



**Optimización del proceso de soldadura GMAW sobre superficies planas con el diseño y construcción de un equipo automático portátil de suelda e inspección visual, mediante visión artificial para el laboratorio de soldadura en la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Sede Latacunga.**

Hurtado Caina, Jennifer Samanta y Vaca Masapanta, Thalia Alexandra

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Mecatrónica

Doctor: Ing. Terán Herrera, Héctor Cochise

Latacunga, 19 de agosto del 2021



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Optimización del proceso de soldadura GMAW sobre superficies planas con el diseño y construcción de un equipo automático portátil de suelda e inspección visual, mediante visión artificial para el laboratorio de soldadura en la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga”** fue realizado por la señorita **Hurtado Caina, Jennifer Samanta**; y la señorita **Vaca Masapanta, Thalia Alexandra**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 agosto de 2021

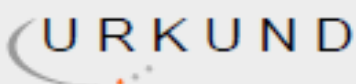
HECTOR  
COCHISE  
TERAN  
HERRERA

Digitally signed  
by HECTOR  
COCHISE TERAN  
HERRERA  
Date: 2021.08.23  
11:57:15 -05'00'

---

Ing. Terán Herrera, Héctor Cochise

C.C.: 050268046-5



## Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS-16-08.docx (D111392448)  
 Submitted: 8/17/2021 6:41:00 PM  
 Submitted By: hcteran@espe.edu.ec  
 Significance: 3 %

### Sources included in the report:

tesis\_scara.pdf (D27109746)  
<https://www.desertcart.ec/products/49869213-lewan-soul-hiwonder-ld-3015-mg-standard-full-metal-gear-digital-servo-with-17-kg-high-torque-for-rc-robot-car-control-angle-270D>  
[https://www.mediaprice.com.ec/producto/camara-web-pc-hd-720p-1280x720-webcam/?gclid=CjwKCAiAxKv\\_BRBdEiwAyd40N4gVnpvtBbFNh\\_UbSXMleLE9Bb4pWI-blKTvu9Utg7Wylsw8D9B8ahoCDk8QAvD\\_BwEMinisterio](https://www.mediaprice.com.ec/producto/camara-web-pc-hd-720p-1280x720-webcam/?gclid=CjwKCAiAxKv_BRBdEiwAyd40N4gVnpvtBbFNh_UbSXMleLE9Bb4pWI-blKTvu9Utg7Wylsw8D9B8ahoCDk8QAvD_BwEMinisterio)  
<https://www.xataka.com/basics/arduino-raspberry-pi-que-cuales-sus-diferencias>  
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/15854/Efecto%20de%20los%20par%20C3%A1metros%20de%20soldeo%20con%20el%20proceso%20GMAW%20robotizado%20en%20un%20acero%20ASTM%20A-36.pdf?isAllowed=y&sequence=1>  
<https://docplayer.es/67867200-Escuela-politecnica-nacional.html>  
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21171/1/T-ESPEL-MEC-0193.pdf>

### Instances where selected sources appear:

19

HECTOR  
 COCHISE  
 TERAN  
 HERRERA  
 A

Digitally signed  
 by HECTOR  
 COCHISE  
 TERAN  
 HERRERA  
 Date:  
 2021.08.19  
 00:09:51 -05'00'



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Hurtado Caina, Jennifer Samanta** con cédula de ciudadanía N° 180371485-4 y **Vaca Masapanta, Thalia Alexandra**, con cédula de ciudadanía N° 050390709-9, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“Optimización del proceso de soldadura GMAW sobre superficies planas con el diseño y construcción de un equipo automático portátil de solda e inspección visual, mediante visión artificial para el laboratorio de soldadura en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 19 agosto del 2021

**Hurtado Caina, Jennifer Samanta**

C.C.: 180371485-4

**Vaca Masapanta, Thalia Alexandra**

C.C.: 050390709-9



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Hurtado Caina, Jennifer Samanta** con cédula de ciudadanía N° 180371485-4 y **Vaca Masapanta, Thalia Alexandra**, con cédula de ciudadanía N° 050390709-9, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“Optimización del proceso de soldadura GMAW sobre superficies planas con el diseño y construcción de un equipo automático portátil de suelda e inspección visual, mediante visión artificial para el laboratorio de soldadura en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 19 de agosto del 2021

---

**Hurtado Caina, Jennifer Samanta**

C.C.: 180371485-4

---

**Vaca Masapanta, Thalia Alexandra**

C.C.: 050390709-9

## DEDICATORIA

A mis padres Jaime Hurtado y Nelly Caina por el apoyo incondicional que me brindaron durante mis años de estudios, por el cariño y el esfuerzo que realizaron por verme cumplir mis sueños. A mi hermana Angie Hurtado que fue mi inspiración para ser mejor cada día, y la que siempre estuvo para brindarme un abrazo en los momentos difíciles.

**Samanta**

Este trabajo está dedicado a mi Dios por haberme protegido y guiado en el transcurso universitario, a mis padres Augusto Vaca y Lina Masapanta que me brindaron siempre su amor y paciencia para concluir con este trabajo, este logro es para ustedes, a mi hermana Magali con quien he compartido muchas alegrías y siempre ha estado presente en cada logro, a mi sobrino Alan que fue el motivo para empezar esto, a mis sobrinas Ainhoa y Arlet que con sus ocurrencias y compañía me han ayudado a seguir en este camino.

**Alexandra**

### **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme una familia llena de valores y humildad, que siempre confío en mí y me dio su apoyo incondicional, a mi querida hermana por alentarme a ser mejor cada día.

A mí querida universidad que nos abrió sus puertas y nos dio la oportunidad de cumplir nuestros sueños

A mis maestros y mi tutor de tesis Ing. Héctor Terán que nos brindó su ayuda incondicional para concluir y poder alcanzar nuestras metas.

A mis queridos amigos que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos brindándonos su apoyo, quienes estaban dispuestos a otorgarnos una mano en los momentos difíciles, haciendo de nuestras vidas académicas una mejor experiencia, especialmente a una gran amiga y compañera Thalia Vaca, con quien compartí varias experiencias y junto a ella logramos culminar nuestros anhelados sueños

Gracias a todos aquellos que de una u otro forma fueron mi inspiración para poder seguir adelante.

**Samanta**

### **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por proveerme de sabiduría, salud y fuerzas necesarias para seguir adelante.

A mis padres Augusto y Lina que me apoyaron, me brindaron las herramientas necesarias y me enseñaron a ser perseverante y concluir con lo que inicio, gracias por confiar en mí.

A mi hermana Magali que me ha brindado su cariño, su apoyo, sus consejos y ayuda incondicional en todo momento.

A mi amiga Samanta con quien he compartido gratos momentos y juntas hemos llegado a cumplir nuestro sueño.

A Alex el amigo que entre risas y estudios me acompañó en varios momentos que nos ha brindado la universidad.

A las amigas y amigos que con sus ocurrencias y ayudas, llevamos la convivencia universitaria de la mejor manera para al fin llegar a la meta, en especial a Sabri por su compañía y apoyo.

Y a todas las personas que han estado presente en este trayecto universitario que, con cada una de sus palabras, acciones y experiencias, han sido parte de este caminar.

**Alexandra**



Tabla de contenidos	
Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación urkund.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Agradecimiento.....	8
Tabla de contenidos.....	9
Índice de tablas.....	15
Índice de figuras.....	18
Resumen.....	20
Abstract.....	21
Planteamiento del problema.....	22
Introducción.....	22
Antecedentes.....	23
Justificación e Importancia.....	24
Objetivos.....	25
<i>Objetivo General</i> .....	25
<i>Objetivos Específicos</i> .....	25
Variables de Investigación.....	26
<i>Variable Independiente</i> .....	26
<i>Variable Dependiente</i> .....	26
Hipótesis.....	26
Marco teórico.....	27
Fundamentación Teórica.....	27

Configuraciones robóticas.....	28
Inteligencia robótica.....	28
Procesos de soldadura robótica.....	29
Soldadura MIG.....	29
Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible (MIG).....	30
Material de aporte.....	30
Parámetros de soldadura.....	31
Estructura de un robot de soldadura.....	32
<i>Solenoides</i> .....	33
<i>Engranaje reductor</i> .....	33
<i>Codificador</i> .....	33
<i>Transmisión</i> .....	33
Controles, comunicación e interfaz de operador.....	33
Visión de un robot de soldadura.....	34
Visión artificial por computadora y procesamiento de imágenes.....	36
Monitoreo de calidad.....	37
Informes de soldadura tipo PQR.....	38
Comunicación I2C.....	39
Diseño y selección de componentes.....	40
Introducción.....	40
Matriz de la calidad.....	40
<i>Definición de las necesidades</i> .....	40
<i>Definición de las características técnicas</i> .....	41
<i>QFD</i> .....	42

Factibilidad y planeación.....	46
<i>Estructura funcional</i> .....	46
Subsistema mecánico.....	47
<i>Estructura</i> .....	47
<i>Evaluación y selección de alternativas</i> .....	48
Subsistema de control.....	51
<i>Tarjeta de adquisición de datos</i> .....	51
<i>Alternativas de diseño</i> .....	51
<i>Evaluación y selección de alternativas</i> .....	52
Selección del Motor.....	55
<i>Alternativas de diseño</i> .....	56
<i>Evaluación y selección de alternativas</i> .....	56
Selección del motor para la pistola de soldadura.....	60
<i>Alternativas de diseño</i> .....	61
<i>Evaluación y selección de alternativas</i> .....	61
Selección de la pantalla.....	64
<i>Alternativas de diseño</i> .....	65
<i>Evaluación y selección de alternativas</i> .....	65
Subsistema de visión artificial.....	69
<i>Visión artificial pre y post soldadura</i> .....	69
Selección del tipo de cámara.....	73
<i>Alternativas de diseño</i> .....	73
<i>Evaluación y selección de alternativas</i> .....	74
Subsistema de alimentación.....	77

<i>Selección de la fuente de alimentación</i> .....	77
<i>Alternativas de diseño</i> .....	78
<i>Evaluación y selección de alternativas</i> .....	78
<i>Conclusiones del listado de métricas</i> .....	81
<b>Selección de motores</b> .....	<b>82</b>
<i>Requerimientos de ejecución de soldadura</i> .....	83
<i>Control PID de motores</i> .....	85
<i>Cálculo del Set Point en RPM, velocidad lineal en cm/s</i> .....	86
<i>Requerimientos para el brazo oscilador</i> .....	86
<i>Resolución angular</i> .....	86
<b>Diseño del servomotor</b> .....	<b>87</b>
<i>Torque</i> .....	87
<i>Precisión angular</i> .....	87
<i>Grados de oscilación del servomotor</i> .....	88
<i>Velocidad de oscilación del servomotor</i> .....	88
<b>Análisis y simulación CAE</b> .....	<b>89</b>
<i>Análisis de la base</i> .....	89
<i>Cálculo y selección de llanta</i> .....	95
<i>Análisis del brazo</i> .....	99
<i>Análisis térmico</i> .....	104
<b>Programación del equipo</b> .....	<b>106</b>
<i>PWM</i> .....	106
<i>I2C</i> .....	107
<i>Variables programadas en el equipo</i> .....	107

Comunicación y algoritmo de control.....	109
<i>Protocolo de comunicación Arduino Servomotor</i> .....	109
<i>Protocolo de comunicación Arduino Rasberry</i> .....	109
<i>Función de iniciación</i> .....	111
<i>Adquisición de datos de la visión</i> .....	111
<i>Determinación del espesor del material</i> .....	111
<i>Evaluación de la desviación de la junta</i> .....	112
<i>Evaluación de poros</i> .....	113
<i>Evaluación de discontinuidad</i> .....	113
<i>Proceso de evaluación de grietas</i> .....	113
Construcción e implementación.....	119
Introducción.....	119
Construcción de las partes del sistema mecánico y estructura.....	119
<i>Estructura</i> .....	119
Instalación de los motores.....	119
Implementación de la placa electrónica.....	120
Implementación de componentes electrónicos.....	120
Implementación del servo motor del brazo de oscilación.....	121
Implementación de la interfaz gráfica para el usuario.....	122
Implementación del sistema de visión.....	122
Estructura final.....	123
Pruebas y resultados.....	125
Introducción.....	125
Detección del espesor.....	125
Pruebas de ejecución de soldadura.....	126

Pruebas de control de calidad.....	133
Análisis máquina vs operario.....	142
Validación de la hipótesis.....	143
Validación control de calidad.....	143
<i>Control de calidad</i> .....	144
<i>Determinación de Costos en Operaciones de Soldadura</i> .....	144
<i>Determinación de Costos mano de obra operario manual</i> .....	145
<i>Determinación de Costos mano de obra semiautomático</i> .....	145
Análisis de la velocidad de deposición.....	145
Costo de soldadura.....	147
Costo mano de obra.....	149
Conclusiones y recomendaciones.....	155
Conclusiones.....	155
Recomendaciones.....	157
Bibliografía.....	158
Anexos.....	166

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Requerimientos o necesidades del usuario</i> .....	40
<b>Tabla 2</b> <i>Características técnicas del equipo</i> .....	41
<b>Tabla 3</b> <i>Resultados de la matriz QFD</i> .....	44
<b>Tabla 4</b> <i>Requerimientos, características y solución técnica</i> .....	45
<b>Tabla 5</b> <i>Subsistemas definidos para el diseño</i> .....	46
<b>Tabla 6</b> <i>Características técnicas de las posibles soluciones</i> .....	48
<b>Tabla 7</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el material del equipo</i> .....	49
<b>Tabla 8</b> <i>Ponderación del costo para cada opción del material</i> .....	49
<b>Tabla 9</b> <i>Ponderación del peso para cada opción del material del equipo</i> .....	49
<b>Tabla 10</b> <i>Ponderación de implementación para cada opción del material</i> .....	50
<b>Tabla 11</b> <i>Conclusión para el tipo de material del equipo</i> .....	50
<b>Tabla 12</b> <i>Alternativas de selección de la tarjeta de adquisición para el control</i> .....	52
<b>Tabla 13</b> <i>Alternativas de selección de la tarjeta de adquisición para el control</i> .....	53
<b>Tabla 14</b> <i>Ponderación de costo para la selección de la tarjeta de control</i> .....	53
<b>Tabla 15</b> <i>Ponderación de frecuencia de operación para la tarjeta de control</i> .....	54
<b>Tabla 16</b> <i>Ponderación de los pines I/O digitales para la tarjeta de control</i> .....	54
<b>Tabla 17</b> <i>Ponderación de la aplicación para la tarjeta de control</i> .....	55
<b>Tabla 18</b> <i>Ponderación de cada solución para la tarjeta de control</i> .....	55
<b>Tabla 19</b> <i>Alternativas para seleccionar el tipo de motor</i> .....	56
<b>Tabla 20</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para la selección del motor</i> .....	57
<b>Tabla 21</b> <i>Ponderación del par de bloqueo para la selección del motor</i> .....	58
<b>Tabla 22</b> <i>Ponderación de la velocidad angular para la selección del motor</i> .....	58
<b>Tabla 23</b> <i>Ponderación de la potencia para la selección de la tarjeta de control</i> .....	59
<b>Tabla 24</b> <i>Ponderación de voltaje para la selección del motor</i> .....	59
<b>Tabla 25</b> <i>Ponderación de la aplicación para la selección del motor</i> .....	59
<b>Tabla 26</b> <i>Conclusión en la selección del motor</i> .....	60
<b>Tabla 27</b> <i>Alternativas de selección para el servomotor</i> .....	61
<b>Tabla 28</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para la selección del servomotor</i> .....	62
<b>Tabla 29</b> <i>Ponderación del par de bloqueo para la selección del servomotor</i> .....	63

<b>Tabla 30</b> <i>Ponderación de la velocidad de funcionamiento para el servomotor</i> .....	63
<b>Tabla 31</b> <i>Ponderación de la precisión del ángulo del servomotor</i> .....	63
<b>Tabla 32</b> <i>Ponderación de implementación para la selección del servomotor</i> .....	64
<b>Tabla 33</b> <i>Conclusión en la selección del servomotor</i> .....	64
<b>Tabla 34</b> <i>Alternativas de selección para el servomotor</i> .....	65
<b>Tabla 35</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para la pantalla</i> .....	67
<b>Tabla 36</b> <i>Ponderación del costo para la selección de la pantalla</i> .....	67
<b>Tabla 37</b> <i>Ponderación de la comunicación para la selección de la pantalla</i> .....	68
<b>Tabla 38</b> <i>Ponderación del número de caracteres de selección de la pantalla</i> .....	68
<b>Tabla 39</b> <i>Ponderación de implementación para la selección de la pantalla</i> .....	68
<b>Tabla 40</b> <i>Conclusión en la selección de la pantalla</i> .....	69
<b>Tabla 41</b> <i>Alternativas de selección para la tarjeta de visión artificial</i> .....	70
<b>Tabla 42</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para la tarjeta de visión artificial</i> .....	71
<b>Tabla 43</b> <i>Ponderación de velocidad para la tarjeta de visión artificial</i> .....	72
<b>Tabla 44</b> <i>Ponderación de la compatibilidad para la tarjeta de visión artificial</i> .....	72
<b>Tabla 45</b> <i>Ponderación de las I/O digitales para la tarjeta de visión artificial</i> .....	72
<b>Tabla 46</b> <i>Conclusión en la selección de la tarjeta de visión artificial</i> .....	73
<b>Tabla 47</b> <i>Alternativas de selección para la cámara</i> .....	74
<b>Tabla 48</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para la selección de la cámara</i> .....	75
<b>Tabla 49</b> <i>Ponderación del costo para la selección de la cámara</i> .....	75
<b>Tabla 50</b> <i>Ponderación de la resolución para la selección de la cámara</i> .....	76
<b>Tabla 51</b> <i>Ponderación del tipo de sensor para la selección de la cámara</i> .....	76
<b>Tabla 52</b> <i>Conclusión en la selección del servomotor</i> .....	76
<b>Tabla 53</b> <i>Corriente consumida por los elementos del equipo</i> .....	77
<b>Tabla 54</b> <i>Alternativas de selección para el servomotor</i> .....	78
<b>Tabla 55</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para la selección de la fuente de alimentación</i>	79
<b>Tabla 56</b> <i>Ponderación del voltaje para la selección de la fuente de alimentación</i> .....	79
<b>Tabla 57</b> <i>Ponderación de la corriente para la selección de la fuente de alimentación</i> .....	80
<b>Tabla 58</b> <i>Ponderación de la potencia para la fuente de alimentación</i> .....	80
<b>Tabla 59</b> <i>Ponderación de la protección para la fuente de alimentación</i> .....	80



<b>Tabla 60</b> <i>Conclusión en la selección de la fuente de alimentación</i> .....	81
<b>Tabla 61</b> <i>Listado de métricas</i> .....	81
<b>Tabla 62</b> <i>Comunicación y algoritmo de control ARD</i> .....	109
<b>Tabla 63</b> <i>Comunicación y algoritmo de control RASPY</i> .....	110
<b>Tabla 64</b> <i>Espesor del material</i> .....	125
<b>Tabla 65</b> <i>Parámetros de soldadura plana de 3mm</i> .....	126
<b>Tabla 66</b> <i>Parámetros de soldadura inclinada 3mm</i> .....	127
<b>Tabla 67</b> <i>Parámetros de soldadura horizontal 3mm</i> .....	128
<b>Tabla 68</b> <i>Parámetros de soldadura plana de 6mm</i> .....	129
<b>Tabla 69</b> <i>Parámetros de soldadura inclinada 6mm</i> .....	130
<b>Tabla 70</b> <i>Parámetros de soldadura horizontal 6mm</i> .....	131
<b>Tabla 71.</b> <i>Tabla de amperajes</i> .....	146
<b>Tabla 72.</b> <i>Costos de soldadura</i> .....	148
<b>Tabla 73.</b> <i>Valores de amperaje para platinas</i> .....	151
<b>Tabla 74.</b> <i>Valores de deposición vs costo</i> .....	153

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Elementos de equipo de soldadura Mig .....	30
<b>Figura 2</b> Formato guía para reportar la calificación de la soldadura .....	38
<b>Figura 3</b> Matriz QFD del equipo.....	43
<b>Figura 4</b> Regulación del sistema MIG .....	82
<b>Figura 5</b> Unión de fuerzas con soldeo por arco.....	83
<b>Figura 6</b> Composición química del alambre R70S-6.....	84
<b>Figura 7</b> Diagrama de flujo del proceso de un control PID .....	85
<b>Figura 8</b> Servomotor.....	87
<b>Figura 9</b> Colocación de parámetros de frontera a la base .....	92
<b>Figura 10</b> Cálculo de deformación .....	93
<b>Figura 11</b> Desplazamiento de placa .....	94
<b>Figura 12</b> Factor de seguridad.....	94
<b>Figura 13</b> Teoría de fallas – parámetros de frontera .....	96
<b>Figura 14</b> Cálculo de Von Mises – teoría de fallas .....	97
<b>Figura 15</b> Factor de seguridad en la llanta .....	97
<b>Figura 16</b> Factor de seguridad.....	98
<b>Figura 17.</b> Perno sujetador .....	102
<b>Figura 18</b> Factor de seguridad del perno.....	103
<b>Figura 19</b> Radiación del proceso de soldadura.....	106
<b>Figura 20</b> Diagrama de flujo del código principal.....	115
<b>Figura 21</b> Diagrama de flujo del control de calidad.....	117
<b>Figura 22</b> Esquema general de control .....	118
<b>Figura 23</b> Estructura del equipo terminada .....	119
<b>Figura 24</b> Instalación de motores .....	120
<b>Figura 25</b> Implementación de componentes eléctricos .....	121
<b>Figura 26</b> Implementación del servo .....	121
<b>Figura 27</b> Interfaz gráfica (LCD) .....	122
<b>Figura 28</b> Implementación del sistema de visión .....	123
<b>Figura 29</b> Estructura final del equipo .....	124

<b>Figura 30</b> <i>Elaboración del cordón de soldadura, posición plana</i> .....	132
<b>Figura 31</b> <i>Elaboración del cordón de soldadura, posición horizontal</i> .....	132
<b>Figura 32</b> <i>Elaboración del cordón de soldadura posición inclinada</i> .....	133
<b>Figura 33</b> <i>Control de calidad, discontinuidad</i> .....	134
<b>Figura 34</b> <i>Control de calidad, poros</i> .....	135
<b>Figura 35</b> <i>Control de calidad, placa de 3mm plana</i> .....	136
<b>Figura 36</b> <i>Control de calidad, placa de 3mm inclinada</i> .....	137
<b>Figura 37</b> <i>Control de calidad, placa de 3mm horizontal</i> .....	138
<b>Figura 38</b> <i>Control de calidad, placa de 6mm plana</i> .....	139
<b>Figura 39</b> <i>Control de calidad, placa de 6mm inclinada</i> .....	140
<b>Figura 40</b> <i>Control de calidad, placa de 6mm horizontal</i> .....	141
<b>Figura 41</b> <i>Análisis máquina vs operario</i> .....	142
<b>Figura 42</b> <i>Control de calidad de visión vs inspección visual</i> .....	144
<b>Figura 43</b> <i>Control de calidad de visión vs inspección visual</i> .....	146
<b>Figura 44</b> <i>Intensidad de corriente</i> .....	147
<b>Figura 45</b> <i>Costos de soldadura</i> .....	148
<b>Figura 46</b> <i>Costos de soldadura operario vs máquina</i> .....	149
<b>Figura 47</b> <i>Factor de operación</i> .....	150
<b>Figura 48</b> <i>Intensidad de corriente</i> .....	151
<b>Figura 49</b> <i>Velocidad vs intensidad de corriente</i> .....	152
<b>Figura 50</b> <i>Costos de mano de obra por kilo</i> .....	153
<b>Figura 51</b> <i>Costos de mano de obra por kilo</i> .....	154

## **Resumen**

En el presente trabajo se desarrolló un estudio enfocado a la optimización del proceso de soldadura GMAW sobre superficies planas, con la investigación tuvo como objetivo general el desarrollo del diseño y construcción de un equipo automático portátil de suelda e inspección visual, mediante visión artificial para el laboratorio de soldadura en la universidad de las fuerzas armadas ESPE sede Latacunga. Para el desarrollo de la investigación se realizó una revisión documental a fondo sobre los diferentes procesos de soldadura y elementos técnicos para el desarrollo del equipo. Posteriormente se llevó a cabo la construcción del equipo soldador, para ello, se utilizará un sistema de control PID para controlar los motores, sistemas de alimentación eléctrica, programación de código en Python para la programación en la parte de visión artificial para ejecutar el control de calidad y otros aspectos relevantes para el desarrollo mecánico y técnico del mismo. Al final, se logró concluir el diseño y construcción del equipo, y para evaluar la optimización de los procesos de soldadura se realizaron pruebas en placas metálicas de espesor de 3 y 6 milímetros en acero A36, en posiciones plana, horizontal e inclinada en donde se concluyó que el equipo portátil de soldadura optimiza los procesos de soldadura GMAW en superficies planas.

Palabras clave:

**SOLDADURA GMAW**

**CONTROL DE MOTORES**

**EQUIPO AUTOMÁTICO**

**CONTROL DE CALIDAD**

**VISIÓN ARTIFICIAL**

**Abstract**

In the present work, a study was developed focused on the optimization of the GMAW welding process on flat surfaces, with the general objective of the research the development of the design and construction of a portable automatic welding and visual inspection equipment, using artificial vision for the welding laboratory at the university of the armed forces ESPE Latacunga headquarters. For the development of the research, an in-depth documentary review was carried out on the different welding processes and technical elements for the development of the equipment. Subsequently, the construction of the welding equipment was carried out, for this, a PID control system will be used to control the motors, electrical power systems, programming code in Python for programming in the artificial vision part to execute the control of quality and other relevant aspects for its mechanical and technical development. In the end, the design and construction of the equipment was concluded, and to evaluate the optimization of the welding processes, tests were carried out on metal plates with a thickness of 3 and 6 millimeters in steel A36, in flat, horizontal and inclined positions where it was concluded that the portable welding equipment optimizes the GMAW welding processes on flat surfaces.

Key words:

**WELDING GMAW**

**MOTOR CONTROL**

**AUTOMATIC EQUIPMENT**

**CONTROL QUALITY**

**ARTIFICIAL VISION**

## Capítulo I

### 1. Planteamiento del problema

#### 1.1 Introducción

Uno de los problemas que se da actualmente en la técnica de soldadura GMAW, que se realiza de forma manual son: prender el arco por fuera del área donde quedará el depósito dañando el metal base, pues con el tiempo se corre el riesgo de causar grietas en el material, lo que pone en riesgo la estructura, si el operario elige más corriente de la recomendada el electrodo se consume mucho más rápido, el revestimiento se quema y se genera exceso de salpicaduras. El operario al realizar esta actividad por un largo tiempo, tiende a bajar su rendimiento en la precisión del cordón de soldadura.

Los equipos automáticos actualmente se encuentran limitados para aplicaciones específicas debido a su tamaño, las cuales, al ser grandes, son complejas en su instalación, ya que requieren normas específicas del fabricante, restringiendo su zona de trabajo, siendo difícil su transporte por no ser portátil.

En la actualidad no se cuenta con dispositivos específicos que realicen el proceso de soldadura y de control de calidad durante el proceso de ejecución. Los equipos actuales son únicamente para soldar, empleándose otros dispositivos externos que son los encargados de verificar que todas las operaciones del proceso se realicen correctamente y de acuerdo a los códigos, normas, especificaciones y procedimientos que se estén aplicando con el fin de garantizar la alta calidad de la soldadura sin tardanza en la fabricación y la entrega de productos.

Los operarios al encontrarse expuestos en periodos largos a los gases emitidos en el proceso de soldadura como el argón mezclado con dióxido de carbono pueden generar asfixia, mareo, confusión, dolor de cabeza. Las altas temperaturas pueden originar quemaduras y la radiación afecta de manera directa ocasionando problemas visuales y cancerígenos.

Con el paso del tiempo las máquinas para soldar han sobresalido gracias al uso que tienen en diferentes actividades industriales y por tanto se ha exigido un avance en su tecnología; así se plantea la necesidad de implementar soldadoras portátiles y automáticas en el laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas debido a la falta de estos equipos en el medio, siendo este un gran avance tecnológico, que permite a los alumnos de la carrera interactuar con métodos innovadores para que se adapten con el entorno de las industrias del país.

## **1.2 Antecedentes**

Los procesos de soldadura han evolucionado de manera constante iniciando desde la unión de materiales simples hasta la aplicación que se da en la industria, donde la técnica parte de un proceso adecuado, como el de tipo GMAW o soldadura por Arco Metálico con Gas, empleándose gases inertes, activos o la mezcla de ambos, a través del uso de un mecanismo que alimenta el alambre electrodo de manera continua, donde la calidad depende de la penetración del elemento fundente, bajo parámetros definidos como avance, oscilación, corriente y el voltaje.

El proceso GMAW es uno de los procedimientos más eficientes de soldadura, que brindan mejor calidad, por la protección que se ofrece al finalizar el cordón el cual se puede ejecutar sin pausa o tiempos muertos de producción, aumentándose la tasa de aportación al ejecutar el proceso de relleno, consumiéndose el material de aporte hasta en un 90%, mejorándose hasta en 4 variables independientes el material en un modelo de regresión lineal múltiple que se pueda originar, las cuales son resistencia a la tracción, límite de fluencia, elongación y ensayos de impacto; teniendo en cuenta que los parámetros lineales son el voltaje, intensidad, velocidad de avance, y el gas protector, donde los posibles errores se pueden minimizar. (Electrónicos Caldas, 2020)

La automatización del proceso de soldadura mediante la robótica, generó respuestas satisfactorias, con un brazo robótico, automatizándolo de manera fija, mediante el empleo de servomotores, manipuladores, en base a un sistema de montaje, evitando deformaciones en la pieza final, empleándole en una sola posición, aumentando la productividad de la empresa

hasta en un 75%, disminuyendo los riesgos de tipo laboral hasta en un 52%, mejorando la calidad de manera activa, sin presentar discontinuidades, ni fallas, disminuyendo el producto de rechazo.

La aplicación práctica de la visión artificial en procesos industriales comúnmente se da en ciclos formativos, donde actúan en inspecciones como distancias entre bordes, diámetros, ángulos, posición de orificios, manipulación de piezas donde se permita una identificación automática por colores, marcas, verificando el producto de acabados, pudiendo detectar defectos presentes en soldaduras, bajo factores delimitados. La dificultad de la fusión de metales, se basa en la presencia de la porosidad o inclusiones en el cordón, la cual está efectuado por soldaduras defectuosas de tipo MIG, falta de fusión, presenciando grietas en las juntas las cuales pueden darse en forma interna (Nogué & Antiga, 2018).

### **1.3 Justificación e Importancia**

Se propone un proceso tecnológico, donde el equipo realiza un control de las variables involucradas en la soldadura de forma adecuada, mediante el empleo correcto del amperaje, así como de la velocidad de avance, optimizando el proceso de soldadura sobre superficies planas, radicando su importancia en la diversificación de aplicaciones; con un equipo portátil que puede ser transportado y ensamblado sin ningún problema de un lugar a otro; ejecutando el proceso con 4 ejes de libertad en movimiento conjuntos en x, y, z, C ; con una soldadura escalable, sin restricción de trabajo.

Se plantea un equipo que automatiza el proceso MIG, que a su vez supervise y analice el control de calidad del cordón ejecutado, a través de un sistema de visión artificial que adquiera la información deseada y brinde una solución flexible, integrable a la inspección de las características geométricas del cordón como su longitud, ancho y posición, así como los defectos típicos que se puede originar como la porosidad, orificios o muescas de pequeñas dimensiones,

En el país los procesos de automatización son escasos debido a que se necesita una inversión económicamente alta, técnicos especializados en el campo los cuales no se



encuentran fácilmente en el país, por lo cual se ve la necesidad de implementar una herramienta que sea de bajo costo, fácil de transportar para que pueda llegar a sitios donde al operador se le dificulta realizar trabajos de soldadura de forma precisa y de esta manera disminuir las fallas que se provocan de forma manual

Se propone un equipo que puede mostrar en tiempo real los valores de las variables que está controlando, es decir el equipo identificará el ancho y largo de la junta de modo automático impidiendo de esta manera el contacto directo del operario, evitando la exposición de los gases y rayos UV que se generan durante el proceso de soldadura, lo que provoca el deterioro de la salud de las personas.

El equipo propuesto permitirá interactuar con tecnologías innovadoras y actuales a los alumnos, este equipo ayudará en la ejecución de prácticas en el laboratorio de soldadura, con mejor desarrollo académico del alumno en la parte práctica y así poder desenvolverse con facilidad en el ámbito de la industria existente.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Optimizar el proceso de soldadura MIG sobre superficies planas con el diseño y construcción de un equipo automático portátil de inspección visual, mediante visión artificial.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Investigar los equipos, parámetros y control de calidad de la soldadura con proceso MIG
- Diseñar un sistema automático que permita el desplazamiento y oscilación de un proceso MIG sobre superficies planas.
- Obtener los parámetros de la junta que permita analizar la trayectoria usando visión artificial.
- Determinar la calidad del cordón de soldadura a través de la inspección visual con visión artificial.

- Realizar pruebas de funcionamiento del proceso que validen el diseño y control de calidad del mismo.

## **1.5 Variables de Investigación**

### **1.5.1 *Variable Independiente***

Equipo automático portátil de inspección visual mediante visión artificial

### **1.5.2 *Variable Dependiente***

Proceso de soldadura MIG sobre superficies planas.

