



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**DISEÑO Y DESARROLLO DE
HERRAMIENTALES,
AUTOMATIZACIÓN E
INSTRUMENTACIÓN PARA UNA
LÍNEA DE ENSAMBLE**

Tesis profesional presentada por:

Mauricio Velazquez Rojas

Para obtener el título de:

Ingeniero Mecatrónico

Asesor:

Dr. Emilio Miguel Soto García

Puebla Pue., Octubre 2017

¿Cuáles son las cosas que me parecen extrañas? Las más triviales. Sobre todo, los objetos inanimados. ¿Qué es lo que parece extraño en ellos? Algo que no conozco. ¡Pero es justamente eso! ¿De dónde diablos saco esa noción de «algo»? Siento que está ahí, que existe. Produce en mí un efecto, como si tratara de hablar. Me exaspero, como quien se esfuerza por leer en los labios torcidos de un paralítico, sin conseguirlo. Es como si tuviera un sentido adicional, uno más que los otros, pero que no se ha desarrollado del todo, un sentido que está ahí y se hace notar, pero que no funciona. Para mí el mundo está lleno de voces silenciosas. ¿Significa esto que soy un vidente, o que tengo alucinaciones?

Carta a Die Verrirungen des Zöglings Törless de Robert Musil

Agradecimientos

Porque también somos lo que hemos perdido

Mis más sinceros agradecimientos para mi mamá y mis hermanas por su apoyo incondicional durante mi desarrollo profesional, personal y espiritual, todo lo conseguido hasta ahora es para ustedes.

Agradezco a Karla, por ser el amor de mi vida y darme el tesoro más grande que se puede pedir, mi pequeño Franco.

Agradezco a todos mis profesores que fueron clave en mi desarrollo; sobre todo aquellos héroes que me enseñaron cosas más allá de lo que dictaba el programa o lo el sistema les pedía, que me dieron retos para desarrollar mis habilidades, me inspiraron bastante.

Agradezco a mis amigos por su apoyo incondicional, en especial a Isra, Diego, Jordan, Oliver, Ale y Rubén por crecer juntos.

Agradezco a la universidad por su apoyo como institución, por las herramientas brindadas, infraestructura y sobre todo el enfoque autodidácta que imprime desde la educación media superior hasta la universidad en cada estudiante. Sinceramente creo que ésta es la característica que hace la diferencia y me ha formado como un solucionador en mi ejercicio profesional y personal.

Y finalmente, agradezco a todas las personas que han estado ahí, por su confianza, sus palabras y su apoyo, y que directa o indirectamente, han hecho de mí quien soy.

Resumen

Cambiar algo en el espíritu de la gente,
ése es el papel del intelectual.
Michel Foucault.

La tesis presentada a continuación es el diseño, desarrollo e implementación de una línea de producción, considerando las diferentes tareas del proceso; en específico, una línea de ensamble de soldadura ultrasónica para piezas plásticas, bajo una metodología de diseño también presente en el sector automotriz.

Más que una memoria descriptiva, este texto hace énfasis al desarrollo de las habilidades y capacidades necesarias en el ingeniero mecatrónico actual para realizar las tareas de diseño y manufactura que la industria necesita.

La usabilidad, técnicas, habilidades y el método descrito durante toda la tesis está probada en el sector automovilístico; sin embargo, es aplicable a cualquier sector industrial, por lo que el lector puede tomar la información aquí planteada y migrar de sector según sea su conveniencia, aunque claro, deberá realizar las pequeñas adecuaciones necesarias; tal como lo son normas, estándares de calidad o métodos de control y trazabilidad que dicho campo le exija.

El ingeniero actual debe tener; además de los conocimientos teóricos propios de su formación universitaria, los conocimientos de las diferentes etapas de un proceso, la cadena de valor del producto o servicio, proveedores, las tecnologías existentes, innovaciones y, sobre todo, el cliente. Este conocimiento le permitirá pasar de un técnico, o un ingeniero joven e inexperto, a un ingeniero diseñador, de proceso o con mayor jerarquía, capaz de trabajar en equipo, de forma multidisciplinaria y autodidacta, características muy apreciadas en el mercado actual para cualquier sector.

En este documento se habla de los diferentes detalles y la descripción breve de las principales actividades en industria relacionadas con el desarrollo para la manufactura, con el objetivo de ser lo bastante estimulante para causar en el lector la necesidad de investigar cada tema de su interés y realizar su especialización de manera adecuada desde el principio, enfocándose en las actividades que le lleven a su camino de éxito.

Finalmente, la intención general de esta tesis; además de introducir al lector a las actividades de diseño, creación e implementación mediante un ejemplo, es formar las bases para el pensamiento crítico que el ingeniero necesitará en el futuro, por lo cual, es importante que se cuestione en cada uno de los capítulos y apartados, realice prácticas y ahonde en los temas que le parezcan pertinentes.

