



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE
MANUFACTURA ROBOTIZADA MEDIANTE JIGS DE SOLDADURA
PARA OPTIMIZAR TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA
MIVILTECH S.A EN EL CANTÓN AMBATO.**

**AUTORES: POLO ARIOPAJAS, WOLNEY FRANCISCO
ZAMBRANO DONOSO, ALVARO XAVIER**

DIRECTOR: ING. MARCO ADOLFO SINGAÑA AMAGUAÑA MSc.

LATACUNGA

2019

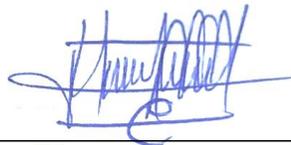


DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA MEDIANTE JIGS DE SOLDADURA PARA OPTIMIZAR TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA MIVILTECH S.A EN EL CANTÓN AMBATO**” fue realizado por los señores **Polo Ariopajas, Wolney Francisco y Zambrano Donoso, Alvaro Xavier**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 12 de julio del 2019



Ing. Marco Singaña A. MSc.

C.C: 0501627889



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, ***Polo Ariopajas, Wolney Francisco y Zambrano Donoso, Alvaro Xavier***, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA MEDIANTE JIGS DE SOLDADURA PARA OPTIMIZAR TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA MIVILTECH S.A EN EL CANTÓN AMBATO”*** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando la citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido del proyecto mencionado es veraz.

Latacunga, 12 de julio del 2019

Wolney Francisco Polo Ariopajas

C.C: 0704317650

Alvaro Xavier Zambrano Donoso

C.C: 1724684251



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

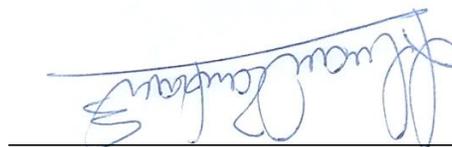
Nosotros, *Polo Ariopajas, Wolney Francisco y Zambrano Donoso, Alvaro Xavier*, autorizamos a la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA MEDIANTE JIGS DE SOLDADURA PARA OPTIMIZAR TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA MIVILTECH S.A EN EL CANTÓN AMBATO**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 12 de julio del 2019



Wolney Francisco Polo Ariopajas

C.C: 0704317650



Alvaro Xavier Zambrano Donoso

C.C: 1724684251

DEDICATORIA

Wolney Francisco Polo Ariopajas

Empezaré diciendo gracias Dios por otorgarme este gran triunfo en mi vida, dedico este logro a mis padres Wolney y Johanna que son pilar fundamental en mi vida y han estado en tomo momento conmigo.

A mis hermanas Carolina y Pierina por ser personas fuertes que me han ayudado en todos mis problemas y por haberme escuchado siempre.

A mi novia Melissa que ha estado en todo este proceso y nunca me ha abandonado en mis peores momentos.

Y a toda mi familia y amigos cercanos. Gracias a todos.

Alvaro Xavier Zambrano Donoso

A mis padres Alex y Héctor, a mi hermano Juan Pa, ellos son mi vida entera, siempre me apoyaron a lo largo de este viaje hacia el éxito profesional; a ellos les debo gran parte de lo que hoy soy. Mi agradecimiento eterno por su cariño, paciencia y consideración.

A mi familia en general, que siempre supieron darme una palabra de aliento para no desistir. Cada uno forma parte de mi vida y tiene un espacio en mi corazón.

A Bárbara, por ser la mujer que me ha impulsado incluso en los momentos más difíciles. Este proyecto no fue fácil sin embargo nunca faltó motivación y ayuda de tu parte. Con tu ejemplo de lucha, perseverancia, determinación y amor, he podido cumplir esta meta.

AGRADECIMIENTO

Extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas que fueron parte de este proceso universitario; a nuestros docentes quienes fueron los encargados de inculcarnos conocimiento y sabiduría, a nuestros compañeros que se convirtieron en familia y han sabido aportar con gesto de solidaridad y apoyo en cada situación presentada a lo largo de nuestra formación.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por permitirnos formar académicamente en su institución, logrando ser profesionales comprometidos con la sociedad. El nombre de la institución quedara siempre en alto gracias a los valores y compromisos inculcados desde el primer día.

Agradecemos al ingeniero Javier Miranda V, por abrirnos la puerta de su prestigiosa empresa para realizar nuestro proyecto de titulación, por la experiencia que conlleva trabajar arduamente en una empresa que apunta hacia la mejora tecnológica continua y por todo el apoyo brindado en el transcurso de la realización de este proyecto.

De manera especial agradecemos al ingeniero Marco Singaña, por sus consejos, dedicación, paciencia y experiencia para que este proyecto se desarrolle en beneficio de la empresa, Universidad y nosotros.

Agradecemos profundamente a nuestras familias por el apoyo incondicional que nos han brindado durante el transcurso de nuestra carrera, pese a las dificultades nunca dejaron de ser un pilar fundamental en nuestro desarrollo como profesionales.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xvii
PALABRAS CLAVES:.....	xvii
ABSTRACT	xviii
KEYWORDS:.....	xviii

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Estado del Arte.....	1
1.2 Brazo robótico Soldador	2
1.2.1 Definición Brazo Robótico	2
1.2.2 Características del Brazo Robótico.....	3
1.2.3 Partes Brazo Robótico.....	7
1.2.4 Aplicaciones del Robot Industrial.....	11
1.2.5 Herramientas Robot Industrial	12
1.2.6 Brazo Robot Industrial Soldador	18
1.2.7 Robot Industrial Soldador GSK RH06.....	21
1.3 Proceso de soldadura.....	28
1.3.1 Introducción.....	28
1.3.2 Tipos de soldadura	28
1.3.3 Soldadura por arco eléctrico (AW).....	29
1.3.4 Proceso de Soldadura Manual	31
1.3.5 Proceso de Soldadura Automatizada	32

1.3.6 Proceso de Soldadura Robotizada	33
1.3.7 Sistema Soldadura Robotizada para robot GSK RH06.....	35
1.4 Celda de manufactura	39
1.4.1 Definición y Características	39
1.4.2 Tipos de disposiciones de Celda de Manufactura.....	41
1.4.3 Ventajas y desventajas de la distribución por celda.....	44
1.4.4 Etapas para el diseño de celdas de manufactura	46
1.5 Celdas Robotizadas De Manufactura	48
1.5.1 Introducción.....	48
1.5.2 Definición	48
1.5.3 Modos de trabajo.....	50
1.5.4 Elementos de seguridad.....	52
1.5.5 Robots como herramientas y equipos de trabajo.....	58
1.6 Medidas De Seguridad De La Celda Robotizada.....	59
1.6.1 Introducción.....	59
1.6.2 Causas de los accidentes laborales.	61
1.6.3 Consecuencias.....	62
1.6.4 Riesgos	62
1.6.5 Seguridad en instalaciones robotizadas	64
1.6.6 Medidas de seguridad	64
1.6.7 Requisitos de seguridad de una celda robotizada	70
1.6.8 Normativas de seguridad de una celda robotizada	73
1.6.9 Normativa legal	74
1.7 Sistema de Sujeción de materia prima	83
1.7.1 Sistema de Sujeción Neumático	83
1.7.2 Sistema de Sujeción Mecánico.....	84
1.8 Jigs o plantillas de soldadura.....	87
1.8.1 Jig De Soldadura Estático	87
1.8.2 Jig De Soldadura Móvil (Giratorio).....	88

CAPÍTULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA

2.1	Análisis de las propiedades de la soldadura MIG	90
2.1.1	Propiedades de la Soldadura MIG	90
2.1.2	Voltaje del arco de soldadura	92
2.1.3	Corriente del arco de soldadura	93
2.1.4	Velocidad de la soldadura	94
2.1.5	Velocidad de alambre	95
2.1.6	Acero Estructural ASTM A36	96
2.2	Diseño mecánico de los Jigs de soldadura para subestructuras	97
2.2.1	Diseño del Jig de Espaldar	98
2.2.2	Diseño del Jig de Cojín	110
2.2.3	Diseño del Jig de Codera	119
2.2.4	Diseño del Jig de Pata	130
2.2.5	Diseño del Jig de Matrimonio	139
2.3	Diseño mecánico de la base de los Clamps manuales	145
2.3.1	Diseño de la base de los Clamps del Jig de Espaldar	146
2.3.2	Diseño de la base de los Clamps del Jig de Cojín	147
2.3.3	Diseño de la base de los Clamps del Jig de Codera	148
2.3.4	Diseño de la base de los Clamps del Jig de Pata	149
2.4	Diseño mecánico de la mesa de apoyo	150
2.4.1	Diseño de la estructura de la mesa	153
2.4.2	Análisis de la estructura parcial de la base	154
2.4.3	Análisis de la estructura parcial de la base con plancha	155
2.4.4	Análisis estático total de la mesa de apoyo	156
2.4.5	Medidas de la mesa para la celda robotizada	157
2.5	Diseño de la celda de manufactura robotizada	158
2.5.1	Generalidades	158
2.5.2	Criterios técnicos para el diseño de la celda de soldadura	159
2.5.3	Parámetros de diseño	160
2.5.4	Selección y descripción de componentes	162

2.5.5 Descripción resumida de la celda	164
2.5.6 Implementación física de la celda.....	166
2.6 Diseño de los circuitos de control	167
2.6.1 Modo Remoto.....	167
2.6.2 Puerto I/O para el Modo Remoto	167
2.6.3 Diagrama de conexiones eléctricas	170
2.7 Programación de las secciones de soldadura del brazo robótico	171
2.7.1 Tipos de movimientos del robot.....	171
2.7.2 Modos de Operación	171
2.7.3 Comandos básicos de programación del robot.....	172
2.7.4 Algoritmos de programación de soldadura.....	173

CAPÍTULO III

PRUBAS Y RESULTADOS

3.1 Pruebas de movimiento manual del brazo robótico soldador.....	177
3.1.1 Pruebas movimiento en vacío	177
3.2 Evaluación del sistema de seguridad de la celda	182
3.2.1 Fase de diseño del robot.....	182
3.2.2 Fase de diseño de la celda.....	183
3.2.3 Fase de operación del sistema.....	184
3.3 Evaluación movimiento del brazo durante el proceso de soldadura	185
3.3.1 Pruebas unión tipo T	185
3.3.2 Pruebas unión tipo solape	188
3.3.3 Pruebas de soldadura modo remoto del Jig de Espaldar.....	190
3.3.4 Pruebas de soldadura modo remoto del Jig de Cojín	191
3.3.5 Pruebas de soldadura modo remoto del Jig de Codera	192
3.3.6 Pruebas de soldadura modo remoto del Jig de Pata	193
3.3.7 Pruebas de soldadura modo remoto del Jig de Matrimonio	194
3.4 Evaluación Experimental de las subestructuras de los asientos	195
3.5 Validación de hipótesis.....	198
3.5.1 Mejoramiento del tiempo de proceso de producción de soldadura	199

3.6 Costo Económico del proyecto	203
--	-----

CAPÍTULO IV

MANUAL DE USUARIO

4.1 Operación de arranque del proceso.....	205
4.1.1 Elementos generales del proceso.....	205
4.1.2 Advertencia	210
4.1.3 Peligro	210
4.1.4 Atención	212
4.2 Operación en modo prueba del proceso.....	213
4.2.1 Inicio de operación	213
4.2.2 Programa HOME	214
4.2.3 Testeo línea a línea	216
4.2 Operación en modo tiempo real del proceso	217
4.2.1 Master Job	218
4.2.2 Programa MAIN.....	219
4.2.3 Modo REMOTE	220
4.3 Operación de cambio de material del proceso.....	222

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	224
5.2 Recomendaciones.....	227

GLOSARIO DE TÉRMINOS	229
-----------------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA	231
---------------------------	------------

ANEXOS.....	234
--------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipos de Pinzas</i>	13
Tabla 2. <i>Herramientas para Robots Industriales</i>	14
Tabla 3. <i>Tipos de Robot Industrial Soldador</i>	19
Tabla 4. <i>Especificaciones Técnicas</i>	23
Tabla 5. <i>Parámetros Técnicos gabinete de controlador</i>	26
Tabla 6. <i>Características Soldadura Robotizada</i>	34
Tabla 7. <i>Dimensiones Externas y Peso Neto</i>	37
Tabla 8. <i>Parámetros Soldadora</i>	37
Tabla 9. <i>Datos técnicos</i>	38
Tabla 10. <i>Ventajas y Desventajas de las disposiciones en la celda de manufactura</i>	45
Tabla 11. <i>Características generales Clamp Destaco 307 USS</i>	87
Tabla 12. <i>Espesor de láminas y voltaje a utilizar soldadura MIG</i>	92
Tabla 13. <i>Valores diámetro de alambre, espesor de lámina y corriente</i>	93
Tabla 14. <i>Velocidades de soldadura, espesor de piezas</i>	94
Tabla 15. <i>Velocidades del alambre, espesor de piezas</i>	95
Tabla 16. <i>Propiedades del acero ANSI/ASTM</i>	96
Tabla 17. <i>Señales de entrada modo remoto</i>	168
Tabla 18. <i>Señales de salida modo remoto</i>	168
Tabla 19. <i>Efectividad de programación del Jig de Espaldar</i>	177
Tabla 20. <i>Efectividad de programación del Jig de Cojín</i>	178
Tabla 21. <i>Efectividad de programación del Jig de Codera</i>	179
Tabla 22. <i>Efectividad de programación del Jig de Pata</i>	180
Tabla 23. <i>Efectividad de programación del Jig de Matrimonio</i>	181
Tabla 24. <i>Resultados del primer operario</i>	199
Tabla 25. <i>Resultados del segundo operario</i>	200
Tabla 26. <i>Optimización de operarios</i>	200
Tabla 27. <i>Valores utilizados en el Chi-Cuadrado</i>	201
Tabla 28. <i>Costos proyecto</i>	203

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Brazo Robótico KUKA	3
Figura 2. Configuraciones básicas: cartesiana, cilíndrica, polar y antropomórfica	4
Figura 3. Grados de libertad	4
Figura 4. Precisión y Exactitud	5
Figura 5. Capacidad de Carga.....	6
Figura 6. Velocidad RH06.....	6
Figura 7. Actuadores	7
Figura 8. Programación Robot ABB.....	7
Figura 9. Partes constitutivas de un brazo robótico	8
Figura 10. Cuerpo del Brazo Robótico.....	8
Figura 11. Controlador IRC5P Robot.....	9
Figura 12. KCP Hombre- Maquina.....	11
Figura 13. Aplicaciones del Robot Industrial.....	12
Figura 14. Ejemplos de Pinzas	13
Figura 15. Herramienta Robot Soldador	14
Figura 16. Antorcha Robot Industrial	15
Figura 17. Tool Center Point.....	15
Figura 18. Configuraciones de cuello para 22 y 45 grados.	16
Figura 19. Toberas Roscadas	17
Figura 20. Tobera con sujeción por presión.....	17
Figura 21. Robot Industrial Soldador	18
Figura 22. Robot Industrial Soldador GSK RH06.....	21
Figura 23. Sistema de Control Robot Industrial	22
Figura 24. Dimensiones del Robot.....	25
Figura 25. Gabinete del Controlador Robot Soldador GSK RH06.....	26
Figura 26. TP Robot Soldador GSK RH06.....	27
Figura 27. Partes soldadura MIG.....	30
Figura 28. Componentes Artsen PM400A	36
Figura 29. ROBO WH 455D	38
Figura 30. Disposición tipo en línea.....	41
Figura 31. Disposición tipo lazo	42
Figura 32. Disposición tipo escalera	42
Figura 33. Disposición tipo campo abierto	43
Figura 34. Disposición tipo "U"	44
Figura 35. Ejemplo de celda de manufactura robotizada	49
Figura 36. Relación entre volumen de producción y flexibilidad de la celda.....	50
Figura 37. Ejemplo de celda robotizada.....	53
Figura 38. Medidas de alcance según normativa.....	54
Figura 39. Interruptor de levas giratorias	55
Figura 40. Interruptor de llave cautiva	55
Figura 41. Interruptor magnético.....	56
Figura 42. Ejemplo de columna de señalización.....	57
Figura 43. Ejemplos de riesgos mecánicos	63

Figura 44. Ejemplo de riesgos eléctricos	63
Figura 45. Ejemplos de riesgos fisicoquímicos	63
Figura 46. Ejemplo de vallas de seguridad	67
Figura 47. Ejemplo de dispositivos de intercambio	68
Figura 48. Normas aplicables para celdas robotizadas.....	75
Figura 49. Colores de seguridad y su significado	81
Figura 50. Señales de seguridad	81
Figura 51. Señales de prohibición	82
Figura 52. Señales de uso obligatorio	82
Figura 53. Clamp Neumático	84
Figura 54. Clamps Verticales.....	84
Figura 55. Clamp Destaco 307 USS	85
Figura 56. Dimensiones del Clamp Destaco 307 USS.....	86
Figura 57. Ejemplo de Jig de soldadura estático	88
Figura 58. Ejemplo de Jig de soldadura móvil	89
Figura 59. Parámetros y características de la soldadura MIG.....	91
Figura 60. Partes del Espaldar	99
Figura 61. Dimensiones Soporte tubo mechllok, unión soporte tubo	100
Figura 62. Dimensiones Tope de tubo, Bloque de unión	101
Figura 63. Dimensiones Soporte tubo doblado, Unión soporte tubo doblado.....	101
Figura 64. Dimensiones apoyo platina de codera	102
Figura 65. Dimensiones soporte varilla 1	102
Figura 66. Dimensiones Apoyo de varilla 1	103
Figura 67. Dimensiones Soporte varilla 2	103
Figura 68. Dimensiones Apoyo de varilla 2.....	104
Figura 69. Dimensiones Tope interno y final.....	104
Figura 70. Dimensiones Soporte cinturón.....	105
Figura 71. Dimensiones Plancha de sujeción de espaldar	105
Figura 72. Dimensiones de la base del Jig	106
Figura 73. Base Jig de Espaldar.....	107
Figura 74. Primera tensión principal de la base del Jig.....	107
Figura 75. Desplazamiento total de la base del Jig.....	108
Figura 76. Tensión de Von Mises de la base del Jig.....	108
Figura 77. Jig de Espaldar.....	109
Figura 78. Primera Tensión principal del Jig de Espaldar	110
Figura 79. Desplazamiento total del Jig de Espaldar	110
Figura 80. Partes del Cojín	111
Figura 81. Dimensiones Soporte de tubo, tope de tubo, soporte de bocín.....	112
Figura 82. Dimensiones Soporte de tubo 1, tope de tubo 1, unión soporte tubo 1	113
Figura 83. Tope cremallera, asienta cremallera y sus dimensiones.....	113
Figura 84. Dimensiones Plancha de sujeción de cojín.....	114
Figura 85. Dimensiones de la base del Jig de Cojín	114
Figura 86. Base del Jig de Cojín.....	115
Figura 87. Primera tensión principal de la base del Jig de Cojín.....	116
Figura 88. Desplazamiento total del Jig de Cojín.....	116

Figura 89. Tensión de Von Mises de la base del Jig de Cojín.....	117
Figura 90. Jig de Cojín	118
Figura 91. Primera tensión principal del Jig de Cojín	118
Figura 92. Desplazamiento total del Jig de Cojín.....	119
Figura 93. Codera móvil	120
Figura 94. Codera móvil central.....	120
Figura 95. Soporte de codera, unión de soportes codera y sus dimensiones	122
Figura 96. Dimensiones Soporte refuerzo	122
Figura 97. Dimensiones Soporte platina codera	123
Figura 98. Dimensiones Soporte codera circular	123
Figura 99. Dimensiones Soporte Platina codera circular	124
Figura 100. Dimensiones Soporte tubo central	124
Figura 101. Dimensiones Plancha de sujeción de codera	125
Figura 102. Dimensiones de la base del Jig de Codera	125
Figura 103. Base del Jig de Codera	126
Figura 104. Primera tensión principal del Jig de Codera.....	127
Figura 105. Desplazamiento total de la base del Jig de Codera	127
Figura 106. Esfuerzo de Von Mises de la base del Jig de Codera	128
Figura 107. Jig de Codera	129
Figura 108. Primera tensión principal del Jig de Codera.....	129
Figura 109. Desplazamiento total del Jig de Codera	130
Figura 110. Pata izquierda de tres puntos	131
Figura 111. Pata derecha de tres puntos.....	131
Figura 112. Dimensiones Tope externo	132
Figura 113. Dimensiones Tope interno superior	133
Figura 114. Dimensiones Tope Interno inferior	133
Figura 115. Dimensiones Tope superior e inferior	134
Figura 116. Dimensiones Tope externo superior	134
Figura 117. Dimensiones Tope Externo inferior.....	135
Figura 118. Dimensiones Tope Centro superior	135
Figura 119. Dimensiones Tope Centro inferior	136
Figura 120. Dimensiones Soporte cinturón de tres puntos.	136
Figura 121. Dimensiones Plancha de sujeción de pata	137
Figura 122. Dimensiones de los tubos de la base del Jig	137
Figura 123. Jig de Pata	138
Figura 124. Primera tensión principal del Jig de Pata.....	139
Figura 125. Desplazamiento total del Jig de Pata.....	139
Figura 126. Matrimonio izquierdo	140
Figura 127. Matrimonio derecho	141
Figura 128. Dimensiones Perfil coderas	142
Figura 129. Dimensiones perfil tubo base.....	142
Figura 130. Dimensiones Perfil nivel	143
Figura 131. Dimensiones tubos de la base del Jig.....	143
Figura 132. Jig de Matrimonio	144
Figura 133. Primera tensión principal del Jig de Matrimonio.....	144

Figura 134. Desplazamiento total del Jig de Matrimonio.....	145
Figura 135. Base tubo de 108 [mm].....	146
Figura 136. JIG de Espaldar con Clamps	147
Figura 137. Primera y segunda base Clamp.....	147
Figura 138. JIG de Cojín con Clamps	148
Figura 139. Base del Clamp del Jig de Codera.....	148
Figura 140. Jig de Codera con Clamps.....	149
Figura 141. Base del Clamp del Jig de Pata.....	149
Figura 142. Jig de Pata con Clamps	150
Figura 143. Diseño de la mesa dividido en 5 partes	152
Figura 144. Primera tensión en la base de la mesa de apoyo	154
Figura 145. Desplazamientos en la base de la mesa de apoyo	155
Figura 146. Primera tensión principal en la mesa de apoyo.....	155
Figura 147. Desplazamiento total del espesor de la mesa de apoyo	156
Figura 148. Primera tensión principal de la mesa de apoyo.....	156
Figura 149. Desplazamiento total de la mesa de apoyo	157
Figura 150. Medidas generales y transversales.....	158
Figura 151. Posicionamiento de áreas	161
Figura 152. Configuración circular o en anillo de la celda.....	162
Figura 153. Pantalla de protección visual	164
Figura 154. Dimensiones de las pantallas de protección visual	164
Figura 155. Disposición de elementos y espacio de trabajo	165
Figura 156. Celda de manufactura robotizada. Modelo CAD	166
Figura 157. Celda de manufactura robotizada. Modelo físico	167
Figura 158. Panel de control externo.....	169
Figura 159. Selectores de programas para las rutinas de soldadura.	170
Figura 160. Algoritmo de Programación Modo Teach.....	174
Figura 161. Algoritmo de Programación Modo Play.....	175
Figura 162. Algoritmo de Programación Modo Remote	176
Figura 163. Proceso en vacío Modo Play del Jig de Espaldar	178
Figura 164. Proceso en vacío Modo Play del Jig de Cojín	179
Figura 165. Proceso en vacío Modo Play del Jig de Codera.....	180
Figura 166. Proceso en vacío Modo Play del Jig de Pata.....	181
Figura 167. Proceso en vacío Modo Play del Jig de Matrimonio.....	182
Figura 168. Delimitación de la zona de seguridad	184
Figura 169. Separación mesa con fuente y controlador.....	185
Figura 170. Soldadura unión tipo T.....	186
Figura 171. Prueba 1 tipo “T”	186
Figura 172. Prueba 2 tipo “T”	187
Figura 173. Prueba 3 tipo “T”	188
Figura 174. Programación del robot	188
Figura 175. Listo para soldar unión tipo solape	189
Figura 176. Prueba 1 tipo solape.....	189
Figura 177. Prueba 2 tipo solape.....	190
Figura 178. Porcentajes de penetración	191

Figura 179. Porcentajes de penetración	192
Figura 180. Porcentajes de penetración	193
Figura 181. Porcentajes de penetración	194
Figura 182. Porcentajes de penetración	195
Figura 183. Cojín aceptado por la empresa	196
Figura 184. Codera aceptada por la empresa	196
Figura 185. Pata aceptada por la empresa	197
Figura 186. Matrimonio aceptado por la empresa.....	197
Figura 187. Espaldar aceptado por la empresa	198
Figura 188. Estructura de conexiones	205
Figura 189. Gabinete de Control.....	206
Figura 190. Consola de programación.....	207
Figura 191. Sistema de soldadura	208
Figura 192. Mesa de apoyo	208
Figura 193. Jigs de soldadura	209
Figura 194. Pantallas móviles.....	210

RESUMEN

El presente proyecto busca realizar una investigación exhaustiva sobre el proceso de soldadura robotizada tipo MIG para el diseño e implementación de una celda de manufactura robotizada mediante Jigs de soldadura logrando optimizar tiempos de producción en la empresa MIVILTECH S.A en el cantón Ambato. Para el cumplimiento del objetivo se plantea que el proceso de soldadura robotizada deberá contar una mesa circular aprovechando el área de trabajo del brazo robótico GSK RH-06, donde puedan ser montados los Jigs de soldadura de distintas subestructuras. Los Jigs o plantillas son dispositivos que sirven de soporte para ensamblar y estandarizar una estructura, este dispositivo tiene como objetivo alcanzar la producción de elementos en masa, gracias a un proceso repetitivo. El correcto diseño de los cinco tipos de Jigs, uno para cada etapa del proceso de soldadura, y cada uno deberá tener un sistema de sujeción de material conformado por clamps mecánicos, todo el proceso deberá ser controlado por el operario desde un panel de control externo. Al implementar una celda de manufactura robotizada se deberá tener muy en cuenta las normativas de seguridad para trabajar con brazos robóticos y para trabajar con procesos de soldadura automatizada.

PALABRAS CLAVES:

- **BRAZO ROBÓTICO**
- **SOLDADURA MIG**
- **MANUFACTURA ROBOTIZADA**
- **SISTEMAS MECATRÓNICOS**

ABSTRACT

The present project seeks to achieve an exhaustive investigation on the robotic MIG welding process for the design and implementation of a robotic manufacturing cell using welding Jigs optimizing production time in the company MIVILTECH S.A in Ambato. For the fulfillment of the objective it is stated that the robotic welding process should have a circular table taking advantage of the work area of the robotic arm GSK RH-06, where the welding Jigs of different substructures can be assembled. The Jigs or templates are devices that serve as support to assemble and standardize a structure, this device aims to achieve mass production of elements, thanks to a repetitive process. The correct design of the five types of Jigs, one for each stage of the welding process, each one should have a clamping system made up of mechanical clamps, the whole process should be controlled by the operator from an external control panel. A robotic manufacturing cell implementation requires safety regulations; it must be applied in order to work with robotic arms or automated welding processes.

KEYWORDS:

- **ROBOTIC ARM**
- **MIG WELDING**
- **ROBOTIZED MANUFACTURE**
- **MECHATRONIC SYSTEMS**

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Estado del Arte

El presente proyecto trata del diseño e implementación de una celda de manufactura robotizada para la fabricación a mediana escala de subestructuras para asientos de buses, específicamente en la unión de las partes mediante la soldadura robotizada, está implementado en su totalidad dentro de MIVILTECH S.A. de la provincia de Tungurahua, Ambato.

MIVILTECH S.A. es una empresa dedicada al desarrollo tecnológico para autobuses, con un enfoque hacia la innovación del transporte pesado del Ecuador. La seguridad y control son los objetivos principales para poder ofrecer soluciones de los diversos problemas automovilísticos.

Las ideas para la mejora de la tecnología en la empresa MIVILTECH S.A. se obtuvieron de investigaciones relacionadas al diseño de celdas robotizadas, como:

“Diseño e Implementación de una Celda de Manufactura Robotizada, para la réplica de piezas 3D, mediante fresado en el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L”.
(Acosta,2014)

En este documento se explica que las operaciones más comunes son las réplicas de partes y piezas, pero tienen costos y tiempos altos de fabricación. Se ha utilizado el

software Cam para generar trayectorias para mecanizado y el complemento Cam Rob propio de KUKA Sim Pro, para generar el lenguaje del robot a partir de los códigos G; éste se exporta al controlador del robot, permitiendo así que el cabezal fresador interactúe con el brazo robótico realice las trayectorias de fresado y se obtenga de esta manera las réplicas.

“Diseño e implementación de una celda de manufactura con brazo robótico centralizado y control de calidad con visión artificial en el laboratorio de robótica industrial de la ESPE-L”. (Gallo, 2013)

En este caso, la celda de manufactura está formada por elementos electromecánicos y electrónicos como son: brazo robótico KUKA KR 16, bandas transportadoras planas, mini centro de mecanizado ExperMILL VM 600 y un sistema de visión artificial que permite realizar el control de calidad de piezas mecanizadas, determinando los parámetros de diseño tanto de forma y tamaño, para la correcta clasificación del producto terminado. El control del proceso se realiza a través de varias etapas. Para el control de las bandas transportadoras se usó los PLC's XC3 48-RT-E y el módulo WAGO (sistema modular de E/S), que sirvió para ejecutar el control desde el brazo robótico.

1.2 Brazo robótico Soldador

1.2.1 Definición Brazo Robótico

Algunas definiciones de brazo robótico son:

"Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas", de acuerdo a la Organización Internacional de Estándares. (ISO, 2018)

"Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover piezas, materias, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas", esta definición según. (RIA, 1979)

1.2.2 Características del Brazo Robótico

Brazo robótico de cuerpo entero mostrado en la Figura 1.



Figura 1. Brazo Robótico KUKA

Fuente: (KUKA, 2018)

Está formado por seis articulaciones unidas entre sí, posee con un controlador para el brazo robótico y servo motores para cada sección. Es capaz de realizar movimientos precisos para cada aplicación a realizar (Echave, 2017).

En la Figura 2, se muestra las cuatro configuraciones básicas que puede tener el brazo robótico: la configuración cartesiana que consta de tres articulaciones prismáticas,

la configuración cilíndrica consta de dos articulaciones prismáticas y una rotacional, la configuración polar o esférica consta de dos rotacionales y una prismática, la configuración antropomórfica consta de tres rotacionales. (Ollero, 2001)

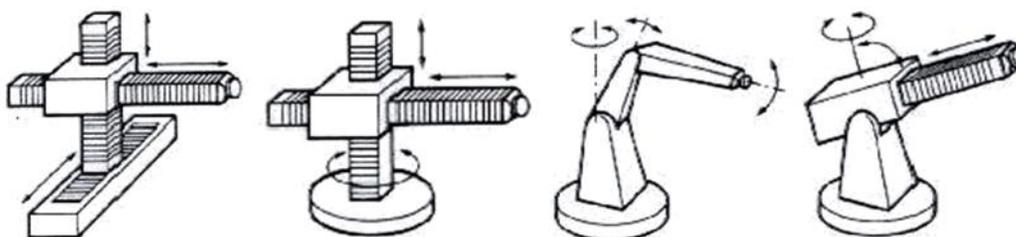


Figura 2. Configuraciones básicas: cartesiana, cilíndrica, polar y antropomórfica

Fuente: (Echave, 2017)

A continuación, se detallan características importantes del brazo robótico, las cuales son: (Echave, 2017)

a. Grados de libertad

Es la capacidad de moverse a lo largo de un eje lineal y rotacional, la mayoría de brazos robóticos tiene 6 grados de libertad (Figura 3).



Figura 3. Grados de libertad

Fuente: (Echave, 2017)

b. Precisión, Exactitud y Repetibilidad

La precisión del robot industrial depende de la resolución espacial, que es el mínimo incremento de movimiento que puede ejecutar un robot, la exactitud es la capacidad de un brazo robótico para ubicar su muñeca en un punto localizado dentro del área de trabajo y la repetibilidad son los puntos indicados al robot para lograr hacer su trabajo tras los movimientos mínimos necesarios, se puede visualizar en la Figura 4.

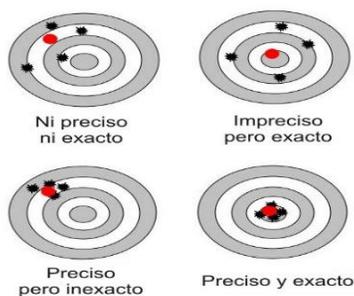


Figura 4. Precisión y Exactitud

Fuente: (Echave, 2017)

c. Capacidad de carga

Es la carga nominal que puede transportar el robot sin que disminuyan sus prestaciones dinámicas, existen brazos robóticos con valores de capacidad de carga que varían desde 2 a 1300 [kg] y su correcta selección dependerá de la aplicación del robot. (Figura 5)



Figura 5. Capacidad de Carga

Fuente: (FANUC, 2018)

d. Velocidad

Es la rapidez a la que puede moverse el brazo robótico con la carga que transporta, por lo general las velocidades oscilan entre 1 y 4 m/s. Por ejemplo, las velocidades para el brazo robótico GSK se muestran en la Figura 6.

Velocidad máxima	J1	2.27 rad/s, 130°/s
	J2	2.27 rad/s, 130°/s
	J3	2.27 rad/s, 130°/s
	J4	7.33 rad/s, 420°/s
	J5	4.40 rad/s, 252°/s
	J6	10.82 rad/s, 620°/s

Figura 6. Velocidad RH06

Fuente: (GSK CNC Equipment Co, 2017).

e. Tipos de actuadores

Generan el movimiento de las articulaciones, pueden ser hidráulicos, neumático, eléctrico. Se visualizan en la siguiente Figura 7.



Figura 7. Actuadores

Fuente: (Baltazar, 2015)

f. Programabilidad

Es la capacidad del robot para ser programado en diferentes lenguajes o lógicas de programación, con la finalidad de aprovechar al máximo las funcionalidades del brazo robótico, en la Figura 8 se muestra la programación según ABB.

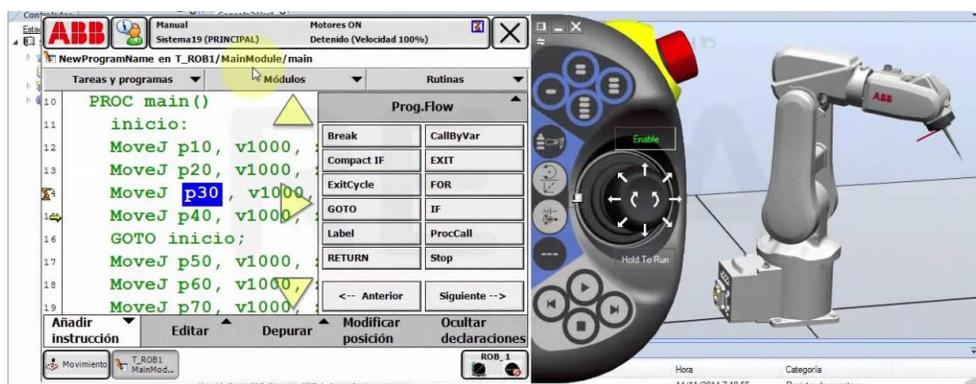


Figura 8. Programación Robot ABB

Fuente: (ABB, 2018)

1.2.3 Partes Brazo Robótico

En la Figura 9, se observa las partes constitutivas de un brazo robótico.



Figura 9. Partes constitutivas de un brazo robótico

a. Cuerpo del Brazo Robótico

El brazo robótico está formado de elementos mecánicos que permiten el movimiento, internamente se encuentran elementos motrices, engranajes y transmisiones que soportan el movimiento de cuatro partes principales, las mismas que son: base, cuerpo, brazo y antebrazo. En la Figura 10, se detalla las diferentes partes del cuerpo del robot.

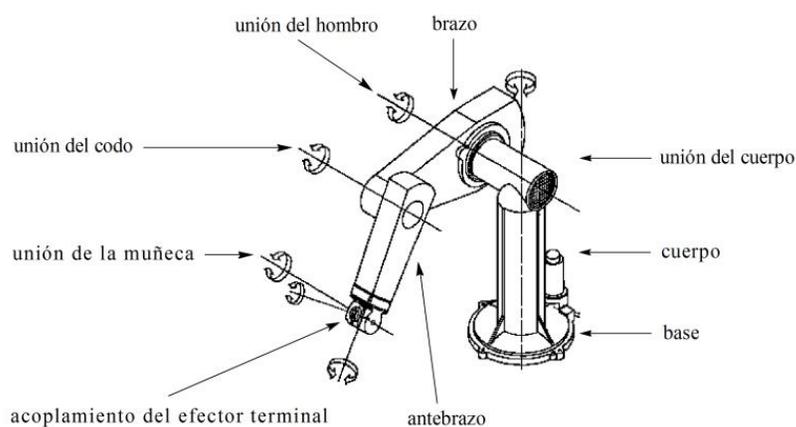


Figura 10. Cuerpo del Brazo Robótico

b. Controlador del Robot

Es el cerebro del robot, controla todos los motores, sensores, herramientas y partes externas unidas al robot, la estructura característica se puede observar en la Figura 11. (ABB, 2018)



Figura 11. Controlador IRC5P Robot

Fuente: (ABB, 2018).

Se identifican dos subsistemas denominados módulos, encargados de actuar sobre las distintas áreas del robot. Puede cambiar en formatos y arquitecturas dependiendo del fabricante y modelos, por lo general se encuentran como:

b.1 Módulos de Potencia

Regula la alimentación eléctrica que necesitan los módulos, tales como los servos motores que dan movimiento a los diferentes ejes y permiten desplazar al brazo robótico por puntos y trayectorias definidas. Cuenta con un interruptor general y otros accionamientos, que están comunicados con sistemas de seguridad y maniobra paro de emergencia, en caso de ser necesario, suspender la energía del sistema.

b.2 Módulo de Control

Dispone de un computador principal que gobierna el sistema. Se localizan elementos como mecanismos de paro de emergencia, selector de modo de operación (Manual/Automático), conexiones con otros módulos, leds de estado, etc. También es capaz de gestionar las seguridades, recibiendo las señales de sensores o mecanismos que permitirá el paro del robot en caso de error o accidente. Dispone de interfaces de entrada y salida de tal manera que los técnicos o ingenieros puedan llevar a cabo la carga de la configuración y parametrización, así como otros elementos tipo PLCs, HMIs, vinculados a procesos.

c. Consola Hombre - Máquina

Es la unidad conectada al controlador del robot para operar el mismo. Son pequeñas consolas con una pantalla, teclado, joystick y pulsador de emergencia con el fin de manipular y ajustar parámetros en el brazo robótico de forma manual, en la Figura 12 se muestra la consola de la marca KUKA. (Echave, 2017)

Algunos nombres de las diferentes consolas Hombre - Máquina, son:

- Teach Pendant
- KCP (Kuka Control Panel)
- FlexPendant



Figura 12. KCP Hombre- Maquina

Fuente: (KUKA, 2018)

d. Programación

Es la capacidad de asignar, generar y configurar movimientos para diversas tareas. Si bien desde la consola manual pueden llevarse a cabo ciertas tareas, se debe programar para aplicaciones complejas y continuas (ABB, 2018).

1.2.4 Aplicaciones del Robot Industrial

Las aplicaciones que se observan en la Figura 13, se consideran como las más importantes según (González, 2014):

- Trabajos en fundición
- Soldadura
- Procesado
- Corte
- Montaje
- Paletización



Figura 13. Aplicaciones del Robot Industrial

Fuente: (González, 2014)

1.2.5 Herramientas Robot Industrial

El robot industrial aumenta sus capacidades de producción por medio de dispositivos conectados al brazo robótico y depende de las aplicaciones a realizar, se denominan dispositivos periféricos del robot industrial. El actuador final es la herramienta unida a la muñeca del robot y permite realizar una aplicación específica. (González, 2014)

Las herramientas se dividen en dos categorías:

a. Pinza o Gripper

Se usan para sujetar y sostener objetos dependiendo de las aplicaciones a realizar. Usan mecanismos de sujeción mecánico y otros tipos de dispositivos como: ventosas, pinzas magnéticas, adhesivas o ganchos. En la Figura 14, se observa dos tipos de pinzas. (Moreno, 2016)

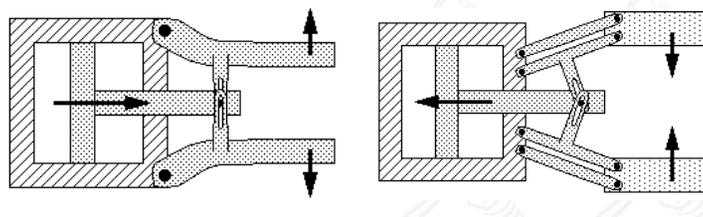


Figura 14. Ejemplos de Pinzas

Fuente: (Moreno, 2016)

En la Tabla 1, se presenta la clasificación de pinzas según (Moreno,2016):

Tabla 1.
Tipos de Pinzas

Tipo	Accionamiento	Uso
Pinza de presión	Neumático o eléctrico	Transporte y manipulación de piezas sobre las que no importé presionar
Pinza de enganche	Neumático o eléctrico	Piezas grandes dimensiones o sobre las que no se puede ejercer presión
Ventosa de vacío	Neumático	Cuerpos con superficie lisa poco porosa (cristal, plástico etc.)
Electroimán	Eléctrico	Piezas ferromagnéticas

Fuente: (Moreno 2016).

b. Herramientas

En la Tabla 2, se muestra los tipos de herramientas que existen para el robot industrial y en la Figura 15, se observa una herramienta para un brazo robótico soldador.

Tabla 2.
Herramientas para Robots Industriales

Tipo	Uso
Cañón de agua a presión	Para corte de materiales
Pinza soldadura por puntos	Dos electrodos que se cierran sobre la pieza
Antorcha de soldadura por arco	Aportan el flujo de electrodo que se funde
Cucharón de fundición para colada	Para trabajos de fundición
Atornillador	Suelen incluir la alimentación de tornillos
Fresa-lija	Para perfilar, eliminar rebabas, pulir
Pistola de pintura	Para pulverización de la pintura
Cañón láser	Para corte o grabado de materiales

Fuente: (Moreno 2016).



Figura 15. Herramienta Robot Soldador

Fuente: (Motoman, 2018)

Una de las herramientas más usadas en el proceso industrial de las empresas automovilísticas es la antorcha de soldadura, a continuación, se tiene una breve descripción.

c. Antorcha de soldadura Robot Industrial

Una antorcha robótica óptima y adecuada, como se muestra en la Figura 16, se selecciona considerando las metas de calidad, productividad y reducción del tiempo de trabajo.



Figura 16. Antorcha Robot Industrial

Fuente: (MEGMEET, 2017).

Se debe considerar algunas características, según (Moreno, 2016) son:

- **Tool Center Point (TCP)**

Es el punto en el espacio referenciado en el extremo del robot (Figura 17), en la soldadura GMAW es el punto de referencia para la salida del hilo, si la punta cambia por distorsión térmica, la soldadura se verá afectada. Si el TCP es incorrecto los cordones de soldadura no serán uniformes.

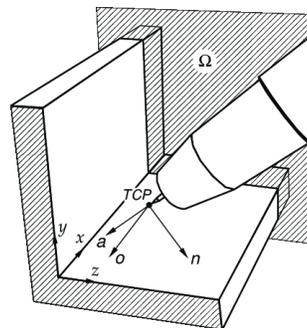


Figura 17. Tool Center Point

Fuente: (FANUC. 2018).

- **Configuraciones del cuello**

Existen varios tipos de acuerdo a la inclinación propia, existen de 22, 23 y 45 grados. La antorcha de 45 grados es utilizada frecuentemente para soldas pequeñas donde la antorcha gira alrededor del sexto eje del robot. La antorcha de 22 o 23 grados es ideal para llegar a pequeñas coberturas, en la Figura 18 se muestra las configuraciones de acuerdo a sus grados de inclinación.

