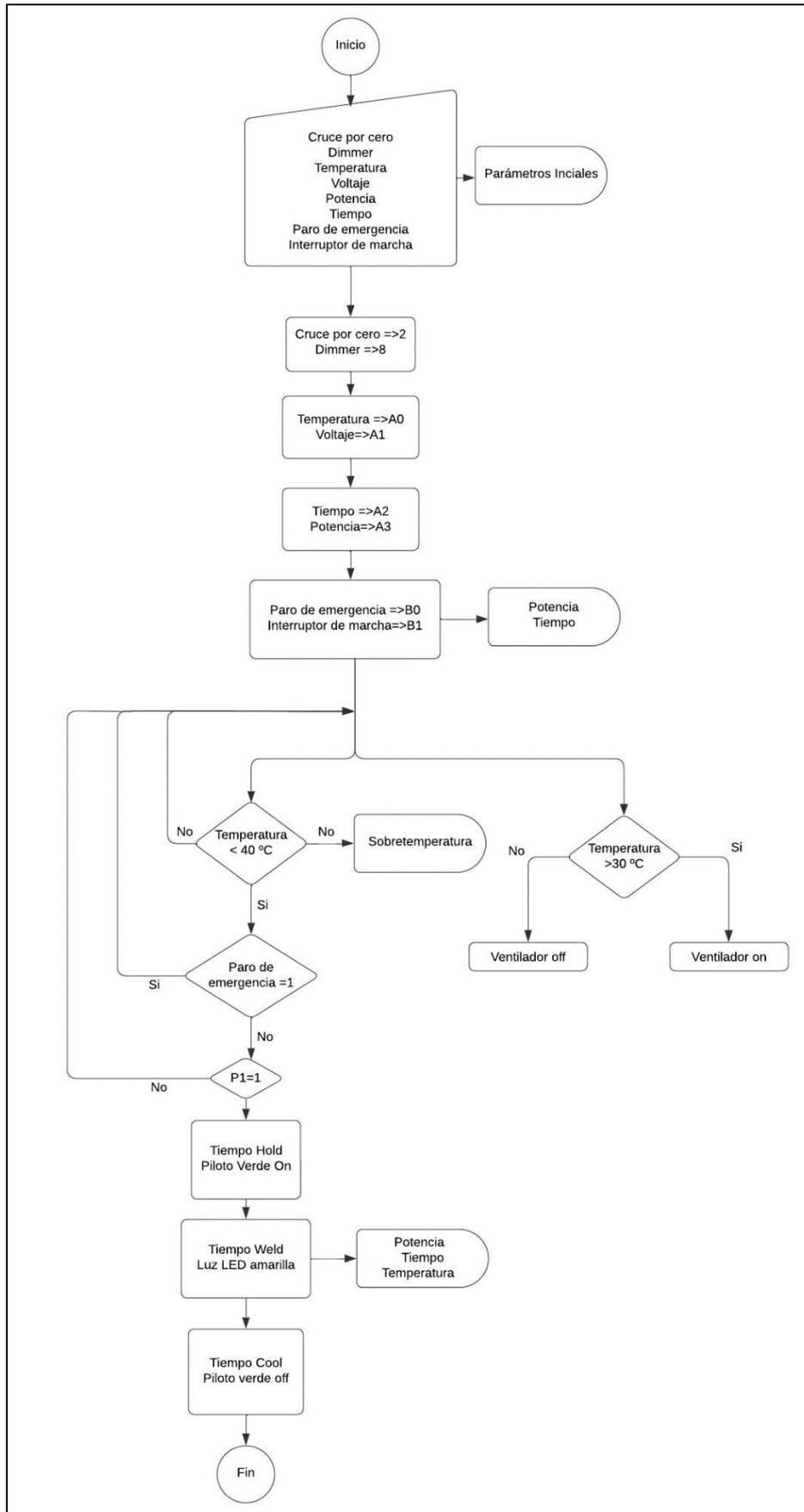
El control de este proceso de soldadura por puntos indicado en la figura 4.15 se rige bajo los siguientes pasos de ejecución:

- Al momento de encender la máquina soldadora se visualiza en la pantalla LCD una bienvenida, para dar paso a los parámetros de control como son el porcentaje de potencia, su tiempo de trabajo y temperatura de funcionamiento.
- Se regula el parámetro de potencia mediante un potenciómetro PT1, que varía desde 0 al 100 (%), correspondiente de forma lineal a la potencia en base a los espesores de chapas metálicas a soldar.
- Se regula el parámetro de tiempo dependiendo de los espesores de planchas mediante un potenciómetro PT2, que varía de 0 a 100 (%), correspondiente de 0 a 3 (s) respectivamente.
- Si durante el proceso de soldadura se presenta una variación de temperatura en el módulo de control mayor a 30 (°C), la tarjeta de control activará el ventilador, por otra parte, si su temperatura supera los 40 (°C) se detendrá su funcionamiento dando un mensaje de “ALERTA SOBRETENPERATURA” en la pantalla LCD.
- Cuando retorne a valores regulares de temperatura de funcionamiento se desactivará el mensaje de aviso en la pantalla LCD, aunque la máquina sigue con el proceso de soldadura.
- El proceso de soldadura inicia desde el apriete de las piezas metálicas entre los electrodos encendiéndose una luz piloto de color verde la cual seguirá encendida durante todo el proceso de soldadura, mientras que en el Weld Time se encenderá una luz piloto amarilla finalizando con el Cold Time donde será seguro el retiro de presión aplicado en el pedal.
- El Hold Time y el Cold Time que son tiempos de sostenimiento y enfriamiento respectivamente mismos que tendrán una duración de 2 (s) mientras que el Weld Time o tiempo de soldadura dependerá de los espesores que se deseen soldar, por lo que su duración será desde 100 (ms) hasta 3 000 (ms).
- En cualquier momento de operación de la máquina soldadora se podrá detener su funcionamiento con el botón de par emergencia, cumpliendo su función de seguridad en momentos de peligro inminente hacia el operador.



**Figura 4.15** Diagrama de flujo de una RSW  
**Fuente:** Grupo Investigador

Los parámetros que se obtuvieron en el aparatado anterior, se pueden resumir en el diagrama de flujo indicado en la figura 4.16 en el mismo que se puede visualizar el funcionamiento de la soldadora de resistencia por puntos.