## **1.6 Hipótesis**

El equipo automático portátil de inspección visual mediante visión artificial optimizará el proceso de soldadura MIG sobre superficies planas.

## Capítulo II

### 2 Marco teórico

#### 2.1 Fundamentación Teórica

El principal componente a considerar en un sistema de soldadura es el robot. Se selecciona utilizando tres criterios: alcance o área a la que puede acceder; carga útil o capacidad de carga; y velocidad. En aplicaciones de soldadura, la carga útil del robot debe estar clasificada para manejar la antorcha, el alimentador de alambre y la carga del cable de la antorcha en el brazo.

El alcance del robot debe ser suficiente para que se articule, acceda y se mueva para alcanzar todos los puntos de soldadura requeridos en las piezas. El controlador requiere un software de soldadura que proporcione los medios para comunicarse con la fuente de alimentación de soldadura e interpretar la necesidad de cambios de movimiento para optimizar el proceso de soldadura. La tasa de producción requerida debe incluir la velocidad del robot al realizar todas las soldaduras en la pieza más sus movimientos de aire.

La soldadura es una aplicación madura para la robótica industrial, por lo que la mayoría de los fabricantes ofrecen robots específicos de soldadura completos con las características necesarias para proporcionar al fabricante un producto probado para el éxito de la soldadura.

Las herramientas en cualquier sistema de automatización basado en robot es el componente más importante del sistema. En un sistema de soldadura, la fuente de alimentación de soldadura, el alimentador de alambre, la antorcha, la estación de limpieza y todos los componentes auxiliares del sistema de soldadura comprenden las herramientas, y son la clave del éxito en estos sistemas de automatización (Alcalá, 2018)

## 2.2 Configuraciones robóticas

Los robots se pueden clasificar en función de criterios como grados de libertad, estructura cinemática, tecnología de accionamiento, geometría del espacio de trabajo y características de movimiento. En la selección de robots para una aplicación específica, se deben considerar todos estos factores. Según la geometría del espacio de trabajo, los robots con configuración de revolución (o brazo articulado) son el tipo más utilizado en la soldadura por arco robótica industrial (Chapaca & Moreno, 2016)

## 2.3 Inteligencia robótica

Es muy difícil e incluso imposible anticipar e identificar todas las situaciones que el robot podría hacer durante la ejecución de su tarea. Por lo tanto, el desarrollador de software debe especificar las categorías de situación y proporcionar al robot la inteligencia suficiente y la capacidad para resolver problemas de cualquier clase de su programa. A veces, cuando las situaciones son ambiguas e inciertas, el robot debe poder evaluar diferentes acciones posibles.

Si el entorno del robot no cambia, se le da al robot un modelo de su entorno para que pueda predecir el resultado de sus acciones. Pero si el entorno cambia, el robot debería aprender. Esto es entre otros requisitos previos, que requiere el desarrollo y la integración en el sistema de robots de inteligencia artificial (IA) capaces de aprender, razonar y resolver problemas.

La mayoría de los robots de soldadura que sirven en la producción práctica todavía son del tipo de enseñanza y reproducción y no pueden cumplir bien los requisitos de calidad y diversificación de la producción de soldadura porque este tipo de robots no tienen las funciones automáticas para adaptar los cambios de circunstancias y las perturbaciones inciertas (errores de pre mecanizado y ajuste de la pieza de trabajo, conducción de calor, dispersión durante el proceso de soldadura) durante el proceso de soldadura.

Para superar o restringir las diferentes incertidumbres que influyen en la calidad de la soldadura, sería un enfoque eficaz desarrollar y mejorar la tecnología inteligente de los robots de soldadura, como la detección de visión, la detección múltiple para robots de soldadura, el reconocimiento del entorno de soldadura, -guía y seguimiento de costuras, y procedimientos de control inteligente en tiempo real para robots de soldadura (Díez, 2015)

Con este fin, el desarrollo de una tecnología de inteligencia para mejorar el método actual de aprendizaje y uso para la programación de reproducción para robots de soldadura es esencial para lograr la alta calidad y flexibilidad que se espera de los productos soldados.

#### **2.4 Procesos de soldadura robótica**

La soldadura requiere un alto nivel de educación y habilidad. Sin embargo, el número de soldadores profesionales no satisface las necesidades de la industria. En lugar de dejar que los proyectos críticos que estos trabajadores completarían se retrasen, los robots pueden tomar el relevo (Becerra, 2016).

Automatizan el proceso, lo que garantiza una mayor precisión, menos desperdicio y una operación más rápida. Con la gama de maquinaria disponible, los robots se adaptan a una amplia variedad de procesos de soldadura que incluyen arco, resistencia, punto, TIG y más.

#### **2.5 Soldadura MIG**

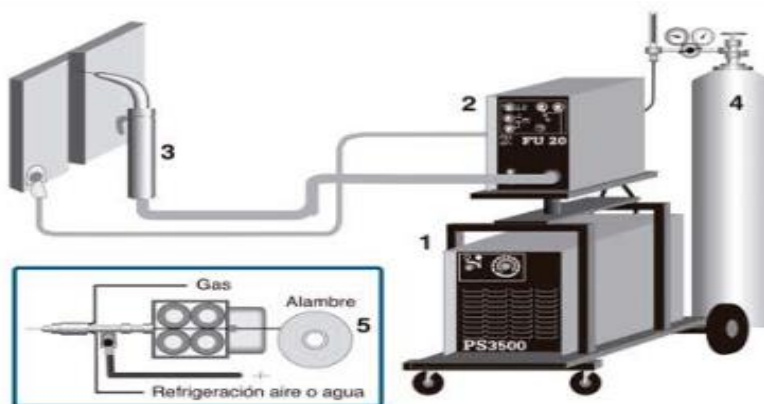
La soldadura por arco metálico con gas, también conocida como GMAW o MIG, es un método rápido y sencillo que utiliza un alto nivel de deposición. Un alambre se mueve continuamente hacia la punta calentada del soldador, que derrite el alambre, permitiendo que una gran cantidad de metal fundido gotee sobre la base para unir la base a otra pieza.

## 2.6 Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible (MIG).

Es el proceso donde la fusión se produce por calentamiento con arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza, donde la protección se da de un gas proporcionado de manera externa al metal, protegiendo de cualquier contaminación que se produce en la atmósfera, donde se caracterizan porque puede ser observado el arco por el operador, así como el alto rendimiento y la rapidez de la deposición, la figura 1 muestra las partes que constituyen el equipo de soldadura MIG.

**Figura 1**

*Elementos de equipo de soldadura Mig*



*Nota.* La gráfica representa los componentes de una soldadura MIG los cuales son la máquina soldadora (1), alimentador de alambre (2), pistola para soldar (3), gas protector (4) y carrete de alambre (5). Tomada de (ETITC, 2016) .

## 2.7 Material de aporte

El principal material de aporte consiste en un alambre de aleación metálica, llamado alambre MIG, cuya selección, aleación y tamaño, se basa principalmente en la composición del metal que se suelda, la variación del proceso que se utiliza, el diseño de la junta y las condiciones de la superficie del material. La selección del material e aporte influye en gran

medida en las propiedades mecánicas de la soldadura y es un factor clave de la calidad de la soldadura.

En general, el metal de soldadura terminado debe tener propiedades mecánicas similares a las del material base sin defectos tales como discontinuidades, contaminantes arrastrados o porosidad dentro de la soldadura. Para lograr estos objetivos existe una amplia variedad de materiales. Todos los materiales disponibles comercialmente contienen metales desoxidantes como silicio, manganeso, titanio y aluminio en pequeños porcentajes para ayudar a prevenir la porosidad del oxígeno (García, 2019).

## **2.8 Parámetros de soldadura**

Según Pérez (2016), los parámetros de una soldadura son:

- Tensión, la cual se da en voltios, por lo que es un parámetro regulable, generándose cuando el hilo toca la pieza, al cual se procede al cebado del arco donde se produce una alta intensidad para fundir el hilo.
- Velocidad de alimentación del hilo, es un factor regulable que vincula la tensión e intensidad, donde su ajuste se determina en base a un mayor o menor flujo de material fundente, dándose una soldadura constante o irregular.
- Intensidad, es un factor el cual depende de la tensión y la velocidad del alimentador del hilo, originándose mayor intensidad mayor velocidad del hilo, produciéndose una fusión más rápida.
- Longitud de extensión, es la distancia que se origina entre el tubo de contacto y el extremo del alambre.
- Polaridad, este factor trabaja con corriente continua donde la intensidad es constante, o alterna que produce arcos inestables.

- Gas de protección, es un parámetro en el que se debe tener en cuenta el material a soldar, tipo de transferencia, penetración o forma de cordón.
- Velocidad de desplazamiento, es el avance que se da a la pistola de soldeo a lo largo de unión, teniendo presente que a menor velocidad se da mayor penetración y a mayor velocidad menor penetración del material.

## **2.9 Estructura de un robot de soldadura**

Los robots y los humanos comparten una característica común, por muy opuestos que parezcan, de hecho, comparten la misma estructura subyacente de enlaces (huesos) y articulaciones. El esqueleto básico de los robots industriales, que se compone principalmente de brazos robóticos, es una combinación de enlaces y articulaciones.

Relacionándolo con un cuerpo humano, las partes que pueden doblarse y moverse libremente, como el codo y el hombro, son las articulaciones, y los huesos que conectan esas articulaciones son equivalentes a los enlaces de un robot. El principio de mover las articulaciones y transmitir energía a través de los enlaces es común tanto en humanos como en robots.

Los robots se clasifican aproximadamente en dos tipos según la disposición de sus enlaces: 1) enlace en serie y 2) enlace paralelo. El brazo humano se clasifica como un enlace en serie ya que sus articulaciones (hombro, brazo y muñeca) están alineadas.

Los robots industriales se clasifican en varias categorías, como el tipo articulado plana y el tipo articulado horizontal (brazo robótico de ensamblaje de cumplimiento selectivo-SCARA), según los movimientos de la articulación y la estructura.



### **2.9.1 Solenoide**

El actuador es un componente que funciona como la articulación del robot, lo que permite que un robot mueva el brazo hacia arriba y hacia abajo o gire, y convierte la energía en movimientos mecánicos (Chapaca & Moreno, 2016)

### **2.9.2 Engranaje reductor**

Un engranaje reductor es un dispositivo para aumentar la potencia de un motor. Un motor por sí solo está limitado en la cantidad de potencia que puede generar. Para generar una gran potencia, los motores se utilizan básicamente en combinación con este reductor.

### **2.9.3 Codificador**

Un codificador es un dispositivo que indica la posición (ángulo) del eje de rotación de un motor. Al tener un codificador, puede proporcionar datos tangibles sobre en qué dirección y cuánto se mueve el robot.

### **2.9.4 Transmisión**

Es un componente que transmite la potencia generada por los actuadores y reductores. La transmisión también es capaz de cambiar la dirección y la magnitud de la potencia. Tomando como ejemplo una bicicleta como antes, la cadena que conecta la manivela a la rueda trasera es la transmisión. Las bicicletas se conducen tomando el movimiento de rotación de los pedales y transfiriéndolo a la rueda trasera mediante la transmisión.

## **2.10 Controles, comunicación e interfaz de operador**

Los controles, los instrumentos de comunicación y los componentes de la interfaz del operador son componentes críticos interrelacionados en los sistemas de automatización. Los

controles del sistema incluyen tanto el controlador del robot como otros controladores del sistema, como PLC y PC. (Urgilés, 2018)

Generalmente, los controladores de robot tienen la tarea de controlar las herramientas del robot y proporcionar el movimiento del robot, mientras que los controladores del sistema proporcionan lógica a través de entradas y salidas para eventos como movimiento de piezas, comunicación con el entorno de producción, adquisición de datos del sistema e interfaz humana. La función de los controladores del sistema es verificar que se cumplan las condiciones del sistema y comunicarse con el controlador del robot para ejecutar el programa (Ramirez, 2016)

La interfaz del operador es la forma en que el personal de la planta ve el estado del sistema y es el medio para ingresar cualquier modificación del proceso iniciada externamente. Las consideraciones en los diseños de la interfaz del operador incluyen el nivel de participación humana (operador) en el sistema, las decisiones de entrada de calidad de las piezas deseadas antes de que el robot las procese y la notificación deseada cuando el sistema requiere la intervención del operador.

### **2.11 Visión de un robot de soldadura**

Según la definición de ISO 8373, un robot industrial es un manipulador multipropósito reprogramable, controlado automáticamente, programable en tres o más ejes, que puede ser fijo o móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial.

Un robot de soldadura es una máquina reprogramable, cuyos movimientos programados o funciones auxiliares pueden cambiarse sin alteraciones físicas; normalmente se basa en un robot polivalente cuyo elemento final (herramienta pinza) se cambia mediante un soplete de soldadura, pero también existen diseños específicos de robots para soldar (Cabrera, 2016)

La inteligencia del robot reside en el sistema de control donde se encuentran el programa y las funciones de soldadura, además de la interfaz de enseñanza, el suministro de energía y cables, las instalaciones de comunicación y visualización. La mayoría de ellos tienen seis grados de libertad para alcanzar puntos dentro de los márgenes en forma de esfera, lo que permite el movimiento de la herramienta del robot en un modo lineal o circular. Muchos de ellos pueden ubicarse sobre rieles lineales que permiten el desplazamiento de todo el robot, movimiento incluido en el controlador como séptimo eje.

La visión láser ha sido el método preferido para hacer que los sistemas robóticos de soldadura se adapten a situaciones cambiantes, en el mundo académico, la industria robótica y los fabricantes de equipos originales, ya que la longitud de onda de la luz láser se puede filtrar de la luz del arco durante la soldadura.

Utilizan una o más fuentes de luz láser estructuradas para señalar la unión de metal y luego, mediante técnicas de procesamiento de imágenes digitales, le dan al controlador del robot la retroalimentación necesaria para rastrear la trayectoria en tiempo real. Pero no existe una solución universal.

Están diseñados para modelos y controladores de robots de soldadura / de uso general específicos, y deben adaptarse a aplicaciones específicas. Sin embargo, dado que los controladores de robots de soldadura actuales incluyen potentes funciones de soldadura para el seguimiento de la costura, el principal problema al hacer que la fabricación robótica de tolvas de camiones mineros sea adaptable se puede reducir para ubicar automáticamente la junta de metal para colocar la antorcha dentro de los márgenes de las funciones de seguimiento de la costura, y para verificar las coordenadas de toda la trayectoria antes de soldar (Alcalá, 2018).

Una vez que se ubica la junta de metal y se actualizan y verifican las coordenadas de la trayectoria de soldadura, la detección táctil del controlador, a través del seguimiento de la costura del arco, la memorización del paso de raíz y las funciones de tejido se pueden aplicar de manera segura.

## 2.12 Visión artificial por computadora y procesamiento de imágenes

La visión por computadora y el procesamiento de imágenes han mostrado un potencial incalculable a su manera. El uso del procesamiento de imágenes y la visión por computadora en el comercio minorista, la atención médica y muchas otras industrias ha arrojado resultados positivos.

Estas tecnologías pueden hacer evolucionar las operaciones comerciales que incluyen un aspecto visual. Estas tecnologías pueden simplificar los procesos comerciales como el control de calidad, la gestión de inventarios y las imágenes médicas. Sin embargo, es muy posible mezclar estas tecnologías. Por tanto, las empresas deben ser conscientes de sus diferencias para utilizarlas de forma inteligente (Alcalá, 2018)

Además, tienen como objetivo replicar la visión humana utilizando computadoras. Estos sistemas pueden ayudar a las computadoras a aprender y tomar acciones basadas en datos visuales. Para ello, la visión artificial utiliza inteligencia artificial y aprendizaje automático. Con estos, la visión por computadora puede encontrar patrones en las imágenes. Además, estos sistemas pueden detectar y clasificar diferentes tipos de objetos.

Toma imágenes y videos como entrada y brinda información como tamaño, forma y color como salida. Estos sistemas utilizan cámaras para recopilar información. Con estos dispositivos, la visión por computadora puede estudiar imágenes y videos para producir resultados en tiempo real. Por lo tanto, estos sistemas se utilizan para ayudar a los vehículos autónomos a conducir (Cabrera, 2016)

El procesamiento de imágenes aplica funciones matemáticas a las imágenes. El resultado del procesamiento puede proporcionar o no datos detallados. Por lo tanto, no requiere aprendizaje automático. En su lugar, realiza operaciones como enfocar, suavizar, estirar y contrastar una imagen.

Las computadoras perciben las imágenes como señales 2D que consisten en filas y columnas de píxeles. La información obtenida por los sistemas de procesamiento de imágenes puede proporcionar datos útiles en muchas aplicaciones. Por ejemplo, los hospitales utilizan el procesamiento de imágenes en procesos de imágenes biomédicas como tomografías computarizadas, ultrasonido y resonancia magnética (Chapaca & Moreno, 2016).

Aquí, los algoritmos ajustan la exposición, el contraste, las luces, las sombras y muchas otras propiedades de una imagen. Los ajustes correctos permiten que los teléfonos inteligentes desarrollen imágenes con tonos vibrantes y colores saturados.

Al comprender la diferencia entre la visión por computadora y el procesamiento de imágenes, las empresas pueden entender cómo estas tecnologías pueden beneficiar a su negocio. Las entidades pueden utilizar la visión artificial para el procesamiento automático de datos y la obtención de resultados útiles. Considerando que, pueden utilizar el procesamiento de imágenes para convertir imágenes en otras formas de datos visuales. Conociendo los diferentes beneficios de estas tecnologías, las empresas pueden decidir qué tecnología sería adecuada para diferentes casos de uso.

### **2.13 Monitoreo de calidad**

El uso de sistemas automáticos de monitoreo de la calidad de la soldadura da como resultado una reducción de los costos de producción debido a la reducción de la mano de obra requerida para la inspección. Un sistema de detección automática para soldadura debería poder clasificar los defectos de soldadura como porosidad, salpicaduras de metal, forma irregular del cordón, refuerzo excesivo de la raíz, penetraciones incompletas y quemaduras.

La mayoría de los sistemas de monitoreo comerciales funcionan de manera similar: el voltaje, la corriente y otras señales de proceso se miden y comparan con valores nominales preestablecidos. Se dispara una alarma cuando cualquier diferencia de los valores preestablecidos excede un umbral dado. Los umbrales de alarma se correlacionan con defectos

de soldadura reales o se relacionan con especificaciones definidas en la especificación del procedimiento de soldadura (WPS).

Actualmente, los métodos de prueba no destructivos comunes para la inspección del cordón de soldadura incluyen radiografía, ultrasonido, visión, detección magnética y mediciones acústicas y de corrientes parásitas.

### 2.14 Informes de soldadura tipo PQR

Informe PQR proviene de Procedure Qualification Record (Registro de Calificación del Procedimiento), consiste en una redacción la cual debe contener las variables para el proceso específico del fabricante, número y resultados de las pruebas realizadas, la certificación incluyendo a la fecha registrada, en este proceso se detallan el pasoso que conlleva con el procedimiento de calificación y reporte de procedimientos. (Alcalá, 2018)

A continuación, en la siguiente figura se observa el formato para la calificación del procedimiento PQR.

**Figura 2**

*Formato guía para reportar la calificación de la soldadura*

Procedure Qualification Record (PQR) # \_\_\_\_\_  
Test Results

TENSILE TEST						
Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Load, lb	Ultimate Unit Stress, psi	Character of Failure and Location

GUIDED BEND TEST			
Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks

<p><b>VISUAL INSPECTION</b>                  Appearance _____                  Undercut _____                  Piping porosity _____                  Convexity _____                  Test date _____                  Witnessed by _____</p> <p><b>Other Tests</b></p> <p>Welder's name _____                  Tests conducted by _____</p>	<p><b>Radiographic-ultrasonic examination</b>                  RT report no.: _____ Result _____                  UT report no.: _____ Result _____</p> <p style="text-align: center;"><b>FILLET WELD TEST RESULTS</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Minimum size multiple pass</td> <td style="width: 50%;">Maximum size single pass</td> </tr> <tr> <td>Macroetch</td> <td>Macroetch</td> </tr> <tr> <td>1. _____ 3. _____</td> <td>1. _____ 3. _____</td> </tr> <tr> <td>2. _____</td> <td>2. _____</td> </tr> </table> <p><b>All-weld-metal tension test</b>                  Tensile strength, psi _____                  Yield point/strength, psi _____                  Elongation in 2 in., % _____                  Laboratory test no. _____</p> <p>Clock no. _____ Stamp no. _____                  Laboratory _____                  Test number _____                  Per _____</p>	Minimum size multiple pass	Maximum size single pass	Macroetch	Macroetch	1. _____ 3. _____	1. _____ 3. _____	2. _____	2. _____
Minimum size multiple pass	Maximum size single pass								
Macroetch	Macroetch								
1. _____ 3. _____	1. _____ 3. _____								
2. _____	2. _____								

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of Section 4 of AWS D1.1/D1.1M, (\_\_\_\_\_) Structural Welding Code—Steel. (year)

Signed \_\_\_\_\_  
 By \_\_\_\_\_ Manufacturer or Contractor  
 Title \_\_\_\_\_  
 Date \_\_\_\_\_

*Nota.* El formato representa el procedimiento para la calificación PQR. Tomado de (ERBOAL, 2020)

### **2.15 Comunicación I2C**

I2C combina las mejores características de SPI y UART. Con I2C, pueden conectar varios esclavos a un solo maestro (como SPI) y puede tener varios maestros controlando uno o varios esclavos. Esto es realmente útil cuando desea tener más de un microcontrolador que registre datos en una sola tarjeta de memoria o muestre texto en una sola pantalla LCD (Alcalá, 2018)

Al igual que la comunicación UART, I2C solo usa dos cables para transmitir datos entre dispositivos:

- SDA (datos en serie): la línea para que el maestro y el esclavo envíen y reciban datos.
- SCL (Serial Clock): la línea que transporta la señal del reloj.

Con I2C, los datos se transfieren en mensajes. Los mensajes se dividen en marcos de datos. Cada mensaje tiene una trama de dirección que contiene la dirección binaria del esclavo y una o más tramas de datos que contienen los datos que se transmiten. El mensaje también incluye condiciones de inicio y parada, bits de lectura / escritura y bits ACK / NACK entre cada trama de datos.

I2C no tiene líneas de selección de esclavo como SPI, por lo que necesita otra forma de hacerle saber al esclavo que se le están enviando datos y no a otro esclavo. Lo hace direccionando. La trama de dirección es siempre la primera trama después del bit de inicio en un mensaje nuevo.

El maestro envía la dirección del esclavo con el que quiere comunicarse a cada esclavo conectado a él. Luego, cada esclavo compara la dirección enviada por el maestro con su propia dirección. Si la dirección coincide, envía un bit ACK de bajo voltaje al maestro. Si la dirección no coincide, el esclavo no hace nada y la línea SDA permanece alta (Castro Vázquez, 2019)

El bus de comunicación I2C es muy popular y ampliamente utilizado por muchos dispositivos electrónicos porque se puede implementar fácilmente en muchos diseños electrónicos que requieren comunicación entre un maestro y múltiples dispositivos esclavos o incluso múltiples dispositivos maestros.

## Capítulo III

### 3. Diseño y selección de componentes

#### 3.1 Introducción

En el presente capítulo se muestra el diseño del equipo portátil para suelda MIG. Se realiza una matriz de calidad, para establecer las necesidades principales del usuario con sus respectivos requerimientos técnicos. Se establecen alternativas para los subsistemas, que pueden presentarse en el equipo; se establece las ventajas y desventajas de cada elemento, para determinar la mejor opción; finalmente se realiza el dimensionamiento de cada uno de los elementos que serán parte del equipo portátil.

#### 3.2 Matriz de la calidad

La matriz de calidad es utilizada para determinar las necesidades del usuario que permite establecer las características técnicas para el diseño con sus niveles de importancia con el objetivo de hallar los subsistemas correspondientes.

##### 3.2.1 Definición de las necesidades

En la tabla 1 se muestra las necesidades planteadas para el diseño del equipo portátil para suelda MIG, con la finalidad de establecer las posibles soluciones para elaborar el equipo, que constituyen el punto inicial para el diseño, posteriormente se selecciona la mejor propuesta que permite obtener un equipo eficiente y a un menor costo.

**Tabla 1**

*Requerimientos o necesidades del usuario*

No	Requerimientos
1	Que sea portable
2	De fácil ensamble, operación y mantenimiento
3	De fácil ensamble, operación y mantenimiento



No	Requerimientos
4	Que presente desplazamiento autónomo
5	Que reconozca la junta
6	Que la pistola de suelda pueda modificar su posicionamiento, antes del proceso de soldadura
7	Que realice el seteo de los parámetros de soldadura
8	Que inicie el proceso de soldadura
9	Que realice la inspección visual
10	Que energice a todos los elementos electrónicos

*Nota.* Esta tabla muestra los requerimientos que se necesita para el proceso de soldadura MIG de alta calidad.

### 3.2.2 Definición de las características técnicas

En la tabla 2, se muestra las características técnicas que se relacionan de forma directa con las necesidades del usuario.

**Tabla 2**

*Características técnicas del equipo*

No	Características técnicas
1	Dimensiones, peso de la estructura
2	Manual de usuario
3	Velocidad de los motores
4	Control PID, desplazamiento lineal
5	Visión artificial pre soldadura
6	Ángulo de giro, torque
7	Velocidad de avance, espesor de la plancha, longitud total del cordón de suelda

No	Características técnicas
8	Envío de una señal para iniciar el proceso de soldadura
9	Visión artificial post soldadura
10	Fuente de alimentación

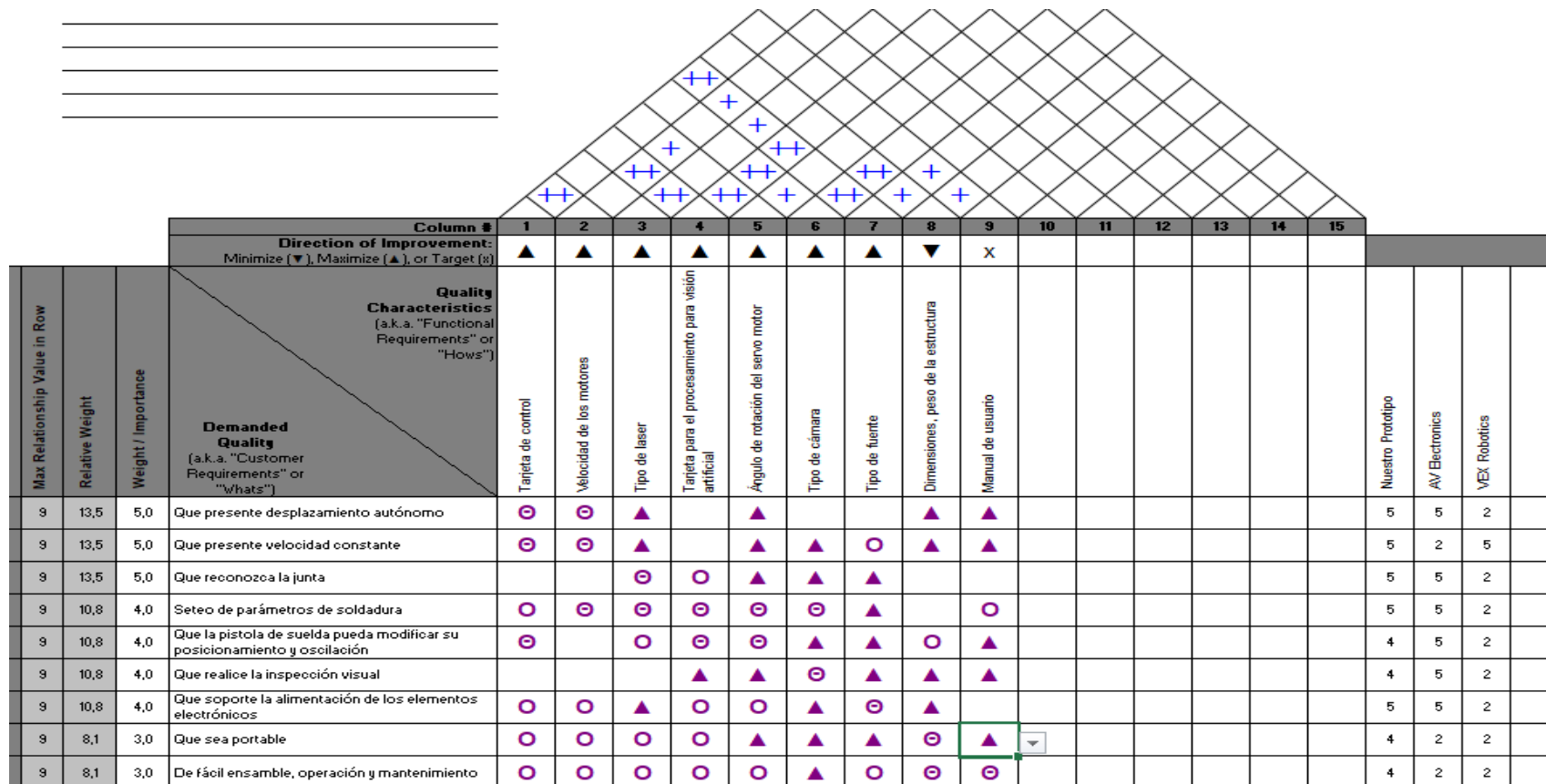
*Nota.* En la tabla se detalla las características técnicas que debe poseer un equipo de soldadura MIG.

### **3.2.3 QFD**

En la figura 3 se indica el despliegue de la función de calidad “Quality Function Deployment” que relaciona los requerimientos del usuario con las características técnicas indicadas correspondientes a cada una de las necesidades.

Figura 3

Matriz QFD del equipo



Nota. La figura muestra la matriz de la calidad del equipo de soldadura.

En la Tabla 3, se muestra los resultados en orden de importancia de la matriz QFD, obtenidos a partir de los requerimientos del usuario y correlacionados con las características técnicas.

**Tabla 3**

***Resultados de la matriz QFD***

<b>No.</b>	<b>Características técnicas</b>	<b>Puntuación</b>
1	Fuente de alimentación	17.9%
2	Dimensiones, peso de la estructura	13.7%
3	Visión artificial pre soldadura	11.9%
4	Visión artificial post soldadura	11.5%
5	Velocidad de los motores	10.5%
6	Ángulo de giro, torque	9.0%
7	Velocidad de avance, espesor de la plancha, longitud total del cordón de suelda	8.6%
8	Control PID, desplazamiento lineal	8.1%
9	Inicialización de los parámetros de pre soldadura	5.5%
10	Manual de usuario	3.2%

*Nota.* En la tabla se observan los resultados de la matriz QFD.

Cuando se ha establecido el análisis el orden de importancia de los requerimientos del usuario con respecto a las características técnicas, se procede a establecer las posibles soluciones que formarán parte de la estructura final del equipo (Tabla 4).

**Tabla 4***Requerimientos, características y solución técnica*

<b>No.</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>Características Técnicas</b>	<b>Solución</b>
1	Que energice a todos los elementos electrónicos.	Fuente de alimentación	Tipo de fuente de alimentación
2	Que sea portable.	Dimensiones, peso de la estructura	Tipo de material
3	Que reconozca la junta	Visión artificial pre soldadura	Tipo de cámara y tarjeta de
4	Que realice la inspección visual	Visión artificial post soldadura	adquisición de datos
5	Que presente velocidad constante	Velocidad de los motores	
6	Que la pistola de soldadura pueda modificar su posicionamiento antes del proceso.	Ángulo de giro y torque	Tipo de motor
7	Que realice el seteo de los parámetros de soldadura	Velocidad de avance, espesor de la plancha, longitud total del cordón de suelda.	Tipo de pantalla y tarjeta de
8	Que presente desplazamiento autónomo	Control PID, desplazamiento	adquisición de datos
9	Que inicie el proceso de soldadura	Inicialización de los parámetros de soldadura	

*Nota.* La tabla anterior muestra los requerimientos, características y soluciones técnicas que poseerá el sistema de soldadura.

### 3.3 Factibilidad y planeación

#### 3.3.1 Estructura funcional

Cuando se ha realizado el análisis de las características técnicas generales, con su posible solución se procede a establecer los subsistemas que conforman el diseño como se muestra en la

**Tabla 5**

*Subsistemas definidos para el diseño*

No.	Características Técnicas	Función
1	Tipo de fuente de alimentación	Determina el tipo de fuente que utilizarán los elementos electrónicos
2	Tipo de material	Determina el tipo de material en función de sus características
3	Tipo de cámara y tarjeta de adquisición de datos	Determina el tipo de cámara a utilizar en conjunto con la tarjeta para procesar la información de visión artificial pre y post soldadura
4	Velocidad de los motores	Determina el tipo de motor a utilizar para el desplazamiento lineal del equipo
5	Tipo de servo motor	Determinar el tipo de servomotor para posicionar la pistola de suelda
6	Tarjeta de adquisición de datos	Determina el tipo de tarjeta para el seteo de los parámetros de pre soldadura.

*Nota.* La tabla muestra las características y funciones de los subsistemas definidos para el diseño.

Para el diseño del producto, se presentan dos etapas:

- Diseño Preliminar: en esta etapa se indican las alternativas más factibles de diseño.
- Diseño Final: en esta etapa se desarrolla y se implementa todas las etapas como: el diseño mecánico, electrónico y control.

### **3.4 Subsistema mecánico**

#### **3.4.1 Estructura**

A continuación, se describirán algunos materiales adecuados para la elaboración de la estructura del equipo portátil de soldadura.