Índice general

| | |
|---|-------------|
| Agradecimientos | V |
| Resumen | VII |
| Índice general | IX |
| Índice de figuras | XIII |
| Índice de cuadros | XIX |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Introducción | 1 |
| 1.2. Objetivo general | 2 |
| 1.3. Objetivos específicos | 2 |
| 1.4. Alcances y limitaciones | 2 |
| 1.5. Justificación | 4 |
| 1.6. Relevancia social | 5 |
| 1.7. Viabilidad y factibilidad | 6 |
| 1.8. Panorama económico | 7 |
| 2. Marco teórico | 15 |
| 2.1. Concepto de ingeniería | 15 |
| 2.2. Diseño eléctrico | 17 |
| 2.3. Diseño mecánico | 18 |
| 2.4. Diseño de control/programación | 21 |
| 2.5. Consideraciones importantes | 22 |
| 2.6. Análisis de sensores | 23 |
| 2.6.1. Tipos de sensores | 24 |
| 2.6.2. Interruptores de posición | 24 |
| 2.6.3. Sensores de proximidad | 25 |
| 2.6.4. Fotoeléctricos | 26 |
| 2.6.5. Sensores piezoeléctricos | 26 |
| 2.7. Análisis de actuadores | 27 |
| 2.7.1. Motores | 27 |
| 2.7.2. Cilindros neumáticos | 28 |
| 2.7.3. Muelles | 30 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.8. | Control eléctrico | 31 |
| 2.8.1. | Siemens | 31 |
| 2.8.2. | Allen Bradley | 32 |
| 2.8.3. | Omron | 33 |
| 2.8.4. | Mitsubishi | 33 |
| 2.8.5. | Cómo elegir | 34 |
| 2.9. | Robots | 34 |
| 2.9.1. | Datos importantes de un robot | 36 |
| 2.9.2. | Principales marcas | 40 |
| 2.9.3. | Métodos de programación | 41 |
| 2.9.4. | Consideraciones importantes | 43 |
| 2.10. | Proceso | 44 |
| 2.10.1. | Lean manufacturing | 44 |
| 2.10.2. | Balanceo de línea | 45 |
| 2.10.3. | Control visual | 46 |
| 2.10.4. | Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) | 46 |
| 2.10.5. | Heijunka | 47 |
| 2.11. | Normas de la industria | 48 |
| 2.11.1. | La importancia de las normas | 48 |
| 2.11.2. | Norma de seguridad eléctrica | 49 |
| 2.11.3. | Normas de instalación y ensamble | 50 |
| 2.11.4. | Norma mecánica | 52 |
| 3. | Metodología de diseño y desarrollo | 55 |
| 3.1. | Ingeniería inversa | 55 |
| 3.2. | Ingeniería conceptual | 57 |
| 3.2.1. | Formación del grupo de trabajo | 59 |
| 3.2.2. | Levantamiento | 61 |
| 3.2.3. | Gestión de proyectos | 62 |
| 3.3. | Diseño mecánico | 63 |
| 3.3.1. | Generalidades | 63 |
| 3.3.2. | Tipos de herramientas | 64 |
| 3.4. | Diseño eléctrico | 65 |
| 3.4.1. | Generalidades | 65 |
| 3.4.2. | Detalles técnicos | 66 |
| 3.5. | Diseño de control y automatización | 67 |
| 3.5.1. | Generalidades de la automatización | 68 |
| 3.5.2. | Generalidades de control | 68 |
| 3.5.3. | Generalidades de equipos especiales | 70 |
| 3.5.4. | Generalidades de Robots | 71 |
| 3.6. | Manufactura | 72 |
| 3.6.1. | Generalidades | 72 |
| 3.6.2. | Recomendaciones de acuerdo a puesto | 73 |
| 3.7. | Puesta en marcha | 75 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.7.1. | Desarrollo de subensambles | 75 |
| 3.7.2. | Desarrollo de estación | 75 |
| 3.7.3. | Desarrollo de la línea | 76 |
| 3.7.4. | Pre-series | 76 |
| 3.7.5. | Ajustes | 77 |
| 3.8. | Seguimiento | 77 |
| 3.8.1. | Proyecto | 78 |
| 3.8.2. | Clientes | 78 |
| 3.8.3. | Proveedores | 78 |
| 3.9. | Metodología de diseño y desarrollo | 79 |
| 4. | Desarrollo mecatrónico | 81 |
| 4.1. | Diseño mecánico | 82 |
| 4.1.1. | Generalidades técnicas | 82 |
| 4.1.2. | Structure Design | 85 |
| 4.1.3. | Shape | 89 |
| 4.1.4. | Pad | 95 |
| 4.1.5. | Ergonomics | 99 |
| 4.2. | Diseño eléctrico | 103 |
| 4.2.1. | Marcas de componentes eléctricos | 103 |
| 4.2.2. | Elementos eléctricos para tableros | 104 |
| 4.2.3. | Diseño de tablero eléctrico | 106 |
| 4.2.4. | Marcas de componentes neumáticos | 109 |
| 4.2.5. | Elementos neumáticos | 109 |
| 4.2.6. | Diseño de tablero neumático | 110 |
| 4.3. | Programación de robot UR | 113 |
| 4.4. | Programación de PLC-HMI | 121 |
| 4.4.1. | Generalidades | 121 |
| 4.4.2. | Proceso de programación | 122 |
| 4.5. | Programación de cámara y atornillador | 128 |
| 4.5.1. | Principales marcas equipos ópticos | 128 |
| 4.5.2. | Arquitectura cámara | 129 |
| 4.5.3. | Programación cámara | 130 |
| 4.5.4. | Arquitectura y programación atornillador | 135 |
| 4.6. | Manufactura CNC | 139 |
| 4.6.1. | Generalidades | 139 |
| 4.6.2. | Programación en Catia | 143 |
| 4.6.3. | Haas y Fanuc | 149 |
| 4.6.4. | Manufactura de componentes | 157 |
| 5. | Desarrollo de la línea | 161 |
| 5.1. | Ingeniería inversa | 162 |
| 5.2. | Ingeniería conceptual | 164 |
| 5.2.1. | Levantamiento | 167 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.2. Concepto | 168 |
| 5.3. Diseño mecánico de la línea | 169 |
| 5.4. Diseño eléctrico de la línea | 174 |
| 5.5. Diseño de control y automatización de la línea | 176 |
| 5.5.1. Diagrama de flujo estación 2 | 176 |
| 5.5.2. Diagrama de flujo estación 4 | 177 |
| 5.5.3. Diagrama de flujo estación 5 | 179 |
| 5.6. Puesta en marcha de la línea | 180 |
| 5.7. Estación 2 | 183 |
| 5.8. Estación 4 | 185 |
| 5.9. Estación 5 | 188 |
| 5.10. Estación 7 | 189 |
| 6. Resultados y conclusiones | 193 |
| 6.1. Conclusiones metodología | 193 |
| 6.1.1. Levantamiento | 194 |
| 6.1.2. Ingeniería inversa | 194 |
| 6.1.3. Análisis y propuesta solución | 195 |
| 6.1.4. Diseño | 196 |
| 6.1.5. Manufactura | 196 |
| 6.1.6. Control eléctrico | 197 |
| 6.1.7. Programación | 198 |
| 6.1.8. Ajustes y puesta en marcha | 199 |
| 6.1.9. Gestión de proyectos | 199 |
| 6.2. Resultados y conclusiones de línea de ensamble | 200 |
| 6.2.1. Estación 2 | 200 |
| 6.2.2. Estación 4 | 200 |
| 6.2.3. Estación 5 | 201 |
| 6.2.4. Estación 7 | 201 |
| 6.2.5. Equipo soldadura | 201 |
| 6.2.6. Programación robot | 202 |
| 6.2.7. Programación PLC-HMI | 203 |
| 6.2.8. Diseño mecánico | 204 |
| 6.2.9. Diseño eléctrico y automatización | 204 |
| 6.2.10. Manufactura y puesta en marcha | 205 |
| 6.2.11. Producto | 205 |
| 6.2.12. Estaciones automáticas y manuales | 206 |
| 6.2.13. Estación de validación | 206 |
| 6.2.14. Línea de ensamble | 207 |
| 6.3. Opciones de mejora | 207 |
| 6.4. Conclusión general | 208 |
| Bibliografía | 209 |

Índice de figuras

| | | |
|-------|--|----|
| 1.1. | Principales armadoras del país (Secretaría de economía, 2014) | 7 |
| 1.2. | Exportaciones mexicanas de vehículos (Secretaría de economía, 2014) . | 9 |
| 1.3. | Producción de vehículos nacional (Secretaría de economía, 2014) | 9 |
| 1.4. | Estados con mayor exportación de vehículos ligeros (Secretaría de economía, 2014) | 11 |
| 1.5. | Egresados de licenciaturas de ingeniería, manufactura y construcción. (Secretaría de economía, 2014) | 12 |
| 2.1. | Recomendación de pasos para un buen diseño (Budynas, 2008) | 16 |
| 2.2. | Ejemplo de un cableado estructural (Sun soluciones, 2016) | 17 |
| 2.3. | Máquina de vapor creada por James Watt en 1764 (Line, 2016) | 19 |
| 2.4. | Esquema a bloques de un transductor (PCE, 2016) | 23 |
| 2.5. | Ejemplo de interruptores de posición (Blogspot, 2011) | 24 |
| 2.6. | Ejemplo de aplicación a sensores de proximidad (Omron, 2014) | 25 |
| 2.7. | Ejemplo de aplicaciones con fotoeléctricos (Omron, 2014) | 26 |
| 2.8. | Ejemplo de aplicación con piezoeléctrico (Sinais, 2017) | 27 |
| 2.9. | Ejemplo de motores en AC (Motores y motores LC, 2017) | 28 |
| 2.10. | Catálogo Festo (Festo, 2017) | 29 |
| 2.11. | Ejemplo de resortes (ResortesLC, 2017) | 31 |
| 2.12. | Ejemplo de logo Siemens (Siemens, 2017) | 32 |
| 2.13. | Ejemplo de un PLC Allen Bradley (E&A, 2017). | 32 |
| 2.14. | Ejemplo de un PLC Omron (Omron, 2017) | 33 |
| 2.15. | Ejemplo de PLC Mitsubishi (MRPSTOP, 2017) | 33 |
| 2.16. | Robot Fanuc para aplicaciones de soldadura (Fanuc, 2017) | 35 |
| 2.17. | Base feature (UR, 2016) | 37 |
| 2.18. | Tool feature (UR, 2016) | 37 |
| 2.19. | Tool feature (UR, 2016) | 37 |
| 2.20. | Feature definido por usuario (UR, 2016) | 38 |
| 2.21. | Volumen de trabajo de un robot (Faculty Petra, 2017) | 41 |
| 2.22. | Volumen de trabajo de usuario (Fanuc, 2017) | 42 |
| 2.23. | Puntoref como referencia (UR, 2016) | 43 |
| 2.24. | Ejemplo de comunicación PC-Robot (UR, 2016) | 43 |
| 2.25. | Línea de fabricación y ensamble (IIO, 2017) | 46 |
| 2.26. | Transformación a líneas en forma de U (IIO, 2017) | 47 |