**Figura 4.16** Diagrama de flujo de una RSW  
**Fuente:** Grupo Investigador

## 4.5. CONSTRUCCIÓN DE PLACA DE CONTROL

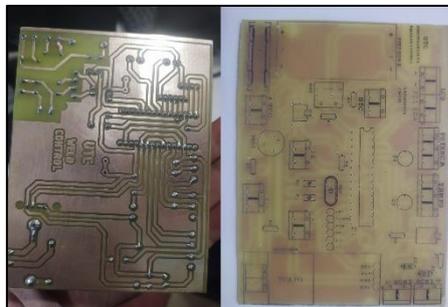
### 4.5.1. Proceso CNC para elaboración de placa base

Sus siglas corresponden a Control Numérico por Computadora, este método se utiliza para la elaboración de placas electrónicas, el uso de máquinas CNC son manipuladas para operaciones precisas con el uso de sustratos de cobre para la creación de pistas de conducción eléctrica como se indica en la figura 4.17.



**Figura 4.17** Elaboración de placa base mediante CNC  
**Fuente:** Grupo Investigador

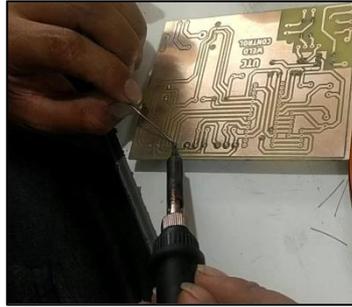
El resultado final es el circuito impreso mostrado en la figura 4.18 donde se puede apreciar los dos lados de la placa de control donde fueron instalados los elementos electrónicos de control.



**Figura 4.18** Placa base elaborada con máquina CNC  
**Fuente:** Grupo Investigador

### 4.5.2. Soldadura de elementos electrónicos

En el siguiente paso se utilizó estaño 60/40 (60 % estaño y 40 % plomo) para soldar todos los elementos en la placa de circuito impreso (PCB), esto se puede visualizar en la figura 4.19.



**Figura 4.19** Proceso de soldadura  
**Fuente:** Grupo Investigador

### **4.5.3. Montaje y cableado de elementos de control**

En este paso se procedió a la conexión de los dispositivos electrónicos, como son: la fuente DC, la placa de control y el módulo tiristor sobre sobre su estructura de soporte como se demuestra en la figura 4.20.

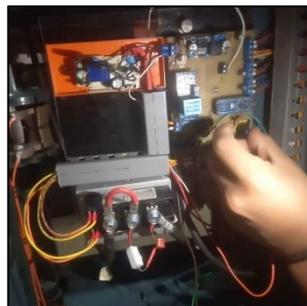


**Figura 4.20** Módulo de control  
**Fuente:** Grupo Investigador

## **4.6. IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL**

### **4.6.1. Fijación de módulo de control**

Se instaló el módulo de control, en la parte interna de la máquina RSW específicamente debajo del transformador fijándolo en la estructura mediante el uso de pernos y arandelas de presión lo cual se puede ver en la figura 4.21.



**Figura 4.21** Colocación de módulo de control  
**Fuente:** Grupo Investigador

El módulo tiristor se instaló en la parte inferior de la máquina soldadora como se muestra en la figura 4.6. con su disipador de calor montado debajo de él, sobre este disipador está fijado el sensor de temperatura NCT 100K mismo que envía datos al Arduino Nano, para que si se diera el caso de existir una sobre temperatura se activa el ventilador que se encuentra colocado frente a este módulo para forzar el enfriamiento.

#### 4.6.2. Instalación de elementos de visualización y regulación

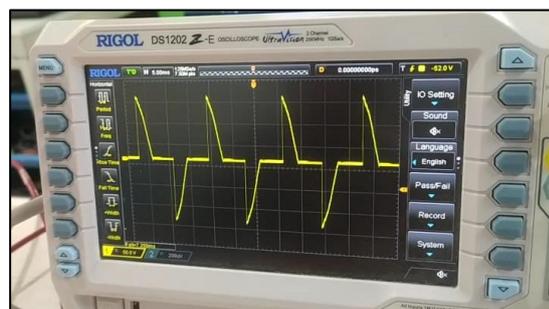
En la parte frontal de la soldadora de resistencia por puntos se ubicaron las luces piloto verde y amarilla, los potenciómetros de potencia y tiempo del proceso de soldadura, el pulsador de paro de emergencia y la pantalla LCD como se indica en la figura 4.22.



**Figura 4.22** Vista frontal de máquina soldadora  
**Fuente:** Grupo Investigador

#### 4.7. CALIBRACIÓN FINAL Y PUESTA EN MARCHA

Para la comprobación de la salida de la onda rectificada medida en la salida del módulo tiristor, se procede a la realización de pruebas con el uso del osciloscopio marca RIGOL obteniéndose diferentes formas de onda como la indicada en la figura 4.23 con esto se corrobora el correcto funcionamiento del módulo tiristor y por ende el paso de la corriente por los electrodos con diferentes tiempos de activación.



**Figura 4.23** Onda de salida rectificada  
**Fuente:** Grupo Investigador

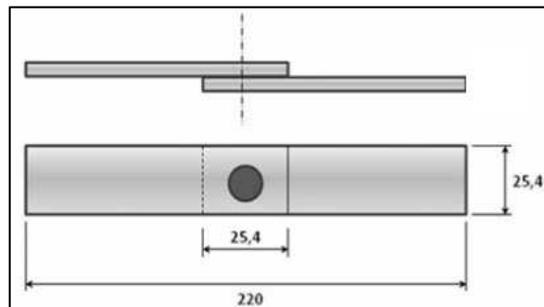
El paso a seguir fue la realización de pruebas en la RSW como se observa en la figura 4.24, para verificar que la máquina suelde planchas metálicas con espesores que van desde entre 0,4 (mm) hasta 1,5 (mm) conjuntamente se regulan los valores de potencia y tiempo de soldadura para cada una de los espesores variando los potenciómetros que se encuentran en la parte frontal de la máquina.



**Figura 4.24** Pruebas de soldadura por puntos  
**Fuente:** Grupo Investigador

#### 4.8. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Por último, se procedió a la realización de pruebas destructivas en las probetas metálicas soldadas, siguiendo la normativa ISO 14272:2016 con varios espesores siendo las láminas más delgadas de 0,4 (mm) de acero galvanizado mientras que las restantes son láminas de acero de bajo carbono. Las medidas de las probetas que se soldaron se muestran en la figura 4.25.