##### **Acero ASTM A36**

El acero ASTM A36 está compuesto por una composición de elementos químicos, en el que sobresale el hierro y en un porcentaje pequeño el carbón, que no supera el 1,2% en peso de la composición, con un porcentaje entre el 0,2% y el 0,3%. Este tipo de material presenta un comportamiento lineal y elástico hasta la fluencia, que hace predecir su comportamiento en las estructuras, y por ende el más utilizado en la industria, con propiedades que depende de su composición. A continuación, se describe las características más importantes:

- Densidad 7850Kg/m<sup>3</sup>
- Resistencia a la tensión (58 – 80) Ksi
- Módulo de elasticidad 29000Ksi
- Punto de fusión 1538 °C
- Soldabilidad

##### **Acero inoxidable AISI 304**

El acero inoxidable AISI 304 presenta una composición de 18% Cr y 8% Ni, que puede soportar condiciones ambientales de gran magnitud por más de 12 años, presenta, resistencia a la corrosión, al calor, y a temperaturas bajas. A continuación, se indican las características más importantes:

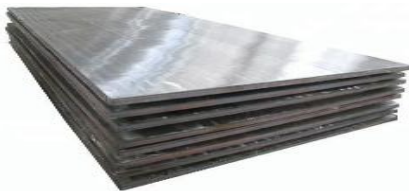
- Densidad 7930Kg/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidad 28 x 10<sup>6</sup>Psi
- Punto de fusión 1398 - 1454 °C
- Resistente a la corrosión
- Procesos de soldadura más complejos

### 3.4.2 Evaluación y selección de alternativas

En la Tabla 6, se indican las opciones de materiales, con sus características técnicas más relevantes.

**Tabla 6**

*Características técnicas de las posibles soluciones*

Solución	Imagen	Plástico
Acero ASTM A36 Solución A		Densidad 7850Kg/m <sup>3</sup> Resistencia a la tensión (58 – 80)Ksi Módulo de elasticidad 29000Ksi Se puede contraer, dilatar o fundir, según la temperatura. Maleable Se suelda con facilidad.
AISI 304 Solución B		Densidad 7930Kg/m <sup>3</sup> Módulo de elasticidad 28 x 106Psi Punto de fusión 1398 - 1454 °C Resistente a la corrosión Procesos de soldadura más complejos

*Nota.* En la tabla se observan las características de los materiales A36 y AISI 304, para la construcción del equipo automático de soldadura.

En la Tabla 7 se indica la ponderación de criterios tomando en cuenta los factores más importantes para la selección como: el costo, que el material sea de fácil implementación.



**Tabla 7**

*Ponderación de criterios de evaluación para el material del equipo*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Maleable</b>	<b>Implementación</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Costo	-	0	1	2	0.25
Mecanizado	1	-	1	3	0.38
Implementación	1	1	-	3	0.38
Suma				8	1

*Nota.* En la tabla se observa la evolución que se realizó a los materiales del equipo.

En las tablas de la 8 a la 10, se realiza el análisis para cada una de las soluciones presentadas, con el fin de elegir el material más óptimo para el diseño de la estructura y que satisfaga las necesidades del usuario.

**Tabla 8**

*Ponderación del costo para cada opción del material*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* Esta tabla muestra la evaluación realizada entre las dos soluciones de materiales para la construcción del equipo automático de soldadura.

*Ponderación del peso para cada opción del material del equipo*

**Tabla 9**

Ponderación del peso para cada opción del material del equipo

<b>Mecanizado</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
-------------------	-------------------	-------------------	------------------------------	--------------

Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* La tabla muestra la comparación de los dos alternativas en cuanto al mecanizado del material.

**Tabla 10**

*Ponderación de implementación para cada opción del material*

Implementación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Total
Solución A	-	1	2	0.57
Solución B	0.5	-	1.5	0.43
Suma			3.5	1

*Nota.* En la tabla se observa la ponderación de las dos soluciones en cuanto a implementación.

En la Tabla 11, se presentan las ponderaciones de cada material, llegando a la conclusión que la solución A de prioridad 1, cumple con los criterios planteados.

**Tabla 11**

*Conclusión para el tipo de material del equipo*

Conclusión	Velocidad	Fiabilidad	Implementación	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.67(0.25)	0.67(0.38)	0.57(0.38)	80.62%	1
Solución B	0.33(0.25)	0.33(0.38)	0.43(0.38)	19.38%	2
Total				100%	1

*Nota.* La tabla indica la conclusión final en cuanto al material seleccionado para la construcción del equipo automático de soldadura.

### **3.5 Subsistema de control**

#### **3.5.1 Tarjeta de adquisición de datos.**

La tarjeta de adquisición de datos, será utilizada para controlar la velocidad constante y el desplazamiento autónomo del equipo. Para la selección de la tarjeta de control se utilizarán los siguientes criterios considerados como los más determinantes:

- Bajo Costo
- Frecuencia de Operación (75Mhz o superiores)
- Pines de I/O digitales (40 o superiores con salida PWM)
- Aplicación

#### **3.5.2 Alternativas de diseño**

##### **Arduino Due**

La tarjeta Arduino Due, contiene un Microcontrolador robusto de 32 bits, con 54 pines de entrada/salida digital; de los cuales 12 se pueden utilizar como salidas PWM, contiene diversas interfaces de comunicación y un reloj de 84 Mhz. Tiene un alto poder de procesamiento de datos, con un tiempo de muestreo de 1Msps (Mega Samples por segundo) y periféricos más flexibles y potentes con una alta demanda en el mercado actual por lo que es accesible a nivel nacional. (Arduino, 2020).

##### **Teensy 3.2**



La tarjeta Teensy 3.2 tiene un procesador ARM Cortex M4 de 32bit, presenta 34 pines digitales I/O (10 son compartidos con los analógicos) con 12 salidas PWM con una velocidad de 72Mhz. Es compatible con el lenguaje de Arduino y C, se puede utilizar directamente con el IDE de Arduino una extensión add-on Teensyduino dada por el fabricante. (BricoGeek, 2020)

### 3.5.3 Evaluación y selección de alternativas

En la Tabla 12, se muestran las características de cada tarjeta.

**Tabla 12**

*Alternativas de selección de la tarjeta de adquisición para el control*

Solución	Imagen	Características
Arduino Due Solución A		<p><b>Procesador:</b> ARM Cortex-M3 24-bit</p> <p><b>Memoria:</b> 256-512 Kbytes Flash, 32-100 Kbytes SRAM</p> <p><b>Frecuencia de operación:</b> 84 MHz</p> <p><b>Voltaje de funcionamiento:</b> 7-12V</p> <p><b>Pines de entradas análogas:</b> 12</p> <p><b>Pines I/O digitales:</b> 54 ( 12 proveen salida PWM)</p> <p><b>Consumo de corriente:</b> 75 mA</p>
Teensy 3.2 Solución B		<p><b>Procesador:</b> ARM Cortex-M4</p> <p><b>Memoria:</b> Flash 256K, RAM 64K, EEPROM 2K</p> <p><b>Frecuencia de operación:</b> 72 MHz</p> <p><b>Voltaje de funcionamiento:</b> 3.6-6V</p> <p><b>Pines de entradas análogas:</b> 21</p> <p><b>Pines I/O digitales:</b> 34 ( 12 proveen salida PWM)</p> <p><b>Consumo de corriente:</b> 100 mA</p>

*Nota.* La tabla indica las características de dos tipos de microcontroladores. Tomado de (Arduino, 2020) (BricoGeek, 2020).

En la Tabla 13 se muestra la ponderación de los criterios de valoración.

**Tabla 13**

*Alternativas de selección de la tarjeta de adquisición para el control*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Frecuencia Operación</b>	<b>Pines I/O Digitales</b>	<b>Aplicación</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Costo	-	0.5	0.5	0.5	2.5	0.2
Frecuencia de Operación	0	-	1	1	4	0.32
Pines I/O digitales	0	1	-	1	4	0.32
Aplicación	0	0	1	-	2	0.16
Suma					12.5	1

*Nota.* Se observan las ponderaciones de los microcontroladores.

Posteriormente se realiza el análisis y evaluación de los criterios propuestos en las tablas 14 a la 17 para seleccionar la solución que cumpla con los parámetros de diseño que el usuario requiera.

**Tabla 14**

*Ponderación de costo para la selección de la tarjeta de control*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.5714
Solución B	0.5	-	1.5	0.4285
Suma			3.5	1

*Nota.* Se observa la evaluación de costos de las dos alternativas de tarjetas de control.

**Tabla 15**

*Ponderación de frecuencia de operación, selección de la tarjeta de control*

<b>Frecuencia de Operación</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.6667
Solución B	0	-	1	0.3333
Suma			3	1

*Nota.* En la tabla se observa la evaluación de frecuencia de operación de las tarjetas de control.

**Tabla 16**

*Ponderación de los pines I/O digitales, selección de la tarjeta de control*

<b>Pines I/O digitales</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	0.5	1.5	0.4285
Solución B	0	-	1	0.5714
Suma			3.5	1

*Nota.* La tabla muestra la evaluación entre los pines de entra y salida de la tarjeta de control.

**Tabla 17**

*Ponderación de la aplicación para la selección de la tarjeta de control*

Aplicación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Total
Solución A	-	1	2	0.6667
Solución B	0	-	1	0.3333
Suma			3	1

*Nota.* Se observa la evaluación de la aplicación de la tarjeta de control.

**Tabla 18**

*Ponderación de cada solución para la selección de la tarjeta de control*

Conclusión	Costo	Velocidad	Fiabilidad	Implementación	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.571(0.2)	0.667(0.32)	0.429(0.32)	0.667(0.16)	57%	1
Solución B	0.429(0.2)	0.333(0.32)	0.571(0.32)	0.333(0.16)	43%	2
Total					100%	1

*Nota.* En la tabla 18 se observa el resultado para ambas soluciones, de la cual se escoge la solución A con prioridad 1 que cumple con los criterios planteados.

### 3.6 Selección del Motor

Se colocarán dos motores acoplados a dos ruedas, para movilizar la estructura con velocidad constante, mientras se realiza el proceso de soldadura.

Para seleccionar el motor se utilizó los siguientes criterios:

- Par de bloqueo > 1N/m
- Velocidad angular (4000rpm – 6000rpm)
- Potencia > 150W
- Voltaje en C.C

- Aplicación

### 3.6.1 Alternativas de diseño

#### Motor CIM (217-2000)

El motor CIM posee características que le permite alimentar un tren de transmisión u otro mecanismo grande, es utilizado en robots competitivos a gran escala; presenta una velocidad de 5530 RPM y permite el acople de cajas de reducción planetarias para cambiar su velocidad angular.

#### Motor BAG

El motor BAG es utilizado en aplicaciones de potencia media, robusto con una velocidad libre de 13180 RPM posee una caja sellada para evitar un mal funcionamiento con una serie de engranajes VersaPlanetary 100: 1 para convertir el motor BAG en un motor reductor de par alto con una velocidad angular baja.

### 3.6.2 Evaluación y selección de alternativas


En la Tabla 19 se muestran las características técnicas de cada motor.

**Tabla 19**

*Alternativas para seleccionar el tipo de motor*

Solución	Imagen	Características
CIM (217-2000) Solución A		<b>Entrada de batería:</b> 12 V CC <b>Salidas:</b> Salida Tamaño del eje: 8 mm (0,314 pulg.) Con chavetero de 2 mm <b>Velocidad libre:</b> 5330 rpm (+/- 10%) <b>Corriente libre:</b> 2,7 A



Solución	Imagen	Características
BAG (217-3351) Solución B		<b>Potencia máxima:</b> 337 W (a 2655 rpm, 172 oz-in y 68A)
		<b>Par de bloqueo:</b> 2,41 Nm (21,33 in-lb)
		<b>Corriente de bloqueo:</b> 131 A
		<b>Orificios de montaje:</b> (4) orificios roscados # 10-32 en un círculo de pernos de 2 "
		<b>Entrada de batería:</b> 12 V CC
		<b>Tamaño del eje de salida:</b> 4 mm (0,157 pulg.)
		<b>Velocidad libre:</b> 13,180 rpm (+/- 10%)
		<b>Corriente libre:</b> 1,8 A
		<b>Potencia máxima:</b> 149 W
		<b>Par de bloqueo:</b> 0,4 Nm [3,5 pulg -lbs]
<b>Corriente de bloqueo:</b> 53A		
<b>Orificios de montaje:</b> (2) orificios roscados M4 en un círculo de pernos de 25 mm		

*Nota.* En la tabla se observan las características de los motores a evaluar. Tomado de (VEX.ROBOTICS, 2020)

En la Tabla 20 se muestra la ponderación de los criterios de valoración.

**Tabla 20**

*Ponderación de criterios de evaluación para la selección del motor*

Criterio	Par de bloqueo	Velocidad Angular	Potencia	Voltaje	Aplicación	$\Sigma+1$	Total
Par de bloqueo	-	1	0.5	0	1	3.5	0.18
Velocidad Angular	1	-	1	0	1	4	0.2
Potencia	0.5	1	-	1	1	4.5	0.23

<b>Criterio</b>	<b>Par de bloqueo</b>	<b>Velocidad Angular</b>	<b>Potencia</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Aplicación</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Voltaje	0.5	0.5	1	-	0.5	3.5	0.18
Aplicación	1	1	1	0.5	-	4.5	0.23
Suma						20	1

*Nota.* En la tabla se observa la evaluación de los motores.

Posteriormente se realiza el análisis y evaluación de los criterios propuestos en las tablas 21 a la 25 para seleccionar la solución que cumpla con los parámetros de diseño que el usuario requiere.

**Tabla 21**

*Ponderación del par de bloqueo para la selección del motor*

<b>Par de bloqueo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* Se muestra la comparación del par de bloque de los dos motores a comparar.

**Tabla 22**

*Ponderación de la velocidad angular para la selección del motor*

<b>Velocidad angular</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	0.5	1.5	0.49
Solución B	1	-	2	0.57
Suma			3.5	1

*Nota.* En la tabla se indica la comparación de velocidad angular de los dos motores para la fabricación del equipo portátil de soldadura.

**Tabla 23**

*Ponderación de la potencia para la selección de la tarjeta de control*

<b>Potencia</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* Se observa la ponderación en cuanto a la potencia de los motores.

**Tabla 24**

*Ponderación de voltaje para la selección del motor*

<b>Voltaje</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.50
Solución B	1	-	2	0.50
Suma			4	1

*Nota.* Comparación de voltajes de motores.

**Tabla****25**

*Ponderación de la aplicación para la selección del motor*

<b>Aplicación</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.57
Solución B	0.5	-	1.5	0.43
Suma			3.5	1

*Nota.* En la tabla se observa la comparación de las aplicaciones de los motores para la fabricación del equipo portátil de soldadura.

**Tabla 26***Conclusión en la selección del motor*

Conclusión	Par de bloqueo	Velocidad angular	Potencia	Voltaje	Aplicación	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.67(0.18)	0.49(0.2)	0.67(0.23)	0.5(0.18)	0.57(0.23)	60.%	1
Solución B	0.33(0.18)	0.57(0.2)	0.33(0.23)	0.5(0.18)	0.43(0.23)	40%	2
Total						100%	1

*Nota.* En la tabla 26 se observa el resultado para ambas soluciones, de la cual se escoge la solución A con prioridad 1 que cumple con los criterios planteados.

### 3.7 Selección del motor para la pistola de soldadura.

El equipo tendrá incorporado una pistola de suelda MIG, que se posicionará con la variación de cierto ángulo. En la sección anterior se describió un motor DC que es utilizado en aplicaciones de movimiento continuo en función de la modulación de ancho de pulso PWM, sin embargo para este caso no es necesario utilizar un motor de estas características, pues se requiere controlar una señal de salida que represente la posición de salida, aplicando una potencia determinada hasta que el eje gire hasta una posición deseada, por esta razón el elemento seleccionado; es el servomotor pues incorpora un motor de corriente continua normal, una unidad de reducción de engranajes, un dispositivo de detección de posición y un circuito de control.

Para seleccionar el tipo de servomotor se utilizará los siguientes criterios:

- Par de bloqueo > 7kgf
- Velocidad de funcionamiento (0.13s - 0.18s)
- Precisión en la variación del ángulo
- Implementación

### 3.7.1 Alternativas de diseño

#### Servomotor MG996R

El servomotor MG996R, posee un par de estancamiento alto en un paquete pequeño, tiene un sistema a prueba de golpes y un sistema de control de PCB e IC para mayor precisión. El juego de engranajes y el motor mejoran el centrado y el ancho de banda muerta, es adaptable a la mayoría de receptores, incluidos Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum y Hitec.

#### Servomotor TowerPro MG995


El servomotor TowerPro MG995, tiene un alto torque, con un diseño robusto, de alto rendimiento, con engranes de metal que lo hace más resistente, con movimientos precisos y un centrado perfecto; es compatible con la mayoría de los conectores como Futaba, Hitec, Sanwa, GWS, etc.


### 3.7.2 Evaluación y selección de alternativas

A continuación, en la Tabla 27 se muestran las características técnicas de cada servomotor.

**Tabla 27**

*Alternativas de selección para el servomotor*

Solución	Imagen	Características
MG996R Solución A		<p><b>Par de bloqueo:</b> 9,4 kgf · cm (4,8 V), 11 kgf · cm (6 V)</p> <p><b>Velocidad de funcionamiento:</b> 0,17 s / 60° (4,8 V), 0,14 s / 60° (6 V)</p> <p><b>Voltaje de funcionamiento:</b> 4,8 V a 7,2 V</p> <p><b>Corriente de funcionamiento:</b> 500 mA -</p> <p><b>Ancho de banda muerta:</b> 5 μs</p>

Solución	Imagen	Características
TowerPro MG995 Solución B		<b>Diseño de rodamiento:</b> dos esferas estables y a prueba de golpes
		<b>Rango de temperatura:</b> 0 °C - 4,8 V a 7,2 V - 900 mA (6 V) diseño de rodamiento de doble bola 55 °C
		<b>Par de bloqueo:</b> 8,5 kgf · cm (4,8 V), 10 kgf · cm (6 V)
		<b>Velocidad de funcionamiento:</b> 0,2 s / 60° (4,8 V), 0,16 s / 60° (6 V)
		<b>Voltaje de funcionamiento:</b> 4,8 V a 7,2 V
		<b>Ancho de banda muerta:</b> 5 μs
		<b>Diseño de rodamiento:</b> dos esferas y a prueba de golpes
		<b>Rango de temperatura:</b> 0 °C - 55 °C

*Nota.* La tabla muestra las características de los posibles servomotores a ser utilizados en el equipo portátil de soldadura. Tomado de (HobbyKing, 2020) (SanDoRobotics, 2020)

En la Tabla 28, se muestra la ponderación de los criterios de valoración.

**Tabla 28**

*Ponderación de criterios de evaluación para la selección del servomotor*

Criterio	Par de bloqueo	Velocidad	Precisión	Implementación	Σ+1	Total
Par de bloqueo	-	0.5	1	1	3.5	0.25
Velocidad	0.5	-	0.5	1	3	0.21
Precisión	1	0.5	-	1	3.5	0.25
Implementación	1	1	1	-	4	0.29
Suma					14	1

*Nota.* La tabla muestra los criterios que se tomarán en consideración para la selección de la mejor alternativa en cuanto a servomotores.

Posteriormente se realiza el análisis y evaluación de los criterios propuestos en las tablas 28 a la 32, para seleccionar la solución que cumpla con los parámetros de diseño que el usuario requiere.

**Tabla 29**

*Ponderación del par de bloqueo para la selección del servomotor*

<b>Par de bloqueo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.57
Solución B	0.5	-	1.5	0.43
Suma			3.5	1

*Nota.* Se observan los resultados en cuando a par de bloqueo.

**Tabla 30**

*Ponderación de la velocidad de funcionamiento para la selección del servomotor*

<b>Velocidad</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* En la tabla se observa que la mejor propuesta en cuanto al servomotor es la solución A.

**Tabla 31**

*Ponderación de la precisión del ángulo del servomotor*

<b>Precisión</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.57
Solución B	0.5	-	1.5	0.43
Suma			3.5	1

*Nota.* En la tabla anterior, se observa que en cuanto a precisión la mejor alternativa es el servomotor A.

Tabla 32

## Ponderación de implementación para la selección del servomotor

Implementación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Total
Solución A	-	1	2	0.57
Solución B	0.5	-	1.5	0.43
Suma			3.5	1

*Nota.* Se observan las ponderaciones de las alternativas en cuanto a la implementación.

Tabla 33

## Conclusión en la selección del servomotor

Conclusión	Par de bloqueo	Velocidad	Precisión	Implementación	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.57(0.25)	0.67(0.21)	0.57(0.25)	0.57(0.29)	60.00%	1
Solución B	0.43(0.25)	0.33(0.21)	0.43(0.25)	0.43(0.29)	40.00%	2
Total					100%	1

*Nota:* se observa el resultado para ambas soluciones, de la cual se escoge la solución A con prioridad 1 que cumple con los criterios planteados.

### 3.8 Selección de la pantalla

Se colocará una pantalla para visualizar los parámetros de inicio antes del proceso de soldadura.

Para la selección de la pantalla se utilizó los siguientes criterios:

- Bajo costo
- Comunicación I2C.
- Número de caracteres (máximo 20)
- Implementación



### **3.8.1 Alternativas de diseño**

#### **Pantalla LCD 20x4 HD44780**

La pantalla LCD 20 x 4, permite al usuario tener un área de escritura más amplio; con una interacción directa con el microcontrolador del Arduino Due, le proporciona la información en forma binaria, y mediante un procesador interpreta los datos y los imprime de manera alfanumérica con una retroalimentación de color azul con caracteres blancos. Presenta un módulo adicional adaptable para LCD, que es un expansor de entradas y salidas digitales mediante comunicación serial I2C, controlados por 2 pines (SDA y SCL). Se puede controlar el contraste de la pantalla entre el fondo y los dígitos con un potenciómetro que está incluido en el módulo. (Herrero, 2020)

#### **TFT 3.95" para Arduino**

La pantalla Tft de 3.95 pulgadas tiene incorporado una memoria micro SD, muy útil para visualizar la información de las variables, realizar gráficas o visualizar imágenes, compatible con las diferentes versiones de la plataforma Arduino, y se puede conectar de forma directa o con una fuente de voltaje de 3.3V. (LINIO, 2021)

### **3.8.2 Evaluación y selección de alternativas**

En la Tabla 34, se muestran las características técnicas de cada pantalla, con la finalidad de evaluarlas mediante ponderaciones para así saber cuál es la mejor al instante de construir el equipo portátil de soldadura. Además, se debe tener en cuenta que en la pantalla es en donde se van a poder ingresar los parámetros y observar los resultados del proceso.

#### **Tabla 34**

*Alternativas de selección para el servomotor*

Solución	Imagen	Características
LCD 20x4 HD44780 Solución A		<p><b>Pantalla:</b> 20 caracteres por línea, 4 líneas</p> <hr/> <p><b>Alimentación:</b> 5V</p> <hr/> <p><b>Comunicación:</b> I2C</p> <hr/> <p><b>Consumo:</b> 125mA</p> <hr/> <p><b>Comunicación:</b> I2C</p> <hr/> <p><b>Resistencia:</b> Media</p>
Tft 5" para Arduino Solución B		<p><b>Pantalla:</b> 3.95", a color de 16 bits RGB 65K</p> <hr/> <p><b>Alimentación:</b> 5V/3,3V</p> <hr/> <p><b>Comunicación:</b> Soporta 8 bits y la transmisión de bus paralelo de 16 bits con una velocidad de transferencia rápida</p> <hr/> <p><b>Resistencia:</b> Baja</p>

*Nota.* La tabla, muestra las características de las alternativas de solución para el equipo portátil de soldadura. Tomado de (LINIO, 2021)

En la Tabla 35, se muestra la ponderación de los criterios de valoración.

**Tabla 35**

Ponderación de criterios de evaluación para la selección de la pantalla

Criterio	Costo	Comunicación	Número		$\Sigma+1$	Total
			de	Implementación		
			caracteres			
Costo	-	0	0	0.5	1.5	0.21
Comunicación	0	-	0	1	2	0.29
Número de caracteres	0	0	-	0	1	0.14
Implementación	0.5	1	0	-	2.5	0.36
Suma					7	1

*Nota.* La tabla indica los puntos a evaluarse para las dos alternativas de solución.

Posteriormente se realiza el análisis y evaluación de los criterios propuestos acorde a sus ponderaciones las cuales se observan en las tablas 36 a la 39 para seleccionar la solución que cumpla con los parámetros de diseño que el usuario requiere.

**Tabla 36**

*Ponderación del costo para la selección de la pantalla*

Costo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Total
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* En la tabla, se muestra la comparación de costos entre las dos alternativas de solución, siendo la mejor la primera.

**Tabla 37**

*Ponderación de la comunicación para la selección de la pantalla*

<b>Comunicación</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* Se observa la facilidad para la comunicación, siendo la más adecuada la solución A.

**Tabla 38**

*Ponderación del número de caracteres de selección de la pantalla*

<b>Número de caracteres</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* En la tabla se observa la ponderación en cuanto al número de caracteres que posee cada pantalla.

**Tabla 39**

**Ponderación de implementación para la selección de la pantalla**

<b>Implementación</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.57
Solución B	0.5	-	1.5	0.43
Suma			3.5	1

*Nota.* La tabla muestra la comparación en implementación de las alternativas, siendo la mejor la primera.

**Tabla 40***Conclusión en la selección de la pantalla*

Conclusión	Costo	Comunicación	Número		$\Sigma$	Prioridad
			de	Implementación		
Solución A	0.67(0.21)	0.67(0.29)	0.67(0.14)	0.57(0.36)	63.00%	1
Solución B	0.33(0.21)	0.33(0.29)	0.33(0.14)	0.43(0.36)	37.00%	2
Total					100%	1

*Nota.* En la tabla 40 se observa el resultado para ambas soluciones, de la cual se escoge la solución A con prioridad 1 que cumple con los criterios planteados.

### **3.9 Subsistema de visión artificial**

#### **3.9.1 Visión artificial pre y post soldadura**

Para el proceso pre y post soldadura se debe seleccionar una tarjeta de adquisición de datos dedicada únicamente a las funciones de visión artificial, que cumple dos funciones específicas, la primera corresponde a la pre soldadura en la cual se reconoce el grosor del material, y la segunda que pueda realizar la inspección visual para determinar el estado de la soldadura; y determinar mediante el control de calidad, si los parámetros cumplen con las normas establecidas.

Para la selección de la tarjeta que será utilizada en el proceso de visión artificial pre y post soldadura se consideró los siguientes criterios:

- Frecuencia de operación (mínimo 1Ghz)
- Compatibilidad con I2C
- Número de pines I/O digitales (GPIO 40)

## Alternativas de diseño


En la sección de control se obtuvo como resultado que la tarjeta idónea para esta función es Arduino Due, sin embargo, para la visión artificial es necesario cumplir con requerimientos técnicos más potentes. La tarjeta Raspberry es un sistema embebido que integra una computadora funcional que soporta distribuciones de Linux, con un procesador y frecuencia de operación más potentes, con una fuente de alimentación conmutada, para admitir dispositivos USB externos más potentes. La Raspberry Pi cuenta con conectividad Wifi y Ethernet integradas en la misma placa, que elimina el uso de puertos para elementos externos, y además sus características son superiores. (XATACA, 2021)


## Evaluación y selección de alternativas

En la Tabla 41 se muestran las características técnicas de las posibles soluciones estimadas para esta etapa.

**Tabla 41**

*Alternativas de selección para la tarjeta de visión artificial*

Solución	Imagen	Características
Raspberry 3 Pi B+ Solución A		<p><b>Procesador:</b> Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz</p> <hr/> <p><b>Conectividad:</b> 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b / g / n / ac inalámbrico; LAN, Bluetooth 4.2, BLE; Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (rendimiento máximo 300 Mbps)</p> <hr/> <p><b>GPIO:</b> 40 pines</p> <hr/> <p><b>Audio y video:</b> 1 × HDMI de tamaño completo; Puerto de pantalla MIPI DSI;</p> <hr/> <p>Puerto de cámara MIPI CSI; Salida estéreo de 4 polos y puerto de video compuesto</p>

Solución	Imagen	Características
Raspberry 2 Pi B+ Solución B		<b>Potencia de entrada:</b> 5V/2.5A DC mediante conector micro USB; 5 V CC a través de GPIO
		<b>Procesador:</b> Broadcom BCM2837B0, Quad-core ARM Cortex-A7, 900 MHz
		<b>Conectividad:</b> 4 x conector USB 2.0, toma Ethernet 10/100 BaseT
		<b>GPIO:</b> 40 pines
		<b>Audio y video:</b> 1 x HDMI, Interfaz serie de cámara MIPI de 15 pines (CSI-2) <b>Potencia de entrada:</b> Micro USB socket 5V, 2ª

*Nota.* En la tabla se observan las características de las dos tarjetas a evaluarse para el equipo de soldadura portátil. Tomado de (XATACA, 2021) (Adafruit learning system, 2021)

En la Tabla 42 se muestra la ponderación de los criterios de valoración.

**Tabla 42**

*Ponderación de criterios de evaluación para la tarjeta de visión artificial*

Criterio	Velocidad	Compatibilidad	I/O Digitales	$\Sigma+1$	Total
Velocidad	-	0.5	1	2.5	0.31
Compatibilidad	1	-	1	3	0.38
I/O Digitales	1	0.5	-	2.5	0.31
Suma				8	1

*Nota.* En la tabla, se observan los puntos a evaluar a las dos alternativas de solución en cuanto a la tarjeta de visión artificial.

Posteriormente se realiza el análisis y evaluación de los criterios propuestos para visión artificial según sus ponderaciones a evaluarse en las tablas 43 a la 45 para seleccionar la solución que cumpla con los parámetros de diseño que el usuario requiere.

**Tabla 43***Ponderación de velocidad para la tarjeta de visión artificial*

<b>Velocidad</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.57
Solución B	0.5	-	1.5	0.43
Suma			3.5	1

*Nota.* Se observan los resultados en cuanto a velocidad de las dos tarjetas de visión artificial.

**Tabla 44***Ponderación de la compatibilidad para la tarjeta de visión artificial*

<b>Compatibilidad</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* En la tabla, se observan los resultados en cuanto a la compatibilidad de las dos tarjetas, siendo la más adecuada la alternativa A.

**Tabla 45***Ponderación de las I/O digitales para la tarjeta de visión artificial*

<b>Implementación</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.50
Solución B	1	-	2	0.50
Suma			4	1

*Nota.* La tabla indica que las dos alternativas de solución poseen igual ponderación en lo que respecta a la implementación.



**Tabla 46**

*Conclusión en la selección de la tarjeta de visión artificial*

<b>Conclusión</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Compatibilidad</b>	<b>I/O Digitales</b>	<b>Σ</b>	<b>Prioridad</b>
Solución A	0.57(0.31)	0.67(0.38)	0.50(0.31)	58.63%	1
Solución B	0.43(0.31)	0.33(0.38)	0.50(0.31)	41.37%	2
Total				100%	1

*Nota.* En la tabla 46 se observa el resultado para ambas soluciones, de la cual se escoge la solución A con prioridad 1 que cumple con los criterios planteados.

### **3.10 Selección del tipo de cámara.**

Se colocará una cámara digital compatible con la tarjeta de adquisición de datos seleccionada en la sección anterior; realizar las funciones de visión artificial, como reconocer el grosor de la plancha y posteriormente determinar la calidad de la suelda; mediante el control de calidad.

Para la selección del motor se utilizó los siguientes criterios:

- Bajo costo
- Resolución (mayo a 700 píxeles)
- Tipo de sensor (CMOS)
- Compatible con LINUX o Windows 10

#### **3.10.1 Alternativas de diseño**

##### **Web Pc HD 720P Webcam Windows MAC**

La cámara web de 720p, es un dispositivo portátil, con un lente recubierto de vidrio de 6 capas para alta precisión y alta resolución, con un filtro de imágenes; que permite un enfoque automático, sin interrupciones en las imágenes de salida compatible con Windows 2000 / XP / Win7 / Win8 / Win10 / Vista 32bit / MAC. (MEDIAPRICE, 2020).

### Leotec Webcam 480P

La cámara Leotec tiene un sensor cmos con resolución VGA; Tiene un cable USB de 1.5 metros de largo, que no necesita la instalación de drivers, el lente óptico es de alta precisión evitando las imágenes distorsionadas, balance automático de blancos y corrección automática de color, compatible con Windows 2000 / XP / Win7 / Win8 / Win10 / Vista 32bit Android TV o la última versión. (discoazul, 2020).

#### 3.10.2 Evaluación y selección de alternativas

En la Tabla 47 se muestran las características técnicas de cada cámara.

**Tabla 47**

*Alternativas de selección para la cámara*

Solución	Imagen	Características
Webcam 720P Solución A		<b>Resolución:</b> 720P 1280×720 píxeles <b>Velocidad de fotogramas:</b> 30 FPS <b>Tipo de sensor:</b> CMOS <b>Tipo de conector:</b> USB 2.0 <b>Rotación:</b> 170° <b>Interfaz:</b> USB2.0 + Cable de Audio 3.5mm <b>Longitud del cable USB:</b> 150 cm + 3.5mm <b>Compatible:</b> Windows 2000/XP/Win7/Win8/Win10 / Vista 32bit / MAC
Webcam 480P Solución B		<b>Resolución:</b> 640×480 píxeles <b>Velocidad de fotogramas:</b> 25 FPS <b>Tipo de sensor y conector:</b> CMOS/ USB <b>Compatible con:</b> S.O. basados en Windows y Linux <b>Longitud del cable:</b> 1,5 metros

*Nota.* En la tabla, se observan las características que poseen las dos cámaras como alternativas de solución. Tomado de (MEDIAPRICE, 2020) (discoazul, 2020).

