



**Repotenciación de la celda de soldadura robotizada que incluye el brazo robótico KUKA KR5-Arc, mesa posicionadora, sujetadores y sistema articulado de extracción localizada de humos de soldadura en el Laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Sede Latacunga.**

Andrade Barrionuevo, Kevin Joel y Curay Mullo, Alexander Javier

Departamento de Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

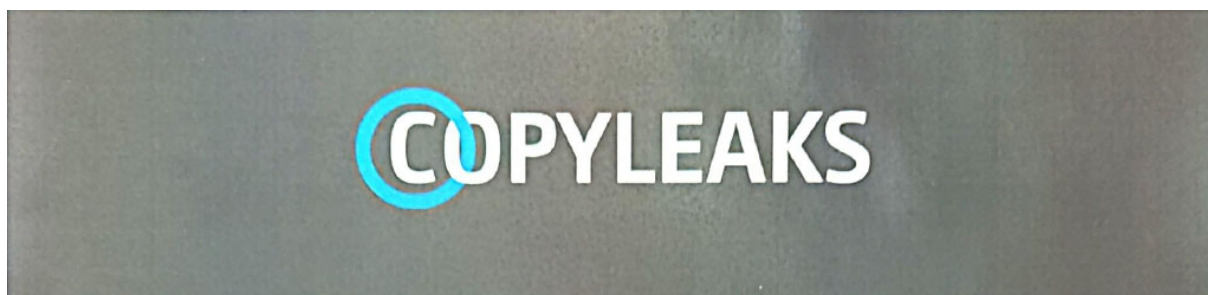
Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Singaña Amaguaña, Marco Adolfo

17 de agosto del 2022

Latacunga

## Reporte de verificación de contenido



Trabajo de Integración Curricular\_Repotenciación Celda Solda...

Scanned on: 22:19 August 17, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| Identical Words          | 198 |
| Words with Minor Changes | 32  |
| Paraphrased Words        | 156 |
| Omitted Words            | 511 |

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Marco Adolfo Singaña Amaguaña".

Ing. Singaña Amaguaña Marco Adolfo

C.C: 0501627889



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

### Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "Repotenciación de la celda de soldadura robotizada que incluye el brazo robótico KUKA KR5-Arc, mesa posicionadora, sujetadores y sistema articulado de extracción localizada de humos de soldadura en el Laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga" fue realizado por los señores **Andrade Barrionuevo, Kevin Joel** y **Curay Mullo, Alexander Javier**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 17 agosto 2022

Firma:

Ing. Singaña Amaguaña Marco Adolfo

C.C: 0501627889



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Andrade Barrionuevo, Kevin Joel** y **Curay Mullo, Alexander Javier**, con cédulas de ciudadanía n°1850180538 y 0550052757, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Repotenciación de la celda de soldadura robotizada que incluye el brazo robótico KUKA KR5-Arc, mesa posicionadora, sujetadores y sistema articulado de extracción localizada de humos de soldadura en el Laboratorio de Robótica Industrial de 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, 17 agosto 2022

Firma

**Andrade Barrionuevo, Kevin Joel**

C.C.: 1850180538

**Curay Mullo, Alexander Javier**

C.C.: 0550052757



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

### Autorización de publicación

Nosotros **Andrade Barrionuevo, Kevin Joel y Curay Mullo, Alexander Javier**, con cédulas de ciudadanía n°1850180538 y 0550052757, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Repotenciación de la celda de soldadura robotizada que incluye el brazo robótico KUKA KR5-Arc, mesa posicionadora, sujetadores y sistema articulado de extracción localizada de humos de soldadura en el Laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 17 agosto 2022

Firma

Andrade Barrionuevo, Kevin Joel

C.C.: 1850180538

Curay Mullo, Alexander Javier

C.C.: 0550052757

### **Dedicatoria**

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico principalmente a mi familia por ser la luz y apoyo incondicional durante toda mi vida, quiero agradecer a mi abuelita Hilda Morales, y tía Patricia Lucero por siempre cuidarme, protegerme y preocuparse por mi bienestar demostrándome el significado de amor incondicional.

A mi padre y madre, Efraín Andrade y Rocío Barrionuevo, por demostrarme durante toda mi vida amor sincero y buenas costumbres, además de siempre trabajar arduamente por el bienestar mío y de mis hermanos, quiero atribuir más que a nadie todos mis logros y vida estudiantil a mi madre quien siempre supo ser mi mejor mentora. Agradezco infinitamente a Dios por tener una madre como ella.

A mis hermanos Danny y Derly que siempre fueron mi fuente de inspiración y mis apoyos cuando se me presentaban adversidades, siempre me demostraron con palabras y actos de amor que un hermano estará incondicionalmente en nuestras vidas.

Y finalmente quiero agradecer a todos mis amigos, que siempre me demostraron lealtad, cariño, les estoy eternamente agradecido, por cada palabra, actos de amor desinteresadamente y comprensión en mis momentos de locura y enojo. Gracias, Tomas C, Henry A, Patricio C, Néstor A, Iván C, Karen A, Fernanda D, Alexander C, Klever Ch, Andrés V, Bruno C, Andrés A, Alicia M, espero que la vida les recompense con muchas bendiciones.

**Kevin Joel Andrade Barrionuevo**

### **Dedicatoria**

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico principalmente a mi familia por cuidar de mi bienestar durante toda mi vida, apoyarme constantemente en mis sueños y velar por mi futuro.

A mi padre y madre, Marcelo Curay y Piedad Mullo por ser un ejemplo de perseverancia, disciplina y todas las bondades que los padres pueden brindar a sus hijos. A mis hermanos Alexandra y Patricio que siempre me apoyaron en mi carrera universitaria y nunca dudaron de mis capacidades.

Y finalmente quiero agradecer a todos mis amigos de la universidad, que me apoyaron y supieron brindarme una mano amiga durante toda mi carrera universitaria. Gracias Joel A, Klever Ch, Andree C, Andrés V, Henry A, Néstor A, Iván C, Patricio C, Fernanda D, Marlon C, Fernando S, espero que la vida les recompense con muchas bendiciones.

**Alexander Javier Curay Mullo**

### **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por todas las bendiciones que me ha dado durante todo el transcurso de mi vida estudiantil y personal, a mis padres que siempre velaron por mi salud, educación, brindándome amor y comprensión durante todo el transcurso de mi vida.

A mi Abuelita, tía y hermanos que cuidaron de mí, me apoyaron y han sido pilares en mi educación y vida, me han sabido guiar por el camino del bien, inculcándome con el ejemplo valores que me han servido para mi desenvolvimiento estudiantil y personal.

Al Ing. Marco Singaña quien ha hecho posible la realización del trabajo de integración curricular, impartiéndonos sus conocimientos y apoyo para culminar con mi carrera universitaria.

Y por último a todas mis amistades que supieron brindarme una mano amiga, durante toda la carrera, a todos ellos les agradezco inmensamente y les deseo buenos augurios en su vida profesional y personal.

¡GRACIAS!

**Kevin Joel Andrade Barrionuevo**



### **Agradecimiento**

En primer lugar, me gustaría agradecer a Dios y a mi familia por haberme guiado por el buen camino. Los valores y consejos impartidos por mis padres me han permitido culminar una etapa más de mi vida profesional. A mis hermanos que me apoyaron y me ofrecieron una visión profunda de conocimiento durante mi vida universitaria.

De igual manera me gustaría expresar mi gratitud a mi supervisor principal, Ing. Marco Singaña, quien me oriento con su conocimiento y experiencia a lo largo de este trabajo de integración curricular. A Don Patricio Anchatuña, quien es el colaborador dentro del Laboratorio de Robótica.

Deseo agradecer a mis amigos por su sincera amistad, me apoyaron hasta el final de la carrera universitaria, tienen una gran visión a futuro. Espero y anhelo que se cumplan satisfactoriamente sus metas y poder contar con su amistad a futuro.

¡GRACIAS!

**Alexander Javier Curay Mullo**

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Carátula.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>Reporte de verificación de contenido.....</b>              | <b>2</b>  |
| <b>Certificación .....</b>                                    | <b>3</b>  |
| <b>Responsabilidad de autoría .....</b>                       | <b>4</b>  |
| <b>Autorización de publicación .....</b>                      | <b>5</b>  |
| <b>Dedicatoria .....</b>                                      | <b>6</b>  |
| <b>Dedicatoria .....</b>                                      | <b>7</b>  |
| <b>Agradecimiento .....</b>                                   | <b>8</b>  |
| <b>Agradecimiento .....</b>                                   | <b>9</b>  |
| <b>Índice de contenidos .....</b>                             | <b>10</b> |
| <b>Índice de figuras .....</b>                                | <b>16</b> |
| <b>Índice de tablas .....</b>                                 | <b>19</b> |
| <b>Resumen.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>Abstract .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>Capítulo I: Introducción.....</b>                          | <b>24</b> |
| <b>Antecedentes .....</b>                                     | <b>24</b> |
| <b>Descripción del trabajo de integración curricular.....</b> | <b>25</b> |
| <b>Justificación e importancia .....</b>                      | <b>26</b> |
| <b>Alcance.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>Objetivos .....</b>  | <b>27</b> |

|   |    |
|---|----|
|   | 11 |
| <i>Objetivo general</i> .....                               | 27 |
| <i>Objetivos específicos</i> .....                          | 27 |
| <b>Metodología</b> .....                                    | 28 |
| <i>Metodología documental bibliográfico</i> .....           | 28 |
| <i>Metodología experimental</i> .....                       | 28 |
| <i>Metodología deductiva</i> .....                          | 29 |
| <i>Metodología inductiva</i> .....                          | 29 |
| <b>Hipótesis</b> .....                                      | 29 |
| <i>Variables independientes</i> .....                       | 29 |
| <i>Variables dependientes</i> .....                         | 29 |
| <b>Capítulo II: Fundamentación teórica</b> .....            | 30 |
| <b>Robótica industrial</b> .....                            | 30 |
| <b>Robots industriales</b> .....                            | 35 |
| <i>Estructura mecánica de los robots industriales</i> ..... | 37 |
| <i>Clasificación de los robots industriales</i> .....       | 38 |
| <b>Robots cartesianos (PPP)</b> .....                       | 39 |
| <b>Robots cilíndricos (RPP)</b> .....                       | 40 |
| <b>Robots esféricos (RRP)</b> .....                         | 40 |
| <b>Robots articulados</b> .....                             | 40 |
| <b>Robots SCARA</b> .....                                   | 41 |
| <b>Robots delta</b> .....                                   | 41 |
| <i>Aplicaciones de los robots industriales</i> .....        | 41 |
| <b>Robots manipuladores (a)</b> .....                       | 42 |
| <b>Robots soldadores (b)</b> .....                          | 43 |

|  |    |
|--|----|
| Robots de depósito de materiales (c) .....               | 43 |
| Robots de mecanizado (d) .....                           | 43 |
| Robots de paletizado (e).....                            | 43 |
| Robots de inspección de calidad (f).....                 | 44 |
| Herramientas de un robot manipulador .....               | 44 |
| <i>Criterios para la selección de herramientas</i> ..... | 47 |
| Celdas robóticas .....                                   | 47 |
| <i>Definición</i> .....                                  | 47 |
| <i>Componentes</i> .....                                 | 48 |
| <i>Accesorios</i> .....                                  | 49 |
| Mesa posicionadora.....                                  | 50 |
| Extractor de humo. ....                                  | 52 |
| Intercambiador de herramientas. ....                     | 53 |
| Banda transportadora.....                                | 54 |
| <i>Sistema de control</i> .....                          | 54 |
| Teach pendant.....                                       | 55 |
| Sistema de soldadura .....                               | 56 |
| <i>Definición</i> .....                                  | 56 |
| <i>Componentes</i> .....                                 | 58 |
| Capítulo III: Línea base del sistema .....               | 60 |
| Brazo robótico KUKA KR5 Arc .....                        | 61 |
| Mesa posicionadora.....                                  | 62 |
| <i>Tablero eléctrico</i> .....                           | 63 |
| <i>Componentes mecánicos</i> .....                       | 65 |
| <i>Programación</i> .....                                | 67 |

|  |           |
|--|-----------|
|  | 13        |
| <b>Jigs de soldadura.....</b>  | <b>69</b> |
| <i>Componentes mecánicos de sujeción de pieza .....</i>                      | <i>70</i> |
| <i>Estructura fija.....</i>  | <i>72</i> |
| <i>Sistema neumático .....</i>   | <i>73</i> |
| <b>Extractor de humos.....</b>   | <b>74</b> |
| <i>Estructura mecánica .....</i>   | <i>75</i> |
| <i>Tablero de control .....</i>  | <i>77</i> |
| <i>Sistema de filtrado.....</i>  | <i>78</i> |
| <b>Sistema de soldadura Fronius .....</b>                                    | <b>79</b> |
| <i>Estructura mecánica y electrónica .....</i>                               | <i>80</i> |
| <b>Hardware, software y programas de usuario del robot KUKA KR5 Arc.....</b> | <b>82</b> |
| <i>Hardware .....</i>  | <i>82</i> |
| <i>Software y programas .....</i>  | <i>83</i> |
| <b>Capítulo IV: Reconfiguración y repotenciación .....</b>                   | <b>85</b> |
| <b>Depuración de los archivos de usuario y sistema.....</b>                  | <b>85</b> |
| <b>Mesa posicionadora de soldadura. ....</b>                                 | <b>86</b> |
| <i>Tablero eléctrico .....</i>   | <i>86</i> |
| <i>Componentes mecánicos .....</i>   | <i>90</i> |
| <i>Programación.....</i>   | <i>91</i> |
| <b>Diseño de la programación del PLC para la mesa posicionadora. ...</b>     | <b>92</b> |
| <i>Programación del PLC para diferentes posiciones.....</i>                  | <i>92</i> |
| <i>Subrutina de posicionamiento. ....</i>                                    | <i>94</i> |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Programación del PLC para comunicación y control.</i> .....         | 95  |
| Diseño de la programación de interfaz de comunicación HMI. ....        | 96  |
| <i>Programación con y sin alineación de ejes.</i> .....                | 97  |
| <i>Programación principal.</i> .....                                   | 98  |
| Esquema de fuerza y potencia.....                                      | 99  |
| Jigs de soldadura.....   | 100 |
| Sistema articulado de extracción localizada de humos de soldadura..... | 102 |
| <i>Tablero de control</i> .....  | 102 |
| Configuración del sistema de comunicaciones entre dispositivos. ....   | 104 |
| Diagnóstico y gestión de la funcionalidad del software.....            | 105 |
| Capítulo V: Pruebas y resultados.....                                  | 107 |
| Control manual del brazo robótico .....                                | 107 |
| Mesa posicionadora de soldadura .....                                  | 107 |
| <i>Prueba de retorno a home</i> .....                                  | 108 |
| <i>Pruebas de comunicación</i> .....                                   | 109 |
| <i>Pruebas de repetibilidad</i> .....                                  | 110 |
| Jigs de soldadura.....   | 111 |
| Sistema articulado de extracción de humo .....                         | 113 |
| <i>Funcionamiento del extractor de humo</i> .....                      | 113 |
| <i>Comunicación del extractor de humos con el módulo WAGO</i> .....    | 113 |
| Comunicación entre dispositivos de la celda de soldadura robótica..... | 114 |
| Aplicación general de soldadura .....                                  | 114 |
| <i>Diseño de aplicación de soldadura</i> .....                         | 121 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Programación KUKA HMI 2.0</i> .....            | 122 |
| Entorno de programa principal.....                | 123 |
| Encendido y apagado de arco de soldadura.....     | 126 |
| Subprograma de mesa. ....                         | 127 |
| Subprograma puntos.....                           | 128 |
| Presupuesto invertido .....                       | 130 |
| Validación de hipótesis .....                     | 131 |
| Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones ..... | 136 |
| Conclusiones .....                                | 136 |
| Recomendaciones.....                              | 140 |
| Bibliografía .....                                | 143 |
| Anexos .....                                      | 145 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Instalación anual de robots industriales</i> .....                                    | 32 |
| <b>Figura 2</b> <i>Instalación de robots industriales en referencia a la aplicación industrial</i> ..... | 33 |
| <b>Figura 3</b> <i>Instalación anual de robots industriales por aplicación en el mundo</i> .....         | 34 |
| <b>Figura 4</b> <i>Elementos de los robots industriales</i> .....  | 36 |
| <b>Figura 5</b> <i>Estructura mecánica de un robot industrial</i> .....                                  | 37 |
| <b>Figura 6</b> <i>Tipos de articulaciones</i> .....   | 38 |
| <b>Figura 7</b> <i>Clasificación de robots clásicos</i> .....  | 39 |
| <b>Figura 8</b> <i>Clasificación de robots no clásicos</i> .....   | 40 |
| <b>Figura 9</b> <i>Clasificación de robots industriales por aplicaciones</i> .....                       | 42 |
| <b>Figura 10</b> <i>Herramientas terminales para robot</i> .....   | 46 |
| <b>Figura 11</b> <i>Componentes de una celda robótica</i> .....  | 49 |
| <b>Figura 12</b> <i>Accesorios de una celda robótica</i> .....   | 50 |
| <b>Figura 13</b> <i>Mesa Posicionadora</i> .....   | 51 |
| <b>Figura 14</b> <i>Jigs de soldadura</i> .....  | 51 |
| <b>Figura 15</b> <i>Extractor de Humo por Campana</i> .....  | 52 |
| <b>Figura 16</b> <i>Intercambiador de Herramientas</i> .....   | 53 |
| <b>Figura 17</b> <i>Banda transportadora</i> .....   | 54 |
| <b>Figura 18</b> <i>Esquema de control de un robot</i> .....   | 55 |
| <b>Figura 19</b> <i>Teach pendant</i> .....  | 56 |
| <b>Figura 20</b> <i>Sistema de soldadura</i> .....   | 57 |
| <b>Figura 21</b> <i>Componentes de un sistema de soldadura</i> .....                                     | 59 |
| <b>Figura 22</b> <i>Celda de soldadura del laboratorio de robótica industrial</i> .....                  | 60 |
| <b>Figura 23</b> <i>Imagen del tablero eléctrico de la mesa posicionadora</i> .....                      | 64 |
| <b>Figura 24</b> <i>Imagen de las partes mecánicas de la mesa posicionadora</i> .....                    | 66 |



|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Figura 25</b> | <i>Imagen de las programaciones iniciales de la mesa posicionadora.</i>      | 68  |
| <b>Figura 26</b> | <i>Imagen de los componentes de sujeción de los Jigs de soldadura.</i>       | 71  |
| <b>Figura 27</b> | <i>Componentes de sujeción de los Jigs de soldadura.</i>                     | 72  |
| <b>Figura 28</b> | <i>Componentes del sistema neumático de los Jigs de soldadura.</i>           | 73  |
| <b>Figura 29</b> | <i>Componentes mecánicos del extractor de humo.</i>                          | 76  |
| <b>Figura 30</b> | <i>Componentes eléctricos del extractor de humo.</i>                         | 77  |
| <b>Figura 31</b> | <i>Componentes para el sistema de filtrado del extractor de humo.</i>        | 79  |
| <b>Figura 32</b> | <i>Soldadura Fronius.</i>  | 81  |
| <b>Figura 33</b> | <i>Módulo WAGO del Robot KUKA KR5 Arc</i>                                    | 82  |
| <b>Figura 34</b> | <i>Software KUKA HMI 2.0</i>   | 83  |
| <b>Figura 35</b> | <i>Depuración de archivos .scr y .dat del software KUKA HMI 2.0.</i>         | 86  |
| <b>Figura 36</b> | <i>Tablero eléctrico de la mesa posicionadora.</i>                           | 88  |
| <b>Figura 37</b> | <i>Conexión eléctrica de la mesa posicionadora</i>                           | 89  |
| <b>Figura 38</b> | <i>Sistemas de activación de los finales de carrera mesa posicionadora.</i>  | 91  |
| <b>Figura 39</b> | <i>Diagrama de Flujo - Programación PLC para diferentes posiciones</i>       | 94  |
| <b>Figura 40</b> | <i>Diagrama de Flujo - Subrutina de Posicionamiento.</i>                     | 95  |
| <b>Figura 41</b> | <i>Diagrama de Flujo - Programación del PLC para comunicación y control.</i> | 96  |
| <b>Figura 42</b> | <i>Diagrama de Flujo - Programación de Interfaz de Comunicación HMI.</i>     | 97  |
| <b>Figura 43</b> | <i>Diagrama de Flujo - Programación con y sin alineación de ejes</i>         | 98  |
| <b>Figura 44</b> | <i>Diagrama de Flujo – Programación principal</i>                            | 99  |
| <b>Figura 45</b> | <i>Esquema de fuerza y potencia (Mesa Posicionadora)</i>                     | 100 |
| <b>Figura 46</b> | <i>Imagen de la conexión eléctrica del extractor de humos.</i>               | 103 |
| <b>Figura 47</b> | <i>Imagen de la conexión eléctrica del extractor de humos.</i>               | 104 |
| <b>Figura 48</b> | <i>Pruebas de movimiento del robot KUKA KR5 Arc</i>                          | 107 |
| <b>Figura 49</b> | <i>Pruebas de continuidad de los Jigs de soldadura</i>                       | 112 |

|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Figura 50</b> | <i>Código de identificación electrodo ER70S6</i> .....                         | 115 |
| <b>Figura 51</b> | <i>Parámetros del gas de protección AGA MIX 20</i> .....                       | 115 |
| <b>Figura 52</b> | <i>Configuración del panel de soldadora FRONIUS TransSynergic 4600</i> .....   | 116 |
| <b>Figura 53</b> | <i>Cordón de soldadura prueba de parámetros</i> .....                          | 117 |
| <b>Figura 54</b> | <i>Prueba satisfactoria de soldadura “lineal”</i> .....                        | 119 |
| <b>Figura 55</b> | <i>Prueba satisfactoria de soldadura “espiral”</i> .....                       | 120 |
| <b>Figura 56</b> | <i>Base y estructura de Aplicación</i> .....                                   | 121 |
| <b>Figura 57</b> | <i>Distribución de puntos de soldadura</i> .....                               | 122 |
| <b>Figura 58</b> | <i>Ubicación de archivos de aplicación</i> .....                               | 123 |
| <b>Figura 59</b> | <i>Declaración de variables Subprogramas</i> .....                             | 123 |
| <b>Figura 60</b> | <i>Inicio del Programa</i> .....   | 124 |
| <b>Figura 61</b> | <i>Encendido del extractor de humo y subprograma de posición de mesa</i> ..... | 124 |
| <b>Figura 62</b> | <i>Estructura de programación</i> .....  | 125 |
| <b>Figura 63</b> | <i>Estructura final de programación principal</i> .....                        | 125 |
| <b>Figura 64</b> | <i>Configuración de parámetros de soldadura en espiral</i> .....               | 127 |
| <b>Figura 65</b> | <i>Entorno de Subprograma de mesa</i> .....                                    | 127 |
| <b>Figura 66</b> | <i>Entorno de Subprograma de puntos</i> .....                                  | 128 |
| <b>Figura 67</b> | <i>Aplicación de soldadura</i> .....   | 129 |
| <b>Figura 68</b> | <i>Cálculo del Chi-Cuadrado “GeoGebra”</i> .....                               | 135 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Herramientas terminales para robots</i> .....   | 44 |
| <b>Tabla 2</b> <i>Descripción de los componentes de una celda robótica</i> .....  | 48 |
| <b>Tabla 3</b> <i>Descripción de los componentes de un sistema de soldadura</i> .....   | 58 |
| <b>Tabla 4</b> <i>Características generales del brazo industrial KUKA KR5 ARC</i> .....   | 61 |
| <b>Tabla 5</b> <i>Características generales de la mesa posicionadora</i> .....  | 62 |
| <b>Tabla 6</b> <i>Descripción de problemas encontrados en el tablero de control eléctrico de la mesa<br/>posicionadora.</i> .....       | 64 |
| <b>Tabla 7</b> <i>Descripción de problemas encontrados en los componentes mecánicos de la mesa<br/>posicionadora.</i> .....             | 67 |
| <b>Tabla 8</b> <i>Descripción de problemas encontrados en la programación de la mesa<br/>posicionadora.</i> .....                       | 68 |
| <b>Tabla 9</b> <i>Características generales de los Jigs de soldadura</i> .....  | 69 |
| <b>Tabla 10</b> <i>Descripción de problemas encontrados en los componentes mecánicos de<br/>sujeción de los Jigs de soldadura</i> ..... | 72 |
| <b>Tabla 11</b> <i>Descripción de problemas encontrados en la estructura fija de los Jigs de<br/>soldadura.</i> .....                   | 73 |
| <b>Tabla 12</b> <i>Descripción de problemas encontrados en el sistema neumático de los Jigs de<br/>soldadura</i> .....                  | 74 |
| <b>Tabla 13</b> <i>Características generales del extractor de humo</i> .....  | 74 |
| <b>Tabla 14</b> <i>Descripción de problemas encontrados en los componentes mecánicos del<br/>extractor de humo.</i> .....               | 76 |
| <b>Tabla 15</b> <i>Descripción de problemas encontrados en el tablero de control</i> .....  | 77 |
| <b>Tabla 16</b> <i>Descripción de problemas encontrados en el sistema de filtrado de humo de<br/>soldadura</i> .....                    | 79 |

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| <b>Tabla 17</b> | <i>Características generales del extractor de humo</i> .....   | 80  |
| <b>Tabla 18</b> | <i>Descripción de problemas encontrados en los componentes de la soldadora Fronius</i> .....                               | 81  |
| <b>Tabla 19</b> | <i>Descripción de problemas encontrados en el módulo WAGO de la celda de soldadura</i> .....                               | 82  |
| <b>Tabla 20</b> | <i>Descripción de problemas encontrados en el software KUKA HMI 2.0 de la celda de soldadura</i> .....                     | 84  |
| <b>Tabla 21</b> | <i>Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en el software KUKA HMI 2.0</i> .....                        | 85  |
| <b>Tabla 22</b> | <i>Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en el tablero de control de la mesa posicionadora.</i> ..... | 87  |
| <b>Tabla 23</b> | <i>Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en las partes mecánicas de la mesa posicionadora.</i> .....  | 90  |
| <b>Tabla 24</b> | <i>Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en las partes mecánicas de la mesa posicionadora.</i> .....  | 92  |
| <b>Tabla 25</b> | <i>Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en las partes mecánicas de la mesa posicionadora.</i> .....  | 101 |
| <b>Tabla 26</b> | <i>Descripción de las soluciones de problemas encontrados en el tablero de control del extractor de humo</i> .....         | 102 |
| <b>Tabla 27</b> | <i>Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en el módulo WAGO</i> .....                                  | 105 |
| <b>Tabla 28</b> | <i>Descripción de la solución ante los problemas encontrados del Software KUKA HMI 2.0</i> .....                           | 105 |
| <b>Tabla 29</b> | <i>Prueba de retorno a Home</i> .....  | 108 |
| <b>Tabla 30</b> | <i>Prueba de retorno a Home con “Jigs de soldadura”</i> .....  | 109 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 31</b> <i>Pruebas de comunicación</i> .....   | 110 |
| <b>Tabla 32</b> <i>Datos para pruebas de repetibilidad</i> .....                                       | 110 |
| <b>Tabla 33</b> <i>Medición de error absoluto</i> .....  | 111 |
| <b>Tabla 34</b> <i>Pruebas de continuidad de los Jigs de soldadura</i> .....                           | 112 |
| <b>Tabla 35</b> <i>Pruebas de funcionamiento del extractor de humos</i> .....                          | 113 |
| <b>Tabla 36</b> <i>Prueba de salida 114 “ExtractorH”</i> .....   | 114 |
| <b>Tabla 37</b> <i>Prueba de cordones de soldadura “lineal”</i> .....                                  | 118 |
| <b>Tabla 38</b> <i>Prueba de cordones de soldadura “espiral”</i> .....                                 | 119 |
| <b>Tabla 39</b> <i>Parámetros de soldadura</i> .....   | 126 |
| <b>Tabla 40</b> <i>Tabulación del presupuesto invertido</i> .....                                      | 130 |
| <b>Tabla 41</b> <i>Tabulación de datos de comunicación mesa posicionadora y extractor de humo.</i> ... | 132 |

## Resumen

El presente escrito detalla la repotenciación de la celda de soldadura ubicada en el laboratorio de robótica industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas sede Latacunga, en el que se realizaron tareas de reconfiguración, diagramado, etiquetado y programación de los componentes de la celda de soldadura, además de la depuración de archivos y reasignación de variables físicas y virtuales en el controlador del brazo robótico KUKA KR5 Arc, obteniendo como resultado la comunicación segura entre el brazo manipulador, soldadora Fronius, mesa posicionadora y extractor de humos. De igual manera se mejoró el control de la mesa posicionadora, mediante la implementación de retorno a Home, muestreo de posiciones mediante valores en ángulos y control de movimiento. Además, se realizó la comunicación entre el extractor de humos y el módulo WAGO permitiéndole encender o apagar el extractor desde el KCP del controlador, y la realización de jigs de soldadura en acero inoxidable mejorando la continuidad entre el elemento a soldar y la tierra de la soldadora Fronius. Para demostrar la sinergia entre los componentes de la celda de soldadura se realizó una aplicación de soldadura, en el cual se obtuvo resultados óptimos que aseveran la repotenciación de la celda de soldadura.