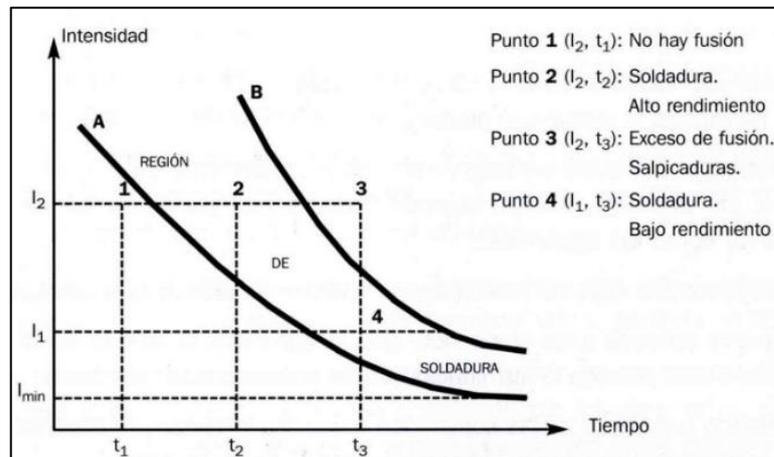


**Figura 4.25** Esquema de probetas para ensayos de tensión  
**Fuente:** [45]

#### 4.9. CURVAS I vs T

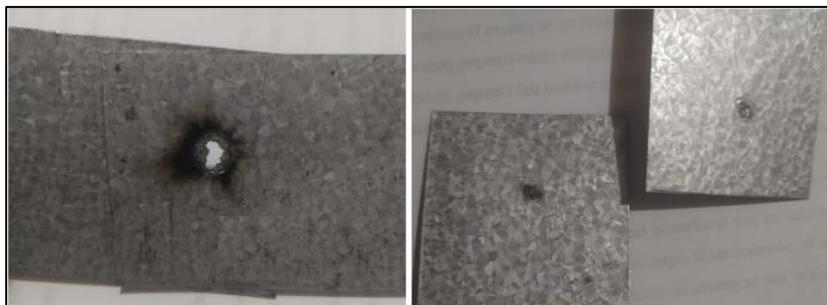
Como primer paso para la calibración de la RSW se tomó en cuenta la curva visualizada en la figura 4.26. la cual nos indica la región de soldadura donde se puede deducir que la corriente es el factor principal en el calentamiento de los electrodos para que llegue al punto de fusión que son 1450 °C siendo esta la temperatura óptima para la unión de los materiales que se deseen soldar, además la resistencia de las chapas metálicas es constante de acuerdo a su espesor

mientras que el tiempo varía en función de la intensidad aplicada, esto se puede evidenciar en la figura 4.26.



**Figura 4.26** Región de soldadura  
Fuente: [46]

La realización de pruebas de soldadura, se llevó a cabo variando el tiempo y potencia mediante el uso de los potenciómetros, obteniéndose diferentes puntos de suelda, produciéndose huecos en la zona expuesta cuando se aplicó corrientes excesivas o generando soldaduras débiles por falta de corriente y tiempo adecuados como se indica en la figura 4.27.



**Figura 4.27** Exceso y falta de aplicación de corriente  
Fuente: Grupo Investigador

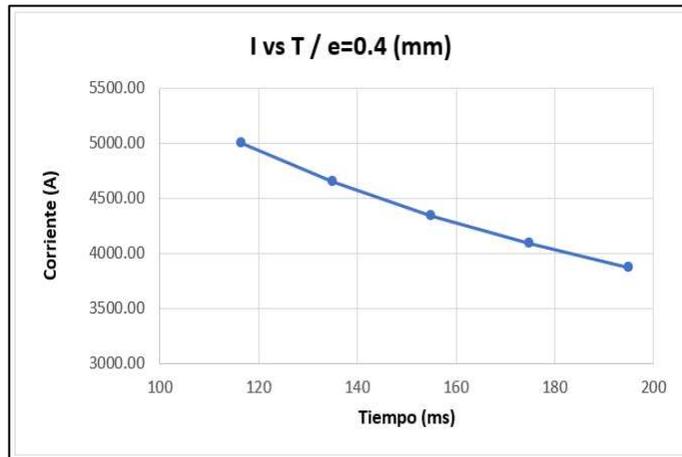
Los espesores que fueron puestos a pruebas van desde los 0,4 (mm) hasta 1,5 (mm), regulando el tiempo de suela para un mismo espesor tomando como base el tiempo óptimo de soldadura de la tabla 2.1.

Para un espesor de 0,4 (mm) se inició con un tiempo de 116,67 (ms) con respecto a una corriente de 5000 (A) llegando a un tiempo máximo de 195 (ms) con una corriente aplicada de 3868 (A) tal cual como se muestra en la tabla 4.5 estos valores están visualizados en la curva I vs T de la figura 4.28.

**Tabla 4.5** Pruebas de soldadura con e= 0,4 (mm)

<b>Espesor (mm)</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>Tiempo (ms)</b>
0,4	5000,00	116,67
	4648,78	135
	4338,50	155
	4083,00	175
	3868,00	195

**Fuente:** Grupo Investigador



**Figura 4.28** Curva I vs T con e= 0,4 (mm)

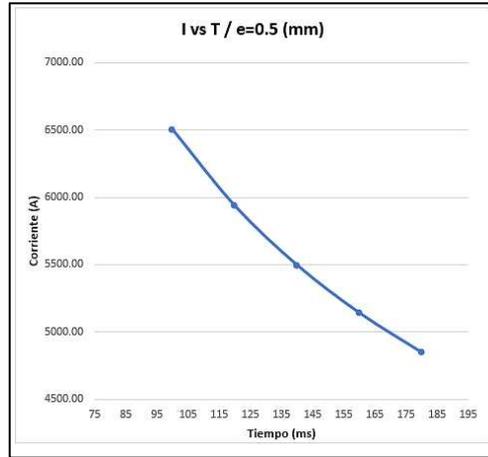
**Fuente:** Grupo Investigador

Para un espesor de 0,5 (mm) se inició con un tiempo de 100 (ms) con respecto a una corriente de 6500 (A) llegando a un tiempo máximo de 180 (ms) con una corriente aplicada de 4844,81(A) indicada en la tabla 4.6 estos valores están graficados en la curva I vs T de la figura 4.29.