| | |
|---|-----|
| 3.1. Ejemplo de ingeniería inversa (Grupo Carman, 2017) | 55 |
| 3.2. Herramientas de la ingeniería inversa (Monroy, 2017). | 56 |
| 3.3. Esquema de desarrollo ideal. | 62 |
| 3.4. Ejemplo de nomenclatura. | 63 |
| 3.5. Diagrama de la metodología de diseño y desarrollo en la industria. | 79 |
| 4.1. Etiqueta de plano recomendada | 82 |
| 4.2. Esquemático de funcionamiento clamp | 84 |
| 4.3. Ejemplo de esferas de control | 85 |
| 4.4. Acceso a la herramienta diseño estructural | 86 |
| 4.5. Selección de estructura | 86 |
| 4.6. Selección de puntos para la creación de líneas | 87 |
| 4.7. Selección de línea | 87 |
| 4.8. Selección de perfil | 88 |
| 4.9. Producto barrido | 88 |
| 4.10. Herramientas de corte entre perfiles | 89 |
| 4.11. Acceso herramienta Shape. | 89 |
| 4.12. Bodies independientes en el modelo | 90 |
| 4.13. Offset del modelo matemático | 90 |
| 4.14. Resultado de copiado | 91 |
| 4.15. Copiado de área específica | 91 |
| 4.16. Operación blend entre dos líneas | 92 |
| 4.17. Operación fill | 92 |
| 4.18. Contorno cerrado | 93 |
| 4.19. Herramienta Join | 93 |
| 4.20. Imperfecciones en la superficie | 94 |
| 4.21. Plano de referencia para la base | 94 |
| 4.22. Base y cuerpo de producto | 95 |
| 4.23. Herramienta split | 95 |
| 4.24. Producto trimeado | 96 |
| 4.25. Ejemplo de ángulos de salida negativos | 96 |
| 4.26. Sistema sin ángulos negativos | 97 |
| 4.27. Herramienta hole | 97 |
| 4.28. Sistema con tornillería | 98 |
| 4.29. Corte para validación | 98 |
| 4.30. Acceso herramienta Ergonomics | 99 |
| 4.31. Menú ergonomics | 99 |
| 4.32. Ejemplo de modelo | 100 |
| 4.33. Herramientas dentro de el módulo | 100 |
| 4.34. Diagrama de tablero eléctrico general | 106 |
| 4.35. Nivel superior | 107 |
| 4.36. Segundo nivel | 107 |
| 4.37. Tercer y cuarto nivel del tablero | 108 |
| 4.38. Simulación de un sistema de clampeo | 111 |

| | |
|--|-----|
| 4.39. Tablero neumático | 112 |
| 4.40. Asignación de variables en el teach pendant (UR, 2016) | 113 |
| 4.41. Método de conversión (UR, 2016) | 114 |
| 4.42. Sistema de entrada de transformadas (UR, 2016) | 114 |
| 4.43. Interfaz de planos de seguridad (UR, 2016) | 115 |
| 4.44. Interfaz de ajuste de herramienta (UR, 2016) | 115 |
| 4.45. Interfaz de configuración de red (UR, 2016) | 116 |
| 4.46. Esquema a bloques de protocolo red (UR, 2016) | 116 |
| 4.47. Ejemplo de variables y funciones (UR, 2016) | 117 |
| 4.48. Transformada pose (UR, 2016) | 117 |
| 4.49. Configuración de red en W7 | 117 |
| 4.50. Configuración de red en robot (UR, 2016) | 118 |
| 4.51. Sistema gripper con 2 herramientas (UR, 2016) | 118 |
| 4.52. Anexo de TCP (UR, 2016) | 119 |
| 4.53. Cambio de TCP automático de dos herramientas | 120 |
| 4.54. Jerarquía de programación | 121 |
| 4.55. Agregar dispositivo. | 122 |
| 4.56. Conexión de HMI con PLC | 123 |
| 4.57. Resultado de conexión | 123 |
| 4.58. Tabla de variables estándar | 124 |
| 4.59. Tabla de variables definidas | 124 |
| 4.60. Funciones | 125 |
| 4.61. Sección de programa. | 125 |
| 4.62. Configuración de red | 126 |
| 4.63. Comunicación exitosa | 126 |
| 4.64. Interfaz para mantenimiento | 127 |
| 4.65. Arquitectura cámara | 129 |
| 4.66. Inicio de configuración SOPAS (Sick, 2016) | 130 |
| 4.67. Ejemplo de auto enfoque (Sick, 2016) | 131 |
| 4.68. Imagen ajustada y selección del Teach reference (Sick, 2016) | 131 |
| 4.69. Uso de contornos (Sick, 2016) | 132 |
| 4.70. Límite de evaluación (Sick, 2016) | 132 |
| 4.71. Uso de la herramienta Pattern (Sick, 2016) | 133 |
| 4.72. Interfaz Results (Sick, 2016) | 134 |
| 4.73. Programación en cámara (Sick, 2016) | 134 |
| 4.74. Interfaz de usuario (Deprag, 2016). | 135 |
| 4.75. Base de conexión (Deprag, 2016) | 136 |
| 4.76. Sistema completo (Deprag, 2016) | 137 |
| 4.77. Comunicación Profinet | 137 |
| 4.78. Modificación de parámetros | 138 |
| 4.79. Información avanzada | 138 |
| 4.80. Secuencia de fabricación | 139 |
| 4.81. Calidades | 140 |
| 4.82. Configuración módulo machining catia | 143 |

| | |
|--|-----|
| 4.83. Herramienta machining | 144 |
| 4.84. Árbol de proceso y Part Operation | 144 |
| 4.85. Definición del tipo y procesado de máquina | 145 |
| 4.86. Interfaz herramienta Roughing | 147 |
| 4.87. Simulación operación sweeping | 147 |
| 4.88. Simulación 3D del programa | 148 |
| 4.89. Compilar programa | 148 |
| 4.90. CNC vertical de 3 ejes Fanuc | 149 |
| 4.91. Interfaz control Haas | 150 |
| 4.92. Interfaz control Fanuc | 153 |
| 4.93. Interzas de mando | 154 |
| 4.94. Interfaz secundaria | 154 |
| 4.95. Interfaz visual y programación | 155 |
| 4.96. Planado de placa de polietileno | 158 |
| 4.97. Haas en funcionamiento | 158 |
| 4.98. Maquinado pieza 3 | 159 |
| 4.99. Diagrama del proceso de manufactura | 159 |
| 5.1. Piezas involucradas en el proceso 4 | 162 |
| 5.2. Funcionamiento de un sonotrodo | 163 |
| 5.3. Ejemplo de un sistema tipo prensa (Dukkane, 2017) | 164 |
| 5.4. Descripción de puntos pieza 1 | 165 |
| 5.5. Descripción de puntos pieza 2 | 165 |
| 5.6. Descripción de puntos pieza 3 | 166 |
| 5.7. Layout propuesto | 166 |
| 5.8. Ejemplo estación soldadura | 167 |
| 5.9. Primer concepto | 168 |
| 5.10. Dimensiones generales del producto | 168 |
| 5.11. Diseño conceptual estación 2 | 170 |
| 5.12. Ejemplo de holding para la estación 2 | 170 |
| 5.13. Ejemplo de holding para la estación 5 | 171 |
| 5.14. Sistema final holding | 171 |
| 5.15. Esquema básico de estación 4 | 172 |
| 5.16. Ensamble robot. | 173 |
| 5.17. Esqueleto común para los tableros | 174 |
| 5.18. Ejemplo de tablero terminado | 175 |
| 5.19. Diagrama de flujo funcionamiento estación 2 | 177 |
| 5.20. Diagrama de flujo funcionamiento estación 4 | 178 |
| 5.21. Diagrama de flujo funcionamiento estación 5 | 179 |
| 5.22. Plano de ensamble mesa 4 | 180 |
| 5.23. Tableros y PLCs | 181 |
| 5.24. Atornillador y fuentes | 181 |
| 5.25. Ejemplo de ayudas visuales | 182 |
| 5.26. Prueba de fijación de robot y capacitación | 182 |