*Palabras clave:* brazo robótico KUKA KR5 Arc, soldadora Fronius, módulo WAGO, KCP, jigs de soldadura.

### **Abstract**

This paper details the repowering of the welding cell located in the industrial robotics laboratory of the University of the Armed Forces in Latacunga, in which tasks of reconfiguration, diagramming, labeling and programming of the components of the welding cell were performed, in addition to the debugging of files and reassignment of physical and virtual variables in the controller of the robotic arm KUKA KR5 Arc, resulting in secure communication between the manipulator arm, Fronius welding machine, positioning table and fume extractor. Likewise, the control of the positioning table was improved by implementing the return to Home, position sampling by means of angle values and movement control. In addition, the communication between the fume extractor and the WAGO module was made, allowing it to turn on or off the extractor from the KCP of the controller, and the realization of welding jigs in stainless steel, improving the continuity between the element to be welded and the Fronius welder ground. To demonstrate the synergy between the components of the welding cell, a welding application was carried out, in which optimal results were obtained that assert the repowering of the welding cell.

*Keywords:* KUKA KR5 Arc robotic arm, Fronius welding machine, WAGO module, KCP, welding jigs.

## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

En la actualidad, la automatización mediante el uso de brazos robóticos está en apogeo debido a las prestaciones y ventajas que presenta, surgiendo nuevas tendencias relacionadas a la automatización en procesos anteriormente realizados por personal humano. (Cortes, 2019)

En el caso de los brazos robóticos, existe una extensa variedad de aplicaciones para su uso, uno de estos ejemplos es la fabricación de automóviles que mediante brazos robóticos realizan un proceso secuencial que conlleva el transporte, ensamble y soldadura de piezas con una precisión casi milimétrica.

Un robot es una máquina conformada de piezas mecánicas, eléctricas, electrónicas y protocolos de comunicación controladas en tiempo real con la finalidad de realizar una tarea específica para flexibilizar los tiempos y procesos productivos. (Baturone, 2001)

Según (INTEL, 2020) los brazos robóticos en la industria están inmersos en el sector manufacturero, agrícola y principalmente en la automoción debido a su confiabilidad, precisión y capacidad de programación para realizar una variedad de tareas en entornos industriales.

En las fábricas en donde la automatización es el principal objetivo, los brazos robóticos son utilizados para realizar tareas repetitivas y de precisión como la aplicación de pintura, depósito de materiales o soldadura de partes.

Una de las principales ventajas de los brazos robóticos industriales es su versatilidad a la hora de dar apoyo a múltiples aplicaciones como:

- El proceso de soldadura, son tareas que pueden ser realizadas por brazos robóticos en entornos industriales avanzados, por ejemplo, la línea de fabricación de automóviles,



permitiendo beneficios como el aumento en su capacidad productiva y disminución de costos relacionados al tiempo de producción, optimización de recursos y requerimiento del personal humano.

- En las aplicaciones de soldadura es importante realizar operaciones con precisión y rendimiento elevado, las cuales son inspeccionadas mediante pruebas de calidad, para asegurar su rigidez y óptimo funcionamiento ante esfuerzos mecánicos. En el caso de los brazos robóticos pueden ser empleados para realizar este tipo de control de manera secuencial mejorando la calidad de los productos.

Debido al elevado coste que conlleva la adquisición de un brazo robótico muchas instituciones e incluso empresas de gran tamaño han decidido mejorar o repotenciar los brazos robóticos adquiridos, un ejemplo de esto es la implementación de un sistema de actuación para brazos robóticos articulados industriales del laboratorio de Automatización Industrial realizado por los estudiantes Rivera Emanuel y Martínez Thomas realizada el 19 de junio del 2020 en la Universidad del Norte ubicada en Barranquilla – Colombia, el cual consistía en la recuperación funcional del sistema de control del brazo robótico de seis grados de libertad Scorbot ER-4Pc, cuyo controlador original cuenta con un software obsoleto, lo que no permite realizar un control a través de este. Sin embargo, gracias a la robustez que posee la estructura mecánica del brazo robótico es posible implementar tecnologías de control modernas que en este caso se lo realizó a través de una Raspberry pi 4. (Rivera & Martinez, 2020)

### **Descripción del trabajo de integración curricular**

El presente trabajo de integración curricular tiene como objetivo repotenciar la celda de soldadura, se pretende comunicar al brazo robótico KUKA KR5-Arc con la mesa posicionadora y el sistema articulado de extracción localizada de humos para el correcto funcionamiento de la

celda, verificando conexiones, depurando archivos y reasignando variables físicas y virtuales en el controlador del brazo robótico, con la finalidad de ejecutar aplicaciones en donde interactúen estos componentes dentro de la celda. Para realizar la comunicación entre éstos se configurará las entradas y salidas del módulo WAGO, además se rediseñará el control de la mesa posicionadora y del sistema articulado de extracción localizada de humos para poder tener un proceso secuencial y a su vez aprovechar los grados de libertad de la mesa posicionadora al momento de ejecutar el proceso de soldadura. Adicionalmente se desarrollará una guía de práctica de la celda repotenciada, con los nuevos parámetros y configuraciones asignadas en el controlador. De esta manera se podrá realizar nuevas aplicaciones y prácticas de soldadura dentro del Laboratorio de Robótica Industrial.

### **Justificación e importancia**

Durante el año 2010, con la finalidad de mejorar el aprendizaje en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga se implementó el Laboratorio de Robótica Industrial que dispone de celdas industriales relacionadas a distintas áreas como: soldadura, mecanizado y paletizado a través de robots manipuladores de la marca KUKA, permitiendo a la universidad ser pioneros en este tipo de tecnología industrial, admitiendo a personal de la comunidad educativa superior ESPE a igual de visitantes externos de otras instituciones con fines académicos para realizar estudios, así como al sector industrial de la zona tres para que puedan contemplar los beneficios y la importancia de la automatización mediante robots manipuladores.

En la Universidad de las Fuerza Armadas ESPE – Sede Latacunga el departamento de energía y mecánica gestiona el laboratorio de robótica industrial en el cual se dispone de tres brazos manipuladores, marca KUKA, modelo KR5 y KR16 con la unidad de control KRC2 para el control morfológico de los seis grados de libertad, que sirven para fines académicos de los estudiantes de la carrera de ingeniería mecatrónica y electromecánica empleados en

asignaturas de diseño mecatrónico, sistemas flexibles de manufactura CAM y robótica industrial, así como temas de investigación relacionados a proyectos de titulación.

Con el propósito de mantener un servicio óptimo para la educación conforme a los requerimientos y tendencias actuales de la automatización en la comunidad educativa, así como visitantes es importante repotenciar la celda robotizada de soldadura debido a que los componentes mecanismos, eléctricos y electromecánicos y/o accesorios han culminado su tiempo de vida útil menorando su confiabilidad.

### **Alcance**

El alcance del Trabajo de la Unidad de Integración Curricular abarca la depuración de archivos ubicadas en el controlador del brazo y verificación del correcto funcionamiento, repotenciación de la mesa posicionadora, los sujetadores para procesos de soldadura (Jigs de soldadura) y el sistema articulado de extracción de humos, además de la configuración del sistema de comunicaciones entre dispositivos y actualización del software de aplicación industrial de soldadura para finalmente implementar una aplicación completa en el que se pueda visualizar la sinergia de los movimientos sincronizados entre diferentes dispositivos.

### **Objetivos**

#### ***Objetivo general***

- Repotenciar la celda de soldadura que incluye brazo robótico KUKA KR5-Arc, mesa posicionadora, sujetadores para procesos de soldadura y sistema articulado de extracción localizada de humos, en el Laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Sede Latacunga.

#### ***Objetivos específicos***

- Depurar archivos de usuario de la unidad de control del brazo robótico KUKA KR5-Arc.

- Verificar correcta funcionalidad del brazo robótico KUKA KR-5Arc.
- Repotenciar la mesa posicionadora de soldadura.
- Repotenciar los sujetadores para procesos de soldadura (Jigs de soldadura).
- Repotenciar el sistema articulado de extracción localizada de humos de soldadura.
- Configurar el sistema de comunicaciones entre dispositivos.
- Actualizar el software de aplicación industrial de soldadura (Diagnostico y gestión de la funcionalidad).
- Implementar una aplicación completa de soldadura, que incluya movimientos sincronizados entre diferentes dispositivos.

### **Metodología**

Para el desarrollo del proyecto enfocado en la repotenciación de la celda de soldadura robotizada de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga se adoptará las siguientes metodologías.

#### ***Metodología documental bibliográfico***

Este método se efectuará durante búsqueda y depuración de fuentes bibliográficas académicas relacionadas con celdas de soldadura robotizadas que empleen brazos robóticos, a igual de temas complementarios que permitan la realización del proyecto de integración curricular.

#### ***Metodología experimental***

Este método se efectuará en base a las funciones principales que posee el brazo robótico KUKA KR5-Arc desarrollando una optimización en su funcionalidad. En el cual, mediante pruebas, se analizará el comportamiento de la aplicación de soldadura generada, obteniendo datos y conclusiones que nos permitirá validar el adecuado funcionamiento y repotenciación de la celda de soldadura robotizada.

***Metodología deductiva***

Este método está basado en principios y conocimientos generales que nos permitirá obtener soluciones particulares en el desarrollo del proyecto, correspondiente a la manipulación y repotenciación del brazo robótico KUKA KR5-Arc indagando principalmente en investigaciones similares al funcionamiento de brazos robóticos empleados para procesos de soldadura industrial.

***Metodología inductiva***

Mediante la ejecución de este método, se obtendrá conclusiones generales a partir de datos y conocimientos en el cumplimiento de objetivos específicos adquiridos durante la manipulación del brazo robótico KUKA KR5-Arc en el desarrollo del presente proyecto.

**Hipótesis**

¿La repotenciación de la celda de soldadura que incluye brazo robótico KUKA KR5-Arc, garantizará una comunicación segura con la mesa posicionadora y el extractor de humo, y mejorará la precisión de la mesa del Laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Sede Latacunga?

***Variables independientes***

Repotenciación de la celda de soldadura.

***Variables dependientes***

Comunicación segura con la mesa posicionadora y el extractor de humo, y mejorará la precisión de la mesa.

## Capítulo II

### Fundamentación teórica

#### Robótica industrial

La revolución industrial surge en función de la necesidad de mejorar las técnicas de producción adoptando herramientas tecnológicas, entre las cuales se destaca la robótica industrial y la automatización de un proceso repetitivo existente.

La robótica industrial permite a una empresa mejorar la calidad y tiempo de producción en procesos repetitivos y/o peligrosos, además de optimizar recursos o materiales de aporte en algunas aplicaciones específicas. El robot manipulador, al ser una máquina, no presenta fatiga por tareas repetitivas y dependiendo del robot industrial puede tener mayor fuerza o precisión que una persona promedio, representando gran ventaja en comparación con procesos de producción empleando personal humano.

Por lo que se puede definir a la robótica industrial como una rama de la robótica centralizada en la industria con el objetivo de potenciar la productividad de una empresa con la integración de robots industriales capaces de replicar movimientos humanos en procesos que requieran tareas repetitivas convirtiendo de una empresa tradicional a una empresa 4.0.

La robótica en la actualidad sigue considerándose como una tecnología innovadora pero tiene bases desde la época de los cincuenta, entre las cuales se puede destacar el año 1959, con la construcción del control computarizado, elaborado por la empresa "Unimation Inc" a partir de bases de investigación realizadas por Joseph Engelberger y George Charles Devol, quienes crearían el primer robot industrial denominado UNIMATION que tenía una precisión de 1/10000 plg y pesaba alrededor de dos toneladas, el cual fue implementado en la empresa General Motors, razón por la cual fueron considerados pioneros en la ciencia de la robótica industrial que tiene como finalidad diseñar robots que permitan ser utilizados para aplicaciones

industriales. Sin embargo, su comercialización se inició posterior en el año de 1968 representando una nueva era industrial en la automatización (Olivo, 2013).

Desde el punto de vista social existe una mala asimilación de la realidad debido a la creencia que el uso de robots industriales reemplazan a los humanos en actividades físicas, cerrando plazas de trabajo en la mano de obra para producción; sin embargo, se necesita de personal humano capacitado para la programación y mantenimiento de dichas máquinas, por lo cual se puede mencionar que la robótica industrial no afecta al trabajo o economía de una sociedad debido a que funciona mediante un trabajo colaborativo entre Máquina-Humano (Plata, 2018).

Por otra parte, también existen robots industriales inmersos en la salud, en donde realizan proceso de terapia, rehabilitación etc. Los cuales son ocupados como asistentes que permiten manipular las partes del cuerpo con mayor precisión evitando accidentes contraproducentes.

Además, existen distintos niveles de automatización, siendo la de mayor nivel aquellas empresas que cuentan con tecnología (IoT) o internet de las cosas y sus robots con algoritmos de inteligencia artificial permitiéndoles realizar tareas complejas que requieran tomar decisiones e incluso aprender un proceso para mejorar su tiempo de producción y precisión, sin embargo, cabe destacar que no todo robot industrial cuenta con este principio.

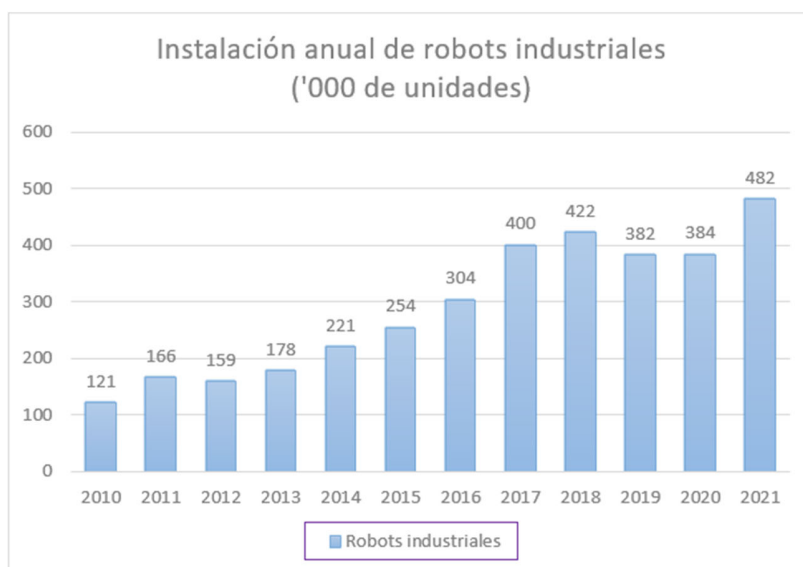
Según el resumen ejecutivo de la IFR (Federación internacional de Robótica), durante el año 2020 estaban operativos 3,014 879 unidades robóticas y para el año 2021 esta cifra ascendió a 3,501 679, las cuales están implementadas en su mayoría en cinco países, los cuales son China, Japón, Estados Unidos, República de Corea y Alemania, representando el 76% de la cantidad de robots implementados a nivel mundial hasta el año 2020, en donde el país con mayor cantidad de Robots fue China con el 44%, Japón con el 10%, Estados Unidos

con el 8%, República de Corea con el 8% apenas por debajo del nivel de EE. UU. y Alemania con el 6%. (IFR, 2022)

En la Figura 1, se evidencia el crecimiento anual de instalaciones de robots industriales, del cual se puede inferir que, durante los años 2017 y 2018, se presentó la mayor cantidad de robots industriales instalados a nivel mundial. Sin embargo, estas cifras decayeron en los años 2019 y 2020 debido a las consecuencias de la pandemia COVID 19 que paralizó a las industrias debido a estados de recepción, sin embargo, durante el año 2021, la reactivación de las empresas, gracias a la vacunación masiva, favoreció enormemente a la industria robótica representando el año con mayor adquisición de robots industriales hasta la fecha.

### Figura 1

#### *Instalación anual de robots industriales*



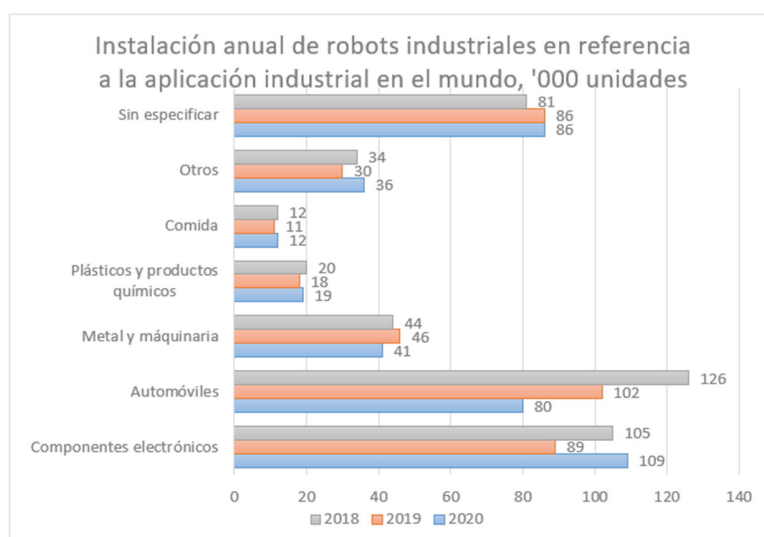
*Nota.* Instalación anual de robots industriales. Datos obtenidos de la Federación Internacional de Robótica. Presentación Conferencia de prensa de World Robotics versión extendida del 28 de octubre del 2021.



En la Figura 2, se puede visualizar la cantidad de robots industriales instalados anualmente, durante el periodo 2018 – 2020, con referencia a la aplicación del sector industrial, entre las cuales se puede evidenciar que lidera en cantidad de robots industriales instalados, la fabricación de automóviles, sin embargo, este sector, presentó un decremento durante el periodo 2018 - 2020 debido a consecuencias de la Pandemia. En el sector de fabricación de componentes electrónicos tuvo un decremento del 2018 al 2019 similar a lo ocurrido en el sector automotriz; sin embargo, para el 2020 se recuperó su tendencia debido a la gran demanda de equipos electrónicos ocupados para teletrabajo, y educación virtual. Por otro lado, existe una gran cantidad de robots industriales instalados en el sector alimenticio, Metal-mecánico, producción de productos químicos, entre otros los cuales tuvieron un comportamiento similar durante el periodo de análisis.

## Figura 2

### *Instalación de robots industriales en referencia a la aplicación industrial*

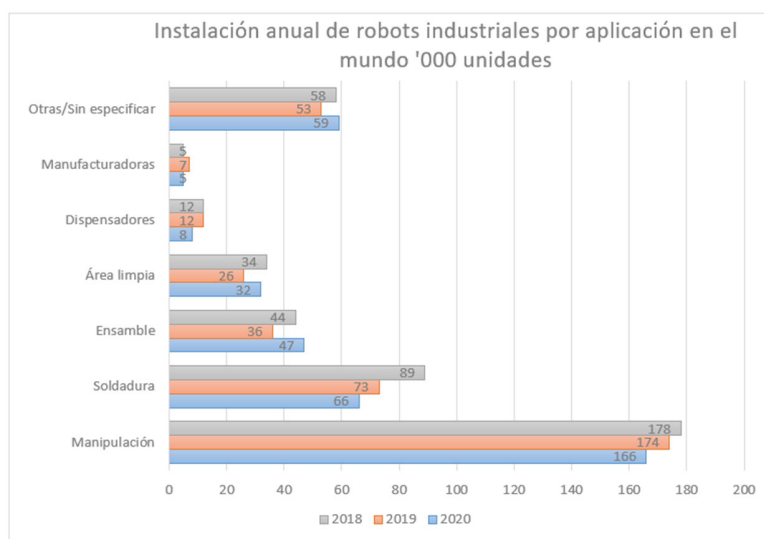


*Nota.* Instalación de robots industriales en referencia a la aplicación industrial, datos obtenidos de la Federación Internacional de Robótica. Presentación Conferencia de prensa de World Robotics versión extendida del 28 de octubre del 2021

En la Figura 3, se puede visualizar las aplicaciones para las cuales son utilizados los brazos robóticos, siendo la principal aplicación, los brazos manipuladores dedicados a “Pick and Place” o en su traducción al español “recoger y colocar” un objeto, del cual se evidencia que durante el año 2020 se instalaron 166 000 unidades robóticas destinadas a esta aplicación, posteriormente se puede ver en segundo lugar a los robots soldadores, del cual durante el mismo año se instalaron 66 000 unidades, y en tercer lugar a los brazos robóticos destinados al ensamble con un valor de 47 000 unidades, por otra parte también existen robots destinados al sector alimenticio y dispensario farmacéutico, etc.

### Figura 3

#### *Instalación anual de robots industriales por aplicación en el mundo*



*Nota.* Instalación anual de robots industriales por aplicación en el mundo, datos obtenidos de la Federación Internacional de Robótica. Presentación Conferencia de prensa de World Robotics versión extendida del 28 de octubre del 2021

## **Robots industriales**

Los robots industriales son empleados en la automatización de las industrias con la finalidad de brindar beneficios relacionados a la productividad, rentabilidad y eficiencia de la producción de algún producto elaborado, por lo cual a los robots industriales se los utiliza para procesos repetitivos como ensamble de automóviles, procesos de soldadura, transporte e inclusive para tareas de inspección y pruebas de calidad.

A los robots industriales se los denomina brazos robóticos, el cual en su morfología está compuesta de una base giratoria de 360 grados y articulaciones similares al hombro y codo de una persona. Además de una parte final similar a la muñeca, que permite orientar a la herramienta para realizar una determinada aplicación. (Reyes, 2011).

Un robot industrial está compuesto por varios elementos como se muestra a continuación.

- Cables: Los cables son utilizados para transmitir energía o datos entre diferentes dispositivos permitiendo la comunicación entre los elementos del robot manipulador.
- Dispositivos de entrada y salida: realiza una interfaz de comunicación entre el usuario y la máquina que permite controlar las juntas del robot y por ende su movimiento a través de la adquisición de datos y visualización de información.
- Herramienta del brazo robótico: esta herramienta está ubicada en el extremo del robot, por lo cual también recibe el nombre de “efector final” el cual varía de acuerdo de la aplicación que realiza el brazo manipulador, por ejemplo, se utiliza ventosas o pinzas para el “Pick and Place” o manipulación de objetos, drimers para procesos de mecanizado de material o sistemas de soldadura para adherir dos piezas.

- Manipulador: es una estructura mecánica conformada de eslabones, actuadores, mecanismos de transferencia de movimiento y articulaciones que permite realizar movimientos similares a los de un brazo humano.
- Sensores: proporciona la información necesaria para determinar la posición del brazo robótico, y la velocidad de desplazamiento que realiza para llegar de un punto a otro especificado.
- Unidad de control: La unidad de control se define como el cerebro del brazo manipulador, debido a que es el encargado de recolectar información, analizarla mediante cálculos y métodos matemáticos, y enviar señales en respuesta para realizar el movimiento del robot, para lo cual se utiliza computadoras con software específico que se encargan del control cinemático y dinámico del robot, entre otras tareas.

#### Figura 4

##### *Elementos de los robots industriales*



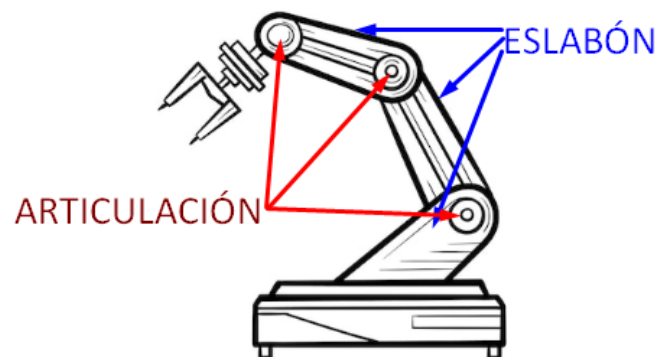
*Nota.* Elementos de un robot industrial de forma general.

### ***Estructura mecánica de los robots industriales***

Los robots industriales tienen una configuración mecánica compuesta de varios elementos, su composición es la unión de varios eslabones unidos uno a continuación de otro a través de articulaciones, en donde cada articulación representa un grado de libertad (GDL).

#### **Figura 5**

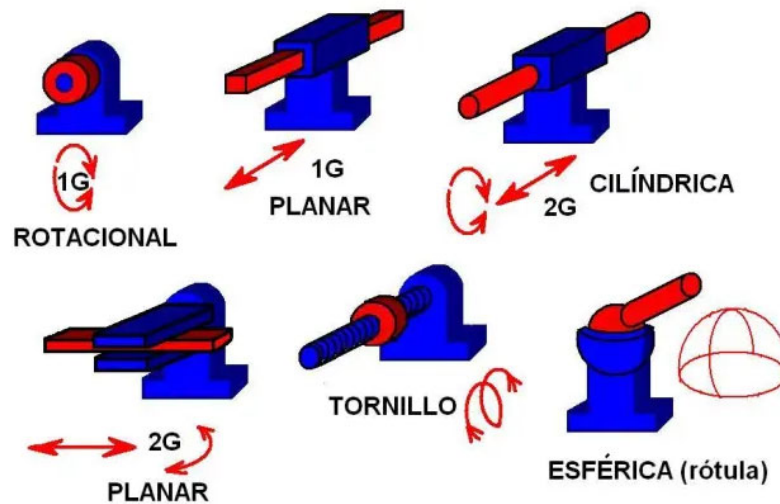
*Estructura mecánica de un robot industrial*



*Nota.* Descripción visual de la composición mecánica de los robots industriales.

Los grados de libertad se consideran como la libertad de realizar un movimiento independiente en el espacio tridimensional; entre los cuales se puede obtener, como se muestra en la Figura 6.

- Cilíndrica (2 GDL)
- Esférica o Rótula (3 GDL)
- Planar (2 GDL)
- Prismática (1 GDL)
- Rotacional (1 GDL)
- Tornillo (1 GDL)

**Figura 6***Tipos de articulaciones*

*Nota.* Interpretación visual de los tipos de articulaciones existentes y su comportamiento en el espacio. Tomado de (Luis Miguel, 2020).








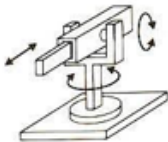

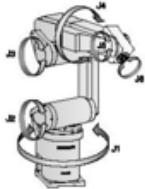
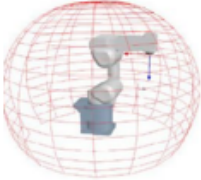

Sin embargo, en los robots industriales solo se presentan dos tipos de articulaciones las cuales son prismáticas y rotacionales, y a partir de este tipo de configuraciones se pueden clasificar en diferentes tipos de robots.

### ***Clasificación de los robots industriales***

La clasificación de los robots industriales en relación con su estructura, y el volumen de trabajo que se origina a partir de los movimientos de sus articulaciones se divide en dos clases, Robots clásicos y no clásicos. Dentro de las configuraciones clásicas existen:

Figura 7

*Clasificación de robots clásicos*

| Principio   | Campo de trabajo  | Imagen  |
|---|---|---|
| <b>Robots cartesianos (PPP)</b>   |   |   |
|    |    |     |
| <b>Robots cilíndricos (RPP)</b>   |   |   |
|    |    |     |
| <b>Robots esféricos (RRP)</b>   |   |   |
|   |  |   |
| <b>Robots Articulados</b>   |   |   |
|  |  |  |

*Nota.* Descripción visual de la forma de los robots clásicos, su campo de trabajo e imagen comercial del tipo de robot.

**Robots cartesianos (PPP).** Es un robot que presenta tres ejes que coinciden con las coordenadas cartesianas (X, Y, Z), el movimiento que realiza este robot es prismático o lineal. Estos robots son utilizados para aplicaciones de soldadura, manipulación, paletizado, impresión 3D clasificación o etiquetado.

**Robots cilíndricos (RPP).** Es un robot que presenta tres movimientos, en donde el primero corresponde a un movimiento rotacional, mientras que los dos restantes son de índole prismática o lineal, el área de trabajo de este robot genera un cilindro y por eso se les acredita dicho nombre a estos robots.

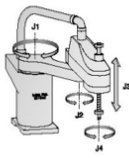
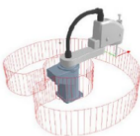

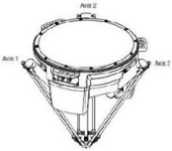


**Robots esféricos (RRP).** Es un robot que presenta tres movimientos en donde los dos primeros corresponden a movimientos rotacionales, mientras que el último corresponde a un movimiento prismático.

**Robots articulados.** También conocido como robots antropomórficos, posee 6 grados de libertad y todos sus movimientos son rotatorios, gracias a su estructura son los robots más utilizados en la industrial ya que le permite realizar más aplicaciones que los otros robots industriales con el cambio de su herramienta. Tiene una similitud a la forma humana comprendiendo la cintura, hombro, codo y muñeca.

Para la configuración no clásica existen:

## Figura 8

### *Clasificación de robots no clásicos*

| Principio   | Campo de trabajo   | Imagen   |
|---|--|--|
|  | <b>Robots SCARA</b><br> |  |
|  | <b>Robots Delta</b><br> |  |

*Nota.* Descripción visual de la forma de los robots clásicos, su campo de trabajo e imagen comercial del tipo de robot.