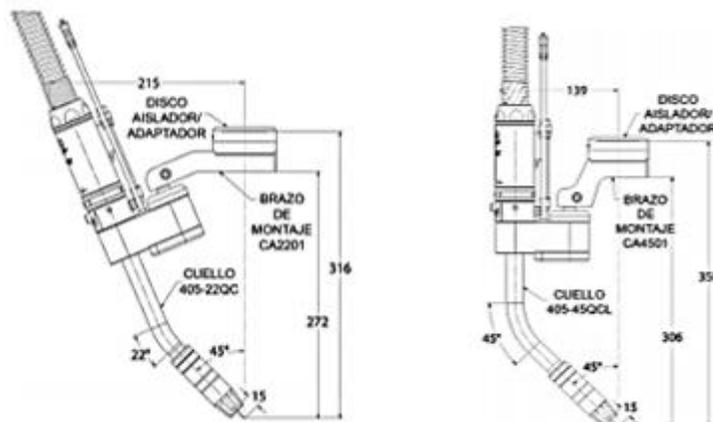


Figura 18. Configuraciones de cuello para 22 y 45 grados.

Fuente: (Tregaskiss, 2015).

- **Rotación de las antorchas**

La rotación viene dada por la programación de robot industrial, dependiendo del trabajo a realizar. Los cables externos de una antorcha convencional limitan la rotación del brazo a +/- 240 grados, sin embargo, una antorcha con rotación de +/- 360 grados reducirá los costes por pieza en comparación con una antorcha convencional.

- **Tobera de gas**

Existen dos tipos:

Tobera roscada: Presenta la ventaja de ser más fiable y menor escape de gas de protección, si no encuentra bien diseñada puede presentar inconvenientes debido a los cambios térmicos, se muestra un ejemplo en la Figura 19.



Figura 19. Toberas Roscadas

Fuente: (Tregaskiss, 2015).

Tobera con sujeción por presión: Dotada de una ranura que expande y presiona la tobera contra el cuello de soldadura, se muestran varios tipos de toberas en la Figura 20.



Figura 20. Tobera con sujeción por presión

Fuente: (Tregaskiss, 2015).

1.2.6 Brazo Robot Industrial Soldador

Es un brazo robótico con configuraciones antropomórficas, cuenta con la facilidad de adaptación de un sistema de soldadura y una antorcha, diseñado específicamente para aplicaciones de soldadura. (Figura 21)

El brazo robótico soldador, se utiliza en industrias dedicadas a la fabricación y ensamblaje de autopartes. Tiene la capacidad de soldar con una velocidad que supera a los técnicos más expertos en el área y cuenta con la ventaja de trabajo continuo sin necesidad de descanso o reajustes durante el proceso. (Rivas, 2018)



Figura 21. Robot Industrial Soldador

Fuente: (FANUC, 2018).

a. Tipos de Robot Industrial Soldador

El robot industrial soldador se clasifica dependiendo de su fabricante y poseen especificaciones únicas, las cuales se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3.
Tipos de Robot Industrial Soldador

Fabricante	Características
FANUC	Serie ARC MATE 100ID 6 ejes. Soldadura por arco. 12 kg carga máxima. 1,420 mm radio de acción. Aplicaciones industriales.
KAWASAKI	Serie BX200X 6 ejes. 200 kg carga máxima. Soldadura por puntos, de manipulación. 3,412 mm radio de acción Aplicaciones industriales.
KUKA	Serie KR QUANTEC PRIME 6 ejes. Soldadura fuerte, por arco, punto a punto, láser. 12 kg carga máxima. 1,420 mm radio de acción. Aplicaciones industriales.
ESAB	Serie ROSIO™ Articulado. 3 ejes. Soldadura, rectificado. 2,550 mm radio de acción. Aplicaciones industriales.

Continua →

IGM	Serie RTE 499 Articulado. 7 ejes. Soldadura por arco. 1,500 mm, 1,900 mm radio de acción. Aplicaciones industriales.
GOOGOLTECH	Serie CA05L Articulado. 6 ejes. Soldadura por arco. 5 kg carga máxima. 0.705 mm radio de acción. Aplicaciones industriales.
TIESSE ROBOT	Serie RA06L Articulado. 6 ejes. Soldadura por arco. 6 kg carga máxima. 1,650 mm radio de acción. Aplicaciones industriales.
GSK	Serie RH06 Articulado. 6 ejes. Soldadura por arco. 6 kg carga máxima. 1,389 mm radio de acción. Aplicaciones industriales.

La empresa MIVILTECH S.A optó por el robot industrial soldador de marca GSK RH06, por el costo económico, el área de trabajo, el soporte y asesoría por parte de los técnicos de la empresa GSK CNC EQUIPMENT CO.LTD, se eligió el robot por su aplicación de soldadura por arco para las sub estructuras de los asientos de buses interprovinciales.

La empresa GSK CNC EQUIPMENT CO.LTD es de origen chino, fundada en 1991, creada para mejorar la tecnología e innovar en el campo de la automatización, fabricante de máquinas CNC y Brazo Robótico Soldador. GSK tiene representantes directos con las empresas ecuatorianas por el cual todo tipo de gestión se realiza de manera rápida y oportuna. (GSK CNC Equipment Co, 2017).

1.2.7 Robot Industrial Soldador GSK RH06

GSK-RH06 es un brazo robótico para soldadura en serie conformado de 6 ejes y es ampliamente utilizado en la fabricación de automóviles, motocicletas, máquinas agrícolas, maquinaria de ingeniería y otras aplicaciones de soldadura. En la Figura 22, se muestra el brazo robótico. (GSK CNC Equipment Co, 2017)



Figura 22. Robot Industrial Soldador GSK RH06

Fuente: (GSK CNC Equipment Co, 2017).

a. Estructura

Es un conjunto de partes denominado sistema de control del robot industrial, se encuentran interconectados por cables entre el cuerpo del robot (Robot Body), el gabinete del controlador (Controllable Cabinet) y la consola de programación (Teach Pendant o TP) como se muestra en la Figura 23. (GSK CNC Equipment Co, 2017)

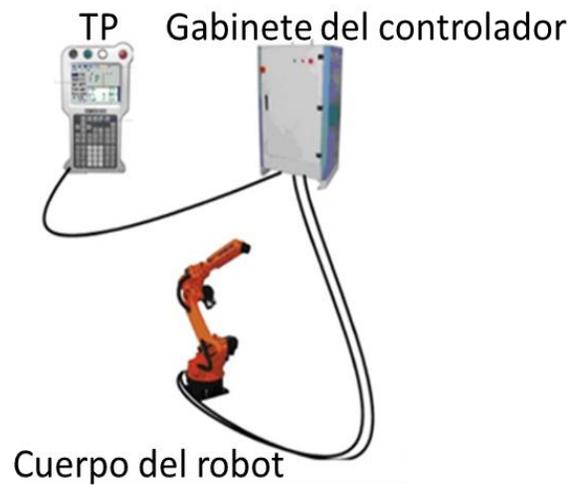


Figura 23. Sistema de Control Robot Industrial

Fuente: (GSK CNC Equipment Co, 2017).

- **Cuerpo del Robot**

En la Tabla 4, se muestra las especificaciones técnicas del Robot Industrial GSK RH06.

Tabla 4.
Especificaciones Técnicas

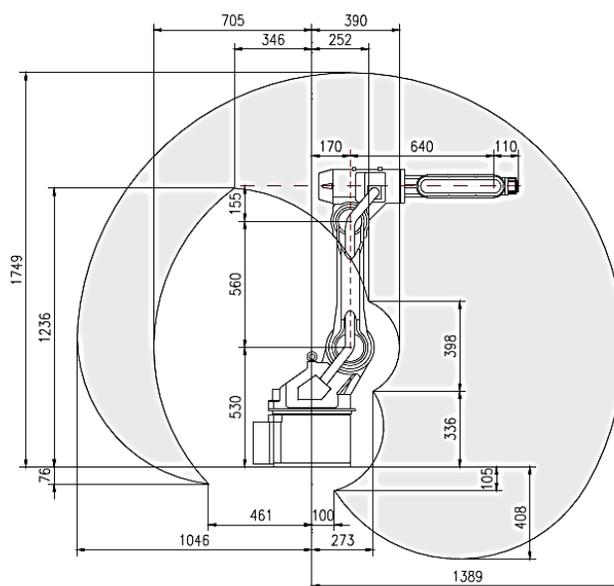
Ítem		Parámetro
Tipo		RH06
Ejes		6
Método de control		AC servo driver
Peso de Carga		6 kg
Precisión de posicionamiento repetido		± 0.05 mm
Rango de Operación	J1	$\pm 170^\circ$
	J2	$+ 120^\circ \sim - 85^\circ$
	J3	$+ 85^\circ \sim - 165^\circ$
	J4	$\pm 180^\circ$
	J5	$\pm 135^\circ$
	J6	$\pm 360^\circ$
Velocidad máxima	J1	2.27 rad/s, 130°/s
	J2	2.27 rad/s, 130°/s
	J3	2.27 rad/s, 130°/s
	J4	7.33 rad/s, 420°/s
	J5	4.40 rad/s, 252°/s
	J6	10.82 rad/s, 620°/s
Par de torsión	J4	12 N.º
	J5	10 N.m
	J6	6 N.m

Continua →

Entorno Ambiental	Temperatura	0°C ~ 40°C
	Humedad	20 % ~ 80 % (No condensación)
	Otros	Evite tocar el líquido y gas inflamables, explosivos, corrosivos. No salpique el agua, aceite, polvo, etc. Lejos del recurso de ruido del aparato (plasma)
Método de Instalación		Instalación de puesta a tierra
Peso de la propia máquina		195 kg
Parámetro de especificación eléctrica		Trifásico 380V, 50 Hz/60 Hz, 3.6 VA
Peso del armario eléctrico		175kg

Fuente: (GSK CNC Equipment Co, 2017).

En la Figura 24, se detallan las dimensiones del robot GSK RH06, el alcance máximo es de 1389 mm sin la herramienta de trabajo.



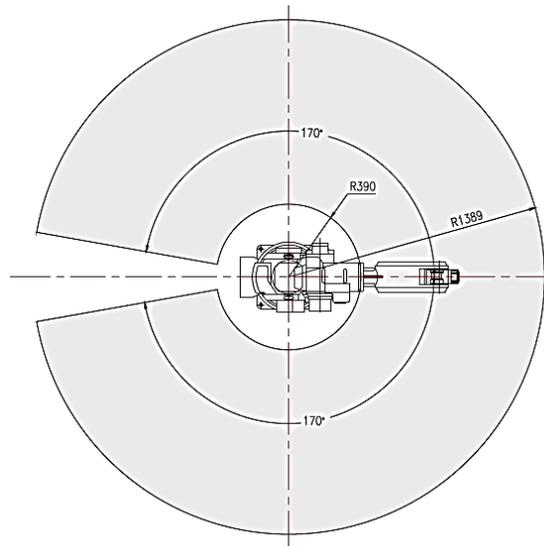


Figura 24. Dimensiones del Robot

Fuente: (GSK CNC Equipment Co, 2017).

- **Gabinete del controlador**

El gabinete del controlador consta del interruptor de alimentación principal, la cerradura de bloqueo que se encuentran ubicados en la parte superior izquierda; también existen indicadores de apagado/encendido y un pulsador de paro de emergencia en la parte superior derecha. El gancho ubicado por debajo del botón de apagado se usa para colgar el Teach Pendant como es muestra en la Figura 25. (GSK CNC Equipment Co, 2017)



Figura 25. Gabinete del Controlador Robot Soldador GSK RH06

Fuente: (GSK CNC Equipment Co, 2017).

En la Tabla 5, se muestran los parámetros técnicos del gabinete de controlador del Robot soldador GSK RH06

Tabla 5.
Parámetros Técnicos gabinete de controlador

Tipo	RH06
Peso Neto	60 kg
Fuente	6.3 kVA
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	AC 220 V/ 2P/PE
Corriente Nominal	7.5 kA

Fuente: (GSK CNC Equipment Co, 2017).

- **Consola de programación o Teach Pendant (TP)**

La consola de programación o también conocida por su denominación Teach Pendant o por su abreviatura “TP” proporciona una interfaz Hombre-Máquina amigable y

confiable, puede realizar la operación de enseñanza al robot, como se muestra en la Figura 26. (GSK CNC Equipment Co, 2017)



Figura 26. TP Robot Soldador GSK RH06

Fuente: (GSK CNC Equipment Co, 2017).

Características generales según (GSK CNC Equipment Co, 2017) son:

- Capacidad de memoria 32M.
- La programación contiene movimientos de punto a punto, línea y arco.
- Cuatro velocidades ajustables.
- Tiene 32 puntos de entrada y salida digitales compatible con salidas de valor analógico (0~10V).
- Controla 6 ejes del manipulador y 2 ejes externos adaptables al robot.
- La velocidad del microprocesador es de 500 MIPS (Millones de instrucciones por segundo).

1.3 Proceso de soldadura

1.3.1 Introducción

5La soldadura es un proceso donde varios materiales se unen y se funden las superficies de contacto de dos o más piezas aplicando calor y/o presión. (Moreno, 2018).

1.3.2 Tipos de soldadura

La American Welding Society ha catalogado más de 50 tipos de operaciones de soldadura que utilizan diversas combinaciones de energía para proporcionar la energía requerida. Los procesos de soldadura se dividen en dos grupos principales: soldadura por fusión y soldadura de estado sólido. (FMA, 2018)

a. Soldadura por fusión

Éstos procesos usan calor para fundir los metales base; en la mayoría de procesos se agrega un metal de relleno a la combinación fundida para facilitar la operación y proporcionar volumen y resistencia a la unión soldada, los diferentes tipos son:

- Soldadura por arco eléctrico (AW)
- Soldadura por resistencia (RW)
- Soldadura con oxígeno y gas combustible (OFW)

b. Soldadura de estado sólido

Se refiere a los procesos de unión de materiales en los cuales la fusión proviene sólo de la aplicación de presión o de una combinación de calor y presión, los diferentes tipos son:

- Soldadura por difusión (DFW)

- Soldadura por fricción (FRW)
- Soldadura ultrasónica (USW)

1.3.3 Soldadura por arco eléctrico (AW)

Es la fusión del metal a temperaturas elevadas, genera un calor de 4000°C esto funde al material base y al material de aporte; se crea el denominado cordón de soldadura, se tienen diferentes tipos de soldadura por arco eléctrico como:

- Soldadura de arco de metal blindado (SMAW)
- soldadura por arco metálico con gas (GMAW)
- Soldadura por arco con núcleo de flujo (FCAW)
- Soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW)

a. Soldadura por arco metálico con gas (GMAW)

Es una técnica de fundición en donde se usa un electrodo y un gas inerte o activo que se suministra aparte, este proceso impide los óxidos y escorias; es muy sencillo de aprender porque no requiere un equipo sofisticado, se tiene dos tipos diferentes:

- MIG (Gas inerte)
- MAG (Gas activo)

A continuación, se detallará el sistema de soldadura MIG porque el robot soldador GSK RH06 tiene este proceso incorporado.

a.1 Proceso de soldadura MIG

La soldadura MIG genera un arco eléctrico entre el electrodo, el electrodo y la pieza a soldar. En esta ocasión la protección tanto del arco como del baño de soldadura se lleva a cabo mediante un gas inerte (IOT, 2018).

En la Figura 27, se muestra las partes que intervienen en el proceso de soldadura MIG.



Figura 27. Partes soldadura MIG

Fuente: (Moreno, 2018)

En el proceso de soldadura MIG se trabaja generalmente con corriente continua (DC) y en raras ocasiones con corriente alterna (AC). Las intensidades de corriente varían entre 20 y 500 amperios con corriente continua y polaridad directa; entre 5 y 60 con corriente continua y polaridad inversa y entre 40 y 300 amperios con corriente alterna.

En la soldadura MIG el electrodo consiste en un hilo macizo o tubular continuo de diámetro entre 0,8 y 1,6 mm y en casos de soldadura con fuerte intensidad se emplea hilo 2,4 mm. (FMA, 2018)

1.3.4 Proceso de Soldadura Manual

Existen diferentes tipos de soldadura manual, según (Moreno, 2018) son las siguientes:

a. Sistema de soldadura por arco manual

Es un proceso de arco eléctrico que produce la unión de los varios metales por calentamiento de ellos con un arco eléctrico, entre un electrodo y las piezas de trabajo.

Características:

- La descarga de corriente eléctrica se debe de producir entre dos superficies sin que estas se toquen.
- La descarga eléctrica se produce por la ionización de partículas de gas llamado plasma.
- Dentro del arco de soldadura la temperatura es de 15,000 grados centígrados.
- En la superficie del metal es de 10,000 grados centígrados.
- El voltaje es bajo, en un rango de 30-80 voltios.
- La corriente está en un rango de 50A-300A.
- La corriente es DC y AC, es preferible utilizar la DC para metales.
- Una capa de gas inerte es conveniente sobre el charco, la capa de gas inerte evita la oxidación del metal fundido con el oxígeno del medio.

b. Sistema de Soldadura de revestimientos duros y recuperación de piezas

Consiste en la aplicación de un material de aleación especial sobre una pieza metálica, con el fin de mejorar la resistencia al desgaste y recuperar las dimensiones apropiadas se utiliza una aplicación de aleación especial.

Características:

- Factores de desgaste: Abrasión, calor y corrosión.
- Entre más carburos exista en el material mayor resistencia y entre menor carburos menor resistencia.
- Tipos de abrasión: rasguño, molido y excavado.

c. Sistema de soldadura por electrodo no consumible con gas protector inerte (TIG).

Utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que se produce entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión.

1.3.5 Proceso de Soldadura Automatizada

Los procesos automatizados de soldadura son aquellos a través de maquinarias y sistemas realizan procesos de forma automática, sirven para minimizar los errores humanos, fabricar productos de alta calidad y obtener acertada planificación de producción. Existen 4 tipos de soldadura automatizada:

- Automatización parcial
- Módulos y unidades de soldadura o ensamblaje
- Ítems especiales

- Sistemas Robóticos o de Automatización Completos

1.3.6 Proceso de Soldadura Robotizada

La soldadura robotizada es el uso de robots para llevar a cabo un proceso de soldadura completamente automático, cumple tareas repetitivas en entornos más seguros para los operarios. Tiene ventajas como: mayor capacidad de productividad, rendimiento elevado y mayor precisión. En la industria automotriz se aplica procesos automatizados de soldadura por diferentes métodos. (FMA, 2018)

a. Tipos de soldaduras robotizadas

Existen diferentes tipos de soldaduras robotizadas tales como:

- Soldadura MIG-MAG
- Soldadura TIG
- Soldadura por resistencia
- Soldadura de puntos

Dependiendo de las diferentes marcas de sistemas de soldadura robotizada se tiene las características únicas de cada empresa, como se muestra en la Tabla 6. (FMA, 2018)

Tabla 6.
Características Soldadura Robotizada

Fabricante	Características
<p>PANASONIC</p> 	<p>Soldadora MIG-MAG / semiautomática / automatizada / inverter</p> <p>Serie: 600RF2</p> <p>Suelda: MIG/MAG</p> <p>Intensidad:</p> <p>Máx.: 600 A</p> <p>Mín.: 60 A</p> <p>Diámetro de alambre de 1.4 mm</p> <p>Gas: CO2</p>
<p>MIGATRONIC</p> 	<p>CoWelder/UR5/Sigma Select 400 W Synergic refrigerado por agua Máquina de soldadura MIG/MAG</p> <p>Suelda: MIG/MAG</p> <p>Refrigerado por agua</p> <p>Comunicación Profinet totalmente digital</p> <p>Salida de energía: 100 %, 300 A</p> <p>Diámetro de alambre de 3 m y 70 mm²</p> <p>Antorcha de 4 m AB 500 W</p>
<p>MEGMEET</p>	<p>Megmeet Artsen PM400A</p> <p>Voltaje de entrada: trifásico 380Vac ± 25% (285 ~ 475V)</p> <p>La capacidad (22.3KW) 24KVA</p>

Continua →

	<p>Corriente de salida nominal: 500A</p> <p>Tensión de salida: 2 ~ 45V (0,1 V precisión)</p> <p>Nivel de protección: IP23S</p> <p>Volumen: 300 × 480 × 620mm</p> <p>Peso: 52kg</p> <p>Proceso de soldadura: el MIG / MAG / de CO₂; impulso doble / mono pulso / DC / encargo OP</p>
---	--

La empresa MIVILTECH S.A. tiene un sistema de soldadura robotizada MEGMEET Artsen PM400A, esta máquina está incorporada al robot industrial soldador RH06, para la adquisición de éste sistema se consideró el costo, la facilidad de manejar, la efectividad y calidad al momento de soldar automáticamente.

1.3.7 Sistema Soldadura Robotizada para robot GSK RH06

a. MEGMEET Artsen PM 400A

Los productos Artsen de la serie PM son para soldadura MIG/MAG, son inteligentes con una multifuncionalidad invertida para soldadura, se puede lograr lo detallado a continuación:

- Brindar múltiples métodos de control de soldadura inteligentes, incluidas las opciones de DC, impulso simple y doble impulso basadas en el control de energía en tiempo real.
- Suelda varios materiales, incluyendo acero al carbono, acero inoxidable y aleación de aluminio

- Trabaja con equipamiento automático incluyendo robot soldador, equipamiento de refrigeración de MEGMEET, antorcha ROBO BINZEL 455D.

La tecnología que se introduce en este tipo de sistema de soldadura robotizada es la siguiente.

- Soldadura por arco corto DC.
- Soldadura de un solo pulso.
- Soldadura de doble punto.

Los componentes del sistema de soldadura robotizada MEGMEET Artsen PM 400A se muestran en la Figura 28, entre ellos está el tanque de gas para la protección de la suelda, el alimentador del alambre, la fuente de soldadura, el tanque de agua para enfriar el sistema y el cable puesta a tierra (MEGMEET, 2017).



Figura 28. Componentes Artsen PM400A

Las dimensiones externas y peso neto se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7.
Dimensiones Externas y Peso Neto

Componente	Dimensión externa (L x W x H mm)	Peso neto (kg)
Soldador	620 x 300 x 480	55
Tanque de agua	643 x 300 x 268	15
Alimentador de alambre manual	630 x 250 x 400	14.5
Alimentador de alambre robótico	300 x 170 x 200	6.5

Fuente: (MEGMEET, 2017).

Los parámetros básicos de la soldadora MEGMEET Arsen PM400A son los que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8.
Parámetros Soldadora

Ítem	Modelo PM 400	
Potencia Nominal	Trifásico 380 V AC 0.50 Hz/ 60 Hz	
Capacidad del dispositivo de potencia	Cuadrícula	30 kVA o mayor
	Generador	50 kVA o mayor
Dispositivo de protección de entrada	Disyuntor de circuito de aire	Grado C y 63 A o mayor
Cable de poder	Entrada de suelda	16 mm ² o mayor
	Salida de suelda	50 mm ² o mayor
	Cable de tierra	>= cable de alimentación

Fuente: (MEGMEET, 2017).

b. Antorcha ROBO WH 455 D

El sistema de antorcha de cambio de cuello ABICOR BINZEL permite reemplazar el cuello de la antorcha completo por un tipo idéntico, así como por geometrías especiales para diferentes posiciones de soldadura en muy poco tiempo, en la Figura 29, se observa la antorcha utilizada para el robot industrial soldador (MEGMEET, 2017).



Figura 29. ROBO WH 455D

Fuente: (MEGMEET, 2017).

Los datos técnicos de la antorcha ROBO WH 455 D se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9.
Datos técnicos

Tipo	ROBO WH 455 D
Clasificación	455 D para CO2 400 D para varios gases
Ciclo de trabajo	100%
Tamaño de cable	0.8–1.6 mm

1.4 Celda de manufactura

1.4.1 Definición y Características

“Una celda de manufactura es una unidad del trabajo más grande que una máquina o un sitio de trabajo individual pero más pequeña que el departamento generalmente. Típicamente, cuenta con 3 a 12 personas y puede estar formada por 5 a 15 sitios de trabajo en un arreglo compacto.” (Sekine, 1993)

“Una celda de manufactura es todas las operaciones necesarias para producir y mantener flujos de producción continuos o son todas las operaciones necesarias para producir un componente o el sub-ensamble de partes realizadas cerca para permitir la retroalimentación entre operadores ante problemas de calidad u otros.” (Sekine, 1993)

Una celda de manufactura es la combinación más efectiva de operaciones manuales y mecánicas para aumentar el valor añadido y reducir el desperdicio. Son implementadas en cualquier lugar dónde existan actividades continuas, pasando una pieza a la vez, de una estación de trabajo a otra. (RRT Collectors, 2014)

El trabajador en la celda manufactura está tradicionalmente entrenado para funciones diversas y, por tanto, es capaz de atender diversas interrogantes. En estas situaciones la flexibilidad se produce gracias a la disposición de las máquinas, la capacidad de multitareas de los trabajadores y la rotación de responsabilidades permite el mejoramiento de las relaciones humanas y de las pericias de los trabajadores, disminuye el material en proceso, los tiempos de fabricación y de preparación, facilitando a su vez la supervisión y el control visual. (Sekine, 1993)

De acuerdo con el sistema de producción Toyota, el layout de máquinas deberá arreglarse para el flujo ágil de la producción, lo que implica un acomodo de acuerdo a una secuencia de las actividades para la fabricación de una familia de productos determinada. (Monden, 1989)

Una celda ideal fabrica una gama estrecha de productos altamente similares, es autónoma con todo el equipo y recursos necesarios. Las disposiciones de celda organizan departamentos alrededor de un producto o de una gama estrecha de productos similares.

Una vez que el proceso inicia, los materiales se mueven directamente de una operación a otra hasta concluir el proceso. El resultado es un proceso de producción más fluido. La comunicación es fácil puesto que cada operador está cerca de los otros. Esto mejora la calidad y coordinación.

Las ventajas de la celda de manufactura son muchas y variadas y van desde aumento de productividad y calidad hasta la simplificación del flujo de material, el gerenciamiento e incluso en planes de contabilidad.

La celda de manufactura parece simple, pero su funcionamiento apropiado depende de interacciones apropiadas de la gente y del equipo. Cada elemento debe caber con los otros en un buen funcionamiento, autorregulador y que permita mejorar la operación. (Sekine, 1993)

1.4.2 Tipos de disposiciones de Celda de Manufactura

A continuación, se en lista varios tipos de disposiciones de la celda de manufactura de acuerdo a la trayectoria del proceso.

a. Tipo línea

El sistema de manejo de materiales y la maquinaria están arreglados en una línea recta. Los procesos viajan de una estación de trabajo a la otra en una secuencia bien definida, con trabajo siempre moviéndose en una dirección sin flujo de regreso (Figura 30).

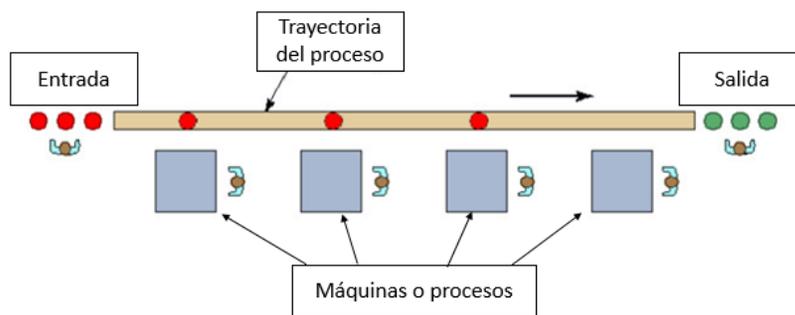


Figura 30. Disposición tipo en línea

b. Tipo lazo

Las estaciones de trabajo o máquinas están organizadas en un lazo que es servido por un sistema de manejo de procesos o productos en la misma forma de trayectoria cerrada. Las partes normalmente fluyen en una dirección alrededor del lazo con la capacidad de detenerse y ser transferidos a cualquier estación (Figura 31).

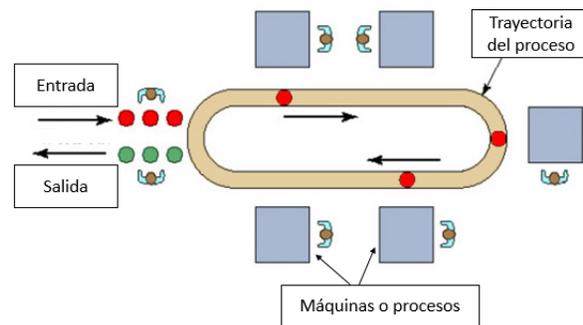


Figura 31. Disposición tipo lazo

c. Tipo escalera

Consiste de un lazo con anillos entre secciones propias del lazo, entre los cuales la estación de trabajo está localizada. Los anillos incrementan los posibles caminos de ir de una máquina a la próxima y no requieren sistemas secundarios. Esto reduce la distancia promedio de viaje entre estaciones y minimiza el congestionamiento del sistema de manejo de materiales (Figura 32).

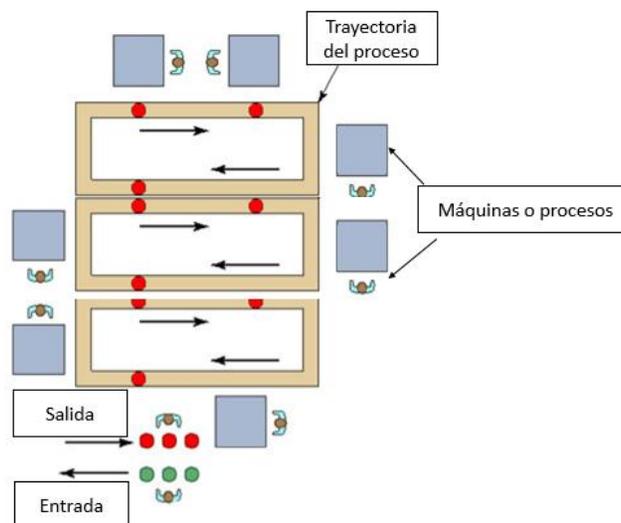


Figura 32. Disposición tipo escalera

d. Tipo campo abierto

Consiste de múltiples lazos y escaleras; pueden incluir caminos laterales. Este tipo de layout es normalmente apropiado para procesar grandes cantidades de familias de partes. El número de máquinas diferentes puede ser una limitante y las partes son ruteadas a diferentes estaciones de trabajo dependiendo de cuál está disponible primero (Figura 33).

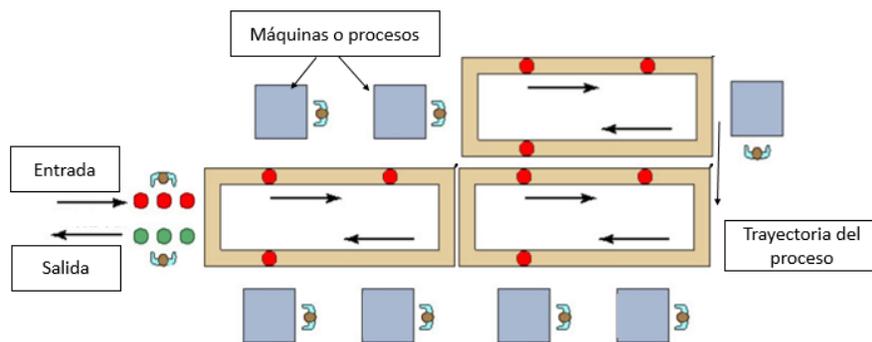


Figura 33. Disposición tipo campo abierto

e. Tipo “U”

Es un arreglo máquinas, materiales y métodos con los pasos de los procesos puestos uno a continuación de otro a través del cual las partes son procesadas en un flujo continuo y orden secuencial. Una de las ventajas más importantes de la celda en “U” es la flexibilidad para aumentar o disminuir el número necesario de trabajadores cuando hay que adaptarse a los cambios de la demanda (Figura 34).

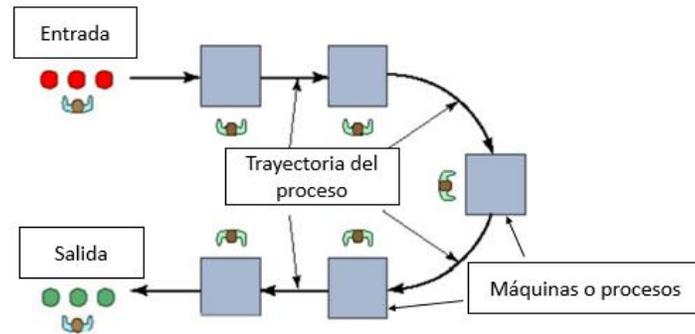


Figura 34. Disposición tipo "U"

1.4.3 Ventajas y desventajas de la distribución por celda

Existen ventajas importantes según (Sekine, 1993) las cuales son:

- Reduce el manejo de la pieza mayor.
- Permite operarios altamente capacitados.
- Permite cambios frecuentes en el producto.
- Se adapta a una gran variedad de productos.
- Es más flexible

En la Tabla 10, se muestra las ventajas y desventajas más importantes de acuerdo a la disposición de la celda.

Tabla 10.

Ventajas y Desventajas de las disposiciones en la celda de manufactura.

Disposición	Ventajas	Desventajas
Tipo línea o lazo	<ul style="list-style-type: none"> • Minoración del costo de manejo de materiales. • Mayor coordinación del proceso productivo. • Mejoras al evitarse demoras entre operaciones. • Flujo lógico • No precisa operarios especializados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se descompone una máquina y se rompe el flujo. • Un cambio en el producto es costos operativamente. • Mayores inversiones en maquinaria. • Los cuellos de botella restringen el ciclo.
Tipo Escalera	<ul style="list-style-type: none"> • Menores inversiones (no se duplica el equipo). • Mayor flexibilidad en las áreas. • Las fallas de un equipo no interrumpen el flujo. • Supervisión especializada. • Flexibilidad en cambios de productos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El manejo de materiales es más caro. • Planificación de la producción y sistemas de control más complejos. • Tiempos de producción mayores. • Precisa operarios especializados.
Tipo "U"	<ul style="list-style-type: none"> • Se adapta a la producción a las demandas • Elimina existencias innecesarias. • Impide asilamiento entre operarios. • Se reducen colas de producción intermitente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión general. • Mayor especialización de operarios.
Tipo campo abierto	<ul style="list-style-type: none"> • Mínimo movimiento de materiales. • Alta flexibilidad. • Centros de producción independientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran movimiento de equipos y personal. • Duplicación de equipos. • Supervisión general. • Se emplea solo en casos de escalas grandes o casos necesarios.

1.4.4 Etapas para el diseño de celdas de manufactura

Según (Cortés, 2015), el proceso de diseño de una celda de manufactura involucra puntos relacionados, tanto con la estructura del sistema como con la operación o procedimiento del mismo.

- Los puntos relacionados con la estructura incluyen:
- Selección de familias de partes y la agrupación de ellas.
- Selección de máquinas y procesos, así como la agrupación de estos en celdas.
- Selección de equipo de manejo de material.
- Elección de la disposición de las máquinas.

Las consideraciones típicas relacionadas a la estructura del sistema deben tener un nivel bajo de inversión en equipo o herramientas, de reasignación de costos de equipos, de costos de manejo de materiales dentro de la celda y un nivel alto de flexibilidad y generalización de partes terminadas.

Los puntos relacionados a los procedimientos incluyen:

- Detalle del diseño de trabajos.
- Organización de la supervisión del personal de apoyo en la estructura de la celda.
- Formulación de mantenimiento y políticas de inspección
- Diseño de procedimientos para la planeación de la producción, programación, control y adquisición de productos y equipos.
- Modificación del sistema de incentivos y de control de costos

- Perfiles de procedimientos para la interface con los sistemas restantes de la manufactura, en términos de flujo de trabajo e información, entando o no controladas por computador.

Según (Mejía, Lara, & Nieto, 2010), los sistemas de producción actuales se ven amenazados constantemente por las dinámicas de la globalización y las condiciones cambiantes del mercado. Esta situación requiere tener arquitecturas productivas más flexibles y eficientes, que tengan respuestas ágiles en cuanto a cambios en los productos y procesos como lo hacen las celdas de manufactura.

Las celdas de manufactura son sistemas productivos que permiten descomponer una fábrica en mini fábricas o celdas, las cuales son unidades más simples donde se fabrican familias de partes. Este cambio mejora la administración y el control del sistema de producción, logrando que éste adquiera más flexibilidad con lo cual puede responder de una manera más ágil a los cambios que se pueden dar en el mercado.

Adicionalmente, reducen el transporte y la manipulación de los materiales en proceso, debido a que una parte no debe moverse por toda la planta sino únicamente al interior de la celda, estas y otras ventajas han llevado a la difusión e implementación de las celdas de manufactura en muchas partes del mundo.

1.5 Celdas Robotizadas De Manufactura

1.5.1 Introducción

Los procesos robotizados son cada vez más utilizados por la industria; especialmente es el caso de la industria de manufactura dado que esta aplicación implica riesgo y trabajo hostil para los empleados. (Dávila, 2011)

“Existen diversas fuentes de error que afectan la precisión del proceso y que son mayormente debidos al posicionamiento de las piezas. Estos errores son debidos al envejecimiento de los mecanismos del sistema de transporte en la línea de producción, en los métodos de fijación de las piezas, etc. Esta situación genera una incertidumbre de operación en los robots y genera un entorno no estructurado de movimiento.” (Dávila, 2011)

1.5.2 Definición

La celda de manufactura robotizada es un conjunto de componentes electromecánicos, que trabajan de manera coordinada con un robot para lograr un producto, y que además permiten la fabricación en serie de dicho producto como se muestra en la Figura 35. Las celdas de manufactura robotizadas son una herramienta que han sido fuertemente utilizadas en las empresas que se encuentran inmersas en el mejoramiento continuo con un enfoque hacia la industria 4.0.



Figura 35. Ejemplo de celda de manufactura robotizada

Fuente: (Costantini, 2016)

El concepto que existía sobre automatización industrial ha sido modificado con la incorporación de los robots, al introducir el término “sistema de fabricación flexible” cuya principal característica consiste en la facilidad de adaptación del núcleo de trabajo, a las diferentes tareas de producción, así como disminuyen el tiempo del ciclo de trabajo en el taller de un producto y a la vez liberan a las personas de los trabajos desagradables.

Las celdas de manufactura robotizada adquieren flexibilidad cuando se pueden ajustar a las necesidades del mercado ya que están constituidas, principalmente máquinas de control numérico y robots. El aumento de la competencia y la variedad de microprocesadores actualmente hacen que los costos de la simulación de procesos y celdas robotizadas hayan dejado de ser para grandes empresas y sean de fácil acceso para cualquier empresa y cualquier proceso. (Cassani, 2011)

En la Figura 36, se muestra una comparación entre el volumen de producción y la flexibilidad que existen generalmente en las celdas de manufactura, en el nivel más alto de volumen de producción se puede citar ensambladoras de autos donde cada celda de manufactura tiene una alta capacidad de producción, pero están diseñadas para un fin

específico mientras que en el nivel más bajo de volumen de producción tenemos un taller ordinario donde existe alta flexibilidad de proceso como: soldadura, pintura, rectificado, empackado entre otras. Las celdas de manufactura flexible se encuentran en el punto medio de sinergia entre volumen de producción flexibilidad de procesos o productos.

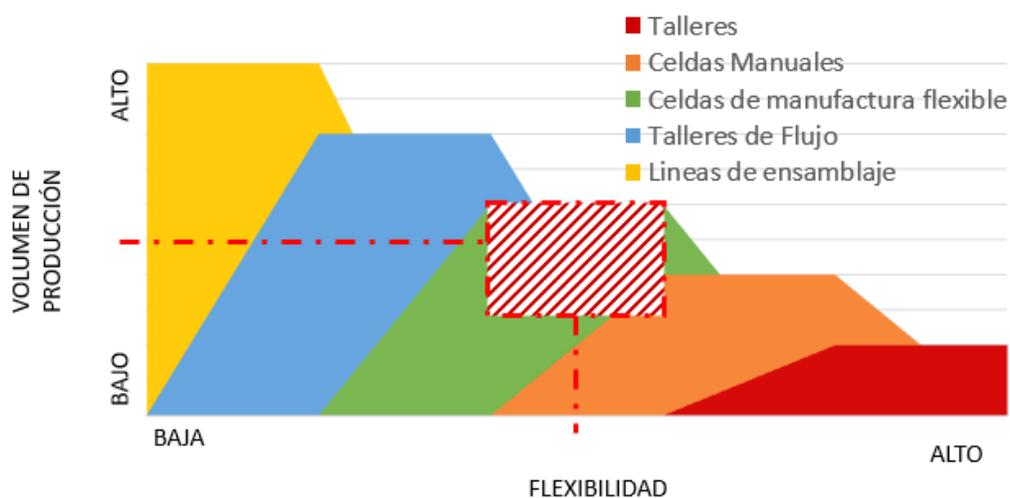


Figura 36. Relación entre volumen de producción y flexibilidad de la celda

1.5.3 Modos de trabajo

Las celdas robotizadas son uno de los espacios más versátiles y flexibles en la industria, la seguridad para las personas que combinan su ciclo de trabajo con brazos robóticos, no puede verse mermada bajo ningún concepto. Todas las instalaciones robotizadas, poseen de varios modos de trabajo, por lo general tres modos: uno para programación, otro modo de trabajo de ajustes o semiautomático, y uno totalmente automático.

a. Modo Programación

El modo de trabajo para programación, es donde generalmente se marcan las posiciones y se generan trayectorias de los brazos robóticos, el movimiento del brazo robótico se ve limitado a una velocidad reducida, aproximadamente un 20% de la velocidad nominal, combinado con su adecuada seguridad, movimiento de ejes a ejes o trayectorias, regulando manualmente la velocidad proporcional de ejecución. En este caso los resguardos y protecciones pueden estar abiertos o desconectados. El dispositivo o consola de control debe de integrar medios de parada de emergencia. (Plassa, 2009)

b. Modo Semiautomático

El modo de trabajo de ajustes o semiautomático, es donde normalmente se realizan movimientos a velocidad real, incluso activando los periféricos de seguridad, teniendo la particularidad de que se debe observar muy en detalle las posiciones. Las seguridades toman en cuenta en este modo de trabajo, es mandatorio que el cerramiento y protecciones externas deban estar cerradas, exceptuando el de acceso a la celda, en este caso se combinara la seguridad del resguardo con la del mando de validación, donde el operario debe pulsar y mantener pulsado un interruptor en la consola de programación para que pueda moverse el robot y el conjunto de la máquina. La consola de programación también debe ser provista de dispositivos de parada de emergencia ya que se considera un puesto de trabajo. (Plassa, 2009)

c. Modo Automático

En el modo de trabajo automático se realizan en el interior de la celda movimientos a velocidad máxima del programa, con todos los periféricos necesarios, teniendo en cuenta que la acción humana de montar o desmontar materiales en la línea de producción combinados con los movimientos de los robots deben de ser también seguros.

Este último modo o fase de trabajo de la celda robotizada es el más extenso o utilizado, y normalmente el causante de más accidentes. Debido en la mayoría de casos por una evaluación de riesgos mal desarrollada, se debe tener en cuenta que ante una acción o intervención que se realice en la celda los operarios deben estar fuera de cualquier riesgo. (Plassa, 2009)

1.5.4 Elementos de seguridad

Para el manejo del robot, hay momentos en que el operario requiere estar cerca del proceso, como por ejemplo en operaciones de mantenimiento o programación. Para estas operaciones se utilizan zonas determinadas de fácil acceso para el operario, pero pueden generar un riesgo de accidentes, por eso en condiciones normales se encuentran varios elementos de seguridad (Figura 37), que en el momento de realizar una operación protegen y evitan el riesgo de accidentes.