En la Tabla 48 se muestra la ponderación de los criterios de valoración.

**Tabla 48**

*Ponderación de criterios de evaluación para la cámara*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Resolución</b>	<b>Tipo de sensor</b>	<b>Compatibilidad</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Costo	-	0.5	0.5	0.5	2.5	0.23
Precisión	0.5	-	0.5	1	3	0.27
Velocidad	0.5	0.5	-	1	3	0.27
Implementación	0.5	0.5	0.5	-	2.5	0.23
Suma					11	1

*Nota.* Se observan los criterios que serán evaluados para la selección de la mejor alternativa en cuanto a la cámara para el equipo portátil de soldadura.

A continuación, se realiza el análisis y evaluación de los criterios propuestos acorde a sus ponderaciones a evaluar en las tablas 49 a la 52 para seleccionar la solución que cumpla con los parámetros de diseño que el usuario requiere.

**Tabla 49**

*Ponderación del costo para la selección de la cámara*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* Evaluación de las alternativas, siendo la primera la mejor.

**Tabla 50**

*Ponderación de la resolución para la selección de la cámara*

<b>Resolución</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* La tabla muestra que mejor resolución tiene la cámara A.

**Tabla 51**

*Ponderación del tipo de sensor para la selección de la cámara*

<b>Velocidad</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.57
Solución B	0.5	-	1.5	0.43
Suma			3.5	1

*Nota.* La tabla indica que la mejor alternativa en cuanto a velocidad es la cámara A.

**Tabla 52**

*Conclusión en la selección del servomotor*

<b>Conclusión</b>	<b>Costo</b>	<b>Resolución</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Implementación</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Prioridad</b>
Solución A	0.67(0.23)	0.67(0.27)	0.57(0.27)	0.50(0.23)	64.30%	1
Solución B	0.33(0.23)	0.33(0.27)	0.43(0.27)	0.50(0.23)	35.70%	2
Total					100%	1

*Nota.* Se observa el resultado para ambas soluciones, de la cual se escoge la solución A con prioridad 1 que cumple con los criterios planteados.

### 3.11 Subsistema de alimentación

En las secciones anteriores se han determinado los elementos electrónicos y el tipo de material que cumplen con los requerimientos del diseño del equipo, sin embargo, es necesario utilizar una fuente de AC/DC que para proporcionar los voltajes necesarios para asegurar un correcto funcionamiento de los elementos del equipo.

#### 3.11.1 Selección de la fuente de alimentación

**Tabla 53**

*Corriente consumida por los elementos del equipo*

Características	Cantidad	Corrientes
Motor CIM (217 - 2000)	2	10.8A
Arduino Due	1	75mA
Raspberry PI 3	1	2.5A
Servomotor MG996R	2	2A
Pantalla LCD 20 x 4	1	125mA
<b>Corriente Total</b>		15,5A

*Nota.* La tabla muestra el consumo de corriente de los equipos que conformarán el equipo portátil de soldadura.

El consumo total de corriente es de 15.5A, se procede a calcular el valor de la potencia consumida dada por la ecuación 1.

Ecuación 1 Potencia total del sistema

$$P_{m\acute{a}x} = V_{m\acute{a}x} * I = 12v * 15.5A = 186W$$

Como se observa el voltaje máximo de consumo de los elementos analizados está entre 0 – 12Vcc y la potencia máxima obtenida es de 186W.

Para la selección de la fuente de alimentación se utilizó los siguientes criterios:

- Resistividad contra polvo (mínimo IP61)
- Voltaje de salida 12Vcc

- Corriente mayor a 15A
- Potencia máxima (mayor a 180W)

### 3.11.2 Alternativas de diseño

#### Fuente de alimentación de 12Vcc/360W/30 A

Este elemento permite una entrada de 110Vac y a su salida se obtiene un voltaje de 12 Vic, resistividad alta contra polvo, con buenas características de potencia máxima y corriente de consumo, diseñada para elementos eléctricos, electrónicos, DVR, módulos y tarjetas de desarrollo Arduino, Router, decodificadores y una gran diversidad de proyectos que requieran una fuente de alimentación cuyo voltaje de salida sea de 12V. Contiene un filtro EMI, para la reducción de ruido con una carcasa de muy alta resistividad, con pruebas de cortocircuito a plena carga del 100%, se puede utilizar de modo paralelo/redundancia. (GrupoVelasco, 2020)


#### Fuente conmutada de 12Vcc/240W/20 A

Este elemento permite una entrada de 110Vac y a su salida se obtiene un voltaje de 12 Vcc, resistividad media contra polvo, con buenas características de potencia máxima y corriente de consumo, diseñada para dispositivos eléctricos, electrónicos, cámaras de seguridad, entre otras.

### 3.11.3 Evaluación y selección de alternativas

Tabla 54

Alternativas de selección para el servomotor

Solución	Imagen	Características
Fuente 12Vcc/360W/30A Solución A		<b>Voltaje de Salida:</b> 12Vcc <b>Corrientes:</b> 30A <b>Potencia máxima:</b> 360W <b>Reducción de ruido:</b> Si <b>Protección:</b> IP61

Fuente 12Vcc/240W/20A Solución B		<b>Voltaje de Salida:</b> 12Vcc
		<b>Corrientes:</b> 20A
		<b>Potencia máxima:</b> 240W
		<b>Reducción de ruido:</b> Si
		<b>Protección:</b> IP60

*Nota.* La tabla muestra las características que poseerán las dos fuentes a compararse para ver cuál es la más adecuada en el equipo portátil de soldadura. Tomado de (GrupoVelasco, 2020)

En la Tabla 55 se muestra la ponderación de los criterios de valoración.

**Tabla 55**

*Ponderación de criterios de evaluación para la selección de la fuente de alimentación*

Criterio	Voltaje	Corriente	Potencia	Protección	$\Sigma+1$	Total
Voltaje	-	1	1	1	4	0.25
Corriente	1	-	1	1	4	0.25
Potencia	1	1	-	1	4	0.25
Protección	1	1	1	-	4	0.25
Suma					16	1

*Nota.* En la tabla se aprecian los criterios a evaluarse para la selección de la fuente de alimentación.

A continuación, se realiza el análisis y evaluación de los criterios propuestos según sus ponderaciones como se observan en las tablas 56 a la 60 para seleccionar la solución que cumpla con los parámetros de diseño que el usuario requiere.

**Tabla 56**

*Ponderación del voltaje para la selección de la fuente de alimentación*

Voltaje	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Total
Solución A	-	0.5	1.5	0.50
Solución B	0.5	-	1.5	0.50
Suma			3	1

*Nota.* Se compara los valores de voltaje de las dos fuentes, teniendo como resultado la misma capacidad.

**Tabla 57**

*Ponderación de la corriente para la selección de la fuente de alimentación*

<b>Resolución</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* La tabla muestra que la mejor alternativa en cuanto a la resolución la mejor es la primera con un valor de 67%.

**Tabla 58**

*Ponderación de la potencia para la fuente de alimentación*

<b>Velocidad</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.57
Solución B	0.5	-	1.5	0.43
Suma			3.5	1

*Nota.* Se observa que el parámetro de velocidad es mejor en la solución A.

**Tabla 59**

*Ponderación de la protección para la fuente de alimentación*

<b>Implementación</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Total</b>
Solución A	-	1	2	0.67
Solución B	0	-	1	0.33
Suma			3	1

*Nota.* En la tabla, se observa que la mejor alternativa para implementar en el equipo portátil de soldadura es la solución A con un porcentaje del 67%.



**Tabla 60**

*Conclusión en la selección de la fuente de alimentación*

<b>Conclusión</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>	<b>Potencia</b>	<b>Protección</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Prioridad</b>
Solución A	0.50(0.25)	0.67(0.25)	0.57(0.25)	0.67(0.25)	60%	1
Solución B	0.50(0.25)	0.33(0.25)	0.43(0.25)	0.33(0.25)	40%	2
Total					100%	1

*Nota.* En la tabla, se observa el resultado para ambas soluciones, de la cual se escoge la solución A, con prioridad 1 que cumple con los criterios planteados.

#### **3.11.4 Conclusiones del listado de métricas**

El diseño se debe realizar en base a los requerimientos que necesita el equipo, para obtener los mejores resultados, para alcanzar excelentes resultados de velocidad de avance, desplazamiento autónomo, visión artificial pre y post soldadura, entre otras. En la Tabla 61 se muestra el listado de métricas que se utilizará en el desarrollo del equipo.

**Tabla 61**

*Listado de métricas*

<b>Características</b>	<b>Elementos</b>
Tipo de Material	ASTM A 36
Tipo de motor	CIM (217 - 2000)
Tarjeta de control	Arduino Due
Tarjeta para visión artificial	Raspberry 3PI
Tipo de cámara	Web Pc HD 720P
Tipo de pantalla	LCD 20x4 HD44780
Tipo de servomotor	MG996R
Fuente de alimentación	DC/DC12 V 360W 30A

*Nota.* En la tabla, se observan los componentes electrónicos que se emplearán en la construcción del equipo portátil de soldadura.

### 3.12 Selección de motores

La velocidad de avance con que se realiza la soldadura en materiales de acero ACTM A36 debe ser una velocidad baja para el de mayor espesor y una velocidad alta para el de menor espesor según la siguiente figura x, por lo que necesitamos motores de alta precisión con un rango de velocidad mínima de 0,25 m/min y como máximo 0,5 m/min, con un diámetro de alambre de soldadura de 0,9 mm en un rango de trabajo de 3 a 6 mm.

**Figura 4**

*Regulación del sistema MIG*

Espesor en mm	Ø Electrodo en mm	Amperajes en CC	Voltaje en CC	Velocidad avance m/min.	Gas lts/min.
0,77	0,8	35- 60	16-17,5	0,50	7- 9
0,92	0,8	40- 70	17-18	0,70	8- 9
1,25	0,9	70- 90	18-19	0,50-0,70	8- 9
2,1	0,9	120-130	20-21	40-0,50	9-12
3,17	1,2	120-180	20-23	0,37-0,50	9-13
4,76	1,2	190-200	21-22	0,60-0,70	12-14
6,25	1,2	160-180	22,5-23	0,35-0,45	12-14
7,93	1,2	200-210	23-23,5	0,30-0,50	12-14
9,5	1,2	220-250	24-25	0,30-0,40	12-14
12,5	1,2	280	28-29	0,35	12-14
19	1,6	300	32	0,25	14-16

*Nota.* La figura muestra los valores de regulación de la soldadura MIG para obtener un proceso adecuado. Tomado de (INDURA, 2013)

Para el desarrollo del equipo, se utilizaron 2 motores del tipo CIM (217-2000), el mismo presenta 3 etapas de reducción (cajas reductoras planetarias), de 5:1, 10:1, 10:1.

$$w = \frac{5800}{5 * 10 * 10} = \frac{5800}{500} = 11,6 \text{ RPM como velocidad máxima}$$

En cuanto a la velocidad lineal de los motores, se define que las llantas tienen un radio de 4,975 cm y usa la siguiente fórmula.

$$v = 2 * \pi * r * w = 2 * \pi * 4,975 \text{ cm} * 11,6 \text{ RPM} = 362,6 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$$

Para pasar a cm/s:

$$v = 362,6 \frac{cm}{min} * \frac{1 min}{60 seg} = 6,04 \frac{cm}{seg}$$

Aproximadamente, la velocidad lineal máxima es de 6,04 cm/seg

Por otra parte, para determinar la distancia total recorrida, sabiendo los pulsos recorridos en el encoder, podemos determinar un ángulo de giro en la llanta, y mediante la fórmula de longitud de un arco, determinar la distancia lineal recorrida. La fórmula es:

$$d = 2 * \pi * r * \frac{pulsos}{1024} * \frac{1}{10 * 10} = \frac{\pi * r * pulsos}{51150}$$

### 3.12.1 Requerimientos de ejecución de soldadura

Se realizó un tipo de soldadura a tope donde se realiza una penetración completa entre las placas con espesores de 3mm a 6mm con separación de 1 y 2mm respectivamente como se muestra en la siguiente figura 5.

Figura 5

Unión de fuerzas con soldeo por arco

UNIONES DE FUERZA CON SOLDEO POR ARCO A TOPE													
TIPO DE PREPARACION	NOTACION	AMBITO DE USO		RECOMENDACIONES PARA SU EJECUCION									
		Posición de soldeo figura 10	Espesor de la chapa mm	Electrodos (N normal) (G de gran penetración)	Separación g en mm			Talón t mm	Radio r mm	Angulos			
I. AMBAS CARAS ACCESIBLES. Se suelda por ambas caras al menos con un cordón de toma de raíz													
Bordes escuadrados		H	4-5	N Ø 3,2	0	1	2,5	---	---	---	---	---	---
			>5-6,5	N Ø 3,2-4	1,5	2	3						
			6,5-10	G Ø 3,2 a 5	0	1	2						
			C, V	4-5	N Ø 3,2	1,5	2						

Nota. La figura muestra la separación entre placas en soldadura a tope. Tomado de (INDURA, 2013)

El alambre 70S-6 está compuesto de varios componentes químicos como se muestra en la figura 5, donde los principales desoxidantes son el silicio y manganeso, lo que le permite trabajar con casi todos los aceros hasta placas de ½ pulgada. Actúa con mezclas de gases de Argón al 75% y CO2 al 25% y con un caudal de 8 a 12 litros / minutos.

Figura 6

*Composición química del alambre R70S-6*

Composición química (típica) del alambre:				
C 0,08%; Mn 1,44%; Si 0,86%; P 0,012%; S 0,014%; Cr 0,02%; Ni 0,04%; Mo 0,003%; V 0,005%; Cu 0,20%				
Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.18/A5.18M-05):				
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos	
Resistencia a la tracción : 530 MPa	480 MPa	103J a -30°C	27J a -30°C	
Límite de fluencia : 415 MPa	400 MPa			
Alargamiento en 50 mm : 31%	22%			
Amperajes recomendados:				
Diámetro mm	Voltaje, volt	Amperaje		Flujo CO <sub>2</sub> lts. / min.
		mín.	máx.	
0,8	14-26	60	160	7-12
0,9	15-27	90	230	8-12
1,2	17-30	130	340	12-14
*1,6	26-36	290	400	14-16

*Nota.* La figura muestra las características del alambre 70-S6. Tomado de (INDURA, 2013)

El gas de protección de la soldadura MIG por cortocircuito suministra condiciones favorables de protección del factor externo aire, debido a que causa oxidación en el metal. El argón es un principal componente de la soldadura MIG ya que no se oxida y evita daños en el cordón de soldadura.

La antorcha requerida para el alambre 70S-6 usó una boquilla con las siguientes características:

- Diámetro de la boquilla de gas de la antorcha MIG: 0.472 in/0.709 in, longitud: 2.087 in
- Diámetro de la punta de la linterna: M6 x0.031x0.236 in. Longitud: 0.984 in
- Diámetro de los soportes de punta: M6/M8. Longitud: 1.654 in

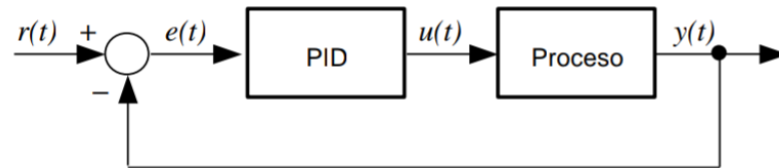
La velocidad de avance con que se realiza la soldadura en materiales de acero ACTM A36 debe ser una velocidad baja para el de mayor espesor y una velocidad alta para el de menor espesor según la figura 4. Por lo que se requiere motores de alta precisión con un rango de velocidad mínima de 0,25 m/min y como máximo 0,5 m/min, con un diámetro de alambre de soldadura de 0,9 mm en un rango de trabajo de 3 a 6mm.

### 3.12.2 Control PID de motores

El control PID consiste en un mecanismo que permite calcular de forma simultánea la desviación o error entre un valor medio y un valor esperado. Para el control PID, se define que está diseñado en Arduino sin librerías externas, y tiene la siguiente forma:

**Figura 7**

*Diagrama de flujo del proceso de un control PID*



*Nota.* En la figura se observa el diagrama de control de laso cerrado que será necesario para el equipo portátil de soldadura. Tomado de FRLR (2020).

$$CV = Kp * e(t) + Ki \int e(t) dt + Kd \frac{de(t)}{dt}$$

$$CV = 0,12 * e(t) + 0,20 \int e(t)dt + 0 \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

e(t) es el error

$$e(t) = SP - PV$$

SP = Set Point

PV = Process Value

CV = Control Value

dt = es la diferencial de tiempo, o tasa de muestreo que es igual a 100 ms

La velocidad (PV) se mide mediante un encoder de 1024 pulsos por revolución, conectado a la etapa posterior de la caja de reducción de 5:1, y antes de las etapas de 10:1, para mejorar la precisión de lectura. Por tanto, la velocidad máxima a controlar en el PID es de:

$$w = \frac{5800}{5} = 1160 \text{ RPM como velocidad máxima en el PID}$$

### 3.12.3 Cálculo del Set Point en RPM, a partir de la velocidad lineal en cm/s.

Usando las fórmulas de velocidad lineal antes mencionadas, tenemos:

$$v = 2 * \pi * r * \frac{w}{60}$$

Despejamos w, que ya se encuentra en RPM y sería la velocidad angular en el eje final.

$$w = \frac{v * 60}{2 * \pi * r}$$

A esto hay que considerar que el control se está haciendo con la medición del encoder en la primera reducción, por tanto, hay que multiplicar por las reducciones restantes de 10.

$$w = \frac{v * 60}{2 * \pi * r} * 10 * 10 = \frac{6000 * v}{2 * \pi * r} = \frac{3000 * v}{\pi * r}$$

### 3.12.4 Requerimientos para el brazo oscilador

Este servomotor va ejecutar la oscilación del brazo que soporta la pistola de suelda, para realizar la soldadura en placas a tope se considera una separación mínima de 1mm como se muestra en la fig. X. y con grado de oscilación máximo de 1°

Considerando que la pistola de suelda tiene una fuerza máxima de 2 Kgf, y una distancia máxima desde la punta de suelda al centro del brazo de 30 cm, se obtiene el torque siguiente:

$$\tau = F * d = 2 \text{ Kgf} * 30 \text{ cm} = 60 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

### 3.12.5 Resolución angular

Con la ecuación del arco de circunferencia, conociendo el radio (30 cm), se obtiene la resolución mínima angular que el brazo debe cumplir, con la siguiente formula:

$$L_{arco} = \frac{2 * \pi * R}{360^\circ} * n^\circ$$

Despejamos la resolución angular

$$n^\circ = \frac{L_{arco} * 360^\circ}{2 * \pi * R} = \frac{1\text{mm} * 360^\circ}{2 * \pi * 300\text{mm}} = 0,19^\circ \cong 0,2^\circ$$

### 3.13 Diseño del servomotor

Ya que no se dispone de un servomotor comercial que cumpla los requerimientos de precisión angular y torque requerido, se diseña el servomotor a partir de un motor de corriente continua con caja reductora, un encoder, y una etapa extra de reducción, para cumplir lo requerido. El motor elegido se muestra a continuación.

**Figura 8**

*Servomotor*



*Nota.* Se observa el servomotor seleccionado mediante los cálculos realizados.

#### 3.13.1 Torque

Considerando el torque máximo del motor seleccionado y la caja reductora adicional, el torque máximo es:

$$\tau_{max} = (21 \text{ Kgf} * \text{cm}) * 53,625 = 1126,125 \text{ Kgf} * \text{cmm}$$

Con lo cual se cumple el torque requerido.

#### 3.13.2 Precisión angular

Para obtener la resolución máxima que se puede obtener en el eje final, se multiplica el número de pulsos del encoder por todas las etapas de reducción, por tanto:

$$\text{Resolución}_{max} = \frac{48 \text{ CPR}}{4} = 98,78 * 56,625 = 63564,93 \text{ pulsos} * \text{revolución}$$

Para obtener la resolución por grado, basta dividir los 360° por el número de pulsos.

$$n^{\circ} = \frac{360^{\circ}}{63564,93} \cong 0,005^{\circ}$$

Con lo cual, la resolución máxima es cuarenta veces mayor a la mínima requerida.

### 3.13.3 Grados de oscilación del servomotor

Como la oscilación debe ser simétrica respecto al punto de contacto, se ha tomado como referencia el centro para  $0^\circ$ , y como máximo ángulo de oscilación  $90^\circ$  (en ambos sentidos respecto al centro del servomotor).

### 3.13.4 Velocidad de oscilación del servomotor

De acuerdo a la hoja de datos, la velocidad nominal es 100 RPM, lo cual hay que dividir por la relación de la caja reductora adicional, lo cual nos servirá como referencia para la velocidad máxima a la que puede oscilar la pistola. Convertimos a la unidad requerida ( $^\circ/\text{seg}$ ):

$$v_{osc\_max} = \frac{100RPM}{53,625} = 1,865 \text{ RPM} = \frac{1,865 * 360^\circ}{60s} \cong 11,2^\circ/\text{seg}$$

Como este tipo de servo es analógico, no dispone de control de velocidad interno, por tanto, el Arduino es quien debe hacer dicho control, modificando  $\theta$  grados, cada tiempo, de acuerdo a la velocidad deseada.

$$\theta = v_{osc} * t_s$$

Donde:

$\theta$  es el ángulo que el Arduino debe modificar cada  $t_s$  tiempo

$v_{osc}$  es la velocidad de oscilación deseada

$t_s$  es la tasa de actualización del ángulo enviado al servomotor

Por tanto:

$$t_s = \frac{\theta}{v_{osc}}$$

Asumiendo una resolución de ángulo de  $0.25^\circ$  y convirtiendo a milisegundos.

$$t_s[\text{ms}] = \frac{0,25}{v_{osc}} * 1000 \approx \frac{250}{v_{osc}}$$



### 3.14 Análisis y simulación CAE

Para el desarrollo del prototipo se tomó como referencia todo el largo de los dos motores, se dejó un espacio de reserva para que los cables crucen y así se determinó el ancho del equipo. Para el largo y alto se toma en cuenta los demás elementos electrónicos que se van a emplear en la construcción.

#### 3.14.1 Análisis de la base

##### Cálculo de inercia y área

A continuación, se determinará el área y la inercia de la placa que soporta todos los componentes mecánicos y eléctricos, con la finalidad de verificar el dimensionamiento correcto de la misma.

##### Cálculo del área

Mediante la siguiente ecuación, se determinará el área de la placa.

$$A = a * b$$

$$A = (2 \text{ mm}) * (490 \text{ mm})$$

$$A = 980 \text{ mm}^2$$

Donde:

a = Lado externo, (mm)

b = Lado interno, (mm)

A = Área placa, ( $\text{mm}^2$ )

##### Cálculo de inercia

Haciendo uso de la siguiente ecuación, se procederá a calcular la inercia de la placa con la finalidad de determinar la máxima carga que pueda soportar y así verificar su correcto dimensionamiento.

$$I_x = \frac{1}{12} * ab^3$$

Donde:

$I_{placa}$  = Inercia, ( $m^4$ )

a = Lado externo, (m)

b = Lado interno, (m)

$$I_x = \frac{1}{12} * (0.5 \text{ m}) * (2 \times 10^{-3} \text{ m})^3$$

$$I_x = 3.33 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} * a^3 b$$

$$I_y = \frac{1}{12} * (0.5 \text{ m})^3 * (2 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$I_y = 2.08 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{placa} = \frac{1}{12} * ab * (a^2 + b^2)$$

$$I_{placa} = \frac{1}{12} * (0.5 \text{ m}) * (2 \times 10^{-3} \text{ m}) * ((0.5 \text{ m})^2 + (2 \times 10^{-3} \text{ m})^2)$$

$$I_{placa} = 2.083 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

### Cálculo de tensión normal

A continuación, se calculará la tensión normal, haciendo uso de la siguiente ecuación.

Además, se empleará el Anexo I, para determinar el límite de fluencia del material seleccionado que en este caso es el A36.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$\sigma$  = Límite de fluencia, (MPa).

P = Tensión normal, (N).

A = Área, ( $mm^2$ )

$$P = A * \sigma$$

$$P = (980 \text{ mm}^2) * (250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})$$

$$P = 245000 \text{ N}$$

### Cálculo de pandeo – carga crítica

Para el cálculo de pandeo se utilizará la siguiente ecuación, teniendo como finalidad la determinación de la carga crítica en la placa que soporta a los componentes eléctricos y mecánicos.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2}$$

Donde:

$P_{cr}$  = Carga crítica, (N).

E = Módulo de elasticidad, ( $\frac{N}{m^2}$ ). Se observa en el Anexo I

I = Inercia,  $m^4$

L = Longitud, (mm).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * (200 \times 10^9 \frac{N}{m^2}) * (3.33 \times 10^{-10} m^4)}{(0.49 m)^2}$$

$$P_{cr} = 2737.67 N$$

De acuerdo al cálculo realizado, se determina que la carga crítica es de 2737,67 N. esto quiere decir que al momento de aplicar dicha fuerza la placa llegaría a sobrepasar el nivel de elasticidad llegando al de plasticidad del material.

### Cálculo del esfuerzo unitario

Se calculará el esfuerzo unitario, haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$\sigma_{unitario} = \frac{F_w}{A}$$

$\sigma_{unitario}$  = Esfuerzo unitario, ( $\frac{N}{m^2}$ )

$F_w$  = Fuerza, (N).

A = Área, ( $m^2$ )

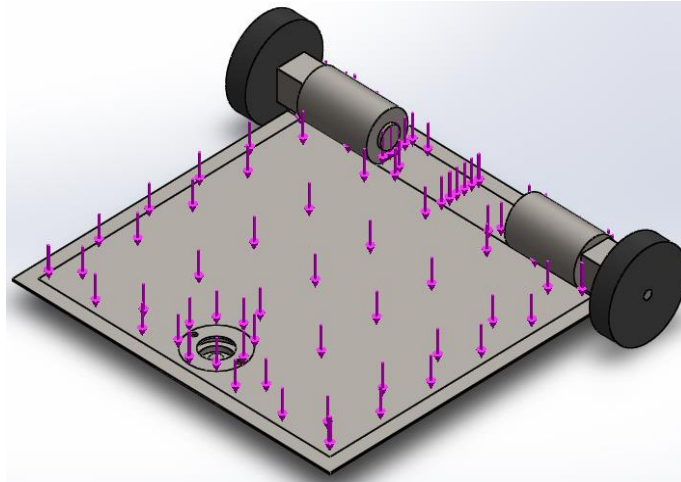
$$\sigma_{unitario} = \frac{136.3 N}{1 \times 10^{-3} m^2}$$

$$\sigma_{unitario} = 136300 \frac{N}{m^2}$$

Para simular la base en el software CAE se aplicó una fuerza de 136.3 N, debido al peso total de componentes que soportará la misma.

### Figura 9

*Colocación de parámetros de frontera a la base*



*Nota.* En la figura, se observan las fuerzas que actúan sobre la base ya que es la encargada de soportar todos los componentes eléctricos y mecánicos.

### Cálculo de deformación unitaria

Mediante el esfuerzo unitario, se calculará la deformación unitaria que se produce en la placa que soporta a los componentes eléctricos y mecánicos, por lo que se utilizará la siguiente ecuación.

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{unitario}}{E}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Deformación unitaria, (adimensional).

$\sigma_{unitario}$  = Esfuerzo unitario, ( $\frac{N}{m^2}$ )

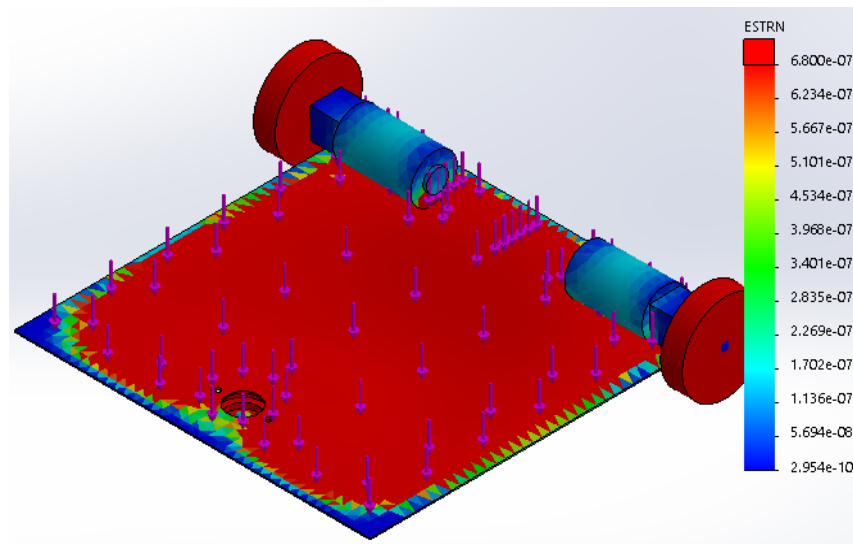
E = Módulo de elasticidad, ( $\frac{N}{m^2}$ ). Se observa en el Anexo I

$$\varepsilon = \frac{136300 \frac{N}{m^2}}{(200 \times 10^9) \frac{N}{m^2}}$$

$$\varepsilon = 6.815 \times 10^{-7}$$

**Figura 10**

*Cálculo de deformación*



*Nota.* En la figura se observa los rangos de deformación unitaria que se producen en la base al instante de estar colocados los componentes eléctricos y mecánicos teniendo un valor de  $6.815 \times 10^{-7}$ .

### **Cálculo de deformación total**

A continuación, se determinará la deformación total que se produce en la placa, haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$\delta = L * \varepsilon$$

Donde:

$\delta$  = Deformación total, (mm).

L = Longitud, (mm).

$\varepsilon$  = Deformación unitaria, (adimensional).

$$\delta = (490 \text{ mm}) * 6.815 \times 10^{-7}$$

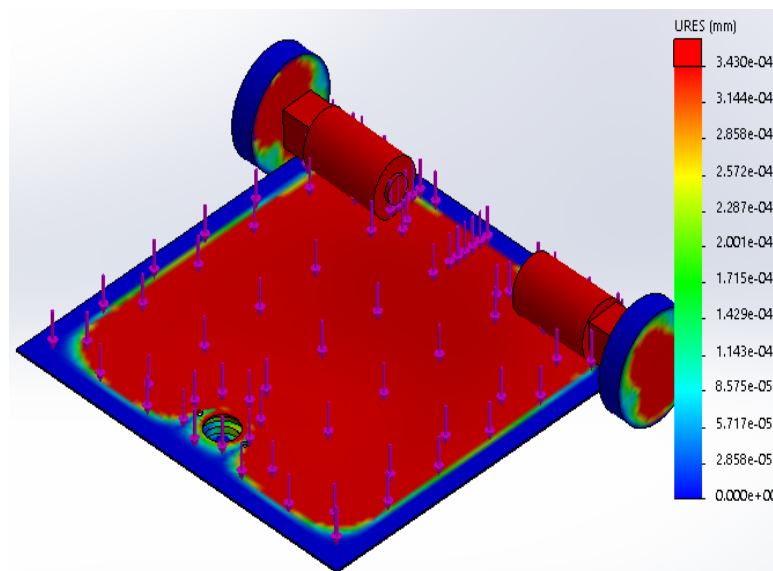
$$\delta = 3.33 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

Se determinó la deformación total en la placa, la cual es de  $3.33 \times 10^{-4} \text{ mm}$  al aplicar una fuerza de 136,3 N, misma que es el peso total de los componentes eléctricos y mecánicos.

En la figura 9, se observa que el valor de desplazamiento de la placa con todos los componentes eléctricos y mecánicos es de  $3.43 \times 10^{-4} \text{ mm}$ .

**Figura 11**

*Desplazamiento de placa*

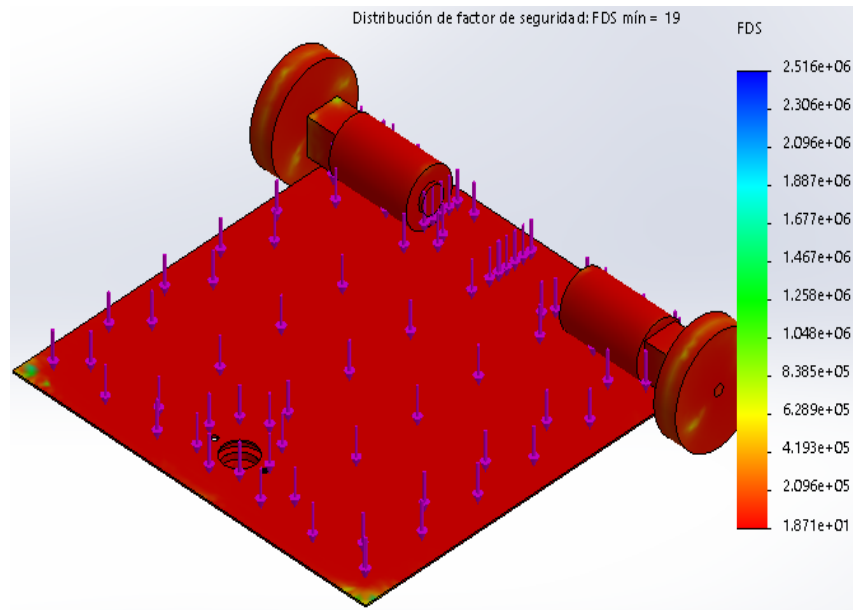


*Nota.* La figura, muestra la deformación máxima y mínima de la base.