**Robots SCARA.** Su nombre está dado por las siglas en inglés (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Es un robot de tres y hasta cuatro grados de libertad el cual posee dos articulaciones rotativas paralelos al eje XY y uno o dos articulaciones prismáticas perpendicular al eje Z. En las industrias tienen gran acogida debido a la facilidad de manipulación, por lo cual son utilizados en procesos de ensamble de telefonía, carga y descarga de alimentos etc.

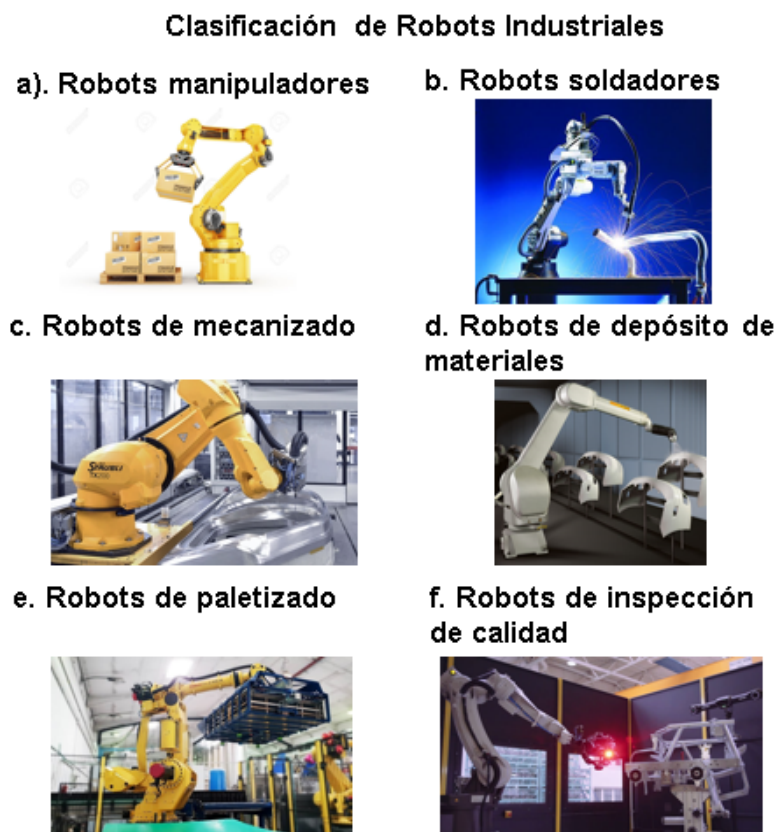
**Robots delta.** Este tipo de robot se encuentra por lo general su parte fija empotrada en el techo, mientras que su parte móvil se encuentra en la parte inferior; permitiéndole realizar tres grados de libertad. En la actualidad este robot es empleado en aplicaciones que requieran altas velocidades de movimiento, como clasificación, impresiones 3D o ensamble de circuitos.

### ***Aplicaciones de los robots industriales***

Los robots industriales tienen como función realizar un trabajo repetitivo, y en ocasiones de índole peligroso para el ser humano, ya sea por la complejidad, o gases nocivos que se encuentren en la celda de trabajo, además el uso de este tipo de herramientas permite mejorar la productividad de la producción que se ve reflejada en la optimización de tiempo, mejora de calidad, y optimización de recursos. A continuación, se presentará las principales aplicaciones de los robots industriales.

**Figura 9**

*Clasificación de robots industriales por aplicaciones*



*Nota.* Tipos de aplicaciones industriales de robots antropomórficos.

**Robots manipuladores (a).** La función de estos robots se basa en tomar un objeto, desplazarlo una distancia programada y depositarlos en un área específica a las requeridas por el operario, este movimiento que realiza puede ser manual, donde el operario realiza la función de desplazamiento, o programado en donde realiza el movimiento previo a una orden de funcionamiento, el cual es empleado principalmente en procesos repetitivos. Al principio, esta aplicación era realizada para manejar material radioactivo o peligroso pero debido a sus ventajas hoy es ocupado para manipulación de objetos pesados, calientes, etc.

**Robots soldadores (b).** La soldadura es un proceso complejo debido a que requiere de parámetros específicos, como el movimiento continuo de retracción, el depósito de material o el ángulo de la mecha de soldadura, por lo cual es complejo para un humano realizar este proceso, entonces la soldadura robótica es una de las aplicaciones más utilizadas debido a la gran precisión reflejada en la calidad de soldadura. En el campo automotriz la mayor cantidad de empresas utilizan brazos robóticos de 6 o 7 ejes para efectuar la soldadura de piezas mecánicas que son utilizadas en el ensamble del automóvil.

**Robots de depósito de materiales (c).** Los robots industriales en la industrial también realizan aplicaciones de pintura, depósito de sellantes, adhesivos; entre otros para proteger a una pieza o conjunto de piezas, como es el caso de las estructuras de los automóviles, maquinarias o herramientas. Al realizar este tipo de depósito de materiales se evita depositar grandes cantidades de materiales que suelen corroerse, afectando la calidad del producto terminado.

**Robots de mecanizado (d).** El mecanizado de una pieza es un proceso de retiro de material para obtener la silueta o forma de una pieza deseada a través de fresado, taladrado, etc. Los robots industriales presentan una ventaja ante las máquinas CNC debido a que disponen de más grados de libertad pudiendo realizar siluetas más complejas que requieran de más grados de libertad; sin embargo, también reflejan un valor más alto de implementación y producción de la pieza requerida.

**Robots de paletizado (e).** El paletizado es un proceso en el que se deposita un conjunto de objetos sobre un pallet; y viceversa, se retira un conjunto de objetos de un pallet y se los adhiere a la línea de producción. Este tipo de aplicación se observa en mayor cantidad en el sector alimenticio donde se paletiza botellas o productos dentro de cajas para su almacenamiento y posterior venta.

**Robots de inspección de calidad (f).** Los robots de inspección de calidad son implementados en productos que estén estrechamente relacionados a la seguridad de las personas por lo cual es importante un análisis de calidad, los robots industriales empleados para la inspección de calidad disponen de herramientas ultrasónicas, lázers o sensores piezoeléctricos que evalúen la calidad del producto terminado.

### **Herramientas de un robot manipulador**

Las herramientas de un robot se pueden definir como periféricos del robot, en el cual se incluye una herramienta en la muñeca o extremo del robot manipulador para interactuar con el entorno y poder realizar una aplicación específica. La herramienta se adhiere dependiendo de la aplicación requerida por lo cual puede dividirse en dos categorías: pinzas y herramientas de trabajo.

Las pinzas se ocupan para realizar el movimiento o sujeción de una pieza, en el cual se puede encontrar pinzas hidráulicas, mecánicas, ventosas, mediante imanes, etc. Mientras que para realizar una operación sobre una pieza se utiliza herramientas específicas como soldadoras, para la soldadura de una pieza; pulverizadores, para realizar el pintado de una pieza o drimers para realizar un trabajo de mecanizado sobre la pieza. (Reyes, 2011).

En la Tabla 1 se presenta algunas herramientas para robots y sus aplicaciones.

**Tabla 1**

*Herramientas terminales para robots*

| <b>Tipo de herramientas</b>   | <b>Aplicaciones</b>   |
|-------------------------------|---|
| Pinzas de soldadura de puntos | Son utilizados para soldar planchas mediante el método de suelda por puntos |

| Tipo de herramientas                         | Aplicaciones  |
|--|---|
| Sistema de soldadura por arco                | Es un mecanismo de extracción continua de material de aporte y el sistema de soldadura para realizar procesos de soldadura en ensambles |
| Cucharón                                     | Son utilizados para trabajos de fundición   |
| Sistema de atornillador o martillo neumático | Son utilizados para adherir dos piezas mediante tornillos o clavos, especialmente utilizados en piezas de madera                        |
| Pistola de pintura                           | Utilizado para el proceso de pintura y lacado, especialmente en el campo automotriz.  |
| Cortadora laser, plasma o por chorro de agua | Es utilizado en el proceso de corte de material o para realizar piezas con estructura hueca   |
| Drimers de mecanizado                        | Utilizado para desbastar material y elaborar un mecanizado manufacturero.   |
| Herramientas de paletizado                   | Utilizado para paletizar “carga y descarga de objetos”.   |

*Nota.* Herramientas terminales para robots industriales.

En la Figura 10 se presenta algunas herramientas terminales para robots industriales.

Figura 10

*Herramientas terminales para robot*

### Herramientas para Robots Industriales

a). Pinzas de soldadura



b. Soldadura por arco



c. Cucharón



d. Sistema de atornillador



e. Pistola de pintura



f. Cortadora chorro de agua

g. Drimers de mecanizado

g. Herramienta de paletizado



*Nota.* Tipos de efectores finales en robots industriales.

### ***Criterios para la selección de herramientas***

- **Peso:** Se analiza el peso de la herramienta y si este puede ser soportado por el robot.
- **Análisis de dimensiones y geometría:** Se dimensiona las distancias de la herramienta y la forma de la herramienta.
- **Tipo de actuador:** Entre los tipos de actuadores se puede dividir en mecánicos, hidráulicos, neumáticos eléctricos o por electroimanes. Y éstos deben estar disponibles en el robot.
- **Rango de fuerza aplicable:** En este punto se analiza la sensibilidad de la herramienta del robot, sobre todo para tareas con elementos frágiles.
- **Mantenibilidad:** Se analiza la facilidad de mantenimiento, el ciclo de trabajo de la herramienta y la disponibilidad de la herramienta.
- **Ambiente:** Se considera las condiciones a las cuales puede operar correctamente, considerando factores como temperatura, humedad, suciedad, o líquidos corrosivos.
- **Intercambiabilidad de piezas:** Se considera en algunos casos la intercambiabilidad de piezas para aumentar la distancia de agarre, tipo de material, etc.
- **Comportamiento ante pérdida de energía:** En este punto se analiza la seguridad o reacción cuando existe una falla en la fuente de poder del actuador.

### **Celdas robóticas**

#### ***Definición***

Es un conjunto completo de equipos y sistemas que se organizan dentro de una celda de trabajo automatizada en la que se instalan uno o varios robots programables. La finalidad de estos robots es maximizar, acelerar y simplificar un módulo completo de producción y conseguir altos niveles de repetibilidad de la calidad del producto. Las celdas robóticas se utilizan para automatizar diferentes operaciones en muchos sectores de producción, por ejemplo;

ensamblaje, paletización, soldadura, mecanizado, entre otros. Estas celdas suelen incluir equipos de seguridad y estructuras de protección con un sofisticado centro de control y otras características propias del robot.

### **Componentes**

Una celda robótica está compuesta por distintos componentes o equipos que realizan tareas específicas conforme a su aplicación, estos elementos se encuentran referidos en la Tabla 2. Por lo tanto, son unidades que forman parte de una estructura completa, y a su vez cumple una función importante en la misma, por ejemplo: en la Figura 11 se aprecia una celda de mecanizado donde se ubica diferentes componentes que permite realizar un proceso para la obtención de un producto final.

**Tabla 2**

*Descripción de los componentes de una celda robótica*

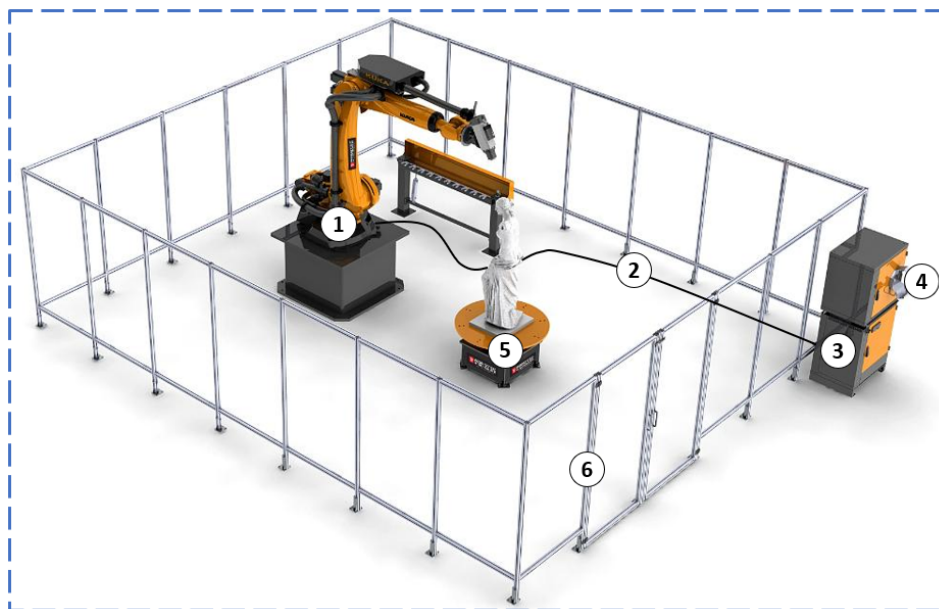
| N° | COMPONENTES  |
|----|--|
| 1  | Manipulador  |
| 2  | Set de cables  |
| 3  | Controlador  |
| 4  | Teach Pendant (KCP)  |
| 5  | Accesorios con los que interactuará el manipulador:<br>- Mesa Posicionadora<br>- Intercambiador de herramientas<br>- Bandas transportadoras<br>- Extractor de humo |
| 6  | Vallado y elementos de seguridad   |

*Nota.* Descripción de componentes enumerados en la Figura 11.



**Figura 11**

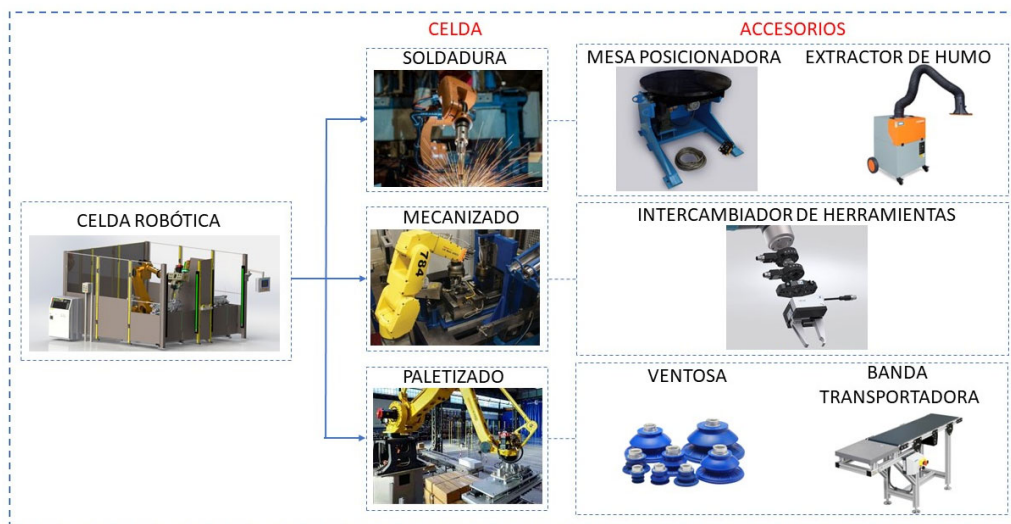
*Componentes de una celda robótica*



*Nota.* Componentes de una celda de trabajo automatizada de mecanizado.

### **Accesorios**

Un accesorio es aquel que interactúa con el manipulador robótico con la finalidad de maximizar la funcionalidad de la celda de trabajo de acuerdo con su aplicación, esto hace que el sistema sea lo más flexible posible. En la Figura 12 se puede observar algunos de los accesorios que se puede encontrar dentro de una celda.

**Figura 12***Accesorios de una celda robótica*

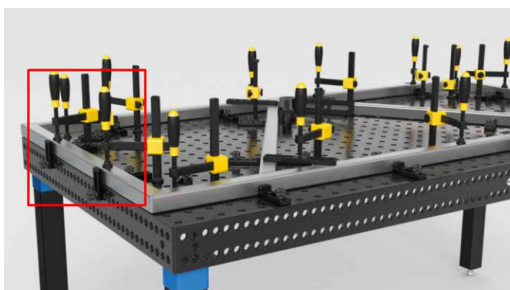
*Nota.* Accesorios comunes de una celda de trabajo automatizada.

**Mesa posicionadora.** Un posicionador robótico (también conocido como posicionador de piezas) es un mecanismo programable con uno o más ejes que funciona conforme con un robot industrial para ampliar las capacidades de este. La pieza de trabajo se monta en el posicionador robótico y puede controlarse independientemente del robot, mejorando su flexibilidad; por ejemplo, en el caso de soldadura tanto la función de inclinación como la de rotación facilita la colocación del cordón de la soldadura de forma eficaz, de modo que puede soldar en ángulos planos, horizontales o verticales (si la altura de la mesa lo permite). En la Figura 13 los posicionadores pueden configurarse con varias opciones de inclinación ( $0^\circ$  a  $135^\circ$  o  $\pm 90^\circ$ ), por lo tanto, aquí se encuentra en la posición de HOME es decir  $0^\circ$ .

**Figura 13***Mesa Posicionadora*

*Nota.* Representación de un posicionador robótico. Tomada de (Tecnologías en Soldadura, 2022)

En un posicionador robótico se puede adaptar Jigs de soldadura los cuales sirven de soporte al momento de ensamblar una estructura, este sistema adaptable integra métodos de sujeción (mecánicos y neumáticos). La finalidad de este sistema es realizar procesos repetitivos y alcanzar una mayor producción; por ejemplo, en la Figura 14 se observa la sujeción mecánica mediante Jigs de soldadura.

**Figura 14***Jigs de soldadura*

*Nota.* Jigs de soldadura con sujeción mecánica. Tomada de (AbcO-Europe, 2022)

**Extractor de humo.** Es un accesorio mecánico que captura varios gases nocivos. Los gases que salen de este proceso son muy dañinos, es decir que los trabajadores que se encuentran en estas áreas pueden perder su vida porque cuando inhalan estos gases afectan directamente al sistema respiratorio, provocando tos y también la irritación ocular.

En la Figura 15 el equipo está formado por una boquilla en forma de campana y ductos maleables. La combinación de un potente ventilador y unos filtros de alta calidad crea unos patrones de recirculación de aire para las unidades sin conductos, debido a que el flujo de aire de los conductos no requiere una costosa sustitución de aire, estas unidades ocupan menos espacio, pesan menos y consumen más energía.

### Figura 15

*Extractor de Humo por Campana*



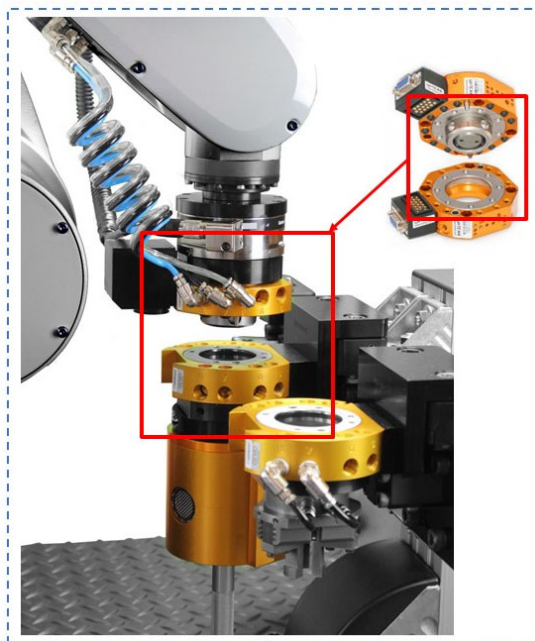
*Nota.* Representación del sistema extractor de humo por campana. Tomada de Smart Master aparato de aspiración por (Kemper, s.f.)

**Intercambiador de herramientas.** Es un accesorio muy esencial en aplicaciones industriales, consta de un lado maestro conectado al brazo robótico y una pieza en el lado de la herramienta (unido al efector final). La herramienta se acopla automática o manualmente en cuestión de segundos.

En la Figura 16, el intercambiador de herramienta tiene un mecanismo de bloqueo. Se trata de un pistón accionado manual o neumáticamente que genera una fuerza al conjunto de bolas en las ranuras de la pieza (costados de la herramienta) para bloquearla en su lugar y sujetar las dos piezas juntas usando pasadores de guía o de bloqueo.

### Figura 16

#### *Intercambiador de Herramientas*



*Nota.* Representación de un intercambiador de herramientas mediante accionamiento neumático. Tomada de (Plastics Technology, 2018)

**Banda transportadora.** Es un aparato mecánico esencial en el transporte de materiales u objetos de un lugar a otro mediante una gran cinta móvil comúnmente utilizada en aplicaciones industriales. Son duraderos y fiables que se utilizan en la distribución y el almacenamiento automatizado, permitiendo una distribución más eficaz en los sectores minorista, mayorista y manufacturero.

En la Figura 17, la cinta transportadora es impulsada por un rodillo motorizado montado debajo o en un extremo de la cinta, su movimiento es continuo. Los motores que operan a través de engranajes de reducción de velocidad constante o variable suelen proporcionar la potencia.

### **Figura 17**

#### *Banda transportadora*



*Nota.* Representación de una Banda transportadora. Tomada de Smart Master aparato de aspiración por (MiniTec, 2020)

### **Sistema de control**

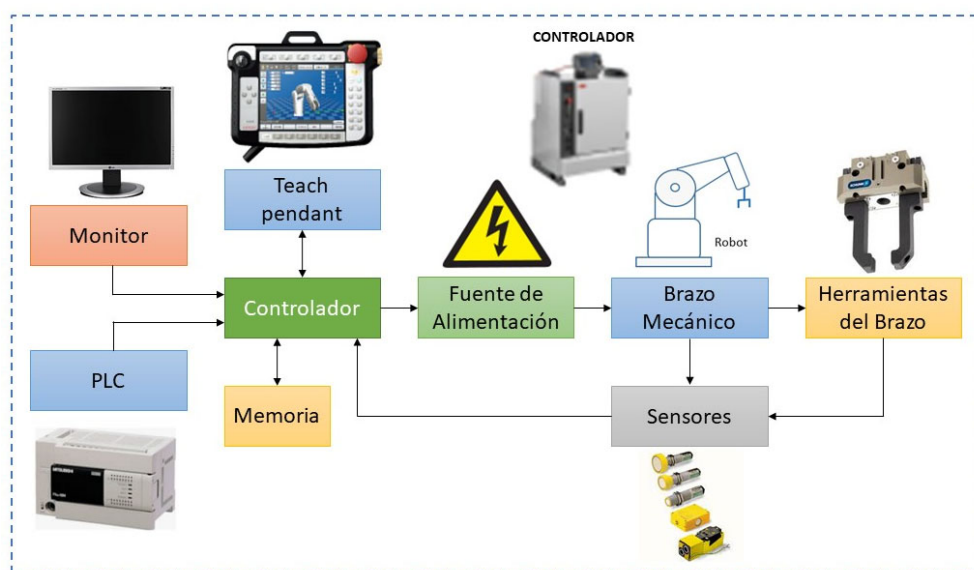
El control de celdas de trabajo es un área de la robótica que está cambiando drásticamente debido al gran progreso en la tecnología. Esto se alcanza a entender con la

evolución de los controladores y su capacidad para monitorear y administrar elementos dentro de la celda de trabajo. Existen tres tipos unidades de control que incluyen controladores lógicos programables (PLC), computadoras personales industriales (IPC) y el controlador robótico sencillo.

En la Figura 18, el controlador es el encargado de brindar la acción de manipular el robot junto con el Teach Pendant. Estos dos proporcionan la unidad de programación (donde se puede observar si la herramienta está encendida, tuvo algún tipo de colisión, entre otros aspectos o accesorios que se encuentren conectados al manipulador).

**Figura 18**

*Esquema de control de un robot*



*Nota.* Representación general del control de un manipulador robótico.

**Teach pendant.** Es un dispositivo que puede utilizarse para controlar los movimientos de un robot a distancia, para enseñarle a realizar tareas dentro de un espacio de trabajo. Permite que el operador tenga un rango de movimiento libre alrededor del robot, teniendo un

gran nivel de seguridad. En la Figura 19, el dispositivo consta de un paro de emergencia (detener inmediatamente la operación) en el caso de existir un problema. Se tiene una pantalla donde se puede visualizar (programación y advertencias), editar los comandos que son ingresados mediante el teclado.

**Figura 19**

*Teach pendant*



*Nota.* Representación básica de un Teach Pendant.

## Sistema de soldadura

### **Definición**

El sistema de soldadura está compuesto principalmente por una fuente de alimentación capaz de generar un arco eléctrico cuando el electrodo entra en contacto con un elemento metálico (material de fusión). La unión de dos piezas metálicas se debe al aporte de material del electrodo y la aplicación de gas, estos dos elementos se encuentran montados a la salida



de la antorcha. El Gas reduce la contaminación en la soldadura, por lo que es importante configurar los parámetros acordes a la aplicación industrial que se vaya a poner en práctica. En la Figura 20, se observa como el sistema de soldadura se encuentra adaptado al brazo robótico.

## Figura 20

### *Sistema de soldadura*



Nota. Montaje del sistema de soldadura.

Los manipuladores que integrada este tipo de sistema de soldadura son Fanuc, Kuka, Yaskawa, Panasonic y ABB. Motoman MA y AR. Se puede encontrar distintos tipos de soldadura, entre estos tenemos:

- Soldaduras por arco.
- Soldadura por resistencia.
- Soldadura por puntos.

- Soldadura por arco TIG.
- Soldaduras por arco TIG con soldadura por plasma.
- Soldadura MIG.

### **Componentes**

Los componentes que intervienen en un sistema de soldadura deben ser fijos y conectados mediante cables flexibles. Estas características permiten que el robot se adapte a cualquier postura. En la Tabla 3 se presenta los principales componentes de un sistema de soldadura.

**Tabla 3**

*Descripción de los componentes de un sistema de soldadura*

| <b>Componentes</b> |  |
|--------------------|--|
| <b>A</b>           | Fuente de energía                      |
| <b>B</b>           | Interfaz de comunicación               |
| <b>C</b>           | Cable de comunicación de la interfaz   |
| <b>D</b>           | Refrigerante                           |
| <b>E</b>           | Alimentador de alambre                 |
| <b>F</b>           | Base del alimentador                   |
| <b>G</b>           | Paquete de mangueras                   |
| <b>H</b>           | Sensores de colisión                   |
| <b>I</b>           | Disco de aislamiento entre la antorcha |
| <b>J</b>           | Cable de antorcha "conexión flexible"  |
| <b>K</b>           | Cuello de la antorcha                  |
| <b>L</b>           | Portador de alambre                    |

### Componentes

**M** Conductor de alambre

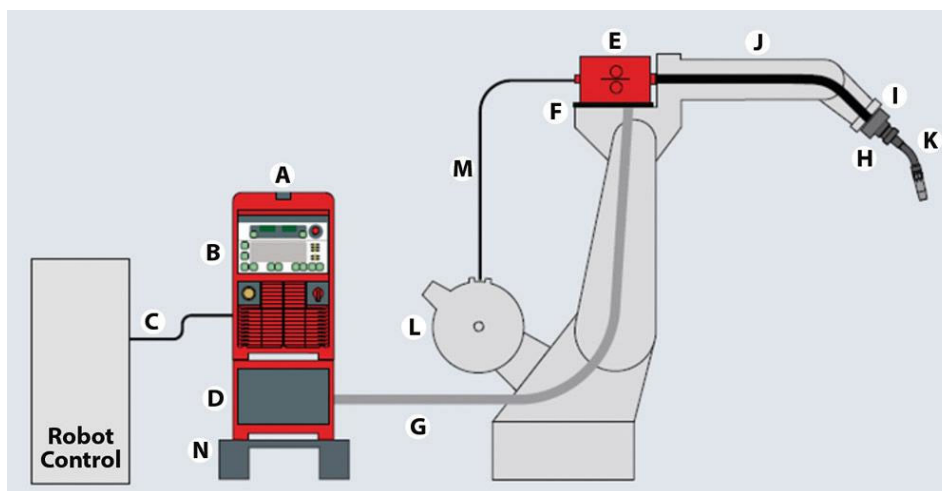
**N** Soporte de la fuente de energía

*Nota.* Descripción de componentes enumerados en la Figura 21.

En la Figura 21 se observa la distribución de componentes de un sistema de soldadura.

### Figura 21

*Componentes de un sistema de soldadura*



*Nota.* Componentes de un sistema de soldadura. Tomada de (CensalIndustrial, 2019)

### Capítulo III

#### Línea base del sistema

En el presente capítulo se describirá las condiciones iniciales precedentes a la ejecución de la tesis de “REPOTENCIACIÓN DE LA CELDA DE SOLDADURA ROBOTIZADA QUE INCLUYE EL BRAZO ROBÓTICO KUKA KR5-ARC, MESA POSICIONADORA, SUJETADORES Y SISTEMA ARTICULADO DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE HUMOS DE SOLDADURA EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE – SEDE LATACUNGA” en el cual se considerará criterios mecánicos, eléctricos y de programación de las diferentes máquinas que conforman la celda de soldadura, como se evidencia en la Figura 22.