**Tabla 4.6** Pruebas de soldadura con e= 0,5 (mm)

<b>Espesor (mm)</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>Tiempo (ms)</b>
0,5	6500,00	100
	5933,66	120
	5493,50	140
	5138,70	160
	4844,81	180

**Fuente:** Grupo Investigador



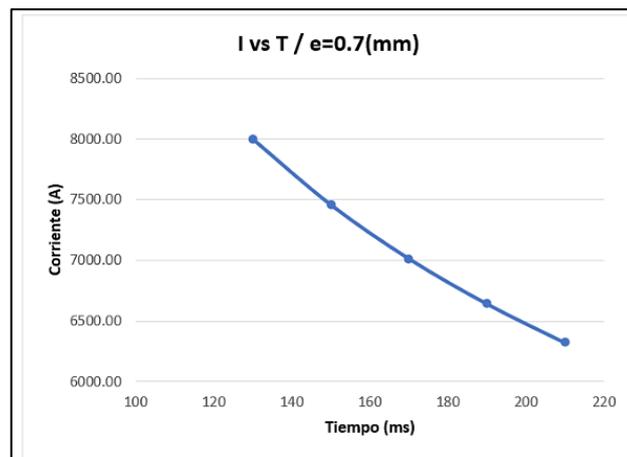
**Figura 4.29** Curva I vs T con e= 0,5 (mm)  
**Fuente:** Grupo Investigador

Con un espesor de 0,7 (mm) se inició con un tiempo de 130 (ms) con respecto a una corriente de 8000 (A) llegando a un tiempo máximo de 210 (ms) con una corriente aplicada de 6321,59 (A), valores mostrados en la tabla 4.7 y siendo colocados en la curva I vs T de la figura 4.30.

**Tabla 4.7** Pruebas de soldadura con e= 0,7 (mm)

Espesor (mm)	Corriente (A)	Tiempo (ms)
0,7	8000,00	130
	7458,82	150
	7014,44	170
	6642,06	190
	6321,59	210

**Fuente:** Grupo Investigador



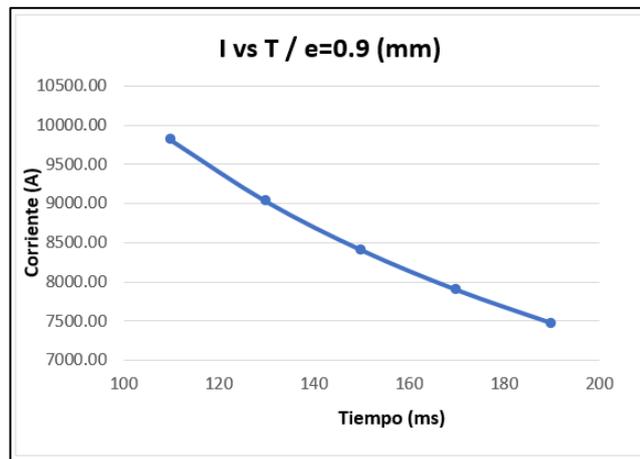
**Figura 4.30** Curva I vs T con e= 0,7 (mm)  
**Fuente:** Grupo Investigador

Con un espesor de 0,9 (mm) se inició con un tiempo de 110 (ms) con respecto a una corriente de 9809 (A) llegando a un tiempo máximo de 190 (ms) con una corriente aplicada de 7463,60 (A), todo esto indicado en la tabla 4.8 generándose una curva I vs T de la figura 4.31.

**Tabla 4.8** Pruebas de soldadura con e= 0,9 (mm)

<b>Espesor (mm)</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>Tiempo (ms)</b>
0,9	9809,00	110
	9023,00	130
	8400,00	150
	7890,43	170
	7463,60	190

Fuente: Grupo Investigador



**Figura 4.31** Curva I vs T con e= 0,9 (mm)

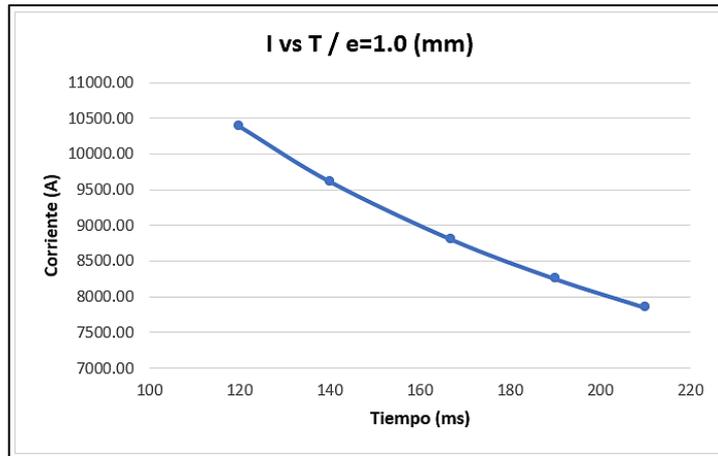
Fuente: Grupo Investigador

Para un espesor de 1,0 (mm) se inició con un tiempo de 120 (ms) con relación a una corriente de 10381,27 (A) llegando a un tiempo máximo de 210 (ms) con una corriente aplicada de 7847,50 (A), valores detallados en la tabla 4.9. obteniendo la curva I vs T de la figura 4.32.

**Tabla 4.9** Pruebas de soldadura con e= 1,0 (mm)

<b>Espesor (mm)</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>Tiempo (ms)</b>
1,0	10381,27	120
	9611,18	140
	8800,00	167
	8250,19	190
	7847,50	210

Fuente: Grupo Investigador



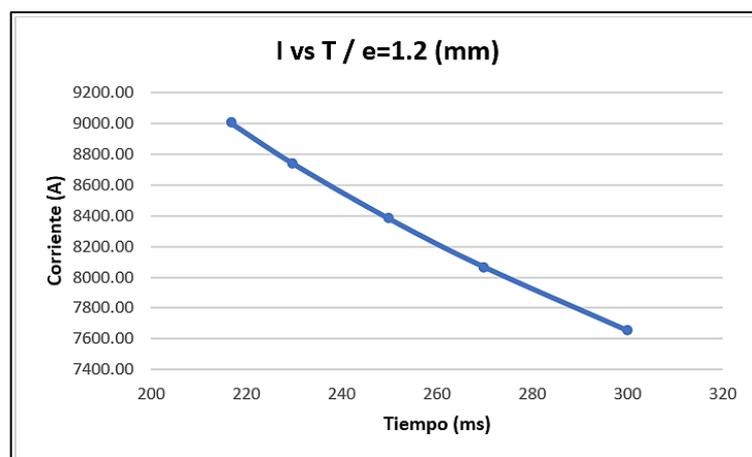
**Figura 4.32** Curva I vs T con e= 1,0 (mm)  
**Fuente:** Grupo Investigador

Con espesor de 1,2 (mm) se inició con un tiempo de 217 (ms) con relación a una corriente de 9000,00 (A) llegando a un tiempo máximo de 300 (ms) con una corriente aplicada de 7649,12 (A), valores detallados en la tabla 4.10 visualizándose la curva I vs T de la figura 4.33.