| | |
|---|-----|
| 5.27. Piezas involucradas en la estación 2 | 183 |
| 5.28. Vista en perspectiva 1 estación 2 | 184 |
| 5.29. Vista en perspectiva 2 estación 2 | 184 |
| 5.30. Estación 2 | 185 |
| 5.31. Piezas involucradas en la estación 4 | 185 |
| 5.32. Acercamiento de la cuna 4 | 186 |
| 5.33. Vista lateral de la estación 4 | 186 |
| 5.34. Vista completa estación 4 | 187 |
| 5.35. Estación 4 con todos los equipos | 187 |
| 5.36. Piezas en la estación 5 | 188 |
| 5.37. Subsistemas de la estación 5 | 188 |
| 5.38. Estación 5 | 189 |
| 5.39. CAD propuesta de la estación 7 | 189 |
| 5.40. Mediciones en la base | 190 |
| 5.41. Grapas para pieza 2 | 190 |
| 5.42. Puntos de inspección traseros | 191 |
| 5.43. Diagrama de flujo funcionamiento estación 7 | 192 |

Índice de cuadros

| | |
|--|-----|
| 2.1. Acabados según DIN | 52 |
| 2.2. Escalas de representación en plano norma DIN | 53 |
| 2.3. Los doce símbolos de tolerancia (Aguilar, 2017) | 53 |
| 3.1. Esquemático área vs actividad | 80 |
| 4.1. Valores para desbaste | 141 |
| 4.2. Valores para acabado | 142 |

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

La industria actual requiere de ingenieros capaces de usar métodos, conceptos y teorías en situaciones reales en el ambiente laboral. Para el ingeniero mecatrónico es fundamental; además de manejar los conceptos básicos de mecánica, eléctrica y de control, tener conocimientos acerca del proceso, producto, interacción, comunicación entre áreas y manejo de proyectos.

Aunque es posible para el ingeniero mecatrónico realizar tareas como mantenimiento, tareas de control de proceso, manufactura y calidad; solo por decir algunos, la tarea que debe ser prioridad para el profesional es desarrollar las tecnologías y equipos necesarios para realizar una tarea, así como el desarrollo de productos, cadenas de producción y de ensamble.

El desarrollo de líneas de ensamble es la actividad que se mencionará a lo largo del documento junto con su metodología de diseño. Nuestro ejemplo, el cual trata de una línea de ensamble de piezas plásticas y que considera robots, soldadura ultrasónica, diseño mecánico y de control, es bueno para describir las tareas de diseño de aplicación, tareas de proceso, manufactura y automatización en un ambiente industrial con aplicaciones reales desde la perspectiva de un ingeniero mecatrónico.

Para la facilidad de lectura dentro del documento, se realizaron tres capítulos, uno dedicado a la metodología de diseño para la gestión de proyectos, uno dedicado a las actividades mecatrónicas que se centran dentro de las actividades de diseño (mecánica, eléctrica y de control) y el último con las pruebas de la línea y sus comentarios, anotaciones y aportes que son de utilidad en este tipo de desarrollos, basados en los dos capítulos anteriores.

Finalmente, se hace uso de diagramas, imágenes, ilustraciones, tablas y conceptos; con la intención de ofrecer un método con la serie de pasos para la comprensión de cómo desarrollar una línea de ensamble para facilitar las tareas de diseño y ejecución en el campo laboral mediante el uso de las herramientas, tecnicidades y administración de proyectos.

1.2. Objetivo general

Desarrollar una línea de ensamble para soldadura de piezas plásticas bajo una perspectiva de diseño de aplicación mecatrónico.

1.3. Objetivos específicos

- Describir conceptos y normas utilizados en la industria relacionados con el desarrollo de líneas de ensamble.
- Describir una metodología de diseño de aplicación aplicada al proceso en el sector industrial automotriz, con una visión aplicada a la gestión del proyecto.
- Describir las actividades mecatrónicas del diseño de aplicación en procesos de manufactura (mecánico, eléctrico y control).
- Desarrollo e implementación de la línea utilizando el diseño de aplicación.

1.4. Alcances y limitaciones

El siguiente documento es la memoria del diseño y desarrollo de una línea de ensamble de piezas plásticas para el sector automotriz. Dentro del documento no se hablará a fondo de los diferentes desarrollos técnicos específicos ni de las características de las piezas, número de puntos, métodos de valoración de eficiencia ni verificación, por ser temas sensibles para la propiedad intelectual. Sin embargo, se definen los valores técnicos comunes, ejemplos de realización y guías básicas de cada uno de los procesos; para que el lector pueda intuir la forma en la cual se realizó cada una de las tareas de automatización del proceso.

El capítulo *metodología de diseño y desarrollo* se limitará a desarrollar los temas de mecánica, eléctrica, y de control como conceptos generales, puntos de interés, las principales áreas con las que se involucra ingeniería, descripción de lo que es un proceso dentro del ámbito industrial y, finalmente, el desarrollo de las competencias que son necesarias para el profesional que pretende ejercer en un sector tan demandante con las condiciones de mercado que imperan de forma internacional. El capítulo habla sobre las características que debe cumplir el profesional o técnico dentro de cada nivel del diseño de aplicación o el área de ingeniería, y va subiendo de nivel hasta la parte gerencial, con el objetivo de ser una guía para la gestión de proyectos donde el mecatrónico cumple un rol importante, para mejorar la inclusión de un recién egresado al mercado laboral y mejorar sus oportunidades de crecimiento.

En el capítulo *Desarrollo mecatrónico* se describen a detalle las actividades mecánica, eléctrica y control/automatización que se emplean dentro de la línea en este documento, con el objetivo de mostrar los pasos para realizar las tareas, tecnicidades y algunos detalles que son constantes en cada una de las estaciones. Para el apartado *mecánico*:

- **Diseño de aplicación mecánico:** Se habla del diseño de estructuras, diseño de los herramientales (holdings) para el proceso de soldado de los componentes, dispositivos para los equipos especiales y las características técnicas generales a cumplir, utilizando Catia como plataforma de diseño para las actividades de estructura, ensamble, validación y obtención de herramientales.
- **Diseño de aplicación eléctrico:** Se determina la estructura y los componentes dentro de los tableros eléctricos y neumáticos en cada estación de manera general, debido a la baja potencia que se emplea dentro de la estación.
- **Programación de robot:** Se determinan los pasos para la programación y configuración del robot, técnicas de seguridad, comunicación y un ejemplo de un sistema parecido al gripper utilizado.
- **Programación de PLC-HMI:** Dentro de este apartado se habla sobre el proceso de programación de cada uno de los componentes, el proceso de comunicación entre ellos y los equipos especiales y la programación a niveles.
- **Programación de cámaras:** Este apartado habla sobre la programación de cámaras para inspección, con el objetivo de establecer el uso de recetas, programación visual y validación punto a punto por comparación, técnicas de contraste, requerimientos de luz, etc., que son necesarias para los procesos de validación y liberación de piezas OK-NOK.
- **Manufactura CNC:** Se habla sobre las tecnicidades de la programación dentro del ambiente Catia, las herramientas, su uso y configuración y la manufactura en máquina dentro de los modelos Haas y Fanuc.