#### Figura 22

*Celda de soldadura del laboratorio de robótica industrial*




*Nota.* Accesorios que componen la celda 1 de soldadura del laboratorio industrial.

### Brazo robótico KUKA KR5 Arc

El brazo robótico KUKA KR5 Arc es un robot destinado para aplicaciones de soldadura industrial, el cual fue adquirido por la Universidad de las Fuerzas Armadas para fines didácticos y de investigación. En la Tabla 4, se especifica las características generales del robot industrial.

**Tabla 4**

*Características generales del brazo industrial KUKA KR5 ARC*

| <b>Brazo Robótico KUKA KR5 ARC</b> |   | <b>Número de identificación</b>   | KR5 ARC<br>COD. 04-6720-01-00023 |                                  |               |
|------------------------------------|---|---|----------------------------------|----------------------------------|---------------|
| Descripción                        | Brazo antropomórfico industrial de 6GDL |  |                                  |                                  |               |
| Marca                              | KUKA                                    |   |                                  |                                  |               |
| Año de Fabricación                 | 2005                                    |   |                                  |                                  |               |
| Posee Manual                       | Si                                      |   |                                  |                                  |               |
| Campo de trabajo                   | 1412 mm                                 |   |                                  |                                  |               |
| Procedencia                        | Alemana                                 |   |                                  |                                  |               |
| Unidad de Control                  | KR C2                                   |   |                                  |                                  |               |
| Número de ejes                     | 6                                       |   |                                  |                                  |               |
| <b>Datos Del Equipo</b>            |   |   |                                  | <b>Estado de los componentes</b> |               |
|                                    |   |   |                                  | <b>Detalles</b>                  | <b>Estado</b> |
| Carga Útil                         | 5 kg                                    | Módulo WAGO   |                                  |                                  |               |
| Voltaje de alimentación            | 400V                                    | Soldadora Fronius TransPuls Synergic 4000   |                                  |                                  |               |
| Posición de montaje                | Piso, pared, techo                      |   |                                  |                                  |               |
| Repetibilidad                      | $\pm 0.04$ mm                           |   |                                  |                                  |               |
| Peso aprox.                        | 127 kg                                  |   |                                  |                                  |               |
| Espacio de trabajo                 | $8.4 m^3$                               |   |                                  |                                  |               |
| Tipo de protección                 | IP 54 -robot<br>IP 65 - muñeca          |   |                                  |                                  |               |
| Temperatura de operación           | 10 °C a 55 °C                           |   |                                  |                                  |               |

*Nota.* Características del brazo industrial KUKA KR5 ARC. Tomado de (KUKA, 2014)

## Mesa posicionadora

El brazo robótico KUKA KR5 Arc es un robot destinado para aplicaciones de soldadura industrial

La mesa posicionadora es un proyecto de tesis elaborado por los ingenieros José Santiago Arias Granda y Luis David Toapanta Lascano en el año del 2013 correspondiente al tema de titulación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA POSICIONADORA DE SOLDADURA EN DOS EJES PARA EL BRAZO ROBÓTICO KUKA KR-5ARC DEL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.” (Arias Granda & Toapanta Lascano, 2013).

En la Tabla 5 se evidencia las características generales de la mesa posicionadora.

**Tabla 5**

*Características generales de la mesa posicionadora*

| Mesa posicionadora    |                    | Número de identificación   | LRI-4MPSR-1               |        |
|-----------------------|--------------------|--|---------------------------|--------|
| Descripción           | Mesa posicionadora |  |                           |        |
| Marca                 | Sin Marca          |  |                           |        |
| Año de Fabricación    | 2013               |  |                           |        |
| Posee Manual          | Si                 |  |                           |        |
| Dimensiones área útil | 70 mm Ø            |  |                           |        |
| Procedencia           | Latacunga-Ecuador  |  |                           |        |
| Fecha de Instalación  | 2013               |  |                           |        |
| Número de Serie       | Ninguna            |  |                           |        |
| Datos Del Equipo      |                    |  | Estado de los componentes |        |
|                       |                    |  | Detalles                  | Estado |
| Modelo                | Sin modelo         | Tablero Eléctrico  | Tabla 6                   |        |
| Voltaje               | 220V C.A.          | Componentes mecánicos  | Tabla 7                   |        |
| Dimensión del disco   | 70 mm Ø            | Programa de funcionamiento del PLC   | Tabla 8                   |        |

| Control                 | PLC Xinje XCM 32 T  | Programa de funcionamiento de la pantalla TouchWin | Tabla 8 |
|-------------------------|---------------------|--|---------|
| Drivers de servomotores | DA98B               |  |         |
| Sensores                | Finales de carreras |  |         |
| Relés                   |                     |  |         |
| Touch Panel             | TouchWin            |  |         |

*Nota.* Especificaciones generales de la mesa posicionadora. Tomada de (Arias Granda & Toapanta Lascano, 2013).

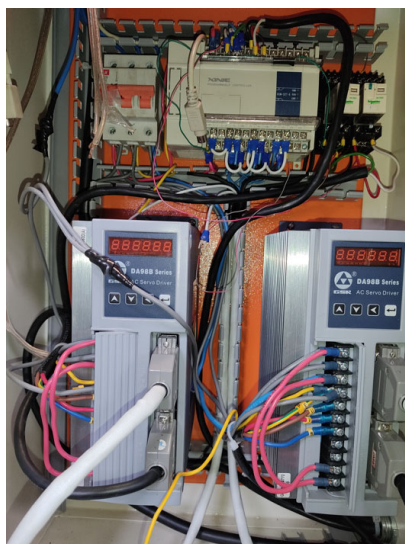
### **Tablero eléctrico**

La mesa posicionadora contiene un tablero electrónico el cual tiene como funcionalidad controlar el movimiento de la mesa y comunicarse con el módulo WAGO correspondiente al robot KUKA KR5 ARC, el cual dispone de los siguientes componentes electrónicos ilustrados en la Figura 23.

- Breaker.
- Panel Touch.
- Paro de emergencia.
- PLC Xinje XCM 32T.
- Relé de entrada de señal, módulo Wago -PLC.
- Relé de salida de señal, PLC - módulo Wago.
- Sensores, Finales de carrera.
- Selector ON/ OFF trifásico.
- Servo Drivers.

**Figura 23**

*Imagen del tablero eléctrico de la mesa posicionadora*




*Nota.* Condiciones iniciales del tablero de control de la mesa posicionadora y sus conexiones eléctricas.

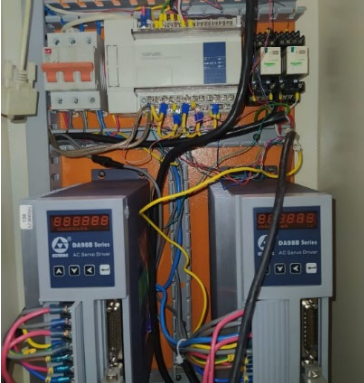

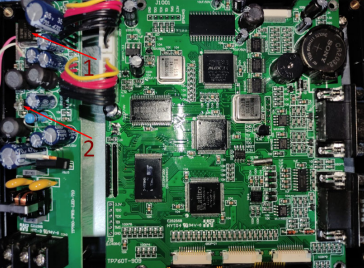
En la Tabla 6 se evidencia las condiciones iniciales y problemas evidenciados del tablero de control de la mesa posicionadora

**Tabla 6**

*Descripción de problemas encontrados en el tablero de control eléctrico de la mesa posicionadora.*

| <b>Condiciones del tablero de control de la mesa posicionadora</b> |   |  |  |
|--|---|--|--|
| <b>N°</b>  | <b>Problema</b>                           | <b>Detalle</b>   | <b>Gráfico</b>   |
| 1  | Conexiones inadecuadas del conector DB 44 | Conexiones inapropiadas entre los pines de la salida DB44 y los cables de datos. |  |



| N° | Problema   | Detalle   | Grafico  |
|----|--|---|--|
| 2  | Conexión eléctrica inadecuada del panel de control     | Redundancia de cables entre conexiones, uso de cable de timbre sólido entre dispositivos eléctricos, dimensionamiento de cable excesivo y falta de numeración en el diagrama eléctrico. |    |
| 3  | Sensores y relés de la mesa posicionadora desconectado | Desconexión de los cables en los sensores y relés de la mesa posicionadora  |   |
| 4  | Pantalla TouchWin dañada                               | Daños en la placa de alimentación del Touch Panel   |  |

*Nota.* Problemas identificados en el tablero de control de la mesa posicionadora.

### **Componentes mecánicos**

La mesa posicionadora es un diseño mecatrónico que contiene componentes mecánicos encargados de realizar el movimiento de la mesa ilustrados en la Figura 24.

- Bocín de pinza de masa
- Eje de pinza de masa
- Eje de volteo y giratorio
- Engranaje de volteo y Giratorio

- Estructura fija
- Mesa soporte de los servomotores
- Pernos, rodajas y tuercas
- Piñón y plato giratorio

#### Figura 24

*Imagen de las partes mecánicas de la mesa posicionadora*

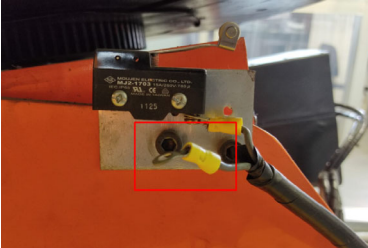



*Nota.* Condiciones iniciales de las partes mecánicas de la mesa posicionadora.

En la Tabla 7 se evidencia las condiciones iniciales y problemas evidenciados en los componentes mecánicos de la mesa posicionadora.

**Tabla 7**

*Descripción de problemas encontrados en los componentes mecánicos de la mesa posicionadora.*

| <b>Condiciones de las partes mecánicas de la mesa posicionadora</b> |  |  |   |
|---|--|--|---|
| <b>N°</b>   | <b>Problema</b>                            | <b>Detalle</b>   | <b>Grafico</b>  |
| 1   | Inactividad del final de carrera del disco | No existe contacto en el final de carrera del disco  |   |
| 2   | Falta de mantenimiento preventivo          | Necesita de limpieza y mantenimiento preventivo con el fin de evitar daños futuros y aumentar su tiempo de vida útil |  |

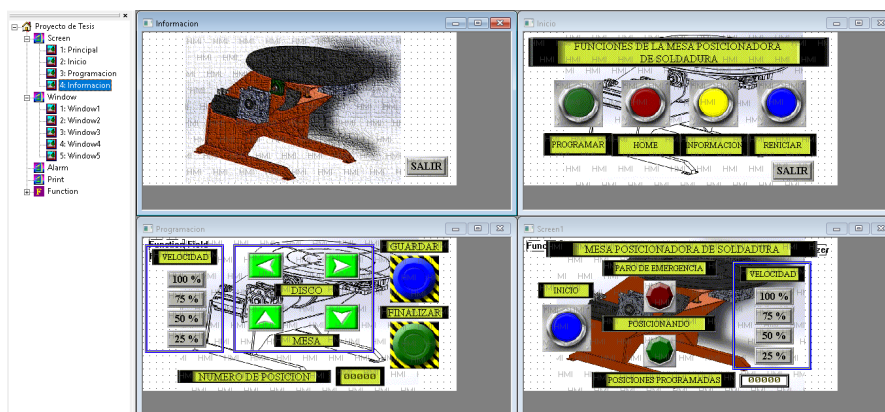
*Nota.* Problemas identificados en los componentes mecánicos de la mesa posicionadora.

### **Programación**

La mesa posicionadora requiere de una programación, con la finalidad de crear una interfaz visual en el Panel TP760 TD y programación Ladder en el PLC Xinje XCM 32 T para controlar el movimiento de la mesa y comunicarse con el módulo WAGO correspondiente al robot KUKA KR5 ARC, como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Imagen de las programaciones iniciales de la mesa posicionadora.



*Nota.* En la imagen se muestra las condiciones iniciales de las pantallas de programación de la mesa posicionadora.

En la Tabla 8 se evidencia las condiciones iniciales y problemas evidenciados del tablero de control de la mesa posicionadora.

Tabla 8

Descripción de problemas encontrados en la programación de la mesa posicionadora.

| Condiciones de la programación de control de la mesa posicionadora |  |   |
|--|--|---|
| N°   | Problema   | Detalle   |
| 1  | Inoperatividad de la mesa posicionadora.               | Los programas de respaldo de la tesis elaborada no realizan ningún control sobre el posicionamiento de la mesa posicionadora.       |
| 2  | Códigos modificados en la tesis del programa PLC Xinje | Los programas de respaldo no corresponden a los archivos cargados en el PLC   |
| 3  | Ausencia del punto específico "home"                   | El programa original no tiene en cuenta el home en un punto específico, asumía como home en el lugar donde se desenergizaba el PLC. |

| N° | Problema                          | Detalle  |
|----|-----------------------------------|--|
| 4  | Ausencia de control de posiciones | No existe una interpretación del punto en el que se encuentra las posiciones guardadas |

*Nota.* Problemas identificados en la programación de la mesa posicionadora.

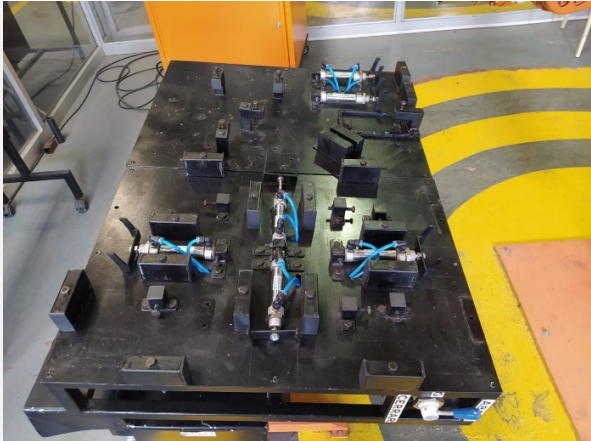
### Jigs de soldadura

Los Jigs de soldadura es un proyecto de tesis elaborado por los ingenieros Carlos David Calvopiña Terán y Darío Xavier Tituaña Cárdenas en el año 2021 correspondiente al tema de titulación, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ARTICULADO DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE HUMOS DE SOLDADURA EN LA CELDA ROBOTIZADA CON BRAZO KUKA KR5 ARC DEL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L". (Calvopiña Terán & Tituaña Cárdenas, 2021).

En la Tabla 9 se evidencia las características generales de los Jigs de Soldadura.

**Tabla 9**

*Características generales de los Jigs de soldadura*

| Mesa posicionadora - Jigs de soldadura |                         | Número de identificación   | N.A. |
|--|-------------------------|--|------|
| Descripción                            | Jigs de soldadura       |  |      |
| Marca                                  | Sin Marca               |  |      |
| Año de Fabricación                     | 2021                    |  |      |
| Posee Manual                           | Si                      |  |      |
| Capacidad máxima de carga              | 75kg                    |  |      |
| Peso                                   | 22.8kg                  |  |      |
| Presión de trabajo                     | 2-3 Bares (0,2-0,3 MPa) |  |      |
| Presión máxima                         | 10 Bares (1MPa)         |  |      |

| Tamaño de perfil estructural recomendado | Acorde al jig a utilizar |  |          |
|--|--------------------------|--|----------|
| Datos Del Equipo                         |                          | Estado de los componentes                  |          |
|  |                          | Detalles                                   | Estado   |
| Modelo                                   | Sin modelo               | Estructura principal                       | Bueno    |
| Voltaje                                  | 220V C.A.                | Componentes mecánicos de sujeción de pieza | Tabla 10 |
| Dimensión de la estructura               | 50cm<br>*70cm*15cm       | Componentes neumáticos                     | Tabla 12 |
| Control                                  | Neumático                |  |          |

*Nota.* Especificaciones generales de los Jigs de soldadura. Tomada de (Calvopiña Terán & Tituaña Cárdenas, 2021).

### ***Componentes mecánicos de sujeción de pieza***

Los componentes mecánicos de los Jigs de la Figura 26, están destinados a la sujeción de piezas para realizar cordones de soldadura, conformado por:

- Clamps para perfiles estructurales.
- Clamps para ángulos estructurales.
- Clamps fijo y móvil para placas.
- Clamps de ajuste Jigs 2
- Garra de sujeción.
- Soporte cilindro neumático.
- Tope rectangular.

**Figura 26**

*Imagen de los componentes de sujeción de los Jigs de soldadura.*

### Herramientas mecánicas de sujeción de piezas

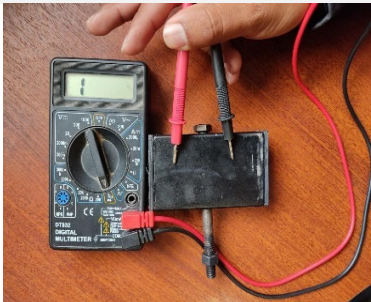
**a. Tope rectangular****b. Clamp de ajuste Jig2****c. Clamp fijo para placas****d. Clamp para perfiles****e. Tope para ángulos estructurales****f. Clamp móvil para placas****g. Clamp para ángulos estructurales**

*Nota.* Diferentes componentes mecánicos utilizados para la sujeción de piezas.

En la Tabla 10 se muestra las condiciones iniciales y problemas evidenciados de los componentes mecánicos de sujeción de los Jigs de soldadura

**Tabla 10**

*Descripción de problemas encontrados en los componentes mecánicos de sujeción de los Jigs de soldadura*

| <b>Condiciones de los componentes mecánicos de sujeción de los Jigs de soldadura</b> |   |  |  |
|--|---|--|--|
| <b>N°</b>  | <b>Problema</b>   | <b>Detalle</b>   | <b>Grafico</b>   |
| 1  | Ausencia de continuidad con la tierra de la soldadora Fronius | No existe continuidad entre la tierra de la soldadora Fronius y los Jigs de soldadura, además existe pintura que impide la continuidad entre las piezas de sujeción. |  |

*Nota.* Condiciones de los componentes mecánicos de los Jigs de soldadura.

### **Estructura fija**

En la Figura 27 se presenta componentes de sujeción de los Jigs de soldadura. Están fijos mediante tornillos que permiten la conductividad de masa, su estructura es de forma rectangular y de fácil montaje.

**Figura 27**

*Componentes de sujeción de los Jigs de soldadura.*



*Nota.* Base fija utilizados para la sujeción de piezas.



En la Tabla 11 se presenta la descripción de las condiciones iniciales de los Jigs de soldadura.

**Tabla 11**

*Descripción de problemas encontrados en la estructura fija de los Jigs de soldadura.*

**Condiciones de la estructura fija de los Jigs de soldadura**

| N° | Problema      | Detalle       |
|----|---------------|---------------|
| 1  | Sin novedades | Sin novedades |

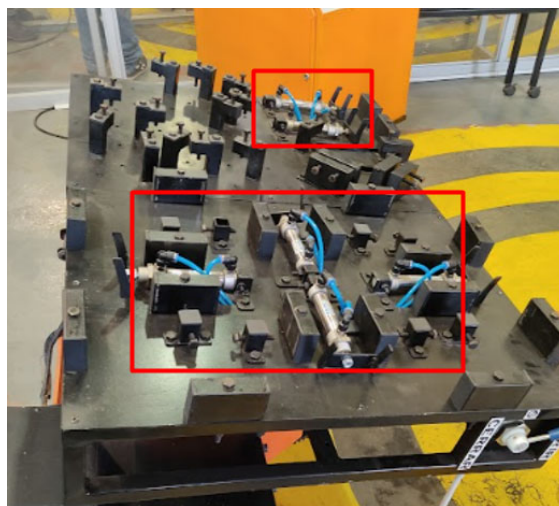
*Nota.* Condiciones de la estructura fija de los Jigs de soldadura.

**Sistema neumático**

En la Figura 28 se observa los componentes del sistema neumático, consta de 6 actuadores neumáticos con dos aperturas de aire para ser habilitada.

**Figura 28**

*Componentes del sistema neumático de los Jigs de soldadura.*



*Nota.* En la imagen se evidencias la base fija utilizados para la sujeción de piezas.

En la Tabla 12 se presenta la descripción de las condiciones iniciales del sistema neumático de los Jigs de soldadura.

**Tabla 12**

*Descripción de problemas encontrados en el sistema neumático de los Jigs de soldadura*

**Condiciones del sistema neumático de los Jigs de soldadura**

| N° | Problema      | Detalle       |
|----|---------------|---------------|
| 1  | Sin novedades | Sin novedades |

*Nota.* Condiciones del sistema neumático de los Jigs de soldadura.

**Extractor de humos**

El extractor de humo es un proyecto de tesis elaborado por los ingenieros Carlos David Calvopiña Terán y Darío Xavier Tituaña Cárdenas en el año 2021 correspondiente al tema de titulación, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ARTICULADO DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE HUMOS DE SOLDADURA EN LA CELDA ROBOTIZADA CON BRAZO KUKA KR5 ARC DEL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L". (Calvopiña Terán & Tituaña Cárdenas, 2021). En la Tabla 13 se evidencia las características generales del extractor de humos.

**Tabla 13**

*Características generales del extractor de humo*

| Extractor de humos |                               | Número de identificación | N.A. |
|--------------------|-------------------------------|--------------------------|------|
| Descripción        | Extractor de humos            |                          |      |
| Marca              | Sin Marca                     |                          |      |
| Año de Fabricación | 2021                          |                          |      |
| Posee Manual       | No                            |                          |      |
| Caudal de trabajo  | $1200 \frac{m^3}{h}$ (750cfm) |                          |      |
| Caudal máximo      | $3100 \frac{m^3}{h}$          |                          |      |
| RPM                | 2500 rpm                      |                          |      |
| Voltaje            | Trifásico de 220v             |                          |      |



|                         |            |                                  |               |
|-------------------------|------------|----------------------------------|---------------|
| Frecuencia              | 60 Hz      |                                  |               |
| Amperaje                | 1.87 A     |                                  |               |
| Potencia                | 0.5 HP     |                                  |               |
| <b>Datos Del Equipo</b> |            | <b>Estado de los componentes</b> |               |
|                         |            | <b>Detalles</b>                  | <b>Estado</b> |
| Modelo                  | Sin modelo | Estructura                       | Tabla 14      |
| Voltaje                 | 220V C.A.  | Tablero de control               | Tabla 15      |
|                         |            | Sistema de filtros               | Tabla 16      |

*Nota.* Especificaciones generales del extractor de humos. Tomada de (Calvopiña Terán & Tituaña Cárdenas, 2021).

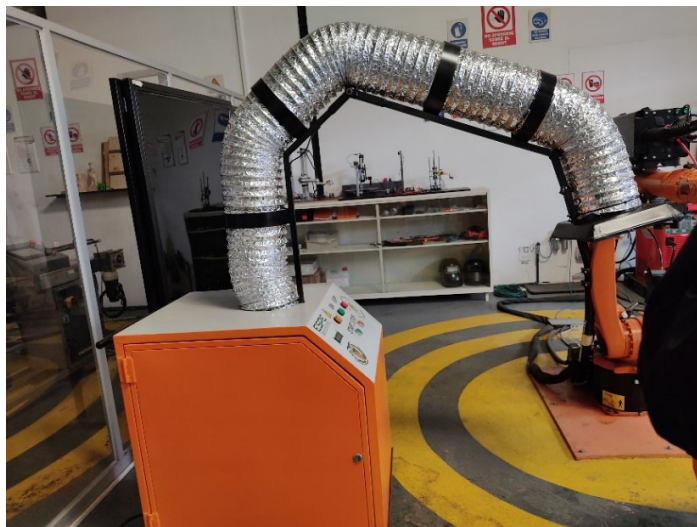
### ***Estructura mecánica***

Los componentes mecánicos del extractor de humo de la Figura 29, permiten sostener al brazo de aspiración para que realice su función como se presenta a continuación:

- Anillas de retención
- Brazo de aspiración
- Campana de aspiración
- Carcasa exterior
- Manga flexible
- Mango de transporte
- Puerta de mantenimiento
- Ruedas locas

**Figura 29**

*Componentes mecánicos del extractor de humo.*



*Nota.* Componentes mecánicos utilizados en el extractor de humos.

En la Tabla 14 se evidencia las condiciones iniciales y problemas evidenciados de los componentes mecánicos del extractor de humo.

**Tabla 14**

*Descripción de problemas encontrados en los componentes mecánicos del extractor de humo.*

**Condiciones de los componentes mecánicos del extractor de humo**

| <b>N°</b> | <b>Problema</b> | <b>Detalle</b> |
|-----------|-----------------|----------------|
| 1         | Sin novedades   | Sin novedades  |

*Nota.* Descripción de problemas encontrados en los componentes mecánicos del extractor de humo.

### **Tablero de control**

En la Figura 30 se observa los componentes eléctricos del tablero de control del extractor de humo.

### **Figura 30**

*Componentes eléctricos del extractor de humo.*

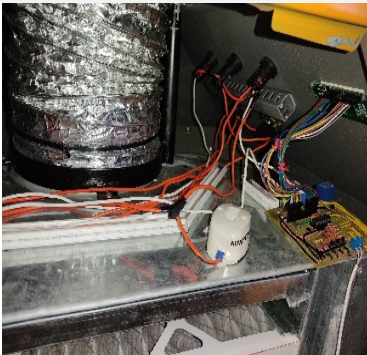




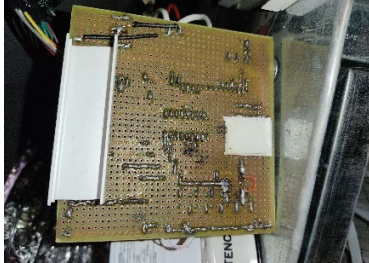
*Nota.* Componentes eléctricos utilizados en el extractor de humos.

En la Tabla 15 se muestra las condiciones iniciales y problemas evidenciados de los componentes eléctricos del tablero de control del extractor de humo.

### **Tabla 15**

*Descripción de problemas encontrados en el tablero de control.*

| <b>Condiciones del tablero de control de la mesa posicionadora</b> |   |   |  |
|--|---|---|--|
| <b>N°</b>  | <b>Problema</b>   | <b>Detalle</b>  | <b>Grafico</b>   |
| 1  | Mala instalación de cables de conexión en el circuito de fuerza | Los cables de conexión en el circuito de fuerza necesitan de terminales de cable para que la sujeción con los dispositivos sea óptima |  |

| N° | Problema  | Detalle  | Grafico   |
|----|---|--|---|
| 2  | Ausencia de canaletas   | No existe canaletas que permitan ordenar los cables de manera técnica para la falibilidad de organización                              |   |
| 3  | Ausencia de etiquetas de control                                  | Para un óptimo mantenimiento es importante etiquetar los cables para una fácil conexión, en caso de cambiar algún componente eléctrico |   |
| 4  | Circuito de control realizado no apto para ambientes industriales | El circuito debe estar diseñado por software e implementado de manera correcta.  |  |

*Nota.* Descripción de problemas encontrados en el tablero de control del extractor de humo.

### **Sistema de filtrado**

En la Figura 31 se observa los componentes del sistema de filtrado del extractor de humo.

**Figura 31**

*Componentes para el sistema de filtrado del extractor de humo.*



*Nota.* Componentes para el sistema de filtrado utilizados en el extractor de humos.

En la Tabla 16 se evidencia las condiciones iniciales y problemas evidenciados del sistema de filtrado de humo de soldadura.

**Tabla 16**

*Descripción de problemas encontrados en el sistema de filtrado de humo de soldadura*

**Condiciones del sistema de filtrado de humo de soldadura**

| <b>N°</b> | <b>Problema</b> | <b>Detalle</b> |
|-----------|-----------------|----------------|
| 1         | Sin novedades   | Sin novedades  |

*Nota.* Descripción de problemas encontrados en el sistema de filtrado del extractor de humo.

**Sistema de soldadura fronius**

El sistema de soldadura FRONIUS TransPuls Synergic 4000 es un sistema de soldadura robotizada, cuya antorcha sirve como efector final o herramienta del brazo robótico

KUKA KR5 ARC. En la Tabla 17 se evidencia las características generales del sistema de soldadura.

**Tabla 17**

*Características generales del extractor de humo*

| <b>Soldadora Fronius</b>                 |                         | <b>Número de identificación</b>   | LRI – 4EESR-1 |
|--|-------------------------|---|---------------|
| Descripción                              | Soldadora Fronius       |  |               |
| Marca                                    | TransPuls Synergic 4000 |   |               |
| Año de Fabricación                       |                         |   |               |
| Posee Manual                             | Si                      |   |               |
| Tensión de red                           | Trifásica 400           |   |               |
| Frecuencia de red                        | 50/60 Hz                |   |               |
| Rendimiento                              | 88%                     |   |               |
| Margen de corriente de soldadora MIG/MAG | 3-400 A                 |   |               |
| Máxima tensión de soldadura              | 48 V                    |   |               |
| Tipo de protección                       | IP23                    |   |               |
| Peso                                     | 35.6 kg                 |   |               |
| <b>Estado de los componentes</b>         |                         |   |               |
|  |                         | <b>Detalles</b>   | <b>Estado</b> |
|  |                         | N/A   |               |

*Nota.* Especificaciones generales de la soldadura Fronius. Tomado de (Fronius, 2015)

### **Estructura mecánica y electrónica**

En la Figura 32 se observa el sistema de soldadura Fronius.



**Figura 32***Soldadura Fronius*

*Nota.* Componentes de la soldadura Fronius.