### **Análisis del factor de seguridad**

**Figura 12**

*Factor de seguridad*



*Nota.* En la figura se observa el factor de seguridad de la placa base.

### 3.14.2 Cálculo y selección de llanta

A continuación, mediante la siguiente ecuación se realizó el cálculo del diámetro mínimo que debe poseer la rueda en el instante de trabajo, teniendo como parámetros de frontera, a los motores con una velocidad angular de 1,21 rad/s, y una lineal de 60,4 mm/s.

$$V = \omega * r$$

Donde:

V = Velocidad lineal, (m/s).

$\omega$  = Velocidad angular, [rad/s].

r = Radio de la llanta.

Reemplazando los valores en la ecuación anterior, se obtiene el siguiente resultado.

$$r = \frac{V}{\omega}$$

$$r = \frac{60,4 \text{ mm/s}}{1,21 \text{ rad/s}}$$

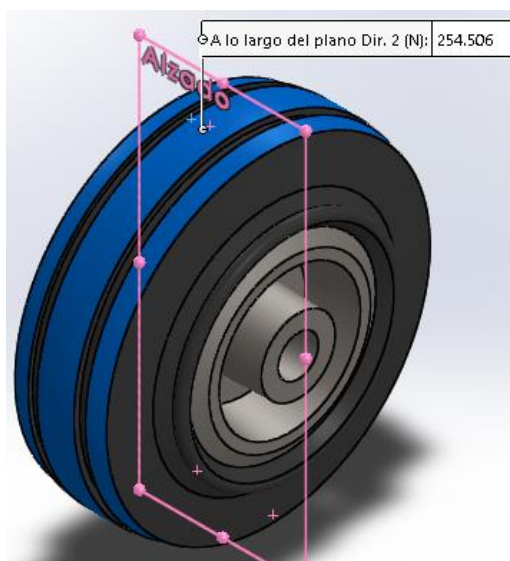
$$r = 49,92 \text{ mm}$$

Como resultado, se obtuvo que se necesita un radio de 49,92 mm para poder soldar a una velocidad lineal de 40,4 mm/s. Por lo que se llegó a seleccionar una rueda 100 EGR4, la cual se observa en el Anexo.

Para comprobar si la llanta seleccionada es correcta para la máquina, se procedió a colocar el parámetro de frontera con una carga normal de 25,97 Kg y una fuerza de 254,506N.

**Figura 13**

*Teoría de fallas – parámetros de frontera*



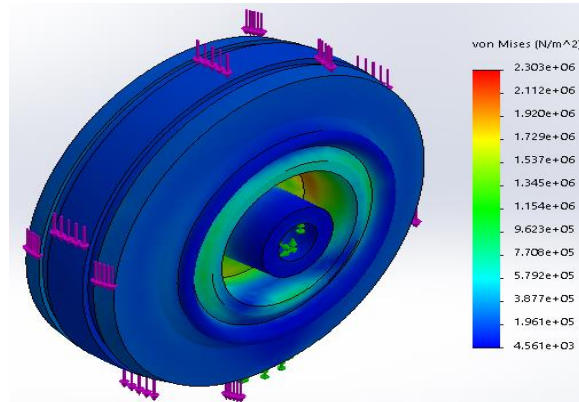
*Nota.* La figura muestra los parámetros de frontera a los cuales estará expuesta la llanta en el instante de realizar el trabajo.

En la figura 13, se observa que la teoría de fallas en cuanto a Von Mises posee un valor de  $3,877 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ , que está dentro del rango crítico de  $2,303 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ .



**Figura 14**

*Cálculo de Von Mises – teoría de fallas*

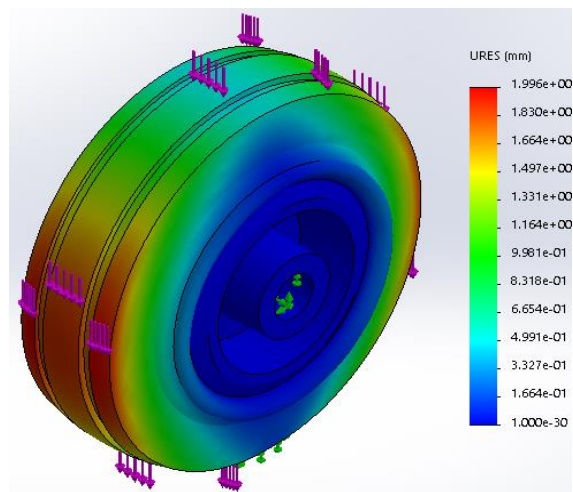


*Nota.* Se observa el análisis CAE realizado a la llanta, determinando el valor de Von Mises.

En la figura 14, mediante la teoría de fallas se calculó el valor de desplazamiento en la llanta, teniendo un valor crítico de 1,99 mm.

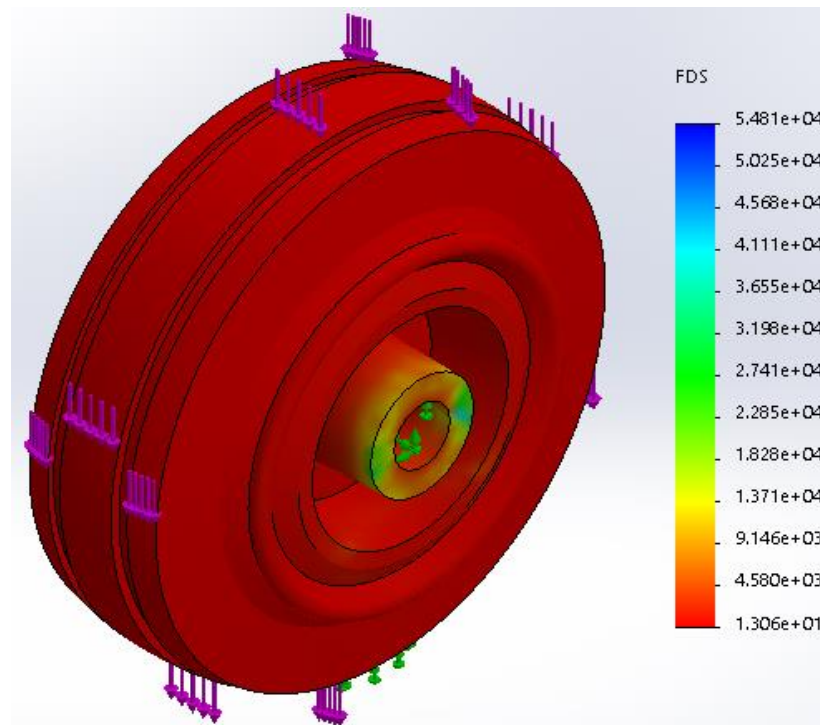
**Figura 15**

*Factor de seguridad en la llanta*



*Nota.* La figura muestra el comportamiento de desplazamiento de la llanta.

La figura 15, indica que el factor de seguridad tiene un valor de 13, lo que significa que la llanta seleccionada para el equipo portátil de soldadura es adecuada para el trabajo a realizar.

**Figura 16***Factor de seguridad*

*Nota.* En la figura, se observa el factor de seguridad de la llanta.

En el apartado anterior, se observa el análisis de fallas mediante una simulación CAE, teniendo como resultado final un factor de seguridad de 13, lo que significa que dicha llanta seleccionada es la correcta para soportar los componentes eléctricos y mecánicos de dicha máquina en el instante de trabajo, según la recomendación del libro de Diseño de Elementos de Máquinas de Robert Mott (2006), el cual recomienda utilizar un factor de seguridad superior a 4, para elementos estructurales sometidos bajo cargas estáticas y dinámicas para diferentes materiales dúctiles.

### 3.14.3 Análisis del brazo

#### Cálculo de pernos de sujeción

Se debe tener en cuenta que el equipo automático portátil para soldadura, consta de sujetadores que en este caso son pernos, los cuales son los encargados de unir distintas piezas de dicha máquina. Por lo que se procederán a realizar diversos cálculos hasta determinar si están correctamente seleccionados.

Haciendo uso de la siguiente fórmula, se terminará la longitud total que debe poseer el perno para realizar la respectiva junta entre piezas.

$$L_T = 2d + 6 \text{ mm}$$

Donde:

$L_T$  = Longitud total, (mm)

$d$  = Diámetro del perno, (mm)

$$L_T = (2) * (8 \text{ mm}) + 6 \text{ mm}$$

$$\mathbf{L_T = 22 \text{ mm}}$$

#### Área del perno de sujeción

Debido a que los pernos seleccionados para dicha máquina son M8x1.25, se procederá a realizar el cálculo del área, con la siguiente fórmula.

$$A_d = \pi * \frac{d^2}{4}$$

$$A_d = \pi * \frac{(8 \text{ mm})^2}{4}$$

$$\mathbf{A_d = 50.26 \text{ mm}^2}$$

#### Rigidez del sujetador

A continuación, se calculará la rigidez del perno M8x1.25, haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$k_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_t * l_d}$$

Donde:

$A_d$  = Área de la parte sin roscar, ( $mm^2$ )

$A_t$  = Área de la parte roscada, ( $mm^2$ ). Se lo observa en el Anexo II.

E = Módulo de elasticidad, (GPa). Se lo observa en el Anexo III.

$l_t$  = Longitud de la parte roscada, (mm).

$l_d$  = Longitud de la parte útil sin rosca, (mm).

$$k_b = \frac{(50.26 \text{ mm}^2) * (32.8 \text{ mm}^2) * (207000 \frac{N}{\text{mm}^2})}{(50.26 \text{ mm}^2) * (22 \text{ mm}) + (32.8 \text{ mm}^2) * (0 \text{ mm})}$$

$$k_b = \frac{341245296 \text{ Nmm}^2}{1105.72 \text{ mm}^3}$$

$$k_b = 308618.18 \frac{N}{\text{mm}}$$

Sin embargo, para determinar la rigidez del sujetador corto cuando no posee parte lisa, se puede hacer uso de la siguiente ecuación.

$$k_t = \frac{A_t * E}{l_t}$$

$$k_t = \frac{(32.8 \text{ mm}^2) * (207000 \frac{N}{\text{mm}^2})}{22 \text{ mm}}$$

$$k_t = 308618.18 \frac{N}{\text{mm}}$$

### Cálculo del factor de carga

Mediante la siguiente fórmula se terminará la fuerza total que soporta un perno. También la fuerza de precarga teniendo en cuenta que es un perno totalmente roscado.

$$F_p = A_t * S_p$$

Donde:

$F_i$  = Fuerza de precarga, (N).

$F_p$  = Fuerza total, (N).

$A_t$  = Área de la parte roscada, ( $mm^2$ ). Se lo observa en el Anexo II.

$S_p$  = Límite de fluencia, (MPa). Se lo observa en el Anexo I.

$$F_p = (250 \text{ MPa}) * (32.8 \text{ mm}^2)$$

$$F_p = 8200 \text{ N}$$

$$F_i = 0.75F_p$$

$$F_i = 0.75 * 8200 \text{ N}$$

$$F_i = 6150 \text{ N}$$

Se determinó que la fuerza de precarga que soporta un perno M8x1,25 es de 6150 N.

### Cálculo del par de torsión

Mediante el uso de la siguiente ecuación, se determinará el par de torsión que ejerce el perno en el equipo automático portátil de suelda.

$$T = K * F_i * d$$

Donde:

T = Par de torsión, (Nm)

Fi = Precarga, (N).

d = Diámetro, (m)

K = Factor del par de torsión, (Adimensional). Se observa en el Anexo IV.

$$T = (0.3) * (6150 \text{ N}) * (8 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$T = 14.76 \text{ Nm}$$

El torque calculado es de 14,76 Nm con una fuerza de precarga de 6150 N.

### Cálculo de esfuerzo cortante

A continuación, mediante la siguiente fórmula se calculará el esfuerzo cortante, con la finalidad de saber hasta cuanto va a soportar el perno antes de entre en fallo.

$$\tau_{yx} = \frac{4F}{3A}$$

Donde:

$\tau_{yx}$  = Esfuerzo cortante,  $N/m^2$

F = Fuerza, (N).

A = Área, ( $m^2$ )

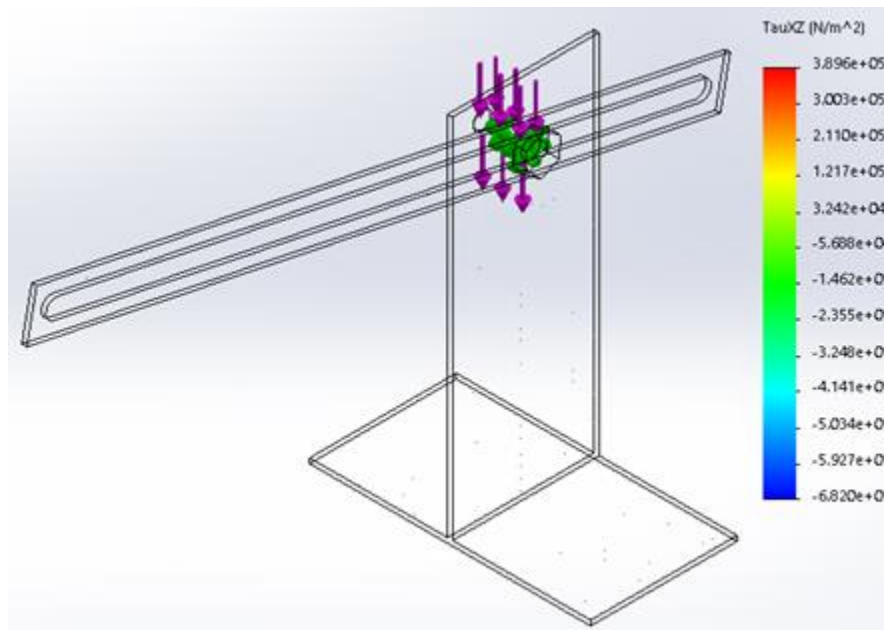
$$\tau_{yx} = \frac{4 * (9.33 \text{ N})}{3 * (5.026 \times 10^{-5} m^2)}$$

$$\tau_{yx} = 247512.93 \text{ N/m}^2$$

Se obtuvo un esfuerzo cortante en el perno de  $247512.93 \text{ N/m}^2$  a una fuerza de 9,33 N que es lo que va a soportar el mismo.

**Figura 17.**

*Perno sujetador*



*Nota.* En la imagen se muestra el esfuerzo cortante que se produce en el perno al instante de unir dos placas.

### Cálculo del factor de carga

Para determinar el factor de carga o lo que se le denomina factor de seguridad, se hará uso de la siguiente fórmula.

$$n = \frac{\sigma_p * A_t}{F_{aplicada}}$$

Donde:

$\sigma_p$  = Resistencia de a la fluencia, (MPa). Se observa en el Anexo V.

$F_{aplicada}$  = Fuerza aplicada, (N)

$A_t$  = Área de la parte roscada, ( $mm^2$ ). Se obtiene del Anexo II.

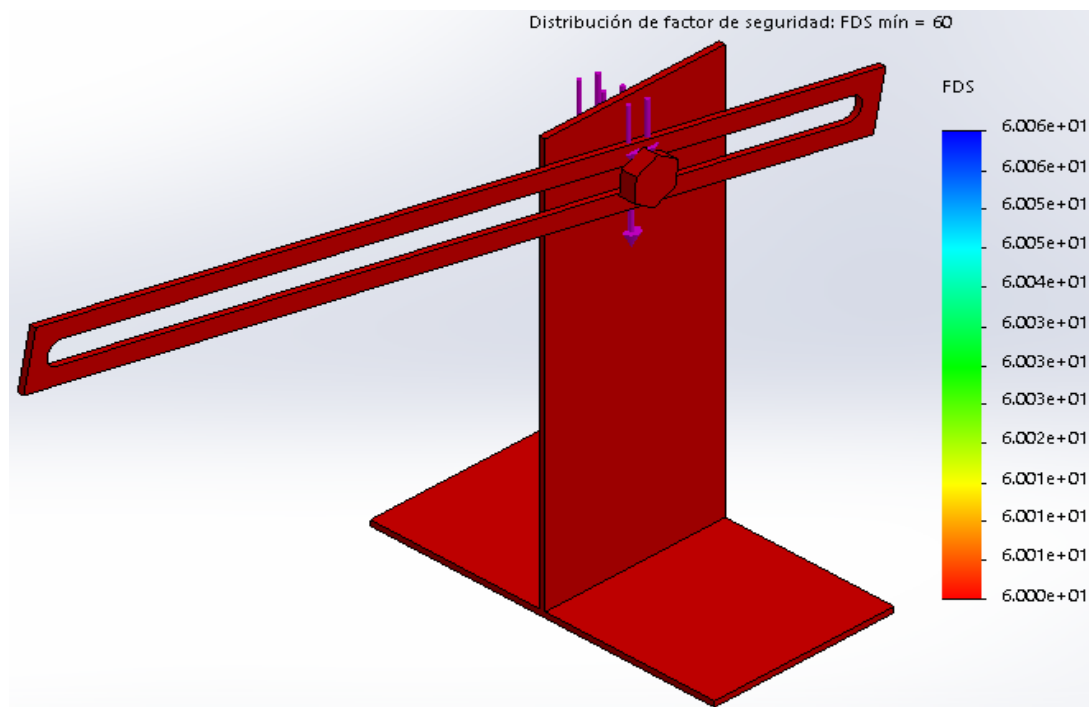
$n$  = Factor de seguridad, (adimensional).

$$n = \frac{(380 \text{ MPa}) * (32.8 \text{ mm}^2)}{(20 \text{ Kg}) * (9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$n = 63.59$$

**Figura 18**

*Factor de seguridad del perno*



*Nota.* Se llegó a calcular el factor de seguridad en el perno, el mismo que posee un valor de 63.59, lo que significa que el sujetar va a soportar el peso de los elementos mecánicos del brazo.

### 3.14.4 Análisis térmico

Se procederá a realizar el análisis térmico con la finalidad determinar si el sistema no sufre alguna deformación en el instante de realizar el proceso de soldadura.

#### Cálculo de irradiación

A continuación, se calculará el fenómeno de irradiación que se produce en la soldadora al momento de soldar las placas.

$$E_e = C * \frac{I^n}{r^2}$$

Donde:

$E_e$  = Irradiancia, ( $\frac{W}{cm^2}$ )

C = Constante que depende del intervalo espectral y del procedimiento de soldadura.

r = Distancia de observación, (cm).

I = Intensidad de soldadura, (A).

n = Depende del intervalo espectral. Se observa en el Anexo VI.

$$E_e = (400 \text{ nm}) * \frac{(204 \text{ A})^2}{(100 \text{ cm})^2}$$

$$E_e = 1664.64 \text{ W/cm}^2$$

#### Cálculo de radiación

Mediante la siguiente ecuación se calculará la radiación que ejerce la suelda a los componentes que conforman la máquina.

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A * (T_1^4 - T_2^4)$$

Donde:

$Q_{rad}$  = Radiación, (W).

$\varepsilon$  = Emisividad, (adimensional). Se lo observa en el Anexo VII.

$\sigma$  = Constante de Stefan Boltzmann, ( $\frac{W}{m^2 * K^4}$ )

$T_1$  = Temperatura inicial, ( $^{\circ}K$ ).



$T_2$  = Temperatura final, (°K).

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A * (T_1^4 - T_2^4)$$

$$Q_{rad} = (1) * (5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}) * (692.15 K^4 - 293.15 K^4)$$

$$Q_{rad} = 12594.45 \frac{W}{m^2}$$

La radiación emitida por la suelda a los componentes más cercanos es de  $12594.45 \frac{W}{m^2}$  a una temperatura de 692,15 °K. Dicho valor puede variar ya que depende de qué manera es calibrada la soldadora.

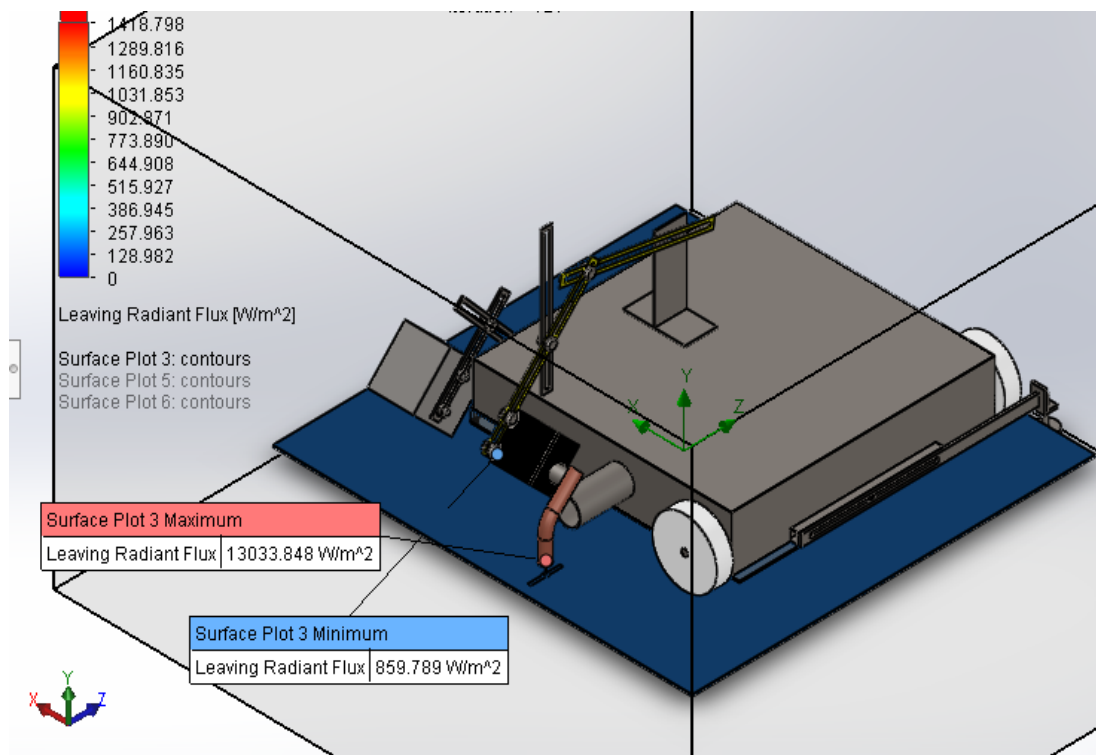
Mediante el uso de un software computacional CAE, se realizó el análisis a las partes más relevantes de la máquina, con la finalidad de verificar si el sistema está correctamente diseñado para cumplir con el trabajo.

### **Análisis de radiación**

En la siguiente figura, se observa los valores de radiación que se generan en el proceso de soldadura, teniendo como valor máximo  $13033.848 W/m^2$  en la parte de la antorcha de la soldadora y un valor mínimo de  $859.789 W/m^2$  en la caja de control del servomotor, por lo que se concluiría que los materiales electrónicos no se verían afectados en el instante del proceso MIG.

Figura 19

Radiación del proceso de soldadura



*Nota.* En la figura se observa los valores de radiación máxima y mínima del proceso de soldadura.

### 3.15 Programación del equipo

Para el desarrollo de la programación del equipo, se utilizaron las siguientes librerías (ver anexo 1):

- PWM: para el Arduino DUE: permite controlar los motores, y servo de accionamiento.
- Wire: para la comunicación
- Liquid crystal: se aplica mediante el módulo I2C

#### 3.15.1 PWM

En la programación se utilizó a 20 milisegundos (ms). Se programa todos los controles de los servomotores mediante la librería pwm.

### **3.15.2 I2C**

- Se utiliza para la comunicación y para la creación del objeto LCD.
- Se desarrollan los pines en los que se conecta cada uno de las funcionalidades del equipo, se programan los pines para: (activación del láser, interruptor de la suelta, servomotores, etc.).

### **3.15.3 Variables programadas en el equipo:**

Para la programación del equipo, primero, se programaron las variables globales, en los que se desataca el contador de pulso de los encoders de los motores y control de velocidad de las RPM de los motores. Estas variables se programan para eliminar el ruido de los motores de los encoders, debido a que no hay una velocidad exacta cuando gira el motor, se genera un poco de ruido, lo cual se elimina realizando un filtrado mediante el establecimiento de estas variables generales de velocidad.

#### **3.15.3.1 Variables PID izquierdo**

Se programó: El error anterior para calcular la parte derivativa, la integral a utilizar y cuál va a ser el setpoint izquierdo (ver anexo 6).

#### **3.15.3.2 Variables PID derecho**

Se programó: El error anterior para calcular la parte derivativa, la integral a utilizar y cuál va a ser el setpoint derecho (ver anexo 6)

#### **3.15.3.3 Tiempo de muestreo**

Se especificó el tiempo de muestreo: para el caso del equipo, esta sincronizado con 100 ms.

#### **3.15.3.4 Variables para pruebas (test)**

Estas variables se programaron para realizar controles a través de la perilla, y se elimina el control PID al estar en modo de pruebas.

#### **3.15.3.5 Variables para leer el encoder rotatorio**

Se programó para anotar el tiempo para el encoder rotatorio, anotar el tiempo para el pulsador del encoder y su anti rebote, Para saber si existe una pulsación o giro en el encoder y para contar los pulsos del encoder mediante rotación.

### **3.15.3.6 Variables para el menú de opciones en el LCD**

Estas opciones se programan para realizar controles en la pantalla y en el manejo de menú de opciones, se programaron las variables para saber las opciones de escogida (saber si se encuentra en un menú o submenú), variables para el cursor y la selección en la pantalla y en el menú, variables para actualizar el LCD en momentos específicos, para no quitarle tiempo al Arduino, se actualiza en caso de que sea necesario.

### **3.15.3.7 Menús**

En la programación, se establecieron los diferentes menús que van a ser utilizados para el control del dispositivo, se desarrollaron:

- Menú de monitoreo.
- Menú de estado general.
- Menú para el control PID de motores.
- Menú para el control de los servomotores.
- Modo de test manual.
- Menú de configuración soldadura.

Dentro de cada menú se programaron el setpoint izquierdo, setpoint derecho, modificación del tiempo TS, velocidad del motor izquierdo, velocidad del motor derecho y el Angulo del servomotor. Cada uno de los menús están ordenados en una forma de jerarquía de “Menú – Submenú-Cambio de parámetros”.

Al finalizar la programación de las variables, establece un código que permite determinar y controlar el número de opciones en el menú y para saber el número de submenús dentro de cada menú.

### 3.16 Comunicación y algoritmo de control

#### 3.16.1 Protocolo de comunicación Arduino Servomotor

Ya que el servo de oscilación posee un controlador propio (Arduino Promini), es necesario indicarle los parámetros de ángulo, velocidad de oscilación y ángulo máximo de oscilación, así como la posición de cero, ya que es un servo de rotación continua.

#### 3.16.2 Protocolo de comunicación Arduino Raspberry

La comunicación entre la parte de control, comandada por el Arduino y la parte de visión (Raspberry), se da mediante la interfaz UART TTL a 19200 baudios, con una modalidad tipo Pregunta-Respuesta, en la cual el Arduino es quién se encarga de preguntar y así sincronizar los datos, al haber varios datos de configuración (velocidad lineal, start, stop, grados de oscilación, encender mecha, apagar mecha, etc.), es necesario discriminar el tipo de dato mediante un protocolo, el cual es el indicado en la tabla:

ARD: Abreviatura de Arduino

RASPY: Abreviatura de Raspberry

**Tabla 62**

*Comunicación y algoritmo de control ARD*

Emisor	Receptor	Identificador	Dato (0-200)	Observaciones
ARD	RASPY	0xF0		Indicarle a la Raspberry que evalúe el ancho del material, y devuelva el dato
ARD	RASPY	0XF1		Indicarle a la Raspberry que evalúe continuamente la desviación de la junta (corrección de trayectoria)
ARD	RASPY	0XF2		Indicarle a la Raspberry que detenga la evaluación de la junta
ARD	RASPY	0xF3		Indicarle a la Raspberry que evalúe continuamente la calidad de la soldadura

Emisor	Receptor	Identificador	Dato (0-200)	Observaciones
ARD	RASPY	0xF4		Indicarle a la Raspberry que detenga la evaluación de la soldadura y devuelva el dato
ARD	RASPY	0xF5		Indicarle a la Raspberry que se detenga y entre en modo de espera
ARD	RASPY	0xF6		RESERVA
ARD	RASPY	0xF7		RESERVA
ARD	RASPY	0xF8		RESERVA
ARD	RASPY	0xF9		RESERVA
ARD	RASPY	0xFA		RESERVA
ARD	RASPY	0xFB		RESERVA
ARD	RASPY	0xFC		RESERVA
ARD	RASPY	0xFD		RESERVA
ARD	RASPY	0xFE		RESERVA
ARD	RASPY	0xFF		RESERVA

*Nota.* En la siguiente tabla muestra la comunicación y algoritmo de control ARB.

**Tabla 63**

*Comunicación y algoritmo de control RASPY*

Emisor	Receptor	Identificador	Dato (0-200)	Observaciones
RASPY	ARD	0xF0	Ancho_mm	Devolver el ancho del material en mm
RASPY	ARD	0XF1	Calidad 0-100	Devolver la calidad de la soldadura
RASPY	ARD	0XF2	Offset Derecha	Dato que indica cuánto girar hacia la derecha para corregir la trayectoria
RASPY	ARD	0xF3	Offset Izquierda	Dato que indica cuánto girar hacia la izquierda para corregir la trayectoria
RASPY	ARD	0xF4	Ángulo máximo	Dato para editar el ángulo máximo de oscilación
RASPY	ARD	0xF5	Velocidad oscilación	Dato para editar la velocidad de oscilación
RASPY	ARD	0xF6	ON/OFF 00 – FF	Accionar el mecanismo de gatillo para encender la mecha

Emisor	Receptor	Identificador	Dato (0-200)	Observaciones
RASPY	ARD	0xF7	OFF FF	Para indicarle al Arduino que detenga la soldadura, el movimiento lineal y coloque los servos en la posición de reposo
RASPY	ARD	0xF8		RESERVA
RASPY	ARD	0xF9		RESERVA
RASPY	ARD	0xFA		RESERVA
RASPY	ARD	0xFB		RESERVA
RASPY	ARD	0xFC		RESERVA
RASPY	ARD	0xFD		RESERVA
RASPY	ARD	0xFE		RESERVA
RASPY	ARD	0xFF		RESERVA

*Nota.* En la siguiente tabla muestra la comunicación y algoritmo de control RASPY.

### **3.16.3 Función de iniciación**

Se programan las funciones de iniciación de los motores, tanto del izquierdo como del derecho, en donde se programó una iniciación de motores de 1 a 2 ms, escalado de 0 como mínimo (máxima velocidad en reversa), lo cual significa que para que el equipo avance en reversa, debe iniciar en el valor 0. Y escalado a 200 como mínimo (máxima velocidad hacia adelante), lo cual significa que los motores, en marcha hacia adelante deben iniciar como mínimo en 200. Cuando el valor sea 100 significa que el equipo está detenido.

### **3.16.4 Adquisición de datos de la visión**

A continuación se presentan los siguientes diagramas de flujo para indicar todas las funcionalidades y procedimientos correspondientes en la adquisición de datos de la visión. En esta parte visual se demuestra el funcionamiento de la evaluación y determinación del grosor, la junta de la suelda, porosidad, grietas, discontinuidad y rectangular dad de la soldadura.

### **3.16.5 Determinación del espesor del material**

Para la determinación del grosor, primero, se inicializa el programa y se inicializan todas las variables de programación mencionadas en el apartado 3.11.1. (Variables programadas en

el equipo). Posteriormente se inicializa la cámara, la cual está conectada a un puerto USB del Arduino Due y se inicia la instrucción de control o lazo principal “While” para controlar la repetición del proceso mientras se cumplan los parámetros establecidos.

Después del proceso inicial, se leen los datos que vienen por el Arduino Due, si el dato es grosor se lee el frame de la cámara, es decir, la imagen que se muestra en ese momento en la cámara, se convierte la imagen del formato RGB (Red, Green and Blue por sus siglas en inglés) al formato HSV para trabajar mejor los filtros de imagen. Luego se aplican los filtros de color, se aplica un filtro de color rojo (laser) y se transforma la imagen a una en escala de grises, lo que se consigue con esto es la verificación de la altura de la placa con el filtro aplicado.

Luego, se convierte la altura de píxeles (px) a milímetros (mm). Al final, el dato de altura en mm se envía por serial al Arduino para reconocer cual es el grosor del material que se está midiendo.

#### ***3.16.6 Evaluación de la desviación de la junta***

Para la evaluación de la junta, se realiza el mismo procedimiento de inicialización mencionado en el proceso de medición del grosor (Inicio, inicializar variables, inicializar cámara y lazo principal “While”). Luego, de verificar que se va a verificar la junta, igual que en el proceso anterior, se lee el frame de la cámara, se recorta la imagen para tener solo una porción de la imagen en HD y utilizar menos datos de la matriz.

Posteriormente se aplica un filtro Canny, el cual se utiliza para establecer los bordes de la imagen, después de esto, la imagen con el filtro Canny se convierte a un sistema binario en una matriz para identificar el valor más alto de la imagen convertida. Luego, este valor se convierte de píxeles a setpoint del control PID de los motores, este valor determinado de la aplicación del filtro Canny es utilizado para mantener la desviación en la soldadura al mínimo, y mantener el carrito soldador en una línea precisa de soldadura. Por lo tanto, este valor debe ser, en lo posible, lo más cercano a “0” para mantener la desviación del carro soldador al mínimo y tener una mayor precisión en la soldadura.