Cada uno de los apartados cuenta con ejemplos e imágenes acerca del funcionamiento del mismo.

En el capítulo *Desarrollo de la línea* se plantea la evidencia y construcción de los sistemas independientes junto con sus notas específicas, con el objetivo de aclarar las razones de dicha implementación basándose en los conceptos y procesos de los capítulos 3 y 4, cerrando con el capítulo de conclusiones y resultados.

1.5. Justificación

Todo producto está diseñado para ser introducido a un mercado de consumo, por lo cual; en esta economía capitalista, el rey es el producto. Todo lo que está involucrado en la generación de dicho producto es crucial para hacer que el mismo pueda producir las ganancias que se esperan de él y competir en el mercado. Cada uno de los eslabones en la cadena de valor definen; por tanto, el éxito o el fracaso del producto, y por ende, trabajos, flujos de capitales, educación, sociedad, entre otros ámbitos.

Para el particular caso del ingeniero mecatrónico, cuyo perfil está enfocado al desarrollo de aplicaciones; ya sea en diseño, manufactura, automatización o simplemente actividades de mantenimiento, es fundamental entender este simple concepto para ofrecer un servicio integral; no solo las tareas que le son posible realizar, sino también realizarlas con un sentido crítico; es decir, no solo hacer por hacer, sino dar soluciones completas, que conozcan la causa raíz del problema al cual se enfrentan, y darle una solución adecuada que generen realmente un valor agregado al producto, ya sea por baja de costos, reducción de gastos, innovación o desarrollo.

Esto no solo es aplicable a tareas dentro de una empresa internacional, también lo es para cualquier tipo de empresa, e incluso es vital para los emprendedores; los cuales, al ser más pequeños, tienen un margen de error mucho más reducido que su competencia, ya que; además de estar enfocados en incrementar o mejorar la propuesta de valor que les *ofrece* su modelo de negocio, tienen que tender a equivocarse lo menos posible, ya que; como reza una regla fundamental en marketing:

Se necesitan diez clientes satisfechos para ganar un cliente, y un cliente insatisfecho para perder diez

Es, bajo este sentido, vital entender el proceso dentro del desarrollo de una actividad que pueda producir algún tipo de ganancia al profesional, sea como empleado o emprendedor (en caso de ser empleado, entenderse como colaborador y no como empleado, le permitirá crecer rápidamente en la jerarquía en la que se encuentre, mientras que al emprendedor, le permitirá entender de mejor forma que es lo que desea realizar.

La tesis presentada a continuación es una memoria de las actividades relacionadas al desarrollo del diseño e implementación de una línea de ensamble, lo cual le permitirá saber algunos detalles en cuanto a herramientas, metodologías, normas, y consejos para introducirse a este campo dentro del sector en un ambiente real. Sin embargo, para un ojo curioso, le será fácil detectar la migración de esta metodología y actividades a otros campos productivos, y realizar las adecuaciones que mejor se ajusten a sus necesidades. La justificación de este documento es justo esa, proveer al lector de un vistazo general de las tareas para realizar un diseño e implementación correcta, de tal modo que entienda el proceso general y pueda investigar por cuenta propia los campos en los cuales desee especializarse.

1.6. Relevancia social

Según Valencia (2016), el principal motor de crecimiento social es la inversión, y esta demostrado que; para ser una sociedad avanzada o de primer mundo, es necesario el crecimiento de I+D en la sociedad. Para países como México, cuya economía en el sector tecnológico depende de los flujos de capital extranjero, es fundamental contar con mano de obra calificada que pueda competir con la del mundo para acaparar dichos capitales. Además, se tiene pronosticado que para 2018 será uno de los años más complicados para el sector automovilístico, y tomando en cuenta las diferentes condiciones sociales y políticas que afectan directamente a la económica global, las empresas se ven forzadas a optimizar gastos en cada uno de los eslabones productivos. Por lo cual, es una gran oportunidad para México desarrollar la mano de obra calificada para participar; así como emprender, debido a que ahora su competencia busca la optimización y cede campo de otros mercados o actividades de valor.

La importancia radica entonces en que los ingenieros del país puedan desarrollar las capacidades y habilidades más apreciadas por las industrias internacionales, o bien, sean capaces de realizar emprendimiento con al menos una mediana posibilidad de obtener éxito desde el primer intento. El estado tiene una de las políticas más abiertas para fomentar dichas actividades, sin embargo, la principal razón por la cual no se logra crecer sustancialmente; además de las debilidades evidentes del estado en temas de seguridad, corrupción e infraestructura, radica en que los emprendedores prefieren realizar actividades de poco riesgo, ya sea por falta de conocimientos, especialización o medios.

El tener una metodología clara de diseño, la descripción de las principales herramientas que se emplean en el sector, como aplicarlas y como fabricar, posiblemente mejore las condiciones de la educación, motive a nuevas generaciones a emprender o les permita desarrollarse en sus puestos de trabajo de forma acelerada, atrayendo la inversión y creando un mercado internacional basado en el local, atrayendo las mejoras necesarias dentro del país; entre ellas, el crecimiento en su desarrollo tecnológico.

México debe buscar la generación de patentes **que se puedan vender y distribuir en el mercado**, como María del Sol Rumayor Siller menciona en la Agenda Informativa Conacyt (Valencia, 2016).

“Es el reto que transforma a una economía, es generar emprendimiento a través de la ciencia y tecnología. Por eso este fondo es tan relevante, porque buscamos que todo tenga una salida productiva en un corto plazo, todo orientado a la realidad actual de México”

1.7. Viabilidad y factibilidad

México es un país manufacturero; es una realidad evidente para cualquier profesional dentro y fuera del sector, y esto se debe a la baja población con habilidades y capacidades especializadas. Este fenómeno perjudica significativamente a las empresas; tanto locales como internacionales, sin mencionar a los emprendedores debido a los costos relacionados con personal; pues es necesario traerlos a trabajar a un país ajeno al suyo para realizar tareas de especialización de nivel medio. Ésta es la principal razón por la cual México no ha podido competir con sectores de valor tecnológico, y la razón por la cual las actividades realizadas por las grandes empresas dentro del país son justo las de manufactura y comercio, gracias a la posición en el mundo, los recursos naturales y las políticas liberales, que les permiten generar dichas tareas a un bajo costo.

Existe un constante interés de las instituciones gubernamentales dedicadas al desarrollo tecnológico y científico del país; como el CONACYT, que invierten grandes cantidades de dinero para el apoyo y desarrollo de negocios basados en ciencia y tecnología. Las empresas que se enfocan a realizar actividades industriales; y en especial la automotriz, tienen oportunidades reales de llevar a cabo diferentes actividades económicas que aumenten su rentabilidad. Por lo que, además de su formación tecnológica, el lector debe saber que puede llevar a cabo este tipo de desarrollos, lo que puede ofrecer un retorno de inversión sustancial ante una inversión de bajo riesgo.

Solo para dar una idea de las cifras, los estímulos que ofrece el PEI para este año (Secretaría de Economía, 2017) rondan alrededor de los 20 millones si las empresas trabajan a la par con una institución educativa, o bien, si su sistema de negocios es el adecuado como para generar innovación. Cabe aclarar que este tipo de convocatorias son a fondo perdido, y que la selección de los mismos dependen de las condiciones del proyecto.

Independientemente de este tipo de apoyos, las empresas también contratan basándose en las competencias, pero en un mercado donde impera la presencia europea, es fundamental entender que; para el que desea ser colaborador de una empresa, debe tomar en cuenta que su camino a un ascenso radica en la especialización, por lo que las tareas de desarrollo y capacitación son fundamentales para conseguir los resultados que desea.