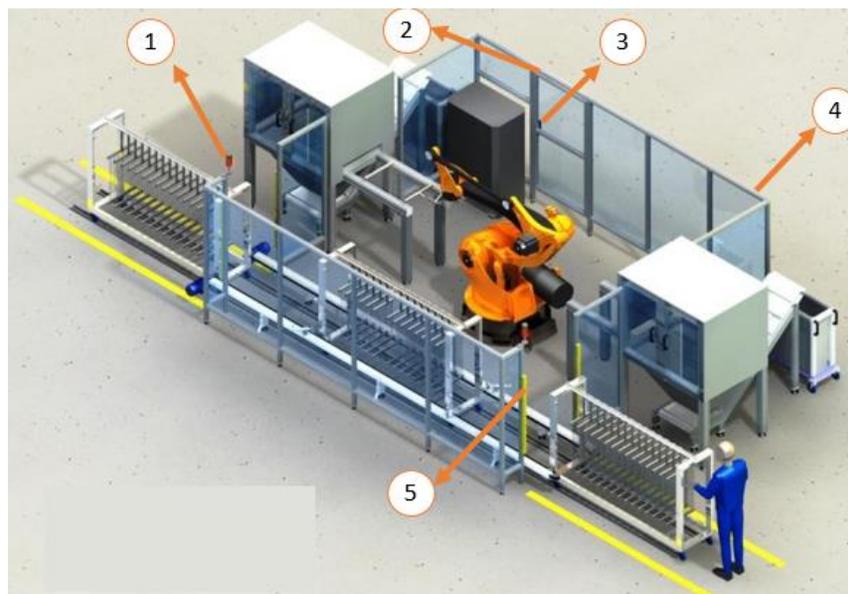


Figura 37.Ejemplo de celda robotizada

1. Baliza o torreta indicativa de estado
2. Interruptores de posición
3. Interruptor de llave
4. Vallas de seguridad
5. Interruptor magnético

A continuación, se detallan los elementos más importantes dentro de una celda robotizada según el documento “Seguridad en instalaciones automatizadas” realizado por Relucio (2005):

a. Resguardo, vallas o cerramientos de seguridad

Estos elementos de seguridad se consideran seguridad positiva y consiste, en un diseño para proteger al operador de los riesgos, ocasionados por una disfunción del sistema de control del brazo robótico, y tratando de impedir que el operador acceda a la

zona de peligro del robot. En el caso de que el sistema sea vulnerado, se desencadenaría la acción de otros dispositivos de seguridad, que provocaría la parada de la instalación.

Las vallas perimétricas deberán tener 1,80 [m] de altura como mínimo; en los casos en que esta altura de 1,80 [m] no sea posible se debe atender a los datos de la Norma UNE 81-600-85 (Figura 38).



Figura 38. Medidas de alcance según normativa

Fuente: (Relucio, 2005)

b. Interruptores de posición de funcionamiento mediante leva.

Los interruptores mediante levass pueden instalarse de forma positiva o negativa. En la Figura 39, se observa que el caso A el interruptor está instalado en forma positiva, permaneciendo normalmente cerrado, procediéndose a su apertura mediante la acción de giro de la leva. En el caso B la instalación es de forma negativa, permaneciendo normalmente abierto, propendiéndose a su cierre mediante el giro de la leva.

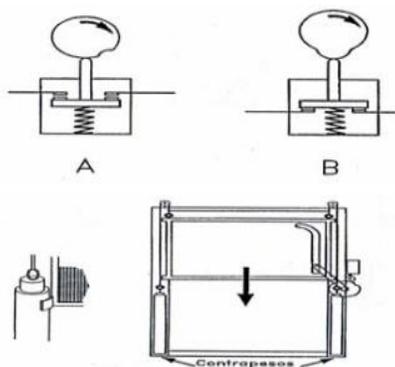


Figura 39. Interruptor de levas giratorias

Fuente: (Relucio, 2005)

c. Interruptores de llave cautiva.

Las vías de acceso a las zonas de peligro del robot deben estar activadas y enclavadas por elementos que interrumpen el suministro de energía del robot. Éste método de bloqueo de control consta de un interruptor y un cerrojo combinados, unidos a la parte fija y una llave fija en la parte móvil, (Figura 40) para que el suministro de energía al robot se restablezca, la puerta tiene que estar totalmente cerrada.

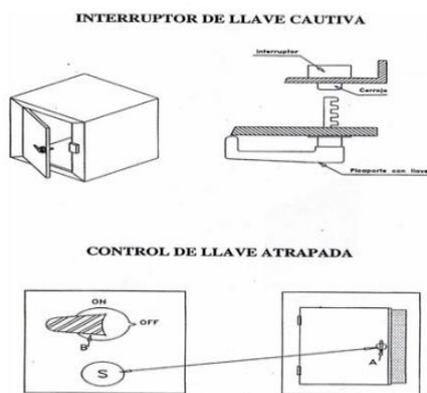


Figura 40. Interruptor de llave cautiva

Fuente: (Relucio, 2005)

d. Interruptores magnéticos.

Deben elegirse para su instalación, aquellos cuyas características sean las indicadas especialmente, para seguridad por el fabricante. Los interruptores de lámina no son muy indicados, ya que la lámina puede tener un fallo peligroso por la utilización de un imán inadecuado.

Estos interruptores se basan en un elemento magnético, que mantiene cerrado las dos partes de un circuito eléctrico. Al proceder a la apertura de la protección abre este circuito eléctrico, desconectándose el robot.

Por no depender de un muelle de recuperación y por ser sus elementos magnéticos enclavados, son difíciles sus fallos. (Figura 41)

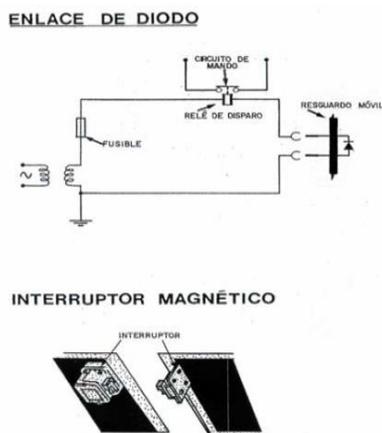


Figura 41. Interruptor magnético

Fuente: (Relucio, 2005)

e. Baliza o torreta de señalización.

Características:

- Posibilidad de combinación flexible de elementos ópticos y acústicos.
- Montaje rápido de los elementos de señalización.
- Elementos LED para una duración de vida > 50.000 h.
- Cambio de lámpara simple sin necesidad de herramientas.
- Radiación de 360°.

Áreas típicas de aplicación:

Las señales ópticas y acústicas sirven para la indicación del estado de proceso o bien para la advertencia en caso de una situación peligrosa.

En la Figura 42, se muestra en ejemplo de columnas de señalización, las mismas que pueden variar en tamaño, colores y formas.



Figura 42. Ejemplo de columna de señalización

Fuente: (Garma Electrónica, 2015)

1.5.5 Robots como herramientas y equipos de trabajo

a. Características de los puestos de trabajo

- Aumento de tareas y funciones de los trabajadores
- Aumento de la movilidad funcional en las empresas con altos niveles de automatización
- Aumento del nivel de comprensión técnico por los trabajadores
- Aumento de los ritmos de trabajo de los operadores
- Aumento del enriquecimiento de los puestos de trabajo en las empresas con altos niveles de automatización y robotización. (Arribas, 2017)

b. Riesgos derivados de la implementación de sistemas robotizados

- Mayor nivel de estrés derivado de la mayor intensidad y del aumento de la carga de trabajo
- Riesgo de accidentes más graves, derivados de la maquinaria móvil y del uso de energía eléctrica
- Riesgos derivados del mal uso o error del robot, relativos a su capacidad móvil.

c. Mejoras de la salud y seguridad derivados de la implementación de sistemas robotizados

- Disminución de los accidentes laborales
- Mejora y optimización de las condiciones de trabajo, disminuyendo riesgos laborales asociados a entornos peligrosos
- Eliminación de trabajos rutinarios y fatigosos

d. Peligros asociados a los robots

- Factores físicos
- Factores químicos
- Factores biológicos
- Factores fisiológicos
- Factores psicológicos
- Riesgo de colisión entre hombre-máquina
- Riesgo de atrapamiento
- Riesgo de proyección

1.6 Medidas De Seguridad De La Celda Robotizada

1.6.1 Introducción

Los robots colaborativos trabajan junto con los humanos, principalmente realizan tareas de trabajo repetitivas, en líneas de ensamblaje o en funciones de fabricación de CNC. A diferencia de los robots fijos, que están programados para operar sin apoyo humano, los robots colaborativos pueden trabajar con asistencia humana constante.

Debido a que las personas pueden estar en contacto directo con este tipo de robots, ya sea con orientación o monitoreo, existen estándares de seguridad más estrictos que se aplican a su funcionamiento. (Relucio, 2005)

a. Robot Colaborativo

Según (Arribas, 2017), un robot colaborativo se define como una máquina diseñada para la interacción directa con un ser humano dentro de un espacio de trabajo

colaborativo definido. Esto significa que un robot colaborativo puede integrarse en un espacio de trabajo específico donde el sistema de robot puede realizar tareas al mismo tiempo durante la operación al lado de un operador humano. Esto puede incluir tareas como asistencia de elevación, ensamblaje de partes, soldadura y empaque.

Es importante tener en cuenta que, un robot puede ser diseñado para una operación colaborativa, eso no significa que simplemente deba instalarse sin más consideraciones.

Se deben usar estándares de seguridad para garantizar que la aplicación del robot sea también lo suficientemente segura. No se recomienda usar cualquier robot para la operación colaborativa: la aplicación determina si el sistema del robot puede ser colaborativo de forma segura.

En la industria, estamos acostumbrados a grandes sistemas robóticos que cuentan con sensores fijos e interconectados, de modo que una persona no puede alcanzar un robot en movimiento, como en una línea de ensamblaje. Sin embargo, las innovaciones en software y diseño de robots colaborativos permiten a los usuarios interactuar con robots con protección limitada o sin protección.

Para cada aplicación, la seguridad es siempre primordial. Para garantizar esto, el sistema robótico y su entorno deben cumplir con ciertos niveles de seguridad antes de que pueda ponerse en uso. Para garantizar la seguridad, la industria tiene una serie de estándares aplicables.

1.6.2 Causas de los accidentes laborales.

a. Fallos propios del humano (diseñadores, usuarios)

- Desconocimiento del diseño de la máquina.
- Falta de experiencia ante riesgos debido a la rutina y comportamiento imprudente ante el peligro.
- Infravaloración del peligro y, en consecuencia, neutralización de los sistemas de protección.
- Distracción en las tareas de vigilancia debido al cansancio.
- Incumplimiento de los procesos recomendados.
- Aumento del estrés (ruido, cadencia, etc.).
- Ubicación temporal del empleado, que a veces conlleva una formación insuficiente.
- Mantenimiento insuficiente o incorrecto, lo que genera riesgos imprevistos.

b. Fallos de las máquinas

- Dispositivos de protección inadecuados.
- Sistemas de control y de mando sofisticados.
- Riesgos inherentes a la propia máquina (movimiento alterno, arranque accidental, paro inseguro).
- Máquinas inadecuadas para determinados usos o entornos (la alarma no se oye debido al ruido del parque de máquinas).

c. Fallos de las instalaciones

- Circulación de las personas (líneas de producción automatizadas).
- Ensamblaje de máquinas de procedencias y tecnologías diferentes.
- Flujo de materiales o productos entre las máquinas.

1.6.3 Consecuencias

- Lesiones de mayor o menor gravedad sufridas por el usuario.
- Paro de producción de la máquina.
- Inmovilización del parque de máquinas similares hasta que sean revisadas, por ejemplo, por la Inspección de Trabajo.
- Modificación de las máquinas para adaptarlas a las normas, llegado el caso.
- Cambio de personal y formación para ocupar el puesto de trabajo.
- Riesgo de movilizaciones sociales.
- Deterioro de la imagen de marca de la empresa.

1.6.4 Riesgos

Son causas susceptibles que puedan provocar una lesión o atentar contra la salud del operario, existen varios tipos de riesgos:

- a. **Mecánico:** Existen varios riesgos mecánicos como: perforación, pinchazo, amputación, corte, agarre, enganche, golpe, aplastamiento, etc. (Figura 43)

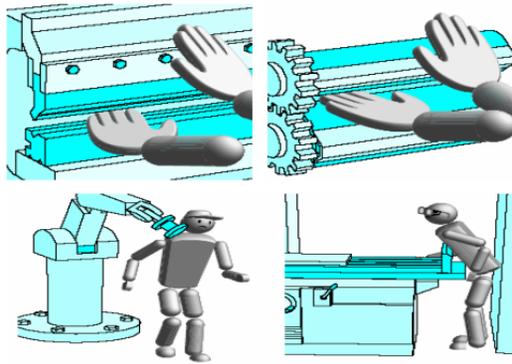


Figura 43. Ejemplos de riesgos mecánicos

Fuente: (Relucio, 2005)

b. Eléctricos: Electrocutión con elementos de potencia. (Figura 44)

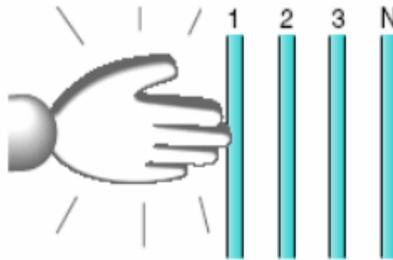


Figura 44. Ejemplo de riesgos eléctricos

Fuente: (Relucio, 2005)

c. Físico-Químicos: Pueden ser debido a proyección de sustancias peligrosas o quemaduras. (Figura 45)

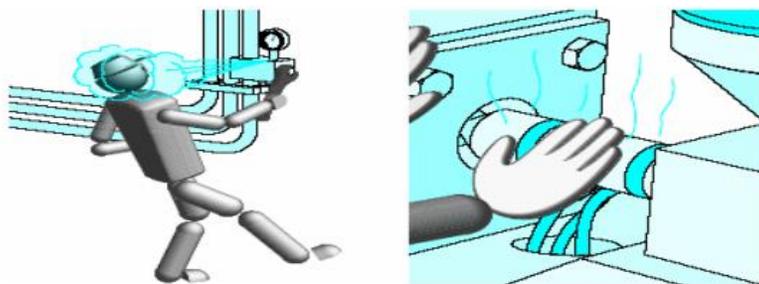


Figura 45. Ejemplos de riesgos fisicoquímicos

Fuente: (Relucio, 2005)

1.6.5 Seguridad en instalaciones robotizadas

El tema de la seguridad y prevención de accidentes en los sistemas robotizados, suele tratarse de manera marginal en casi todos los textos y demás fuentes de información que existen sobre robots industriales. Sin embargo, éste es un aspecto crítico durante el desarrollo y explotación de una celda robotizada. Las consideraciones sobre la seguridad del sistema robotizado cobran especial importancia fundamentalmente por dos razones.

En primer lugar, por el motivo intrínseco de que el robot, como se analizará más adelante, posee mayor índice de riesgo a un accidente que otra máquina de características similares. En segundo lugar, por un aspecto de aceptación social del robot dentro de la fábrica, un tema difícil de asimilar por lo general hoy en día. La realidad, sin embargo, es que el número de accidentes ocasionados por los robots industriales no es ni mucho menos alarmante, existiendo pocos datos al respecto, siendo pocos los países que cuentan con suficiente información al respecto. (Relucio, 2005)

1.6.6 Medidas de seguridad

Una vez vistos los tipos de accidentes y las causas que los originan, es preciso determinar las medidas de seguridad que disminuyan el riesgo y la gravedad.

Es importante considerar que, según estudios realizados por el Instituto de Investigaciones de Seguridad en el Trabajo de Tokio, el 90% de los accidentes en líneas robotizadas ocurren durante las operaciones de mantenimiento, ajuste o programación mientras que sólo el 10% ocurre durante el funcionamiento normal de la línea.

Este dato es de gran relevancia y pone de manifiesto la gran importancia que tiene, para lograr un nivel de seguridad adecuado, el impedir el acceso de operarios al campo de acción del robot mientras éste está en funcionamiento.

La seguridad en sistemas robotizados presenta, por tanto, dos vertientes: aquella que se refiere a la seguridad intrínseca al robot y que es responsabilidad del fabricante; y aquella que tiene que ver con el diseño e implantación del sistema y su posterior utilización, programación y mantenimiento, responsabilidad del usuario.

En este sentido, se ha desarrollado la normativa europea EN 775, adoptada en España como norma UNE-EN 775 de título “Robot manipuladores. Seguridad”, que además de proporcionar a diseñadores y fabricantes un marco de trabajo que ayude a producir máquinas seguras en su utilización, presenta una estrategia de trabajo para el desarrollo y selección de medidas de seguridad. Esta estrategia comprende las siguientes consideraciones:

- Determinación de los límites del sistema: intención de uso, espacio y tiempos de trabajo, etc.
- Identificación y descripción de todos aquellos peligros que pueda generar la máquina durante las fases de trabajo. Se deben incluir los riesgos derivados de un trabajo conjunto entre la máquina y el ordenador y los riesgos derivados de un mal uso de la máquina.
- Definición del riesgo de que se produzca el accidente. Se definirá probabilísticamente en función del daño físico que pueda producir.
- Comprobar que las medidas de seguridad son adecuadas.

a. Fase de diseño del robot

En el diseño del robot y de su sistema de control debe considerarse siempre el posible accidente, tomándose las acciones oportunas para evitarlo en la medida de lo posible. Así, el propio robot debe contar con una serie de medidas internas encaminadas a evitar posibles accidentes (Relucio, 2005):

- **Supervisión del sistema de control**

El sistema de control debe realizar una continua supervisión del correcto funcionamiento de todos los subsistemas (bucles de realimentación, accionamientos, etc.) y de incluso él mismo (match-dog).

- **Paradas de emergencia**

Deben disponerse paradas de emergencia que desenergicen completamente al robot.

- **Velocidad máxima limitada**

El sistema de control asegurará que la velocidad máxima de los movimientos cuando una persona se encuentra en las proximidades del robot (fase de programación, por ejemplo), sea inferior a la nominal (como referencia debe ser a 0,3 m/s).

- **Detectores de sobreesfuerzo**

Se incluirán detectores de sobreesfuerzo en los accionamientos que los desactiven cuando se sobrepase un valor excesivo (caso de colisión o de atrapar a una persona contra una parte fija).

- **Códigos de acceso**

El acceso a la unidad de control y el arranque, parada y modificación del programa, estarán limitadas mediante el empleo de llaves, códigos de seguridad, etc.

- **Frenos mecánicos adicionales**

Si el robot maneja grandes cargas, se deberán de incluir frenos mecánicos que entren en funcionamiento cuando se corte la alimentación de los dispositivos de accionamiento. Asimismo, se dispondrán medios para desactivar estos frenos de forma manual.

b. Fase de diseño de la celda robotizada.

En el establecimiento del lay-out de la celda se ha de considerar la utilización de barreras de acceso y protección en general que intenten minimizar el riesgo de aparición de un accidente. De forma general se pueden citar las siguientes:

- **Vallas de acceso a la celda**

Se dispondrán barreras en torno a la celda, que impidan el acceso a personas (parada inmediata al entrar en la zona de trabajo). (Figura 46j)



Figura 46. Ejemplo de vallas de seguridad

Fuente: (Ferrax Safety, 2019)

- **Dispositivos de intercambio de piezas**

En caso de que el operador deba poner/recoger piezas situadas dentro del área de trabajo del robot, se utilizarán dispositivos que permitan realizar estas acciones a distancia, utilizando, por ejemplo, mesas giratorias. (Figura 47)



Figura 47. Ejemplo de dispositivos de intercambio

Fuente: (Yaskawa, 2019)

- **Movimientos condicionados**

En el caso de que durante el funcionamiento de la celda el operario deba entrar en determinados momentos dentro del campo de acción del robot (para alimentar de nuevas piezas al robot, por ejemplo, se programará a éste de manera que no efectúe movimiento alguno durante estos instantes.

- **Zonas de reparación**

Se preverá la existencia de zonas de reparación y mantenimiento. Estas zonas, dentro del campo de acción del robot, estarán fuera de su zona de trabajo. En ellas se asegurará

mediante diferentes dispositivos que el robot no realizará movimientos de manera automática.

- **Condiciones adecuadas en la instalación auxiliar**

Sistema eléctrico con protecciones, aislamientos, etc., sistemas neumáticos o hidráulicos correctos.

- c. Fase de instalación y explotación del sistema.**

Por otra parte, durante la utilización del sistema y en especial durante las fases y puesta en marcha, deben respetarse rigurosamente determinadas normas que reducirán el riesgo de accidente. Además, es importante que exista información en la propia planta de la posibilidad de esos riesgos, así como que los operarios tengan la formación adecuada. Estas consideraciones se pueden resumir de forma breve en los siguientes puntos:

- **Abstenerse de entrar en la zona de trabajo**

Durante la programación e implantación de la aplicación, se procurará permanecer, dentro de lo posible, fuera del campo de acción del robot. Éste trabajará a velocidades lentas. En cualquier caso, se deberá salir fuera del área de trabajo cuando el robot vaya a trabajar de manera automática, aun siendo en fase de pruebas. Es también aconsejable que, siempre que sea posible, la fase de programación se realice con dos operarios, observando uno de ellos la marcha del proceso, estando dispuesto a accionar el paro de emergencia en caso de necesidad.

- **Señalización adecuada**

La celda estará dotada de una adecuada señalización del estado del robot o línea robotizada mediante señales luminosas y acústicas. Así, será aconsejable que antes de comenzar el ciclo de trabajo tras una parada se avise mediante una sirena e indicación luminosa. Del mismo modo, señales luminosas llamarán la atención sobre el hecho de que el robot está funcionando y su riesgo potencial de accidente.

- **Prueba progresiva del programador del robot**

El desarrollo y ejecución del programa del robot, y de toda la celda en sí, deberá hacerse con sumo cuidado. El programa deberá ejecutarse primeramente a velocidad lenta y paso a paso. A continuación, se podrá ejecutar de manera continua, pudiéndose aumentar progresivamente la velocidad.

- **Formación adecuada**

Capacitación constante al personal que manejará la planta.

1.6.7 Requisitos de seguridad de una celda robotizada

Según (Cepyme, 2012), recomienda los siguientes requisitos como principales a tomar en cuenta al momento de implementar una celda robotizada.

- Los movimientos no programados no deben ser permitidos.
- Deberá poder descargarse la energía almacenada en los circuitos (hidráulico y neumático), o en el caso de eléctrico, desconectarse sin perder el programa.

- En los casos de parada de emergencia, en los que la herramienta esté en funcionamiento, esta deberá permanecer sujeta.
- El rearmado del robot ante una parada de emergencia, deberá ser manual. No debiendo permitir una puesta en la marcha del robot o sus equipos asociados, si no es a través del accionamiento de la puesta en marcha, o rearme desde el puesto de control principal.
- Ante una parada de emergencia, deberá ser necesario volver al punto cero, no iniciándose el movimiento del robot ante un rearme en el punto que se abandonó, sino que deberá iniciarse en el principio de ciclo.
- Deberá disponer de un sistema de velocidad reducida, en el modo de aprendizaje o programación, debiendo entrar automáticamente en funcionamiento al seleccionar este modo, o al utilizar el dispositivo portátil de programación.
- El robot no podrá ser rearmado desde la botonera, ante una parada de emergencia.
- Los mandos de movimiento del robot de la botonera y Teach Pendant, serán selectivos de manera de que uno elimine al otro y no se puedan utilizar al mismo tiempo.
- El regulador de velocidad del robot, deberá estar protegido de forma y manera, de que no pueda ser accionado inintencionadamente.
- Los dispositivos de corte y desconexión, deberán estar protegidos contra acciones involuntarias.

- Deberá disponer de un dispositivo (luminoso o acústico), que nos indique que el robot está o va a ponerse en funcionamiento.
- Los dispositivos de seguridad, deben entrar en funcionamiento automáticamente, al iniciarse las operaciones de puesta en marcha del robot.
- Los cables y mangueras deben estar protegidos contra los agentes agresivos de ambiente de trabajo, axial como contra corrientes inducidas, parasitarias, etc. Deberán estar situados de manera que no pueden ser enganchados o pellizcados, por los órganos móviles del robot, axial como bien sujetos.
- Deberá cuidarse la estabilidad y el anclaje siguiendo las instrucciones del fabricante.
- La zona de trabajo del robot, deberá estar protegida fundamentalmente por barreras materiales, debiendo ser las inmateriales complementarias.
- El panel de control, deberá ser ubicado fuera de la zona protegida del robot, pudiéndose actuar sobre él, sin estar en la zona protegida o pasar por ella
- La zona de trabajo del robot deberá disponer de los elementos necesarios (ventiladores, climatización, aspiración, etc.), para que en su caso los agentes tanto físicos como químicos, no afecten al software como al hardware del robot ni al operario.
- La zona de trabajo deberá estar convenientemente iluminada, sobre todo en la fase de programación y aprendizaje.
- Las áreas de trabajo del robot, así como las zonas peligrosas, deberán estar señalizadas.

- Los mandos e instrumentos de señalización, tanto en la celda como en el mando de control, deberán disponer de las leyendas necesarias y perfectamente comprensibles.

1.6.8 Normativas de seguridad de una celda robotizada

Según (Cepyme, 2012), las siguientes normativas deben tomarse en cuenta para un correcto manejo de la seguridad en todo el entorno:

- Se debe de prohibir el acceso a la celda con el robot en funcionamiento.
- Las personas que, por motivos insalvables, tengan que permanecer dentro de la zona de trabajo del robot, estando éste en movimiento o bajo tensión, deberán tener un permiso especial escrito para el acceso.
- Los permisos deben especificar claramente los siguientes puntos:
 - Trabajo a realizar.
 - Persona o personas que van a realizar el trabajo.
 - Persona encargada de supervisar el trabajo.
 - Especificar las medidas de seguridad que se van a adoptar
 - Especificación de los elementos de seguridad que se han suprimido y la comprobación de su restablecimiento.
- Se deberán separar al robot de su alimentación. Se deberá prestar especial atención en esta operación, ya que el corte de energía puede provocar la caída del brazo, si no ha dispuesto de un dispositivo específica de protección. En este caso se deberá condenar el botón o dispositivo de parada.

- Al abrir la puerta de acceso a la celda, asegurarse de que ésta permanezca abierta. En el caso de que se utilice un sistema de interrenclavamiento por llaves, se deberá guardar la llave para que no pueda restablecerse la energía al robot.
- En el caso de que tenga que trabajar con el robot con alimentación, se deberá seleccionar el modo de aprendizaje a velocidad reducida.
- Si el robot lo permite, la programación deberá realizarse fuera de la zona de trabajo.
- Durante la programación sólo se permitirán velocidades bajas.
- La programación deberá ser realizada sólo por personal preparado y autorizado.
- En la fase de programación, no deberá permanecer nadie entre el robot y partes fijas, con el fin de evitar golpes severos.
- Es aconsejable no estar más de una hora seguida programando.
- Se deberá formar adecuadamente a todo operario relacionado con el robot. Esta formación será tanto en el área de formación técnica, así como de seguridad.

1.6.9 Normativa legal

Según el RD (Real Decreto) 1614/1985, se entiende por norma a la especificación técnica de aplicación repetitiva o continuada, cuya observancia no es obligatoria, establecida con participación de todas las partes interesadas, que aprueba un organismo reconocido a nivel nacional e internacional. En la Figura 48, se indican las normativas actuales aplicables dentro de una celda de manufactura robotizada.

	ANSI/RIA R 15.06	Robots industriales y sistemas de robots	Requerimientos de seguridad
	CAN/CSA Z434		
	Dentro de Europa, tanto los robots como las células robóticas deben cumplir con la Directiva sobre maquinaria (2006/42 / EC). Para demostrar el cumplimiento de la Directiva sobre máquinas, se pueden aplicar los siguientes estándares.		
EN/ISO 10218-1	Robots y dispositivos robóticos	Requisitos de seguridad para robots industriales, Parte 1: Robots	
EN/ISO 10218-2		Requisitos de seguridad para robots industriales, Parte 2: Sistemas de robot e integración	
ISO/TS 15066		Robots colaborativos	

Figura 48. Normas aplicables para celdas robotizadas

Fuente: Braman 2018

En cuanto a la normativa legal relativa a la instalación y empleo de robots, ésta ha sido hasta principios de los años noventa, escasa. Los motivos que han llevado al retraso a la hora de proponer una normalización son varios, y en general podrían citarse:

- La tendencia existente a enfrentarse con los problemas técnicos y de mercado (ventas) antes que con ningún otro.
- La necesidad de suficiente experiencia en la materia de accidentes ocasionados por robots como para establecer una casuística suficientemente válida.
- La dificultad en unificar criterios y niveles de seguridad entre los diferentes usuarios y países.
- La dificultad y tiempo necesario para preparar la documentación referente a la normativa, así como a los procedimientos de evaluación.

En la actualidad, existen varias normativas relevantes al respecto a nivel mundial y se detallan a continuación:

a. UNE EN ISO 10218-1:2011. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots.

- Especifica requisitos de seguridad para robots industriales.
- No es aplicable para la integración de robots o el diseño de sistemas robot (celdas robotizadas).
- La norma no contempla el robot como máquina completa y no trata los riesgos debidos a ruido.
- EN-ISO 10218-1 es una Norma tipo C y está armonizada bajo la directiva de maquinaria (2006/42/EC) (Görnemann, 2017)
 - **ISO 10218-1 3.4 Operación colaborativa.**
Situación en la cual robots específicamente diseñados trabajan en cooperación directa con humanos en un espacio de trabajo definido.
 - **ISO 10218-1 3.5 Espacio de trabajo colaborativo.**
Espacio de trabajo dentro del espacio resguardado (protegido) donde un robot y un humano puede realizar tareas simultáneamente durante el proceso de producción. (Arribas, 2017)
 - **ISO 10218-1 3.10 Robot Industrial**
Manipulador reprogramable para usos múltiples, controlado automáticamente con tres o más ejes programables, ya sea fijo o móvil, para uso en aplicaciones de automatización industrial.

b. UNE EN ISO 10218-2:2011. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración

- Especifica requisitos de seguridad para sistemas robot e integraciones de robots que cumplen con la norma
- UNE EN ISO 10218-2, la norma se aplica a sistemas robot como máquinas, pero no trata los riesgos debidos a ruido.
- La integración incluye el diseño, la construcción, instalación, operación, mantenimiento y puesta fuera de servicio.
- EN-ISO 10218-2 es una norma tipo C y está armonizada bajo la directiva de maquinaria (2006/42/EC) (Görnemann, 2017).

- **ISO 10218-2 3.2 Robot colaborativo.**

Robot diseñado para la interacción directa con humanos en un espacio colaborativo definido.

c. ISO/TS 15066:2015. Robots y dispositivos robóticos - Robots de colaboración. (Especificación Técnica)

- Especifica los requisitos de seguridad adicionales para los sistemas de robots industriales de colaboración.
- Se deberán cumplir los requisitos básicos de la norma ISO 10218 1 y 2. La norma no cubre el ruido.
- El lector es advertido sobre el uso de los valores límite indicados en el TS (Technical Specification), ya que podrían modificarse o ser impugnados.

- ISO/TS 15066 no es norma armonizada según la Directiva de maquinaria (2006/42/EC).

d. ANSI/RIA R15.06-1992.

- Se trata de una normativa realizada por el Instituto Nacional de Normalización de Estados Unidos (ANSI) [ANSI-92]. También data del año 1992, siendo una revisión de la normativa publicada en 1986.
- Es relativamente breve. Pero presenta algunas características que merecen destacarse. Por ejemplo, la inclusión, en el apartado sobre la definición de riesgos, de algunos epígrafes que versan sobre la probabilidad de la aparición de un accidente y la severidad del posible daño físico a una persona, dependientes del nivel de experiencia del operador y la frecuencia en la que éste se encuentra en zona de peligro.

e. EN 775 y UNE-EN 775.

- El Comité Europeo de Normalización (CEN) aprobó en el año 1992 la normativa EN 775, adaptación de la norma intencional ISO 10218 :1992. A su vez la Asociación Española de Normalización (AENOR) adoptó en marzo de 1996 esta normativa (traducida al español) denominándose UNE-EN 775 y que lleva por título: “Robots manipuladores industriales. Seguridad” [UNE-96].
- Por lo tanto, la normativa española (coincide con la europea) se ha desarrollado sobre la normativa internacional ISO 10218 :1992, incorporando y adaptando aspectos relacionados en la normativa europea “EN 292:1991 Safety of Machinery – Basic concepts, general principles for design” [EN-91].

f. Clasificación de normas europeas por tipos

- **EN 292:** Conceptos básicos. Principios generales de diseño.
- **EN 294:** Distancias de seguridad para impedir que las extremidades superiores alcancen zonas peligrosas.
- **EN 954-1:** Partes de los sistemas de control relativas a la seguridad.
- **EN 1050:** Principios para la evaluación del riesgo.
- **EN 60204-1:** Equipo electrónico de las máquinas.
 - Esta norma presupone la conformidad con los requisitos básicos de las directivas sobre máquinas y baja tensión.
- **EN 60204-1**
 - Es la norma de referencia para el equipo eléctrico de las máquinas en todos sus aspectos: protección de las personas, de la máquina y el equipo, interfaces hombre-máquina, sistema de control, conexión, cableado, documentación, marcado.
- **EN 418:** Equipo de Parada de emergencia (aspectos funcionales; principios de diseño).
 - Esta norma presupone la conformidad con los requisitos básicos de la directiva sobre máquinas.
 - Paro de emergencia:

Función destinada a evitar riesgos existentes o que están apareciendo y que puedan afectar a las personas (riesgos originados por anomalías).

Puede ser activada por el operario.

- Requisitos de seguridad:

La función de parada de emergencia debe estar disponible y poder funcionar en todo momento.

El paro de emergencia puede ser de categoría 0 (interrupción inmediata de la alimentación de energía del accionador) o categoría 1 (parada controlada: los accionadores siguen alimentados en energía para que puedan parar la máquina, a continuación, corte de la potencia cuando se consigue la parada).

- **EN 999:** Posicionamiento de los equipos de protección en función de la velocidad de aproximación de las partes del cuerpo.
- **EN 1037:** Prevención de una puesta en marcha accidental.
- **EN 1088:** Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos.
- **EN 60947-5-1:** Aparatos electromecánicos para circuitos de control.
- **EN 60947-5-3:** Prescripción para detectores de proximidad con comportamiento definido en caso de fallo.
- **NTE INEN 439:** Colores, Señales y Símbolos de seguridad.

Establecen estos colores, señales y símbolos de seguridad con el propósito de prevenir accidentes y peligros para la integridad física y la salud, así como para hacer frente a ciertas emergencias.

- a. Color de seguridad.**

La Figura 49, establece los tres colores de seguridad, el color auxiliar, sus respectivos significados y da ejemplos del uso correcto de los mismos.

Color.	Significado.	Ejemplo de Uso.
	Alto. Prohibición.	Señal de parada. Signos de Prohibición. Este color también se utiliza para prevenir fuego y para marcar equipo contra incendio y su localización.
	Atención. Cuidado, peligro.	Indicación de peligros (fuego, explosión, envenenamiento, etc.) Advertencia de obstáculos.
	Seguridad.	Rutas de escape, salidas de emergencia, estación de primeros auxilios.
	Acción obligada. Información.	Obligación de usar equipos de seguridad industrial. Localización de teléfono.

Figura 49. Colores de seguridad y su significado

Fuente: (NTE INEN 439, 1984)

b. Señal de seguridad.

La Figura 50, establece las formas geométricas y sus significados para las señales de seguridad.

Señales	Descripción
	Fondo blanco, círculo y barra inclinada rojos. El símbolo de seguridad será negro, colocado en el centro de la señal, pero no debe sobreponerse a la barra inclinada roja.
	Fondo azul. El símbolo de seguridad o el texto serán blancos colocados en el centro de la señal. Los símbolos usados en las señales de obligación establecen tipos generales de protección.
	Fondo amarillo. Franja triangular negra. El símbolo de seguridad será negro y estará colocado en el centro de la señal.
	Fondo verde. Símbolo o texto de seguridad en blanco y colocado en el centro de la señal. La forma de la señal debe ser cuadrada o rectangular de tamaño adecuado para alojar el símbolo y/o texto de seguridad.

Figura 50. Señales de seguridad

Fuente: (NTE INEN 439, 1984)

c. Señales de prohibición.

En la Figura 51, se indica las señales de seguridad de las que consta la celda de manufactura.

Señal de Seguridad	Significado
	ENTRADA PROHIBIDA A PERSONAS NO AUTORIZADAS
	NO INTRODUZCA LAS MANOS
	PROHIBIDO FUMAR
	PROHIBIDO INGERIR ALIMENTOS

Figura 51. Señales de prohibición

Fuente: (NTE INEN 439, 1984)

d. Señales de uso obligatorio

En la Figura 152, se indica las señales de seguridad de las que consta la celda de manufactura.

	USO OBLIGATORIO GAFAS
	USO OBLIGATORIO OREJERAS
	USO OBLIGATORIO CALZADO DE SEGURIDAD

Figura 52. Señales de uso obligatorio

Fuente: (NTE INEN 439, 1984)

1.7 Sistema de Sujeción de materia prima

Los clamps o prensas pequeñas proveen una gran variedad de soluciones de sujeción para la industria; manuales, neumáticos e hidráulicos. Pueden utilizarse desde la manipulación de componentes pequeños y delicados hasta el trabajar con partes grandes y pesadas (Destaco, 2018).

Las aplicaciones en las que pueden ser usados son soldadura, ensamblaje, mecanizado, trabajos con madera, cierres o bloqueos y procesamiento de comida, éstas aplicaciones varían de acuerdo a ciertas características de los clamps, como la capacidad de bloqueo, largo y alto del brazo de presión, la posición de implementación o el ángulo de apertura.

1.7.1 Sistema de Sujeción Neumático

Los Clamps neumáticos estándar tienen diferentes posiciones, se escogen dependiendo de la capacidad de sujeción, altura base al brazo y longitud del brazo, en la Figura 53, se muestra un clamp neumático de acción de espera estándar.

- Clamps de Acción de espera o bloqueo
- Clamps de acción en línea recta
- Clamps de Acción de extracción
- Clamps de Palanca
- Clamps de Palanca para trabajo ligero
- Clamps con cilindros de potencia (Destaco, 2018).



Figura 53. Clamp Neumático

Fuente: (Destaco, 2018).

1.7.2 Sistema de Sujeción Mecánico

Los Clamps manuales son estáticos con diferentes posiciones, se escogen dependiendo de la capacidad de sujeción, la apertura de la barra y la apertura del mango en la Figura 54, se muestran clamps verticales de la marca Destaco.

- Clamps Verticales
- Clamps Horizontales
- Clamps de acción lineal
- Clamps de gancho
- Clamps tipo pinza
- Clamps Verticales
- Clamps de ajuste rápido (Destaco, 2018).



Figura 54. Clamps Verticales

Fuente: (Destaco, 2018).

a. Clamp Horizontal Serie 307 USS (U-bar Stainless Steel)

Es una abrazadera de bloqueo con palanca de sujeción horizontal de silueta baja, se puede operar en cualquier sentido y es de acero inoxidable. La forma es de un brazo de sujeción en “U”, el elemento para la fijación del material es un perno M8 de cabeza hexagonal de acero inoxidable, ideal para espacios reducidos. En la Figura 55, se muestra el Clamp Destaco 307 USS.



Figura 55. Clamp Destaco 307 USS

Fuente: (Destaco, 2018).

Las dimensiones del Clamp 307 USS se muestra en la siguiente Figura 56.

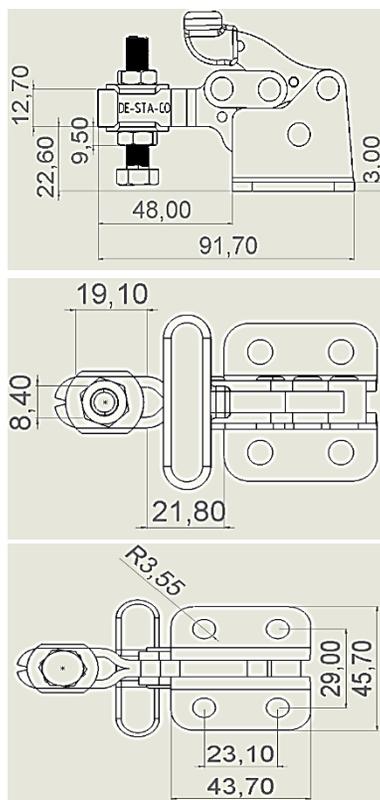


Figura 56. Dimensiones del Clamp Destaco 307 USS

El Clamp tiene una altura de 60 mm, la cual es optima para que la boquilla del robot soldador no sufra ningun golpe, posee con cuatro orificios en la base para ser montado en una estructura diseñada de acuerdo a los requerimientos.

En la Tabla 11, se detallan las carcteristicas generales del Clamp Destaco 307 USS.

Tabla 11.
Características generales Clamp Destaco 307 USS

Características generales	
Capacidad de retención máxima (N)	1560
Longitud del brazo de la abrazadera (mm)	47.8
Apertura de la barra de sujeción (+ 10 °) (grados)	92
Apertura de la manija (+ 10 °)	173
Material estándar	Acero inoxidable
Se adapta a la variación de la pieza de trabajo	Si
Aplicación - Soldadura	Excelente
Peso (kg)	0.24

Fuente: (Destaco,2018)

1.8 Jigs o plantillas de soldadura

La estructura principal del Jig o plantilla de soldadura es un elemento esencial en los requerimientos y beneficios de una adecuada soldadura, ésta estructura debe: ser funcional en el ensamblaje de subestructuras, desmontarse con facilidad, permitir que se genera el proceso de soldadura íntegro en las subestructuras y ser cómodo para el operario al momento de proveer de materia prima para soldar.

1.8.1 Jig De Soldadura Estático

En la Figura 57, se muestra un ejemplo de Jig estático.

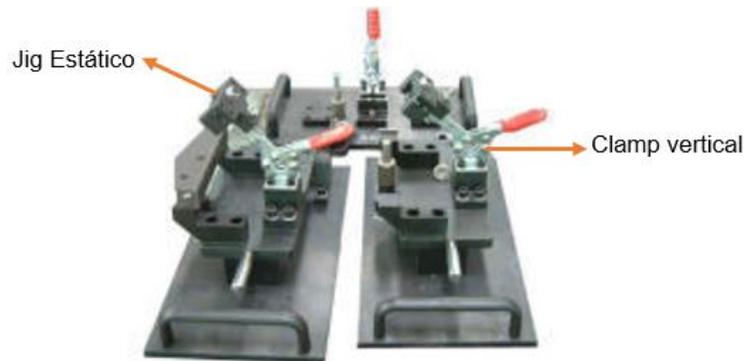


Figura 57. Ejemplo de Jig de soldadura estático

Fuente: (Manyan Tehcnology, 2015)

a. Ventajas

- De fácil utilización, pueden utilizarla algunos operarios a la vez.
- Facilidad para implementar modificaciones.
- Puede ensamblar varios tipos de estructura lateral.
- Mayor rigidez en el bastidor del Jig.
- Montaje y mantenimiento realizado por personal calificado.

b. Desventajas

- Su ubicación en la planta es permanente.
- No se puede aplicar el remate de soldadura a toda la estructura lateral.
- Soldadura sobre cabeza es frecuente.
- Estructura extra pesada.

1.8.2 Jig De Soldadura Móvil (Giratorio)

En la Figura 58 se muestra un ejemplo de Jig móvil o giratorio.



Figura 58. Ejemplo de Jig de soldadura móvil

Fuente: (Safa, 2017)

a. Ventajas

- Es de construcción desmontable.
- De fácil utilización.
- Se puede aplicar el remate de soldadura a la mayoría de la estructura lateral.
- No existe soldadura sobre cabeza.
- Eficiente para un solo modelo de ensamblaje.

b. Desventajas

- Elevado costo en su construcción.
- Diseño complejo.
- Disposición por lo general para un solo modelo.
- Estructura extra pesada.
- Existen muchas y grandes cargas de flexión en la estructura principal.
- Existen grandes cargas de torsión en la estructura principal.
- Complejidad en implementar modificaciones.

CAPÍTULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA

2.1 Análisis de las propiedades de la soldadura MIG.

Recordando el capítulo 1 del marco teórico donde se resumió generalmente las propiedades de la soldadura MIG, se procede hacer un análisis detallado de las mismas que intervienen en la soldadura.

2.1.1 Propiedades de la Soldadura MIG

Las propiedades consideradas para la soldadura MIG son: posición, tiempo, longitud, velocidad, voltaje, corriente, calor, tipo de unión, técnica, material soldado, si son materiales similares o disímiles, enfriamiento, precalentamiento, superficie, equipo utilizado, tipo de antorcha, ángulo de la antorcha, características del material de aporte, distancia entre el metal base la boquilla de la antorcha, dirección de aplicación de la soldadura, tipo de gas de protección, polaridad y especificación.

En la Figura 59, se muestran los parámetros y las características de la soldadura MIG los cuales se dan en la zona de fusión.

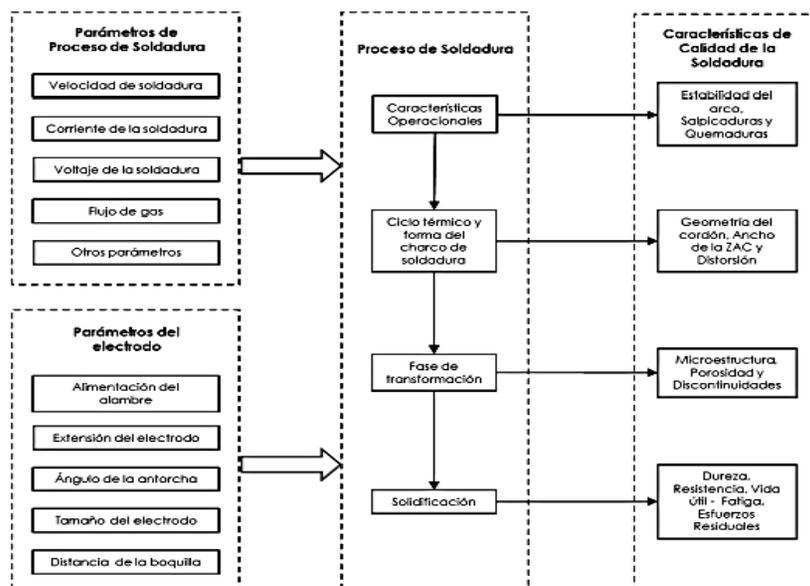


Figura 59. Parámetros y características de la soldadura MIG

Fuente: (RIOS, 2017).

La energía por arco es un indicador de calor contenido en el arco, esto cambia dependiendo de cuatro parámetros: corriente, voltaje, velocidad de avance de la soldadura y velocidad de alambre. Estas mediciones se vuelven fundamentales en el proceso de soldadura para tener las propiedades mecánicas en la unión de las piezas. (RIOS, 2017)

El controlador del brazo robótico tiene la capacidad de comandar mediante líneas de programación todos los parámetros del sistema de soldadura, una vez encendidas ambas máquinas se establece una comunicación digital, de modo que el sistema de soldadura pasa al modo SYNERGIC, en el cual el robot comanda todo el sistema.

2.1.2 Voltaje del arco de soldadura

El voltaje de soldadura da la longitud del cordón, este afecta a la altura y anchura, los voltajes varían dependiendo de los espesores a soldar y es constante en el momento de la soldadura entre dos piezas.

En la Tabla 12, se muestran los valores de los espesores y voltajes para la soldadura MIG robotizada.

Tabla 12.
Espesor de láminas y voltaje a utilizar soldadura MIG

Espesor de Laminas (mm)	Voltaje (V)
0.9	16 - 17
1.2	17 - 19
1.6	17 - 19
2.0	18 - 20
3.2	19 -23
4.0	19 - 23
6.0	19 - 23

Utilizando los datos de la tabla anterior se obtuvo los valores de voltaje que se usaron en las piezas de las diferentes estructuras del asiento de bus interprovincial, como los valores de espesor varían entre 3 a 6 [mm] se usan voltajes de 19 a 23 [V]

2.1.3 Corriente del arco de soldadura

La corriente sirve para la fusión de las piezas a soldar, para que suceda la fusión dependerá del material de aporte, del espesor de las piezas, del diámetro del alambre y el tipo de gas usado.

En la soldadura robotizada los parámetros de la corriente se seleccionan en controlador del robot dependiendo del material a soldar, estos parámetros se graban en la fuente de soldadura y son ejecutados continuamente cuando se activa el arco.

En la Tabla 13 se muestra los valores del diámetro del material de aporte, el espesor de las piezas y la corriente aproximada para cada uno de ellos.

Tabla 13.

Valores diámetro de alambre, espesor de lámina y corriente

Diámetro del alambre (mm)	Espesor de la pieza (mm)	Corriente (A)
1.8	13 - 16	50
1.6	11 - 14	65
1.4	9 - 12	80
1.2	7 - 10	100
1	5 - 8	105
0.8	3 - 6	110
0.6	2 - 4	125

Utilizando los datos de la tabla anterior se obtuvo el valor de corriente que se usaron en las piezas de las diferentes estructuras del asiento de bus interprovincial, como los valores de espesor varían entre 3 a 6 [mm] se usa una corriente de 110 [A].

2.1.4 Velocidad de la soldadura

La velocidad de soldadura es la tasa lineal con la que se mueve el arco de soldadura a lo largo de la unión soldada, para tener una mayor penetración los demás parámetros deben estar constantes al momento de la suelda.

Si la velocidad de soldadura aumenta, el material de aporte disminuye por ende el arco no afecta ni al charco, ni a la base de soldadura por otro lado si la velocidad decrece, el material de aporte incrementa, pero si es muy baja solo afecta al charco, pero no al metal base, se debe tener una regulación entre la velocidad de soldadura y la velocidad del alambre.

En la Tabla 14, se muestra los valores de las velocidades de soldadura y el espesor de las piezas.

Tabla 14.
Velocidades de soldadura, espesor de piezas

Espesor de la pieza (mm)	Velocidad de soldadura (mm/s)
13 - 16	75 - 100
11 - 14	50 - 70
9 - 12	30 - 50
7 - 10	15 - 25
5 - 8	8 - 10
3 - 6	1 - 5
2 - 4	1 - 5

Utilizando los datos de la tabla anterior se obtuvo los valores de las velocidades de soldadura que se usaron en las piezas de las diferentes estructuras del asiento de bus

interprovincial, como los valores de espesor varían entre 3 a 6 [mm] se usan velocidades de 1-5 [mm/s].

2.1.5 Velocidad de alambre

La velocidad de alambre es un parámetro regulable en el controlador del robot soldador GSK RH06 y está relacionada totalmente con los parámetros de voltaje, intensidad, y velocidad de soldadura. La configuración de velocidad conlleva a tener un buen flujo de fusión en la zona soldada.

El robot soldador tiene varios valores de velocidades del alambre estos se controlan desde el controlador del robot, los valores varían entre 0 - 999 [mm/min]. En la Tabla 15, se muestran los valores del espesor de las piezas y las velocidades del alambre que se utilizó.

Tabla 15.
Velocidades del alambre, espesor de piezas

Espesor de la pieza (mm)	Velocidad del alambre (mm/min)
13 - 16	500 - 600
11 - 14	400 - 500
9 - 12	300 - 400
7 - 10	200 - 100
5 - 8	100 - 200
3 - 6	100 - 150
2 - 4	80 - 100

Utilizando los datos de la tabla anterior se obtuvo los valores de las velocidades del alambre que se usaron en las piezas de las diferentes estructuras del asiento de bus

interprovincial, como los valores de espesor varían entre 3 a 6 [mm] se usan velocidades de alambre de 100-150 [mm/min].

Detallados los cuatro parámetros esenciales para la soldadura robotizada tipo MIG, se tiene una idea más clara de los valores a ingresar en la programación del controlador del robot.

La empresa MIVILTECH S.A. proporcionó el material para la soldadura MIG, el cual lo utiliza en todas las estructuras de asientos, ese material es el acero estructural ASTM A36.

2.1.6 Acero Estructural ASTM A36

Es la combinación de Fe, C y porciones pequeñas de Si, P, S y O, esta combinación da propiedades tales como: soldabilidad, templabilidad, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión, ductilidad, dureza, tiene un límite de fluencia de 250 [MPa].

La empresa MIVILTECH S.A. proporcionó el material para todas las estructuras de la celda de manufactura. En la Tabla 16, se muestra las propiedades del acero al carbono A36 de acuerdo a las designaciones de las especificaciones ANSI/ASTM.

Tabla 16. *Propiedades del acero ANSI/ASTM*

Designación ASTM	Rango de espesor de placas (mm)	Límite de fluencia (MPa)	de Resistencia a la tensión (MPa)	Tipo de acero
A36	Hasta 196	250	400 - 550	C

Fuente: (ASTM,2018)

2.2 Diseño mecánico de los Jigs de soldadura para subestructuras

Para obtener la dimensión y forma de las estructuras de los Jigs cuya definición se presentó en el capítulo 1, se debe conocer las dimensiones y peso de las subestructuras de los asientos que son: espaldar, cojín, codera, pata y matrimonio, esta información se obtiene del diseño del asiento interprovincial proporcionado por la empresa MIVILTECH S.A.

El material utilizado para toda la fabricación de estructuras propias de la celda de manufactura es acero estructural ASTM A36 proporcionado por la empresa MIVILTECH S.A, con este material se consigue una mayor robustez y durabilidad de las subestructuras, se tomó en cuenta golpes de parte de los trabajadores y alguna otra variable externa, las dimensiones y el peso se detallan en los Anexos respectivos.

CADA Jig consta de una base rectangular fabricada con tubo cuadrado estructural ASTM A36 50x50x3 [mm], cada base rectangular consta de 4 patas de igual dimensión para lograr tener uniformidad con respecto al alto de la mesa de apoyo, la cual se detallará más adelante, sobre cada base de Jig se asienta una plancha acero de 6 [mm], la cual permite la sujeción de piezas mecanizadas a la estructura total del Jig.

Para la unión entre la plancha de sujeción y la base, se utilizó pernos de cabeza hexagonal de acero inoxidable M8, para la unión entre las piezas mecanizadas y la plancha de sujeción, se utilizó soldadura MIG tipo manual debido al elevado rendimiento por ser una operación continua y sin lapsos de interrupciones, por su alta velocidad de fusión del alambre, por cubrir amplias franjas de espesores y tiene todas las medidas de protección del medio ambiente.

Para la fabricación de los Jigs es necesario que éstos mantengan las formas geométricas y distancias de cada subestructura del asiento interprovincial obligatoriamente, por lo tanto, cada Jig cuenta con piezas de acero mecanizadas en base a las dimensiones de las mencionadas subestructuras. Luego de diseñar cada Jig los análisis estáticos se basaron en el desplazamiento total de las estructuras, buscando siempre llegar a valores de desplazamiento menores a la precisión de posicionamiento repetido del brazo robótico, este valor es ± 0.05 [mm]. Con esta condición de diseño el análisis de factor de seguridad no se consideró relevante, sin embargo, todos los diseños superan el factor de seguridad recomendado.

La empresa MIVILTECH S.A. utiliza un software para el diseño Cad de las subestructuras del asiento interprovincial, por consiguiente, nos facilitó los valores de peso de cada subestructura para obtener la fuerza que ejercería sobre los Jigs y así poder realizar en el análisis estático de todas las estructuras propias de la celda de manufactura.

2.2.1 Diseño del Jig de Espaldar

a. Definición y partes del Espaldar

El espaldar está constituido por un tubo redondo de 1 [in] diámetro y 3 [mm] de espesor, doblado en sus extremos en forma en “U”, tiene cuatro dobleces para que sea similar a la espalda del ser humano y sirve como respaldo de la persona.

En la Figura 60, se observa las partes del espaldar como: platina del cinturón, varilla del espaldar, unión de codera y varilla del tapizado.

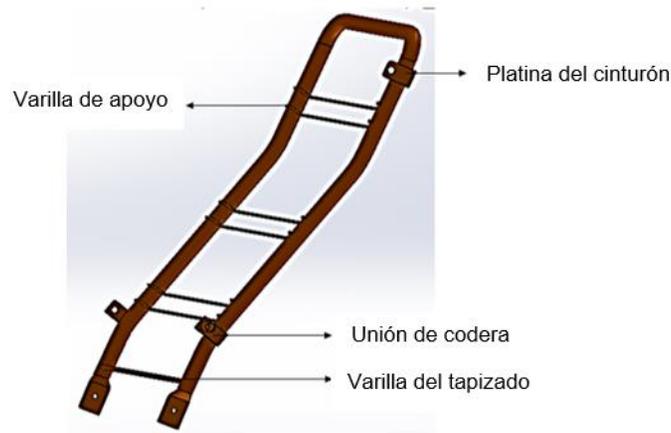


Figura 60. Partes del Espaldar

b. Cálculo de fuerza ejercida debido al peso del Espaldar

Mediante el cálculo se obtuvo la fuerza ejercida sobre los apoyos de las partes mecanizadas, por el peso del espaldar. El peso del espaldar es de 4.22 [kg].

$$W_E = m_E \cdot g$$

$$W_E = (4.22 \text{ Kg}) \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$W_E = 41,48 \text{ N}$$

W_E = Fuerza del peso

m_E = Peso del Espaldar

g = Gravedad

c. Diseño de las partes del Jig de Espaldar

A continuación, se detallan todas las partes necesarias para conformar el Jig de Espaldar, las mismas que son:

- **Apoyo de Tubo para mecanismo Mechlok**

En la Figura 61, se observa la unión de: soporte tubo mechlok y unión soporte tubo. La función de esta estructura es fijar y guiar el tubo para el tubo mechlok, en el Anexo A.1 y A.2 se detallan sus dimensiones.

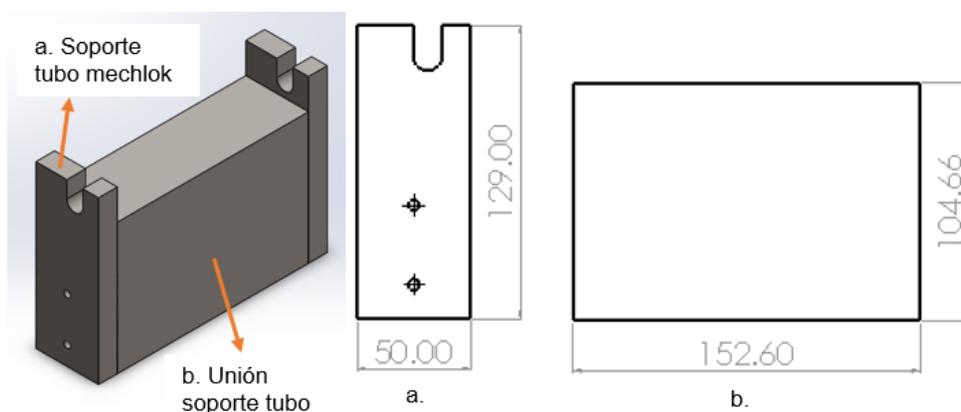


Figura 61. Dimensiones Soporte tubo mechlok, unión soporte tubo

- **Tope de Tubo doblado**

En la Figura 62, se observa la unión de: tope de tubo y bloque de unión. La función de esta estructura es asegurar las dimensiones para que el tubo doblado no exceda el ancho necesario, en los Anexos A.3 y A.4 se detallan sus dimensiones.

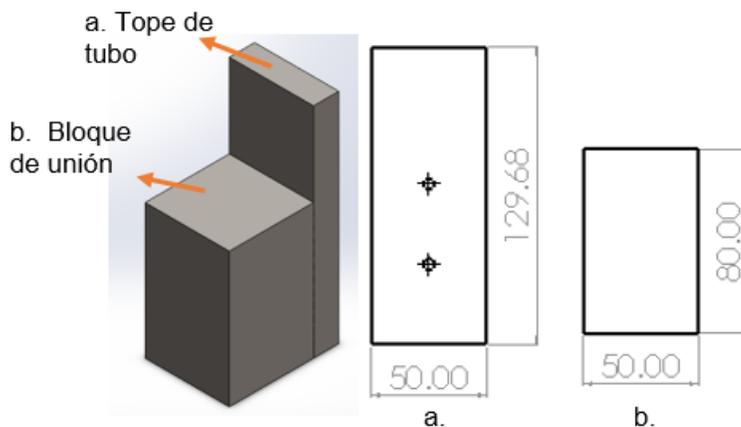


Figura 62. Dimensiones Tope de tubo, Bloque de unión

- **Apoyo de Tubo doblado**

En la Figura 63, se observa la unión como: Soporte tubo doblado y Unión soporte tubo doblado. La función de esta estructura es guiar, fijar y asentar el tubo doblado del espaldar para que permanezca estático al momento de la soldadura además posee 2 pequeñas ranuras para guiar las varillas de soporte, en los Anexos A.4 y A.5 se detallan sus dimensiones.

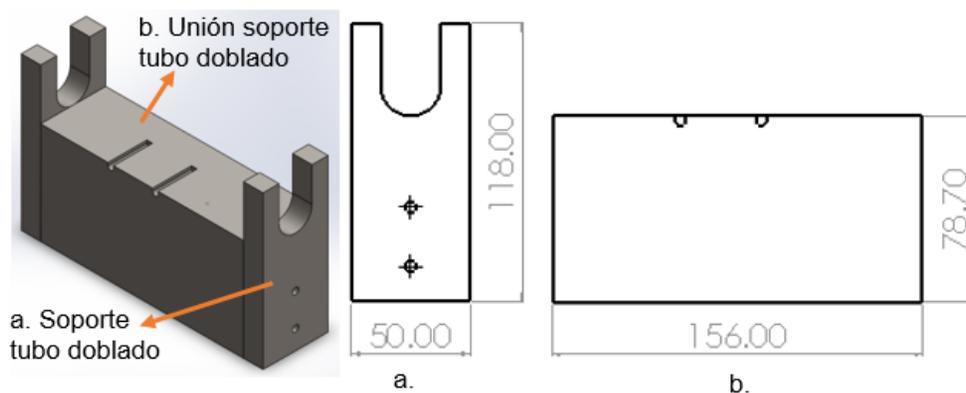


Figura 63. Dimensiones Soporte tubo doblado, Unión soporte tubo doblado

- **Apoyo de platina de codera**

Es un bloque mecanizado con una ranura para colocar la platina de la codera y sirve para fijarla y asentarla en su posición ideal. La platina tiene la función de unir el espaldar con las coderas del asiento, en la Figura 64, se detallan sus dimensiones básicas, en el Anexo A.7 se detallan sus dimensiones.

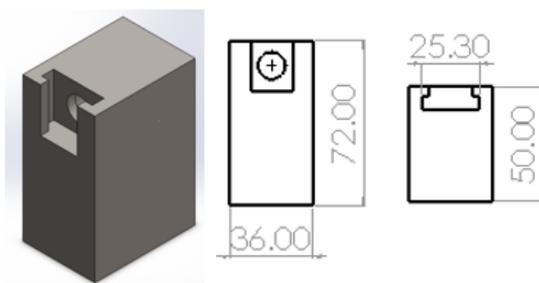


Figura 64. Dimensiones apoyo platina de codera

- **Soporte varilla 1**

Es un bloque mecanizado con dos ranuras específicas del tamaño de las varillas, sirve como guía y asentamiento de las dos primeras varillas del espaldar para que permanezcan estáticas en la soldadura, mencionadas, en la Figura 65, se muestra las dimensiones básicas y en el Anexo A.8 se detallan sus dimensiones.

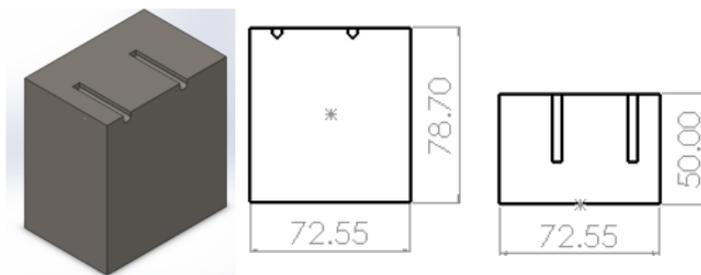


Figura 65. Dimensiones soporte varilla 1

- **Apoyo de varilla 1**

Consiste de una pieza de acero con dos ranuras específicas del tamaño de las varillas, sirve como guía para que las varillas permanezcan estáticas al momento de la soldadura. En la Figura 66, se muestran las dimensiones básicas y en el Anexo A.9 se detallan sus dimensiones.

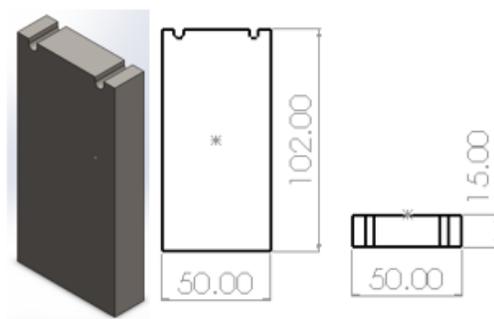


Figura 66. Dimensiones Apoyo de varilla 1

- **Soporte varilla 2**

Es un bloque de acero mecanizado de similar formar al Soporte de varilla 1, con la diferencia que posee una cara diagonal debido al dobléz del tubo de espaldar. En la Figura 67, se detallan las dimensiones básicas y en el Anexo A.10 se detallan sus dimensiones.

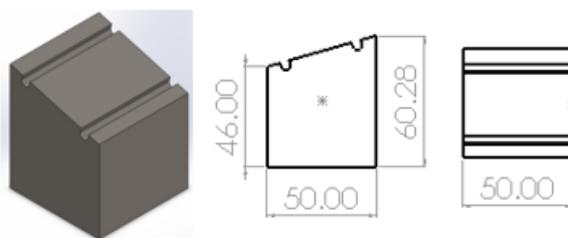


Figura 67. Dimensiones Soporte varilla 2

- **Apoyo de varilla 2**

Es muy similar al Apoyo de varilla 1, la única diferencia es la profundidad de cada ranura para sujetar la varilla. Se muestra en la Figura 68, las dimensiones básicas y en el Anexo A.11 se detallan sus dimensiones.

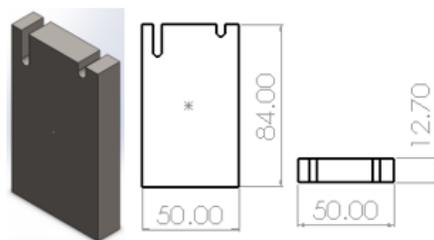


Figura 68. Dimensiones Apoyo de varilla 2

- **Tope interno y tope final**

Son dos placas mecanizadas que sirven como tope para el tubo del espaldar, la función es restringir el movimiento hacia delante y atrás, en la Figura 69, se muestran las dimensiones básicas y en los Anexo A.12 y A.13 se detallan sus dimensiones.

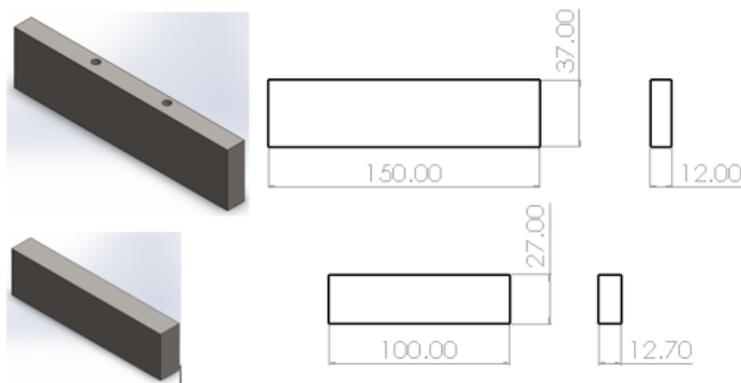


Figura 69. Dimensiones Tope interno y final

- **Soporte cinturón**

Es una placa mecanizada con una ranura especificada del tamaño de la platina del cinturón, sirve como guía para mantener estática al momento de la soldadura. En la Figura 70, se muestran sus dimensiones básicas, en el Anexo A.14 se detallan sus dimensiones.

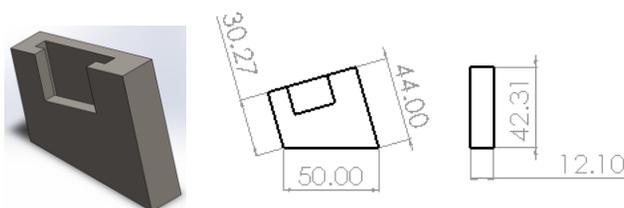


Figura 70. Dimensiones Soporte cinturón

- **Plancha de sujeción de espaldar**

Es una placa de acero con las medidas de la base del espaldar, sirve para la sujeción de las partes del Jig. En la Figura 71, se muestran sus dimensiones básicas y en el Anexo A.15 se muestra las dimensiones totales.

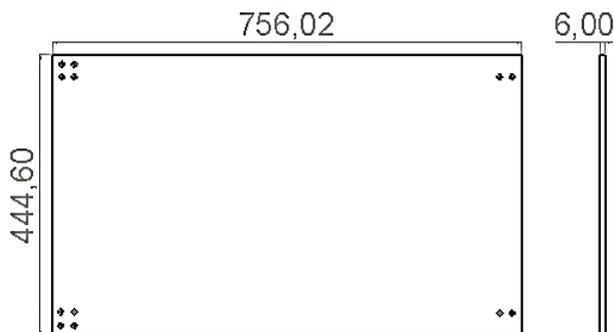


Figura 71. Dimensiones Plancha de sujeción de espaldar

Se puede concluir que el Jig de Espaldar tiene una altura máxima de 42 [cm] desde la mesa hasta la subestructura más larga, nos da un espacio de trabajo necesario para que el robot soldador pueda llegar a las distintas posiciones existentes. En el Anexo A.16 se muestra el ensamblaje total del Jig.

d. Diseño de la base del Jig de Espaldar

Las dimensiones de la base del Jig de son 756 [mm] de largo, 444 [mm] de ancho y 300 [mm] de alto más una platina de 8 [mm] para la sujeción con la mesa de posicionamiento (Figura 72).

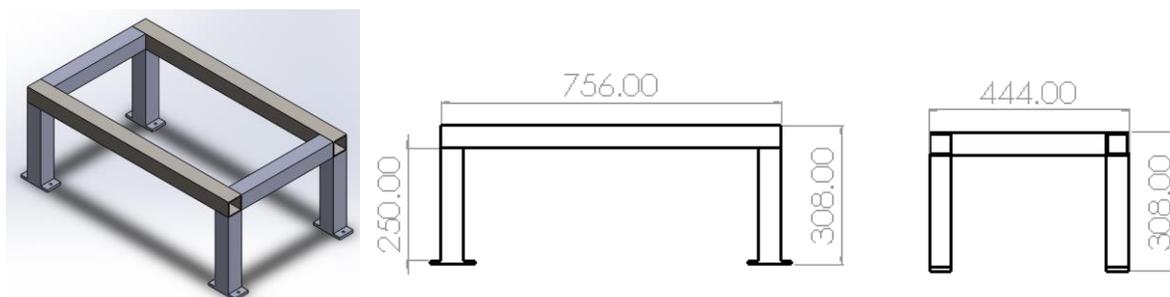


Figura 72. Dimensiones de la base del Jig

e. Análisis estático de la base del Jig de Espaldar

Siendo 551 [N] la fuerza total que ejercen las partes del Jig sobre la base del mismo (Anexos A.16). En la Figura 73, se muestra la base del Jig con sus posiciones fijas y la fuerza que se ejerce. Se asumió un valor de fuerza mayor al calculado para verificar la robustez del diseño.

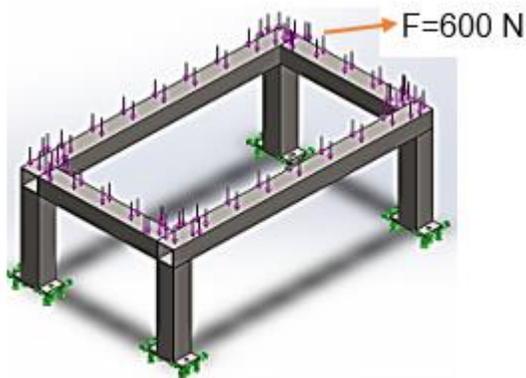


Figura 73. Base Jig de Espaldar

Se realizó tres tipos de análisis en un software CAD: tensión de Von Mises, primera tensión principal y desplazamiento total.

En la Figura 74, se observa la primera tensión principal, tiene las tensiones máximas en las esquinas de afuera y adentro de la base, esto se da por la unión de varios tubos estructurales, la tensión máxima es de 2.66 [MPa].

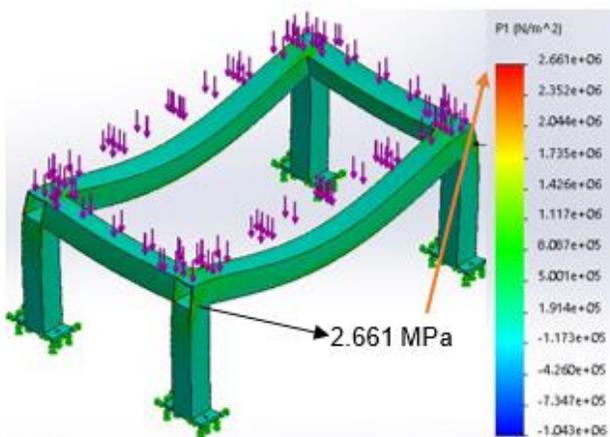


Figura 74. Primera tensión principal de la base del Jig

En la Figura 75, se muestra el desplazamiento total máximo, es de 0.008 [mm], se genera en la parte central de la base del Jig.

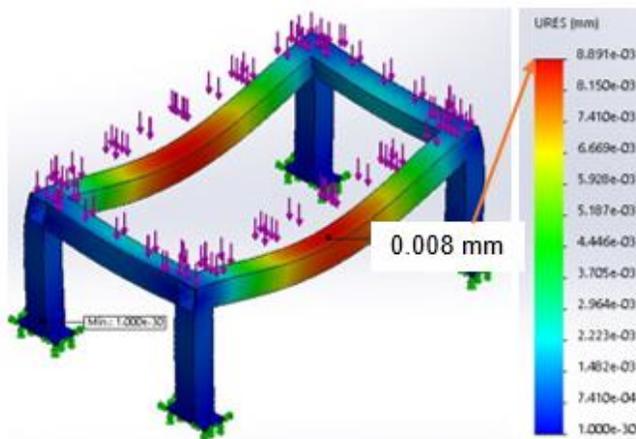


Figura 75. Desplazamiento total de la base del Jig

En la Figura 76, se muestra la tensión de Von Mises es el máximo esfuerzo que sufre un material, mediante la siguiente ecuación y con los datos de la Tabla 16. se comprueba que el diseño es aceptable.

$$\sigma_{vonMises} < \sigma_{\text{Límite elástico}}$$

$$6.058[\text{MPa}] < 250[\text{MPa}] \quad \text{El diseño no falla.}$$

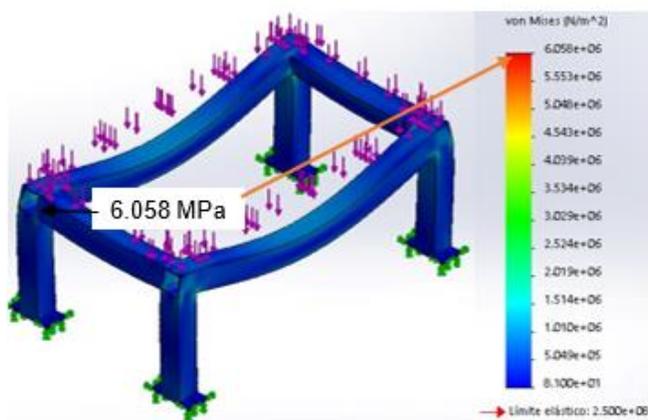


Figura 76. Tensión de Von Mises de la base del Jig

f. Análisis estático total del Jig de Espaldar

Finalizado el análisis estático de la base del Jig de Espaldar, se obtiene 41,48 [N] fuerza ejercida por el peso del Espaldar detallada en el literal b, la fuerza que ejercen los Clamps al momento de su cierre o bloqueo, que es de 1560 [N] como se muestra en la Tabla 11, se realizó el análisis estático del Jig de Espaldar, mediante un software de diseño CAD, se asumió un valor de fuerza de 2000 [N] para el análisis, este valor es mayor al calculado para verificar el diseño.

En la Figura 77, se muestra el Jig de Espaldar terminado y unido totalmente con suelda MIG manualmente, en el cual se realizó dos tipos de análisis mediante el software CAD a tensión principal y el desplazamiento total.

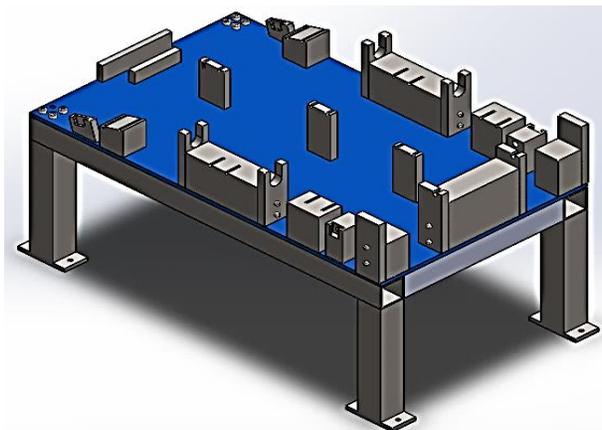


Figura 77. Jig de Espaldar

En la Figura 78, se muestra la primera tensión principal, se observa las tensiones máximas en las esquinas del Jig de Espaldar, éste valor de tensión es de 5.66 [MPa].

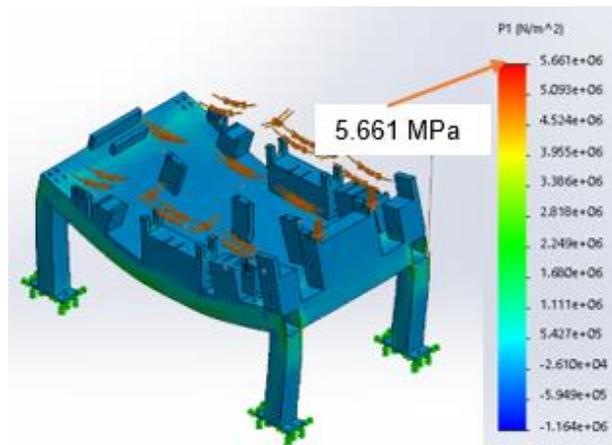


Figura 78. Primera Tensión principal del Jig de Espaldar

En la Figura 79, se muestra que el desplazamiento total generado es de 0.01 [mm], el mayor punto de flexión se encuentra en el soporte de varilla.

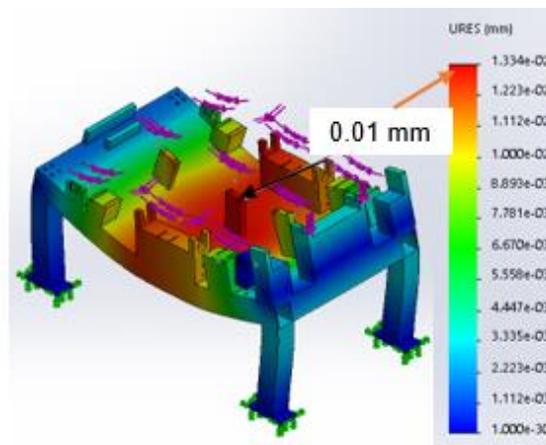


Figura 79. Desplazamiento total del Jig de Espaldar

2.2.2 Diseño del Jig de Cojín

a. Definición y partes del Cojín

El cojín es un tubo redondo de 1 [in] de diámetro, doblado en medidas específicas para tomar la forma en “U”, sirve para el reposo de la persona y tiene el mecanismo de reclinación del asiento.

El cojín de un asiento de bus interprovincial cuenta piezas metálicas las cuales están unidas mediante una soldadura MIG. En la Figura 80, se observa las partes del cojín: tubo tensor, y cremallera.

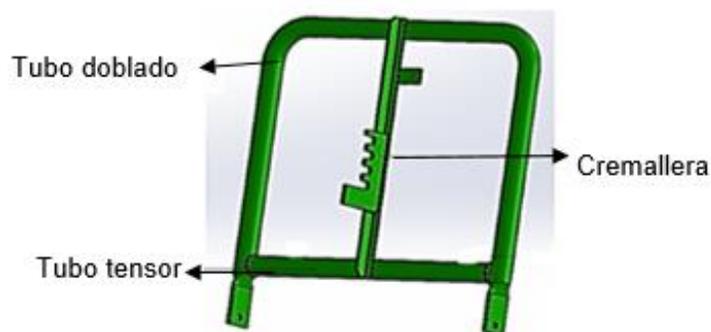


Figura 80. Partes del Cojín

b. Cálculo de fuerza ejercida debido al peso del Cojín

Mediante la siguiente ecuación, se calculó la fuerza ejercida sobre los apoyos de las piezas mecanizadas, por el peso del Cojín. El peso del Cojín es de 2.23 [kg].

$$W_c = m_c \cdot g$$

$$W_c = (2.23 \text{ Kg}) \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$W_c = 21.91 \text{ N}$$

W_c = Fuerza del peso del Cojín

m_c = Peso del Cojín

g = Gravedad

c. Diseño de las partes del Jig de cojín

A continuación, se detallan todas las partes necesarias para conformar el Jig de Cojín, las mismas que son:

- Porta tubo doblado y bocín

En la Figura 81, se muestra las dimensiones básicas y el ensamble de las partes entre: soporte de tubo, tope de tubo, soporte de bocín. La función de esta estructura es la de fijar el bocín y darle una guía al tubo doblado del cojín. En los Anexos B.1, B.2 y B.3 se detallan sus dimensiones.

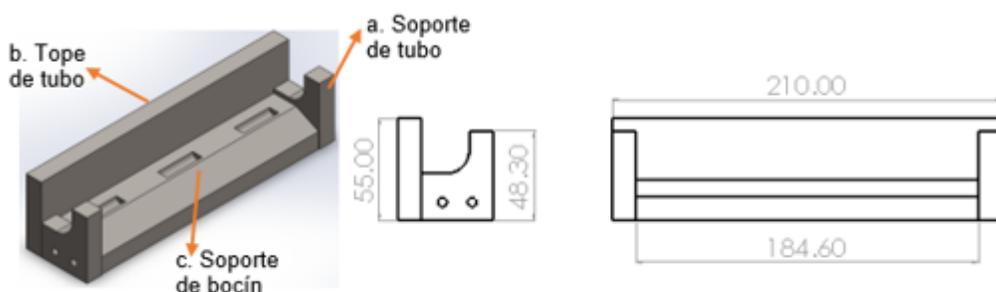


Figura 81. Dimensiones Soporte de tubo, tope de tubo, soporte de bocín

- **Porta tubo doblado**

En la Figura 82, se observa la unión de las partes como: soporte de tubo 1, tope de tubo 1, unión soporte tubo 1 y sus dimensiones. La función de esta estructura es guiar y fijar el tubo doblado de Cojín. En los Anexos B.4, B.5 y B.6 se detallan sus dimensiones.

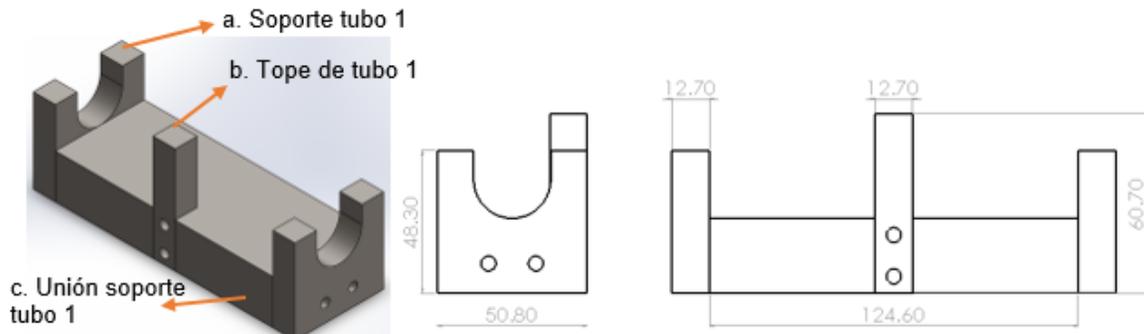


Figura 82. Dimensiones Soporte de tubo 1, tope de tubo 1, unión soporte tubo 1

- **Sujeta Cremallera**

En la Figura 83, se observa la unión de las partes: Tope cremallera, Asienta cremallera. La función de esta estructura es ubicar de forma correcta la cremallera, en los Anexos B.7 y B.8 se detallan sus dimensiones.

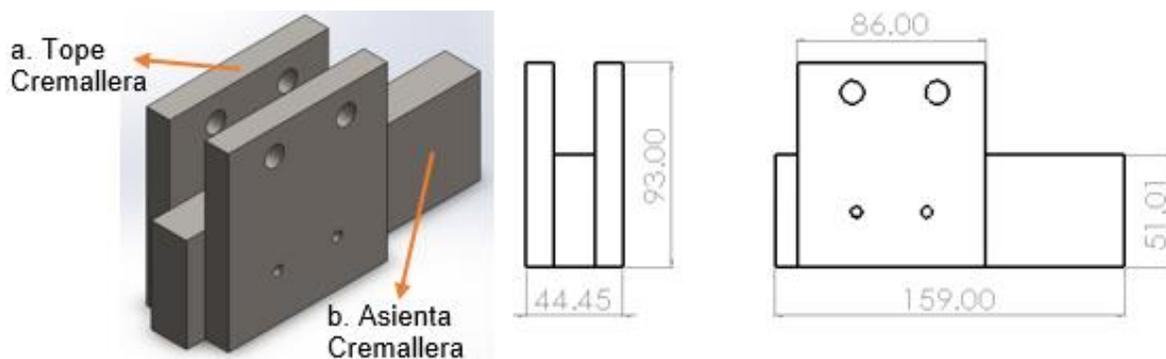


Figura 83. Tope cremallera, asienta cremallera y sus dimensiones.

- **Plancha de sujeción de cojín**

Es una placa de acero mecanizada con medidas especificadas del tamaño de la base del Cojín, sirve para la sujeción de las partes del Jig. En la Figura 84, se muestran sus dimensiones y en el Anexo B.9 las dimensiones totales.

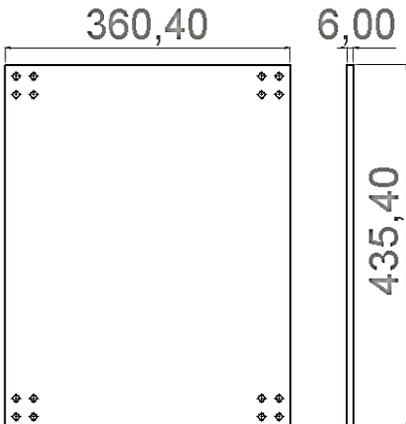


Figura 84. Dimensiones Plancha de sujeción de cojín

En conclusión, el Jig de Cojín tiene una altura máxima de 38 [cm] desde la mesa hasta la subestructura más larga, nos da un espacio de trabajo necesario para que el robot soldador pueda llegar a las distintas posiciones existentes. El ensamble completo de las partes del Jig de Cojín se muestra en el Anexo B.10.

d. Diseño de la base del Jig de Cojín

Las dimensiones de la base del Jig de son 435.4 [mm] de largo, 360.4 [mm] de ancho y 300 [mm] de alto más una platina de 8 [mm] para la sujeción con la mesa de apoyo. (Figura 85)

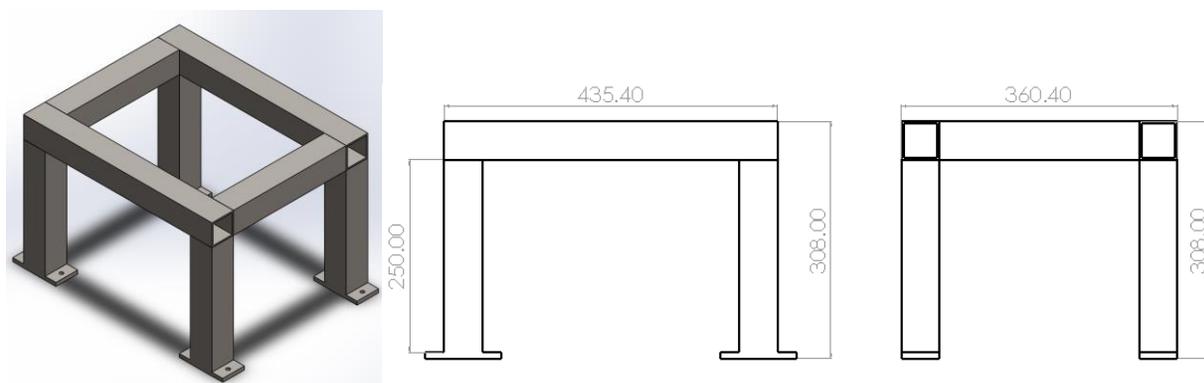


Figura 85. Dimensiones de la base del Jig de Cojín

e. Análisis estático de la base del Jig de Cojín

Siendo 204 [N] la fuerza total que ejercen las partes del Jig sobre la base del mismo (Anexos B.10). En la Figura 86, se muestra la base del Jig con sus posiciones fijas y la fuerza que se ejerce. Se asumió un valor de fuerza mayor al calculado para verificar la robustez del diseño.