### **3.16.7 Evaluación de poros**

Para la evaluación de la porosidad en la soldadura, se realiza el mismo procedimiento de inicialización mencionado en el proceso de medición del grosor (Inicio, inicializar variables, inicializar cámara y lazo principal "While"). Luego, se lee el frame de la imagen y se recorta en la zona interesada, la cual es en donde está la junta, después se aplica un filtro gray Scale (filtro de imagen a escala de grises), después la imagen se convierte en blanco y negro o un filtro binario (BN). Posterior a la aplicación de estos filtros, se aplica un filtro del ruido por erosión y un filtro de ruido por áreas grandes. El filtro de ruido por erosión lo que hace es "erosionar" o difuminar los bordes de los puntos encontrados en la imagen, y el filtro de área grande se utiliza para observar, de los puntos o manchas encontrados en la imagen, cual es el más grande o cual tienen una mayor área y seleccionarla para la evaluación. Posteriormente, se unen las dos imágenes y se aplican filtros para la identificación de poros y para diferenciar los poros de las grietas u otro tipo de imperfecciones.

### **3.16.8 Evaluación de discontinuidad**

Se comienza con el procedimiento de inicialización, se lee el frame de la cámara y se recorta a imagen, se aplica un filtro de escala de grises, se aplica un filtro binario (BN) y se selecciona el área más grande de la imagen.

Después lo que se hace es una suma horizontal de todos los píxeles en la imagen, si existe un "0" es que existe discontinuidad en el cordón, se asigna la cuenta a la variable "Descont" con el comando "Cont ++". Si no existe un cero, es decir, si no existe discontinuidad, el programa vuelve a iniciar desde el lazo principal y se vuelve a comenzar el proceso de identificación de discontinuidades.

### **3.16.9 Evaluación de grietas**

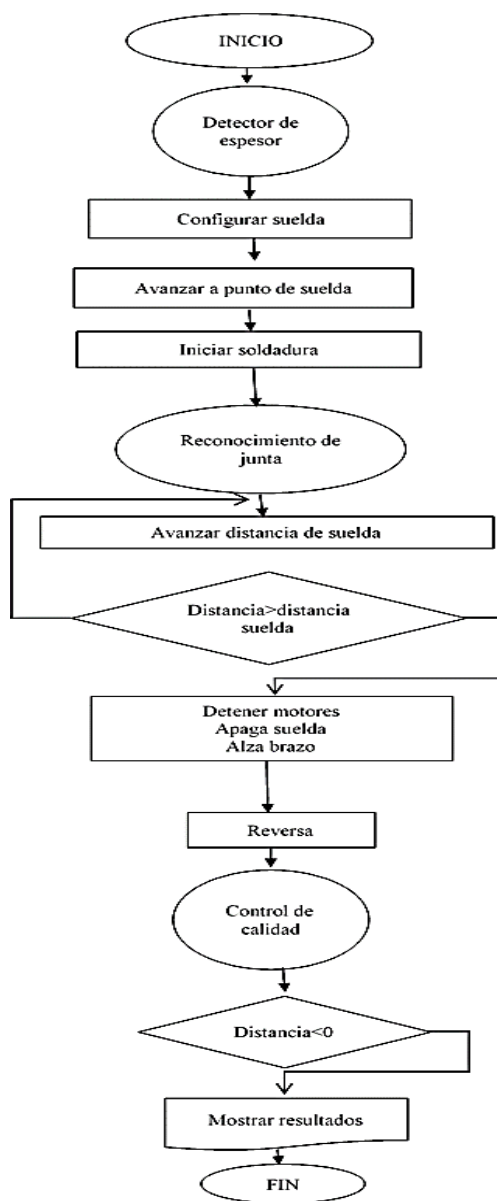
En primera instancia, se comienza con la puesta en marcha de todos los procedimientos iniciales, después se lee el frame de la cámara, recorta la imagen y se aplica un filtro de escala de grises y se hace una erosión.

Posteriormente se hace una evaluación de cuantas áreas hay en la imagen luego de la erosión y entra en un proceso de evaluación de las grietas, si la bandera "Flag grieta = 1" se marca con la bandera "Flag grieta = 0" para que no vuelva a repetir el procedimiento y se guarda el área en la variable "Ante", luego se agrega al contador de grietas con el comando "Cont ++", y se vuelve a realizar todo el procedimiento desde el lazo principal "While".

### **3.10.6. Proceso del código principal**

Figura 20

Diagrama de flujo del código principal



*Nota.* En la figura se el diagrama de flujo general del sistema de control del equipo.

Para el proceso general del código, primero, se inicia el LCD, los pines de entrada y salida y la comunicación del equipo, después, el equipo entra en las siguientes etapas de verificación y actualización:

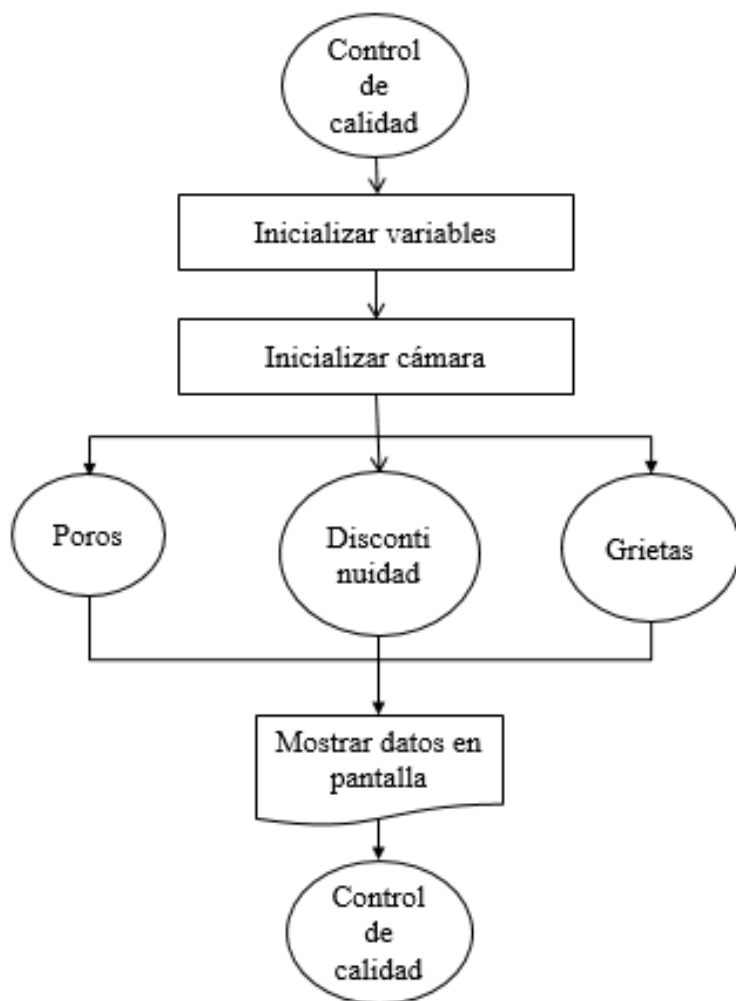
- Detecta el espesor del material.

- Configurar suelda.
- Avanza hacia punto de suelda.
- Se inicia la secuencia de soldado (avanzar hacia adelante)
- Reconocimiento de junta a soldar.
- Verifica la distancia de soldado ingresada en la configuración.
- Completada la distancia de suelda se detiene la secuencia
- Avanzar en reversa.
- Verifica que la cámara apunte al cordón
- La cámara indica a la raspberry que evalué la suelda
- Regresa al origen (Apagar todo).
- Indica a la Raspberry que detenga toda la evaluación
- Muestra resultados

**Proceso del control de calidad**

**Figura 21**

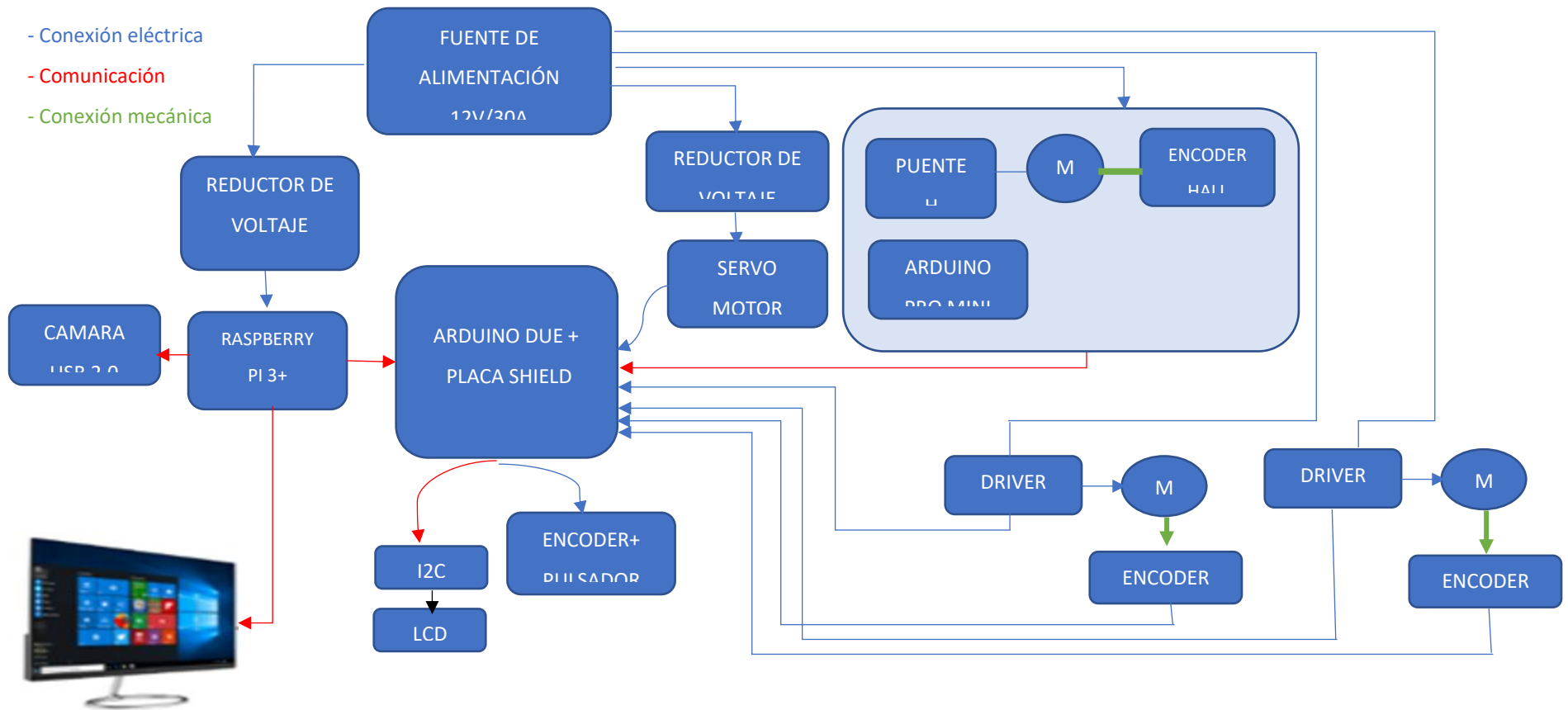
*Diagrama de flujo del control de calidad*



*Nota.* En la figura, se observa el diagrama de flujo del control de calidad para el equipo portátil de soldadura.

Figura 22

Esquema general de control



Nota. En la figura, se observa diagrama electrónico del equipo portátil de soldadura.

## Capítulo IV

### 4 Construcción e implementación

#### 4.1 Introducción

Para la creación del robot soldador, una vez que se creó la programación, instalación de motores, sistemas y equipos técnicos, se realizó un proceso de ensamblaje definición de estructura e instalación de los mismos. En el presente capítulo se explica de forma general la construcción, estructura e implementación del equipo

#### 4.2 Construcción de las partes del sistema mecánico y estructura.

##### 4.2.1 Estructura

En la figura 23, se muestra la estructura del equipo con el material y diseño seleccionado en el capítulo 3, el cual consta de una base, la cubierta, el brazo, el soporte donde se colocó el servo de oscilación, soporte de la cámara, laser y cable de la suelda.

#### Figura 23

*Estructura del equipo terminada*



*Nota.* Se observa la estructura completa del equipo de soldadura.

#### 4.3 Instalación de los motores

Se ensamblaron los motores con una caja reductoras de 5, dos cajas reductoras de 10, encoder y sus respectivas llantas, esto se colocó en la parte interna de la base del equipo y

conjuntamente se colocaron los controladores respectivos como se puede observar en la figura 24.

#### **Figura 24**

##### *Instalación de motores*



*Nota.* En la figura se observan la colocación de los motores, los cuales están sobre la placa base del equipo portátil de soldadura.

#### **4.4 Implementación de la placa electrónica**

Se implementa la placa electrónica diseñada en el capítulo 3 la cual se encarga de la alimentación de los diferentes componentes del equipo y además conecta las señales de comunicación respectivas, consta de un reductor de 5 voltios para la raspberry, un reductor de 7 voltios para el servo motor que aplasta el gatillo de la pistola de suelda

#### **4.5 Implementación de componentes electrónicos**

Para los componentes eléctricos, en la parte interna de la base del equipo se colocaron todos los elementos eléctricos, con sus respectivas conexiones, tales como: placa electrónica, drivers de motores, Arduino Due que se encuentra conectado por el USB a la raspberry y esta a su vez a la web cam, y la fuente de alimentación, como se muestra en la figura 25.



**Figura 25**

*Implementación de componentes eléctricos*



*Nota.* En la figura se observa la colocación de los elementos de control sobre la base.

#### **4.6 Implementación del servo motor del brazo de oscilación**

En la implementación del brazo se construye el servomotor con una caja reductora adicional que tiene una relación 53.625:1 para tener mayor precisión al momento de la oscilación. Como se muestra en la figura 26.

**Figura 26**

*Implementación del servo*



*Nota.* Se muestran los servomotores que fueron implementados en el sistema, teniendo una relación de transmisión de 53,625:1.

#### 4.7 Implementación de la interfaz gráfica para el usuario

En la parte superior de la tapa se realizó un corte rectangular para colocar la pantalla el LCD es de 20x4 espacio de líneas que se maneja por un módulo de comunicación I2C y un encoder para selección del menú, como es posible apreciar en la figura 27.

##### Figura 27

Interfaz gráfica (LCD)



*Nota.* En la figura se observa la interfaz gráfica de la pantalla LCD.

#### 4.8 Implementación del sistema de visión

Se colocó un soporte para la cámara con protección a una distancia de 20cm de la antorcha de la soldadora, esta distancia entre la cámara y el soldador permite la recopilación de información de la cámara para el posterior procesamiento de datos, además cuenta con 2 láser que crean la cruz de referencia que sirve de guía para la junta a soldar como se muestra en la figura 28.

**Figura 28**

Implementación del sistema de visión



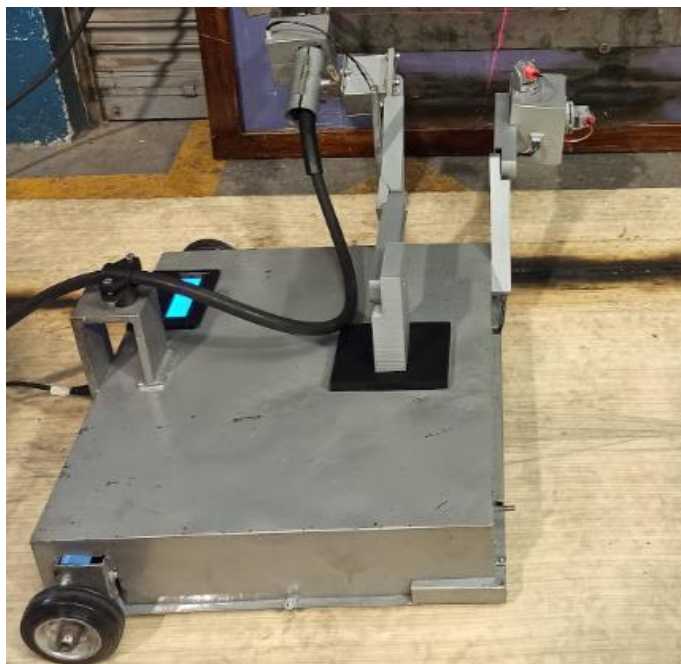
*Nota.* Cámara usada para realizar el sistema de visión.

#### **4.9 Estructura final**

Una vez colocados e instalados todos los elementos y piezas del equipo, fue posible tener la estructura final como se muestra en la Figura 29, realizando de esta manera la suelta en forma plana, horizontal e inclinada, con placas de diferentes espesores, una vez concluida la soldadura se procede a realizar el control de calidad con el sistema de visión para evaluar el cordón realizado.

**Figura 29**

Estructura final del equipo



*Nota.* Estructura final de equipo automático portátil de soldadura.

## Capítulo V

### 5. Pruebas y resultados

#### 5.1 Introducción





En el presente capítulo se definen las pruebas realizadas y los resultados obtenidos de la implementación del equipo desarrollado, así como el funcionamiento del equipo soldador, validación de las pruebas realizadas y de los controles de calidad de la soldadura.

#### 5.2 Detección del espesor

En las pruebas realizadas a través de la cámara, se toma el área de deformación que genera las proyecciones del láser para ver la cantidad de píxeles presentes en la misma y así determinar el espesor del material. En la tabla 64, se indica la obtención de datos.

**Tabla 64**

*Espesor del material*

Espesor	Píxeles	Imagen	Pantalla LCD
3mm	61		
6mm	93		

*Nota.* En la tabla se observan los resultados obtenidos al instante de soldar.




### 5.3 Pruebas de ejecución de soldadura

Una vez obtenido el dato del espesor del material, el equipo se puso en marcha para la creación del cordón requerido. La cámara, con la ayuda de las proyecciones del láser, ayudó al reconocimiento y seguimiento de la junta.

Para la ejecución de soldadura por corto circuito se utilizó la soldadora MIG, los parámetros requeridos para la ejecución del cordón en una placa de 3mm se muestran en la tabla 65.

**Tabla 65**

*Parámetros de soldadura plana de 3mm*

#Prueba	Voltaje	%	Velocidad cm/seg	Imagen
1	17,5	202	0,4	
2	17,5	202	0,65	
3	17,5	202	0,9	


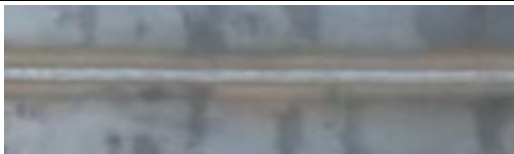

*Nota.* La tabla muestra los resultados de los cordones de suelda en tres pruebas diferentes.

Para realizar un cordón óptimo en una placa de 3 milímetros en horizontal, los voltajes y velocidades de avance adecuados serían de 17,5 v y 0.65 cm/seg respectivamente

Para la ejecución de soldadura inclinada, se utilizó la soldadora MIG, los parámetros requeridos para la ejecución del cordón en una placa de 3mm se muestran en la tabla 66.

**Tabla 66**

*Parámetros de soldadura inclinada 3mm*




#Prueba	Voltaje	%	Velocidad cm/seg	Imagen
1	17,5	202	0,5	
2	17,5	202	0,7	
3	17,5	202	0,9	

*Nota.* En la tabla se observan los resultados del proceso de soldadura de forma inclinada.

Para realizar un cordón óptimo en una placa de 3 milímetros inclinada, los voltajes y velocidades de avance adecuados serían de 17,5 v y 0,5 cm/seg respectivamente

Para la ejecución de soldadura plana, se utilizó la soldadora MIG, los parámetros requeridos para la ejecución del cordón en una placa de 3mm se muestran en la tabla 67.

**Tabla 67***Parámetros de soldadura horizontal 3mm*




#Prueba	Voltaje	%	Velocidad cm/seg	Imagen
1	18,5	202	0,3	
2	18,5	202	0,4	
3	18,5	202	0,5	

*Nota.* Se observan los resultados para realizar cordones de forma horizontal en una placa de 3 mm de espesor.

Para realizar un cordón óptimo en una placa de 3 milímetros horizontal, los voltajes y velocidades de avance adecuado serían de 18,5 v y 0,3 cm/seg respectivamente. Para la ejecución de soldadura plana, se utilizó la soldadora MIG, los parámetros requeridos para la ejecución del cordón en una placa de 6mm se muestran en la tabla 68.




**Tabla 68***Parámetros de soldadura plana de 6mm*

#Prueba	Voltaje	%	Velocidad cm/seg	Imagen
1	19,7	304	0,4	
2	19,7	304	0,3	
3	19,7	304	0,5	

*Nota.* Se observan los resultados para realizar cordones de forma plana en una placa de 6 mm de espesor.

Para realizar un cordón óptimo en una placa de 6 milímetros en plana, los voltajes y velocidades de avance adecuados serían de 19,7 v y 0.4 cm/seg respectivamente. Para la ejecución de soldadura inclinada, se utilizó la soldadora MIG, los parámetros requeridos para la ejecución del cordón en una placa de 6mm se muestran en la tabla 69.

**Tabla 69***Parámetros de soldadura inclinada 6mm*




#Prueba	Voltaje	%	Velocidad cm/seg	Imagen
1	19,7	304	0,3	
2	19,7	304	0,5	
3	19,7	304	0,7	

*Nota.* En la tabla se observan los resultados del proceso de soldadura de forma inclinada en la placa de 6mm de espesor.

Para realizar un cordón óptimo en una placa de 6 milímetros inclinada, los voltajes y velocidades de avance adecuados serían de 19,7v y 0,3 cm/seg respectivamente

Para la ejecución de soldadura horizontal, se utilizó la soldadora MIG, los parámetros requeridos para la ejecución del cordón en una placa de 3mm se muestran en la tabla 70.

**Tabla 70***Parámetros de soldadura horizontal 6mm*

#Prueba	Voltaje	%	Velocidad cm/seg	Imagen
1	20,5	302	0,5	
2	20,5	302	0,6	
3	20,5	302	0,8	

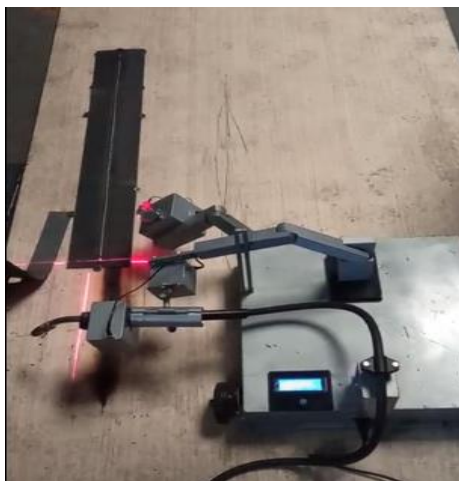
*Nota.* La tabla muestra los resultados del proceso de soldadura de forma horizontal en la placa de 6mm de espesor.

Para realizar un cordón óptimo en una placa de 6 milímetros horizontal, los voltajes y velocidades de avance adecuado serían de 20,5 v y 0,5 cm/seg respectivamente

Mencionado esto y establecidos los datos de soldadura en placas de 3mm y 6mm, se determina que se aumenta el voltaje en soldaduras con placas de 6mm con una menor velocidad de avance del equipo. Por lo tanto, estos cordones de soldadura en placas de 6mm son de buena calidad, en placas de 3mm, el voltaje es menor y con una mayor velocidad de avance. A continuación, se presentan en las figuras 69 y 70 las pruebas realizadas en las placas, tanto de 3mm como de 6mm en las diferentes posiciones plana, horizontal e inclinada.

**Figura 30**

*Elaboración del cordón de soldadura, posición plana*



*Nota.* En la figura se observa el proceso de soldadura MIG en posición plana.

**Figura 31**

*Elaboración del cordón de soldadura, posición horizontal*



*Nota.* En la figura se observa el proceso de soldadura en posición horizontal.

**Figura 32**

*Elaboración del cordón de soldadura posición inclinada*



*Nota.* En la figura se observa el proceso de soldadura MIG en posición inclinada.

#### **5.4 Pruebas de control de calidad**

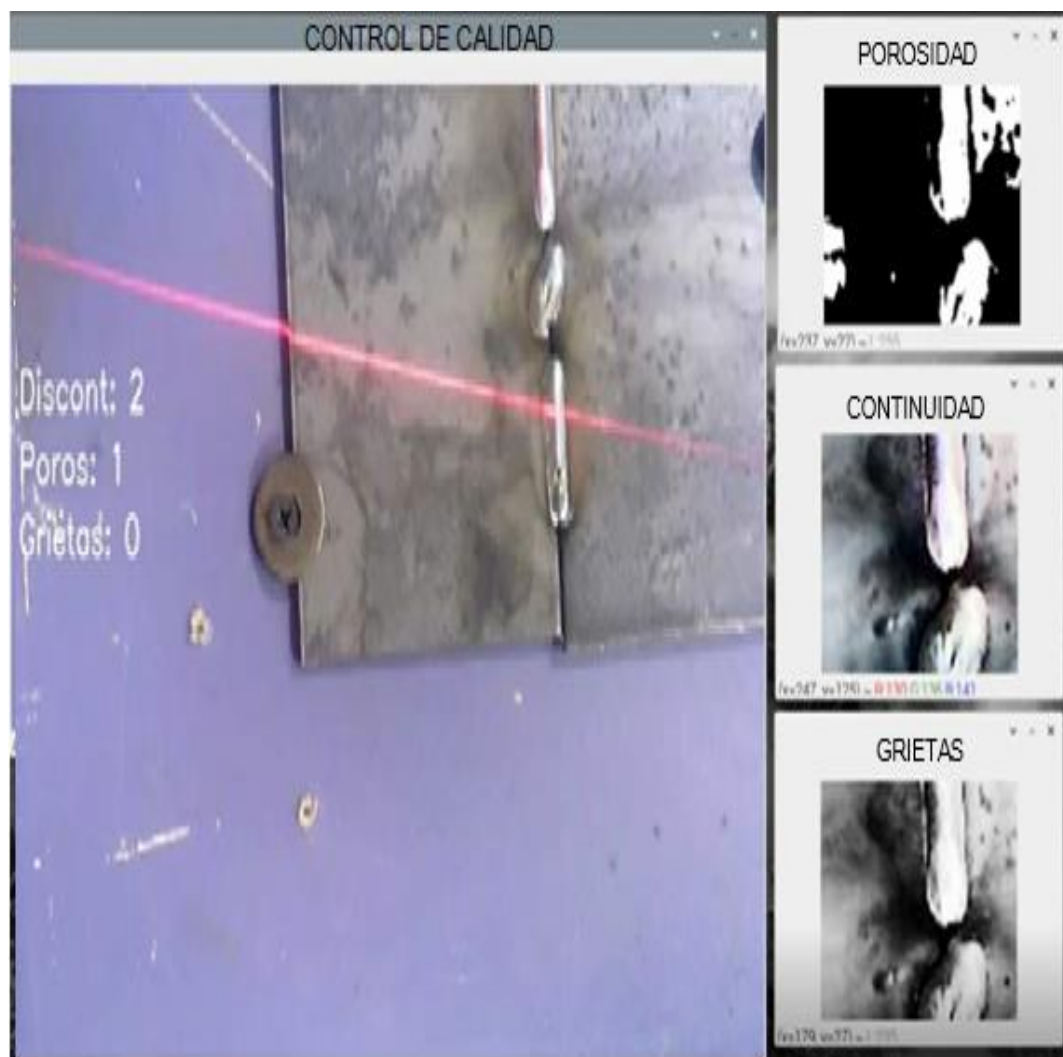
De acuerdo a las pruebas realizadas en la soldadura en placas de 3mm y 6mm, se pudo realizar un control de calidad del cordón de la soldadura, las pruebas de calidad se realizaron mediante visión artificial.

A través de la visión artificial se logra determinar si existe discontinuidad, poros y grietas en los cordones de soldadura realizados.

Se realizó el control de calidad para identificar discontinuidades presentes en el cordón de soldadura, si existe una o más discontinuidades, el cordón ya no es aceptable, como se muestra en la figura 33.

**Figura 33**

*Control de calidad, discontinuidad*

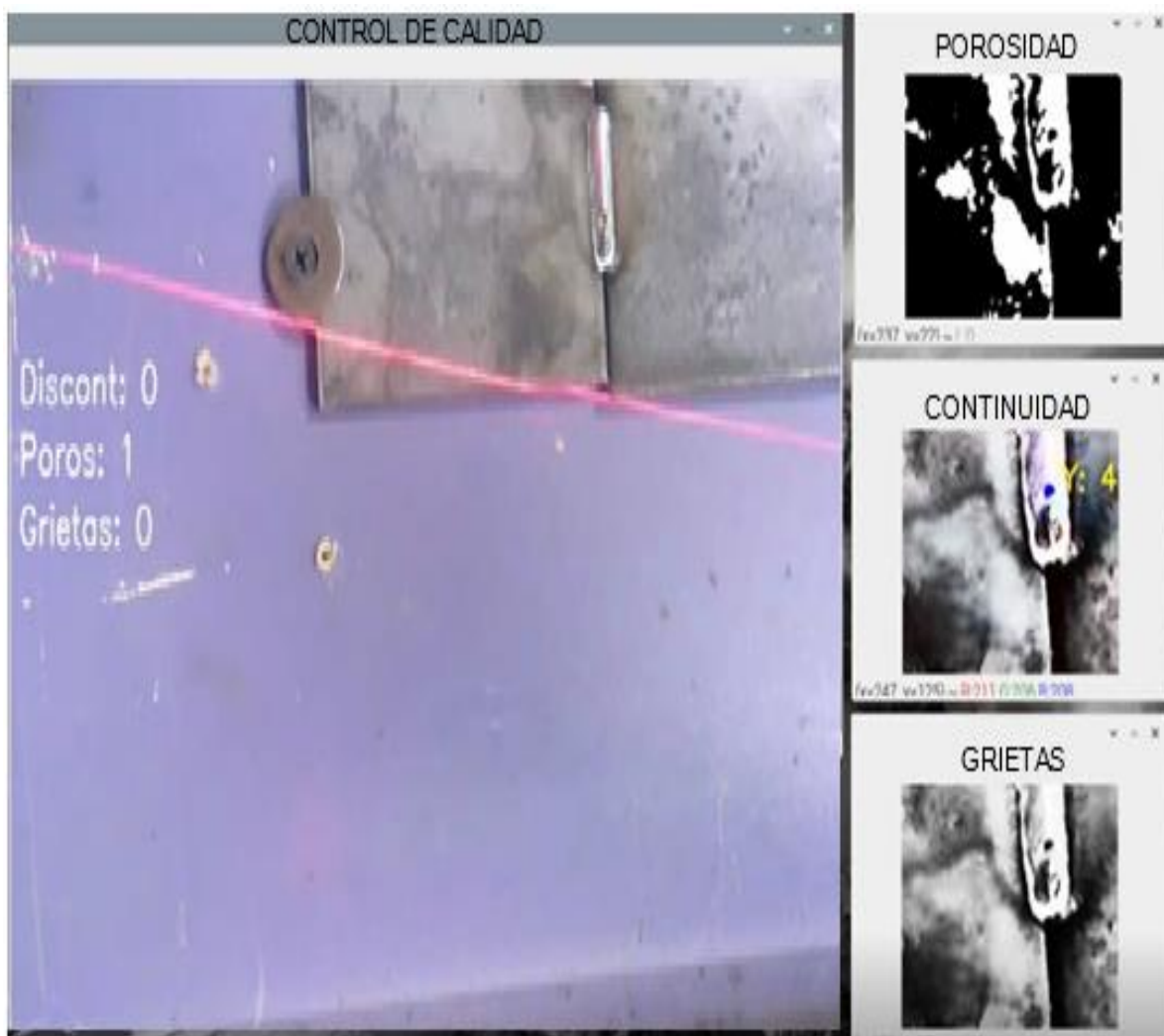


*Nota.* Control de calidad del cordón de suelda en placa metálica.

Se realizó el control de calidad para identificar poros presentes en el cordón de soldadura, si existen más de un poro se considera un cordón inaceptable, como se muestra en la figura 34.

**Figura 34**

*Control de calidad, poros*



*Nota.* La figura muestra la radiografía del cordón en el proceso de soldadura.