En la Tabla 18 se evidencia las condiciones iniciales y problemas evidenciados componentes de la soldadura Fronius.

**Tabla 18**

*Descripción de problemas encontrados en los componentes de la soldadora Fronius*

**Condiciones de los componentes de la soldadora Fronius**

| <b>N°</b> | <b>Problema</b> | <b>Detalle</b> |
|-----------|-----------------|----------------|
| 1         | Sin novedades   | Sin novedades  |

*Nota:* Descripción de problemas encontrados en los componentes de la soldadora Fronius.

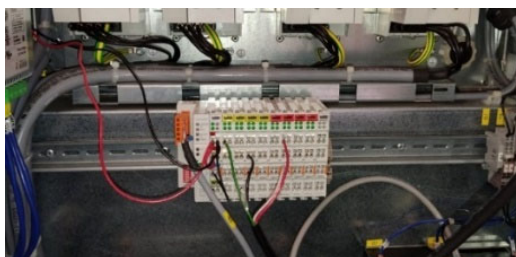
## Hardware, software y programas de usuario del robot KUKA KR5 Arc

### Hardware

El Robot KUKA KR5 Arc dispone de algunos componentes mecánicos y eléctricos, entre los cuales se encuentra el módulo WAGO de la Figura 33, el cual es un dispositivo que permite comunicar mediante entradas y salidas digitales otros dispositivos a través de señales de 24 voltios.

### Figura 33

*Módulo WAGO del Robot KUKA KR5 Arc*

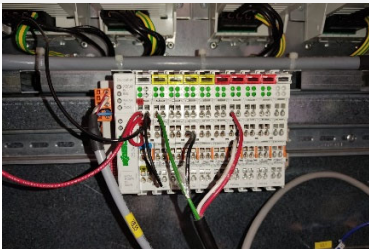


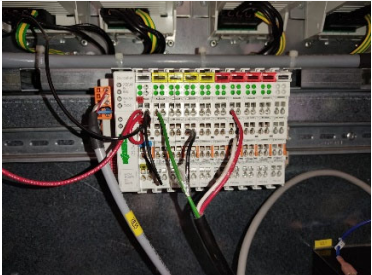
*Nota.* Entradas y salidas utilizadas en el módulo WAGO del controlador de la celda de soldadura.

En la Tabla 19 se evidencia las condiciones iniciales y problemas evidenciados en el módulo WAGO.

### Tabla 19

*Descripción de problemas encontrados en el módulo WAGO de la celda de soldadura*

| Condiciones del módulo WAGO |                       |   |  |
|-----------------------------|-----------------------|---|--|
| N°                          | Problema              | Detalle   | Grafico  |
| 1                           | Cables sin terminales | Los cables utilizados para la comunicación con el módulo WAGO no disponen de terminales |  |

| N° | Problema                                   | Detalle  | Grafico  |
|----|--|--|--|
| 2  | Disposición entradas y salidas en desorden | Las entradas y salidas ocupadas se encuentran en desorden. |  |

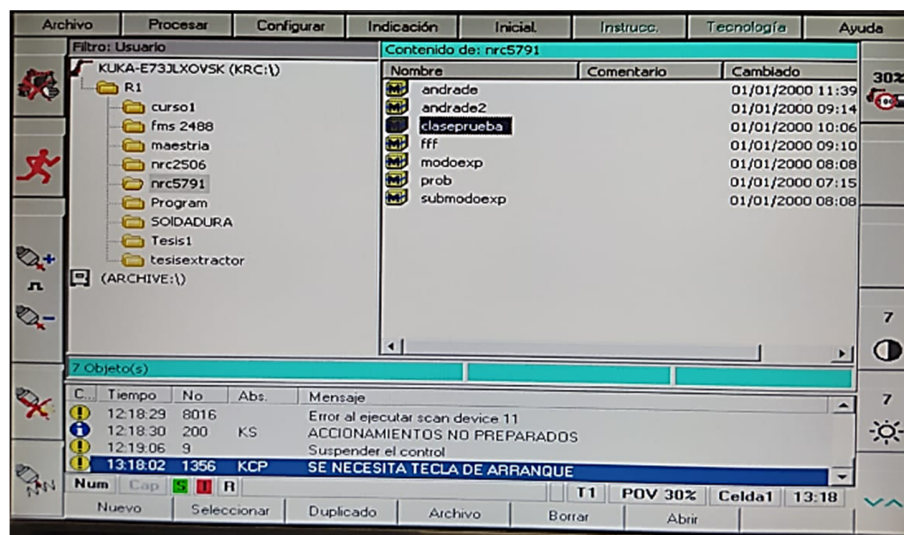
*Nota.* Descripción de problemas encontrados en el módulo WAGO.

### Software y programas

El Robot KUKA KR5 Arc utiliza el Software KUKA HMI 2.0 de la Figura 34 para el análisis y control de variables que permiten el posicionamiento del brazo antropomórfico.

**Figura 34**

*Software KUKA HMI 2.0*

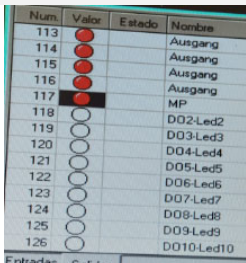
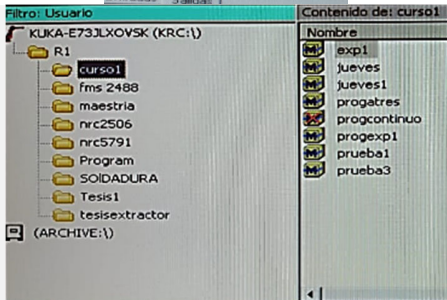


*Nota.* Interfaz de control del software KUKA HMI 2.0 utilizado para el control del brazo antropomórfico y otros dispositivos.

En la Tabla 20 se evidencia las condiciones iniciales y problemas evidenciados en el software KUKA.

**Tabla 20**

*Descripción de problemas encontrados en el software KUKA HMI 2.0 de la celda de soldadura*

| Condiciones del módulo WAGO |   |  |   |
|-----------------------------|---|--|---|
| N°                          | Problema  | Detalle  | Grafico   |
| 1                           | Asignación de variables de entrada y salida del módulo WAGO incorrectas           | La asignación de las variables en el módulo WAGO   |   |
| 2                           | Archivos de programa obsoletos por falta de información o información irrelevante | Existencia de programas desarrollados por que no aportan a nuevas programaciones y ocupan espacio de memoria |  |

*Nota:* Descripción de problemas encontrados en el software KUKA.

## Capítulo IV

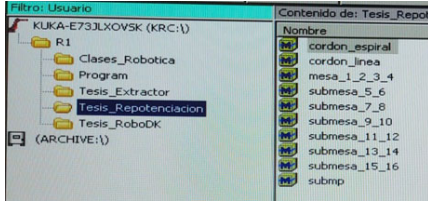
### Reconfiguración y repotenciación

#### Depuración de los archivos de usuario y sistema.

En la Tabla 21 se evidencia las soluciones a los problemas evidenciados en los archivos de usuario y sistema.

**Tabla 21**

*Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en el software KUKA HMI 2.0*

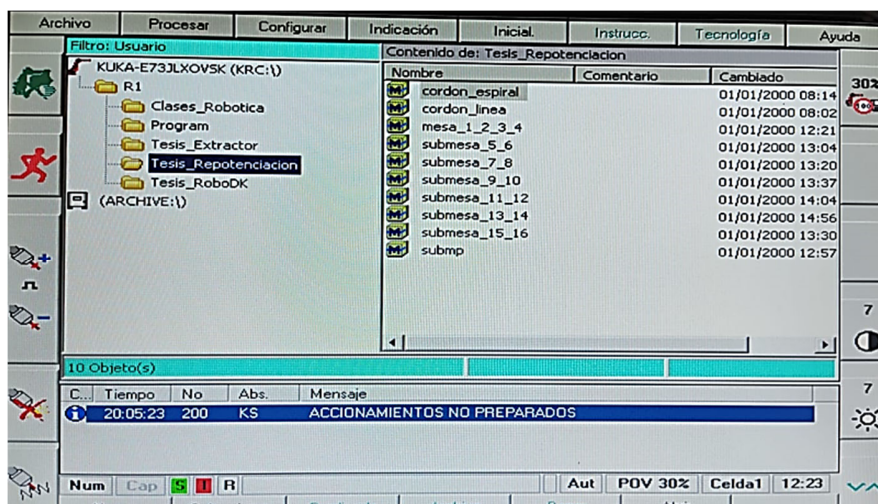
| Soluciones de los problemas encontrados en el software KUKA HMI 2.0 |   |  |   |
|---|---|--|---|
| N°  | Problema  | Soluciones   | Gráfico   |
| 1   | Archivos de programa obsoletos por falta de información o información irrelevante | Depurar los archivos .src y .dat elaborados precedentes a la repotenciación de la celda de soldadura |  |

*Nota.* Descripción de las soluciones efectuadas con referencia a los problemas identificados en el software KUKA.

Para la depuración de los archivos de usuario ubicados en el software KUKA HMI 2.0 se consideró como principal complicación que en la mayoría de los programas no se especifica la posición de la mesa posicionadora y si se ocupó los Jigs de Soldadura. Por lo que, al ejecutar el programa, éste puede colisionar con la mesa posicionadora o Jigs de soldadura, representando un problema en el robot KUKA KR5 Arc. Por lo que se optó por eliminar toda información realizada por estudiantes; como se muestra en la Figura 35.

Figura 35

Depuración de archivos .scr y .dat del software KUKA HMI 2.0



*Nota.* Limpieza de archivos .src del software del robot KUKA KR5 Arc.

Además, es importante realizar programas con encabezados que permitan identificar de manera oportuna las condiciones de la mesa posicionadora y la presencia o ausencia de Jigs, para cuando se requiera utilizar el programa de operación del robot, éste no colisione con los otros dispositivos de la celda de soldadura.

## Mesa posicionadora de soldadura.

### Tablero eléctrico

Para la repotenciación de la mesa posicionadora se debe realizar una reconfiguración en el tablero eléctrico, considerando las observaciones de la Tabla 22.

En la Tabla 22 se evidencia las soluciones a los problemas evidenciados del tablero de control de la mesa posicionadora.

Tabla 22

Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en el tablero de control de la mesa posicionadora.

| Soluciones de los problemas encontrados de la mesa posicionadora Grafico |   |   |  |
|--|---|---|--|
| N°   | Problema  | Soluciones  | Grafico  |
| 1  | Conexiones inapropiadas entre los pines de la salida DB44 y los cables de datos.  | Aumentar el grosor del cable a cable flexible N°18 y realizar el aislamiento mediante termo contraíbles.  |    |
| 2  | Redundancia de cables entre conexiones, uso de cable de timbre sólido entre dispositivos eléctricos, dimensionamiento de cable excesivo y falta de numeración en el diagrama eléctrico. | Realizar el circuito eléctrico, y etiquetado de las líneas para detectar fácilmente la correspondencia de los cables con los equipos electrónicos |   |
| 3  | Desconexión de los cables en los sensores de la mesa posicionadora  | Reactivar los sensores inactivos y comprobar si éstos realizaban alguna acción en el PLC Xinje  |  |
| 4  | Daños en la placa de alimentación del Touch Panel   | Adquirir una nueva placa de alimentación.   |  |

*Nota.* Descripción de las soluciones efectuadas con referencia a los problemas identificados en el tablero de control de la mesa posicionadora.

En la Figura 36 se observa el tablero eléctrico de la mesa posicionadora, con la respectiva conexión y etiquetado.

### Figura 36

*Tablero eléctrico de la mesa posicionadora.*



*Nota.* Correcciones en el tablero de control de la mesa posicionadora y sus conexiones eléctricas.

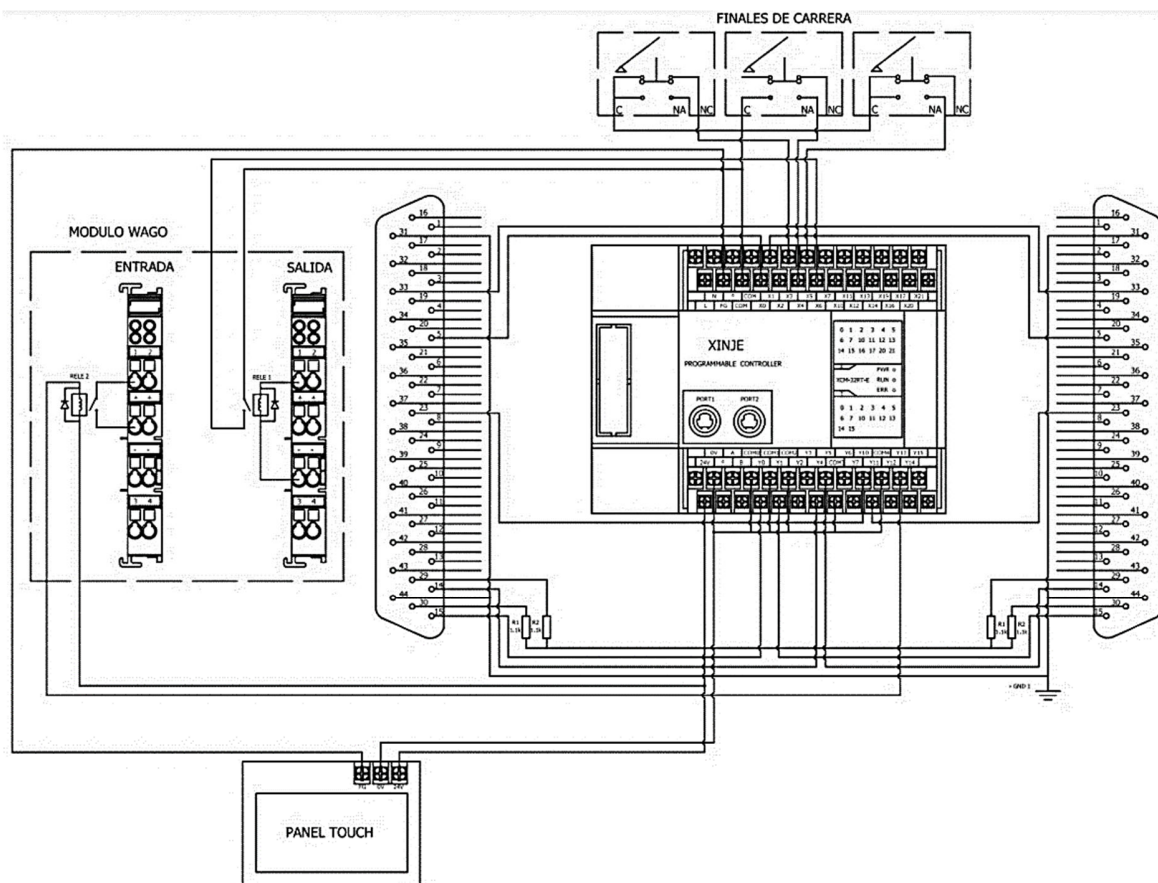
Para la solución del punto uno de la Tabla 22 se trabajó con cables N° 18 para la conexión del puerto DB44 y el PLC, debido a que es el óptimo para ambientes industriales, a diferencia de los cables unifilares de timbre utilizados inicialmente para la comunicación.

Para la solución del punto dos de la Tabla 22, se analizó el diagrama de control de la tesis de la mesa posicionadora, posteriormente se realizó el diagrama de conexión en el programa AutoCAD Electrical versión estudiantil, específicamente las conexiones PLC – DB44 y PLC – Módulo WAGO. Como se muestra en la Figura 37.



Figura 37

Conexión eléctrica de la mesa posicionadora



*Nota.* Diagrama eléctrico del panel de control de la mesa posicionadora.

Posteriormente elaborado el diagrama de control se procedió a realizar las conexiones, con cable N° 18, eliminando los cables unifilares y realizando el etiquetado de los terminales para cuando se desee realizar el cambio de algún dispositivo electrónico, éste sea cambiado de manera fácil.

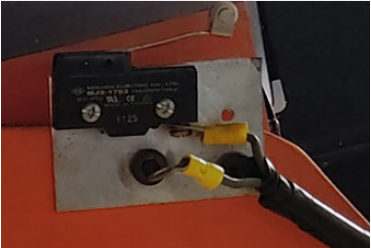
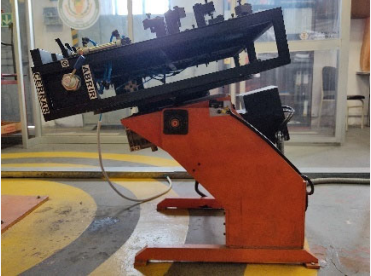
### Componentes mecánicos

Para la repotenciación de la mesa posicionadora es importante realizar una reconfiguración de los componentes mecánicos considerándose las observaciones de la Tabla 23.

En la Tabla 23 se evidencia las soluciones a los problemas evidenciados del tablero de control de la mesa posicionadora.

**Tabla 23**

*Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en las partes mecánicas de la mesa posicionadora*

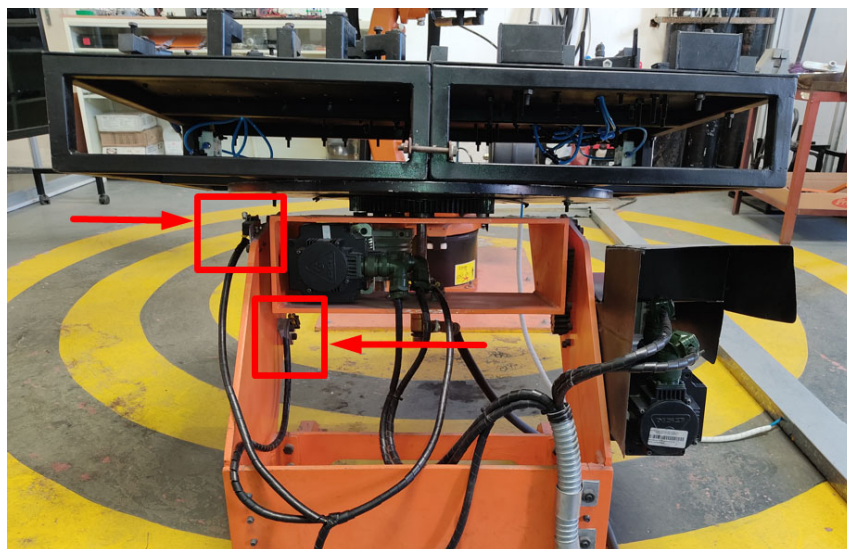
| <b>Soluciones de los problemas encontrados de las partes mecánicas de la mesa posicionadora</b> |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>N°</b>   | <b>Problema</b>  | <b>Solución</b>   | <b>Grafico</b>   |
| 1   | Inactividad del final de carrera del disco   | Realizar correcciones en el sistema de activación de los finales de carrera                                       |  |
| 2   | Falta de limpieza y mantenimiento preventivo con el fin de evitar daños en un futuro | Realizar tareas de limpieza para aumentar el tiempo de vida de los componentes mecánicos de la mesa posicionadora |  |

*Nota.* Descripción de las soluciones efectuadas con referencia hacia los problemas identificados en los componentes mecánicos de la mesa posicionadora.

En la Figura 38 se observa el sistema de activación de los finales de carrera mesa posicionadora.

**Figura 38**

*Sistemas de activación de los finales de carrera mesa posicionadora*



*Nota.* Condiciones finales del sistema de activación de los sensores de carrera de la mesa posicionadora.

### ***Programación***

Como parte de la repotenciación de la mesa posicionadora se debe realizar la reconfiguración de los programas de control de la mesa posicionadora, considerándose las observaciones de la Tabla 24.

En la Tabla 24 se evidencia las soluciones a los problemas evidenciados de la programación de la mesa posicionadora

**Tabla 24**

*Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en las partes mecánicas de la mesa posicionadora.*

**Soluciones de los problemas encontrados de la programación de la mesa posicionadora**

| <b>N°</b> | <b>Problema</b>  | <b>Solución</b>   |
|-----------|--|---|
| 1         | Los programas de respaldo no realizan ningún control sobre la posición de la mesa posicionadora. | Diseñar de un nuevo programa de control en TouchWin     |
| 2         | Los programas de respaldo no corresponden a los cargados en el PLC                               | Diseñar de un nuevo programa de control en el PLC Xinje |
| 3         | El programa original tiene en cuenta el home en un punto específico                              | Diseñar de un nuevo programa de control en el PLC Xinje |
| 4         | No existe una interpretación del punto en el que se encuentra las posiciones guardadas           | Diseñar de un nuevo programa de control en el PLC Xinje |

*Nota.* Soluciones efectuadas con referencia a los problemas identificados en la programación de la mesa posicionadora.

**Diseño de la programación del PLC para la mesa posicionadora.** La programación de este PLC consta de dos partes fundamentales, el control de posiciones y la comunicación del manipulador con el PLC:

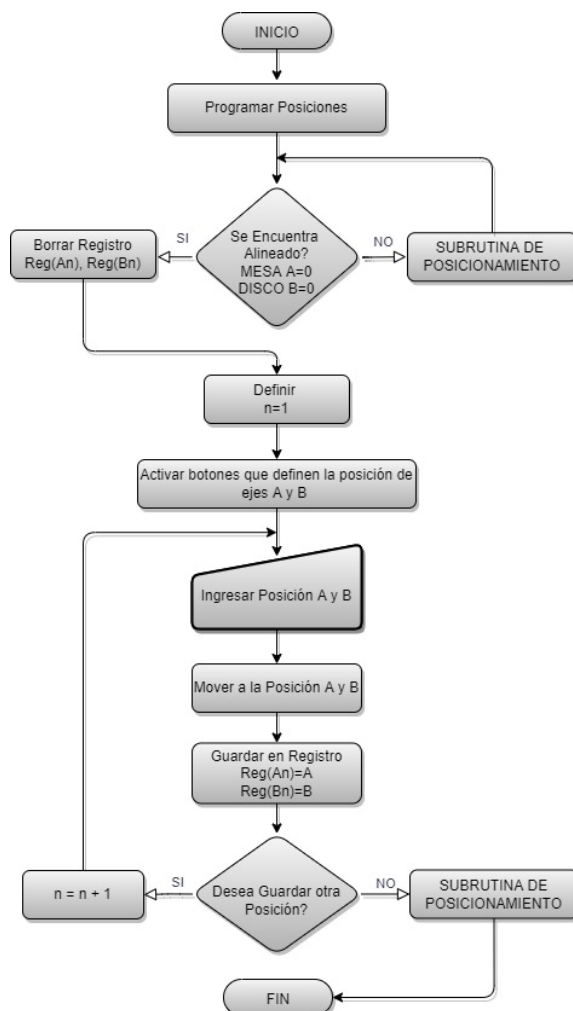
**Programación del PLC para diferentes posiciones.** Esta programación permite controlar las posiciones ingresadas por el usuario; por lo tanto, el PLC consta de memorias de registro donde se puede guardar cada una de ellas, además activa entradas y salidas, como:

finales de carrera, paro de emergencia, entre otros. La mesa posicionadora consta únicamente de dos grados de libertad y se los definen como: ( $A \rightarrow$  Eje de Mesa) y ( $B \rightarrow$  Eje de Disco).

Se establece diferentes parámetros que debe cumplir antes de programar, como el caso de alinear los ejes; es decir, que éstos se deben encontrar en la posición inicial ( $A = 0$ ,  $B = 0$ ). Esta señal es enviada por los contactos abiertos y cerrados de los finales de carrera que se encuentran fijos en cada eje de inclinación y rotación. El máximo número de posiciones que se pueden guardar es de (100), estas posiciones no serán borradas si existe algún corte de energía, únicamente cuando el usuario requiera realizar nuevos movimientos se borrarán las posiciones anteriormente guardadas por cada programa. En la Figura 39 se muestra el diagrama de flujo de las características que describen el proceso de programación del PLC para controlar diferentes posiciones de la mesa posicionadora.

Figura 39

Diagrama de Flujo - Programación PLC para diferentes posiciones

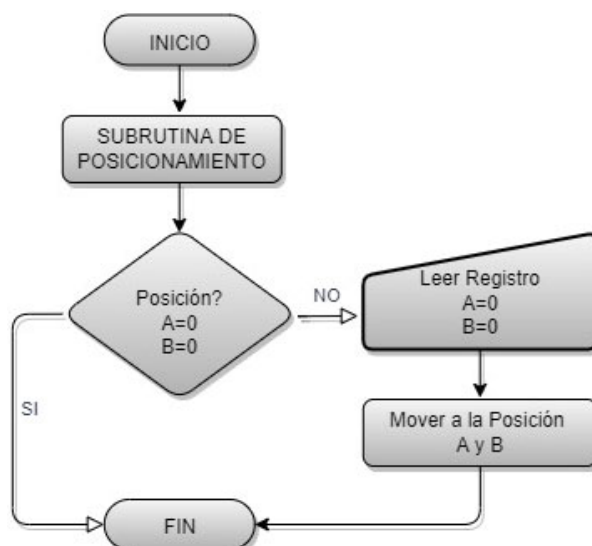


*Nota.* Descripción del proceso de programación del PLC.

**Subrutina de posicionamiento.** Esta subrutina permite regresar al punto inicial de partida, es decir que éste avanza hasta que los finales de carrera detecten la posición de llegada. En la Figura 40 se muestra el diagrama de flujo de las características que describen el proceso subrutina de posicionamiento de la mesa. Este punto es el cero máquina, que es registrado al inicio del programa.

Figura 40

Diagrama de Flujo - Subrutina de Posicionamiento

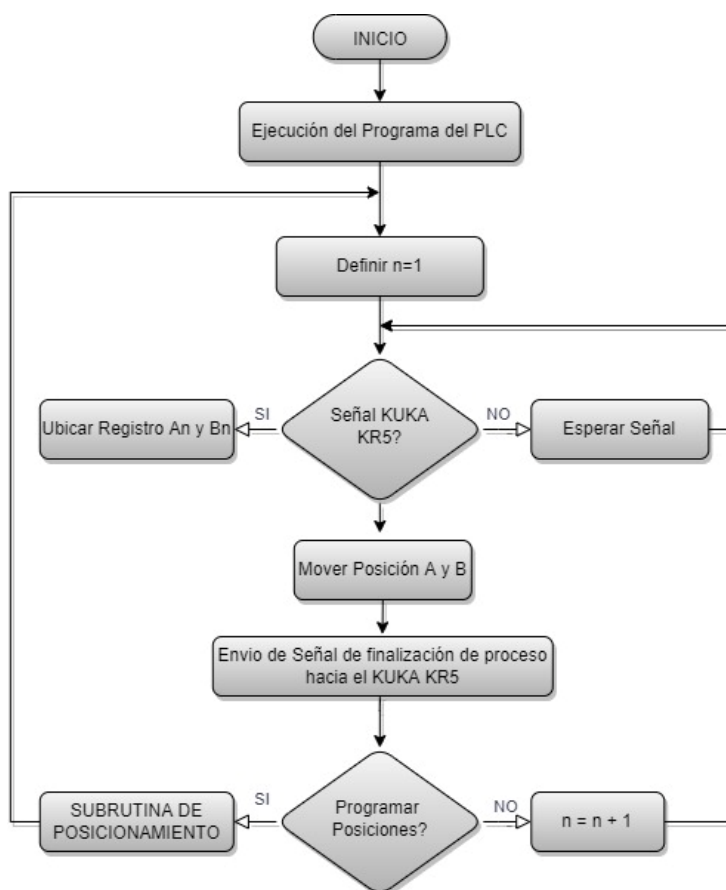


*Nota.* Descripción de la subrutina de posicionamiento de la mesa.

**Programación del PLC para comunicación y control.** Esta programación permite la comunicación entre el manipulador KUKA KR5 y el PLC, el mismo que envía una señal desde su controlador mediante el módulo WAGO hacia la entrada del PLC, permitiendo el paso de las posiciones programadas por el usuario. De la misma forma, al momento de posicionarse la mesa éste envía una señal desde el PLC hacia la salida del módulo WAGO. En la Figura 41, se muestra el diagrama de flujo de las características que describen el proceso comunicación y control, entre brazo robótico KUKA KR5 y PLC. La señal que envían y reciben es digital (24 V).