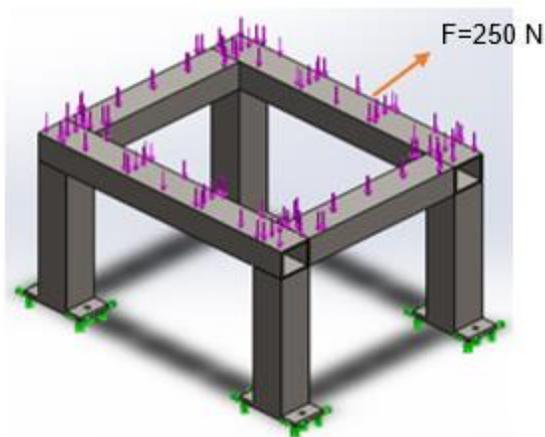


Figura 86. Base del Jig de Cojín

Se realizó tres tipos de análisis en un software CAD: tensión de Von Mises, primera tensión principal y desplazamiento total. En la Figura 87, se muestra la primera tensión principal, tiene las tensiones máximas en las uniones de los tubos de la base, la tensión máxima es de 0.42 [MPa].

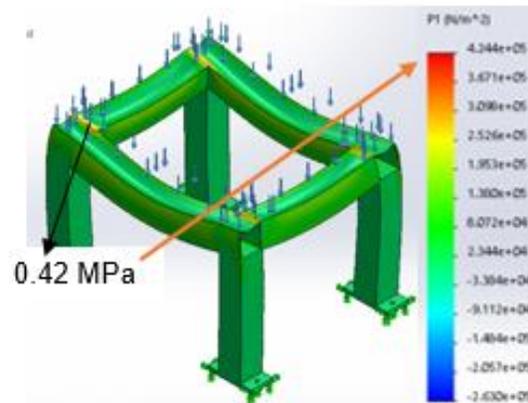


Figura 87. Primera tensión principal de la base del Jig de Cojín

En la Figura 88, se muestra el desplazamiento total de 0.0008 [mm], ocurre en la parte central de tubo largo de la base del Jig.

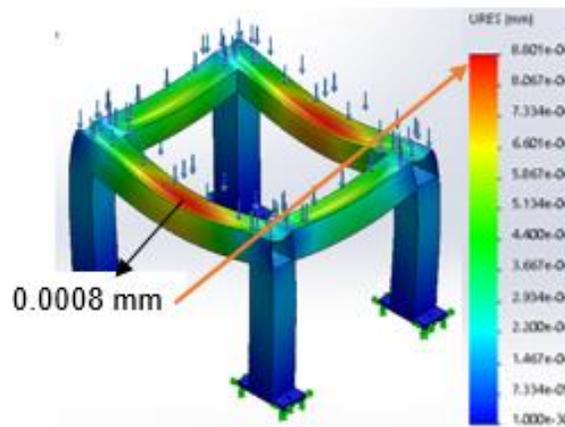


Figura 88. Desplazamiento total del Jig de Cojín

En la Figura 89, se muestra la tensión de Von Mises, que es el máximo esfuerzo que sufre un material. Mediante la siguiente ecuación se comprueba que el diseño es aceptable.

$$\sigma_{vonMises} < \sigma_{\text{Límite elástico}}$$

$$1.24[MPa] < 250[MPa]$$

El diseño no falla.

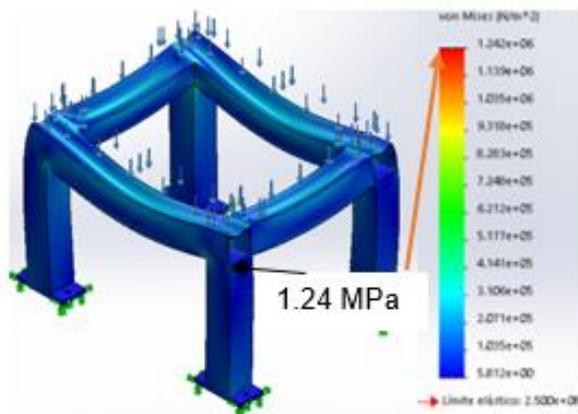


Figura 89. Tensión de Von Mises de la base del Jig de Cojín

f. Análisis estático total del Jig de Cojín

Finalizado el análisis estático de la base del Jig de Cojín, se utiliza el valor de 21.91 [N] fuerza ejercida por el peso del Cojín detallada en el literal b, la fuerza que ejercen los Clamps al momento de su cierre o bloqueo, que es de 1560 [N] como se muestra en la Tabla 11. Se realizó el análisis estático del Jig de Cojín, mediante un software de diseño CAD, se asumió un valor de fuerza de 2000 [N] para el análisis, este valor es mayor al calculado para verificar el diseño.

En la Figura 90, se muestra el Jig de Cojín terminado y unido totalmente con suelda MIG manualmente, en el cual se realizó tres tipos de análisis mediante un software CAD, la tensión principal y el desplazamiento.

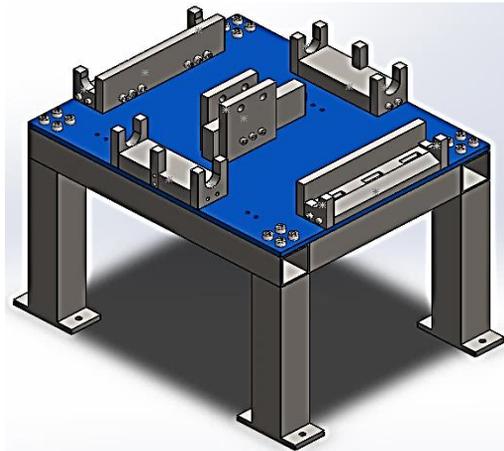


Figura 90. Jig de Cojín

En la Figura 90, se observa la primera tensión principal, se observa las tensiones máximas en los soportes del tubo del Jig de Cojín, esta tensión es de 0.79 [MPa].

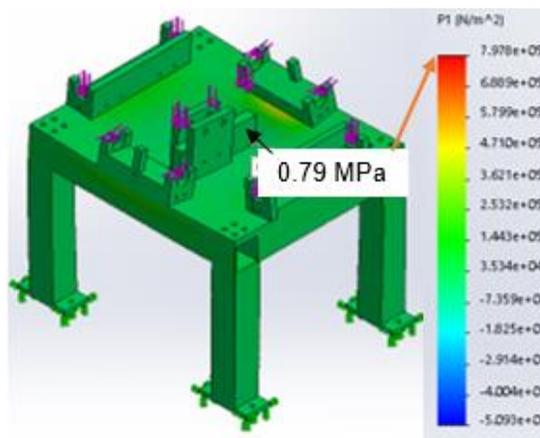


Figura 91. Primera tensión principal del Jig de Cojín

En la Figura 92, se observa el desplazamiento total es de 0.001 [mm], este desplazamiento ocurre en el centro del Jig. El valor no afecta a la ubicación espacial del brazo robótico.

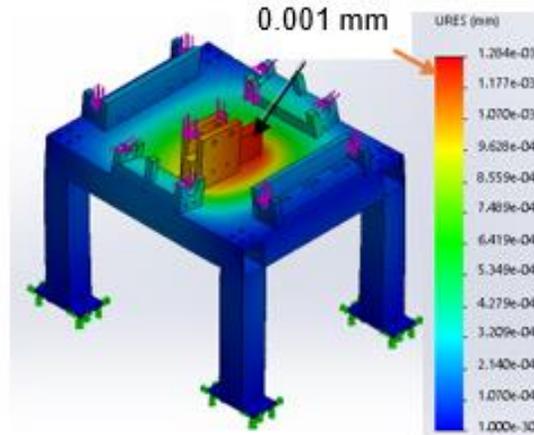


Figura 92. Desplazamiento total del Jig de Cojín

2.2.3 Diseño del Jig de Codera

a. Definición y partes de la Codera

La codera tiene dos tipos: codera móvil y central. Son tubos doblados en medidas específicas, la codera móvil toma la forma de una “L”, la codera central tiene la misma forma que la móvil, pero presenta un corte que beneficia el ensamble total.

La codera móvil derecha e izquierda sirve para apoyar el brazo de la persona y tener más comodidad, la codera central sirve como separación de los espaldares, contiene piezas soldadas a una distancia específica dependiendo de los diseños de la empresa. En la Figura 93, se observa las partes de la codera móvil: tubo de codera, platina de codera, platina codera circular y refuerzo. En la Figura 94, se observa las partes constitutivas de la codera móvil central: tubo de codera central y refuerzo.

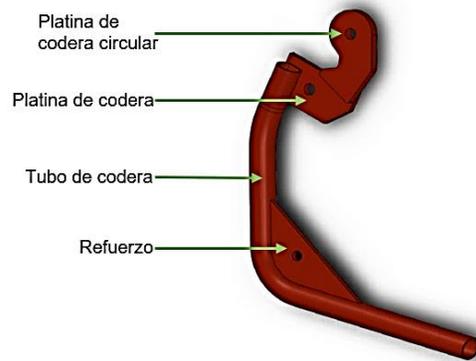


Figura 93. Codera móvil

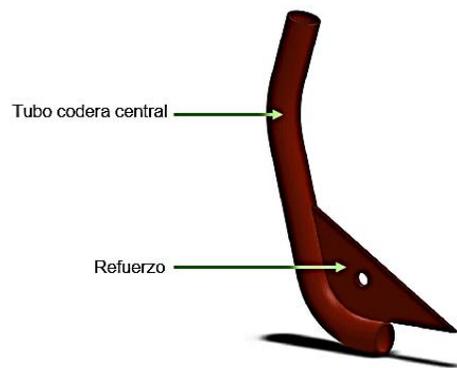


Figura 94. Codera móvil central

b. Cálculo de fuerza ejercida debida al peso del Cojín

Mediante la siguiente ecuación, se calculó la fuerza ejercida en los apoyos de las partes mecanizadas por el peso de cada codera, el peso de la codera móvil derecha e izquierda es de 1.18 [kg] y la codera móvil central es de 0.49 [kg].

$$W_{co}(\text{Codera Móvil Der e Izq}) = 2 * m_{co} \cdot g$$

$$W_{co} = 2 * (1.18 \text{ Kg}) \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$W_{co} = 21,91 \text{ N}$$

W_{co} = Fuerza del peso de la codera móvil

m_E = Peso de la Codera móvil

g = Gravedad

$$W_{coc}(\text{Codera Móvil Central}) = m_{coc} \cdot g$$

$$W_{coc} = (0.49 \text{ Kg}) \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$W_{coc} = 4.81 \text{ N}$$

W_{coc} = Fuerza del peso de la codera central

m_{coc} = Peso de la codera central

g = Gravedad

c. Diseño de las partes del Jig de la Codera

Las partes constitutivas del Jig de Codera son:

- **Soporte tubo codera**

En la Figura 95, se muestra la unión de partes como: Soporte de codera, Unión de soportes codera. La función de esta estructura es la de guiar y asentar el tubo de codera.

En los Anexos C.1 y C.2 se detallan sus dimensiones.

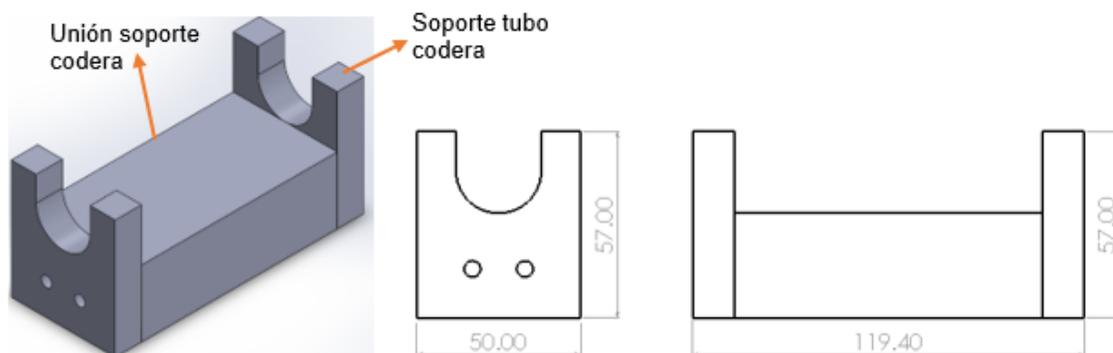


Figura 95. Soporte de codera, unión de soportes codera y sus dimensiones

- **Soporte refuerzo**

Es una parte de acero que sirve para fijar el refuerzo de cinturón en la codera al momento de la soldadura, se usan tres estructuras en el Jig. En la Figura 96 sus dimensiones básicas y en el Anexo C.3 se detallan sus dimensiones.

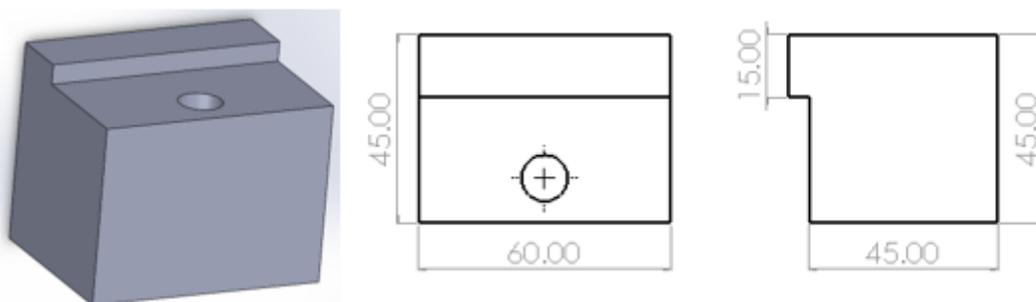


Figura 96. Dimensiones Soporte refuerzo

- **Soporte Platina codera**

Es un bloque mecanizado que sirve para asentar, guiar y permanecer estática la platina codera al momento de la soldadura, se usa dos estructuras en el Jig, se muestra en la Figura 97 sus dimensiones básicas, en el Anexo C.4 se detallan sus dimensiones.

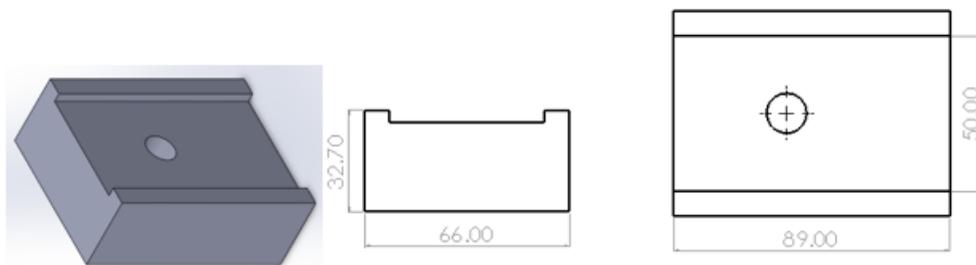


Figura 97. Dimensiones Soporte platina codera

- **Soporte Platina codera circular**

Es un bloque mecanizado que sirve para asentar, guiar y permanezca estática la platina codera circular al momento de la soldadura, se usan dos estructuras en el Jig, se muestra en la Figura 98 sus dimensiones básicas en el Anexo C.5 se detallan sus dimensiones.

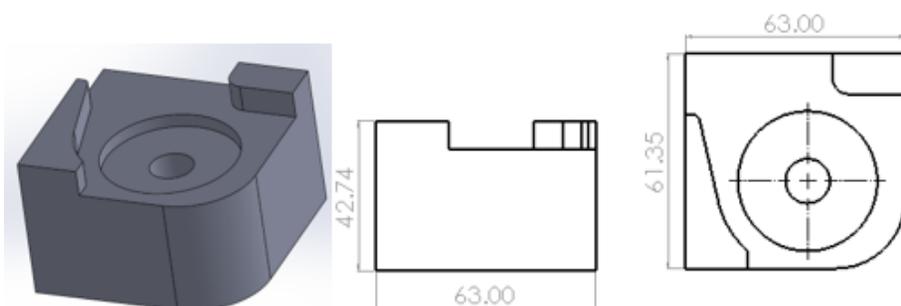


Figura 98. Dimensiones Soporte codera circular

- **Soporte de codera central**

Es un bloque mecanizado que sirve guiar el tubo central en el momento de la soldadura, se muestra en la Figura 99 sus dimensiones básicas y en el Anexo C.6 se detallan sus dimensiones.

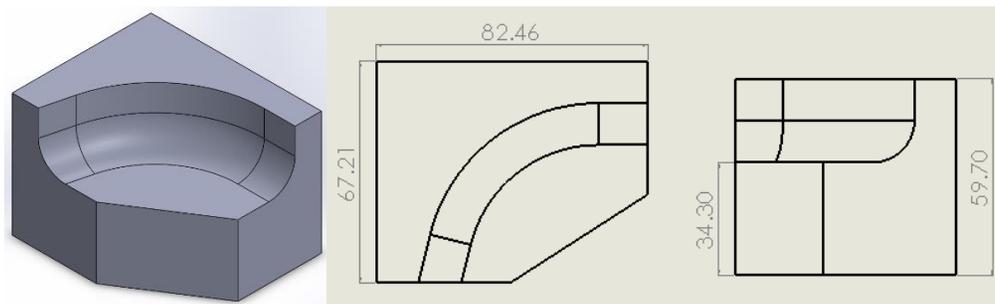


Figura 99. Dimensiones Soporte Platina codera circular

- **Soporte tubo central**

Es una placa mecanizada que sirve para asentar, guiar al tubo y lo mantiene estático para el momento de la soldadura, se usan dos estructuras en el Jig, se muestra en la Figura 100 sus dimensiones básicas y en el Anexo C.7 se detallan sus dimensiones.

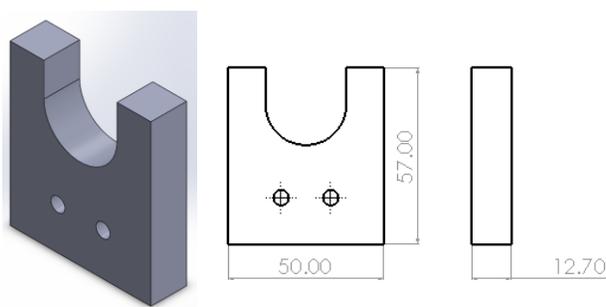


Figura 100. Dimensiones Soporte tubo central

- **Plancha de sujeción de codera**

Es una placa de acero mecanizada con medidas especificadas del tamaño de la codera, sirve para la sujeción de las partes del Jig, en la Figura 101 se muestran sus dimensiones. (Anexo C.8)

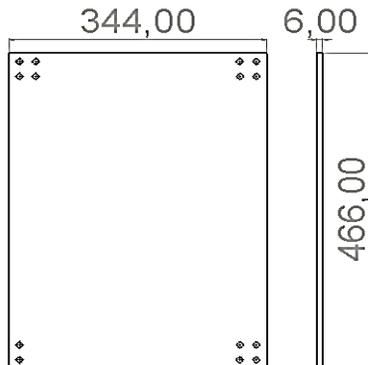


Figura 101. Dimensiones Plancha de sujeción de codera

En conclusión, el Jig de Codera tiene una altura máxima de 35 [cm] desde la mesa hasta la subestructura más larga, nos da un espacio de trabajo necesario para que el robot soldador pueda llegar a las distintas posiciones existentes. El ensamble completo de las partes del Jig de Codera se muestra en el Anexo C.9.

d. Análisis estático de la base del Jig de Codera

Las dimensiones de la base del Jig de son 466 [mm] de largo, 344 [mm] de ancho y 300 [mm] de alto más una platina de 8 [mm] para la sujeción con la mesa de apoyo. (Figura 102)

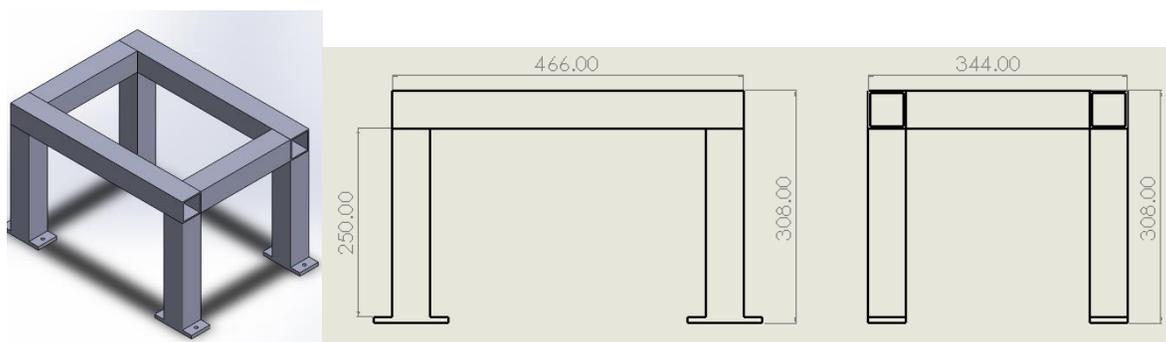


Figura 102. Dimensiones de la base del Jig de Codera

e. Análisis estático de la base Jig de Codera

Siendo 235 [N] la fuerza total que ejercen las partes del Jig sobre la base del mismo (Anexos C.9). En la Figura 103, se muestra la base del Jig con sus posiciones fijas y la fuerza que se ejerce. Se asumió un valor de fuerza mayor al calculado para verificar la robustez del diseño.

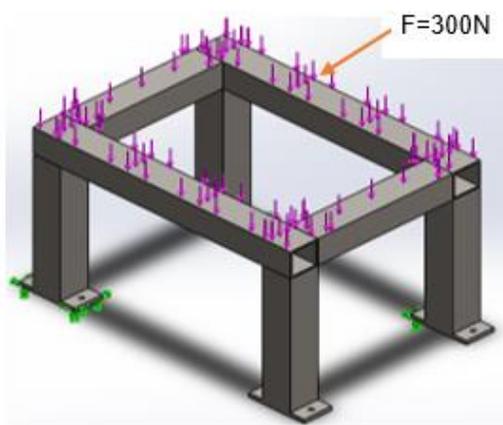


Figura 103. Base del Jig de Codera

Se realizó cuatro tipos de análisis en un software CAD: tensión de Von Mises, primera tensión principal y desplazamiento total.

En la Figura 104, se observa la primera tensión principal, tiene las tensiones máximas en las uniones del tubo largo y el corto de la base, la tensión máxima es de 0.455 [MPa].

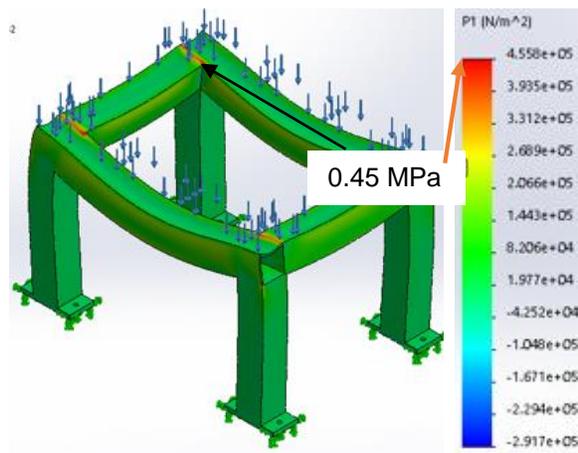


Figura 104. Primera tensión principal del Jig de Codera

En la Figura 105, se observa el desplazamiento total, que es de 0.001 [mm], es mínimo como para que ocurra un desplazamiento de los tubos largos y cortos, por eso se tiene un diseño aceptable y con robustez máxima.

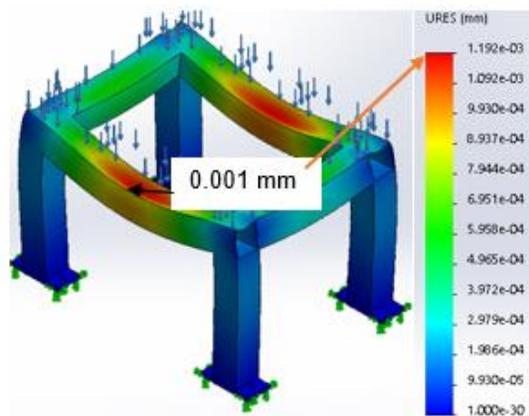


Figura 105. Desplazamiento total de la base del Jig de Codera

En la Figura 106, se observa la tensión de Von Mises, que es el máximo esfuerzo que sufre un material. Mediante la siguiente ecuación se comprueba que el diseño es aceptable.

$$\sigma_{vonMises} < \sigma_{\text{Límite elástico}}$$

$$1.53[\text{MPa}] < 250[\text{MPa}]$$

El diseño no falla.

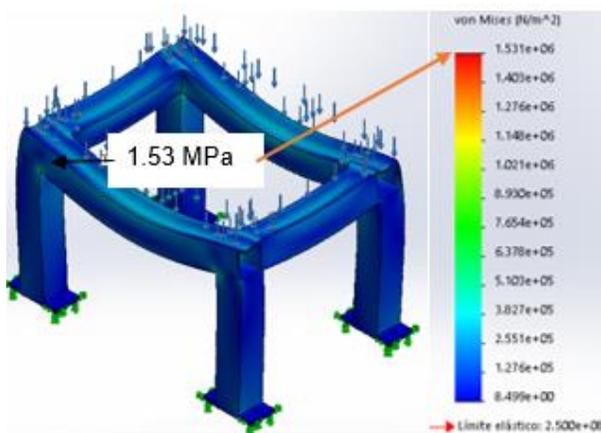


Figura 106. Esfuerzo de Von Mises de la base del Jig de Codera

f. Análisis estático total del Jig de Codera

Finalizado el análisis estático de la base del Jig de Codera, se utiliza el valor de 26.72 [N] fuerza ejercida por el peso del Codera detallada en el literal b más la fuerza que ejercen los Clamps al momento de su cierre o bloqueo, que es de 1560 [N] como se muestra en la Tabla 11. Se realizó el análisis estático del Jig de Codera, mediante el software CAD, se asumió un valor de fuerza de 2000 [N] para el análisis, este valor es mayor al calculado para verificar el diseño.

El Jig de Codera terminado y unido totalmente con soldadura MIG, se observa en la Figura y se obtuvo tres tipos de análisis mediante el software CAD, la tensión principal, el desplazamiento y el factor de seguridad.

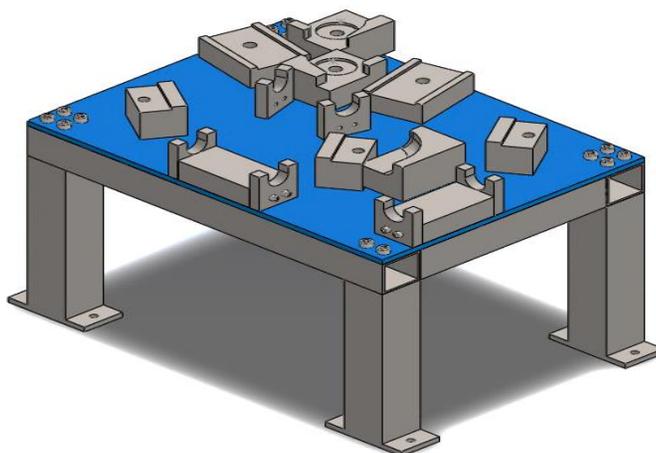


Figura 107. Jig de Codera

En la Figura 108, se observa la primera tensión principal, se observa las tensiones máximas en los soportes del tubo de pata del Jig de Codera, esta tensión es de 0.251 [MPa].

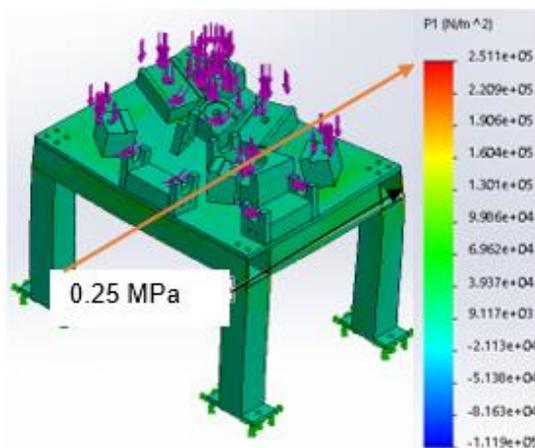


Figura 108. Primera tensión principal del Jig de Codera

En la Figura 109, se observa el desplazamiento total es de 0.0007 [mm], pero es mínimo como para que ocurra un desplazamiento de las subestructuras del Jig, por eso se tiene un diseño aceptable y con robustez máxima.

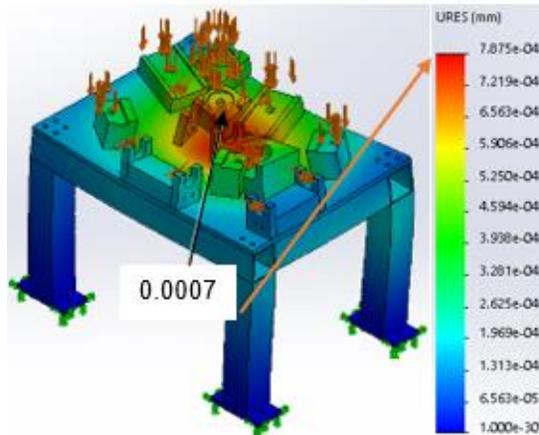


Figura 109. Desplazamiento total del Jig de Codera

2.2.4 Diseño del Jig de Pata

a. Definición y partes de la Pata

Existen 2 tipos de pata de acuerdo al requerimiento del cliente: pata de dos puntos y tres puntos con respecto al cinturón de seguridad. Son tubos doblados en ángulos específicos y troquelados en su totalidad, los tubos están unidos mediante dos platinas, sirve para el reposo de la base del matrimonio y soporte de toda la estructura del asiento de bus.

La pata de tres puntos tiene pata derecha e izquierda y viene con ciertas piezas las cuales están unidas mediante una soldadura MIG a distancias especificadas dependiendo de los diseños de la empresa. En la Figura 110 se observa las partes de la pata izquierda de tres puntos: platina asiento, platina base, tubo posterior, tubo frontal y soporte cinturón 3p, en la Figura 111 se observa las partes de la pata derecha de tres puntos: platina asiento, platina base, tubo posterior, tubo frontal y soporte cinturón 3p.

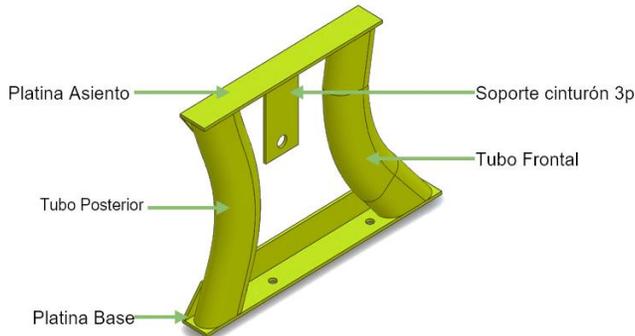


Figura 110. Pata izquierda de tres puntos

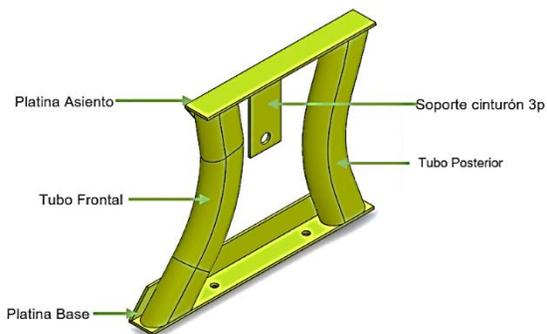


Figura 111. Pata derecha de tres puntos

b. Cálculo de fuerza ejercida debida al peso del Cojín

Mediante la siguiente ecuación se obtuvo fuerza ejercida sobre los apoyos en las partes mecanizadas, por la pata izquierda y derecha de tres puntos. El peso es de 1.85 [kg].

$$W_{pid} = 2 * m_{pid} \cdot g$$

$$W_{pid} = 2 * (1.85 \text{ Kg}) \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$W_{co} = 36.42 \text{ N}$$

W_{pid} = Fuerza del peso de la pata

m_{pid} = Peso de la pata

g = Gravedad

c. Diseño de las partes del Jig de Pata derecha e izquierda

Para el diseño de las partes del Jig de Pata se utilizó modelos existentes para asegurar la geometría de las subestructuras. Las partes del mismo son:

- Tope Externo

Es una pieza de acero mecanizada que permite que todos los elementos no sobrepasen sus límites y permanezcan estáticas, se usan cuatro estructuras en el Jig. En la Figura 112 sus dimensiones básicas y en el Anexo D.1 se detallan sus dimensiones.

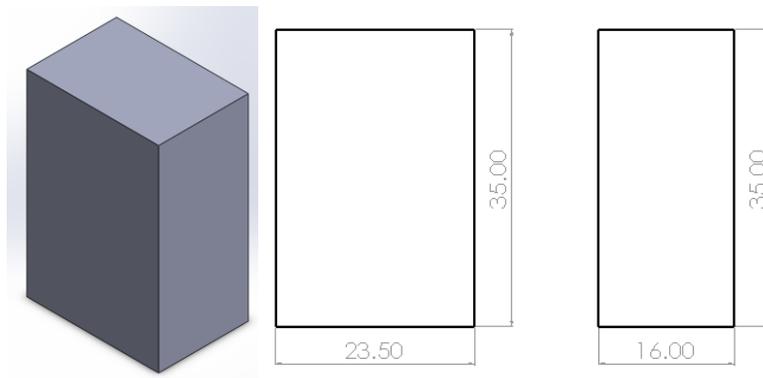


Figura 112. Dimensiones Tope externo

- Tope Interno superior

Es una placa mecanizada que sirve para que la platina asiento no sobrepase su límite, permanezca estática y no tope con la otra platina asiento, se muestra en la Figura 113 sus dimensiones básicas, en el Anexo D.2 se detallan sus dimensiones.



Figura 113. Dimensiones Tope interno superior

- **Tope Interno inferior**

Al igual que la anterior, sirve para que la platina base no sobrepase su límite, permanezca estática y no tope con la otra platina base, se muestra en la Figura 114 sus dimensiones básicas, en el Anexo D.3 se detallan sus dimensiones.

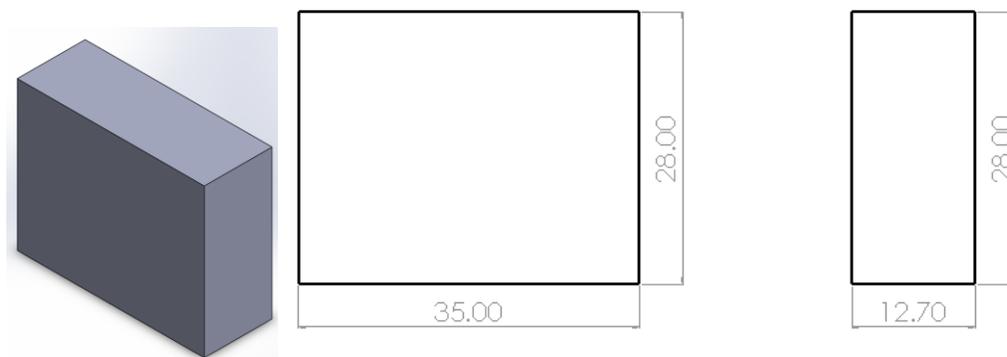


Figura 114. Dimensiones Tope Interno inferior

- **Tope superior e inferior**

Es una placa mecanizada que sirve para que la platina asiento y base no sobrepase su límite y permanezca estática, se usan cuatro estructuras en el Jig, se

muestra en la Figura 115 sus dimensiones básicas, en el Anexo D.4 se detallan sus dimensiones.

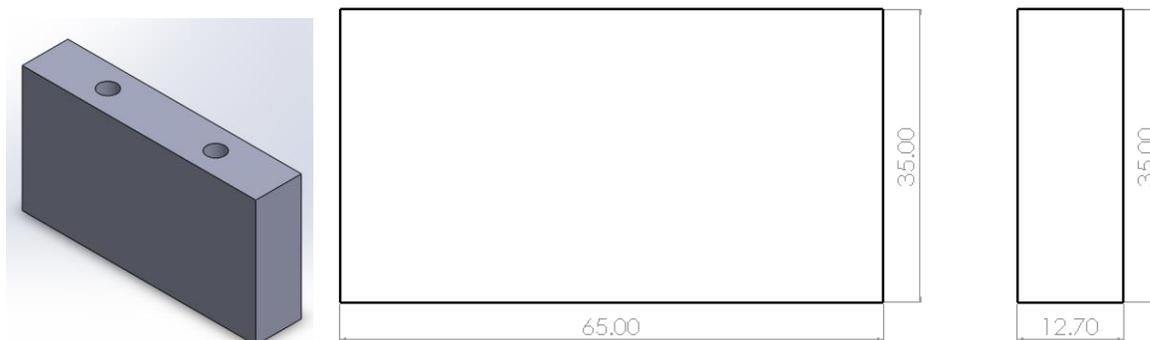


Figura 115. Dimensiones Tope superior e inferior

- **Tope Externo superior**

Es una placa mecanizada que sirve para que el tubo frontal la platina asiento y base no sobrepase su límite y permanezca estático, se usan dos estructuras en el Jig. En la Figura 116 sus dimensiones básicas y en el Anexo D.5 se detallan sus dimensiones.

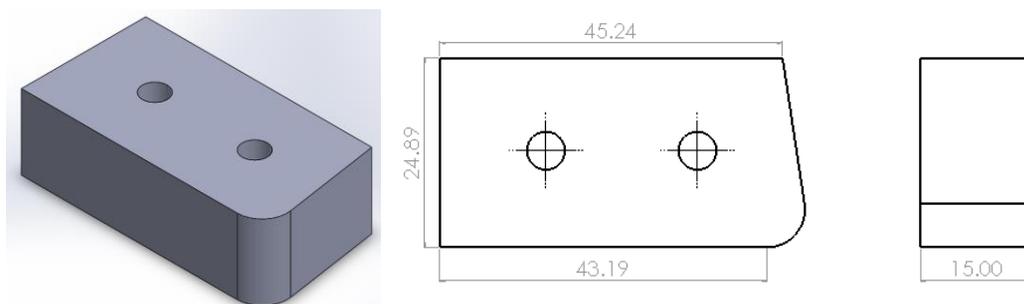


Figura 116. Dimensiones Tope externo superior

- **Tope Externo inferior**

Es una placa mecanizada que sirve para que el tubo frontal no sobrepase su límite y permanezca estático, se usan dos estructuras en el Jig, se muestra en la Figura 117 sus dimensiones básicas, en el Anexo D.6 se detallan sus dimensiones.

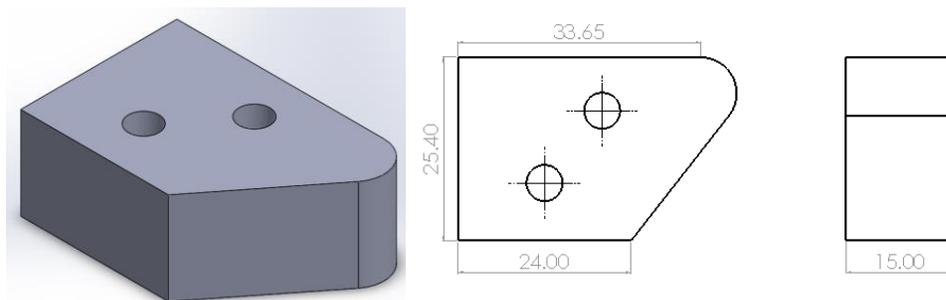


Figura 117. Dimensiones Tope Externo inferior

- **Tope Centro superior**

Es una placa mecanizada que sirve para que el tubo posterior no sobrepase su límite y permanezca estático, se muestra en la Figura 118 sus dimensiones básicas, en el Anexo D.7 se detallan sus dimensiones.

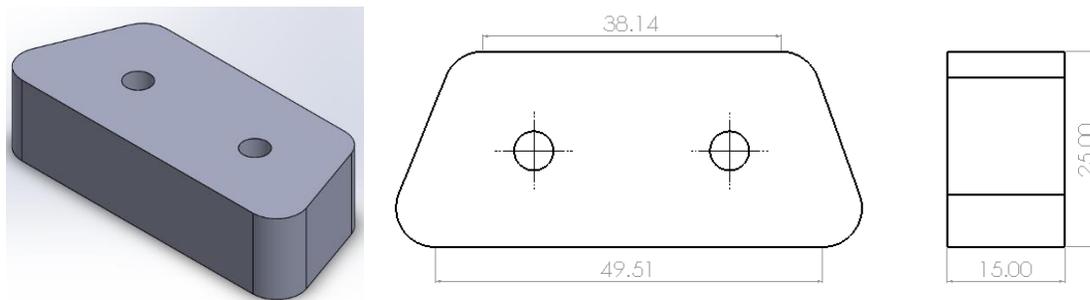


Figura 118. Dimensiones Tope Centro superior

- **Tope Centro inferior**

Es una placa mecanizada que sirve para que el tubo inferior no sobrepase su límite y permanezca estático, se muestra en la Figura 119 sus dimensiones básicas, en el Anexo D.8 se detallan sus dimensiones.

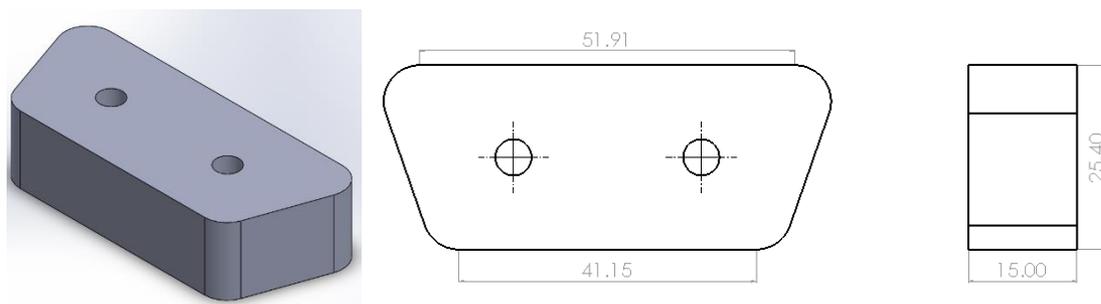


Figura 119. Dimensiones Tope Centro inferior

- **Soporte cinturón de tres puntos**

Es una placa mecanizada que sirve para que la platina de cinturón de tres puntos este guiada y asentada para el momento de la soldadura, se usan dos estructuras en el Jig, se muestra en la Figura 120 sus dimensiones básicas en el Anexo D.9 se detallan sus dimensiones.