Las mejores maestrías y doctorados que aprecia el sector; salvo el desarrollo de nuevas tecnologías, se consiguen en la industria, y casi todas las empresas piden al solicitante, o bien entrar a programas de entrenamiento para ser capacitados y evaluados, o bien contar con al menos dos años de experiencia en el medio. En el primer caso, es posible que el profesional que acepta las prácticas demore años en ser aceptado, y en el caso de los dos años de experiencia, el profesional tendrá que buscar realizar trabajos que le permitan subir su estatus a un nivel competitivo en poco tiempo. Es por ello importante contar con la información que le permita conocer las principales herramientas, sus usos y aplicaciones, con la finalidad de reducirle el tiempo de su curva de aprendizaje, darle la seguridad necesaria, y conozca que campos son donde realmente tiene ventaja de competir para aumentar sus posibilidades de éxito.

1.8. Panorama económico

Uno de los sectores más importantes en el mundo es el sector automotriz, ya que su grado de especialización tecnológico y la cadena de valor generado por el mismo impulsa el crecimiento de los mercados de todas las naciones, fomenta la inversión y exige especialización para todo aquel que desee entrar a este rubro económico, por lo que los países que se encuentran inmersos en la cadena de valor son altamente beneficiados por la derrama económica de la misma, aunque es fundamental mencionar que son los trabajos de alta especialización y negocios de tecnologías aplicadas los que mejores rendimientos ofrecen, sin mencionar que la migración de talento; en especial la de ingenieros, es alcanzable de manera casi automática. Aunque cada sector industrial merece una inspección profunda, se realizará un análisis rápido del panorama automotriz a partir de este punto, por efectos del documento aquí mostrado.



Figura 1.1: Principales armadoras del país (Secretaría de economía, 2014)

La actual necesidad de las empresas por ser amigables con el ambiente y la entrada de los autos eléctricos en casi todo el norte de Europa junto con la generación millennial; cuyas necesidades de mercado son diferentes a las que las grandes compañías están acostumbradas; han impulsado una renovación completa por parte de todas las

empresas automovilísticas del mundo, incluida Volkswagen; para recuperarse de la crisis mundial en 2008 a 2010, y esto se debe principalmente a que las principales marcas han enfocado sus esfuerzos a mejorar sus diseños desde una perspectiva más ambiental y dirigido ya no a los autos deportivos o de lujo, sino a los autos familiares, compactos y eléctricos. (Secretaría de economía, 2014)

En la figura 1.1 podemos observar la presencia de las principales marcas armadoras del mundo en el país; asimismo, se puede observar que, en el estado de Puebla, se encuentran dos empresas alemanas con alto peso en todo el sector; que son Audi y VolksWagen, por lo que las demandas de calidad en este estado son claras y estrictas, debido a la presencia en el mercado que tienen ambas marcas. Aunque el capital que se mueve en la entidad es mayoritariamente alemán, lo cierto es que no es el único. Las cuatro automotrices más importantes del mundo son (Forbes México, 2013):

- Volkswagen Group/Alemania.
 - Ventas: 254 mil millones de dólares.
 - Valor en el mercado: 94,400 mdd.
- Toyota Motor/Japón.
 - Ventas: 224,500 mdd.
 - Valor en el mercado: 94,400 mdd.
- Daimler/Alemania.
 - Ventas: 150,800 mdd.
 - Valor en el mercado: 64,100 mdd.
- Ford Motor/EU.
 - Ventas: 134,300 mdd.
 - Valor en el mercado: 51,800 mdd.

Desafortunadamente, México no cuenta; pese a su capacidad tecnológica y recursos, con su propia armadora de automóviles. Sin embargo, se cuenta con una serie de Tier extranjeras en los tres niveles que son proveedoras de las principales marcas armadoras del país y las propias armadoras fomentan trabajo e ingresos por las actividades productivas.

En 2014, la industria automotriz obtuvo un crecimiento en tres ámbitos: mercado interno, exportaciones (figura 1.2) y producción, representando aproximadamente el 3% del PIB nacional y el 17% del PIB manufacturero mexicano (Secretaría de economía, 2014). En dicho año, la producción de vehículos ligeros (figura 1.3) creció 9.8% pasando a 2.93 millones de unidades en 2013 a 3.22 millones para 2014, ubicándose como el séptimo productor de vehículos a nivel internacional y el primero en América Latina, superando a Brasil por más de 200 mil unidades (Secretaría de economía, 2014).



Figura 1.2: Exportaciones mexicanas de vehículos (Secretaría de economía, 2014)

Así mismo, México pasó de ser un exportador de manufacturas simples a un generador modesto de innovación; por ejemplo, en el país existen más de 30 centros de diseño automotriz, obteniendo diversos premios, tales como el motor de 1.8 litros TSI Turbo-cargado de la armadora Volkswagen como uno de los 10 mejores motores (WardsAuto, 2014).

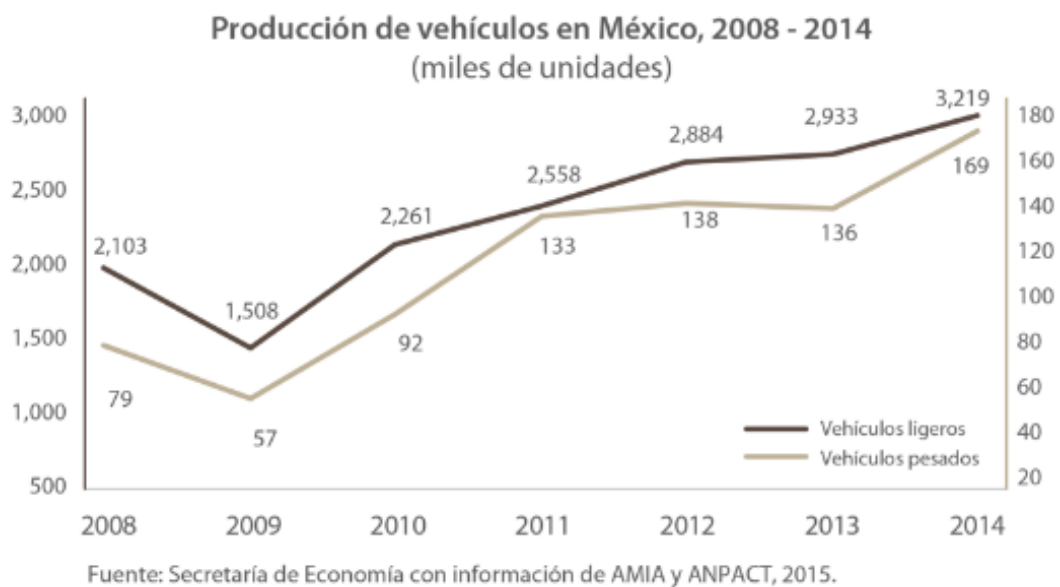


Figura 1.3: Producción de vehículos nacional (Secretaría de economía, 2014)

La industria automotriz terminal atrajo 2,208.2 mdd durante el 2014 (Secretaría de economía, 2014), debido a:

- **Costos:** En comparación con EU, México ofreció un ahorro del 10 % en costo de manufactura, 8 % en precisión y 13 % en insumos de plástico.
- **Experiencia:** La primera planta armadora en México llegó en 1921, por lo que el país tiene experiencia en este sector de casi un siglo.
- **Red de proveedores:** Múltiples armadoras han escogido a México como plataforma de fabricación para sus mercados por la red de proveedores automotrices en el país, los bajos costos y el punto estratégico que ocupa el país en América.
- **Mano de obra:** De acuerdo con INEGI, alrededor de 807 mil personas conformaron la planta de empleados en el sector automotriz y manufacturero (figura 1.4). La mayoría de los ingenieros y técnicos de México habla mínimo dos idiomas, y de acuerdo a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior se graduaron 101.7 mil estudiantes de ingeniería y tecnología en 2012 (figura 1.5).