**Figura 41**

*Diagrama de Flujo - Programación del PLC para comunicación y control*



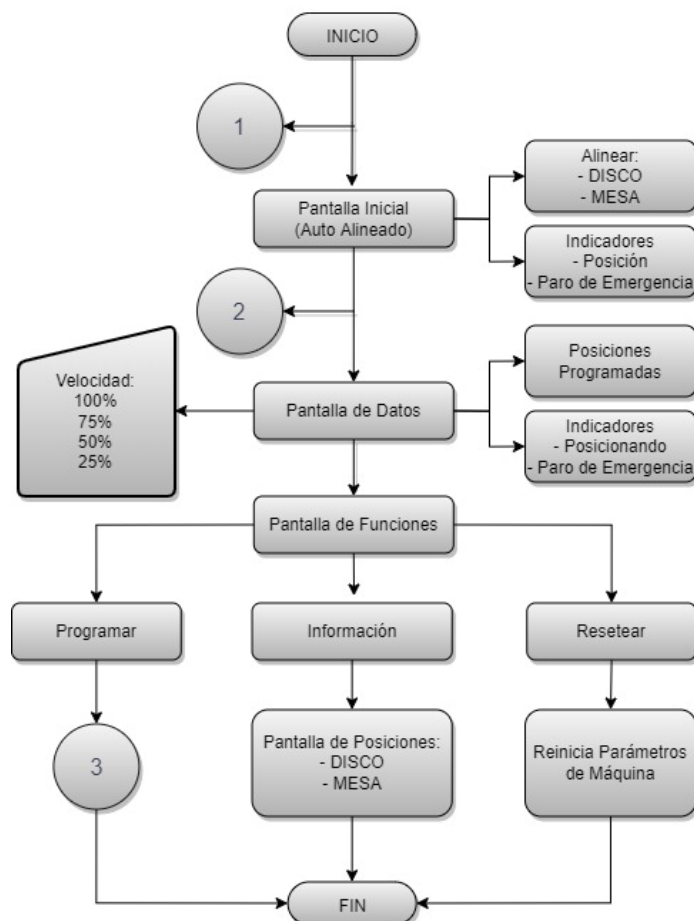
*Nota.* Descripción de la programación del PLC para comunicación y control.

**Diseño de la programación de interfaz de comunicación HMI.** La interfaz de programación del HMI consiste en tomar cada variable ocupada en la programación del PLC, éstas son designadas de acuerdo con el tipo de dato ya establecido tanto para la visualización de los datos, de posición como de control. En la Figura 42 se muestra el diagrama de flujo de las características que describen el proceso de comunicación de la interfaz HMI. Aquí se puede colocar los datos necesarios para la visualización y el control de posición de la mesa posicionadora.



**Figura 42**

*Diagrama de Flujo - Programación de Interfaz de Comunicación HMI*



*Nota.* Descripción de la programación de interfaz de comunicación HMI.

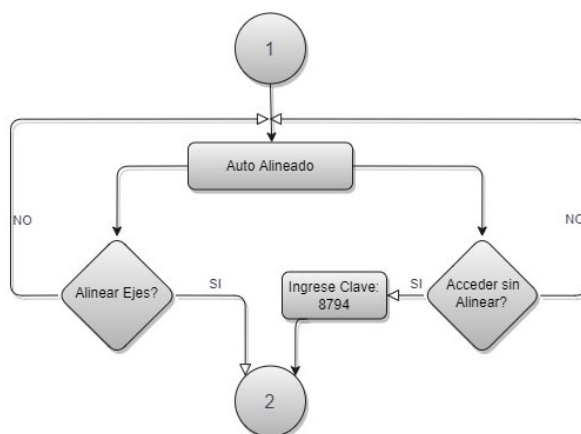
**Programación con y sin alineación de ejes.** Esta interfaz permite el acceso a dos funciones de operación:

1. Alinear los ejes para continuar de forma segura
2. Acceder sin alinear en caso de emergencia (posible colisión al estar averiado o desconectado uno de los finales de carrera).

Para el segundo caso, únicamente el personal encargado es el que podrá acceder, debido a que éste solicita una clave de acceso (CLAVE: 8794). Al ingresar tendrá la misma interfaz para poder posicionar la mesa, pero con la finalidad de eliminar algún punto de colisión o para posible mantenimiento. En la Figura 43 se muestra el diagrama de flujo de las características que describen el proceso de comunicación de la interfaz HMI. Aquí se puede colocar los datos necesarios para la visualización y el control de posición de la mesa posicionadora.

**Figura 43**

*Diagrama de Flujo - Programación con y sin alineación de ejes*

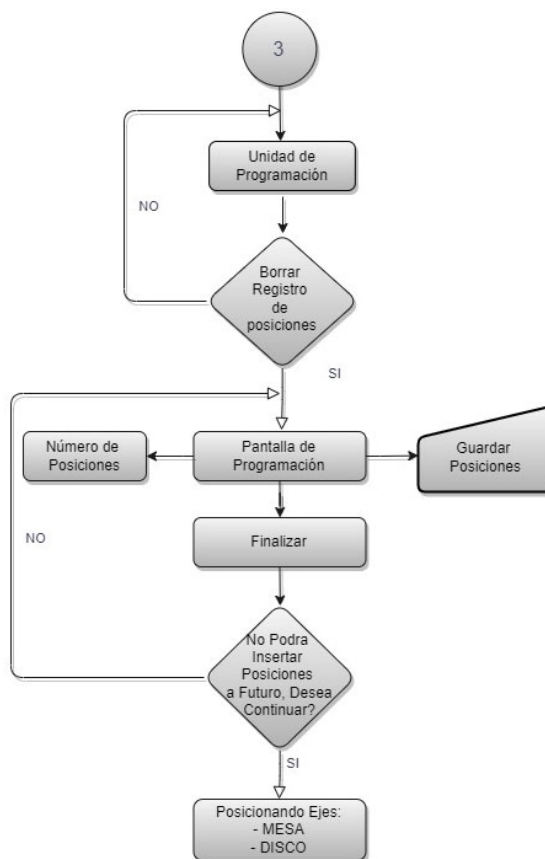


*Nota.* Descripción de la programación de la interfaz de comunicación HMI con y sin alineación de ejes.

**Programación principal.** Esta interfaz permite posicionar a la mesa en diferentes puntos situados por el usuario, siempre y cuando se tome en cuenta el rango de movimiento de cada eje. Además, se puede guardar cada uno de los puntos y después finalizar para que regrese a su posición de inicio. En la Figura 44 se muestra el diagrama de flujo de las características que describen el proceso programación principal de la mesa.

Figura 44

Diagrama de Flujo – Programación principal

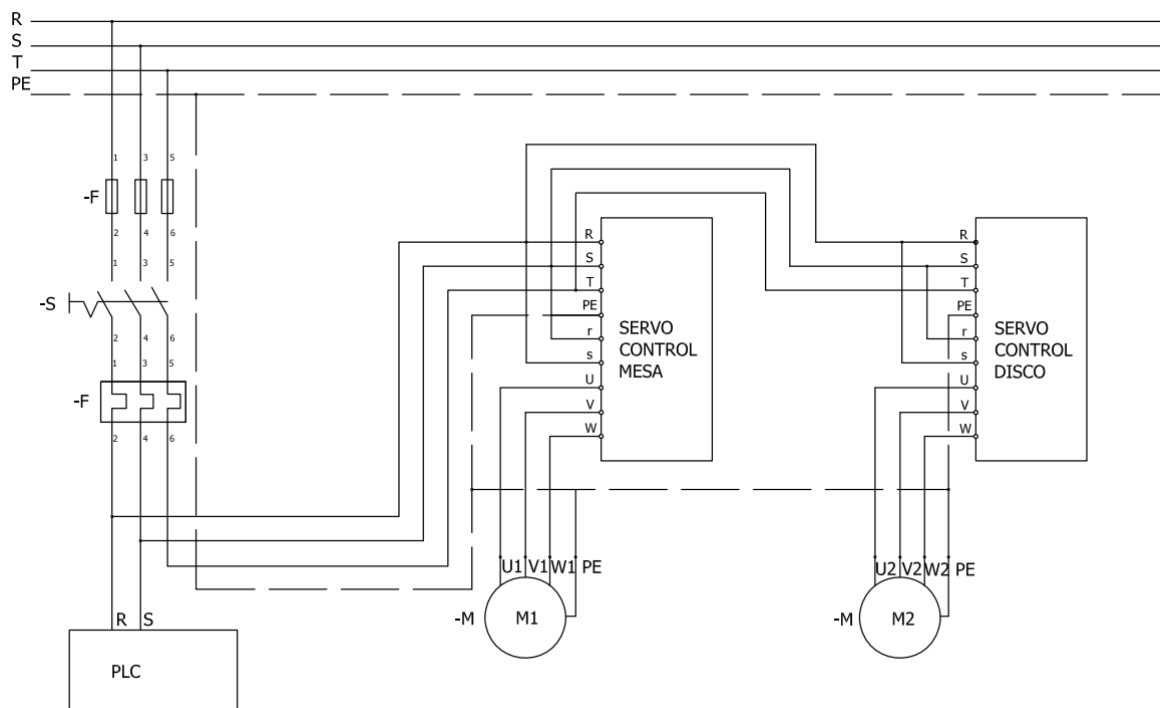


*Nota.* Descripción de la programación principal de la interfaz de comunicación HMI.

**Esquema de fuerza y potencia.** En la Figura 45 se muestra el esquema de fuerza y potencia de la mesa posicionadora empleado para el correcto funcionamiento, aquí se observa que el PLC se alimenta con 220V y el Servo Driver ocupa una red trifásica.

**Figura 45**

*Esquema de fuerza y potencia (Mesa Posicionadora)*



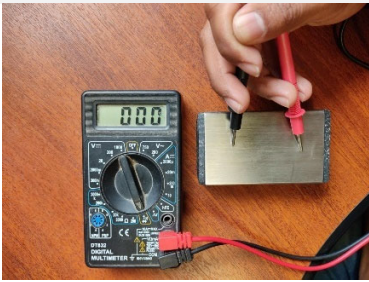
*Nota.* Esquema de fuerza y potencia (mesa posicionadora).

### Jigs de soldadura

Para la repotenciación de los Jigs de soldadura es importante considerar la continuidad de los componentes mecánicos, considerándose las observaciones de la Tabla 25.

**Tabla 25**

*Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en las partes mecánicas de la mesa posicionadora.*

| <b>Solución de problemas encontrados de los componentes mecánicos de sujeción de los Jigs de soldadura</b> |   |   |  |
|--|---|---|--|
| <b>N°</b>  | <b>Problema</b>   | <b>Solución</b>   | <b>Grafico</b>   |
| 1  | Ausencia de continuidad con la tierra de la soldadora Fronius | Construir y cambiar los Jigs de soldadura en acero inoxidable |  A photograph showing a person's hand using a digital multimeter to test a small metal component. The multimeter is placed on a wooden surface, and the person is holding the red and black probes against the metal. The multimeter display shows '0.00'. |

*Nota.* Descripción de las soluciones efectuadas con referencia hacia los problemas identificados en los componentes mecánicos de los Jigs de Soldadura.

Se seleccionó acero inoxidable con la finalidad de mejorar la conductividad de la tierra de soldadura, además dispone de excelentes cualidades mecánicas para ser utilizados en procesos de soldadura, como se menciona a continuación:

- Resistencia a la corrosión
- Excelente capacidad como conductor eléctrico
- Alta resistencia mecánica
- Resistencia a rayaduras y variaciones térmicas



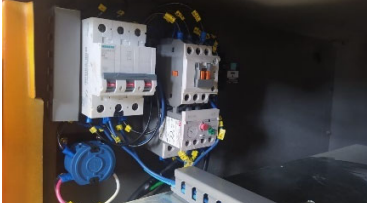
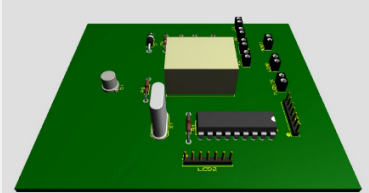
## Sistema articulado de extracción localizada de humos de soldadura.

### Tablero de control

En la Tabla 26 se observa las soluciones implementadas ante los problemas encontrados en el tablero de control del extractor de humo.

**Tabla 26**

*Descripción de las soluciones de problemas encontrados en el tablero de control del extractor de humo*

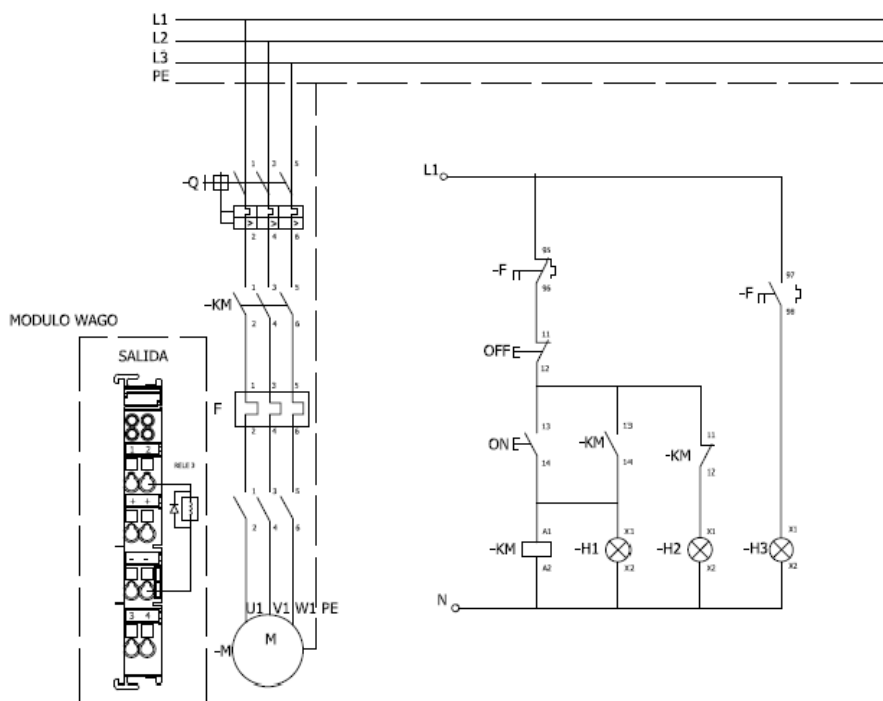
| Soluciones de los problemas encontrados del tablero de control del extractor de humo |   |  |  |
|--|---|--|--|
| N°   | Problema  | Solución   | Grafico  |
| 1  | Mala instalación de cables de conexión en el circuito de fuerza | Diseñar el diagrama eléctrico e implementar la conexión con cables N°18, también el uso de terminales para mejorar la adherencia a los dispositivos eléctricos |   |
| 2  | Ausencia de canaletas   | Implementar canaletas para mejorar la apariencia y estructura de los cables  |  |
| 3  | Ausencia de etiquetas de control                                | Etiquetar de los cables de conexión  |  |
| 4  | Circuito de control no apto para ambientes industriales         | Diseñar del circuito eléctrico en el programa Proteus e implementación en el diagrama de fuerza.   |  |

*Nota.* Descripción de las soluciones de problemas encontrados en el Tablero de control.

Para la resolución del punto uno, dos y tres de la Tabla 26, primero se analizó el diagrama de potencia de la tesis de diseño e implementación de extractor de humos, posteriormente se realizó el diagrama de conexión en el programa AutoCAD Electrical versión estudiantil, en el cual se realizó las conexiones del diagrama de fuerza, como se muestra en la Figura 46.

### Figura 46

*Imagen de la conexión eléctrica del extractor de humos.*



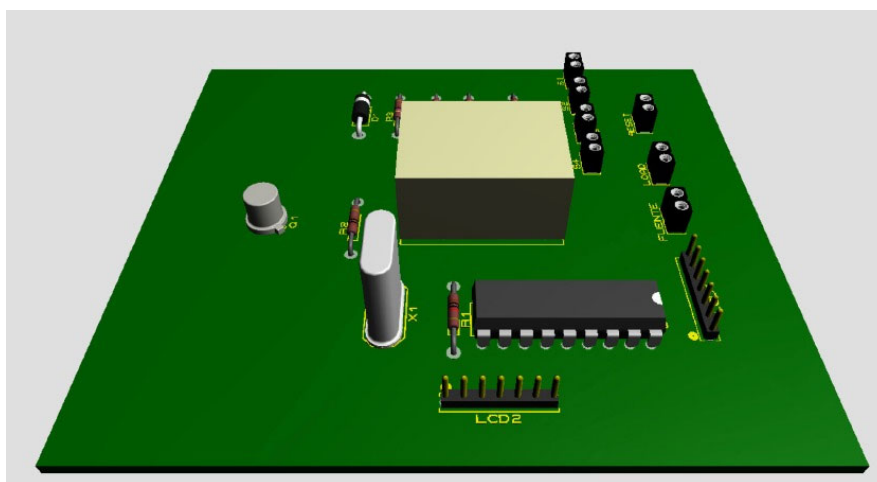
*Nota.* Diagrama eléctrico de potencia del extractor de humos.

Posteriormente elaborado el diagrama de control se procedió a realizar las conexiones con cable N° 18, eliminando los cables unifilares y realizando el etiquetado de los terminales, para cuando se desee realizar el cambio de algún dispositivo electrónico, este sea cambiado de manera fácil.

Para la resolución del punto cuatro de la Tabla 26, se analizó el diagrama de control de la tesis de diseño e implementación de extractor de humos, posteriormente se realizó el diagrama de conexión en el programa Proteus en el cual se realizó las conexiones del diagrama de control y se comprobó la funcionalidad del circuito, además se realizó el diseño en PCB del circuito para la implementación en la máquina “Extractor de humos”, como se muestra en la Figura 47.

### Figura 47

*Imagen de la conexión eléctrica del extractor de humos.*



*Nota.* Diseño del PCB del extractor de humos.

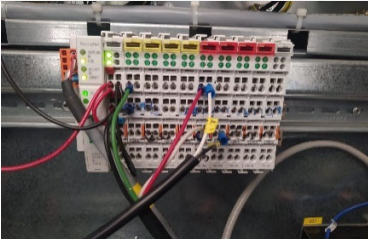
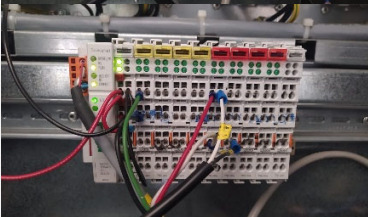
### Configuración del sistema de comunicaciones entre dispositivos.

Para la repotenciación de la configuración del sistema de comunicaciones entre dispositivos era importante considerar las observaciones de la Tabla 27; en donde se evidencia las soluciones de los problemas en el módulo WAGO.



Tabla 27

*Descripción de las soluciones de los problemas encontrados en el módulo WAGO*

| <b>Soluciones de los problemas encontrados de las partes mecánicas de la mesa posicionadora</b> |  |   |   |
|---|--|---|---|
| <b>N°</b>   | <b>Problema</b>                                | <b>Solución</b>   | <b>Grafico</b>  |
| 1   | Organización de las conexiones del módulo WAGO | Se realizó una organización en el módulo WAGO ocupando las primeras entradas en orden del módulo WAGO |   |
| 2   | Etiquetado en el software del módulo WAGO      | Se renombró las entradas y salidas del módulo WAGO  |  |

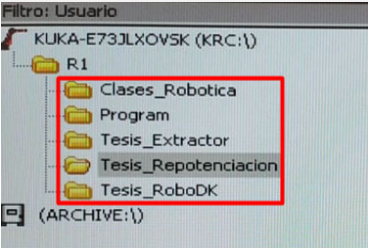
*Nota.* Descripción de problemas encontrados en el módulo WAGO.

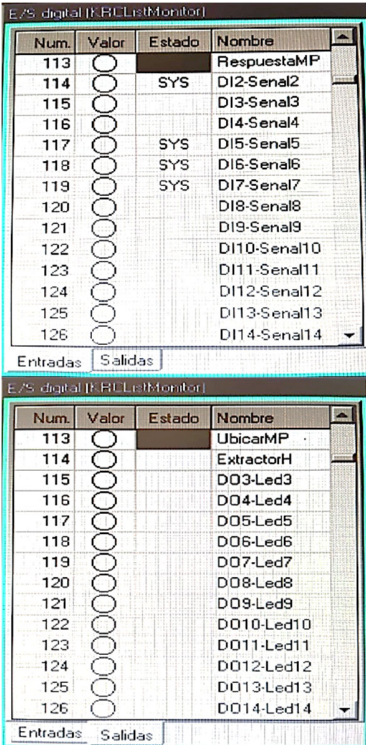
### Diagnóstico y gestión de la funcionalidad del software.

Para la repotenciación de la funcionalidad del software KUKA es importante considerar las observaciones de la Tabla 28; en donde se evidencia las soluciones de los problemas en el software KUKA correspondiente a la celda de soldadura.

Tabla 28

*Descripción de la solución ante los problemas encontrados del Software KUKA HMI 2.0*

| <b>Solución ante los problemas encontrados del Software KUKA HMI 2.0</b> |                                   |                               |  |
|--|-----------------------------------|-------------------------------|--|
| <b>N°</b>  | <b>Problema</b>                   | <b>Solución</b>               | <b>Grafico</b>   |
| 1  | Programas realizados innecesarios | Borrar programas innecesarios |  |

| N°   | Problema   | Solución                   | Grafico  |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
|------|--|----------------------------|--|------|-------|--------|--------|-----|-----------------------|--|-------------|-----|-----------------------|-----|------------|-----|-----------------------|--|------------|-----|-----------------------|--|------------|-----|-----------------------|-----|------------|-----|-----------------------|-----|------------|-----|-----------------------|-----|------------|-----|-----------------------|--|------------|-----|-----------------------|--|------------|-----|-----------------------|--|--------------|-----|-----------------------|--|--------------|-----|-----------------------|--|--------------|-----|-----------------------|--|--------------|-----|-----------------------|--|--------------|------|-------|--------|--------|-----|-----------------------|--|----------|-----|-----------------------|--|------------|-----|-----------------------|--|----------|-----|-----------------------|--|----------|-----|-----------------------|--|----------|-----|-----------------------|--|----------|-----|-----------------------|--|----------|-----|-----------------------|--|----------|-----|-----------------------|--|----------|-----|-----------------------|--|------------|-----|-----------------------|--|------------|-----|-----------------------|--|------------|-----|-----------------------|--|------------|-----|-----------------------|--|------------|
| 2    | Entradas y salidas mal definidas y no utilizadas | Depurar entradas y salidas |  <p>The figure consists of two screenshots of the 'E/S digital (I/O List Monitor)' software interface. The top screenshot displays a table of digital inputs (DI) with columns for 'Num.', 'Valor', 'Estado', and 'Nombre'. The bottom screenshot displays a table of digital outputs (DO) with the same columns.</p> <table border="1"> <caption>Top Screenshot: Digital Inputs (DI)</caption> <thead> <tr> <th>Num.</th> <th>Valor</th> <th>Estado</th> <th>Nombre</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>113</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>RespuestaMP</td></tr> <tr><td>114</td><td><input type="radio"/></td><td>SYS</td><td>DI2-Senal2</td></tr> <tr><td>115</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DI3-Senal3</td></tr> <tr><td>116</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DI4-Senal4</td></tr> <tr><td>117</td><td><input type="radio"/></td><td>SYS</td><td>DI5-Senal5</td></tr> <tr><td>118</td><td><input type="radio"/></td><td>SYS</td><td>DI6-Senal6</td></tr> <tr><td>119</td><td><input type="radio"/></td><td>SYS</td><td>DI7-Senal7</td></tr> <tr><td>120</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DI8-Senal8</td></tr> <tr><td>121</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DI9-Senal9</td></tr> <tr><td>122</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DI10-Senal10</td></tr> <tr><td>123</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DI11-Senal11</td></tr> <tr><td>124</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DI12-Senal12</td></tr> <tr><td>125</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DI13-Senal13</td></tr> <tr><td>126</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DI14-Senal14</td></tr> </tbody> </table><br><table border="1"> <caption>Bottom Screenshot: Digital Outputs (DO)</caption> <thead> <tr> <th>Num.</th> <th>Valor</th> <th>Estado</th> <th>Nombre</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>113</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>UbicarMP</td></tr> <tr><td>114</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>ExtractorH</td></tr> <tr><td>115</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO3-Led3</td></tr> <tr><td>116</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO4-Led4</td></tr> <tr><td>117</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO5-Led5</td></tr> <tr><td>118</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO6-Led6</td></tr> <tr><td>119</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO7-Led7</td></tr> <tr><td>120</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO8-Led8</td></tr> <tr><td>121</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO9-Led9</td></tr> <tr><td>122</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO10-Led10</td></tr> <tr><td>123</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO11-Led11</td></tr> <tr><td>124</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO12-Led12</td></tr> <tr><td>125</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO13-Led13</td></tr> <tr><td>126</td><td><input type="radio"/></td><td></td><td>DO14-Led14</td></tr> </tbody> </table> | Num. | Valor | Estado | Nombre | 113 | <input type="radio"/> |  | RespuestaMP | 114 | <input type="radio"/> | SYS | DI2-Senal2 | 115 | <input type="radio"/> |  | DI3-Senal3 | 116 | <input type="radio"/> |  | DI4-Senal4 | 117 | <input type="radio"/> | SYS | DI5-Senal5 | 118 | <input type="radio"/> | SYS | DI6-Senal6 | 119 | <input type="radio"/> | SYS | DI7-Senal7 | 120 | <input type="radio"/> |  | DI8-Senal8 | 121 | <input type="radio"/> |  | DI9-Senal9 | 122 | <input type="radio"/> |  | DI10-Senal10 | 123 | <input type="radio"/> |  | DI11-Senal11 | 124 | <input type="radio"/> |  | DI12-Senal12 | 125 | <input type="radio"/> |  | DI13-Senal13 | 126 | <input type="radio"/> |  | DI14-Senal14 | Num. | Valor | Estado | Nombre | 113 | <input type="radio"/> |  | UbicarMP | 114 | <input type="radio"/> |  | ExtractorH | 115 | <input type="radio"/> |  | DO3-Led3 | 116 | <input type="radio"/> |  | DO4-Led4 | 117 | <input type="radio"/> |  | DO5-Led5 | 118 | <input type="radio"/> |  | DO6-Led6 | 119 | <input type="radio"/> |  | DO7-Led7 | 120 | <input type="radio"/> |  | DO8-Led8 | 121 | <input type="radio"/> |  | DO9-Led9 | 122 | <input type="radio"/> |  | DO10-Led10 | 123 | <input type="radio"/> |  | DO11-Led11 | 124 | <input type="radio"/> |  | DO12-Led12 | 125 | <input type="radio"/> |  | DO13-Led13 | 126 | <input type="radio"/> |  | DO14-Led14 |
| Num. | Valor  | Estado                     | Nombre   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 113  | <input type="radio"/>                            |                            | RespuestaMP  |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 114  | <input type="radio"/>                            | SYS                        | DI2-Senal2   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 115  | <input type="radio"/>                            |                            | DI3-Senal3   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 116  | <input type="radio"/>                            |                            | DI4-Senal4   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 117  | <input type="radio"/>                            | SYS                        | DI5-Senal5   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 118  | <input type="radio"/>                            | SYS                        | DI6-Senal6   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 119  | <input type="radio"/>                            | SYS                        | DI7-Senal7   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 120  | <input type="radio"/>                            |                            | DI8-Senal8   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 121  | <input type="radio"/>                            |                            | DI9-Senal9   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 122  | <input type="radio"/>                            |                            | DI10-Senal10   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 123  | <input type="radio"/>                            |                            | DI11-Senal11   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 124  | <input type="radio"/>                            |                            | DI12-Senal12   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 125  | <input type="radio"/>                            |                            | DI13-Senal13   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 126  | <input type="radio"/>                            |                            | DI14-Senal14   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| Num. | Valor  | Estado                     | Nombre   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 113  | <input type="radio"/>                            |                            | UbicarMP   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 114  | <input type="radio"/>                            |                            | ExtractorH   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 115  | <input type="radio"/>                            |                            | DO3-Led3   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 116  | <input type="radio"/>                            |                            | DO4-Led4   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 117  | <input type="radio"/>                            |                            | DO5-Led5   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 118  | <input type="radio"/>                            |                            | DO6-Led6   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 119  | <input type="radio"/>                            |                            | DO7-Led7   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 120  | <input type="radio"/>                            |                            | DO8-Led8   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 121  | <input type="radio"/>                            |                            | DO9-Led9   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 122  | <input type="radio"/>                            |                            | DO10-Led10   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 123  | <input type="radio"/>                            |                            | DO11-Led11   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 124  | <input type="radio"/>                            |                            | DO12-Led12   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 125  | <input type="radio"/>                            |                            | DO13-Led13   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |
| 126  | <input type="radio"/>                            |                            | DO14-Led14   |      |       |        |        |     |                       |  |             |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |     |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |     |                       |  |              |      |       |        |        |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |          |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |     |                       |  |            |

*Nota.* Descripción de problemas encontrados del Software KUKA HMI 2.0.

## Capítulo V

### Pruebas y resultados

#### Control manual del brazo robótico

Para la realización de las pruebas manuales del robot KUKA se realizó un programa con movimientos TCP, Lineales y circulares para comprobar que el robot KUKA KR5 Arc funciona de manera correcta y realiza los movimientos programados, como se muestra en la Figura 48.

#### Figura 48

*Pruebas de movimiento del robot KUKA KR5 Arc*

```

1  DEF modoexp( )
2  int repetir
3  INI
4  PTP HOME Vel=50 % DEFAULT
5  for repetir=0 to 2 step 1
6  PTP P1 Vel=30 % PDAT1 Tool[16]:TORCHA RA400
   ↳ Base[8]:tesis_extractor
7  LIN P2 Vel=0.1 m/s CPDAT1 Tool[16]:TORCHA RA400
   ↳ Base[8]:tesis_extractor
8  LIN P3 Vel=0.1 m/s CPDAT2 Tool[16]:TORCHA RA400
   ↳ Base[8]:tesis_extractor
9  CIRC P4 P5 Vel=0.1 m/s CPDAT3 Tool[16]:TORCHA RA400
   ↳ Base[8]:tesis_extractor
10 LIN P6 Vel=0.1 m/s CPDAT4 Tool[16]:TORCHA RA400
   ↳ Base[8]:tesis_extractor
11 LIN P7 Vel=0.1 m/s CPDAT5 Tool[16]:TORCHA RA400
   ↳ Base[8]:tesis_extractor
12 endfor
13 PTP HOME Vel=30 % DEFAULT
14

```

*Nota.* Pruebas de movimiento del robot KUKA KR5 Arc.