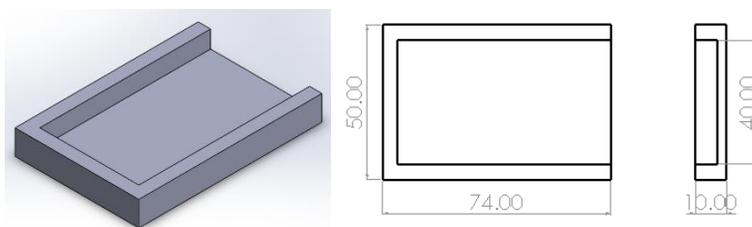


Figura 120. Dimensiones Soporte cinturón de tres puntos.

- **Plancha de sujeción de pata**

Es una placa de acero mecanizada con medidas especificadas del tamaño de la pata, sirve para la sujeción de las partes del Jig, se muestra en la Figura 121 sus dimensiones. (Anexo D.10)

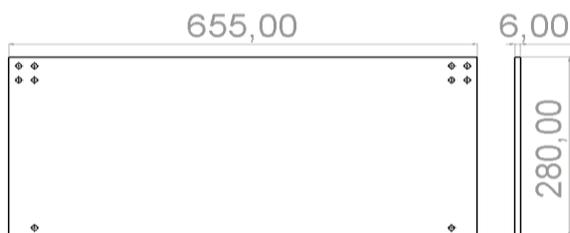


Figura 121. Dimensiones Plancha de sujeción de pata

En conclusión, el Jig de Pata tiene una altura máxima de 30 [cm] desde la mesa hasta la subestructura más larga, nos da un espacio de trabajo necesario para que el robot soldador pueda llegar a las distintas posiciones existentes.

d. Diseño de la base del Jig de Pata

Las dimensiones de base de Jig de pata son 655 [mm] de largo, 288 [mm] de ancho y una altura de 300 [mm] mas 8 [mm] de la platina para sujeción con la plancha. (Figura 122)

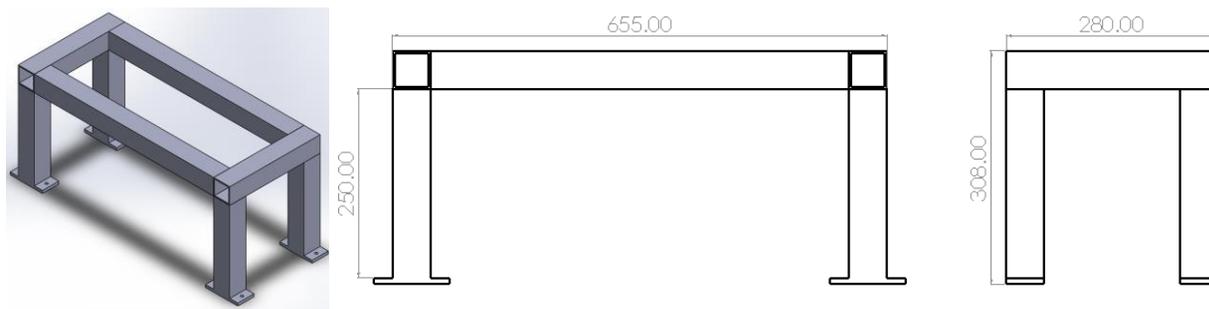


Figura 122. Dimensiones de los tubos de la base del Jig

e. Análisis estático de la base del Jig de Pata

Siendo 175 [N] la fuerza total que ejercen las partes del Jig sobre la base del mismo (Anexos D.11). En la Figura 123, se muestra la base del Jig con sus posiciones fijas y la fuerza que se ejerce. Se asumió un valor de fuerza mayor al calculado para verificar la robustez del diseño.

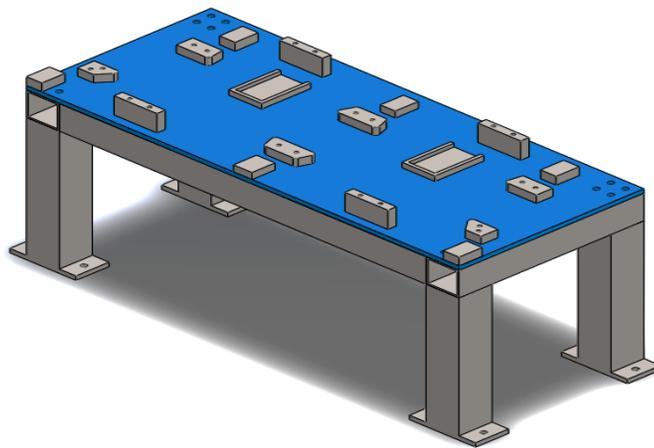


Figura 123. Jig de Pata

Se realizó dos tipos de análisis en el software CAD: Primera tensión principal y desplazamiento total. En la Figura 124, se observa la primera tensión principal, tiene las tensiones máximas en las uniones del tubo largo y el corto de la base, esta tensión máxima es de 0.264 [MPa].

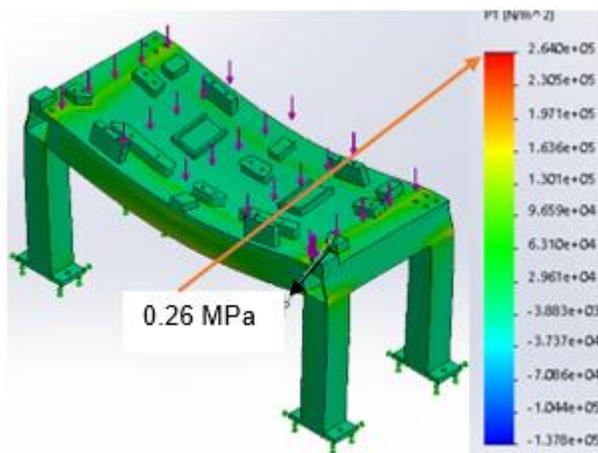


Figura 124. Primera tensión principal del Jig de Pata

En la Figura 125, se observa el desplazamiento total es de 0.001 [mm], pero es mínimo como para que ocurra un desplazamiento de los tubos largos y cortos, por eso se tiene un diseño aceptable y con robustez máxima.

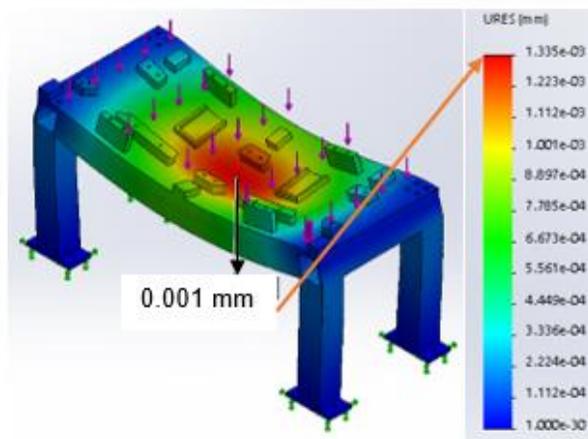


Figura 125. Desplazamiento total del Jig de Pata

2.2.5 Diseño del Jig de Matrimonio

El diseño del Jig se realizó de las dimensiones de la base del matrimonio y de las alturas de las coderas, para así poder conocer el espacio de trabajo e implementarlo de manera óptima.

a. Definición y partes de la Matrimonio

El matrimonio tiene la forma de un asiento de bus interprovincial, tiene dos tipos: matrimonio izquierdo y derecho. Es la estructura base de todo el asiento está unido a las coderas móviles y central, en la base va asentado en cojín.

En la Figura 126, se muestra las partes del matrimonio izquierdo y en la Figura 127 el derecho, las cuales están unidas mediante una soldadura MIG a distancias especificadas dependiendo de los diseños de la empresa.

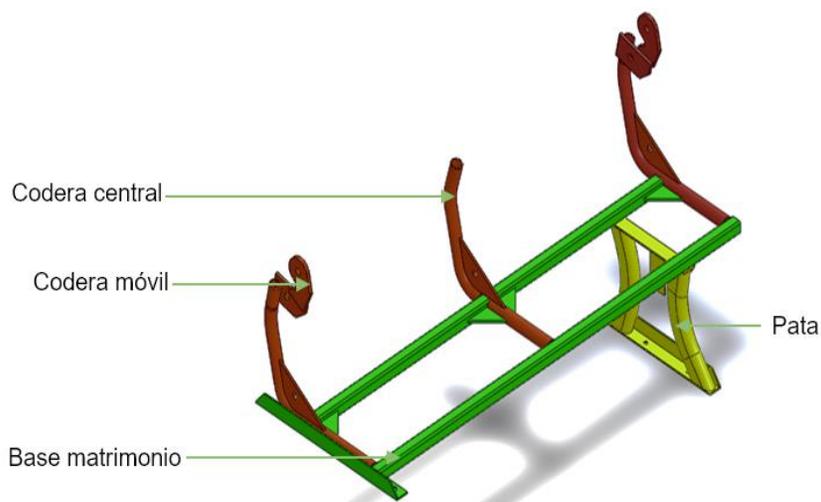


Figura 126. Matrimonio izquierdo

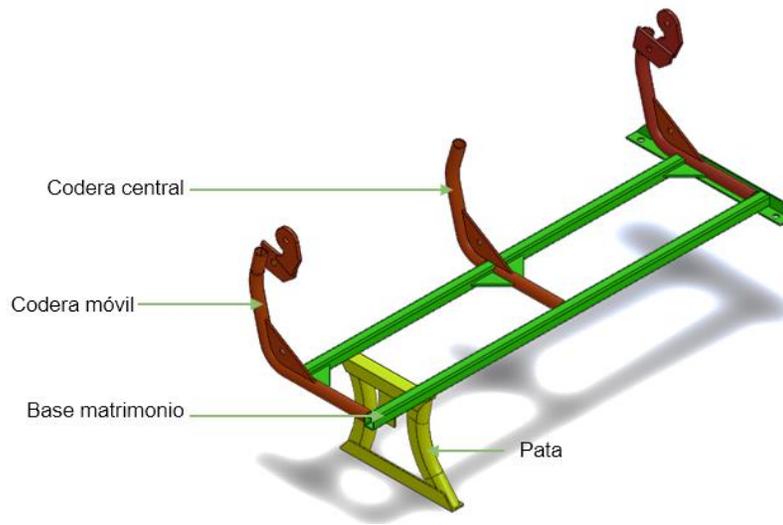


Figura 127. Matrimonio derecho

b. Cálculo de fuerza ejercida debida al peso del Cojín

Mediante la siguiente ecuación se obtuvo la fuerza que ejerce el peso sobre la estructura del matrimonio derecho e izquierdo, el peso es de 6.54 [kg].

$$W_m = m_m \cdot g$$

$$W_m = (6.54 \text{ Kg}) \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$W_m = 64.22 \text{ N}$$

W_m = Fuerza del peso del matrimonio

m_m = Peso del matrimonio

g = Gravedad

c. Diseño de las partes del Jig de Matrimonio

Las partes para el diseño de las partes del Jig de matrimonio son:

- **Perfil coderas**

Es un perfil de acero estructural que sirve para el tope y guía de las coderas móviles y central, se usan cuatro perfiles en el Jig. En la Figura 128, se detallan las dimensiones básicas y en el Anexo E.1 se detallan sus dimensiones.



Figura 128. Dimensiones Perfil coderas

- **Perfil tubo base**

Es un perfil de acero estructural ASTM A36, sirve de tope y guía de la base del matrimonio, se usan cuatro perfiles en el Jig, se muestra en la Figura 129 sus dimensiones básicas y en el Anexo E.2 se detallan sus dimensiones.

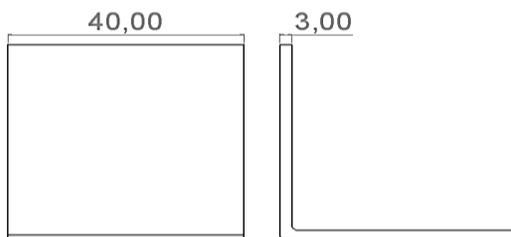


Figura 129. Dimensiones perfil tubo base

- **Perfil nivel**

Es la unión de dos platinas para crear un perfil de acero estructural ASTM A36, sirve de tope, guía y nivel de la base del Jig del matrimonio, se usan cuatro estructuras en el Jig. En la Figura 130 sus dimensiones básicas y en el Anexo E.3 se detallan sus dimensiones.

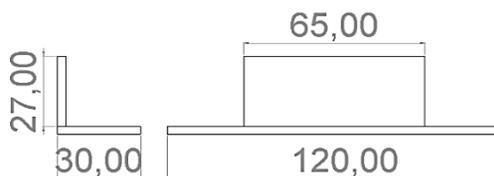


Figura 130. Dimensiones Perfil nivel

En conclusión, el Jig de Matrimonio tiene una altura máxima de 55 [cm] desde la mesa hasta la subestructura más larga, nos da un espacio de trabajo necesario para que el robot soldador pueda llegar a las distintas posiciones existentes.

d. Diseño de la base del Jig del Matrimonio

La base del Jig de Matrimonio tiene forma de rectángulo, consta de un tubo largo base de matrimonio de 1067 [mm], un tubo ancho base de matrimonio de 381 [mm] (Figura 131).

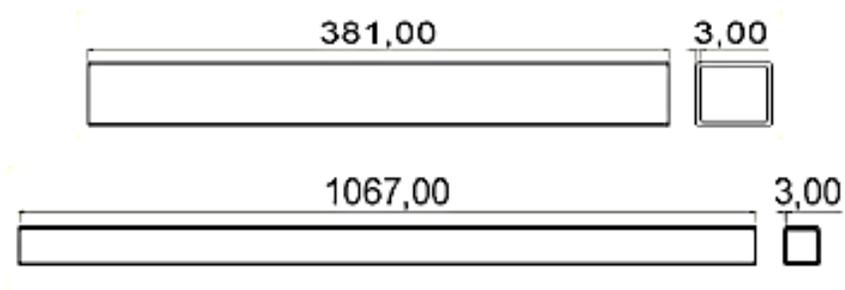


Figura 131. Dimensiones tubos de la base del Jig

e. Análisis estático del Jig de Matrimonio

Obtenido el peso total de la base del Jig de Matrimonio que es de 77 [N] (Ver Anexos E.4), se realizó el análisis estático de la base del Jig de Matrimonio. En la Figura 132, se muestra la base del Jig con sus posiciones fijas y la fuerza que se ejerce.

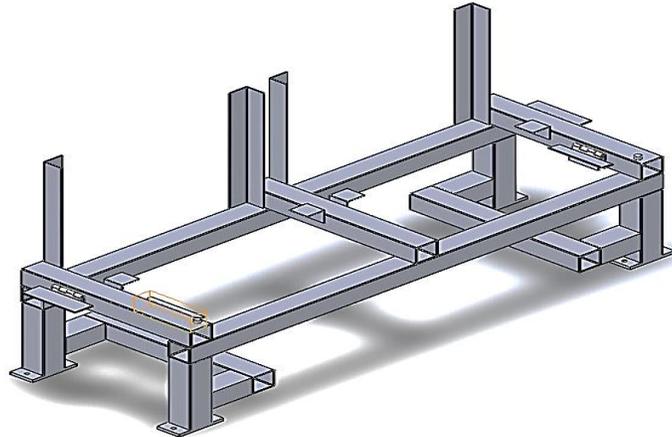


Figura 132. Jig de Matrimonio

Se obtuvo dos tipos de análisis en el software CAD: Primera tensión principal y desplazamiento total.

En el Figura 133, se observa la primera tensión principal, se observa las tensiones máximas en las uniones del tubo ancho donde se asienta la pata, esta tensión máxima es de 7.56 [MPa].

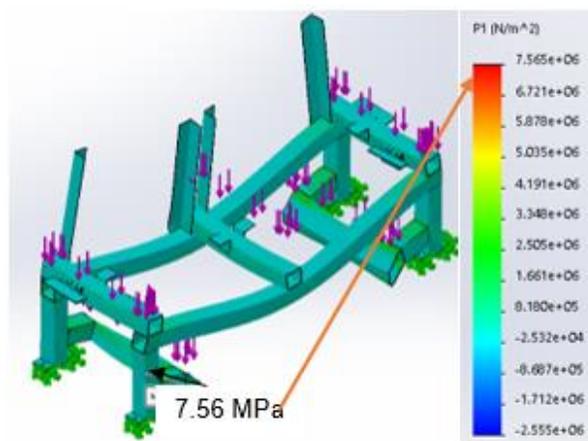


Figura 133. Primera tensión principal del Jig de Matrimonio

En el Figura 134, se observa el desplazamiento total es de 0.016 [mm], pero es mínimo como para que ocurra un desplazamiento de los tubos largos y cortos, por eso se tiene un diseño aceptable y con robustez máxima.

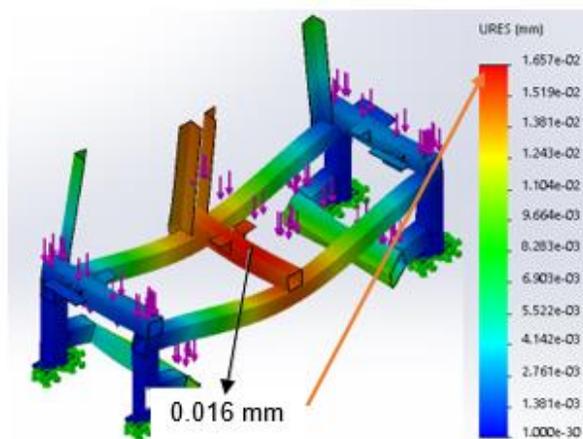


Figura 134. Desplazamiento total del Jig de Matrimonio

2.3 Diseño mecánico de la base de los Clamps manuales

Se hace referencia al capítulo 1, para recordar la definición de los Clamps manuales los cuales sirven para mantener las piezas estáticas al momento de la soldadura MIG robotizada.

La empresa MIVILTECH S.A. proporcionó los Clamps manuales Destaco 307 USS, por los resultados eficaces obtenidos anteriormente en estaciones similares y por el costo económico.

Para la fabricación de las estructuras metálicas se utilizó el material Acero estructural ASTM A36, la empresa MIVILTECH S.A. proporcionó el material por sus características detalladas en la Tabla 16.

- **Diseño de la base de los Clamps Destaco 307 USS**

Se tienen Clamps en los diferentes Jigs para poder mantener estáticas las piezas a soldar, pero en el Jig de Matrimonio no fue necesario utilizar, porque ya se mantiene estático, el diseño de la base se realizó dependiendo de la altura de las diferentes piezas, ya que el Clamp utilizado se adapta a diferentes alturas.

Se utilizó acero estructural ASTM A36 de 50 x 50 [mm] por 3 [mm] de espesor y platinas de 80 [mm] de largo, están unidos mediante soldadura MIG, el material fue proporcionado por la empresa MIVILTECH S.A.

Los Clamps están unidos mediante platinas de 5 [mm] con cuatro orificios mediante pernos de 8 [mm], esto da una fijación óptima.

2.3.1 Diseño de la base de los Clamps del Jig de Espaldar

El Jig de Espaldar cuenta con cinco Clamps, cuatro bases están formadas por un tubo recto de 92 [mm], la restante por un tubo de 108 [mm]. En la Figura 135, se muestra un ejemplo de base para el Jig de Espaldar.

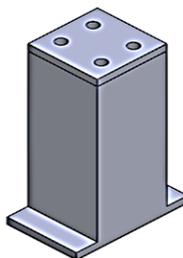


Figura 135. Base tubo de 108 [mm]

El JIG de Espaldar terminado se muestra en la Figura 136.

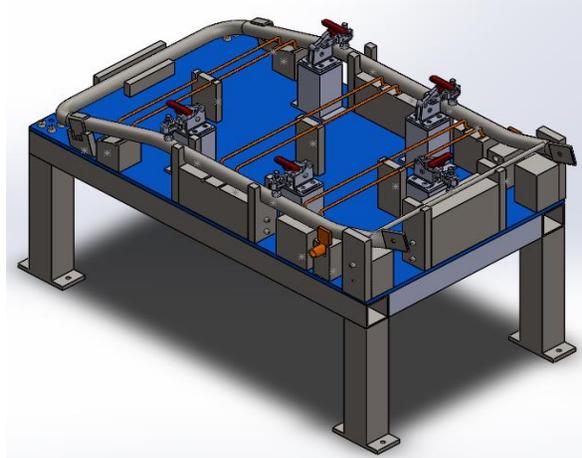


Figura 136. JIG de Espaldar con Clamps

2.3.2 Diseño de la base de los Clamps del Jig de Cojín

El Jig de Cojín cuenta con seis Clamps, la primera base está formada por un tubo de 120 [mm] y la segunda base formada por un tubo de 39 [mm], se muestra en la Figura 137 un ejemplo de la base mencionada.

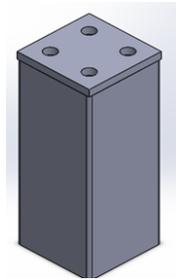


Figura 137. Primera y segunda base Clamp

El JIG de Cojín terminado se muestra en la Figura 138.

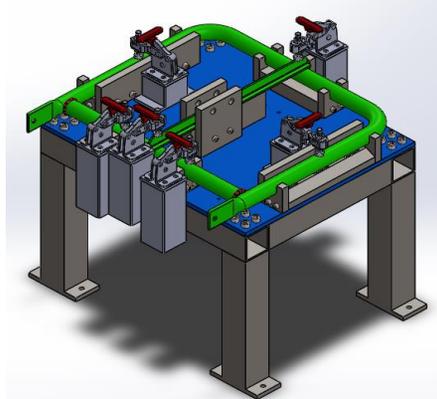


Figura 138. JIG de Cojín con Clamps

2.3.3 Diseño de la base de los Clamps del Jig de Codera

El JIG de Codera cuenta con nueve Clamps, formados por un tubo de 46 [mm], se muestra en la Figura 139 la base terminada.

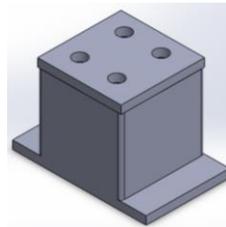


Figura 139. Base del Clamp del Jig de Codera

El JIG de Codera terminado se muestra en la Figura 140.

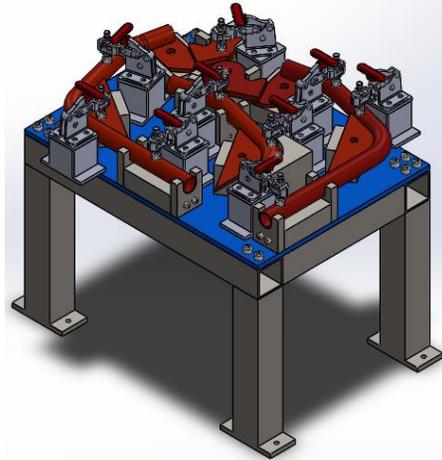


Figura 140. Jig de Codera con Clamps

2.3.4 Diseño de la base de los Clamps del Jig de Pata

El JIG de Pata tiene tres Clamps, formada por un tubo de 17.5 [mm], se muestra en la Figura 141 la base terminada.

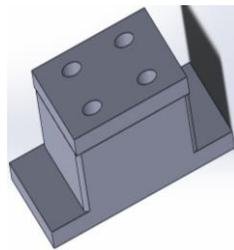


Figura 141. Base del Clamp del Jig de Pata

El JIG de Pata terminado se muestra en la Figura 142.

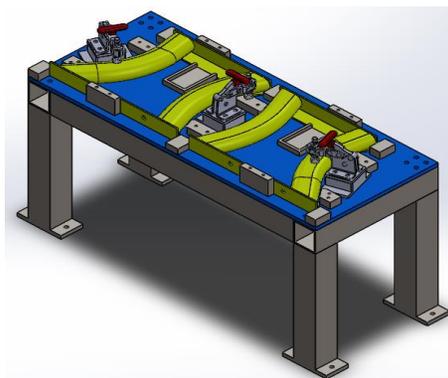


Figura 142. Jig de Pata con Clamps

2.4 Diseño mecánico de la mesa de apoyo

Para la mesa se tomaron en consideración muchos aspectos para el diseño tanto robustez, durabilidad, facilidad de construcción, mantenimiento o reemplazo de piezas, costo de fabricación y funcionalidad en base al rango de movimiento del brazo robótico GSK RH06.

La mesa de apoyo consta de 2 partes: una estructura metálica para la base y una plancha de acero para el apoyo de los Jigs. Para la fabricación de la estructura metálica se utilizó acero estructural ASTM A36, material proporcionado por la empresa MIVLTECH S.A como se había mencionado anteriormente y la plancha de acero fue cortada con láser y dividida en 5 partes, con esto se logró tener mayor facilidad de traslado y ensamble

Las dimensiones totales de la plancha para la mesa de apoyo son de 1250 [mm] de radio exterior y 500 [mm] de diámetro interior y 6 [mm] de espesor, en función de aprovechar el máximo alcance del brazo robótico. El peso total de las 5 secciones de la plancha es de 200 [kg]. A continuación, se realiza el cálculo de la fuerza que la plancha ejercería sobre la estructura metálica.

Fuerza total que ejerce la plancha:

$$W_3 = m_3 * g$$

$$W_3 = 200kg * \frac{9.81m}{s^2}$$

$$W_3 = 1962 [N]$$

W_3 = Fuerza del peso de la plancha

m_3 = Peso de la plancha

g = Gravedad

Fuerza que ejerce cada sección de la plancha:

$$W_4 = W_3/5$$

$$W_4 = \frac{1962}{5} N$$

$$W_4 = 392.4 [N]$$

W_4 = Fuerza del peso de la plancha por sección

g = Gravedad

La mesa tiene forma de corona circular dividida en 5 partes como se muestra en la Figura 143.

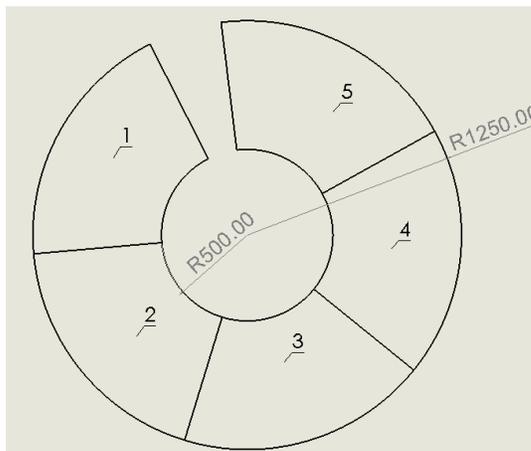


Figura 143. Diseño de la mesa dividido en 5 partes

Sabiendo que el brazo robótico GSK RH06 tiene como alcance máximo 1389 [mm] y 390 [mm] como alcance mínimo, se calcula el área de trabajo en base a estos datos, utilizando la Ecuación 3.

Área de trabajo por sección:

$$\pi * (r)^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\frac{\text{Área alcance máx} - \text{mín}}{5 \text{ Secciones}} = \frac{\pi * (r_{ext})^2 - \pi * (r_{int})^2}{5}$$

$$\frac{\text{Área alcance máx} - \text{mín}}{5 \text{ Secciones}} = \frac{6.06e^6 - 4.77e^6}{5} = \frac{5.55e^6}{5}$$

$$\frac{\text{Área alcance máx} - \text{mín}}{5} = 1.11e^6 mm^2 \approx 1.11m^2$$

A continuación, se calcula el área de trabajo en base a las dimensiones de la mesa, dichas dimensiones son diámetro exterior 1250 [mm] y diámetro interior 500 [mm], utilizando la Ecuación anterior.

Área de trabajo mínima por sección:

$$\pi * (r)^2$$

$$\frac{\text{Área alcance máx} - \text{mín}}{5 \text{ Secciones}} = \frac{\pi * (r_{ext})^2 - \pi * (r_{int})^2}{5}$$

$$\frac{\text{Área alcance máx} - \text{mín}}{5 \text{ Secciones}} = \frac{4.90e^6 - 785.39e^3}{5} = \frac{4.12e^6}{5}$$

$$\frac{\text{Área alcance máx} - \text{mín}}{5} = 824.66e^3 mm^2 \approx 0.82m^2$$

2.4.1 Diseño de la estructura de la mesa

El análisis estructural se realizó parcialmente sobre una sección de la plancha y totalmente con las 5 secciones de plancha ensamblada más la fuerza que ejercen los Jigs sobre la mesa. Para el análisis, se aplicó una carga de 2000 [N] distribuida uniformemente a lo largo de la estructura.

El análisis estático será realizado a la estructura únicamente y también a la estructura ensamblada la plancha, tomando en cuenta el valor de tensión de rotura del Acero A36 de 400[MPa] detallado en la Tabla 16.

Los valores obtenidos en estos resultados poseen la misma fundamentación de cálculos e interpretación de resultados presentados en el numeral 2.2.

2.4.2 Análisis de la estructura parcial de la base

Se diseñó una estructura con la siguiente configuración 2 soporte laterales, 1 soporte central, 2 refuerzos transversales a la $\frac{1}{2}$ de distancia y dos refuerzos transversales al extremo. En ésta estructura se realizaron 2 análisis estáticos (Primera tensión y desplazamiento total) mediante el software CAD.

En la Figura 144, se observa la primera tensión principal, el modelo cumple con las condiciones de carga establecidas por el material, el valor es de 27.58 [MPa].

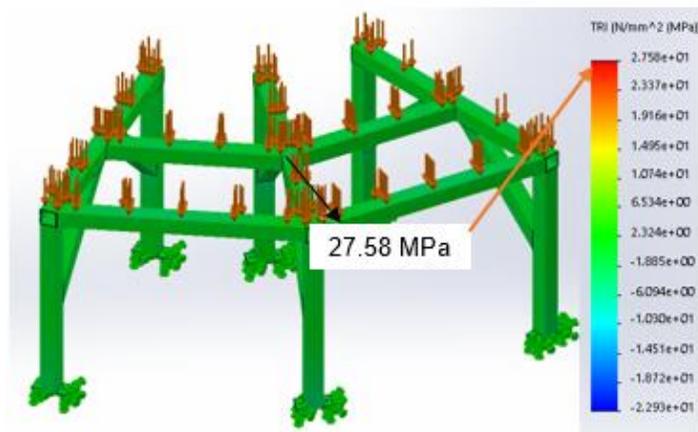


Figura 144. Primera tensión en la base de la mesa de apoyo

En la Figura 145, se observa el desplazamiento total, que es de 0.02 [mm], pero es mínimo como para que ocurra un desplazamiento de los tubos largos y cortos, por eso se tiene un diseño aceptable y con robustez máxima.

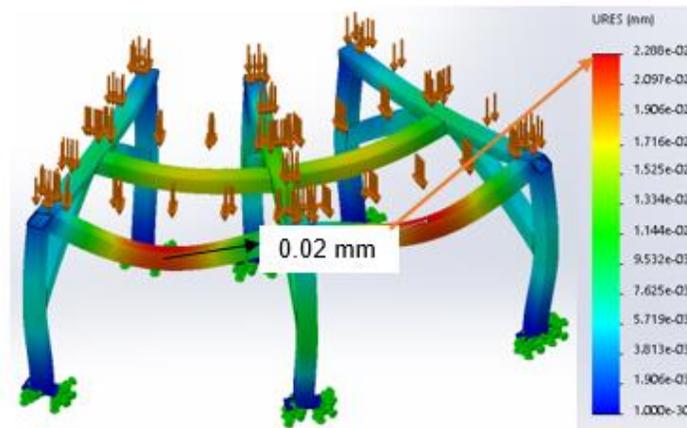


Figura 145. Desplazamientos en la base de la mesa de apoyo

2.4.3 Análisis de la estructura parcial de la base con plancha

En la Figura 146, se observa la primera tensión principal, el modelo cumple con las condiciones de carga establecidas por el material, el valor es de 5.140 [MPa].

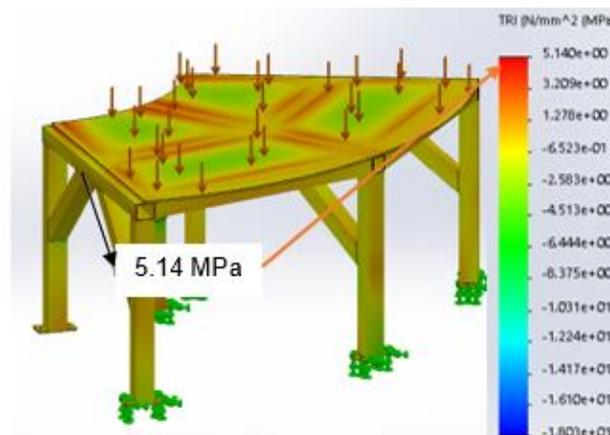


Figura 146. Primera tensión principal en la mesa de apoyo

En la Figura 147, se observa el desplazamiento total, que es de 0.027 [mm], pero es mínimo como para que ocurra un desplazamiento de los tubos largos y cortos, por eso se tiene un diseño aceptable y con robustez máxima.

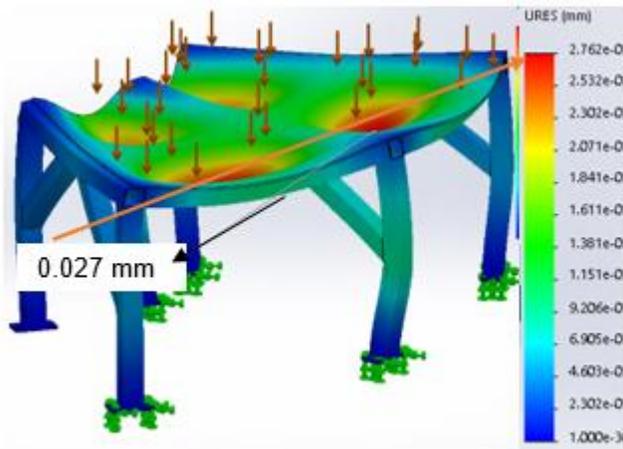


Figura 147. Desplazamiento total del espesor de la mesa de apoyo

2.4.4 Análisis estático total de la mesa de apoyo

Se realizó el análisis de toda la mesa con 10000 [N] de fuerza distribuida uniformemente, uniendo así las 5 partes que previamente fueron analizadas individualmente.

En la Figura 148, se observa la primera tensión principal, el modelo cumple con las condiciones de carga establecidas por el material, el valor es de 4.303 [MPa].

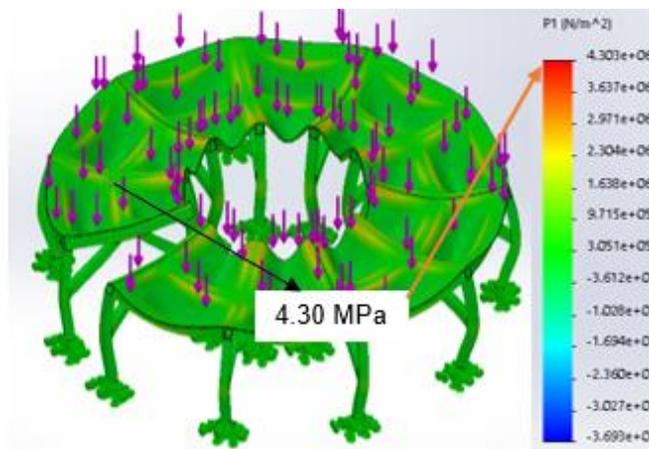


Figura 148. Primera tensión principal de la mesa de apoyo

En la Figura 149, se observa el desplazamiento total es de 0.02 [mm], pero es mínimo como para que ocurra un desplazamiento de los tubos largos y cortos, por eso se tiene un diseño aceptable y con robustez máxima.

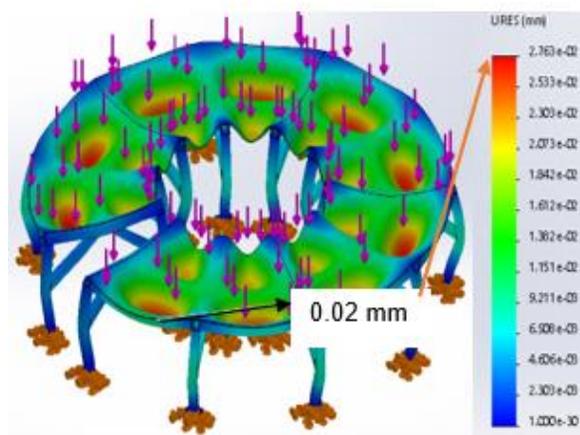


Figura 149. Desplazamiento total de la mesa de apoyo

2.4.5 Medidas de la mesa para la celda robotizada

Finalizado el análisis estático, se obtuvo las siguientes medidas de la mesa para un óptimo funcionamiento del brazo robótico. La estructura base está conformada por tubo de acero estructural ASTM A36 de 50 x 50 [mm] por 3 [mm] de espesor, logrando obtener una mesa 608 [mm] de alto y el tamaño de los espesores transversales, se muestra en la Figura 150.

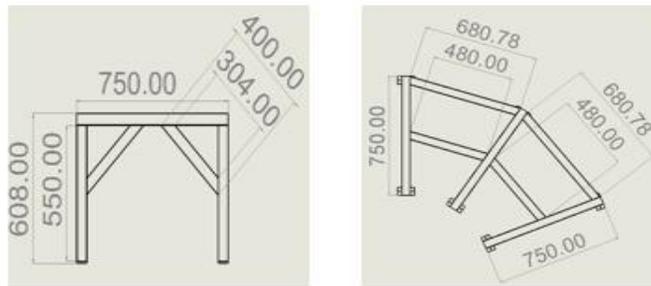


Figura 150. Medidas generales y transversales

2.5 Diseño de la celda de manufactura robotizada

2.5.1 Generalidades

Las principales generalidades para el diseño de la celda de manufactura robotizada son las siguientes:

a. Layout

Es un bosquejo de la celda de manufactura, tomando en cuenta las diferentes áreas funcionales que conforman el proceso.

b. Principales áreas de un layout

Las áreas de un layout deben ser simétricas para lograr espacios regulares y con perímetros rectangulares, con esto el layout consigue una mejor visualización de la instalación, del proceso y de la gestión interna.

c. Planificación de un layout

El proceso debe ser claro en cuanto a circulación de operarios entre áreas para evitar cruces que generen conflictos o movimientos que sean obstaculizados frecuentemente.

d. Principales elementos de un layout

Los elementos de un layout son: Brazo robótico, mesas de posicionamiento, pantallas de protección, fuentes, controlador y seguridades. Esto debe generar una independencia constructiva y cumplir con ciertas condiciones de trabajo.

2.5.2 Criterios técnicos para el diseño de la celda de soldadura

El correcto diseño de una celda de manufactura depende de la necesidad del proceso, pero debe ser desarrollada de forma que exista sinergia entre operarios y equipos, así como el diseño debe encajar de manera que genere un aumento de productividad, mejore la calidad del proceso y beneficie al ambiente laboral.

a. Selección de elementos. - Identificar los elementos necesarios para cumplir el proceso, tanto activos como pasivos en función de éstos.

- Elementos activos: Brazo robótico, Soldadora.
- Elementos Pasivos: Mesa de apoyo, Jig's de soldadura, Pantallas de protección visual.

b. Diseño del proceso. - Requiere un análisis de cada evento necesario para cumplir el proceso, tiempos necesarios para cada etapa, condiciones de puesta en marcha, supervisión inicial.

c. Diseño de la infraestructura. - La infraestructura de la celda sirve de sustento para cumplir el proceso sin afectar el producto. Dentro de infraestructura se puede tomar en cuenta a la programación, una secuencia de trabajos balanceada, disposiciones y normativas e incluso la motivación para cumplir con el proceso de forma adecuada.

d. Diseño del 'layout' de la celda de trabajo. - Consiste en el modelamiento CAD o físico de la celda, generalmente no se dificulta si las recomendaciones anteriores se cumplieron a cabalidad.

2.5.3 Parámetros de diseño

Se realizó el diseño de la celda de manufactura robotizada, con el fin de soldar las diferentes sub estructuras de un asiento de bus interprovincial, mediante Jigs de soldadura y el brazo robótico GSK RH06.

En el diseño se debe tomar en cuenta las siguientes etapas:

- Manipulación de la materia prima hacia cada estación de trabajo.
- Armado de piezas a soldar en cada Jig de soldadura, considerando un Jig por estación de trabajo.
- Soldadura de partes en una estación, una vez armado y asegurado el Jig.
- Manipulación de la pieza soldada por medio de un operario hacia el andén de almacenamiento.

De acuerdo a las etapas establecidas en el diseño de la celda, se considera los siguientes parámetros para la celda robotizada en la empresa MIVILTECH S.A., estos parámetros se justifican por el proceso de soldadura en industria carrocería.

- Seleccionar el tipo de materia prima dependiendo de la estación, la materia prima puede variar entre tubo redondo, platinas de diversos espesores, tubo cuadrado o varillas de diferente diámetro.
- Considerar una base para elevar el robot con respecto del suelo, para así aprovechar en su mayoría el área de trabajo y alcance del brazo robótico.
- Implementar una mesa de apoyo para los Jig's de soldadura.

- Considerar para la fabricación de la mesa de apoyo una altura con respecto a la altura del brazo robótico.
- Considerar para la fabricación de los Jigs de soldadura una altura estándar entre todos.
- Aplicar un rango de tolerancia máximo de 1 [mm] en los componentes de cada Jig de soldadura debido a fallas dimensionales de la materia prima.
- Implementar un panel de control externo para poner en marcha el modo remoto.
- Determinar un rango de tolerancia de 1 [mm] como máximo en los parámetros del software de las piezas que pasan el control de calidad.
- Posicionamiento: área segura de operación, área de trabajo del brazo robótico, área de máquinas (controlador GSK, fuente de poder, soldadora MEGMEET).

(Figura 151)

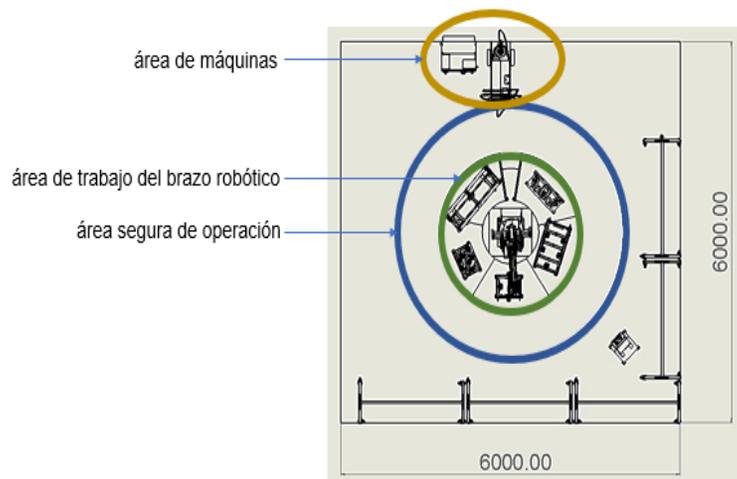


Figura 151. Posicionamiento de áreas

- Implementar una celda de manufactura robotizada con una configuración circular como se muestra en la Figura 152, en donde los Jig's de soldadura se encuentra distribuidos de forma radial; esto ayuda a aprovechar toda el área de trabajo del brazo robótico, tanto en su alcance vertical como circular para optimizar el tiempo del proceso.