**Tabla 4.10** Pruebas de soldadura con e= 1,2 (mm)

Espesor (mm)	Corriente (A)	Tiempo (ms)
1,2	9000,00	217
	8735,90	230
	8379,19	250
	8062,88	270
	7649,12	300

**Fuente:** Grupo Investigador



**Figura 4.33** Curva I vs T con e= 1,2 (mm)  
**Fuente:** Grupo Investigador

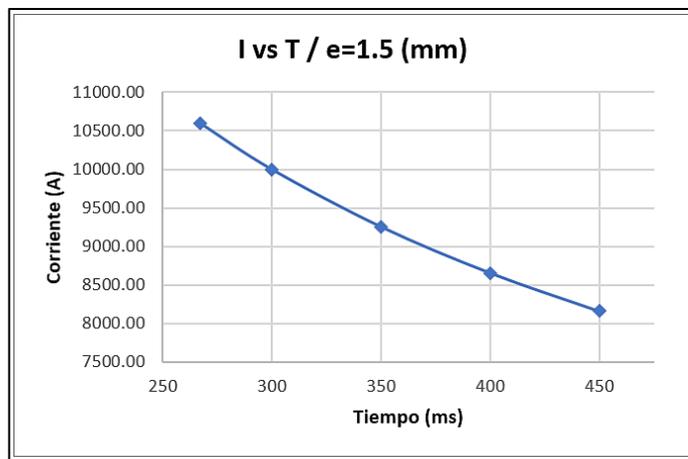
Para el espesor de 1,5 (mm) se inició con un tiempo de 267 (ms) con relación a una corriente de 10600,00 (A) llegando a un tiempo máximo de 450 (ms) con una corriente aplicada de

8165,00 (A), valores que se observan en la tabla 4.11 graficándose en la curva I vs T de la figura 4.34.

**Tabla 4.11** Pruebas de soldadura con e= 1,5 (mm)

Espesor (mm)	Corriente (A)	Tiempo (ms)
1,5	10600,00	267
	10000,00	300
	9258,22	350
	8660,27	400
	8165,00	450

Fuente: Grupo Investigador



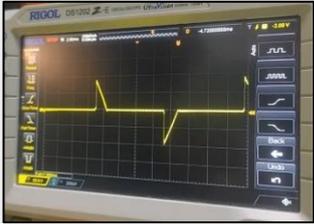
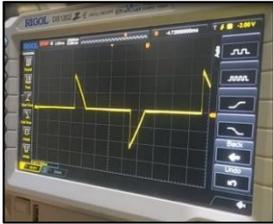
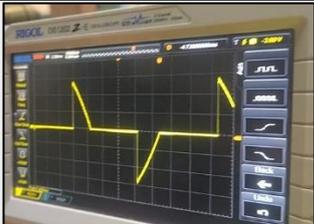
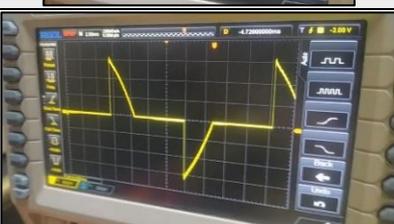
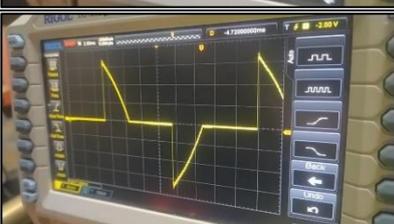
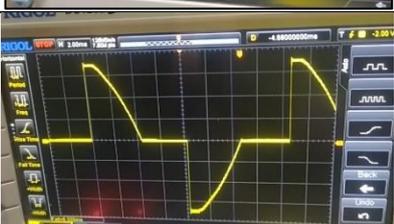
**Figura 4.34** Curva I vs T con e= 1,5 (mm)

Fuente: Grupo Investigador

#### 4.10. OBTENCIÓN DE ÁNGULOS DE DISPARO

Con la ayuda del osciloscopio marca RIGOL y con las potencias y tiempo de soldadura regulados para cada espesor se obtuvieron las formas de onda en la carga, obteniéndose los siguientes datos reales de potencia y tiempo de trabajo, así como también los ángulos de disparo del módulo tiristor y las formas de onda de voltaje en la carga que se pueden observar en la tabla 4.12 generados en cada tiempo de suelda de los espesores seleccionados.

**Tabla 4.12** Formas de onda en la carga con varios espesores

Espesor (mm)	Potencia (%)	Tiempo (ms)	Ángulo de disparo (grados)	Forma de onda en la carga
0,4	65	173,37	120	
0,5	69	176,70	110	
0,7	70	180,04	105	
0,9	81	183,37	100	
1,0	85	193,37	98	
1,2	90	253,37	95	
1,5	95	293,39	89	

Fuente: Grupo Investigador

#### 4.11. TABLAS DE POTENCIA Y TIEMPOS

En la tabla 4.13 se indica los valores obtenidos de las mediciones de potencia y tiempo de soldadura, en adicción están los diámetros de los puntos soldados para cada tipo de espesor, siendo estos valores comparados con los datos de la tabla 2.1 obteniéndose porcentajes de error sumamente bajos.

Tabla 4.13 Medición de Potencia, tiempo y diámetro de punto fusionado

Espesor (mm)	Potencia medida (%)	Tiempo medido (ms)	Tiempo según tabla (ms)	% Error	Diámetro medido del punto (ms)	Diámetro del punto según tabla (ms)	% Error
0,4	65	100.00	80,02	0,25	2,40	2,87	0,16
0,5	69	100.00	100,02	0,0002	3,50	3,53	0,01
0,7	69	115.00	118,55	0,03	3,60	3,67	0,02
0,9	81	150.00	147,66	0,00	3,70	4,07	0,09
1,0	85	180.00	166,70	0,08	3,70	4,59	0,19
1,2	90	250.00	233,38	0,07	4,50	5,334	1,00
1,5	95	300.00	300,06	0,0002	5,00	5,87	0,15

Fuente: Grupo Investigador

#### 4.12. ENSAYOS DE TRACCIÓN CON DIFERENTES ESPESORES

La Universidad Técnica de Cotopaxi cuenta en su Laboratorio de Mecanizado con una máquina para ensayos de tracción marca Tinius Olsen 600SL que se observa en la figura 4.35 con capacidad máxima de 600 (kN) que rige de acuerdo a normativas ASTM E8 / E8M.

Esta máquina de ensayos de tracción registra sus datos en tiempo real de fuerza aplicada y la velocidad del aumento de tensión en las probetas colocadas en sus mordazas con un rango de 11,5 (MPa/s) permitiendo el control automatizado de las deformaciones producidas con un rango de precisión de  $\pm 5$  (%) brindando confiabilidad en los resultados obtenidos.



**Figura 4.35** Máquina de ensayos de tracción  
Fuente: Grupo Investigador

Los ensayos de tracción se realizaron con las siguientes probetas que tuvieron espesores desde 0,4 (mm) hasta 1,5 (mm) obteniéndose resultados detallados en la tabla 4.14.