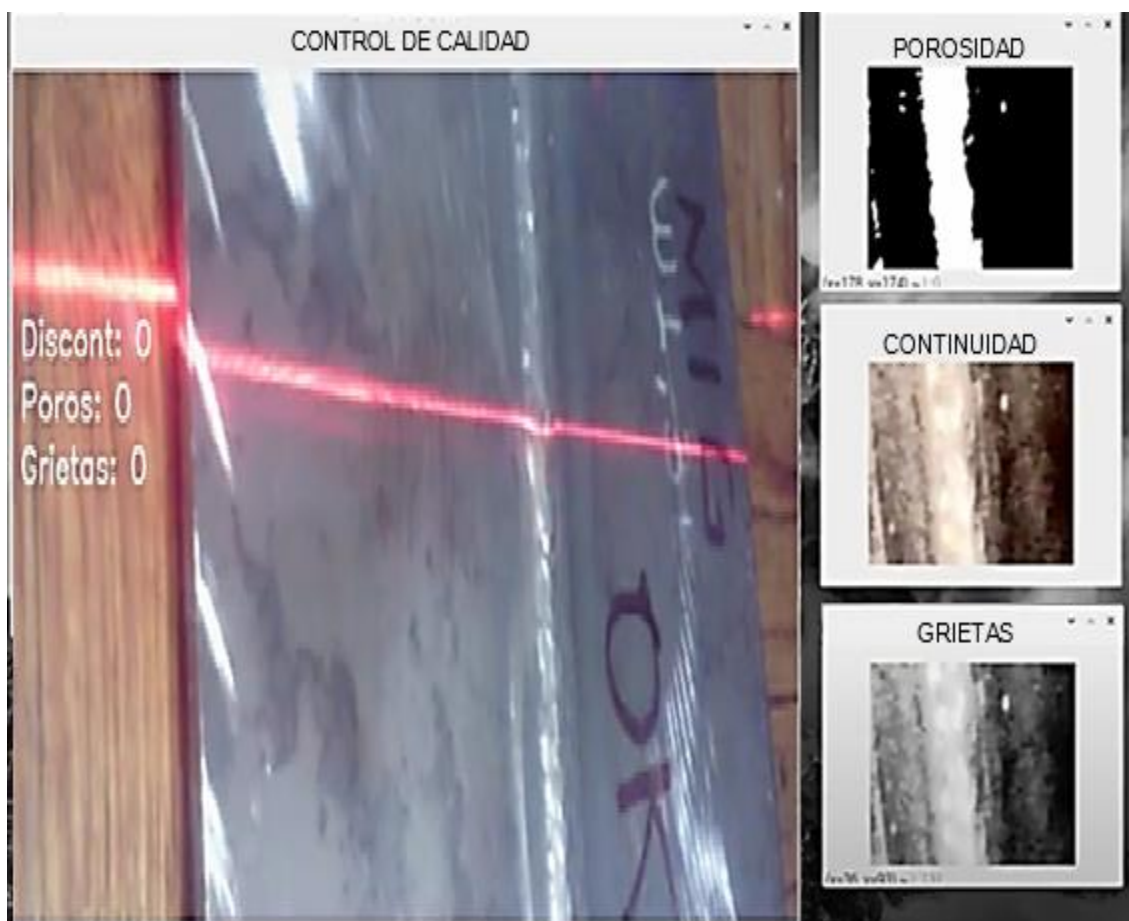
Para determinar si un cordón de soldadura está correctamente realizado debe cumplir con los parámetros antes mencionados

#### 5.4. Control de calidad espesor 3mm

Se realizó el control de calidad en la placa de 3 mm plana, como se muestra en la figura 35.

**Figura 35**

*Control de calidad, placa de 3mm plana*



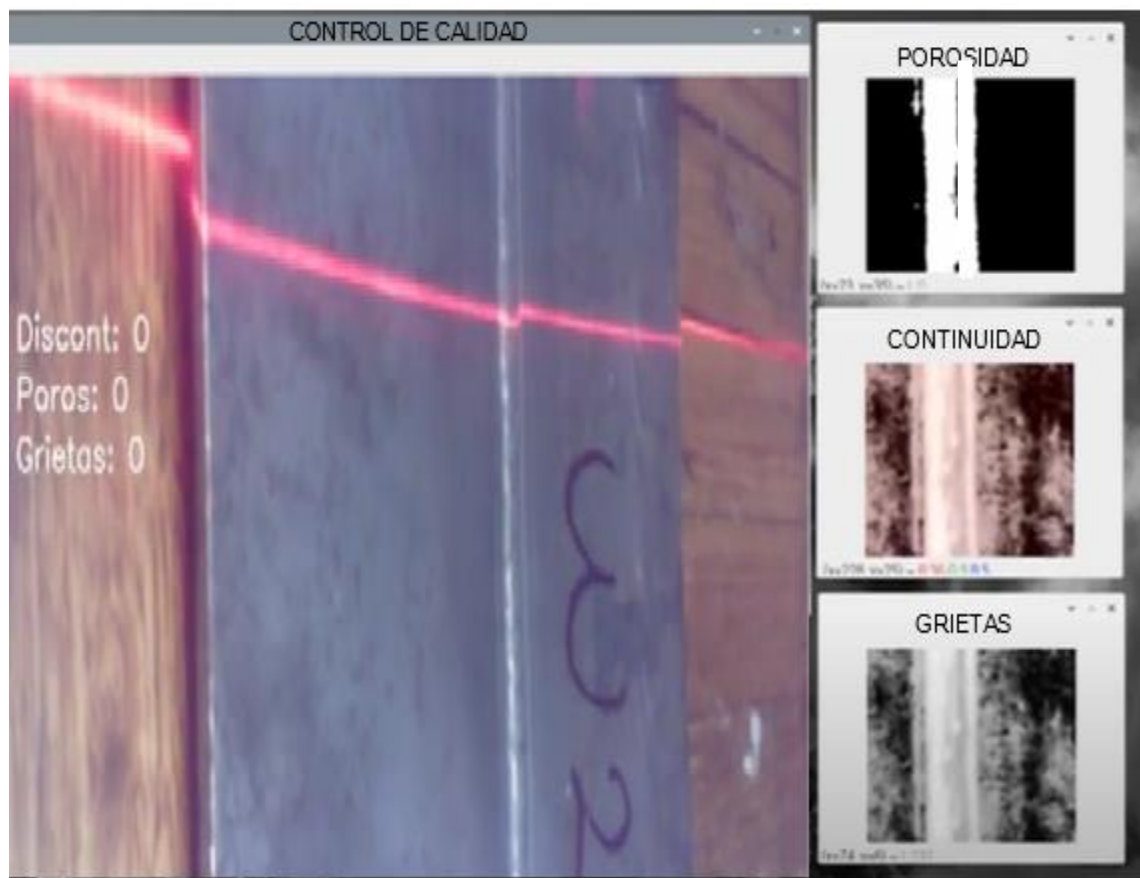
*Nota.* En la imagen se observa la radiografía del cordón en la posición plana de soldadura.

Se realizó el control de calidad en la placa de 3 mm inclinada como se muestra en la figura 36.



**Figura 36**

*Control de calidad, placa de 3mm inclinada*

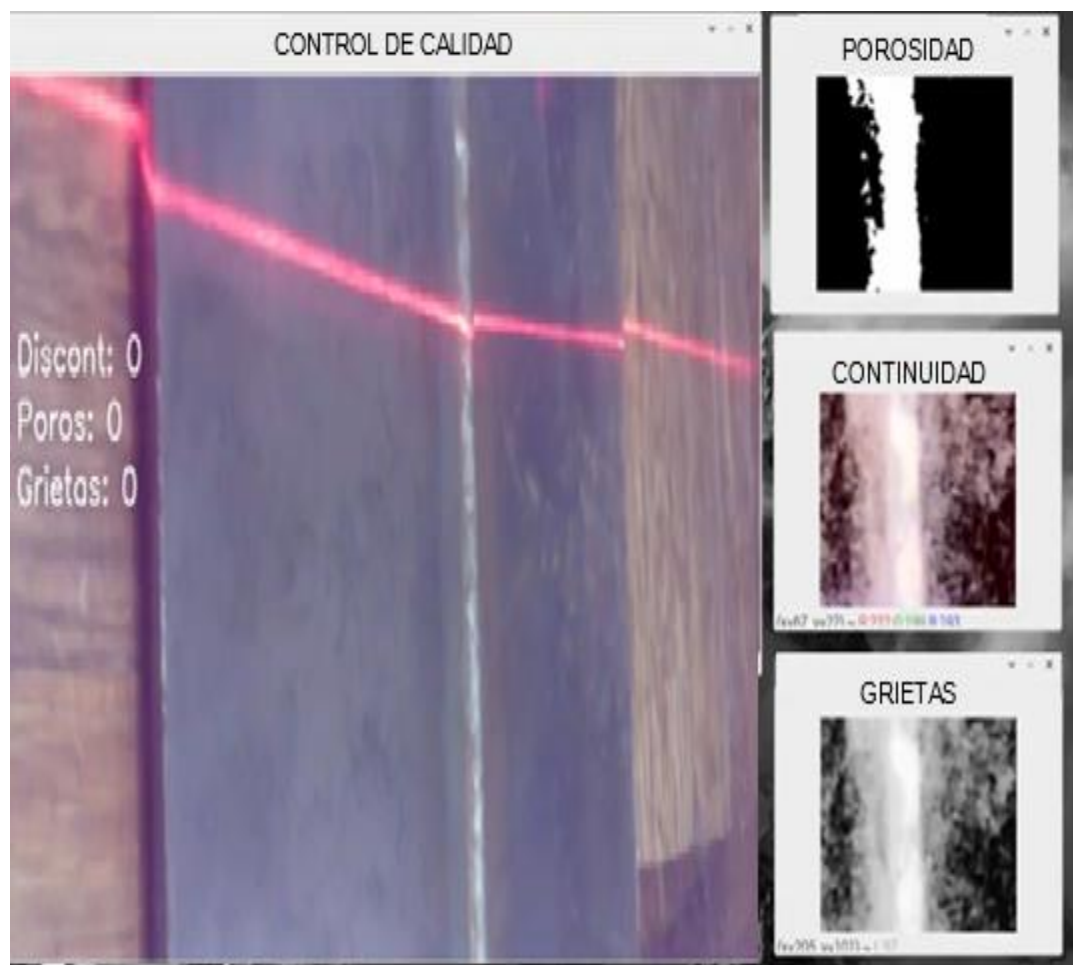


*Nota.* En la imagen se observa la radiografía del cordón en la posición inclinada de soldadura.

Se realizó el control de calidad en la placa de 3 mm horizontal como se muestra en la figura 37.

**Figura 37**

*Control de calidad, placa de 3mm horizontal*



*Nota.* En la imagen se observa la radiografía del cordón en la posición horizontal de soldadura.

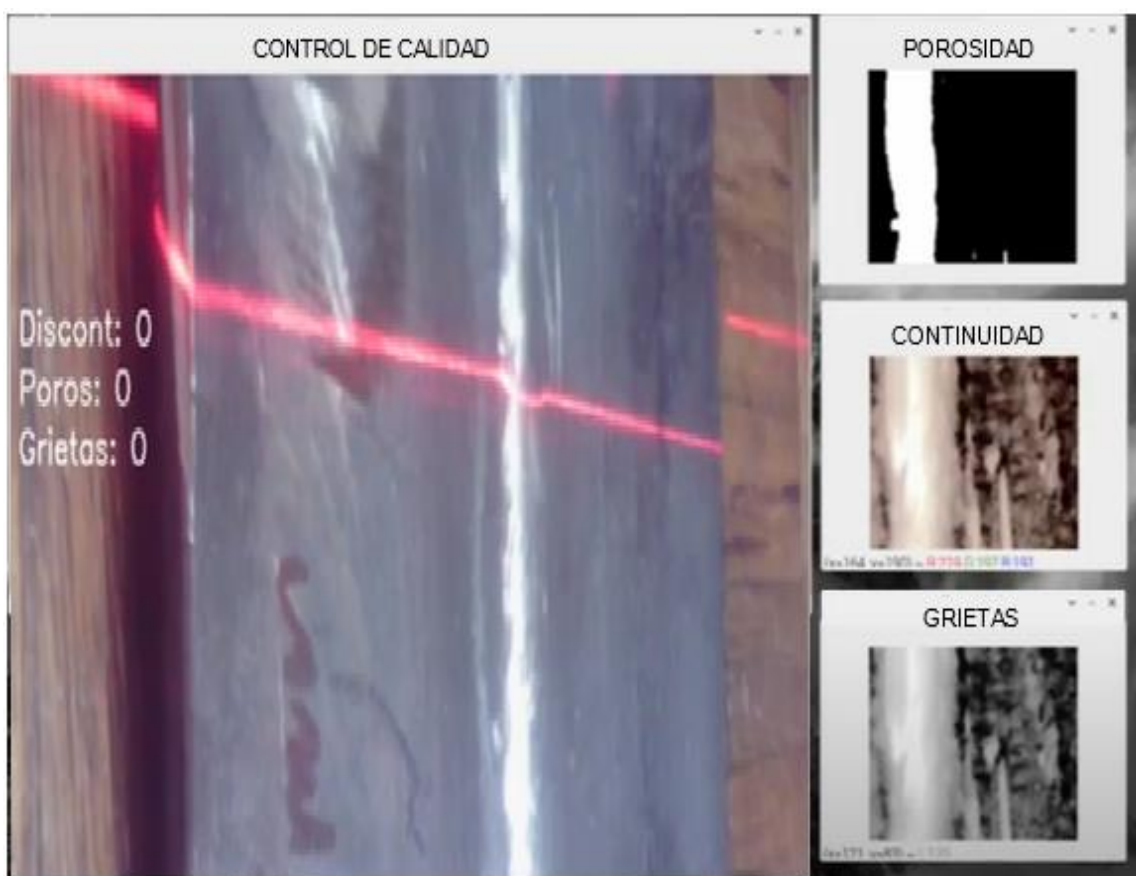
Los cordones realizados en las placas de 3mm son aceptables, ya que no presentan discontinuidades, grietas y poros.

### 5.5. Control de calidad espesor 6mm

Se realizó el control de calidad en la placa de 6 mm plana como se muestra en la figura 38.

**Figura 38**

*Control de calidad, placa de 6mm plana*

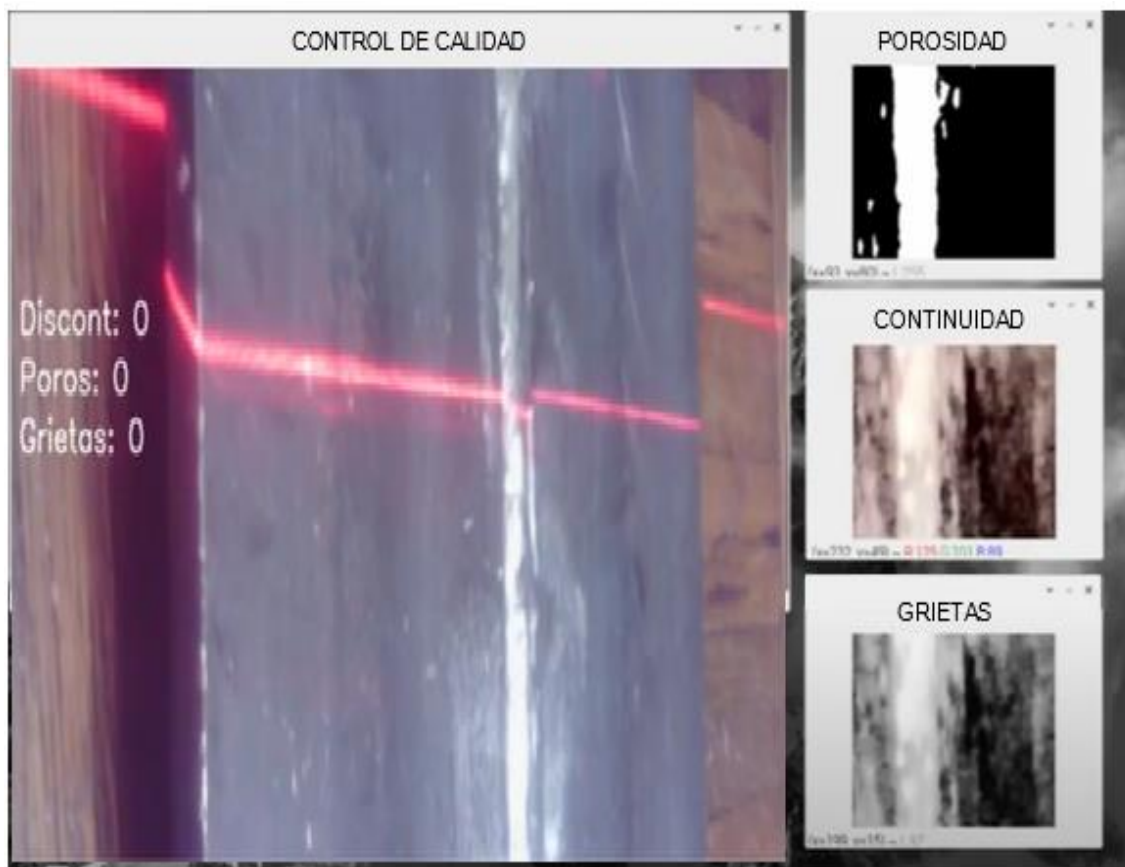


*Nota.* La figura muestra la radiografía del cordón de soldadura en la posición plana de una placa de 6mm de espesor.

Se realizó el control de calidad en la placa de 6 mm inclinada como se muestra en la figura 39

**Figura 39**

*Control de calidad, placa de 6mm inclinada.*

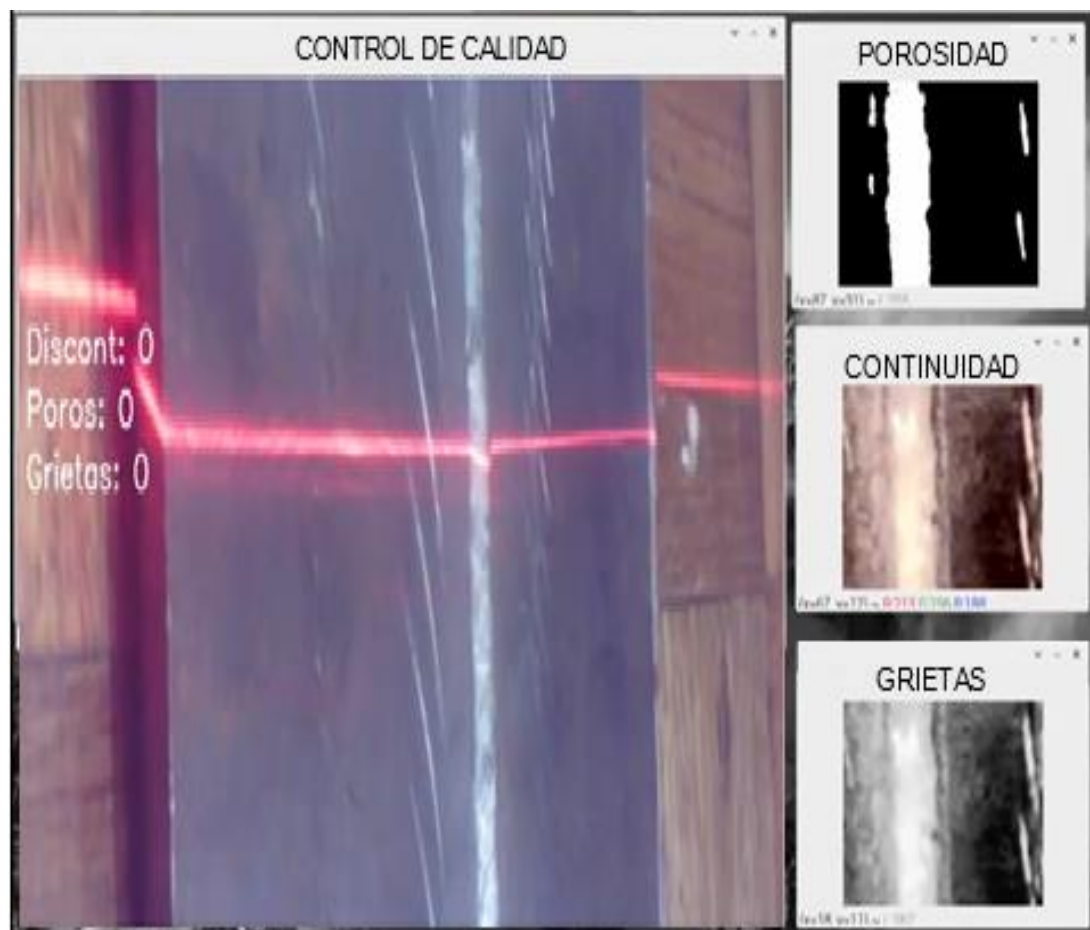


*Nota.* La figura muestra la radiografía del cordón de soldadura en la posición inclinada de una placa de 6mm de espesor.

Se realizó el control de calidad en la placa de 6 mm horizontal como se muestra en la figura 40.

**Figura 40**

*Control de calidad, placa de 6mm horizontal.*



*Nota.* La figura muestra la radiografía del cordón de soldadura en la posición horizontal de una placa de 6mm de espesor.

Los cordones realizados en las placas de 6mm son aceptables, ya que no presentan discontinuidades, grietas y poros.

Mencionado esto, se pudo determinar que la soldadura no presente porosidad, grietas ni discontinuidades. Para validar nuestro sistema de suelda y visión se hace una comparación

con una inspección visual certificada, determinando que la calidad de la soldadura es aceptable, la cual se lo observa en el Anexo XIV.

### 5.5 Análisis máquina vs operario

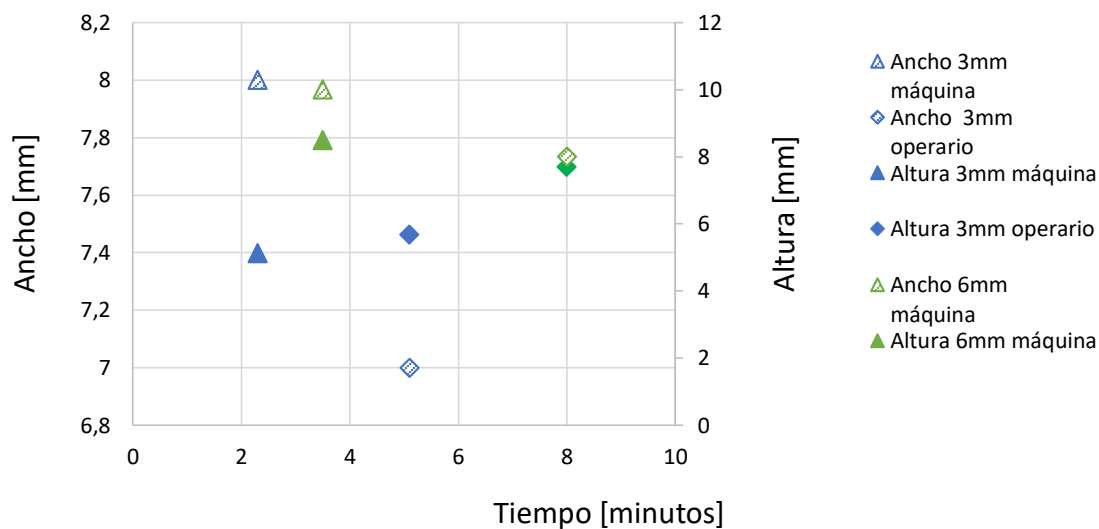
En la ejecución del cordón de soldadura, se toma como referencia a evaluar el ancho, la altura y tiempo empleado por la máquina y el operario, obteniendo como resultado lo siguiente:

La máquina realiza un cordón más ancho y con más altura a diferencia del operario, dando mayor cobertura a la junta entre placas. En cuanto al tiempo de ejecución de soldadura en comparación con el operario el tiempo empleado es menor, dando así un óptimo resultado al momento de soldar.

**Figura 41**

*Análisis máquina vs operario*

Criterios del cordón de soldadura, máquina VS operario, placa de 3 y 6 mm



*Nota.* En la figura se observa la comparación de la máquina vs el operador.

En la figura 41 podemos observar los parámetros de soldadura de ancho, altura en relación al tiempo, dando como resultado lo siguiente: en la placa de tres milímetros la máquina emplea un tiempo de 2.30 minutos con un ancho de cordón de 8 mm y una altura de 5,12 mm. El operario a su vez emplea 5.10 minutos, con un ancho de 7 mm y un altura de 5,68 mm

En la placa de seis milímetros se obtuvo los siguientes resultados: tiempo de ejecución empleado por la máquina es de 3.50 minutos con un ancho de 10 mm y una altura de 8,5. El operario empleó un tiempo de ejecución de 8 minutos con un ancho de 8 mm y altura de 7,7 mm

### 5.6 Validación de la hipótesis

El equipo automático portátil de inspección visual mediante visión artificial optimizará el proceso de soldadura MIG sobre superficies planas

- **Variable independiente:** Equipo automático portátil de inspección visual mediante visión artificial.
- **Variable dependiente:** Optimizará el proceso de soldadura MIG sobre superficies planas  
Para la validación, se presentan dos hipótesis, las cuales, según su determinación, permitirán establecer una conclusión final sobre el cumplimiento de la investigación y el desarrollo de las pruebas realizadas.
  - **Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** El equipo automático portátil de inspección visual mediante visión artificial no optimizará el proceso de soldadura MIG sobre superficies planas.
  - **Hipótesis alternativa ( $H_a$ ):** El equipo automático portátil de inspección visual mediante visión artificial optimizará el proceso de soldadura MIG sobre superficies planas.

### 5.7 Validación control de calidad

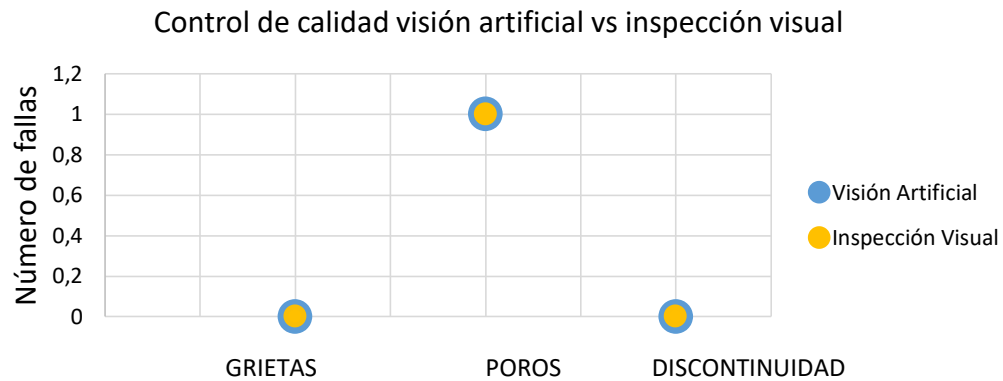
Para realizar la validación del control de calidad realizamos comparaciones entre una inspección visual realizada por un inspector de soldadura calificado, y nuestro sistema de visión, obteniendo los mismos resultados.

### 5.7.1 Control de calidad

En la figura 40, se puede observar que el control de calidad realizado por el sistema de visión de la máquina es óptimo porque nos da los mismos resultados que el reporte realizado por un inspector obteniendo los siguientes resultados número de grietas cero, discontinuidades cero, y poros se observa uno en los dos casos.

**Figura 42**

*Control de calidad de visión vs inspección visual*



*Nota.* La imagen muestra la calidad de visión mediante la máquina y la inspección visual por medio de un profesional en el área de soldadura.

### 5.7.2 Determinación de Costos en Operaciones de Soldadura

$$\text{costo electrodo} = \frac{(\$)}{m.l} = \frac{Pmd(Kg/ml) * \text{valor electrodo}(\$ / kg)}{\text{eficiencia deposición}(\%)}$$

$$\text{costo electrodo} = \frac{(\$)}{m.l} = \frac{110(Kg/ml) * 40(\$ / kg)}{93(\%)} = 47,31 \frac{(\$)}{m.l}$$



### 5.7.3 Determinación de Costos mano de obra operario manual

$$\text{costo M. O y G. Generales} = \frac{(\$)}{m.l} = \frac{Pmd(Kg/ml) * \text{valor M. O y G. G}(\$ /hr)}{\text{velocidad deposición}(kg/h) * F. \text{operación}(\%)}$$

$$\text{costo electrodo} = \frac{(\$)}{m.l} = \frac{110(Kg/ml) * 25(\$ /hr)}{1,5(kg/h) * 30(\%)} = 61,11 \frac{(\$)}{m.l}$$

### 5.7.4 Determinación de Costos mano de obra semiautomático

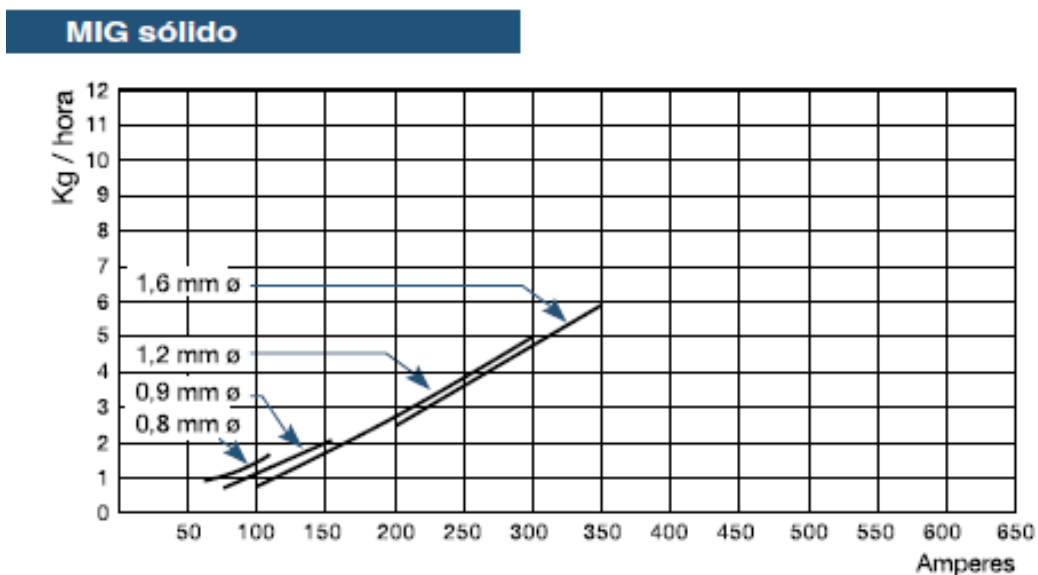
$$\text{costo electrodo} = \frac{(\$)}{m.l} = \frac{110(Kg/ml) * 20(\$ /hr)}{1,5(kg/h) * 70(\%)} = 20,95 \frac{(\$)}{m.l}$$

## 5.8 Análisis de la velocidad de deposición

Según la figura 43 indica la gráfica amperes/kg/hora en el proceso de soldadura MIG.

Figura 43

*Control de calidad de visión vs inspección visual*



*Nota.* Se observa el crecimiento de Kg/hora por cada amperaje que se eleve en el equipo de soldar. Tomado de (INDURA, 2013)

Según la gráfica de velocidad de deposición del manual INDURA se selecciona el diámetro de alambre de 0,9mm con lo que se obtuvo los siguientes parámetros: amperios en un rango de 60-150A y PMG en un rango de 0,5 a 2,5 kg/hora.

**Tabla 71.**

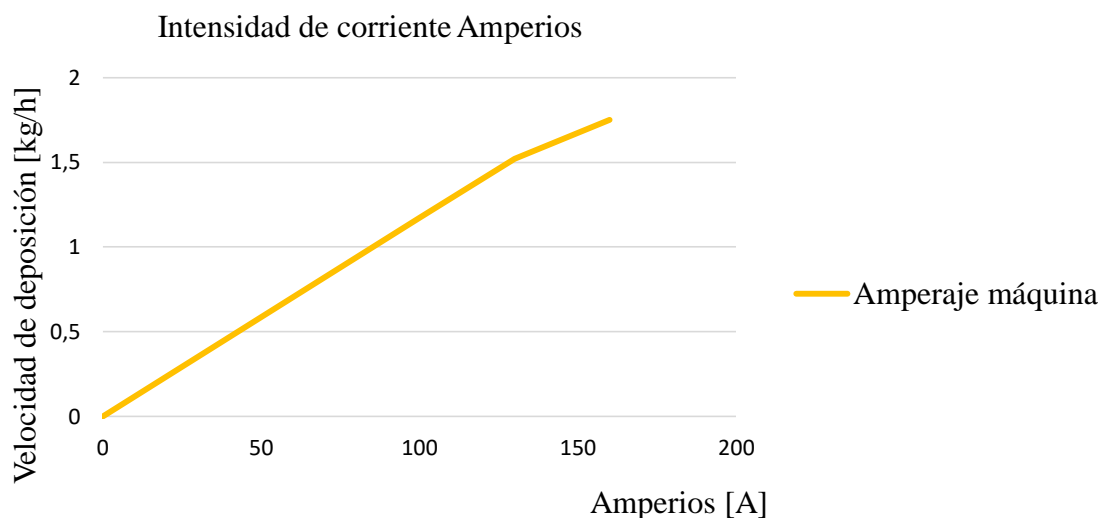
*Tabla de amperajes*

Amperaje máquina	kg/h
0	0
100	1,17
130	1,52
160	1,75

*Nota.* La tabla siguiente se determina los valores del material en kilogramo/hora con respecto a los diferentes amperajes.

**Figura 44**

*Intensidad de corriente*



*Nota.* En la siguiente figura se observa la gráfica de la velocidad de deposición del material vs los amperios utilizados.

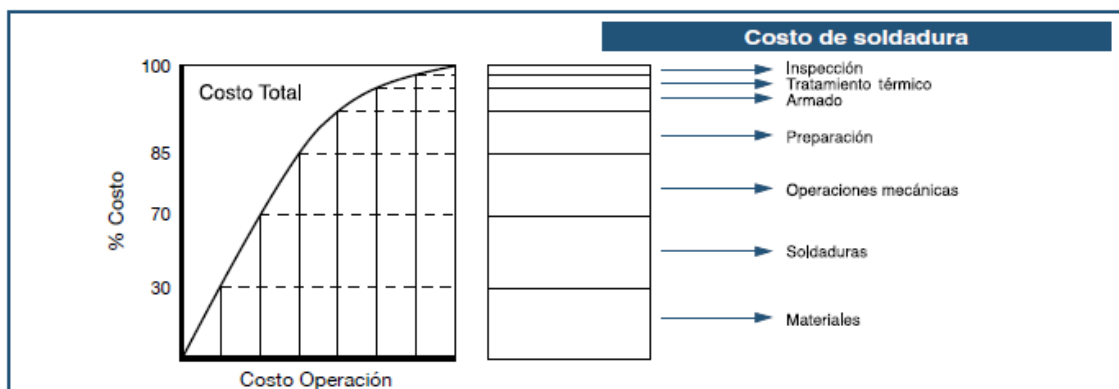
Según la figura 44, la velocidad de deposición en la ejecución del cordón por la máquina obtuvo los siguientes parámetros: amperios en un rango de 100-160A y PMG en un rango de 1,17 a 1,75 kg/hora, es decir que se encuentra dentro de los parámetros establecidos según el manual de INDURA.