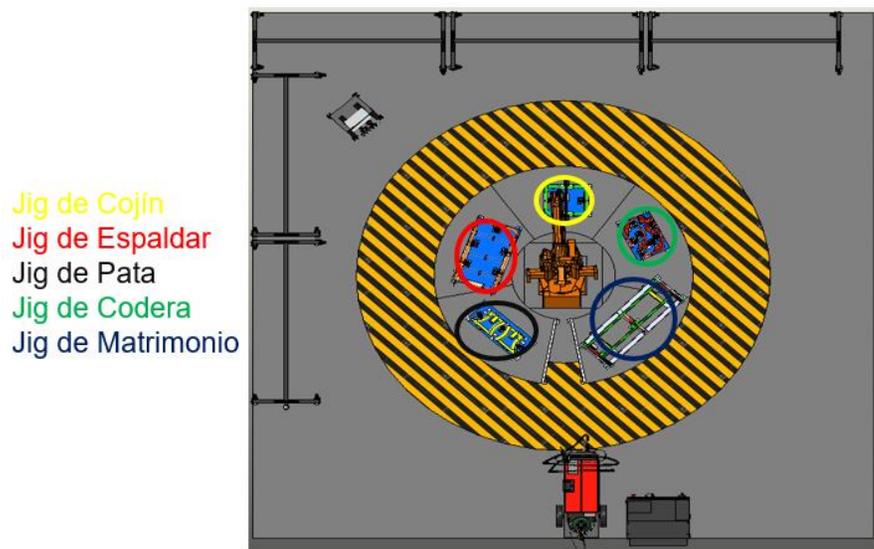


Figura 152. Configuración circular o en anillo de la celda

2.5.4 Selección y descripción de componentes

Después de interpretar los parámetros de diseño, se analizó los componentes que se deben tener para la aplicación de soldadura de las subestructuras de un asiento de bus interprovincial que son los siguientes:

- Brazo robótico.** - Debe tener características para soldadura, un alcance máximo de 1390 [mm], alcance mínimo 390 [mm], 6 ejes, un acople de herramienta metálico y un

recubrimiento del robot. La empresa MIVILTECH S.A. mediante estas características adquirió un brazo robótico soldador de marca GSK RH06.

- b. Equipo de soldadura.** - Debe tener sinergia con el brazo robótico, capaz de soldar varios materiales entre ellos el más principal acero, antorcha adecuada para el proceso, diámetro de alambre y sistema de enfriamiento. MIVILTECH S.A. adquirió un equipo marca MEGMEET Artsen PM 400A.
- c. Jig's o plantilla de soldadura.** - Debe tener las dimensiones de la pieza a soldar, apta para soldadura, mantener distancias específicas para un asiento de bus interprovincial y tener un apoyo firme de las estructuras.
- d. Mesa de apoyo.** - Debe tener forma de corona circular, tiene que ser de estructura metálica, tiene que delimitarse con los alcances del brazo robótico, robustez suficiente y ser estable para no tener movimientos no deseados.
- e. Pantallas móviles para protección visual.** - Deben ser estructuras metálicas móviles de tubo estructural negro 40 x 20 x 2 [mm], tienen que contar con 4 ruedas giratorias de 4 [pulg] de diámetro con bloqueo de movimiento, tiene que tener forma de pizarrón con pantalla de acrílico de 1200 x 1800 x 3 [mm] de espesor de color humo negro. En la Figura 153 se muestra la pantalla terminada y en la Figura 154 las dimensiones.

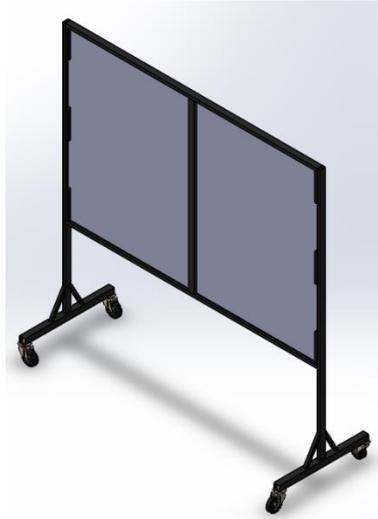


Figura 153. Pantalla de protección visual

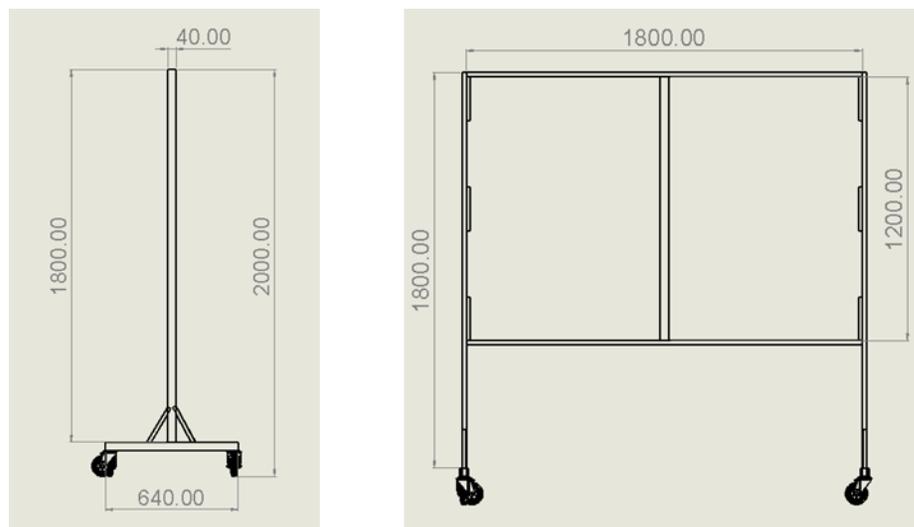


Figura 154. Dimensiones de las pantallas de protección visual

2.5.5 Descripción resumida de la celda

Aprobado el diseño de la celda por parte de la empresa MIVILTECH S.A, se implementa los espacios de trabajo y disposición de elementos, como se muestra el Figura 155.

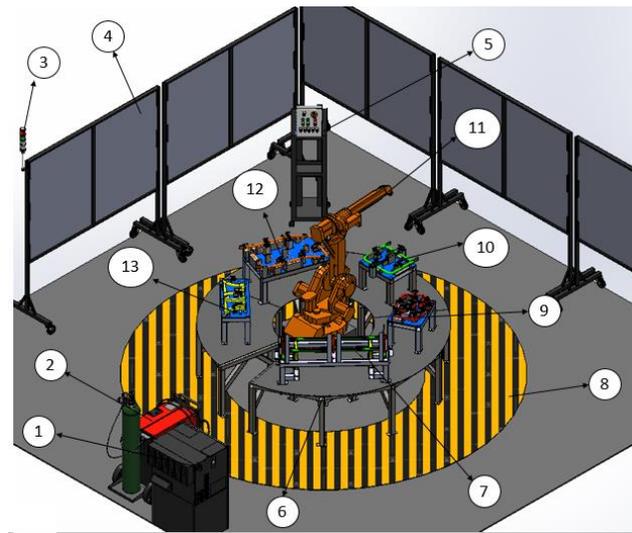


Figura 155. Disposición de elementos y espacio de trabajo

Las mismas que se detallan a continuación:

1. Gabinete controlador GSK RH06.
2. Soldadora MEGMEET Artsen PM400A.
3. Indicador visual tipo torreta o baliza de 2 colores.
4. Pantallas de protección visual.
5. Panel de control remoto móvil.
6. Mesa de apoyo.
7. Jig para matrimonio.
8. Zona de operación segura.
9. Jig para codera.
10. Jig para cojín.
11. Brazo robótico soldador GKS RH06.
12. Jig para espalda.

13. Jig para pata.

En el Anexo F se detallan sus componentes.

2.5.6 Implementación física de la celda

Finalmente, se implementó la celda como se había modelado previamente respetando estructuras, formas y dimensiones. A continuación, en la Figura 156 y la Figura 157, se muestra la comparativa entre el modelo CAD y la implementación física.

Al analizar las figuras se llega a la conclusión de que el modelo CAD es igual al modelo físico implementado, se puede observar en detalle las mismas áreas de trabajo y seguridades.

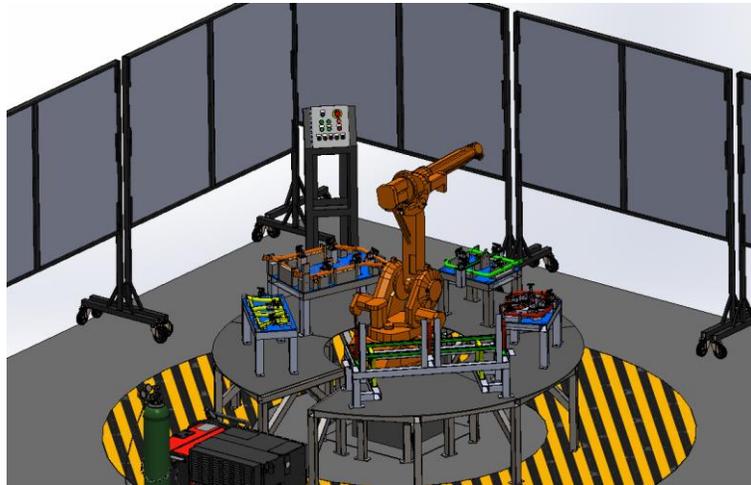


Figura 156. Celda de manufactura robotizada. Modelo CAD



Figura 157. Celda de manufactura robotizada. Modelo físico

2.6 Diseño de los circuitos de control

2.6.1 Modo Remoto

Tanto la puesta en marcha, como el llamado de programas, la operación del programa principal y la operación de puntos continuos, se puede realizar en el modo de operación remota (Remote Mode). La operación remota ayuda al usuario a operar el robot desde larga distancia, se puede controlar el arranque del robot, la habilitación de servos, reseteo de alarmas, etc., mediante señales enviadas a los módulos de entradas y salidas (I/O Ports), de modo que sea conveniente para el usuario y que pueda ser realizado por el robot.

2.6.2 Puerto I/O para el Modo Remoto

Las señales de entrada para el modo remoto son reservadas, exclusivas del robot y van desde IN8-IN13 en la Tabla 17, se detallan todas las señales del modo remoto.

Tabla 17.
Señales de entrada modo remoto

Señales de entrada	Función
IN8	Detiene momentáneamente su operación presionado. Pausa [HOLD]
IN9	Habilita los servos motores del brazo robótico. Habilitación Servos [SERVO READY]
IN10	Inicio de operación. Inicio [START]
IN11	Reseteo de alarmas. Reseteo [CLEAR]
IN12	Detener proceso. Paro de emergencia [ESP]
IN13	Habilitación modo remoto. Modo Remoto [REMOTE]

Las señales de salida son reservadas y exclusivas para el modo remoto, van desde OUT8-OUT13. En la Tabla 18, se detallan todas las señales de salida del modo remoto.

Tabla 18.
Señales de salida modo remoto

Señales de salida	Función
OUT8	Dispositivo periférico de pausa externa
OUT9	Dispositivo periférico de Habilitación de servo motores
OUT10	Dispositivo periférico de inicio de operación
OUT11	Dispositivo periférico de alarma activa
OUT12	Dispositivo periférico de paro de emergencia
OUT13	Dispositivo periférico de habilitación modo remoto

a. Diseño del panel de control

Con las configuraciones establecidas como reservadas para este modo, se implementó un panel de control externo que cuenta con un selector de 2 posiciones con llave para habilitar el modo remoto asignado a una señal de entrada (IN13), un pulsador de paro de emergencia standard asignado como señal de entrada (IN12), un pulsador para resetear alarmas asignado a una señal de entrada (IN11) y un led de color rojo como indicativo visual cuando exista un conflicto asignado a una señal de salida (OUT11), un pulsador

para habilitar los servos del brazo robótico asignado a una señal de entrada (IN9) y un led de color verde como indicativo visual cuando los servos estén habilitados y activados asignado a una señal de salida (OUT9), un pulsador para inicio del proceso asignado a una señal de entrada (IN10) y un led de color verde como indicativo visual cuando haya iniciado un programa asignado a una señal de salida (OUT10). La distribución de indicadores, pulsadores y selectores de activación se muestra en la Figura 158.

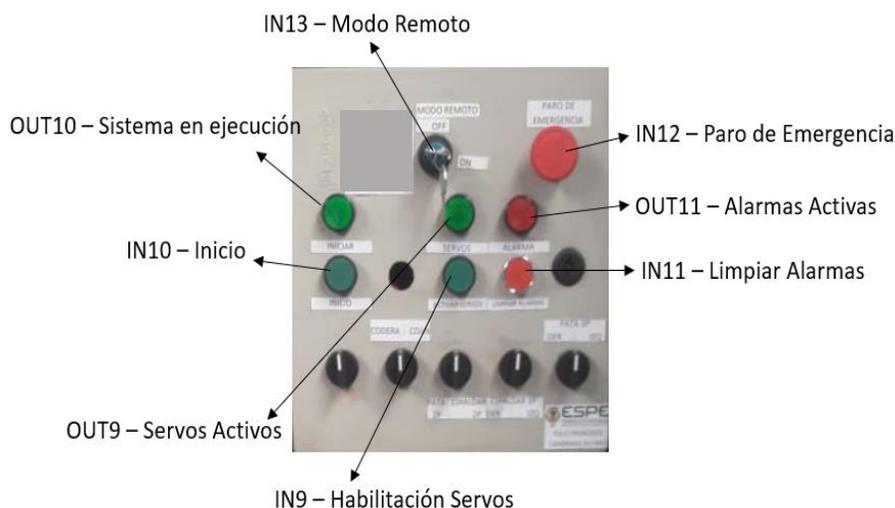


Figura 158. Panel de control externo

El panel de control cuenta con cinco selectores de 3 posiciones, en cada selector se puede seleccionar entre 2 programas para que el brazo robótico cumpla rutinas de soldaduras a lo largo de la mesa de apoyo y de esta manera pueda completar las subestructuras necesarias para el ensamblado de asientos interprovinciales. Como se muestra en la Figura 159, se asignaron señales de entrada desde la 16 hasta la 25 (IN16 - IN25) del módulo GL 100-I, el cual viene incorporado al controlador del robot y es el módulo de entradas y salidas; se cuenta con poca información por eso mediante pruebas

se obtuvo las señales deseadas, sirve para la ejecución de programas previamente guardados en la memoria del controlador.

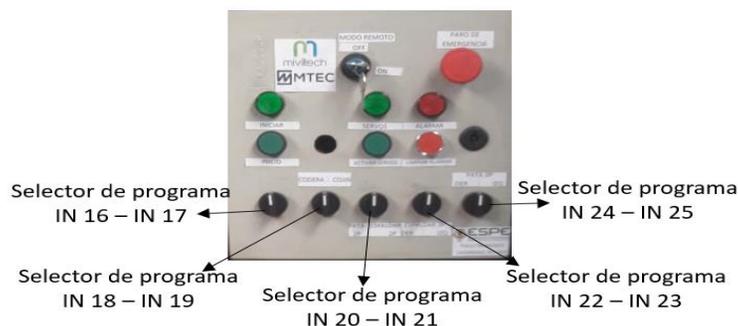


Figura 159. Selectores de programas para las rutinas de soldadura.

Además del panel de control, existe un led de color verde como indicativo visual cuando el modo remoto sea activado asignado a una señal de salida (OUT13), el cual se encuentra en la parte frontal del controlador del brazo robótico GSK RH06 y una baliza de 2 colores color rojo/verde, donde el color verde tiene una señal de activación igual a la de inicio de operación (OUT9) y el color rojo tiene una señal de activación igual a la de conflictos y activación de alarma (OUT11).

2.6.3 Diagrama de conexiones eléctricas

Todas las conexiones eléctricas trabajan a 24 [V] de corriente continua y fueron realizadas para que el panel de control y los periféricos funcionen con las fuentes de energía propias del controlador. Cada módulo I/O, tanto de entradas como salidas, poseen una salida de 24 [V] de corriente continua, además de 2 fuentes de voltaje regulable que se encuentran dentro del controlador. En el anexo G se detalla el circuito de control.

2.7 Programación de las secciones de soldadura del brazo robótico

El robot soldador GSK RH06 tiene tres modos de operación: Teach, Play y Remote. Para la programación de las secciones de soldadura MIG se utilizó el modo Play y Remote, el modo Teach se utilizó como testeo línea por línea sin activación de la soldadura, sirvió para detectar colisiones entre la antorcha y las diferentes piezas utilizadas.

2.7.1 Tipos de movimientos del robot

El robot GSK RH06 tiene cuatro sistemas de coordenadas:

- Joint: De cada articulación del brazo robótico
- Base: De la base del robot y se puede mover junto con los ejes X, Y, Z.
- Tool: De la herramienta validado en la dirección del eje Z.
- User: Definido por el usuario, el robot se mueve en paralelo o gira junto con cada eje basado en el sistema de coordenadas del usuario especificado.

2.7.2 Modos de Operación

a. Modo Teach

Es un modo que sirve para aprendizaje de la operación del robot y la inspección antes del trabajo, se realiza utilizando el TP (Teach Pendant).

b. Modo Play

Es un modo que sirve para la operación automática del programa memorizado en el robot, solo se usa un stop y start.

c. Modo Remote

Es un modo que sirve para la operación remota de los programas memorizados en el robot, ayuda al usuario a operar el robot desde larga distancia.

2.7.3 Comandos básicos de programación del robot

Los siguientes comandos se utilizó en la programación del robot para las diferentes partes de soldadura.

a. Comando de movimientos

MOVJ: Se mueve a la posición deseada mediante la función PTP (punto a punto). En la programación se ingresan tres parámetros; P el punto aprendido tiene valores entre 0-999; V la velocidad del movimiento, tiene un rango de 1-100%; Z la precisión tiene niveles del 0-4.

MOVL: Tiene un movimiento a la posición deseada mediante el método de interpolación lineal (línea recta). En la programación se ingresan tres parámetros; P el punto aprendido, tiene valores entre 0-999; V la velocidad del movimiento, tiene un rango de 0-9999 [mm/s]; Z la precisión tiene niveles del 0-4.

MOCV: Tiene un movimiento a la posición especificada mediante el método de interpolación de arco circular. En la programación se ingresan tres parámetros; P el punto aprendido, tiene valores entre 0-999; V la velocidad del movimiento tiene un rango de 0-9999 [mm/s]; Z la precisión tiene niveles del 0-4.

b. Comando de señales

DOUT: Señal de salida del controlador del robot, OT es el parámetro de salida del puerto tiene valores entre 1-31 dependerá de la extensión de la tarjeta utilizada.

DIN: Lee la señal de entrada de alguna variable, IN es el parámetro de entrada del puerto tiene valores entre 1-31.

c. Comando de control de programación

LAB: Es la declaración de una línea al principio de un proceso, se usa en conjunto con el comando JUMP, el parámetro tiene un rango 0-999

JUMP: Es el salto a una línea declarada con el comando LAB, el parámetro tiene un rango 0-999.

d. Comando de soldadura

Los comandos de soldadura que se usaron en la configuración del brazo robótico son los siguientes, tienen parámetros reales:

ARCON: Comando para activar la suelda al comienzo del proceso. En la programación se ingresan cuatro parámetros, AC:110[A], AV:19[V], V:25%, T:0.2[Seg].

ARCOF: Comando para desactivar suelda. En la programación se ingresan tres parámetros, AC:60[A], AV:15[V], T:0[Seg].

2.7.4 Algoritmos de programación de soldadura

Se tiene tres tipos de modos de operación, pero en el Modo Play y Remoto se usa la soldadura MIG robotizada; en el Modo Teach se realizó de los puntos generados para evitar colisiones y hacer cambios en la programación de los puntos.

a. Algoritmo de programación Modo Teach

En la Figura 160, se indica el diagrama de flujo para el algoritmo de programación Teach del brazo robótico soldador GSK RH06.

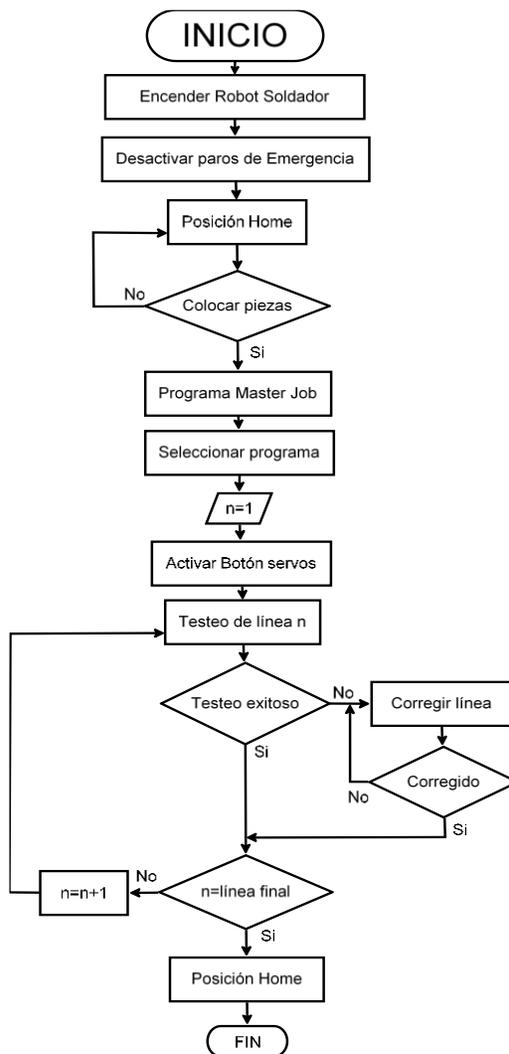


Figura 160. Algoritmo de Programación Modo Teach

b. Algoritmo de programación Modo Play

En la Figura 161, se indica el diagrama de flujo para el algoritmo de programación Play del brazo robótico soldador GSK RH06.

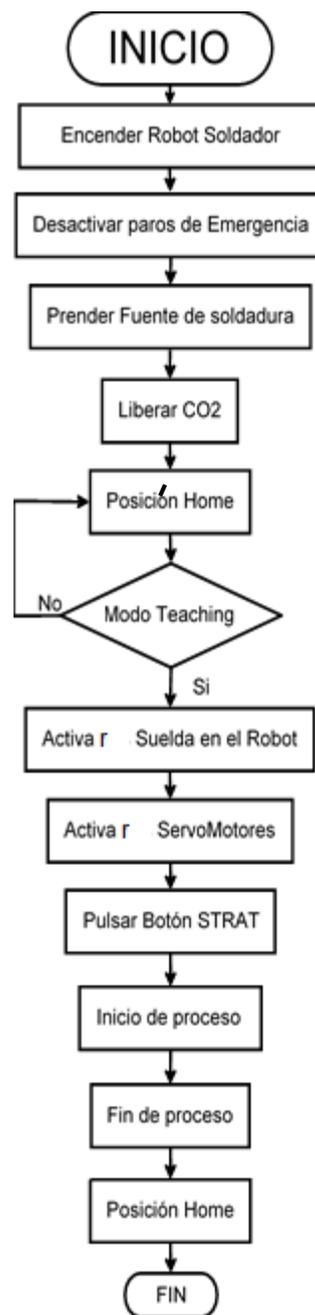


Figura 161. Algoritmo de Programación Modo Play

c. Algoritmo de programación Modo Remoto

En la Figura 162, se indica el diagrama de flujo para el algoritmo de programación Remoto del brazo robótico soldador GSK RH06.

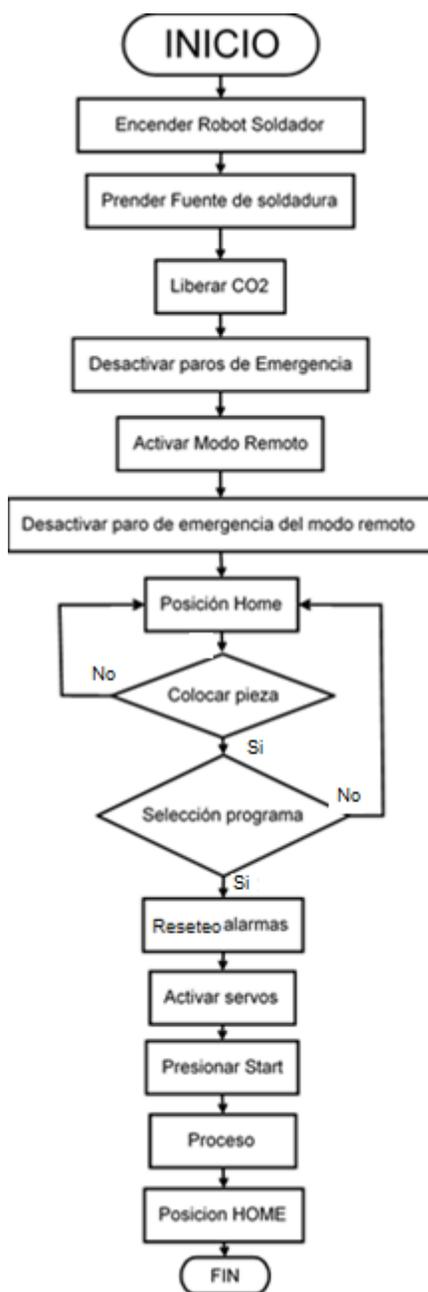


Figura 162. Algoritmo de Programación Modo Remote

CAPÍTULO III

PRUBAS Y RESULTADOS

3.1 Pruebas de movimiento manual del brazo robótico soldador

Se muestran las pruebas realizadas en vacío y los resultados obtenidos en las aplicaciones de soldadura creadas para el diseño de la celda de manufactura.

3.1.1 Pruebas movimiento en vacío

Mediante el modo Teach se realizó pruebas líneas por línea para corregir los errores de programación y así generar trayectorias para la posible soldadura, se realizó cinco pruebas en los cinco Jig's a modo de testeo.

Prueba Jig de Espaldar

En la Tabla 19, se muestra la efectividad de la programación en las diferentes pruebas.

Tabla 19.

Efectividad de programación del Jig de Espaldar

Modo Teach	Líneas testeadas
Prueba 1	Error en 56 líneas de programación
Prueba 2	Error en 34 líneas de programación
Prueba 3	Error en 18 líneas de programación
Prueba 4	Error en 8 líneas de programación
Prueba 5	No se generan errores

Realizado el testeo en línea por línea sin ningún error se pasa al modo Play para probar de forma continua las diferentes posiciones de la soldadura, en la Figura 163 se ve el proceso en vacío y el control con los servos y start activados del Jig de Espaldar.



Figura 163. Proceso en vacío Modo Play del Jig de Espaldar

Prueba Jig de Cojín

En la Tabla 20, se muestra la efectividad de la programación en las diferentes pruebas.

Tabla 20.
Efectividad de programación del Jig de Cojín

Modo Teach	Líneas testeadas
Prueba 1	Error en 45 líneas de programación
Prueba 2	Error en 28 líneas de programación
Prueba 3	Error en 19 líneas de programación
Prueba 4	Error en 6 líneas de programación
Prueba 5	No se generan errores

Sin ningún error en la prueba 5, se continua con el modo Play. En la Figura 164, se observa el proceso en vacío del Jig de Cojín.



Figura 164. Proceso en vacío Modo Play del Jig de Cojín

Prueba Jig de Codera

En la Tabla 21, se muestra la efectividad de la programación en las diferentes pruebas.

Tabla 21.
Efectividad de programación del Jig de Codera

Modo Teach	Líneas testeadas
Prueba 1	Error en 35 líneas de programación
Prueba 2	Error en 28 líneas de programación
Prueba 3	Error en 11 líneas de programación
Prueba 4	Error en 9 líneas de programación
Prueba 5	No se generan errores

Al no tener errores en la prueba 5, se realiza el modo Play. En la Figura 165, se muestra el proceso en vacío del Jig de Codera.



Figura 165. Proceso en vacío Modo Play del Jig de Codera

Prueba Jig de Pata

En la Tabla 22, se muestra la efectividad de la programación en las diferentes pruebas.

Tabla 22.
Efectividad de programación del Jig de Pata

Modo Teach	Líneas testeadas
Prueba 1	Error en 42 líneas de programación
Prueba 2	Error en 32 líneas de programación
Prueba 3	Error en 18 líneas de programación
Prueba 4	Error en 11 líneas de programación
Prueba 5	No se generan errores

Sin tener errores se realiza el testeo modo Play. En la Figura 166, se observa el proceso en vacío del Jig de Pata.



Figura 166. Proceso en vacío Modo Play del Jig de Pata

Prueba Jig de Matrimonio

En la Tabla 23, se muestra la efectividad de la programación en las diferentes pruebas.

Tabla 23.
Efectividad de programación del Jig de Matrimonio

Modo Teach	Líneas testeadas
Prueba 1	Error en 25 líneas de programación
Prueba 2	Error en 18 líneas de programación
Prueba 3	Error en 11 líneas de programación
Prueba 4	Error en 5 líneas de programación
Prueba 5	No se generan errores

En la Figura 167, se observa el modo Play, luego de haber realizado la prueba sin errores en el modo testeo.



Figura 167. Proceso en vacío Modo Play del Jig de Matrimonio

3.2 Evaluación del sistema de seguridad de la celda

Se evaluaron en la fase de diseño los diferentes elementos utilizados en la celda de manufactura robotizada, tales como: brazo robótico GSK RH06, celda de manufactura, operación del sistema.

3.2.1 Fase de diseño del robot

En la fase de diseño el robot tiene que tener seguridades para la protección tanto del operario como la de su estructura en el proceso, por lo tanto, se cuenta con:

Supervisión del sistema de control, en la empresa se implementó la capacitación sobre el uso del robot soldador por parte de los ingenieros encargados hacia los trabajadores.

Paradas de emergencia, se enseñó las diferentes paradas de emergencia que tiene el robot, en caso de colisión.

Botón hombre muerto, el accionamiento del robot manualmente se hizo pruebas con los trabajadores e ingenieros.

Velocidades limitadas, para no tener colisiones se enseñó que se tiene diferentes velocidades que se cambian desde el TP (Teach Pendant).

Códigos de acceso, se tendrá un encargado con los códigos de acceso a la programación de los programas.

Las dimensiones de alcances máximos y mínimos: son 1390 [mm] y 390 [mm], se evaluó para tener los alcances del robot en sus límites.

3.2.2 Fase de diseño de la celda

Se tendrá seguridades para los operarios y personas externas al proceso de la celda de manufactura robotizada, tiene las siguientes consideraciones:

Pantallas de protección visual, distribuidas en forma de L en la celda de manufactura para detener el ingreso de personas externas al trabajo realizado.

Panel de control externo, se tiene un panel móvil para que el operario monitoree todo desde un punto remoto del proceso y tener mayor seguridad.

Cambio de materia prima, el operador tendrá una zona de seguridad donde podrá cambiar la materia prima sin ningún problema de colisión con el robot.

Zona de mantenimiento, el operario tiene un puesto de trabajo, en el cual puede observar las piezas que se sueldan.

3.2.3 Fase de operación del sistema

Por políticas de la empresa no se implementó todas las seguridades que se detallaron en el capítulo 1.

La zona de seguridad se la delimita con colores amarillos y negros, esto viene dado de la norma INEN 439. Desde la mesa de apoyo hacia afuera se tiene 1 [m] de distancia. En la Figura 168, se observa la delimitación de la zona de seguridad.



Figura 168. Delimitación de la zona de seguridad

El controlador y la fuente de soldadura tienen que estar en un lugar óptimo para no generar molestias para el operario, por la posición del robot y por los cables cuales no son tan largos, el controlador está en la parte de atrás del robot, a una distancia de 1 [m] de la mesa de apoyo para que se tenga un espacio para transitar. En la Figura 169, se muestra la separación de la mesa con el robot.

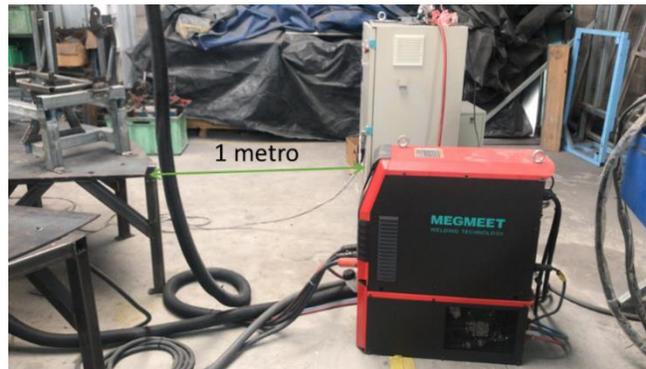


Figura 169. Separación mesa con fuente y controlador

Con la evaluación técnica de las fases de diseño del robot, de la celda y de las operaciones del sistema; se llegó a la conclusión de que la celda de manufactura robotizada con seguridades es óptima para el proceso de soldadura robotizada.

3.3 Evaluación movimiento del brazo durante el proceso de soldadura

Se realizó pruebas de soldadura del brazo robótico con movimientos manuales en platinas del mismo espesor de las piezas de la estructura del asiento de bus. Se generó trayectorias en uniones tipo “T” y solape, la mayoría de las piezas soldadas de los Jigs son este tipo de uniones, las pruebas fueron sometidas a varios voltajes, corriente, velocidades de soldadura y alambre, se eligió la suelda que tuvo mayor penetración y secuencia en la soldadura, las platinas tienen valores de 3 a 6 [mm] de espesor, todas las pruebas tienen 4 valores en la activación y desactivación de la soldadura como son: voltaje, corriente, velocidad de soldadura y velocidad de alambre.

3.3.1 Pruebas unión tipo T

En la Figura 170, se observa como el brazo robótico está soldando la unión tipo T.

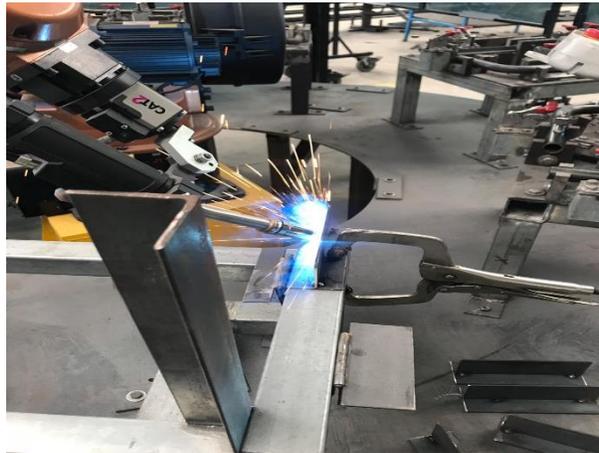


Figura 170. Soldadura unión tipo T

Prueba 1

La primera prueba se realizó con valores de 140 [A], 30 [V], 80 [velocidad] y 250 [mm/min], en la Figura 171, se observa que tiene mucha velocidad, mucha corriente, voltaje y velocidad del alambre, por eso no tiene penetración en las dos piezas y tiene muchos grumos por partes.

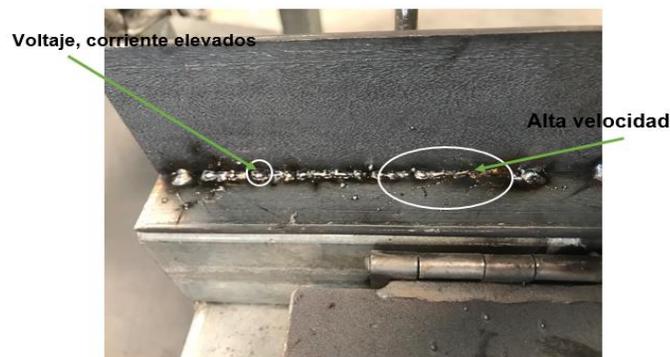


Figura 171. Prueba 1 tipo "T"

Prueba 2

La segunda prueba se realizó con valores de 125 [A], 25 [V], 10 [velocidad] y 250 [mm/min], en la Figura 172, se observa que se tiene poca velocidad, pero mucho alambre los valores de fundición como la corriente y el voltaje todavía no hacen que se penetre el material.

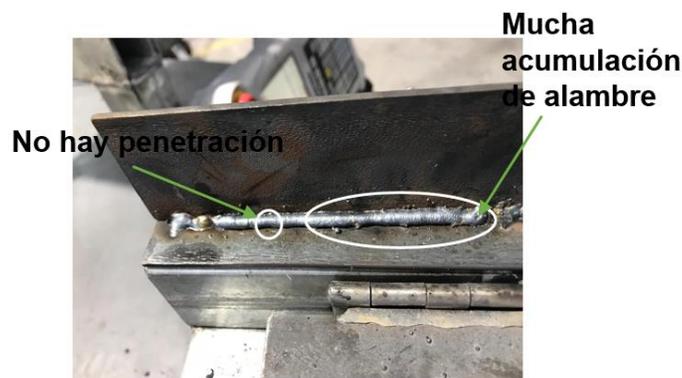


Figura 172. Prueba 2 tipo "T"

Prueba 3

La tercera prueba se realizó con valores de 110 [A], 19 [V], 20 [velocidad] y 80 [mm/min], en la Figura 173, se observa una excelente suelda y óptima para las piezas de la estructura del asiento de bus, tiene una excelente penetración en las dos piezas. Dependerá de la cercanía entre la antorcha y las piezas para tener mayor penetración, los valores son óptimos para la programación del robot y para las sueldas de las estructuras, en la Figura 174, se observa la configuración de la programación.



Figura 173. Prueba 3 tipo "T"

HOME	OPEN	EDIT	STATUS	TOOL
0001	MAIN;			
0002	MOVJ P1, V20, Z0;			
0003	MOVL P2, V50, Z0;			
0004	MOVL P3, V20, Z0;			
0005	ARCON AC110, AV19, V20, T0. 2;			
0006	MOVL P4, V1, Z0;			
0007	ARCOF AC110, AV19, T0. 2;			
0008	MOVJ P5, V20, Z0;			
0009	MOVJ P6, V20, Z0;			
0010	END;			

Figura 174. Programación del robot

3.3.2 Pruebas unión tipo solape

En la Figura 175, se observa como el brazo robótico va a soldar la unión tipo solape.



Figura 175. Listo para soldar unión tipo solape

Prueba 1

La primera prueba se realizó con valores de 150 [A], 35 [V], 40 [velocidad] y 250 [mm/min], en la Figura 176, se observa que tiene una velocidad moderada mucha, mucha corriente, voltaje y velocidad del alambre, por eso no tiene penetración en las dos piezas y tiene muchos grumos por partes.

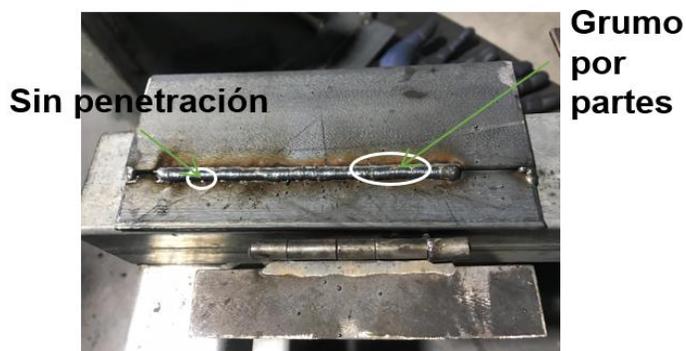


Figura 176. Prueba 1 tipo solape

Prueba 2

La segunda prueba se realizó con valores de 110 [A], 19 [V], 20 [velocidad] y 80 [mm/min], en la Figura 177, se observa una penetración óptima para las estructuras.

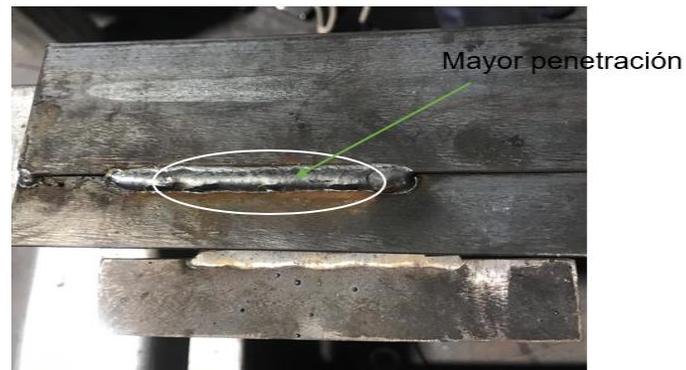


Figura 177. Prueba 2 tipo solape

En conclusión, los parámetros utilizados para optimizar la mayor penetración de los materiales usados son: 110 [A], 19 [V], 20 [Velocidad], 80 [mm/min], estos valores fueron utilizados en todas las uniones soldadas.

Las penetraciones varían por el viento en el galpón donde está el robot soldador, esto ocasiona que el gas de protección inerte se desvíe de la boquilla de la antorcha y no permita una penetración óptima y aceptable

Realizados los análisis de los datos aplicados que se muestran en las pruebas de soldadura, Se realizó las pruebas en los cinco Jigs, se tuvo cinco muestras soldadas.

La confiabilidad de penetración de la soldadura de la subestructura esta entre 90 y 100% para la empresa MIVILTECH S.A.

3.3.3 Pruebas de soldadura modo remoto del Jig de Espaldar

Se realizó las pruebas en cinco espaldares soldados mediante el modo remoto del robot soldador, en la Figura 178 se muestran las cinco estructuras soldadas. En la Figura a) se observa un 100% de penetración en las uniones soldadas del espaldar con los valores de los parámetros óptimos; en la Figura b) se observa un 80% de penetración;

en la Figura c) se observa un 80% de penetración; en la Figura d) se observa un 90% de penetración; en la Figura e) se observa un 90% de penetración.

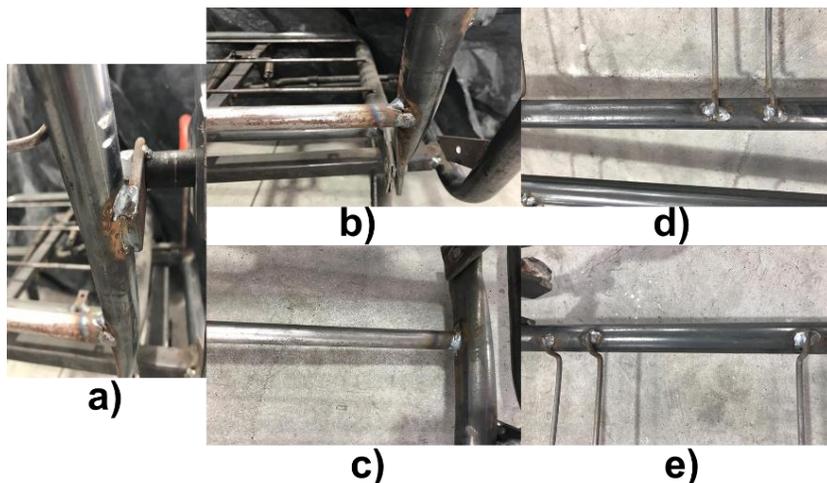


Figura 178. Porcentajes de penetración

En el espaldar se tiene una efectividad del 95% en la soldadura mediante las pruebas realizadas, se llegó a la conclusión que es una estructura óptima para un asiento de bus interprovincial.

3.3.4 Pruebas de soldadura modo remoto del Jig de Cojín

Se realizó las pruebas en cinco cojines soldados mediante el modo remoto del robot soldador, en la Figura 179, se muestran las cinco estructuras soldadas. En la Figura a) se observa un 90% de penetración; en la Figura b) se observa un 80% de penetración; en la Figura c) se observa un 100% de penetración en las uniones soldadas del cojín con los valores de los parámetros óptimos; en la Figura d) se observa un 70% de penetración; en la Figura e) se observa un 75% de penetración.

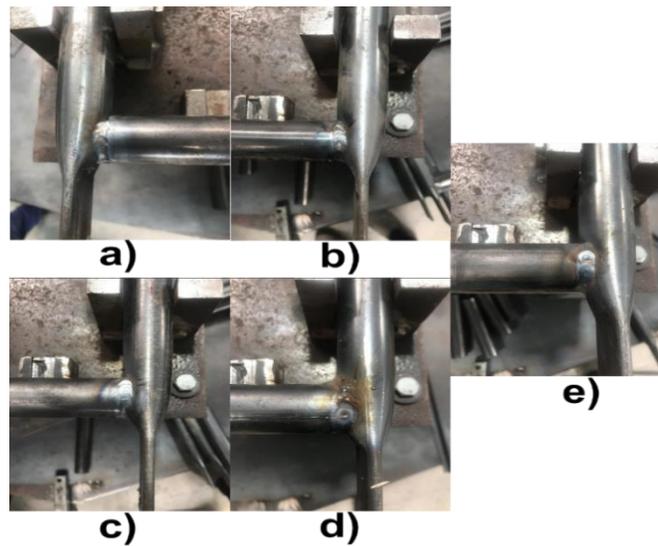


Figura 179. Porcentajes de penetración

Se tiene una efectividad del 90%, se tiene el tope menor pero pasa las pruebas de la empresa MIVILTECH S.A.