**Tabla 4.14** Resultados de ensayos destructivos

Espesor (mm)	Potencia (%)	Tiempo (ms)	Diámetro del punto ( $\phi$ )	Evidencia fotográfica
0,4	65	100	2,4	
0,5	69	100	3,5	
0,7	69	115	3,6	

0,9	81	150	3,7	
1,0	85	180	3,7	
1,2	90	250	4,5	
1,5	95	300	5,0	

Fuente: Grupo Investigador

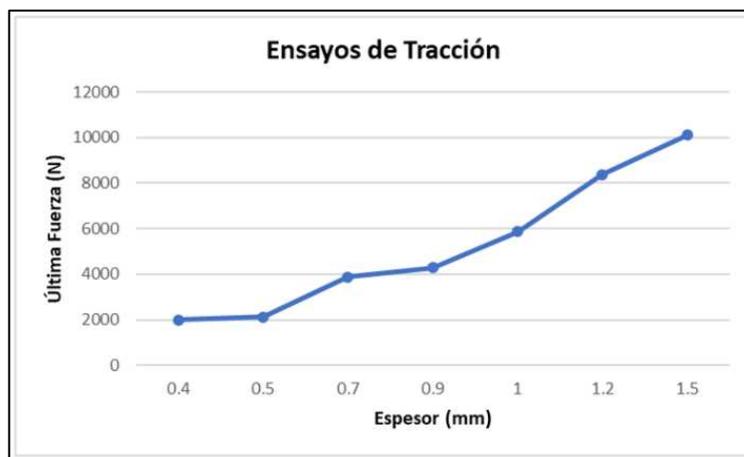
En la siguiente tabla 4.15 se detallan los parámetros medidos por la máquina de ensayos de tracción para determinar la calidad de las uniones soldadas con diferentes espesores de láminas metálicas desde 0,4 (mm) hasta 1,5 (mm).

Tabla 4.15 Resultados de Ensayos de Tracción

Espesor (mm)	Última Fuerza (N)
0,4	1983,91
0,5	2124,46
0,7	3869,95
0,9	4289,93
1,0	5871,65
1,2	8363,70
1,5	10110,81

Fuente: Grupo Investigador

Con estos datos obtenidos se generó la gráfica 4.36 que es la curva de la Última Fuerza Aplicada VS espesor medido en la cual se determinó que, a mayor espesor soldado, mayor es su resistencia a la tracción, debido a que se aplica más potencia y mayor tiempo de exposición al calor.



**Figura 4.36** Curva Última Fuerza Aplicada VS espesor aplicado  
**Fuente:** Grupo Investigador

En la tabla 4.16 se detallan las potencias y tiempo finales de soldadura para los espesores de los cuales se obtuvieron las curvas I vs T, los ángulos de disparo, las formas de onda en la carga y las ultimas fuerzas según pruebas de tracción.

**Tabla 4.16** Resultados finales

<b>Espesor (mm)</b>	<b>Potencia (%)</b>	<b>Tiempo (ms)</b>
0,4	50	100
0,5	60	100
0.7	70	100
0,9	70	150
1,0	80	150
1,2	85	200
1,5	95	300

**Fuente:** Grupo Investigador

Con estos valores se obtuvieron puntos de soldadura con diámetros aproximados a los de tabla 2.1 que se encuentra bajo la normativa AWS C1.1 misma que regula estándares específicos de soldaduras.

#### 4.13. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En la tabla 4.17 se describe los costos de los materiales que fueron utilizados en nuestra propuesta tecnológica dando un total de 326,96 USD.

**Tabla 4.17** Detalle de costos de Módulo de Control

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Total (USD)</b>
Sensor de voltaje	1	7,50	7,50
Módulo tiristor	1	180,00	180,00
Módulo relé	1	5,00	5,00
Fuente de DC	1	20,00	20,00
Step Down LM2596	1	4,00	4,00
MOC 3021	1	1,50	1,50
Diodo 1N4007	2	1,00	2,00
Resistencias de 1/4 w	4	0,25	1,00
Capacitor cerámico	2	0,25	0,50
Capacitor electrolítico	2	0,50	1,00
Puente de diodos	1	1,50	1,50
Fusible	1	5,00	5,00
Conector para placa 2 puntos	9	1,00	9,00
Conector para placa 3 puntos	2	1,50	3,00
Pulsador	1	1,00	1,00
Oscilador	1	1,00	1,00
ATmega328P	1	7,00	7,00
Bus de control de 6 terminales	1	2,00	2,00
Resistencias de 1 (W)	2	0,50	1,00
Resistencias de 2 (W)	1	0,75	0,75
Resistencias de 5 (W)	1	1,50	1,50
Capacitor de 400 (V)	1	100	1,00
Disipador de calor	1	10,00	10,00
Sensor NCT 100K	1	5,00	5,00
Potenciómetro	2	1,50	3,00

Luz Piloto	2	2,00	4,00
Pulsador Paro de emergencia	1	3,75	3,75
Pantalla LCD 20X4 con I2C	1	16,00	16,00
Cable de poder IP44	1	10,00	10,00
Placa PCB	1	7,00	7,00
Cable #AWG 16	4	0,30	1,20
Cable #AWG 22	12	0,23	2,76
Plancha de acrílico de 25 x 28 (cm)	1	5,00	5,00
Acido para baquelita	2	1,50	3,00
		<b>Total</b>	326,96

Fuente: Grupo Investigador

Los equipos utilizados fueron los siguientes indicados en la tabla 4.18.

Tabla 4.18 Detalle de equipos utilizados

Equipos utilizados	Tiempo (Hora)	USD /Hora	Total (USD)
Máquina de corte CNC	2	5,00	10,00
Estación de calor	1	1,00	1,00
Cautín	1	5,00	5,00
		<b>Total</b>	16,00

Fuente: Grupo Investigador

Por el uso del transporte se tuvo un coste detallado en la tabla 4.19

Tabla 4.19 Detalle de transporte utilizado

Transporte	Cantidad	Tarifa / Km	Distancia total (Km)	Total (USD)
Carro	1	0,40	400	160,00

Fuente: Grupo Investigador

Por último, tenemos la mano de obra contrata, la cual se puede observar en la tabla 4.20.

Tabla 4.20 Detalle de mano de obra

Mano de obra	Cantidad	Tarifa / Hora	Diseño de placa /Hora	Total (USD)
Ingeniero Electromecánico	1	15,00	40,00	600,00

Fuente: Grupo Investigador

Sumando los costos de materiales, equipos utilizados, transporte y mano de obra tenemos un total que abarca el 100 (%) de la propuesta tecnológica que esta visualizada en la tabla 4.21.