## 5.9 Costo de soldadura

En la siguiente gráfica se observan los costos de soldadura vs los de operación.

Figura 45

*Costos de soldadura*



*Nota.* En la figura se observa el crecimiento de costos en cuanto al de operación. Tomado de (INDURA, 2013)

Según la figura 43, se tiene varios criterios a considerar los costos de soldadura, donde cada operación representa un gasto como el costo de material, soldadura y operaciones mecánica que representan el 30%, 40% y 15% respectivamente, donde las tres últimas operaciones representan solamente el 15%. En la tabla 72, se observó los datos del costo operario vs costo máquina.

**Tabla 72.**

*Costos de soldadura*

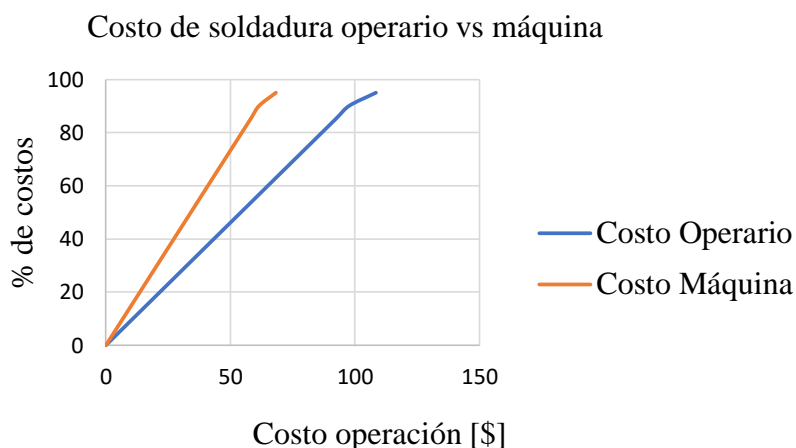
% de Costos	Costo Operario	Costo máquina
0	0	0
30	32,53	20,48
70	75,89	47,78
85	92,16	58,02
90	97,58	61,43
95	108,42	68,26

*Nota.* La tabla siguiente se determina los valores del material en kilogramo/hora con respecto a los diferentes amperajes.

En la figura 46, se observa que el costo de soldadura de la máquina tiene un valor de 70 costo operación, mientras que del operario es de 110 costo de operación, dando como resultado que la maquina tiene un menor costo de soldadura.

**Figura 46**

*Costos de soldadura operario vs máquina*



*Nota.* Costo de soldadura del operario en comparación con la máquina.

Para determinar el costo consumible de la energía eléctrica se usa la siguiente ecuación:

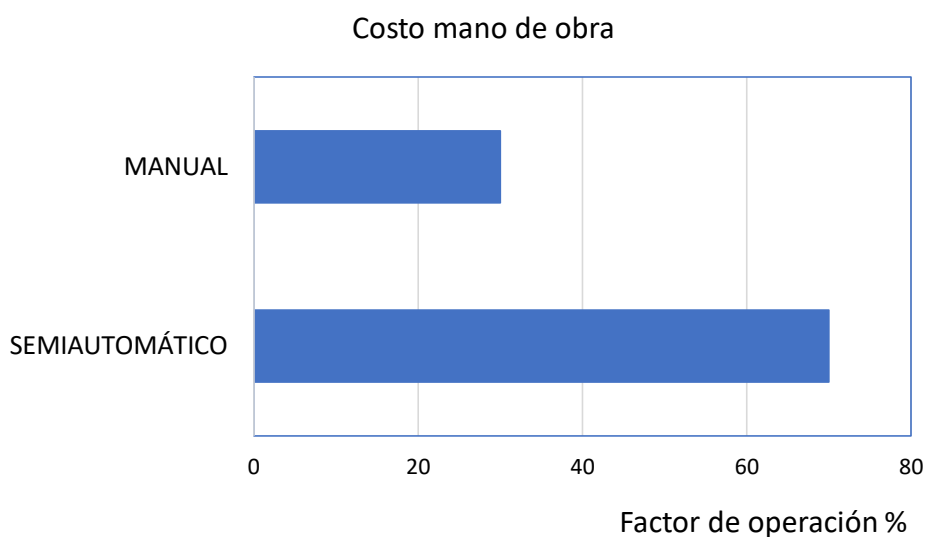
$$\begin{aligned}
 kw h &= \frac{volts * Amps * Factor de potencia * tiempo en horas}{1000} \\
 &= \frac{18,5v * 130A * 0,9 * 0,05h}{1000} = 2,16
 \end{aligned}$$

### 5.10 Costo mano de obra

Para realizar una estructura soldada el costo de la mano de obra depende de la cantidad de soldadura, velocidad de deposición, factor de operación como se muestra en la figura 47.

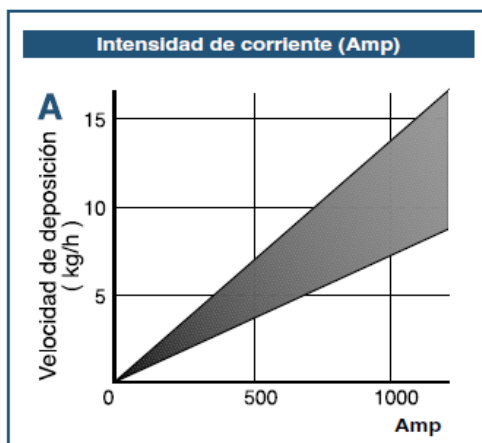
**Figura 47**

*Factor de operación*



*Nota.* En la gráfica se observan los factores de operación manual y semiautomática del equipo portátil de soldadura.

Según el manual INDURA nos indica que a medida que se eleva la corriente de soldadura aumenta la cantidad de deposición, como se muestra en la figura 48.

**Figura 48***Intensidad de corriente*

*Nota.* En la imagen se observa la velocidad a la que se debe soldar en función de la calibración de la corriente de la máquina. Tomado de (INDURA, 2013)

En la tabla 73, se indican los parámetros antes mencionado, con los valores obtenidos en la máquina de soldar.

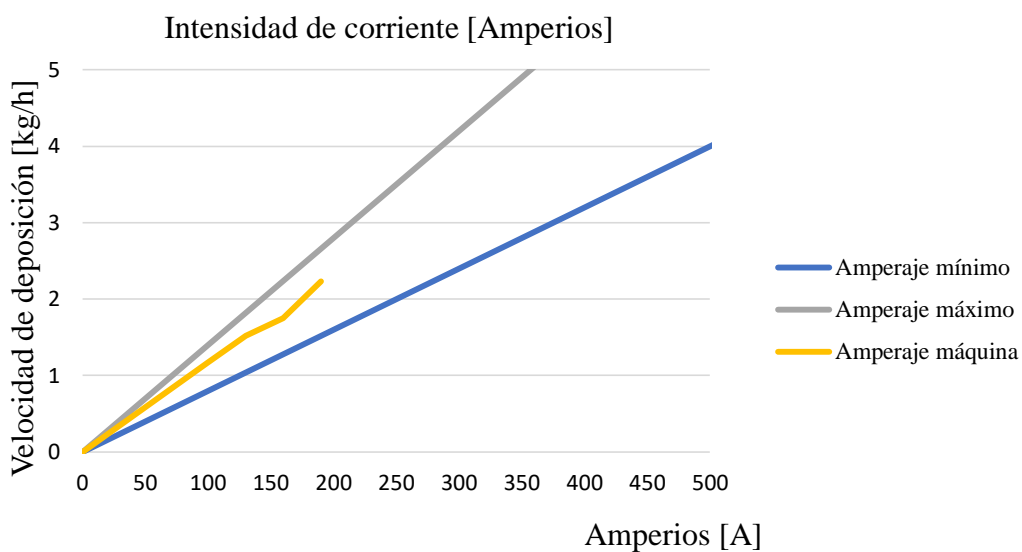
**Tabla 73.***Valores de amperaje para platinas*

Espesor	Amperaje máquina	kg/h
	0	0
3mm	100	1,17
	130	1,52
6mm	160	1,75
	190	2,23

*Nota.* En la tabla se observan los amperajes que deben poseer las platinas para soldar.

**Figura 49**

*Velocidad vs intensidad de corriente*



*Nota.* En la figura se observa que a mayor amperaje más consumo de material.

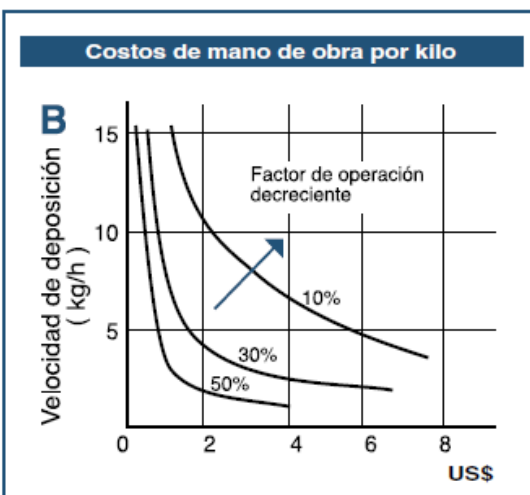
Como se observa en la figura 49, la máquina tiene un consumo de material de 1,4kg/h en los 120 A mientras que el rango máximo del operario es de 1,7kg/h en los 120 A, lo que nos indica que la máquina usa menos material optimizando el consumo de material.

En la figura 50, se muestra la relación que existe entre la velocidad de deposición y costo de la mano de obra.



Figura 50

Costos de mano de obra por kilo



*Nota.* La gráfica representa el costo de mano obra por kilogramo de deposición del operario. Tomado de (INDURA, 2013).

La relación de costo de mano de obra de la máquina, se determina que a mayor cantidad de deposición del material de soldadura menor costo.

En la siguiente tabla, se observa que a mayor cantidad de deposición del material el costo de la mano obra de la máquina disminuye.

Tabla 74.

Valores de deposición vs costo

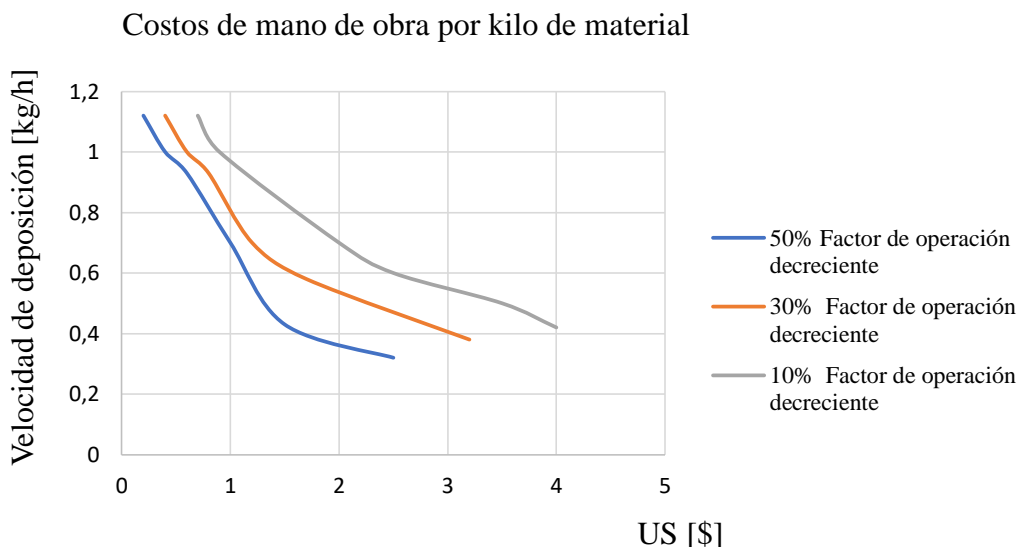
50%		30%		10%	
\$	kg/h	\$	kg/h	\$	kg/h
0,2	1,12	0,4	1,12	0,7	1,12
0,4	1	0,6	1	0,9	1
0,6	0,93	0,8	0,93	2	0,7
1	0,7	1,2	0,7	2,5	0,6
1,5	0,43	1,7	0,58	3,5	0,5
2,5	0,32	3,2	0,38	4	0,42

*Nota.* En la tabla se observan los costos de soldadura por cada kg/h.

En la figura 51, se observa que el costo del cordón realizado por la máquina en los 1,2 kg/h es de \$2,5 al 50%, de \$3,2 al 30% y de \$4 al 10%, en relación al costo de un operario es de \$4 al 50%, de \$6,50 al 30% y de \$7,8 al 10%, por lo tanto, el costo de la máquina es menor al del operario.

**Figura 51**

*Costos de mano de obra por kilo*



*Nota.* La gráfica representa el costo de mano de obra por kilo de material en un 50, 30 y 10 por ciento de factor de operación.

Por la tanto, se determina que el equipo automático portátil de inspección visual mediante visión artificial optimiza el proceso de soldadura MIG sobre superficies planas, debido a que, con el desarrollo de las pruebas realizadas, evaluadas y aprobadas mediante una certificación de soldadura, se descartó la hipótesis nula. Los procesos de soldadura se realizaron con una alta calidad y de manera exitosa.

## Capítulo VI

### 6. Conclusiones y recomendaciones

#### 6.1 Conclusiones

- Para realizar el proceso de soldadura en una placa de 3mm de acero ASTM-A36, se determinó que para obtener un cordón de buena calidad en la posición plana se requiere una velocidad de 0,65 cm/seg, en la horizontal de 0,3 cm/seg, mientras que en la posición inclinada es de 0,5 cm/seg.
- En el proceso de soldadura de una placa de 6mm de acero ASTM-A36, para obtener un cordón óptimo en la posición plana se utilizó una velocidad de 0,4 cm/seg, en la horizontal de 0,5 cm/seg, finalmente en la posición inclinada es de 0,3 cm/seg.
- Se compararon valores de costo de operación vs máquina, teniendo como resultados que el costo de la mano de obra de un soldador es de \$61,11 dólares americanos, mientras que el de la máquina es de \$20,95 dólares americano, por lo tanto se puede concluir que se tiene un ahorro de un 34,28% al momento de realizar el proceso de soldadura MIG.
- Al momento de comparar el proceso de soldadura de la máquina vs el operador se pudo concluir que tiene una mejora de un 46% en cuanto a tiempo de ejecución con el material de aporte R70S-6
- Se comparó el control de calidad con la visión artificial e inspección visual, teniendo como resultados la observación de un poro, cero grietas y cero discontinuidades, por lo

tanto mediante la normativa ANSI-AWS-D1.1, se concluye que se encuentra en los rangos establecidos para que este puede ser aceptado.

- Mediante la utilización de software CAD se logró realizar el diseño en su totalidad, para su comprobación se realizó un análisis CAE con la finalidad de determinar su diseño correcto, ya que se obtuvo valores de factor de seguridad superiores a 1 en todos sus componentes, lo que significa que no va a tener falla al momento de realizar el proceso de soldadura.
- Finalmente, con la realización de las pruebas de funcionamiento del proceso, se logró validar el diseño y control de calidad del mismo, con esto, se concluye que el equipo funciona de forma correcta y permitió realizar un proceso de soldadura automatizado con la disminución de riesgos para el operario, además de permitir el desarrollo de un cordón de soldadura con mayor precisión y sin discontinuidad.

## 6.2 Recomendaciones

- Implementar el proceso de soldadura MIG para materiales de acero inoxidable, debido a que el material posee propiedades mecánicas muy diferentes al acero A-36, además se puede destacar que dicho material es utilizado en la industria metal mecánica.
- En el equipo realizado se puede implementar el proceso SMAW, para diferentes procesos de soldadura.
- Para lograr un mayor alcance de ejecución de soldadura del equipo portátil se puede implementar unas baterías recargables.
- Tener un ambiente adecuado en un rango estimado de 400 a 600 lux para el uso de la visión artificial, debido a que los cambios de luz que pueden afectar en la adquisición de datos.
- Mediante una aplicación móvil se puede implementar un control remoto para mayor facilidad del operador.

## Bibliografía

- Adafruit learning system. (4 de 01 de 2021). *Adafruit learning system*. Obtenido de <https://cdn-shop.adafruit.com/pdfs/raspberrypi2modelb.pdf>
- alacero. (2020). *alacero*. Obtenido de <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/caracteristicas-del-acero>
- Alcalá, L. (2018). *ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURAS PARA LA FABRICACIÓN DE PUENTES PEATONALES TIPO I.D.U, BASADA EN LAS ESPECIFICACIONES CONTRACTUALES*. BOGOTÁ: U. LIBRE - FACULTADA DE INGENIERÍAS - ESPECIALIZACIÓN EN SOLDADURA.
- Andrade Molina, D. S. (2014). *Plan de seguimiento, control y monitoreo de la implementación del sistema integrado de gestión para la distribución eléctrica - Sigde en las empresas eléctricas de distribución a nivel nacional*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Arbaev, T. (2019). *Foto de archivo - Símbolo de la antena de metal aislado en blanco*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2019, de 123RF: [https://es.123rf.com/photo\\_21378415\\_s%C3%ADmbolo-de-la-antena-de-metal-aislado-en-blanco.html?fromid=SzNIVnlWa1M3UVpQWTQ5MVNuOVhsdz09](https://es.123rf.com/photo_21378415_s%C3%ADmbolo-de-la-antena-de-metal-aislado-en-blanco.html?fromid=SzNIVnlWa1M3UVpQWTQ5MVNuOVhsdz09)
- Arcos Montezuma, J. A. (2010). *Diseño y construcción de un transmisor de nivel capacitivo*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Arduino. (2020). *Arduino Due*. Recuperado el 01 de Mayo de 2020, de <https://store.arduino.cc/usa/due>
- ARDUINOMODULES. (2020). *ARDUINOMODULES*. Obtenido de <https://arduinomodels.info/ky-008-laser-transmitter-module/>
- Becerra, V. (19 de Diciembre de 2016). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/18/sensores-y-actuadores/>
- BricoGeek. (2020). *BricoGeek*. Obtenido de <https://tienda.bricogeek.com/teensy/549-teensy-32.html>

- Cabrera, J. (2016). *INFLUENCIA DE LA ENERGÍA APORTADA A LA SOLDADURA GMAW DE LA ALEACIÓN 5086-H1116 SOBRE LA MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESISTENCIA Y DUREZA*. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Calero Freire, F. M. (2007). *Estudio técnico-económico de la implementación del centro de control de las centrales hidroeléctricas Illuchi 1 e Illuchi 2 de Elepco S.A.* Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Calo, C., & Ortega, A. (2017). *ELABORACIÓN DE GUÍAS PRÁCTICAS PARA LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE SOLDADURA EN EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DURANTE EL PERIODO 2013*. Latacunga: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.
- Castro Vázquez, J. C. (2019). *Integración de subestaciones al sistema avanzado para el manejo de la distribución del Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- cdmxelectronica. (2020). *cdmxelectronica*. Obtenido de <https://cdmxelectronica.com/producto/modulo-ky-040-sensor-encoder-rotativo/>
- Chacon, D. (2001). *Supervisión y control de procesos*. O.D.
- Chapaca, J., & Moreno, R. (2016). *Análisis de la tasa de aportación en los procesos GMAW*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Chapaca, J., & Moreno, R. (2016). *Análisis de la tasa de aportación en los procesos GMAW*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación Industrial* (Octava edición ed.). Barcelona: Marcombo.
- CTR ELECTRONICS. (2020). *CTR ELECTRONICS*. Obtenido de <https://andymark-weblinc.netdna-ssl.com/media/W1siZiIsIjIwMTkvMDcvMTIvMTIvMTAvMzUvNzgxZjI1OGQtMzFkMS00NWU1LTIIMGIyYThY2UzNDM0MGY5L0NUUkUgTWFnbmV0aWMgRW5jb2RlciBEYXRhc2hlZXQucGRmI1d/CTRE%20Magnetic%20Encoder%20Datasheet.pdf?sha=7f6ee8255d43a5a8>
- Desertcart. (2020). *Desertcart*. Obtenido de <https://www.desertcart.ec/products/49869213-lewan-soul-hiwonder-ld-3015-mg-standard-full-metal-gear-digital-servo-with-17-kg-high-torque-for-rc-robot-car-control-angle-270>
- Díez, D. (2015). *Análisis de inclusiones en acero. Metalografía, normativa y procedimientos de análisis*. Madrid: Aliendalde Auzunea.

- discoazul. (30 de 12 de 2020). *discoazul*. Obtenido de <https://www.discoazul.com/webcam-leotec-one-480p.html>
- Electrónicos Caldas. (2020). *Electrónicos Caldas*. Recuperado el 01 de Mayo de 2020, de <https://pi4j.com/1.2/pins/model-2b-rev1.html>
- Elepco S.A. (2018). *Plan Estratégico 2018-2021*. Recuperado el 05 de Agosto de 2019, de Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.: <https://elepcosa.com.ec/wp-content/uploads/2019/01/Plan-Estrat%C3%A9gico-2018-2021.pdf>
- Empresa Eléctrica Quito. (27 de Noviembre de 2014). *la EEQ inicia la segunda fase del sistema Scada/OMS-MWM/DMS a nivel nacional*. Recuperado el 08 de Agosto de 2019, de Empresa Eléctrica Quito: [http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset\\_publisher/PDd0RO7ISu5d/content/la-eeq-inicia-la-segunda-fase-del-sistema-scada-oms-mwm-dms-a-nivel-nacional;jsessionid=EB7E9327D6EFB4CCC8BBDBA46783BEC1](http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset_publisher/PDd0RO7ISu5d/content/la-eeq-inicia-la-segunda-fase-del-sistema-scada-oms-mwm-dms-a-nivel-nacional;jsessionid=EB7E9327D6EFB4CCC8BBDBA46783BEC1)
- ERBOAL. (03 de 02 de 2020). Recuperado el 18 de 03 de 2021, de PQR Formato: <https://es.scribd.com/document/425755557/pqr-formato>
- Espejo Marín, C., & García Marín, R. (2010). Agua y energía: producción hidroeléctrica en España. *Investigaciones Geográficas*(51), 107-129.
- ETITC, P. d. (08 de 07 de 2016). Recuperado el 16 de 04 de 2021, de Proceso de soldadura y simbología: <https://sites.google.com/site/procesosdemanufacturaetitic/tipos-de-procesos/proceso-de-soldadura>
- Fernández, I. (10 de Enero de 2017). *Comunicación láser: qué es, de dónde viene y por qué es el futuro de las redes*. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de Nobbot. Tecnología para las personas: <https://www.nobbot.com/futuro/comunicacion-laser/>
- Flores, R. (2017). *Soldadura por Ultrasonido*. Argentina: Universidad Nacional de San Juan.
- FRLR. (2020). Control PID. *Sistemas de control aplicado, Universidad Tecnológica Nacional*, (1) 1-69.
- García, A. (2019). *Optimización de los parámetros de soldadura en el proceso de arco eléctrico con protección de gas (GMAW) para soldar un acero A-27*. Saltillo: Corporación Mexicana de Investigación de Materiales.



- González Arias, A. (2001). *¿Qué es el magnetismo?* Salamanca: Universidad de Salamanca.
- GrupoVelasco. (2020). *GrupoVelasco*. Obtenido de <http://www.velasco.com.ec/velasco/producto.php?id=2798>
- Guimerans, P. (5 de Mayo de 2018). *¿Qué es un sensor? Tipos y diferencias*. Obtenido de PrototipadoLAB: <http://paolaguimerans.com/openeart/?p=1372>
- Hernández González, H. I. (2014). *Diseño y construcción de una interfaz para comunicar los dispositivos de la red eléctrica con la unidad terminal remota*. Universidad de Montemorelos.
- Herrero, I. B. (2020). *iberobotics*. Obtenido de <https://www.iberobotics.com/producto/pantalla-lcd-20x4-con-comunicaciones-i2c-y-serie/>
- HobbyKing. (2020). *components101*. Obtenido de <https://components101.com/motors/mg996r-servo-motor-datasheet>
- Iglesias, A., Estrela, T., & Gallart, F. (2005). 7. Impactos sobre los recursos hídricos. En *Impactos del cambio climático en España* (págs. 303-354).
- IndraCompany. (06 de Noviembre de 2013). *Satélite*. Recuperado el 01 de Septiembre de 2019, de Flickr: <https://www.flickr.com/photos/107807415@N05/10706453963/in/photolist-hj6nKR-ScXqqq-NxFEgW-P4HsBU-M5Zg-Qi21ja-Qi1ZB8-Pc1om5-Pc1nGQ-5CiE2n-Pc1nyU-e4ZyBB-PeJDg8-Pc1o2h-Pc1nwE-Pc1nMQ-Pc1p6G-ag7yin-uRQgx-puU95-b81NBR-28qWEKs-AFape-6e7DwR-tqYMnK-9JQ3Qr-93DRny-8>
- INDURA. (2013). *MANUAL DE SISTEMAS Y MATERIALES DE SOLDADURA*. Cerrillos.
- Informática Moderna. (2020). *Antena Omnidireccional*. Recuperado el 04 de Mayo de 2020, de [http://www.informaticamoderna.com/Antena\\_indoor.htm](http://www.informaticamoderna.com/Antena_indoor.htm)
- Jaramillo Garzón, H. J., & Quito García, J. P. (2016). *Implementación de un módulo de instrumentación para medir y controlar variables de presión, temperatura, caudal y nivel, en el Laboratorio de Automatización Industrial en la Facultad de Mecánica de la ESPOCH*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Jiménez, M. (2015). *Desarrollo de un sistema de visión artificial para la detección de aglomeración de personas en un semáforo*. Loja: Universidad Nacional de Loja.

- Jinan USR IOT Technology. (2020). *USR-TCP232-410S Serial to Ethernet Converter, Modbus RTU to TCP*. Recuperado el 06 de Mayo de 2020, de USR IOT:  
<https://www.usriot.com/products/modbus-serial-to-ethernet-converters.html>
- LINIO. (4 de 1 de 2021). *LINIO*. Obtenido de <https://www.linio.com.pe/p/395-pulgadas-lcd-tft-display-395inch-395in-mo-dulo-lcd-para-arduino-con-tacto-multicolor-wyt1q5>
- Llamas, L. (15 de Marzo de 2017). *Implementar un filtro de media móvil rápido en arduino*. Recuperado el 07 de Mayo de 2020, de <https://www.luisllamas.es/arduino-filtro-media-movil/>
- Lucio Cruz, M. A., & Trávez Pillo, O. (2005). *Telemetría y control de alarmas de los tanques de presión de las centrales generadoras de Illuchi con la ayuda de la plataforma LabVIEW*. Latacunga: Escuela Superior Politécnica del Ejército.
- Lux Monroy, M. A. (2010). *Medidores de flujo en canales abiertos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- MEDIAPRICE. (29 de 12 de 2020). *MEDIAPRICE*. Obtenido de [https://www.mediaprice.com.ec/producto/camara-web-pc-hd-720p-1280x720-webcam/?gclid=CjwKCAiAxKv\\_BRBdEiwAyd40N4gVnpvtBbFNh\\_UbSXMIeLE9Bb4pWI-bKTVu9Utg7Wylsw8D9B8ahoCDk8QAvD\\_BwE](https://www.mediaprice.com.ec/producto/camara-web-pc-hd-720p-1280x720-webcam/?gclid=CjwKCAiAxKv_BRBdEiwAyd40N4gVnpvtBbFNh_UbSXMIeLE9Bb4pWI-bKTVu9Utg7Wylsw8D9B8ahoCDk8QAvD_BwE)
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (Abril de 2012). *Especificaciones Técnicas SCADA/OMS/MWM/DMS*. Recuperado el 11 de Agosto de 2019, de Proyecto SIGDE: <https://docplayer.es/1142390-Tabla-de-contenido-especificaciones-tecnicas-scada-oms-mwm-dms-02-arquitectura-2-1.html>
- MovilTronics. (2020). *MovilTronics*. Obtenido de <https://moviltronics.com/tienda/servomotor-mg996-12kg/>
- NayLamp Mechatronics. (2020). *NayLamp Mechatronics*. Recuperado el 03 de Mayo de 2020, de <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-lm2596.html>
- Nogué, A., & Antiga, J. (2018). *Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales*. Catalunya: Institut La Garrotxa.
- NOVUS. (2003-2019). *LogBox-RHT-LCD - Registrador Electrónico de Umedad y Temperatura*. Recuperado el 18 de Octubre de 2019, de NOVUS Productos Electrónicos:

[https://www.novusautomation.com/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=735409&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout\\_producto.asp&ProductoID=848170&Idioma=34#](https://www.novusautomation.com/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=735409&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_producto.asp&ProductoID=848170&Idioma=34#)

Pepperl + Fuchs SE. (2020). *Sensores ultrasónicos*. Recuperado el 05 de Agosto de 2020, de [https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid\\_182.htm](https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid_182.htm)

Pepperl+Fuchs Group. (2007). *Ultrasonic sensor*. Recuperado el 10 de Agosto de 2020, de UC6000-30GM-E6R2-V15: <https://docs.rs-online.com/9dc1/0900766b800b44e8.pdf>

Pérez, C. (2016). *Ajustes y preparación en soldadura MIG/MAG*. Zaragoza.

PEWATRON. (2020). *PEWATRON*. Obtenido de <https://www.pewatron.com/en/products/linear-position-sensors-angle-sensors/product/e4t/#:~:text=E4T%20%E2%80%93%20the%20compact%20miniature%20optical%20encoder%20of,others%2C%20such%20as%20door%20controls%2C%20in...%20Read%20more>.

Pino, F. (2019). *VIX*. Obtenido de <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4426/caracteristicas-del-aluminio>

Porras Ortiz, E. R. (2011). *Estudio en el banco de pruebas "tutor" para determinar la potencia y eficiencia de las turbinas Pelton y Francis en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Ramirez, F. (2016). *Prensa montadora para la preparación de muestras para análisis mtalalográfico*. Quito.

Rangel, R. (2013). *Medios de transmisión*. Recuperado el 01 de Agosto de 2019, de Universidad Virtual del Estado de Guanajuato UVEG: <http://roa.uveg.edu.mx/repositorio/licenciatura/210/Mediosdetransmisin.pdf>

Red Tauros. (2019). *Radio enlaces terrestres. Microondas*. Recuperado el 05 de Octubre de 2019, de Red Tauros.

Salazar Polanco, M. E. (2015). *Análisis del sistema de información de la dirección de comercialización de la Empresa Eléctrica Quito 2009-2014 y escenarios para la implementación de un nuevo sistema*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

SanDoRobotics. (28 de 12 de 2020). *SanDoRobotics*. Obtenido de <https://sandorobotics.com/producto/mg995/>

- Schneider Electric. (2019). *TWD USE 10AS*. Recuperado el 07 de Mayo de 2020, de Controladores programables Twido. Guía de referencia de hardware: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=31004123K01001.pdf&p\\_Doc\\_Ref=31004123K01001](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=31004123K01001.pdf&p_Doc_Ref=31004123K01001)
- Shenzhen Friendcom Telecom Co.,Ltd. (2010). *FC-201/SP*. Recuperado el 06 de Mayo de 2020, de <http://img04.b2b.hc360.com/pic-4/handbook-pic-6/4-6-75546.pdf>
- Shigley. (s.f.). *Diseño Mecánico en Ingeniería*. México .
- Siemens. (01 de Enero de 2018). *Lista de precios, productos industriales eléctricos*. Recuperado el 18 de Octubre de 2019, de <https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/ecuador/Documents/lista%20de%20precios.pdf>
- Silver Instruments. (2020). *El principio de funcionamiento del sensor de nivel ultrasónico*. Recuperado el 02 de Mayo de 2020, de <https://es.silverinstruments.com/blog/the-working-principle-of-ultrasonic-level-sensor.html>
- Smith, H. L. (Abril de 2010). A brief History of Electric Utility Automation Systems. *Electric Energy T&D Magazine*, 14, 39-44.
- SMITH, W. F. (2017). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. En W. F. SMITH, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. (pág. 925). España: McGRAW-HILL.
- Telecomunicaciones TICS. (2014). *6.6. Comunicación por infrarrojo*. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de Instituto Tecnológico de Aguascalientes: [https://telecomunicaciones2.webnode.mx/unidad-6/a6-6-comunicacion-por-infrarrojo- /](https://telecomunicaciones2.webnode.mx/unidad-6/a6-6-comunicacion-por-infrarrojo/)
- Tigse Bravo, W. P. (2010). *Diseño e implementación de un módulo data logger enlazados con una red zigbee, para registros de datos de variables ambientales*. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta Edición ed.). México D.F.: Pearson Educación.

- Tonato Muzo, M. C. (2009). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo del nivel de combustible para los tanques de la central de generación en el campo Cuyabeno Petroproducción*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Urgilés, V. (2018). *Estudio de calidad de la soldadura en las edificaciones metálicas*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Vallejo, H. D. (2019). PLC Los controladores lógicos programables. *Saber Electrónica*(166), 3-11.
- VEX.ROBOTICS. (2020). *VEX.ROBOTICS*. Obtenido de <http://www.vexrobotics.com.mx/vexpro/vexpro-motors/vexpro-motors.php>
- Virual Expo Group. (2019). *Unidades terminales remotas*. Recuperado el 18 de Octubre de 2019, de Directy Industry: <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/unidad-terminal-remota-95772.html>
- Wolf, S., & Smith, R. (1992). *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio*. México D.F.: Pearson Educación.
- XATACA. (06 de 01 de 2021). *XATACA*. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/arduino-raspberry-pi-que-cuales-sus-diferencias>

**Anexos**