3.3.5 Pruebas de soldadura modo remoto del Jig de Codera

Se realizó las pruebas en cinco coderas soldados mediante el modo remoto del robot soldador, en la Figura 180, se muestran las cinco estructuras soldadas. En la Figura a) se observa un 85% de penetración; en la Figura b) se observa un 100% de penetración en las uniones soldadas de la codera con los valores de los parámetros óptimos; en la Figura c) se observa un 90% de penetración; en la Figura d) se observa un 65% de penetración; en la Figura e) se observa un 75% de penetración.

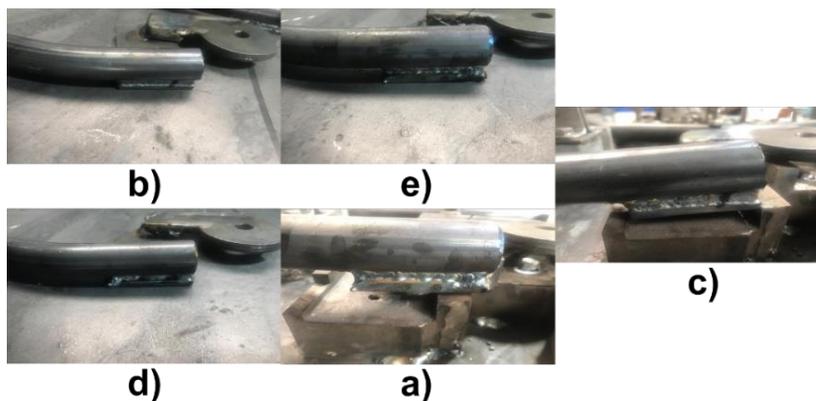


Figura 180. Porcentajes de penetración

Se obtiene una efectividad de 92% para la codera, sobrepasa los valores de la empresa, por lo cual se tiene una soldadura aceptable.

3.3.6 Pruebas de soldadura modo remoto del Jig de Pata

Se realizó las pruebas en cinco patas soldados mediante el modo remoto del robot soldador, en la Figura 181, se muestran las cinco estructuras soldadas. En la Figura a) se observa un 80% de penetración; en la Figura b) se observa un 100% de penetración en las uniones soldadas de la pata con los valores de los parámetros óptimos; en la Figura c) se observa un 90% de penetración; en la Figura d) se observa un 60% de penetración; en la Figura e) se observa un 70% de penetración.

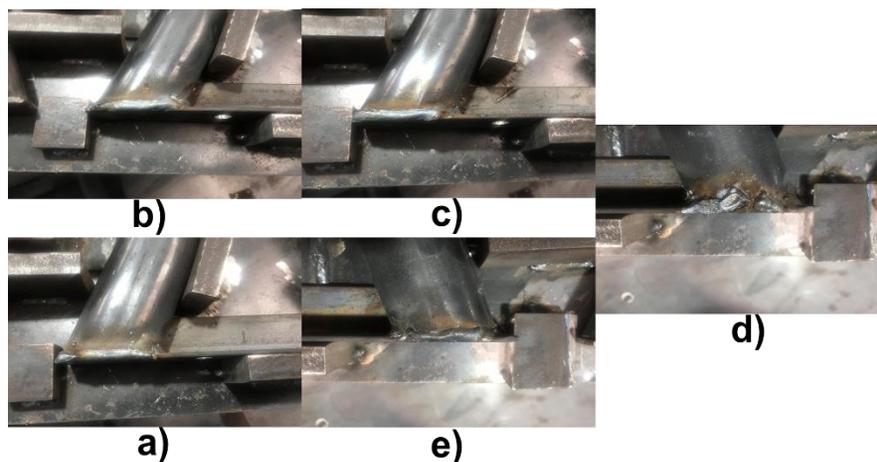


Figura 181. Porcentajes de penetración

Se obtiene una efectividad de 91% para la codera, sobrepasa los valores de la empresa, por lo cual se tiene una soldadura aceptable.

3.3.7 Pruebas de soldadura modo remoto del Jig de Matrimonio

Se realizó las pruebas en cinco matrimonios soldados mediante el modo remoto del robot soldador, en la Figura 182, se muestran las cinco estructuras soldadas. En la Figura a) se observa un 100% de penetración en las uniones soldadas del matrimonio con los valores de los parámetros óptimos; en la Figura b) se observa un 90% de penetración; en la Figura c) se observa un 80% de penetración; en la Figura d) se observa un 70% de penetración; en la Figura e) se observa un 60% de penetración.

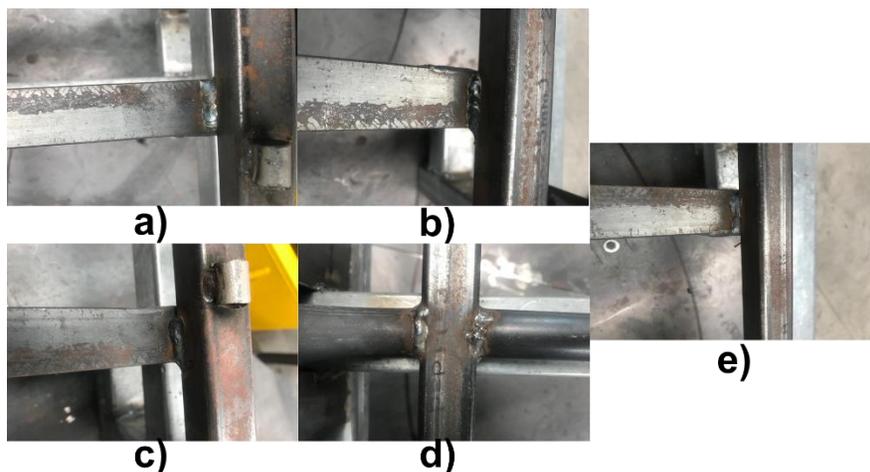


Figura 182. Porcentajes de penetración

Se tiene una efectividad de 90% para la codera, sobrepasa los valores de la empresa, por lo cual se tiene una soldadura aceptable.

3.4 Evaluación Experimental de las subestructuras de los asientos

El método experimental que se utilizó en las subestructuras para saber si están bien soldadas fue la visión de los trabajadores e ingenieros expertos en la empresa MIVILTECH S.A.

En la Figura 183, se observa un cojín soldado que tuvo un tiempo de 2 min para terminar su proceso y esta aceptado por la empresa MIVILTECH S.A.



Figura 183. Cojín aceptado por la empresa

En la Figura 184, se observa una codera soldada que tuvo un tiempo de 3 min para terminar su proceso y aceptado por la empresa MIVILTECH S.A.



Figura 184. Codera aceptada por la empresa

En la Figura 185, se observa una pata soldada que tuvo un tiempo de 5 que tuvo un tiempo de 2 min para terminar su proceso min para terminar su proceso y aceptado por la empresa MIVILTECH S.A.



Figura 185. Pata aceptada por la empresa

En la Figura 186, se observa un matrimonio soldado que tuvo un tiempo de 2 min para terminar su proceso y aceptado por la empresa MIVILTECH S.A.



Figura 186. Matrimonio aceptado por la empresa

En la Figura 187, se observa un espaldar soldado que tuvo un tiempo de 4:30 min para terminar su proceso y aceptado por la empresa MIVILTECH S.A.



Figura 187. Espaldar aceptado por la empresa

3.5 Validación de hipótesis

La hipótesis de la tesis es:

Mediante el diseño y construcción de una celda de manufactura robotizada y Jig's de soldadura, se optimizará el tiempo de proceso obteniendo mayor eficiencia de producción.

Las variables son:

Variable dependiente

- Tiempo de proceso de producción de soldadura

Variable independiente

- Celda de manufactura robotizada con Jig's de soldadura

3.5.1 Mejoramiento del tiempo de proceso de producción de soldadura

Se utilizó el método del Chi cuadrado y en el Anexo H se muestra las fórmulas y las tablas del método.

H0: Tiempo de proceso de producción largo

H1: Tiempo de proceso de producción corto

Se tiene 50 muestras divididas en 5 espaldares, cojines, coderas, patas y matrimonio; el tiempo que se demoró en soldar el robot soldador cada una de las subestructuras se detalló anteriormente, el tiempo manual varió dependiendo del trabajador y el posicionamiento, en la Tabla 24 se muestran los resultados del primer operario; en la Tabla 25 los del segundo operario.

Tabla 24.
Resultados del primer operario

Pruebas	Pruebas				
	Espaldar	Cojín	Codera	Pata	Matrimonio
Prueba 1	11 min	9 min	8 min	10 min	15 min
Prueba 2	9 min	7 min	6 min	8 min	13 min
Prueba 3	10 min	8 min	6 min	9 min	12 min
Prueba 4	9 min	8 min	7 min	8 min	13 min
Prueba 5	10 min	9 min	9 min	10 min	12 min
Promedio	10 min	8 min	7 min	9 min	13 min

Tabla 25.
Resultados del segundo operario

Pruebas					
	Espaldar	Cojín	Codera	Pata	Matrimonio
Prueba 1	9 min	8 min	7 min	11 min	14 min
Prueba 2	10 min	7 min	5 min	9 min	12 min
Prueba 3	10 min	6 min	5 min	10 min	11 min
Prueba 4	9 min	9 min	6 min	9 min	12 min
Prueba 5	9 min	7 min	8 min	11 min	11 min
Promedio	9 min	7 min	6 min	10 min	12 min

En la Tabla 26, se muestra la optimización dependiendo del operario.

Tabla 26.
Optimización de operarios

Estructuras	Proceso Manual primer operario	Proceso Manual segundo operario	Proceso Robotizado	Optimización de tiempo operario 1	Optimización de tiempo operario 2
	Tiempo (Min)	Tiempo (Min)	Tiempo (Min)	(%)	(%)
Espaldar	10	9	5	50	56
Cojín	8	7	3	38	43
Codera	7	6	4	57	67
Pata	9	10	2	22	20
Matrimonio	13	12	6	46	50

En la Tabla 27, se observa los valores para los resultados del Chi cuadrado.

Tabla 27.
Valores utilizados en el Chi-Cuadrado

	Espaldar	Cojín	Codera	Pata	Matrimonio	Total
Optimización de tiempo operario 1	50	38	57	22	46	213
Optimización de tiempo operario 2	56	43	67	20	50	236
Total	106	81	124	42	96	449

Para verificar la hipótesis se realizan los siguientes cálculos:

$$X_{\text{Calc}}^2 = \sum \frac{(f_{\text{real}} - f_{\text{teórica}})^2}{f_{\text{teórica}}} \quad \text{Ecuación 1}$$

El siguiente cálculo es de las frecuencias teóricas

$$f_1 = \frac{106 * 213}{449} = 50.3 \quad f_6 = \frac{106 * 236}{449} = 55.7$$

$$f_2 = \frac{81 * 213}{449} = 38.4 \quad f_7 = \frac{81 * 236}{449} = 42.5$$

$$f_3 = \frac{124 * 213}{449} = 58.8 \quad f_8 = \frac{124 * 236}{449} = 65.1$$

$$f_4 = \frac{42 * 213}{449} = 19.9 \quad f_9 = \frac{42 * 236}{449} = 22$$

$$f_5 = \frac{96 * 213}{449} = 45.5 \quad f_{10} = \frac{96 * 236}{449} = 50.5$$

Se calcula X_{Calc}^2

$$X_{\text{Calc}}^2 = \frac{(50 - 50.3)^2}{50.3} + \frac{(38 - 38.4)^2}{38.4} + \frac{(57 - 58.8)^2}{58.8} + \frac{(22 - 19.9)^2}{19.9} + \frac{(46 - 45.5)^2}{45.5} \\ + \frac{(56 - 55.7)^2}{55.7} + \frac{(43 - 42.5)^2}{42.5} + \frac{(67 - 65.1)^2}{65.1} + \frac{(20 - 22)^2}{22} + \frac{(50 - 50.5)^2}{50.5}$$

$$X_{\text{Calc}}^2 = 8.52$$

Para rechazar o validar la hipótesis se comparó con la tabla del método Chi cuadrado, pero primero se obtuvo los grados de libertad:

$$n = (f - 1)(c - 1)$$

$$n = (2 - 1)(5 - 1)$$

$$n = (1)(4)$$

$$n = 4$$

Se obtuvo 4 grados de libertad con una confiabilidad del 90% un valor correspondiente a:

$$X_{\text{Tabla}}^2 = 8.52$$

Se compara los valores:

$$X_{\text{Calc}}^2 > X_{\text{Tabla}}^2$$

$$8.523 > 7.779$$

H1 es válida, el tiempo de producción con el robot soldador se disminuye de manera significativa con una confiabilidad del 90%.

3.6 Costo Económico del proyecto

La factibilidad del proyecto dependió de la inversión de la empresa, para la implementación de la celda de manufactura robotizada se detallaron los costos los cuales se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28.
Costos proyecto

Descripción	Cantidad	Costo (\$)	Valor (\$)
Brazo Robótico GSK RH06	1	25.000	25.000
Estructura metálica	8	90	720
Mesa de apoyo	5	90	450
Planchas Jigs	5	44	220
Bloques mecanizados Jig	1	320	320
Tornillo y pernos	100	0.50	50
Clamps manuales	25	34	850
Estructura de las pantallas	6	60	360
Acrílico Humo	5	120	600
Ruedas pantallas	20	12	240
Baliza	1	25	25
Elementos electrónicos	1	120	120
Estructura control	1	30	30
TOTAL			28.985

La empresa MVILTECH S.A ya tenía comprado el brazo robótico soldador GSK RH06, en la implementación de la empresa se gastó la cantidad de \$3985 el cual es un

valor económico rentable para la producción industrial, celda de manufactura tuvo un costo sumamente económico para celdas en otros países como Argentina con la empresa FAIC que llegó a valor cercano a 50.000 dólares.

CAPÍTULO IV

MANUAL DE USUARIO

4.1 Operación de arranque del proceso

4.1.1 Elementos generales del proceso

a. Estructura

Sistema de control de robot industrial de la serie RH06 está conformado por la parte del cuerpo o brazo robótico, la parte del gabinete de control, la parte de la consola de programación y el sistema de soldadura, todas estas partes están conectadas por cables (Figura 188).

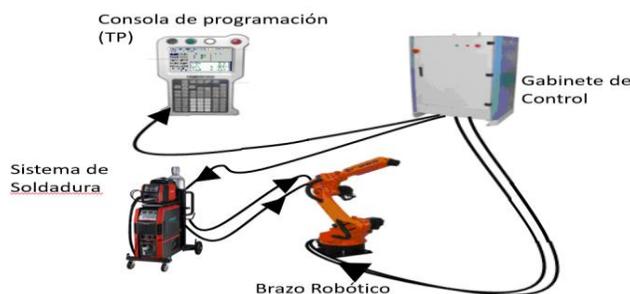


Figura 188. Estructura de conexiones

b. Gabinete de control

El gabinete de control (Figura 189) tiene un interruptor en forma de perilla circular de alimentación principal, una cerradura de la puerta en el lado frontal izquierdo, una luz indicadora blanca de encendido en la esquina superior derecha, una luz indicadora roja de alarma, interruptor de parada de emergencia y el gancho debajo del indicador de alarma para colgar la consola de programación. El gabinete de control contiene la unidad

principal del sistema de control GR-C, los servos drivers de cada motor del brazo robótico, el dispositivo de liberación de frenos y el dispositivo de E/S.



Figura 189. Gabinete de Control

c. Consola de programación o Teach Pendant (TP)

Es el dispositivo de interacción humano-máquina (HMI) del brazo robótico (Figura 190). El operario o supervisor realiza operaciones de enseñanza, edición, administración y reproducción de programas, supervisa los valores de las coordenadas, el manejo de señales de entrada y salida, configuraciones del sistema, configuraciones de parámetros y configuraciones del brazo robótico también muestra historial de registro de alarmas y el tiempo de operación de cada programa o secuencia.



Figura 190. Consola de programación

d. Sistema de soldadura

Los productos Artsen de la serie PM son para soldadura MIG/MAG, son inteligentes con una multifuncionalidad invertida para soldadura, se brinda múltiples métodos de control de soldadura inteligentes, incluidas las opciones de DC, impulso simple y doble impulso basadas en el control de energía en tiempo real.

Trabaja con comunicación digital entre el gabinete de control y el brazo robótico soldador, equipamiento de refrigeración de Megmeet y antorcha ROBO BINZEL 455D. (Figura 191)



Figura 191. Sistema de soldadura

e. Mesa de apoyo

Es una estructura metálica en forma de corona circular como se muestra en la Figura 192, el brazo robótico se encuentra en el centro de esta estructura para aprovechar el rango de trabajo y los alcances máximos. Sobre la mesa de apoyo debe estar anclados solamente los Jig's de soldaduras. Todo objeto extraño al proceso o a la celda queda estrictamente prohibido.



Figura 192. Mesa de apoyo

f. Jigs de soldadura

Son pequeñas estructuras metálicas (Figura 193), que nos permiten obtener la forma exacta de cada parte a ser soldada. Los Jigs o plantillas varían formas geométricas y dimensiones de acuerdo a la estación que se proceda a soldar, poseen Clamps o pequeñas prensas de sujeción para asegurar la materia prima.



Figura 193. Jigs de soldadura

h. Pantallas de protección visual

Son pizarras metálicas móviles ubicadas alrededor del brazo robótico (Figura 194), cada pizarra posee una lámina acrílica de color HUMO NEGRO logrando así reducir el efecto del arco eléctrico para el resto de operarios o personas que no posean gafas de protección específicas para el proceso MIG. En total son 5 pantallas de protección visual y se encuentran dispuestas en forma de "L".



Figura 194. Pantallas móviles

4.1.2 Advertencia

Este manual operativo requiere que todos los operadores del robot industrial o celda robotizada presten atención a las instrucciones de funcionamiento y otros documentos relacionados, este es el requisito básico.

Los siguientes consejos de seguridad enfatizan las prácticas de seguridad y protección y deben recibir atención especial.

Las advertencias, precauciones, acciones obligatorias y prohibiciones que figuran en estas instrucciones de funcionamiento deben cumplirse estrictamente.

Los usuarios de este brazo robótico deben leer y comprender completamente las instrucciones de funcionamiento antes de iniciar el proceso.

4.1.3 Peligro

Puede existir peligro si no se siguen las instrucciones a continuación:

- Antes de operar el robot, presione el botón de parada de emergencia en la puerta frontal del gabinete de control y compruebe que se haya cortado la energía general.
- Una vez que se activa el paro de emergencia del gabinete de control, la luz indicativa de color blanco (POWER) en la puerta frontal se apaga.
- Presione el botón de parada de emergencia en la consola de programación y compruebe que se haya activado la alarma de paro de emergencia.
- Una vez que se activa el paro de emergencia de la consola de programación, la luz indicativa de color rojo (ALARM) en la puerta frontal se enciende.
- Cuando se desactiva o cancela la parada de emergencia de la puerta frontal del gabinete de control, la alimentación de los motores será restaurada inmediatamente, de esta forma se asegura que en alguna eventualidad o accidente funcione de forma correcta.
- Al realizar las siguientes operaciones, asegúrese de que no haya nadie dentro del rango de movimiento del robot y que el operador esté en una posición segura.
- Cuando el robot está encendido
 - Al operar el robot con la consola de programación (Modo TEACH)
 - Al operar el robot de forma automática (Modo PLAY)
 - Al operar el robot de forma externa con el panel de control (Modo REMOTE)
- Para cualquier modificación o testeo de programa reducir la velocidad de movimiento a la mínima posible.

- Si se ingresa inadvertidamente dentro del rango de movimiento del robot o entra en contacto con él, se pueden producir lesiones personales.
- Si se produce una anomalía, presione el botón de parada de emergencia inmediatamente, si el cuadro de instrucciones se detiene y la anomalía no termina, asegúrese de presionar el paro de emergencia del gabinete de control.

4.1.4 Atención

- Verifique que la puerta frontal del gabinete de control se encuentre cerrada totalmente y asegurada, caso contrario la perilla de encendido no girará y luego opere de acuerdo con las instrucciones.
- Verifique que el sistema de soldadura se encuentre encendido, que disponga del gas protector adecuado (CO₂) y que se encuentre habilitado el paso al flujo adecuado.
- Verifique que el circuito se encuentre cerrado mediante el extremo de tierra (PINZA DE MASA), ubicado en contacto directo con la mesa de apoyo.
- Verifique que la longitud de alambre dispuesto en la boquilla de soldadura se encuentre dentro de los parámetros ideales (1cm aprox), antes de dar inicio al proceso.
- Asegúrese que la posición de la llave de activación del modo remoto, en el panel de control externo, se encuentre en OFF o desactivado.
- Asegúrese que no exista ningún elemento externo o ajeno a la mesa de apoyo, Jigs de soldadura o materia prima, ya que esto podría ocasionar conflictos en las trayectorias del brazo robótico.

- Las ilustraciones y las fotos de este manual son ejemplos reales y están implementados totalmente dentro de la celda.
- Para el inicio, finalización o cualquier eventualidad del proceso que requiera del uso de la consola de programación, se deberá desactivar el modo remoto del panel de control, así como de la consola de programación. Después de usarlo, se deberá reactivar el modo Remoto y la consola de programación deberá ser ubicada en el gancho del gabinete de control.

4.2 Operación en modo prueba del proceso

A continuación, se describe las instrucciones iniciales para el modo prueba o testeo general de cada estación conformada por un Jig de soldadura.

4.2.1 Inicio de operación

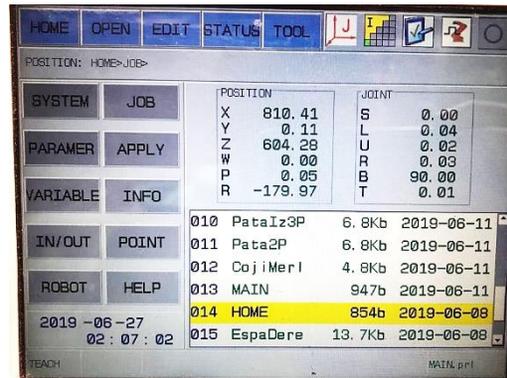
- Encender el interruptor general ubicado en la pared, parte posterior de la celda de manufactura robotizada. Este interruptor sirve para energizar el transformador de 220VAC a 380VAC, voltaje con cual el gabinete de control trabaja.
- Verificar que la puerta frontal del gabinete de control se encuentre correctamente cerrada.
- Verificar que se encuentren pulsados tanto el paro de emergencia del gabinete de control como de la consola de programación.
- Encender el sistema de soldadura del interruptor que se encuentra en la parte posterior del mismo.
- Verificar que se encuentre conectado en la parte posterior del sistema de soldadura, el dispositivo de protección de congelamiento del gas.

- Habilitar las válvulas de paso de gas protector, tanto la del tanque como la del regulador.
- Girar la perilla de encendido, ubicada en el gabinete de control.
- Esperar aproximadamente 1 minuto mientras todo el sistema se enciende.
- Desactivar el paro de emergencia del gabinete de control y verificar que los 6 servo drivers hayan sido energizados. La luz indicativa de color blanco (POWER) del gabinete de control se encenderá.
- Desactivar el paro de emergencia de la consola de programación y verificar que no exista ninguna alarma activada en la parte inferior de la pantalla. La luz indicativa de color rojo (ALARM) del gabinete de control se apagará.



4.2.2 Programa HOME

En la pantalla principal, mediante la tecla TAB seleccionar el cuadro donde se enlistan los programas almacenados y mediante las teclas de dirección seleccionar el programa "HOME", el cual se encuentra programado para que el brazo robótico se ubique en su posición inicial.



Seleccionar el programa "HOME" con la tecla SELECT, ubicarse con las teclas de dirección en la primera línea del programa y activar el modo PLAY.



Activar los servos, presionando la tecla SERVO READY.



Una vez activados los servos lo único que falta es presionar la tecla de color verde START.



De inmediato el programa empezará a correr, al ser un modo de prueba es estrictamente necesario que la velocidad sea la mínima, en este caso "Inching" que representa la velocidad más  baja a la que el robot realiza sus movimientos. La velocidad puede ser controlada mediante las teclas de MANUAL SPEED.



4.2.3 Testeo línea a línea

- Activar el modo TEACH, para verificar un programa línea a línea.
- Presionar la tecla F1 para regresar a la pantalla principal y seleccionar otro programa para ser evaluado.
- Ubicarse en la primera línea del programa para empezar el testeo, con esta inspección previa de las líneas de programación aseguramos de forma controlada que no existan choques o inconsistencias en la secuencia del brazo robótico. Si existen líneas programadas acerca de la aplicación de soldadura, en este modo, dichas las líneas de programación no se activarán.
- Presionar el botón de hombre muerto y el botón de FORWARD, para empezar el corrido del programa línea a línea. Es importante seguir de cerca cada movimiento,

para cada línea es necesario mantener presionado ambos botones si alguno de ellos deja de ser presionado el brazo robótico entre en pausa (HOLD) hasta que se vuelva a presionar ambos botones.

- CADA vez que una línea finaliza, aparecerá un mensaje en la pantalla donde se notifica la finalización de esa línea y se encuentra en la espera de una pulsación de ambos botones (Hombre Muerto y FORWARD) para continuar con la siguiente línea.



Nota: Se recomienda NO utilizar el botón de BACKWARD, para realizar una línea previa debido a que el regreso a dicha posición no cumple con la ubicación espacial con la cual se movió hacia adelante, pudiendo ocasionar así conflictos o choques. Para regresar una línea se recomienda utilizar los botones de dirección.

- Al presionar F3 se accede a la opción de edición (EDIT) de dicho programa, este paso solo deberá ser realizado por un supervisor o una persona autorizada.

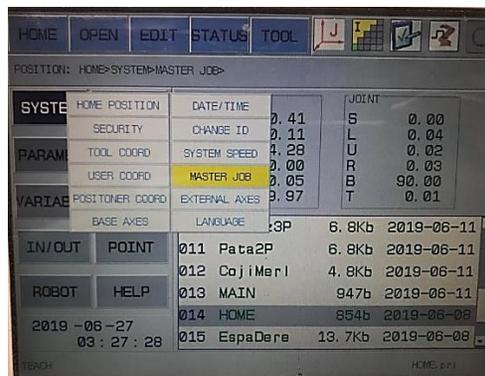
4.2 Operación en modo tiempo real del proceso

Para la puesta en marcha del proceso, una vez finalizado el testeado de cada uno de los programas en vacío, se necesita activar el modo REMOTE y configurar la aplicación de soldadura.

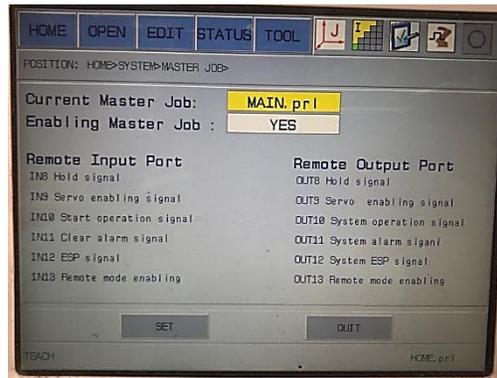
4.2.1 Master Job

Es una función del sistema propio del brazo robótico y su controlador, que permite asignar un programa principal desde el cual se asignaran subprogramas o subrutinas. Cuando el Master Job se habilita, las E/S asignadas para el modo REMOTE entran en funcionamiento.

- En la pantalla principal, mediante la tecla TAB seleccionar SYSTEM en el menú del lado izquierdo y con los botones de dirección seleccionar la opción "MASTER JOB", el cual nos permite asignar un programa previamente creado como principal.



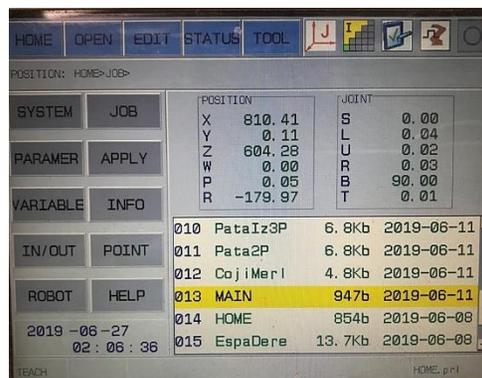
- Al seleccionar el programa en Current Master Job, se desplegará un listado con todos los programas previamente realizados. Seleccionar el programa "MAIN" y habilitar el Master Job seleccionando la palabra YES.



Nota: Para que el Master Job se ejecute, tiene una condición de accionamiento para cada programa, debe iniciar y finalizar en el mismo punto, es decir en la misma posición espacial de la que inicio debe finalizar.

4.2.2 Programa MAIN

- En la pantalla principal, mediante la tecla TAB seleccionar la pantalla con el listado de programas y con los botones de dirección seleccionar el programa "MAIN", el cual se encuentra programado para que el brazo robótico sea comandado por el panel de control externo.



- Presionar el botón F2 para ingresar a la opción de abrir (OPEN) y testear el primer punto que será el mismo de inicio y final para toda la secuencia.

The screenshot shows a CNC control interface with a menu bar at the top containing 'HOME', 'OPEN', 'EDIT', 'STATUS', and 'TOOL'. Below the menu, a program is displayed with the following code:

```

0001 MAIN;
0002 MOVJ P10, V20, Z0;
0003 JUMP LAB1, IF IN16 == ON;
0004 JUMP LAB2, IF IN17 == ON;
0005 JUMP LAB3, IF IN18 == ON;
0006 JUMP LAB4, IF IN19 == ON;
0007 JUMP LAB5, IF IN20 == ON;
0008 JUMP LAB6, IF IN21 == ON;
0009 JUMP LAB7, IF IN22 == ON;
0010 JUMP LAB8, IF IN23 == ON;

```

At the bottom of the screen, there is a 'POSITION' table and a 'JOINT' table. The 'POSITION' table shows coordinates for X, Y, and Z axes. The 'JOINT' table shows joint positions for J1, J2, and J3.

POSITION			JOINT		
X	818.41	0.00	J1	0.00	0.03
Y	0.11	0.05	J2	0.04	90.00
Z	604.28	-179.97	J3	0.02	0.01

At the bottom left, it says 'READY' and at the bottom right, it says 'MAIN.gpi'.

- Activar el modo REMOTE en la consola de programación, en el momento que se encuentra activo este modo se desactiva totalmente la consola de programación y el gabinete de control se encuentra a la espera de una señal externa, proveniente del panel de control externo.

Nota: Si se desactiva el modo REMOTE en la consola de programación inmediatamente queda inhabilitado el panel de control externo así se encuentre activada la llave de modo REMOTE en el panel de control externo, teniendo mayor jerarquía la consola de programación.

4.2.3 Modo REMOTE

En el modo REMOTE, se puede comandar las siguientes operaciones mediante una señal externa: encender o activar los servos, inicio del proceso, limpiar alarmas, llamar al programa principal (MAIN) o subprogramas asignados y operarlos de forma externa.

- Verificar que se encuentre activado el modo REMOTE en la consola de programación.

- Activar el modo REMOTE en el panel de control externo, girando el interruptor de llave.

INTERRUPTOR DE LLAVE



- Seleccionar un programa a realizar mediante los selectores de 3 posiciones ubicados en la parte inferior del panel de control. Solamente se puede seleccionar un programa a la vez por lo que se deberá verificar la posición neutral de todos los selectores restantes mientras solo uno se encuentra activado.
- Activar los servos al presionar el botón SERVOS de color verde que se encuentra debidamente etiquetado. Al ser presionado se encenderá una luz indicativa de color verde.



- Presionar el botón INICIAR de color verde que se encuentra debidamente etiquetado. Al ser presionado se encenderá una luz indicativa de color verde.
- Durante el proceso pueden generarse errores o activarse alarmas, si ocurre esto se encenderá una luz indicativa de color rojo y el proceso se detendrá. Se recomienda llamar a una persona autorizada para revisar el proceso, con el botón LIMPIAR ALARMAS de color rojo se procederá a limpiar los errores registrados.



Nota: Si se encuentran alarmas o errores activos, ningún proceso podrá ser reanudado incluso si se vuelve a activar los servos y presionar el botón INICIAR.

4.3 Operación de cambio de material del proceso

El cambio de material tiene una importante función en la eficacia del proceso y depende en su totalidad del personal capacitado a cargo de esta etapa de producción y fabricación.

Cada estación o Jig de soldadura deberá ser dispensada de material previo al inicio de cada proceso, deberá ser asegurada con todos los Clamps o prensas mecánicas de sujeción y principalmente se debe verificar que existan todas las piezas a soldar debido a que el sistema de soldadura posee un sensor de arco eléctrico por lo que, si no existen

dos piezas a soldar, el brazo robótico generará un error y el proceso se detendrá inmediatamente.

Cada vez que se disponga a montar material a soldar y desmontar estructuras soldadas el operario deberá accionar el paro de emergencia ubicado en el panel de control externo, sin necesidad de apagar el modo REMOTE, esta acción se la recomienda como medida de seguridad para evitar cualquier accidente. Una vez montado el material para cada Jig de soldadura se procede a desactivar el paro de emergencia y continuar con el proceso.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó una celda de manufactura robotizada con un panel de control externo, cumpliendo con los requerimientos solicitados por la empresa MIVILTECH S.A, logrando flexibilidad en las estructuras de los Jigs de soldadura, robustez en la estructura general y eficiencia en el proceso general de soldadura para optimizar tiempos de producción.
- Se investigó todo acerca de brazos robóticos soldadores y robots industriales, logrando entender los modos de uso del robot GSK RH06 y la generación de trayectorias en beneficio de su aplicación, en este caso soldadura MIG.
- En conclusión, se tiene que mantener un correcto mantenimiento de la válvula, la cual debe estar cerrada mientras en el robot no esté en ningún proceso de soldadura, así no se tendrá ningún problema de fuga de gases tóxicos.
- Los Clamps tienen que estar correctamente cerrados antes del proceso de soldadura, para tener una suelda optima y que pase los ensayos de la empresa.
- Se concluye que en la mesa de apoyo no se debe tener piezas o estructuras distintas a los Jig's, ya que se puede generar un movimiento y no tener una soldadura aceptable.
- En conclusión, la celda de manufactura debe estar limpia en todo momento para extender la vida útil de todo elemento.

- Toda la celda fue construida con el acero estructural ASTM A36, porque tiene una mayor facilidad de construcción y se encuentra en el mercado nacional.
- Para generar programas se utilizan velocidades bajas para no tener colisiones con los elementos de la celda.
- Se darán capacitaciones acerca del funcionamiento del robot para los trabajadores nuevos que tomen este espacio de trabajo, se tendrán manuales de operación y seguridades.
- Las normas de seguridad no se implementaron por completo en el proyecto, pero la empresa cuenta con el respaldo para poder ejecutarlas en cualquier momento.
- El correcto cumplimiento del proceso interno de una celda de manufactura es un punto crucial en el diseño de la celda, debido a que muchos sistemas fallan por la creación de celdas suboptimizadas donde no se cumple ni el trabajo asignado, ni sus funciones o interacciones con el operario, esto podría significar pérdidas económicas o disminución de margen para recuperar la inversión.
- Se implementó una mesa en forma de corona circular para aprovechar todo el alcance y rango de trabajo, donde existen 5 estaciones disponibles a soldar, cada una de ellas cuenta con un Jig de soldadura para cada sub estructura del asiento interprovincial.
- Se implementaron 5 Jig's o plantillas de soldadura en base al modelo CAD de asiento interprovincial que la empresa MIVILTECH S.A nos facilitó, luego de que este modelo fue sometido a análisis estructurales para ser aprobado.

- Se generó trayectorias de movimientos secuenciales a través de la consola de programación y se configuró 10 distintos programas, cada programa posee parámetros propios tanto de propiedades de movimiento como propiedades de soldadura.
- Se generaron varios programas para los movimientos del brazo robótico soldador GSK RH06 para luego ser operados mediante el modo REMOTE, permitiendo el manejo E/S del módulo GL 100-I propio del gabinete de control, las cuales se encuentran asignadas dentro de un programa principal para ser comandadas por el panel de control externo.
- Se implementó un panel de control externo, fácilmente maniobrable, para que el proceso sea controlado a distancia, con esto se evita el deterioro de la consola de programación. El gabinete de control cuenta con E/S reservadas para este modo, la cuales fueron utilizadas dentro de dicho panel, cuenta con todas las etiquetas indicativas para que el proceso se efectúe sin riesgo alguno.
- Se diseñó e implemento la celda de manufactura robotizada flexible y fácil de operar, con el fin de que el proceso se adapte a las necesidades diarias de la empresa.
- El principal beneficiario del proyecto es la empresa MIVILTECH S.A, donde el desarrollo y mejoramiento de partes automotrices es uno de sus principales objetivos. La implementación de esta celda de manufactura es fundamental para el crecimiento de la empresa, la fabricación de las subestructuras del asiento interprovincial permite expandir su oferta de productos a nivel nacional.

- El precio final de la implementación de la celda de manufactura y todos sus componentes bordea los \$3000.00 dólares americanos sin tomar en consideración el costo del brazo robótico y su sistema de soldadura, logrando así que la inversión sea recuperada a corto plazo por parte de la empresa.

5.2 Recomendaciones

- Mantener cerrada la válvula de paso del gas protector, siempre que el brazo robótico no se encuentre en funcionamiento.
- Como medida de seguridad, se recomienda asegurarse que todos los Clamps se encuentren debidamente cerrados y asegurados, con este evitamos que las piezas a soldar puedan moverse o que existan colisiones entre la antorcha de soldadura y las piezas a soldar.
- Es necesario que la mesa de apoyo y los Jig's de soldadura no se vean afectados por desplazamientos producidos por cargas externas, esto afectará entre la ubicación espacial del brazo robótico y las trayectorias previamente generadas.
- Para que la celda de manufactura funcione sin ningún inconveniente es necesario mantener un ambiente limpio, que prolongue la vida útil de todos los componentes implementados y ordenado, con esto se evita que existan elementos ajenos a la celda que pueda producir accidentes.
- Se recomienda utilizar tubo de acero estructural ASTM A36 para cualquier estructura, ya sea reemplazo de alguna parte o implementación de un nuevo segmento dentro la celda.

- De preferencia utilizar velocidades bajas para un nuevo testeo de programa o para el corrido de programas al vacío. En el modo PLAY se recomienda utilizar velocidades intermedias para obtener un tiempo estimado del proceso.
- Es necesario que siempre exista un supervisor o persona capacitada a cargo de la celda de manufactura, quien se encuentre perfectamente capacitado para solucionar diversos problemas que pueda ocurrir y que deban ser solucionados desactivando el modo REMOTE.
- Se recomienda capacitar a todos los operarios de celda de manufactura con la finalidad de que no existan inconvenientes al momento del inicio del proceso, en el Capítulo IV de este proyecto se presenta un manual de operación con el cual se puede asegurar un correcto funcionamiento de la celda.
- Se debe tomar muy en cuenta todas las normas de seguridad y la señalética dentro de la celda de manufactura, para evitar accidentes o riesgo para los operarios.
- Este proyecto fue implementado en su totalidad para las sub estructuras del asiento interprovincial, pero posee la flexibilidad para que sean adaptados nuevos procesos o estructuras utilizando los mismos elementos existentes.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

ASTM: American Society for Testing and Materials. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

A36: El acero A36, tiene una densidad de 7850 kg/m^3 . El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales.

B

Brazo robótico: Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.

C

Controlador: Es el cerebro del robot, controla todos los motores, sensores, herramientas y partes externas unidas al robot

G

Grados de libertad: Capacidad de un cuerpo aislado en el espacio de moverse libremente en éste, estos grados son definidos por los tres movimientos de translación y tres movimientos de rotación alrededor de los ejes coordenados.

J

Jig: Es una plantilla para soldadura que debe ser funcional en el ensamblaje de subestructuras, y que pueda desmontarse con facilidad.

Job: El término job contiene los archivos relevantes del proceso.

L

Layout: Nombre alternativo para representar un diseño o una escena de gráficos o animación 2D/3D por ordenador.

M

MIG: La soldadura MIG establece un arco eléctrico entre el electrodo, que tiene forma de hilo continuo y la pieza a soldar.

Mecanizado: Proceso de transformación de una pieza por arranque o eliminación de parte de su material.

P

PTP: Movimiento Punto a Punto del robot.

S

Soldadura: es un proceso de unión de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más piezas.

T

TP: Panel de aprendizaje

BIBLIOGRAFÍA

- ABB (2018). *Controlador IRC5P Robot*. [image] Available at: <https://new.abb.com/products/robotics/es/controladores/irc5> [Accessed 20 Nov. 2018].
- Arribas, Francisco. 2017. Normas técnicas en seguridad robótica. UNE Normalización Española.
- Braman, Ryan. 2018. Seguridad Robótica. Test Engineer TÜV Rheinland ® PDF
- Cepyme. 2012. Guía técnica de seguridad robótica. PDF Gobierno de Aragón, Departamento de Economía, Hacienda y Empleo.
- Echave, E. (2017). Robot, pero no. [Blog] Enredando con redes. Available at: <https://enredandoconredes.com/2017/05/14/componentes-robots-industriales/> [Accessed 19 nov. 2018].
- FANUC (2018). *Robot soldador por arco*. [image] Available at: <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/soldadura-por-arco/arcmate-120ic-12l> [Accessed 21 nov. 2018].
- Görnemann Otto. 2017. Seguridad de los robots colaborativos “Mitos, realidades y futuro” PDF
- GSK CNC Equipment Co (2017). Operation Manual. GSK RH06 Manual. Guangzhou: GSK.
- GSK CNC Equipment Co (2017). RH06 Transportation Robot User Manual (Mechanical Volumen). GSK RH06 Manual. Guangzhou: GSK.
- GSK CNC Equipment Co (2017). User Manual (Electric Volumen). GSK RH06 Manual. Guangzhou: GSK.

- KUKA (2018). *Brazo Robótico*. [image] Available at: <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial/kr-600-fortec> [Accessed 20 Nov. 2018].
- KUKA (2018). *KCP Robot*. [image] Available at: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/robot-controllers/smartpad> [Accessed 20 Nov. 2018].
- Lee, Quarterman, Facilities and Workplace Design, Atlanta, GA, Engineering and Management Press, 1997.
- Mejía, C., Lara, D. F., & Nieto, C. (2010). Círculos tecnológicos de parentesco - Technological Kinship Circles. *Revista Ingeniería E Investigación*, 30(1), 163–167
- Monden, Y. (1989) *Toyota Production System: an integrated approach to Just in Time*, Institute of Industrial Engineers. USA. 3rd edition.
- Moreno, J. (2016). Antorchas de soldadura para robots, 8 puntos clave. [Blog] *Soldadura y Robótica*. Available at: <https://www.josecarlosmoreno.com/single-post/2016/10/31/Robotic-welding-torch-1> [Accessed 20 nov. 2018].
- Ollero Baturone, A. (2001). *Robótica*. 1st ed. Barcelona, Sp: Marcombo Boixareu.
- R. González, V. (2014). *Robots industriales*. [online] Platea.pntic.mec.es. Available at: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm [Accessed 20 Nov. 2018].
- Rivas, H. (2018). Robot industrial de soldadura - RIVAS ROBOTICS - HURTADORIVAS. [online] RIVAS ROBOTICS - HURTADORIVAS. Available at: <http://rivasrobotics.com/robot-industrial-de-soldadura/> [Accessed 21 Nov. 2018].
- RRT Collectors. (2014) *Manufactura celular*. [Power Point] Recuperado de: [http://www.rtcollectors.com/LEAN%20101%20 Rev.pps](http://www.rtcollectors.com/LEAN%20101%20Rev.pps)

- Sekine, K. (1993) Diseño de Celdas de Fabricación, Productivity. Pórtland Oregon.
- Tregaskiss. (2015). Configuraciones de la pistola [Image]. Retrieved from https://www.tregaskiss.com/files/SpSh_CA3_Spanish.pdf
- Wrennall, William, And Lee, Quarterman, Handbook of Commercial and Industrial Facilities Management, McGraw Hill, August 1993.

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores **POLO ARIOPAJAS, WOLNEY FRANCISCO** y **ZAMBRANO DONOSO, ALVARO XAVIER**.

En la Ciudad de Latacunga, a los 18 días del mes de julio del 2019.

Aprobado por:

Ing. Marco Singaña A.

DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Darío Mendoza-Chipantasi

DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Rodrigo Vaca Corrales

SECRETARIO ACADÉMICO