A partir de la programación del código se pudo realizar el control de 7 diferentes puntos, en los cuales se comprobó el correcto funcionamiento en movimientos PTP, lineales (LIN) y circulares (CIR).

#### Mesa posicionadora de soldadura

Una vez repotenciada la mesa posicionadora de soldadura se procedió a realizar pruebas de comunicación, repetibilidad y control, con el fin de evidenciar su correcto funcionamiento.

### ***Prueba de retorno a home***

Para esta prueba se ejecutó el movimiento de retorno a Home, para lo cual se enciende la mesa posicionadora, se sitúa en diferentes puntos de movimiento y se apaga, posteriormente se energiza la máquina y se comprueba que ésta retorne a Home, al realizar el auto alineado de la mesa y disco. En la Tabla 29 se presenta los datos obtenidos con las pruebas de retorno a Home.

**Tabla 29**

#### *Prueba de retorno a Home*

| <b>N°</b> | <b>Posición Mesa</b> | <b>Posición Disco</b> | <b>Retorno a HOME sin Jigs de soldadura</b> |
|-----------|----------------------|-----------------------|---|
| 1         | -27                  | 18                    | Si  |
| 2         | -40                  | 35                    | Si  |
| 3         | -55                  | 120                   | Si  |
| 4         | -10                  | 40                    | Si  |
| 5         | -90                  | 55                    | Si  |
| 6         | 0                    | 0                     | Si  |
| 7         | 79                   | 33                    | Si  |
| 8         | 85                   | 100                   | Si  |
| 9         | 65                   | 139                   | Si  |

*Nota.* Prueba de retorno a Home.

Posteriormente se realizó las mismas pruebas, montando el sistema de sujeción “Jigs de soldadura”, para demostrar que cumple con los parámetros requeridos en la Tabla 30.

**Tabla 30**

*Prueba de retorno a Home con “Jigs de soldadura”*

| N° | Posición Mesa | Posición Disco | Retorno a HOME con Jigs de soldadura |
|----|---------------|----------------|--------------------------------------|
| 1  | -27           | 18             | Si                                   |
| 2  | -40           | 35             | Si                                   |
| 3  | -55           | 120            | Si                                   |
| 4  | -10           | 40             | Si                                   |
| 5  | -90           | 55             | Si                                   |
| 6  | 0             | 0              | Si                                   |
| 7  | 79            | 33             | Si                                   |
| 8  | 85            | 100            | Si                                   |
| 9  | 65            | 139            | Si                                   |

*Nota.* Prueba de retorno a Home con “Jigs de soldadura”.

De las pruebas realizadas se identificó que la mesa posicionadora retorna eficientemente a el punto “HOME” indiferentemente del punto en el que se haya desenergizado la mesa posicionadora, además cumple con su objetivo principal de tener un punto específico de home antes de realizar cualquier otra actividad de programación.

### ***Pruebas de comunicación***

Para la prueba de comunicación es importante mencionar que las entradas y salidas de módulo WAGO están ubicadas desde el valor 113, para la comunicación de la mesa posicionadora se ocupó los puertos:

- Salida 113: UbicarMP
- Entrada 113: RespuestaMP

**Tabla 31***Pruebas de comunicación*

| N° | Posición Mesa registrada | Posición Disco registrada | Posición Mesa obtenida | Posición Disco obtenida |
|----|--------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1  | -60                      | 0                         | -60                    | 0                       |
| 2  | -40                      | 80                        | -40                    | 80                      |
| 3  | -39                      | 35                        | -39                    | 35                      |
| 4  | -55                      | 61                        | -55                    | 61                      |
| 5  | -70                      | 33                        | -70                    | 33                      |

*Nota.* Pruebas de comunicación.

En las pruebas de comunicación se asignó valores den ON y OFF a la salida y entrada 113 que corresponden al control de la mesa posicionadora, posteriormente se visualizaba si existía la comunicación aseverada de salida e ingreso de pulsos al realizar las tareas de posicionar la mesa.

***Pruebas de repetibilidad***

Para realizar las pruebas de repetibilidad se generó dos puntos de interés y en el Software de KUKA se creó un programa para identificar cual es la desviación entre el hilo de la soldadora Fronius y el punto de la mesa posicionadora obteniendo los siguientes datos. En la Tabla 32 se presenta los puntos registrados de interés.

**Tabla 32***Datos para pruebas de repetibilidad*

| N° | Posición Mesa registrada | Posición Disco registrada |
|----|--------------------------|---------------------------|
| 1  | -10                      | 0                         |
| 2  | -30                      | 20                        |

*Nota:* Datos para pruebas de repetibilidad.

En la Tabla 33 se presenta la medición de error absoluto.

**Tabla 33**

*Medición de error absoluto*

| <b>N° de repeticiones</b> | <b>Primer punto<br/>(Error absoluto)</b> | <b>Segundo punto<br/>(Error absoluto)</b> |
|---------------------------|--|---|
| 10                        | 0.1                                      | 0.01                                      |
| 20                        | 0.08                                     | 0.07                                      |
| 30                        | 0.22                                     | 0.1                                       |
| 40                        | 0.13                                     | 0.12                                      |
| 50                        | 0.17                                     | 0.22                                      |
| 60                        | 0.29                                     | 0.25                                      |

*Nota.* Medición de error absoluto.

A partir de las pruebas de repetibilidad se evidencia que los controladores de la mesa posicionadora en sinergia con los componentes mecánicos tienen un gran alto de exactitud, siendo óptimo para procesos de soldadura en donde el Cordón e hilo de soldadura no tienen que desplazarse mucho del material de trabajo.

### **Jigs de soldadura**

En las pruebas de los Jigs de soldadura se realiza el cambio de los Jigs convencionales (Elaborados en ASTM A36 y recubiertos por pintura) por Jigs elaborados en acero inoxidable (AISI 403), con los cuales se comprueba la continuidad en diferentes puntos de la estructura para verificar la correcta funcionalidad de la Tabla 34.

**Tabla 34**

*Pruebas de continuidad de los Jigs de soldadura*

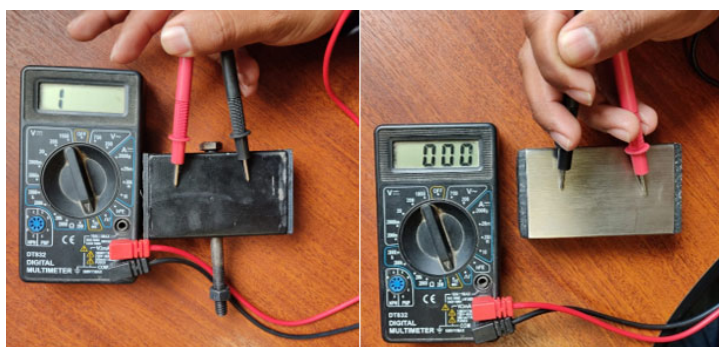
| Pruebas de continuidad           | Jigs de soldadura en acero AISI A36 | Jigs de soldadura en acero AISI 403 |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Tope rectangular                 | 1.00                                | 0.00                                |
| Clamp de ajuste Jigs 2           | 1.00                                | 0.00                                |
| Clam fijo para placas            | 1.00                                | 0.00                                |
| Clamps para perfiles             | 1.00                                | 0.00                                |
| Tope para ángulos estructurales  | 1.00                                | 0.00                                |
| Clamp móvil para placas          | 1.00                                | 0.00                                |
| Claps para ángulos estructurales | 1.00                                | 0.00                                |

*Nota.* Pruebas de continuidad de los Jigs de soldadura.

De acuerdo con la Tabla 34 se evidencia que los Jigs de soldadura elaborados en acero inoxidable tienen un valor de 0.00 que indica que es óptimo para permitir la continuidad entre la tierra de la soldadora Fronius y el elemento a soldar.

**Figura 49**

*Pruebas de continuidad de los Jigs de soldadura*



*Nota.* Pruebas de continuidad.



## Sistema articulado de extracción de humo

### ***Funcionamiento del extractor de humo***

Una vez repotenciada el extractor de humo se procede a realizar pruebas con el fin de evidenciar su correcto funcionamiento. Para lo cual solo se verifica que realice el encendido y apagado de la máquina con la bobina del relé activada mediante el enclavamiento manual. Se obtuvo los siguientes resultados, presentes en la Tabla 35.

**Tabla 35**

*Pruebas de funcionamiento del extractor de humos*

| <b>Horas de funcionamiento del extractor de humos</b> | <b>Operatividad</b>     |
|---|-------------------------|
| 1 hora  | Correcto funcionamiento |
| 2 horas   | Correcto funcionamiento |
| 3 horas   | Correcto funcionamiento |
| 4 horas   | Correcto funcionamiento |
| 5 horas   | Correcto funcionamiento |
| 6 horas   | Correcto funcionamiento |
| 7 horas   | Correcto funcionamiento |
| 8 horas   | Correcto funcionamiento |

*Nota.* Pruebas de funcionamiento del extractor de humos.

### ***Comunicación del extractor de humos con el módulo WAGO.***

Para la ejecución de la prueba de comunicación del módulo WAGO con el extractor de humos se utiliza la salida 114 de este módulo:

- Salida 114: ExtractorH

Cuando está energizado y presionado el botón Start del extractor de Humos se puede realizar la comunicación y poner en marcha; para lo cual en el modo manual del robot KUKA,

con el botón “hombre muerto” activo y presionado el botón “ExtractorH”, se obtiene las pruebas que se indican en la Tabla 36.

**Tabla 36**

*Prueba de salida 114 “ExtractorH”*

| N° | Estado de la salida 114 (ExtractorH) | Número de repeticiones | Valor de encendido o apagado acertado | Fallas |
|----|--------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------|
| 1  | ON                                   | 25                     | 25                                    | 0      |
| 2  | OF                                   | 25                     | 25                                    | 0      |

*Nota.* Prueba de salida 114 “ExtractorH”.

### **Comunicación entre dispositivos de la celda de soldadura robótica**

Para la comunicación entre dispositivos de la celda de soldadura, es importante mencionar que existen 2 dispositivos que realizan la comunicación mediante el uso del módulo WAGO, que son la mesa posicionadora y el extractor de humos, cuya funcionalidad se verifico en los apartados 5.2 y 5.4.

### **Aplicación general de soldadura**

En la aplicación general de soldadura es importante definir los parámetros de soldadura; para lo cual previamente es necesario definir los materiales que se desea soldar y el material de aporte que se van a emplear.

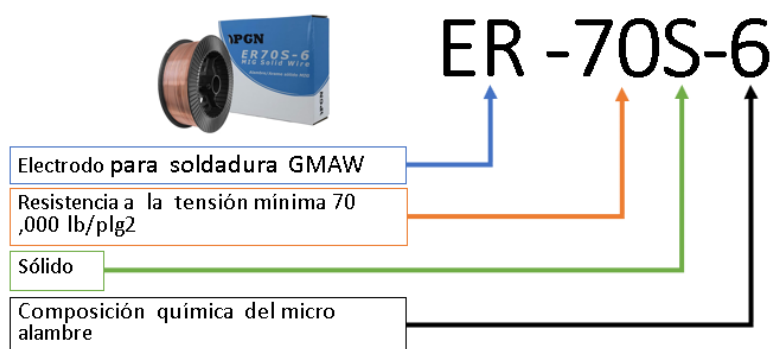
Para el material que se desea realizar las juntas, se adquirió un Acero 1018, que es un acero de bajo-medio carbono, empleado para estructuras metálicas que no requieran de altas cargas.

El electrodo empleado para la realización de la soldadura de la serie ER-70S-6 de diámetro de hilo 0.9, el cual de acuerdo con su numeración se puede concluir que es un

microalambre sólido utilizado para aceros al bajo carbono, que contiene la siguiente información según su nomenclatura descrita en la Figura 50.

### Figura 50

*Código de identificación electrodo ER70S6*



*Nota.* Código de identificación electrodo ER-70S-6.

Además, para este proceso se adquirió el gas de protección AGA MIX 20, como gas de protección, que impida la oxidación de la soldadura. El catálogo de AGA da como datos para soldar la siguiente Figura 51.

### Figura 51

*Parámetros del gas de protección AGA MIX 20*

| PROCESO<br>MAG<br>(GMAW) | Ø   |       | AMPERAJE | VOLT. | FLUJO<br>GAS<br>lit/mln | VELOCIDAD<br>ALIMEN. ALAM<br>cmt/mln. |
|--------------------------|-----|-------|----------|-------|-------------------------|---------------------------------------|
|                          | mm. | Pulg. |          |       |                         |                                       |
| CORTO<br>CIRCUITO        | 0.8 | 0.030 | 90-110   | 15-21 |                         | 500-860                               |
|                          | 0.9 | 0.035 | 90-110   | 16-22 |                         | 400-760                               |
|                          | 1.0 | 0.040 | 100-120  | 17-22 | 8-15                    | 310-630                               |
| SPRAY                    | 1.2 | 0.045 | 100-130  | 17-22 |                         | 250-560                               |
|                          | 0.8 | 0.030 | 140-280  | 24-28 |                         | 990-1700                              |
|                          | 0.9 | 0.035 | 165-300  | 24-28 |                         | 910-1320                              |
|                          | 1.0 | 0.040 | 80-410   | 24-30 | 10-20                   | 700-1200                              |
|                          | 1.2 | 0.045 | 200-450  | 24-30 |                         | 530-990                               |

*Nota.* Parámetros del gas de protección AGA MIX 20.

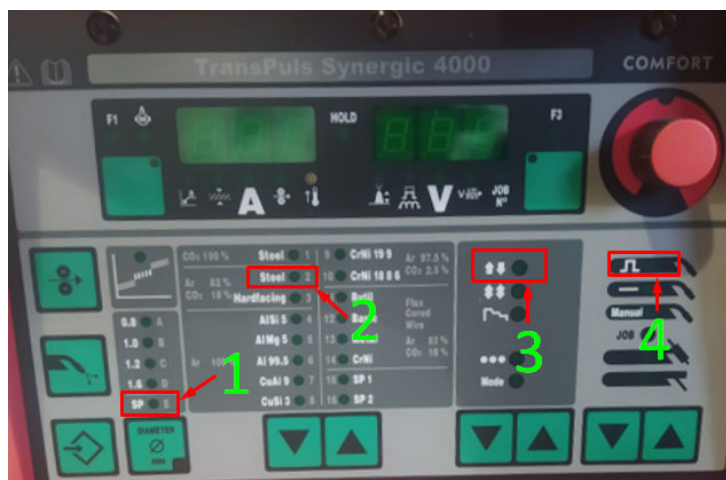
Se indica que el voltaje varía de un valor de 16 a 22 V y la velocidad de alimentación de 400 a 760 cm/min. Es importante mencionar que para espesores menores a 4.0 mm, AGA recomienda utilizar la soldadura por Corto Circuito (AGA S.A., 2001). Sin embargo, los valores registrados dependen de cada máquina de soldar por lo cual es importante ver las recomendaciones de parámetros de soldadura dependiendo de la máquina.

Con la información proporcional se realiza las siguientes correcciones en la soldadora FRONIUS TransSynergic 4600, para el óptimo funcionamiento.

En la Figura 52 se observa la configuración del panel de soldadora de FRONIUS.

### Figura 52

*Configuración del panel de soldadora FRONIUS TransSynergic 4600*



*Nota.* Configuración del panel de soldadora FRONIUS TransSynergic 4600.

1. Se selecciona el diámetro del hilo; en este caso, al disponer de un alambre de 0.9 mm y no estar en los de defecto del panel, se escoge SP que son destinados para diámetros de alambre adicionales.

2. Se selecciona en tipo de material Steel, Ar 82%, CO2 18%, debido a que se utiliza un Acero 1018 con gas protector AGA MIX 20.

3. En el modo de operación se seleccionas operación de 2 tiempos.

4. Para obtener los parámetros iniciales recomendados por la máquina, se selecciona Soldadura MIG/MAG Puls-Synergic

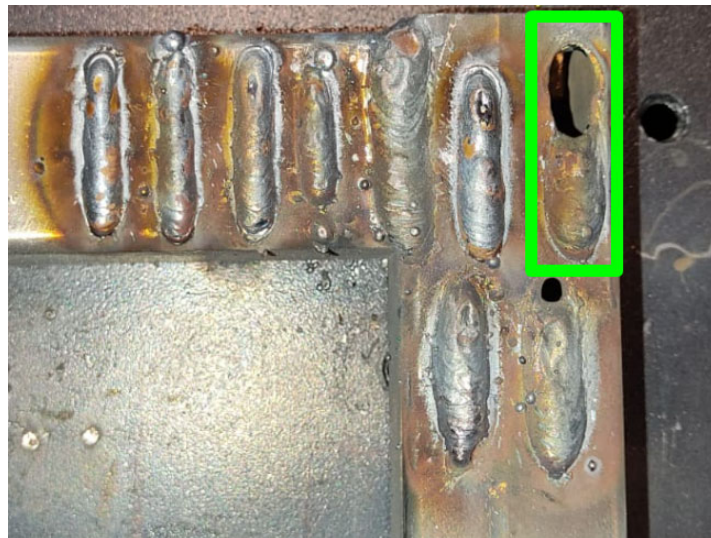
Del cual se obtiene los valores de

- Amperaje: 73A
- Voltaje: 19.2V
- Velocidad de alambre 4.4m/min

Con estos valores, se obtuvo un cordón de soldadura mostrado en la Figura 53.

### Figura 53

*Cordón de soldadura prueba de parámetros*



*Nota.* Cordón de soldadura prueba de parámetros.

Posteriormente se realizaron varias pruebas de soldadura, en las cuales se ingresaron diferentes rangos y parámetros, utilizando el modo manual de la soldadura Fronius, cambiando al modo “Soldadura MIG/MAG Manual” obteniendo la siguiente tabulación de la Tabla 37.

**Tabla 37**

*Prueba de cordones de soldadura “lineal”*

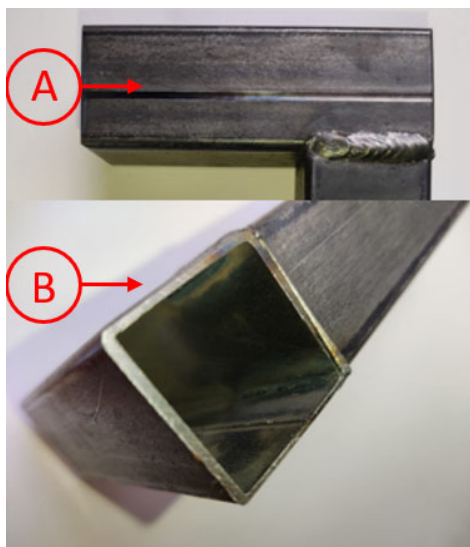
| N° | Voltaje (V) | Avance del cordón (m/min) | Velocidad del alambre (m/min) | Condición del cordón de soldadura | Análisis  |
|----|-------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1  | 19.2        | 0.5                       | 4.4                           | Mala                              | Perforación del material  |
| 2  | 16.5        | 0.4                       | 7.2                           | Mala                              | Perforación del material  |
| 3  | 14.2        | 0.5                       | 7.5                           | Mala                              | Perforación del material  |
| 4  | 14.0        | 0.7                       | 5.2                           | Regular                           | Existencia de chisporroteo de material, cordón sobrepasa material |
| 5  | 13.0        | 0.6                       | 4.8                           | Regular                           | Existencia de chisporroteo, cordón uniforme, sobrepasa material   |
| 6  | 12.0        | 0.7                       | 4.9                           | Excelente                         | Cordón uniforme, no existe chisporroteo, soldadura continua       |

*Nota.* Prueba de cordones de soldadura “lineal”.

Se concluye que para una soldadura en línea se utilizará los valores de 12.0 V, 0.7 m /min en avance del cordón y 4.9 m/min en velocidad del alambre, obteniendo resultados satisfactorios como se muestra en la Figura 54.

**Figura 54**

Prueba satisfactoria de soldadura "lineal"



Nota. Prueba de soldadura "lineal".

Se determina que el cordón es uniforme, no existe chisporroteo y suelda todo el material, como se evidencia en la parte B de la Figura 54 analizada.

Para realizar el cordón en forma de espiral se realizó de igual manera pruebas similares, partiendo de los datos obtenidos en el cordón lineal. En la Tabla 38 se encuentra la tabulación de pruebas del cordón en espiral.

**Tabla 38**

*Prueba de cordones de soldadura "espiral"*

| N° | Voltaje (V) | Avance del cordón (m/min) | Velocidad del alambre (m/min) | Condición del cordón de soldadura | Análisis                 |
|----|-------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1  | 12.0        | 0.7                       | 4.9                           | Mala                              | Perforación del material |
| 2  | 11.0        | 0.6                       | 4.0                           | Mala                              | Perforación del material |

| N° | Voltaje (V) | Avance del cordón (m/min) | Velocidad del alambre (m/min) | Condición del cordón de soldadura | Análisis  |
|----|-------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|
| 3  | 10.0        | 0.7                       | 4.2                           | Regular                           | Existencia de chisporroteo de material, cordón sobrepasa material |
| 4  | 10.5        | 0.5                       | 3.7                           | Regular                           | Existencia de chisporroteo, cordón no uniforme                    |
| 5  | 10.0        | 0.3                       | 3.5                           | Excelente                         | Cordón uniforme, no existe chisporroteo, soldadura continua       |

*Nota.* Prueba de cordones de soldadura “espiral”.

Se llega a la conclusión que para una soldadura en espiral se ocupará los valores de 10.0 V, 0.3 m /min en avance del cordón y 3.5 m/min en velocidad del alambre teniendo pruebas satisfactorias como se muestra en la Figura 55.

### Figura 55

*Prueba satisfactoria de soldadura “espiral”*



*Nota.* Prueba de soldadura “espiral”.

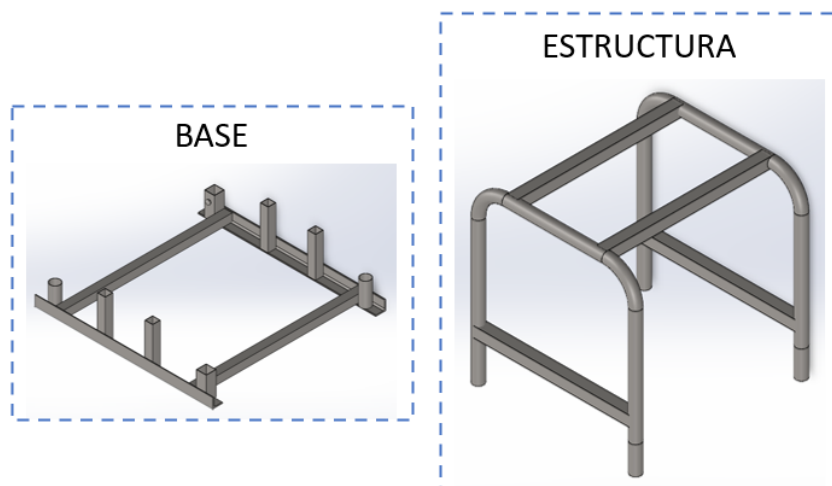


### **Diseño de aplicación de soldadura**

La aplicación es una “mesa de centro”, diseñada para ser sujeta directamente al disco y no por el sistema de Jigs de soldadura. Esto se debe a que la mesa posicionadora necesita girar 360°. En la Figura 56 se muestra la base y estructura diseñada en SolidWorks, este diseño consta de distintos puntos donde se aplicará la soldadura.

**Figura 56**

Base y estructura de Aplicación

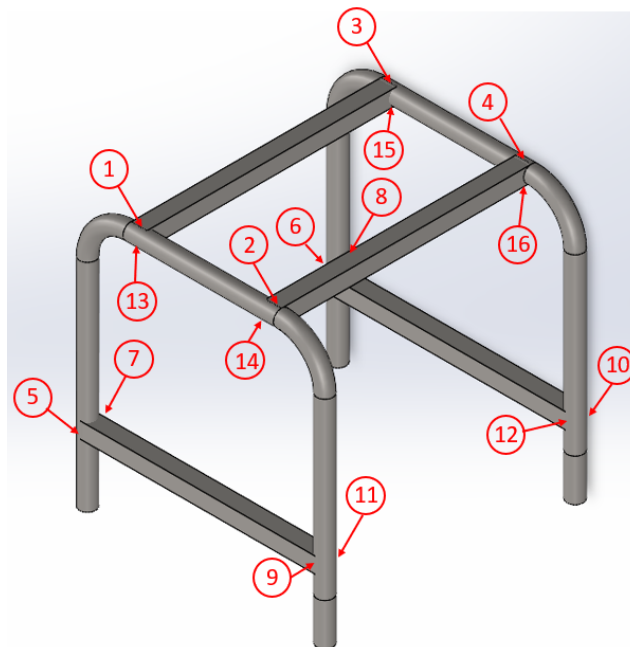


*Nota.* Diseño de base y estructura en “SolidWorks”.

En la Figura 57 se muestra los puntos donde se va a ejecutar la soldadura. Con esta distribución se procede a realizar la programación con respecto a la mesa posicionadora y el manipulador robótico.

**Figura 57**

*Distribución de puntos de soldadura*



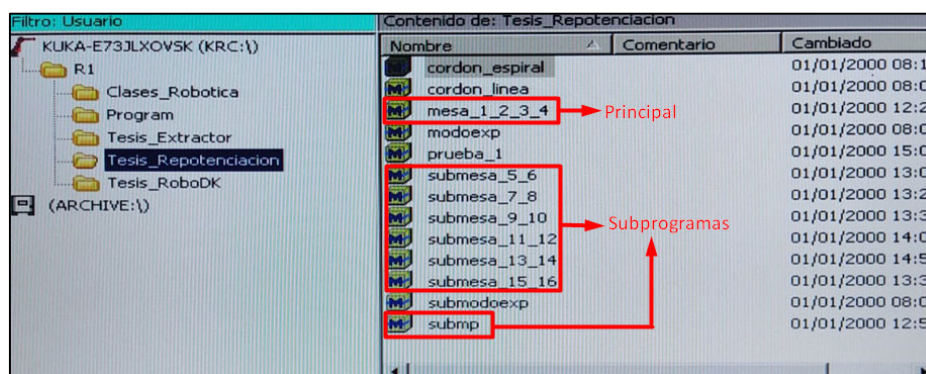
*Nota.* Distribución de puntos de soldadura.

### **Programación KUKA HMI 2.0.**

Esta programación contiene un programa principal que incluye subprogramas, los mismos que abarcan cada uno de los puntos de soldadura a realizar. Uno de estos subprogramas, el más ocupado es el que sitúa a la mesa posicionadora, ya que el robot KUKA KR5 Arc trabajará en conjunto con la mesa. En la Figura 58 se muestra el entorno de la ubicación de archivos; cabe recalcar que el programa principal y los subprogramas deben de estar en la misma carpeta, caso contrario no se podrá realizar dicha acción.

Figura 58

Ubicación de archivos de aplicación



Nota. Programa principal y subprogramas.

**Entorno de programa principal.** Esta programación se realiza en “Modo Experto”, con la finalidad de definir las variables ya sea de subprogramas, entradas y salidas del módulo WAGO, entre otros. En la Figura 59 se muestra la declaración de variables de los subprogramas de posición mesa y ubicación de puntos de soldadura.

Figura 59

Declaración de variables Subprogramas

```

1  DEF mesa_1_2_3_4( )
2  EXT submp( )
3  EXT submesa_5_6( )
4  EXT submesa_7_8( )
5  EXT submesa_9_10( )
6  EXT submesa_11_12( )
7  EXT submesa_13_14( )
8  EXT submesa_15_16( )
9

```

Posición de Mesa

Ubicación de Cada Punto de Soldadura

Nota. Declaración de variables subprogramas.

En la Figura 60 se muestra la estructura de programación; se inicia con la posición “HOME” del manipulador y se puede agregar comentarios.

## Figura 60

### Inicio del Programa

```

9
10  INI
11
12  PTP HOME Vel=50 % DEFAULT
13
14  ;TRAYECTORIAS LINEALES
15  ;Punto 1 2 3 4
16

```

*Nota.* Estructura del inicio del programa.

En la Figura 61 se muestra el encendido del extractor de humo como salida “OUT” y la indicación de primera posición de la mesa posicionadora.

## Figura 61

### Encendido del extractor de humo y subprograma de posición de mesa

```

16
17  $OUT [114]=TRUE
18  submp()
19

```

*Nota.* Estructura de programación del encendido del extractor de humo y subprograma de posición de mesa.

En la Figura 62 se muestra la estructura de programación de los cuatro puntos a soldar, estas trayectorias tienen un punto de seguridad que evitan posibles colisiones y el encendido y apagado del Arco de Soldadura.