**Tabla 4.21** Costo total de la Propuesta Tecnológica

<b>Descripción</b>	<b>Costo (USD)</b>
Materiales	326,96
Equipos utilizados	16,00
Transporte	160,00
Mano de obra	600,00
<b>Total Final</b>	<b>1102,96</b>

#### **4.14. IMPACTOS**

##### **4.14.1. Impacto tecnológico**

Esta propuesta tecnológica ayudará a los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi a la obtención de conocimientos prácticos acerca de la soldadura de puntos, su principio de funcionamiento y sus aplicaciones en la industria metalmecánica.

Los graduados de las carreras de Ingeniería Electromecánica e Ingeniería Industrial serán capaces de manipular cualquier soldadora de resistencia por puntos, controlando los parámetros de potencia, amperaje y tiempos de soldadura, logrando con esto la construcción de estructuras metálicas para áreas residenciales o industriales según fuera el caso beneficiando a la industria local y la autonomía productiva.

##### **4.14.2. Impacto social**

Mediante el uso de esta máquina soldadora rehabilitada se puede tener una colaboración de parte de la Universidad Técnica de Cotopaxi con la sociedad por medio de actividades de vinculación generando soluciones prácticas a las problemáticas que intervengan la necesidad del uso del proceso de soldadura por puntos.

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- ✓ En el diseño del módulo de control se separó eléctricamente la parte de potencia de la parte de control mediante el uso de optoacopladores como son el MOC 3021 y el PC817, mismos que fueron utilizados para el cruce por cero y voltaje de disparo del módulo tiristor.
- ✓ En la fase de programación del microcontrolador no fue posible controlar toda la forma de onda que se encuentra en la carga debido a que, en los extremos, el control de la onda es menos estable produciendo corrientes demasiado bajas o extremadamente altas en las

puntas de los electrodos, por esta razón la configuración del rango de funcionamiento para esta máquina soldadora es desde 89 ° a 120 ° que corresponde desde 65 (%) hasta 95 (%) de potencia nominal.

- ✓ La implementación de este módulo de control permite realizar puntos de soldadura que van desde 0,4 (mm) hasta 1,5 (mm) de espesor mediante la regulación del tiempo y potencia especificadas en la tabla 4.16.
- ✓ Para la generación de puntos de suelda con espesor de 0,5 (mm) se aplicó una corriente de 6500 (A) con un tiempo (Weld Time) de 100 (ms) mientras que para un espesor de 1,5 (mm) se configuró una corriente de 8600 (A) con un tiempo de 400 (ms), con esto se puede concluir que mientras más espesor se deba soldar mayor es su corriente y su tiempo de fusión.
- ✓ Para la validación de esta propuesta tecnológica se realizó pruebas de tracción donde se dedujo que mientras mayor sea el espesor de las chapas metálicas que se soldaron con la máquina por puntos, mayor fue su resistencia a la tracción, por ejemplo, con un espesor de 0,4 (mm) se separó el material a una fuerza de 1983,91 (N) mientras que con un espesor de 1,5 (mm) se desprendió el material con una fuerza de 10110,81 (N).

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- ✓ El módulo tiristor que es un elemento de potencia con numeración MCC132-08io1 el cual soporta una corriente de 127,2 (A) no fue posible encontrarlo a nivel nacional ya que no existen elementos semiconductores que soporten dicha corriente por lo que se recomienda buscarlos por plataformas de compra venta internacionales.
- ✓ Al momento de la construcción se recomienda la no implementación de módulos relés o elementos electromecánicos similares que contengan bobinas en su interior mismas que interfieren con el campo magnético del transformador debido a que se induce un voltaje que va directo al microcontrolador, generando perturbaciones y un mal funcionamiento de la placa de control.
- ✓ Antes de la utilización de la máquina soldadora es necesario la limpieza de las puntas de los electrodos para que exista un buen contacto y por ende paso adecuado de la corriente sobre la zona de fusión de las láminas metálicas que se requieran soldar.
- ✓ Uso de Equipo de Protección Personal (EPP) como son las gafas y guantes porque al momento de soldar en ciertas ocasiones se generan chispas pudiendo dañar los ojos del operador, además de calentarse el material por la aplicación de calor en la zona de soldadura producida por el efecto Joule.

- ✓ No es recomendable la soldadura de chapas metálicas con un espesor de 2 (mm), ya que se necesita una corriente de 11800 (A) según indicaciones de la tabla 2.1 y la máquina soldadora solo alcanza hasta un máximo de 1000 (A) según datos de placa.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. N. Diego Armando, Artist, Automatización de una soldadora de puntos estática. [Art]. Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [2] F. P. Sotomayor Cueva, Tandazo y A. M. Tandazo Nivelá, Artists, Diseño y construcción de una soldadora automática por puntos de resistencia para espesores de 3 mm en la Universidad Tecnológica Equinoccial extensión Santo Domingo 2013. [Art]. Universidad Técnica Equinoccial, 2013.
- [3] E. A. Villacis Pabón, Artist, Implementación de un sistema de control en la soldadora por pie, del laboratorio de soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica. [Art]. Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [4] D. San Juan, «Cero grados celsius,» 01 abril 2015. [En línea]. Available: <https://0grados.com/soldadura-metodos-y-fundamentos/>.
- [5] LOCTITE TEROSON, «<https://blog.reparacion-vehiculos.es>,» 22 diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/articulo-tecnico-como-soldar-con-electrodo-revestido>.
- [6] M. Spotts, Proyectos de elementos de máquinas, séptima ed., Barcelona: Reverté S.A., 2021.
- [7] Cisneros Martín, UF 1964: Conexión de componentes eléctricos y electrónicos, quinta ed., Elearning S.L., 2015.
- [8] J. M. Navarro, T. Gómez Morales, J. L. García Jiménez, E. Águeda Casado y J. G. Gracia, Elementos fijos, séptima ed., Paraninfo S.A., 2023.
- [9] D. Juárez Muñoz, Artist, La electrónica aplicada en el proceso de soldadura por resistencia. [Art]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2016.
- [10] KUKA, «<https://www.kuka.com/>,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/tecnologia/ADas-de-procesamiento/soldadura-de-costura-con-rodillos#:~:text=La%20soldadura%20de%20costura%20con,de%20soldadura%20continuas%20y%20herm%C3%A9ticas..>
- [11] MIPSAs, «<https://www.mipsa.com.mx/>,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.mipsa.com.mx/procesos/soldadura/de-resistencia-por-puntos-rsw/>.