Figura 62

Estructura de programación

```

14 ;TRAYECTORIAS LINEALES
15 ;Punto 1 2 3 4
16
17 $OUT [114]=TRUE
18 submp()
19
20 LIN P1 Vel=0.3 m/s CPDAT1 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis
21 LIN P2 Vel= 0.3 m/s CPDAT2 ARC_ON Pgno= 2 S1 Seam1 Tool[16]:
22 LIN P3 CPDAT3 ARC_OFF Pgno= 2 E1 Seam1 Tool[16]:TORCHA RA400
23 LIN P4 Vel=0.3 m/s CPDAT4 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis
24 LIN P5 Vel= 0.3 m/s CPDAT5 ARC_ON Pgno= 2 S2 Seam2 Tool[16]:
25 LIN P6 CPDAT6 ARC_OFF Pgno= 2 E2 Seam2 Tool[16]:TORCHA RA400
26 LIN P7 Vel=0.3 m/s CPDAT7 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis
27 LIN P8 Vel=0.3 m/s CPDAT8 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tesis

```

Programación de los primeros 4 puntos de Soldadura

Nota. Estructura de programación de puntos de soldadura.

En la Figura 63 se muestra los subprogramas de cada uno de los puntos que requieren soldadura, previo a finalizar con la posición HOME del manipulador, apagado del extractor de humo y posición HOME de la mesa posicionadora.

Figura 63

Estructura final de programación principal

```

35
36 ;Punto 5 6
37 submesa_5_6()
38
39 ;Punto 7 8
40 submesa_7_8()
41
42 ;Punto 9 10
43 submesa_9_10()
44
45 ;Punto 11 12
46 submesa_11_12()
47
48 ;Punto 13 14
49 submesa_13_14()
50
51 ;Punto 15 16
52 submesa_15_16()
53
54 PIP HOME Vel=50 % DEFAULT
55
56 $OUT [114]=FALSE
57 submp()
58
59 END

```

Subprogramas para cada punto

Posición HOME

Apagado del Extractor

Posición HOME de Mesa

Nota. Estructura de programación final.

**Encendido y apagado de arco de soldadura.** Para el encendido del arco únicamente se sitúa en el punto donde se quiere comenzar a soldar. Se configura los parámetros de soldadura es en el apagado del arco. Los dos tipos de trama ocupadas son la de espiral y sin péndulo, con los valores que se muestran en la Tabla 39.

**Tabla 39**

*Parámetros de soldadura*

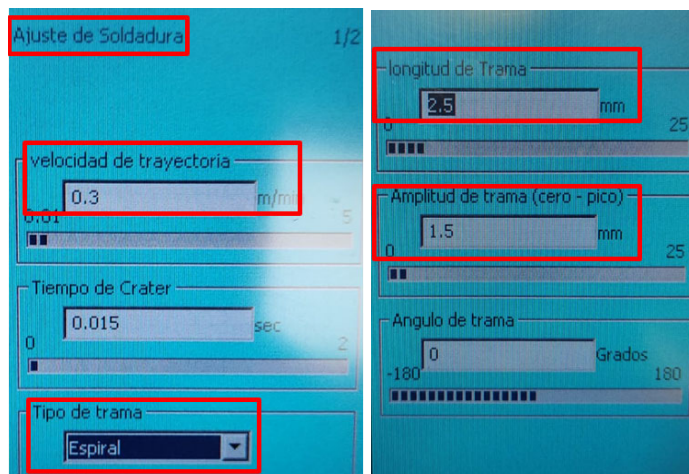
| <b>Parámetros de Soldadura KUKA HMI 2.0</b> |                      |   |
|---|----------------------|---|
| <b>N°</b>                                   | <b>Tipo de Trama</b> | <b>Parámetros</b>   |
| <b>1</b>                                    | Sin péndulo          | - Velocidad de Trayectoria: 0.7 m/mm<br>- Longitud de trama: 2.5 mm |
| <b>2</b>                                    | Espiral              | - Velocidad de Trayectoria: 0.3 m/mm<br>- Longitud de trama: 2.5 mm |

*Nota.* Parámetros de Soldadura KUKA HMI 2.0.

En la Figura 64 se muestra la configuración de parámetros de soldadura para la trama en forma de “espiral”. La más importante es la velocidad de trayectoria, porque si realiza de manera rápida el cordón de soldadura saldrá con poco material de apoyo y no existirá penetración para la fusión de los dos elementos a soldar.

**Figura 64**

*Configuración de parámetros de soldadura en espiral*



*Nota.* Parámetros de soldadura tipo espiral.

**Subprograma de mesa.** Para la instrucción de posicionar mesa, se debe habilitar la salida 113 que es la de posicionar mesa, permitiendo mover a la posición ya configurada por el sistema de control.

En la Figura 65 se muestra la activación de la salida “OUT” de posición de la mesa con un tiempo de 2 segundos, también se define un “WAIT FOR” que permite verificar si se cumplió o no la llegada del punto con la desactivación del relé.

**Figura 65**

*Entorno de Subprograma de mesa*

```

6  $OUT [113]=TRUE
7  WAIT Time=2 sec
8  $OUT [113]=FALSE
9  WAIT FOR ( IN 113 'ENTRADA 1' )

```

→ Mover a la posición requerida  
y salir de paso de llegada

*Nota.* Subprograma de mesa.

**Subprograma puntos.** Para el subprograma de puntos únicamente se ocupa el punto anterior, y a su vez el subprograma de posicionamiento de mesa, siempre y cuando se declare las respectivas variables.

En la Figura 66 se muestra el subprograma general para cada uno de los puntos que intervienen al realizar la soldadura.

**Figura 66**

*Entorno de Subprograma de puntos*

```

1  DEF submesa_5_6( )
2  EXT submp( )
3  INI
4  ;PROGRAMA DE MESA
5
6  ;TRAYECTORIAS LINEALES
7
8  LIN P15 Vel=0.3 m/s CPDAT15 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tes
9  ;submp( )
10
11 ;Punto 5 6
12
13
14 LIN P16 Vel=0.3 m/s CPDAT16 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tes
15 LIN P17 Vel= 0.3 m/s CPDAT17 ARC_ON Pgno= 1 S5 Seam5 Tool[16]
16 LIN P18 CPDAT18 ARC_OFF Pgno= 1 E5 Seam5 Tool[16]:TORCHA RA4
17 LIN P19 Vel=0.3 m/s CPDAT19 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tes
18 LIN P20 Vel=0.3 m/s CPDAT20 Tool[16]:TORCHA RA400 Base[8]:tes
19 LIN P21 Vel= 0.3 m/s CPDAT21 ARC_ON Pgno= 1 S6 Seam6 Tool[16]

```

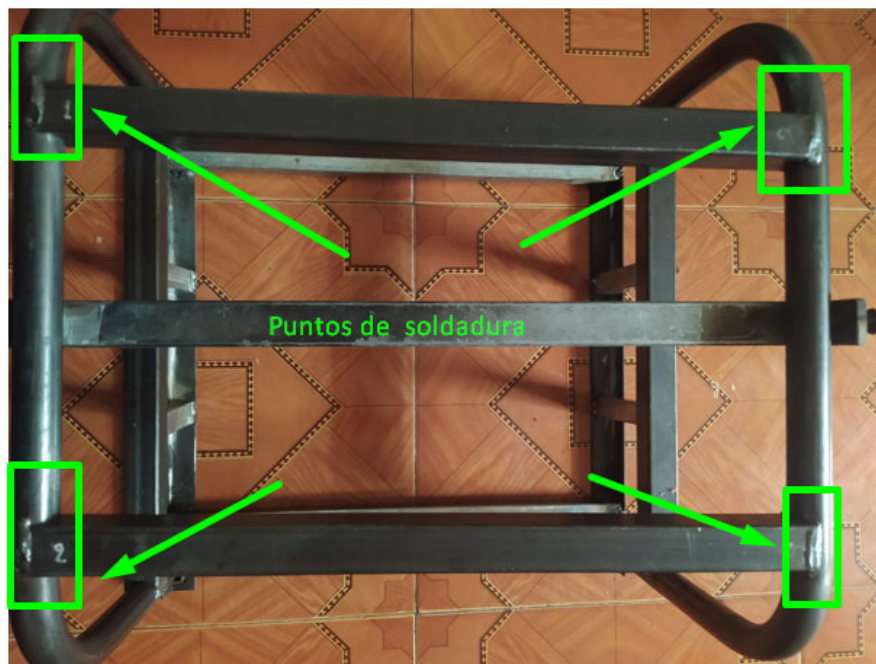
*Nota.* Subprograma de puntos 5 y 6.

Mediante la ejecución del programa se puede realizar la aplicación planificada, como se muestra en la Figura 67.



**Figura 67**

*Aplicación de soldadura.*



*Nota.* Aplicación de soldadura, mesa de centro.

Mediante la aplicación de soldadura se pudo evidenciar que los cordones de soldadura penetran de manera continua el material base, originándose una soldadura fuerte, además no se evidencia chisporroteo, ni sobrecalentamiento del material, considerándose una soldadura óptima para la ejecución de la aplicación.

### Presupuesto invertido

En la Tabla 40 se detalla el presupuesto invertido en la repotenciación de la celda de soldadura.

**Tabla 40**

Tabulación del presupuesto invertido.

| Denominación  | Cantidad | Valor unitario | Valor total     |
|---|----------|----------------|-----------------|
| Cilindro de 6Lts AGA<br>MIX 20                      | 1        | 96.00          | 96,00           |
| Placa de potencia del<br>Panel HMI – Touch<br>Panel | 1        | 120,00         | 120,00          |
| Cables de comunicación<br>PLC-PC                    | 1        | 12.50          | 12.50           |
| Cables de comunicación<br>Touch Panel-PC            | 1        | 18.00          | 18.00           |
| Cables para diagramas<br>de control y potencia      | 1        | 40.00          | 40.00           |
| Terminales para cables<br>de diagramas              | 1        | 9.64           | 9.64            |
| Varios  | 1        | 15.64          | 15.64           |
| Material para los Jigs de<br>soldadura              | 1        | 105.00         | 145.00          |
| Base para la mesa de<br>centro                      | 1        | 50.00          | 50.00           |
| Estructura de la mesa<br>de centro                  | 2        | 40.00          | 80.00           |
|   |          | <b>TOTAL</b>   | <b>\$586.78</b> |

*Nota.* Tabulación del presupuesto invertido.

## Validación de hipótesis

¿La repotenciación de la celda de soldadura que incluye brazo robótico KUKA KR5-Arc, garantizará una comunicación segura con la mesa posicionadora y el extractor de humo, y mejorará la precisión de la mesa del Laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Sede Latacunga?

Una vez obtenido los datos de comunicación del funcionamiento del manipulador robótico con la mesa posicionadora y el extractor de humo, se procede a realizar la validación con los siguientes aspectos:

- MP = Mesa posicionadora
- EH = Extractor de humo
- P = Precisión

Las ponderaciones para la evaluación de cada uno de los parámetros son los siguientes:

- 1 = No cumple (MP, EH, P)
- 2 = Se acerca (P)
- 3 = Cumple (MP, EH, P)

En la Tabla 41 se evidencia los tres aspectos a evaluar con las ponderaciones descritas anteriormente. Se tomó en cuenta las velocidades programadas en el entorno del HMI de la mesa posicionadora (25, 50, 75 y 100) %.

**Tabla 41**

*Tabulación de datos de comunicación mesa posicionadora y extractor de humo.*

| Velocidad de mesa | Número de muestras |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | TOTAL |
|-------------------|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
|                   | 1                  |    |    | 2  |    |    | 3  |    |    | 4  |    |    | 5  |    |    | 6  |    |    |       |
|                   | MP                 | EH | P  | MP | EH | P  | MP | EH | P  | MP | EH | P  | MP | EH | P  | MP | EH | P  |       |
| 25%               | 3                  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 54    |
| 50%               | 3                  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 54    |
| 75%               | 3                  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 53    |
| 100%              | 3                  | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  | 52    |
| <b>TOTAL</b>      | 12                 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 213   |

*Nota.* Tabulación de datos de comunicación mesa posicionadora y extractor de humo; y precisión de la mesa posicionadora.

La validación de hipótesis se analiza mediante el método del Chi-Cuadrado, cabe mencionar que las fórmulas e información se tomó de (MEDwave, 2011). Se empieza definiendo la hipótesis alternativa y nula:

- Hipótesis Nula (Ho): La repotenciación de la celda de soldadura no garantizará una comunicación segura con la mesa posicionadora y el extractor de humo, ni mejorará la precisión de la mesa.
- Hipótesis Alternativa (Hi): La repotenciación de la celda de soldadura garantizará una comunicación segura con la mesa posicionadora y el extractor de humo, y mejorará la precisión de la mesa.

$$f_t(\text{frecuencia teórica}) = \frac{(\text{total de la fila } i) \cdot (\text{total de la columna } j)}{\text{número total de datos}} \quad (\text{Ec.1})$$

Se obtiene la frecuencia teórica de cada velocidad.

$$ft(3) = \frac{(12) \cdot (54)}{213} = 3.04$$

$$ft(3) = \frac{(12) \cdot (53)}{213} = 2.96$$

$$ft(3) = \frac{(12) \cdot (52)}{213} = 2.93 \quad (Ec.2)$$

$$ft(3) = \frac{(11) \cdot (54)}{213} = 2.79$$

$$ft(3) = ft(2) = \frac{(11) \cdot (53)}{213} = 3.04$$

$$ft(3) = ft(2) = \frac{(11) \cdot (52)}{213} = 2.96$$

Formula del Chi-Cuadrado calculado:

$$(x_{calc})^2 = \sum \frac{(f - ft)^2}{ft} \quad (Ec.3)$$

Donde:

$f \rightarrow$  frecuencia observada

$ft \rightarrow$  frecuencia teórica

Se representa el Chi-Cuadrado para cada una de las velocidades.

$$\begin{aligned}
 (x_{calc})^2_3 &= \frac{(3-3.04)^2}{3.04} \\
 (x_{calc})^2_3 &= \frac{(3-2.96)^2}{2.96} \\
 (x_{calc})^2_3 &= \frac{(3-2.93)^2}{2.93} \\
 (x_{calc})^2_3 &= \frac{(3-2.79)^2}{2.79} \\
 (x_{calc})^2_3 &= \frac{(3-2.74)^2}{2.74} \\
 (x_{calc})^2_3 &= \frac{(3-2.69)^2}{2.69} \\
 (x_{calc})^2_2 &= \frac{(2-2.69)^2}{2.69} \\
 (x_{calc})^2_2 &= \frac{(2-2.74)^2}{2.74}
 \end{aligned}
 \tag{Ec.4}$$

Se calcula el Chi-Cuadrado

$$\begin{aligned}
 (x_{calc})^2 &= 30 \cdot \left( \frac{(3-3.04)^2}{3.04} \right) + 15 \cdot \left( \frac{(3-2.96)^2}{2.96} \right) + 15 \cdot \left( \frac{(3-2.93)^2}{2.93} \right) \\
 &+ 6 \cdot \left( \frac{(3-2.79)^2}{2.79} \right) + 2 \cdot \left( \frac{(3-2.74)^2}{2.74} \right) + 1 \cdot \left( \frac{(3-2.69)^2}{2.69} \right) \\
 &+ 1 \cdot \left( \frac{(2-2.74)^2}{2.74} \right) + 2 \cdot \left( \frac{(2-2.69)^2}{2.69} \right) \\
 (x_{calc})^2 &= 0.84
 \end{aligned}
 \tag{Ec.5}$$

Se calcula el grado de libertad  $\nu$ :

$$\begin{aligned}
 \nu &= (\text{número de filas} - 1) \cdot (\text{número de columnas} - 1) \\
 \nu &= (4 - 1) \cdot (18 - 1) \\
 \nu &= 51
 \end{aligned}
 \tag{Ec.6}$$

Para la validación se trabajó con un nivel de significancia de 0.1.

Al obtener un grado de libertad de 51 y un margen de error de 0.1, En la Figura 68 se muestra la representación gráfica en GeoGebra con los valores calculados. En este gráfico se puede apreciar de mejor manera el valor crítico del Chi-Cuadrado con respecto a la tabla de valores estándar del Anexo 8.

$$(x_{\text{tabla}})^2 = 64.3 \quad (\text{Ec.7})$$

### Figura 68

*Cálculo del Chi-Cuadrado "GeoGebra"*



*Nota.* Cálculo del Chi-Cuadrado mediante GeoGebra.

Se realiza la comparación entre los resultados de la ecuación 5 y 7, teniendo como conclusión que: el Chi-Cuadrado calculado es menor que el Chi-Cuadrado de la Figura 68 y tabla estándar del Anexo 8; por lo tanto, se cancela la hipótesis nula. De esta manera se valida la hipótesis alternativa que garantizará una comunicación segura con la mesa posicionadora y el extractor de humo, y mejorará la precisión de la mesa.

Para el análisis de soldadura y verificación de la validación de hipótesis, refiérase al apartado 5.6.1. en adelante.

## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- La repotenciación de la celda de soldadura permite mantener un servicio óptimo para la educación de la Universidad de las Fuerzas Armadas Sede Latacunga, mediante la comunicación segura entre los componentes de la celda y condiciones de operatividad óptima de cada uno de los componentes, permitiendo realizar aplicaciones de soldadura apegadas a requerimientos y tendencias actuales de automatización de procesos.
- La depuración de archivos en el Software KUKA HMI 2.0, es necesario según criterios de orden. Existían archivos que fueron empleados en prácticas de estudiantes de diferentes asignaturas relacionadas al uso de robots manipuladores de semestres anteriores, de los cuales no se tiene documentación que respalde su funcionamiento, pudiendo ocasionar colisiones en caso de ser ejecutados, debido a que se desconoce las condiciones de la mesa de soldadura, el empleo de Jigs de soldadura o el material utilizado para soldar.
- La depuración de archivos permite a la celda de soldadura disponer de mayor memoria para realizar nuevas programaciones, ordenar de mejor manera los futuros archivos, debido a que se crearon carpetas destinadas para prácticas de estudiantes y brindar seguridad a la máquina, ya que se eliminaron programas potencialmente peligrosos debido a la falta de documentación de su funcionalidad.
- Se verificó la funcionalidad del brazo robótico KUKA KR5 Arc mediante pruebas de control, en donde se evidenció que cumple con el movimiento requerido, es importante considerar que el robot KUKA KR5 Arc dispone de 6 grados de libertad,



- divididos entre coordenadas de posición y orientación, por lo cual se realizaron pruebas mediante coordenadas respecto a cada eje, coordenadas WORLD y coordenadas herramienta en donde todas las pruebas ejecutadas realizaron óptimamente su funcionamiento.
- Para la repotenciación de la mesa posicionadora, inicialmente se gestionó la funcionalidad de la mesa posicionadora, en el que se evidenciaron problemas relacionados al diagrama del tablero eléctrico, comprendidos entre la disposición del cable y la calidad del cable empleado. Para lo cual se realizaron tareas de análisis del diagrama mejorando la configuración y evitando la redundancia de cable en conexiones de tierra, utilización cable N° 18 flexible para mejorar su desempeño en ambientes laborales y etiquetado para mejorar su identificación en el caso de existir errores en algún dispositivo y este deba ser reemplazado.
  - Con respecto a la configuración de la mesa posicionadora, se realizó una nueva programación que cumpla con las siguientes consideraciones: retorno a home en un punto específico, muestreo del valor en ángulos de la posición de la mesa, selección de diferentes velocidades, información de los puntos guardados durante la programación entre otras cosas permitiendo mejorar el control con respecto a su programación inicial, el cual no cumplía con los parámetros mencionados.
  - Para la repotenciación de los Jigs de soldadura se reemplazó los clamps de soldadura, elaborados en acero 1018 y recubiertos de pintura, la cual originaba discontinuidad entre la tierra de la soldadora Fronius y los Jigs de soldadura, por Jigs fabricados en acero inoxidable mejorando la continuidad de soldadura, y por consecuencia las aplicaciones de soldadura.
  - Para la repotenciación del extractor de humos, se consideró las condiciones eléctricas del sistema de control y de potencia, en el cual era necesario realizar

cambios de cableado, etiquetado y orden, para mejorar la presentación del circuito y brindar una mejor identificación cuando se requiera analizar el circuito para realizar algún cambio de un componente o repotenciaciones posteriores a la realizada. Además de agregó un relé que permite realizar la comunicación entre el módulo WAGO y el extractor de humos optimizando el tiempo de encendido y disminuyendo el ruido en la celda.

- Para el sistema de comunicación entre dispositivos (módulo WAGO) se etiquetó y ordenó las entradas; ubicando la mesa posicionadora en la entrada 1 y salida 1 y el extractor de humos en la salida 2, del módulo, permitiendo disponer de más entradas del módulo para nuevas aplicaciones o realizar prácticas de I/O digitales con los aparatos del Laboratorio de Robótica.
- Las 16 entradas del módulo WAGO se encuentran registradas desde la dirección 113 en adelante [113-129], en donde la entrada 113 corresponde a “RespuestaMP” que es la señal que envía la mesa posicionadora cuando llega a la posición deseada, permitiendo operar al Robot KUKA sin que exista la colisión entre la mesa y el robot.
- Las 16 salidas del módulo WAGO se encuentran registradas desde la dirección 113 en adelante [113-129], en donde la entrada 113 corresponde a “UbicarMP” que envía una señal cuando el programa requiere de una nueva posición de la mesa posicionadora, además se dispone de la entrada 114 que hace referencia a “ExtractorH” que permite habilitar o deshabilitar al extractor de humos mediante el KCP.
- En el diagnóstico del software de aplicación industrial de soldadura no se efectuaron cambios, ya que no se puede realizar actualizaciones debido a la compatibilidad con el controlador KRC2.

- Para la aplicación de soldadura se diseñó una estructura (mesa de centro), en el que se realizaron dos tipos de soldadura, la primera realizada en forma lineal y otra realizada en forma espiral para aumentar el grosor del cordón de soldadura. Para un material base de 1.7mm de espesor se puede configurar la soldadura Fronius en los parámetros 12 V, 0.7 m/min de avance del cordón de soldadura y 4.9 m/min en la velocidad de depósito de material con avance lineal. Para cordones lineales los parámetros de soldadura son 10 V, 0.3 m/min y 3.5 m/min con movimiento en espiral.

## Recomendaciones

- En la creación de una aplicación de soldadura es importante definir la posición de la mesa posicionadora y las condiciones de operatividad en una ficha técnica de soldadura, que será útil para futuras demostraciones. Además, crear los programas únicamente en los espacios asignados, permitiendo separar los programas realizados para prácticas de curso con los realizados para tesis, maestrías o aplicaciones demostrativas.
- Para realizar el proceso de soldadura se recomienda energizar primero el controlador de la soldadora FRONIUS, posteriormente el controlador KRC2, y es indistinto si se energiza el controlador de la mesa posicionadora o el controlador del extracto de humo.
- Es importante considerar los parámetros del ángulo de arrastre, se recomienda máximo 15 grados desde su normal con la pieza de trabajo, además de considerar que el ángulo de trabajo sea de 90° para unión de placas y 45 para unión de perfiles.
- Para la configuración de los parámetros de soldadura se recomienda partir de los valores asignados por el modo “Soldadura MIG/MAG Puls-Synergic” ingresando solo el valor del espesor de la chapa y realizar pruebas de soldadura con estos valores. posteriormente ingresar al modo “Soldadura manual estándar MIG/MAG” ingresando únicamente valores de voltaje y velocidad de depósito de hilo.
- Es importante analizar el tipo de material a soldar, y con este parámetro seleccionar el alambre de soldadura y el gas protector, además se recomienda regirse a catálogos ecuatorianos por cuestiones de adquisición de productos.
- El extractor de humos permite mantener la celda de soldadura libre de humos y óptima para el personal humano, por lo cual es importante encenderlo y acercarlo lo mayor posible sin que colisione con la mesa posicionadora o el brazo robótico.

- Es recomendable operar la mesa posicionadora en su velocidad más baja (25%) permitiendo maximizar su precisión y repetibilidad. Además, se recomienda no apagar la máquina durante su funcionamiento, ya que necesitará ser reconfigurada desde el inicio. Otro parámetro importante es utilizar el paro de emergencia únicamente para posibles colisiones, debido a que desactiva todo el sistema y requiere ser nuevamente apagada y encendida para operar de manera correcta.
- Para la utilización del sistema de sujeción de soldadura es importante presionar la pieza a soldar con el Jigs de soldadura, maximizando el área de contacto y por ende sea más fluida la continuidad entre la tierra de la soldadora Fronius y el ensamble a soldar.
- Se recomienda utilizar entradas y salidas del módulo WAGO en las posiciones liberadas, sin modificar las salidas físicas 1 y 2 asignadas a las direcciones lógicas de salida 113 y 114 del software HMI 2.0, y de igual manera la entrada física 1 asignada a la dirección lógica de entrada 113. Es importante en el momento de realizar las conexiones identificar VCC y GND del módulo WAGO evitando realizar cortocircuitos; además, de no asignar cargas superiores a las permitidas por el módulo para no averiar las I/O.
- Para la manipulación del controlador KRC2 se recomienda operar la máquina con cautela, y en caso de realizarse modificaciones de algún diagrama o conexión, analizar previamente su datasheet y diagramas de conexiones, debido a que esta versión de controlador esta descontinuada por la empresa KUKA, por lo cual la adquisición de repuestos es cada vez más difícil y sus precios son elevados.
- La actualización del software de soldadura en el controlador KRC2, no se puede ejecutar debido a restricciones de compatibilidad, por lo que se recomienda no realizar ninguna tarea relacionada a la modificación del software, debido a que la versión instalada es óptima para aplicaciones de soldadura

- En la creación de una aplicación de soldadura es importante trabajar con los equipos de seguridad, como los cascos de soldadura y mandiles por el chisporroteo de la soldadura y el arco eléctrico.

## Bibliografía

AbcO-Europe. (2022). *AbcO-Europe*. Obtenido de TABLAS DE SOLDADURA B.SIEGMUND - Sistema 16, Sistema 22, Sistema 28.: <https://www.abco-europe.eu/tables-de-soudure/>

AGA S.A. (2001). *Cátalogo de electrodos comunes, especiales & Gases para corte y soldadura*. Quito: Linde. Obtenido de Academia.edu.

Arias Granda, J. S., & Toapanta Lascano, L. D. (Julio de 2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA POSICIONADORA DE SOLDADURA EN DOS EJES PARA EL BRAZO ROBÓTICO KUKA KR-5ARC DEL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA*. Obtenido de Repositorio Espe: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/6863>

Baturone, A. O. (2001). *Robótica, manipuladores y robots móviles*. Barcelona: marcombo.

Calvopiña Terán, C. D., & Tituaña Cárdenas, D. X. (12 de Marzo de 2021). *Diseño e implementación de un sistema articulado de extracción localizada de humos de soldadura en la celda robotizada con brazo KUKA KR5 – ARC del Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE – L*. Obtenido de Repositorio ESPE: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24342/1/T-ESPEL-MEC-0204.pdf>

Censaindustrial. (26 de octubre de 2019). *censaindustrial*. Obtenido de Componentes del Sistema de Soldadura GMAW: <https://censaindustrial.com/componentes-del-sistema-de-soldadura-gmaw/>

Cortes, F. R. (2019). *Robotica Control De Robots Manipuladores* . Alfa Omega.

Fronius. (2015). *TransSynergic 4000/5000. TransPuls Synergic 2700. TransPuls Synergic. 3200/4000/5000. TIME 5000 Digital. CMT 4000 Advanced.*

IFR, F. i. (22 de Julio de 2022). *ifr.org*. Obtenido de Resumen ejecutivo World Robotics 2021: [https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive\\_Summary\\_WR\\_Industrial\\_Robots\\_2021.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2021.pdf)

INTEL. (Marzo de 2020). *Visión general sobre los brazos robóticos industriales*. Obtenido de Intel: <https://www.intel.es/content/www/es/es/robotics/robotic-arm.html#:~:text=Los%20brazos%20rob%C3%B3ticos%20industriales%20ayudan,producci%C3%B3n%20y%20a%20mejorar%20la%20productividad>.

KUKA. (2014). *Manualzz*. Obtenido de KR 5 arc - KUKA Robótica: <https://manualzz.com/doc/38563031/kr-5-arc---kuka-robotics>

Luis Miguel, C. A. (23 de Enero de 2020). *Inteligencia Artificial*. Obtenido de Grados de libertad: <https://inteligenciartificialmca.wordpress.com/2017/05/10/2-5-grados-de-libertad-de-un-robot/>

MEDwave. (1 de diciembre de 2011). *Medwave*. Obtenido de The chi-square: <https://www.medwave.cl/2001-2011/5266.html>

Plata, G. (12 de Noviembre de 2018). *www.iadb.org*. Obtenido de El futuro del trabajo: ¿Robots versus humanos?: <https://www.iadb.org/es/mejorandovidas/el-futuro-del-trabajo-robots-versus-humanos>

Rivera, E., & Martinez, T. (19 de Junio de 2020). Implementación de un sistema de actuación para brazos robóticos articulados industriales del laboratorio de Automatización Industrial. *Tesis de Ingeniería*. Universidad del Norte: Repositorio institucional de la Universidad del Norte. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/10584/9041>.



# Anexos