- [12] Material Properties, «<https://material-properties.org>,» 2024. [En línea]. Available: [https://material-properties.org/es/que-es-la-soldadura-por-puntos-por-resistencia-rsw-definicion/#google\\_vignette](https://material-properties.org/es/que-es-la-soldadura-por-puntos-por-resistencia-rsw-definicion/#google_vignette).
- [13] Centro Zaragoza, «Fundamentos de la soldadura por puntos,» Carrocería y pintura, Junio 2017.
- [14] ingeniería mecánica blog, «<https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com>,» 25 junio 2023. [En línea]. Available: <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2023/06/procesos-de-soldadura.html>.
- [15] Bearcat S.A., «<https://bearcat.es>,» 20 noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://bearcat.es/2022/11/20/que-es-la-soldadura-por-puntos/#:~:text=Los%20par%C3%A1metros%20m%C3%A1s%20importantes%20de,e%20calor%20y%20la%20presi%C3%B3n..>
- [16] BRITISH FEDERAL MÉXICO, «<https://bfmx.com>,» 2019 diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://bfmx.com/soldadura/parametros-de-soldadura-que-debes-regular/>.
- [17] E. DeGarmo, J. Black y R. Kohser, Materiales y procesos de fabricación, Segunda ed., Barcelona: Reverté, 2022.
- [18] Instituto Politécnico Nacional, «<https://www.ipn.mx/>,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ipn.mx/assets/files/cecyt4/docs/estudiantes/aulas/guias/cuarto/vespertino/procesos/procesos-de-soldadura.pdf>.
- [19] Rincón del vago, «<https://html.rincondelvago.com>,» 2018. [En línea]. Available: [https://html.rincondelvago.com/soldadura\\_14.html](https://html.rincondelvago.com/soldadura_14.html).
- [20] MACHINEMFG, «<https://www.machinemfg.com/>,» 3 enero 2024. [En línea]. Available: <https://www.machinemfg.com/es/spot-welding-guide/>.
- [21] J. A. Aguilar Schafer, «<http://biblio3.url.edu.gt>,» 2013. [En línea]. Available: [http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro\\_ma/18.pdf](http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro_ma/18.pdf).
- [22] AWS, AWS C1.1M / C1.1, sexta ed., 2022.
- [23] ENTRON Control, Inc., «<https://es.slideshare.net>,» 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/caincastillo94/welding-basics-spanish>.
- [24] J. C. Martín Castillo y M. Balsega Carreras, Electrotecnia, Editex, 2017.
- [25] slideshare, «<https://es.slideshare.net>,» 31 agosto 2010. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/hectorin63/el-transformador-tarea>.
- [26] R. Boylestad y L. Nashelsky, Electrónica teoría de circuitos y dispositivos electrónicos, onceava ed., México: Pearson, 2018.
- [27] Universidad de Vigo, «[https://dte\\_recursos.webs.uvigo.es](https://dte_recursos.webs.uvigo.es),» 2023. [En línea]. Available: [https://dte\\_recursos.webs.uvigo.es/recursos/multimedia/potencia/dc-ac/tiristor.htm](https://dte_recursos.webs.uvigo.es/recursos/multimedia/potencia/dc-ac/tiristor.htm).

- [28] J. d. D. Sánchez López, Dispositivos electrónicos de potencia, T. Di Bella, Ed., Mexicali, Baja California, 2020.
- [29] W. Leitan, «<https://wilaebaelectronica.blogspot.com/>,» 21 abril 2018. [En línea]. Available: <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2018/04/detector-de-cruce-porcero-con-optoacoplador-optoelectronica.html>. [Último acceso: 12 12 2023].
- [30] M. Cirovic, Electrónica fundamental: dispositivos, circuitos y sistemas, Barcelona: Reverté, 2020.
- [31] AX desarrollos, «<https://axdesarrollos.blogspot.com/>,» 29 septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://axdesarrollos.blogspot.com/2013/09/explicacion-control-de-fase-directo.html>.
- [32] S. E. Jami Alomoto y J. C. Rivera Alvarado, Artists, Actualización de los módulos de control de convertidores estáticos de energía AC-AC, mediante una PC: control de fase diferencial, troceador AC y control de fase directo. [Art]. Escuela Politécnica del ejército, 2009.
- [33] C. Peña Millahual, Arduino La guía para realizar tus prototipos electrónicos, Six, 2017.
- [34] A. Moreno Muñoz y S. Córcoles Córcoles, Arduino caso práctico, Madrid: Ra-Ma, 2018.
- [35] E. López Aldea, Arduino, guía práctica de fundamentos y simulación, Madrid: Ra Ma, 2016.
- [36] C. Millahual Peña, Arduino La guía para realizar tus prototipos electrónicos. De cero a experto - Proyectos prácticos paso a paso, primera ed., Buenos Aires: Six, 2017.
- [37] Megatrónica, «Megatrónica robótica, electrónica, computación, ingeniería,» 2024. [En línea]. Available: <https://megatronica.cc/producto/pantalla-lcd-2004-20x4-arduino/>.
- [38] J. Balcells y J. L. Romeral, Autómatas programables, Barcelona: Marcombo, 1997.
- [39] Researchgate, «<https://www.researchgate.net/>,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/Common-sensor-categories-including-magnetic-sensors-in-IoT-applications-Magnetic-sensors\\_fig1\\_334760981](https://www.researchgate.net/figure/Common-sensor-categories-including-magnetic-sensors-in-IoT-applications-Magnetic-sensors_fig1_334760981).
- [40] UpKeep, «<https://upkeep.com/>,» 2024. [En línea]. Available: <https://upkeep.com/es/learning/voltage-sensors/#conclusi%C3%B3n>.
- [41] L. Corona Ramírez, G. Abarca Jiménez y J. Mares Carreño, Sensores y actuadores Aplicaciones con Arduino, Azcapotzalco: Patria, 2014.
- [42] L. Joyanes Aguilar, Internet de las cosas, Bogotá: Alfa, 2021.
- [43] J. Roldán Virola, Montaje y reparación de automatismos eléctricos UF 0889, España: Paraninfo, 2023.

- [44] IESA, «<https://www.iesacr.com>,» 2023. [En línea]. Available: [https://www.iesacr.com/files/product/ficha/16\\_superflexrvk1.pdf](https://www.iesacr.com/files/product/ficha/16_superflexrvk1.pdf).
- [45] UNE Normalizacion Española, UNE-EN ISO 14272:2016, 2016.
- [46] EAF del automóvil, «<https://eafdelautomovil.blogspot.com>,» 04 abril 2013. [En línea]. Available: <https://eafdelautomovil.blogspot.com/2013/04/soldaduras-por-puntos-de-resistencia.html>.

# ANEXOS