La llegada de Audi a las cercanías de Puebla y Tlaxcala trajo una inversión en construcción y modernización de 17,000 kilómetros de carreteras, autopistas y caminos en el estado, se han invertido 729 millones de pesos en el Boulevard Industrial Automotriz, cuya acción pretende alojar a 40 empresas vinculadas al sector. (Secretaría de Economía, 2016)

La constante inversión por parte del sector automotriz, y la comunicación con otras entidades en crecimiento acelerado; como el caso de San Luis o Querétaro, promueven al estado ante futuras inversiones del sector automotriz y otros sectores industriales. Según datos del Banco Mundial, Puebla pasó del 25 al 11vo lugar en una lista que clasifica a las economías por su facilidad para hacer negocios (Banco Mundial, 2016), pero el estado puede crecer a un ritmo acelerado si se invierte en ciencia y tecnología, donde estamos en posición 17 de las 32 entidades. (FCCyT, 2013)

Actualmente, no basta con la cantidad de producción, también se debe cumplir con cierto estándar para satisfacer las necesidades del cliente meta, los estándares de la empresa y las normativas del mercado local a donde llegan los productos.

«En 2006, un perno de metal fue identificado como el causante de una vibración en la transmisión de los camiones Volvo; un primer análisis arrojó que estaba colocado de forma incorrecta. Su posterior remplazo permitió reducir los niveles de ruido en cinco decibeles y acabar con el problema. El ruido interior se mide usando una especie de dummy (cabezas artificiales) con micrófonos. Las mediciones son extremadamente exactas y muy realistas debido a que las pruebas se realizan en los camiones prototipo. Las tareas dentro del laboratorio de pruebas son continuas y todavía hay mucho por hacer, señala Christina Keulemans, especialista en ruido interior de Volvo Trucks» (CNN Expansión, 2009).

Para tener una idea de lo que señala Christina Keulemans, en la década de los 90 el nivel de ruido de una cabina de camión era de 74 ó 75 decibeles; en la actualidad, éste nivel esta por debajo de los 70. Hoy día los centros de prueba o desarrollo tecnológico juegan un papel importante en el diseño y rendimiento no solo de los automóviles, sino en los componentes y accesorios que lo conforman, e incluso los certificados de estos laboratorios son una necesidad por parte de las principales automotrices. (CNN Expansión, 2009)

Vehículos ligeros producidos, 2013

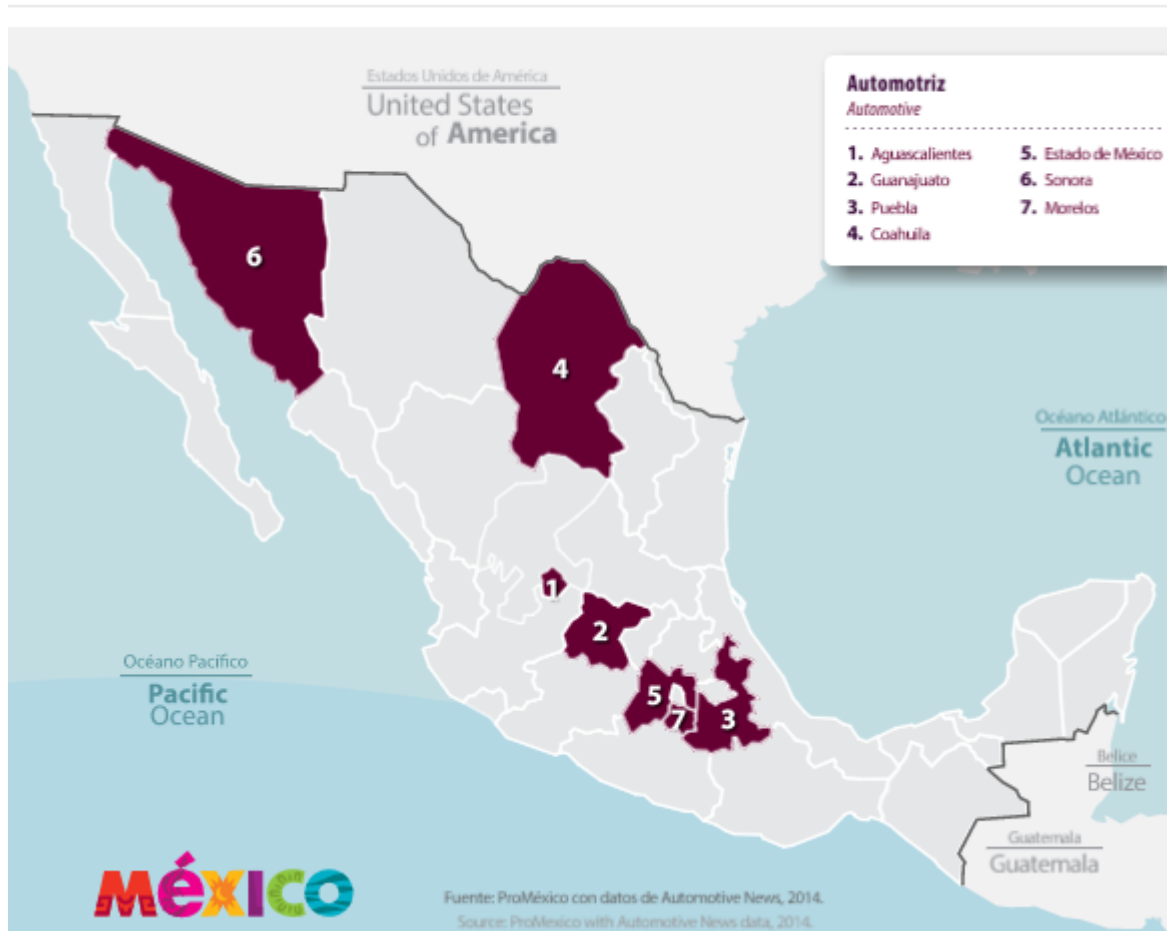


Figura 1.4: Estados con mayor exportación de vehículos ligeros (Secretaría de economía, 2014)

Egresados de licenciaturas de ingeniería, manufactura y construcción



Figura 1.5: Egresados de licenciaturas de ingeniería, manufactura y construcción. (Secretaría de economía, 2014)

Los puntos más importantes en los que ponen atención las empresas y los que se evalúan en laboratorios, son:

- Diseño de componentes.
- Desarrollo de productos.
- Validación de pruebas.
- Mejora del proceso de manufactura.
- Ingeniería avanzada.
- Análisis de materiales.

En el caso de las líneas de ensamble, los datos a obtener al final de la línea están relacionados a la funcionalidad del producto y no tanto en el diseño de los componentes. Estas pruebas pueden variar dependiendo del producto, pero básicamente simulan las condiciones ambientales y de función límites para el cual el producto fue diseñado. Algunas de las pruebas más comunes en el sector automovilístico son:

- **Cámara de lluvia:** Consiste en una cámara con tuberías a diferentes ángulos que mojan la pieza por chorros a presión controlada. La prueba permite evaluar la resistencia y fugas en ensamble completo o piezas particulares.
- **Checking Fixture:** Consiste en evaluar las dimensiones de un producto a partir de la medición de planos datos, RPS y SCP mediante una construcción mecánica. Son muy comunes en los componentes mecánicos, como láminas o subensambles mecánicos.
- **Cámara de polvo:** Consiste en una cámara que crea corrientes de aire a la cual se le inyecta polvo, con la intención de validar la resistencia superficial del material, fugas, etc.
- **Cámara de clima:** Debido a la comercialización en mercados libres, se espera que los productos puedan tener presencia en cada rincón del mundo. La cámara de clima permite simular el sistema en condiciones climáticas extremas posibles en el planeta, y evaluar efectos de dilatación, humedecimiento, congelamiento, etc.
- **Cámara de ruido:** La intención de esta prueba es someter el sistema en un medio con ondas de alta energía, con la intención de verificar el funcionamiento dentro de un rango de frecuencia. Es importante este análisis para determinar resonancia en el producto, si es que esta es deseada o no.
- **Resistencia mecánica y eléctrica:** Consiste en someter materiales y sistemas dentro de parámetros de funcionamiento críticos que deben cumplir en funcionamiento. En el caso de análisis mecánicos, están las pruebas destructivas y no destructivas, y la mayoría hacen impactar el material o sistema en un punto específico con un material más duro a una fuerza específica, con la intención de inspeccionar su comportamiento. En el caso de las pruebas eléctricas, el proceso más común es someter el sistema o pieza a cargas eléctricas o campos electromagnéticos fuertes para inspeccionar el funcionamiento de los mismos; esta prueba es común para dispositivos eléctricos o sistemas donde un comportamiento eléctrico específico es importante de cumplir.
- **Circuito de prueba:** La mejor forma de validar un automóvil es hacer los análisis a ensamble entero. La mayoría de las armadoras realizan una prueba del auto en funcionamiento, conduciéndolo en una pista con características especiales de terreno. Esta prueba permite validar ensambles, inspeccionar componentes dentro del sistema global y realizar, mediante estadística de fallo, el detectar problemas y realizar la reingeniería que sea adecuada.

Aunque el sector automovilístico es uno de los más demandantes dentro de la industria, lo cierto es que no difiere demasiado con los demás sectores, y debido a las exigencias del mercado actual que se han mencionado a lo largo del documento, es vital que el lector considere el impacto en el producto al momento de diseñar, por lo que debe tener en consideración los temas como la relevancia social, viabilidad, factibilidad y sobre todo el panorama económico, con el objetivo de aumentar su acervo dentro del sector y la actividad que le interese más y pueda realizar un papel destacado en el mismo.

En el caso particular del diseño y desarrollo de líneas de ensamble, la principal ventaja de estos sistemas es que el ingeniero puede desarrollarlos sin necesidad de verse forzado a trabajar dentro de un solo sector. Las líneas de ensamble; en su concepto, son similares de crear, desarrollar e implementar sea el sector en el que se encuentre, debido a que la producción de un producto no depende del sector, sino del producto en sí.

La mejor forma de realizar una tarea de diseño y desarrollo es la de entender los procesos y la serie de pasos que involucra desarrollar los sistemas enfocados al producto, la generación de valor y las nuevas tecnologías dentro del mercado que le puedan ser útiles para las tareas de ejecución de la solución. La forma más habitual de trabajar es dentro de una organización con una estructura jerárquica, por lo que es importante para el ingeniero mecatrónico desarrollar la visión de producto, generación de valor, proceso, calidad, compras, gestión de proyectos y comunicación interna además de los estudios propios de su formación profesional. El tener estos conocimientos y habilidades permitirá realizar sistemas que no solo obedezcan a un producto o una ganancia, sino al impacto de los mismos en la sociedad en la que vive, ya que una buena praxis de ingeniería permite generación de empleos, crecimiento económico, bienestar social, I+D, entre otros.

Capítulo 2

Marco teórico

En este capítulo se hablará de los conceptos básicos que cualquier diseñador debe tener claros para diseñar y desarrollar una línea de ensamble. También se explica el funcionamiento de múltiples componentes, dispositivos y sistemas con la finalidad de aclarar las características de los mismos, un poco de información sobre la construcción y la puesta en marcha de un equipo, para finalizar con algunas de las características a cumplir en cualquier empresa, como lo son estándares de calidad, normas y validación.

2.1. Concepto de ingeniería

Aplicar la ingeniería es idear; basándose en información y conocimientos, una solución a un problema que satisfaga las necesidades del cliente. En ingeniería, es necesario no solo idear una solución, se debe llevar a cabo dicha solución a la realidad, y dicha solución debe ser funcional, simple y al menor costo.

«Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse» (Budynas, 2008)

Para realizar el ejercicio del diseño, el ingeniero debe ser capaz de combinar recursos matemáticos, gráficos, conocimientos en física, química, materiales, sistemas computacionales, e incluso empíricos, para llevar a cabo la solución de la mejor manera, por lo que el diseñador tiende a crecer en cuanto a las soluciones y perspectiva que se le presentan, aumentando su experiencia.

Es por eso que un ingeniero tiene que adaptarse a las necesidades de la industria en la que se encuentra, debe ser capaz de predecir las tendencias en tecnología, intervenir y tomar decisiones en casos donde así se requiera, innovar y realizar iteraciones a partir de información que puede aparecer de cualquier sitio, para obtener una solución que pueda ser utilizada en satisfacer la necesidad de forma adecuada.

Un ingeniero que tenga en mente llevar a cabo una solución de cualquier tipo debe tener en cuenta la implementación de los dispositivos, equipos, subsistemas y sistemas, para llevar a cabo la solución que propone, debe tener una visión global del problema, y tratar en medida de lo posible no dividir ni separar al menos que sea para delegar actividades, debe trabajar de forma multidisciplinaria (véase figura 2.1).

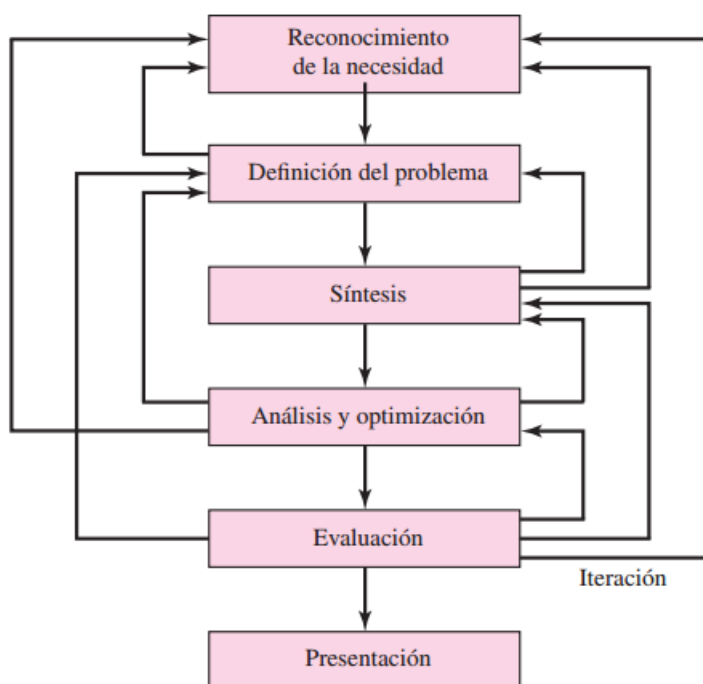


Figura 2.1: Recomendación de pasos para un buen diseño (Budynas, 2008)

Antes de dividir las tareas de desarrollo de un sistema, debe tener en cuenta que se pueden dividir en; básicamente, tres grandes campos:

- Sistema mecánico.
- Sistema eléctrico.
- Sistema de control/automatización.

Esta es la razón por la cual la ingeniería en mecatrónica es tan innovadora en el sector industrial, pues es creada con el objetivo de que sus egresados sean capaces de realizar integraciones de sistemas sin importar el área donde deban realizar su labor profesional, abaratando costos de producción, mano de obra, capacitación, etc.

La mecatrónica es un área multidisciplinaria, ya que incorpora elementos de la electrónica, robótica, mecánica, sistemas de computación y manufactura. (Definición, 2017)

Finalmente, es importante también evaluar otro tipo de características; como lo es el marketing, las normas del país, internacionales y filosofía de la empresa, las logísticas de transporte, etc., que son fundamentales para el éxito o fracaso de un producto; ya que un diseño que se realiza considerando este tipo de factores que son decisivos en la elección del cliente objetivo y el cliente meta son los que; recurrentemente, tienen éxito en ventas, lo que se ve reflejado en ingresos mayores, mejores tasas de flujo en cuanto al estudio de proyecciones, mejores parámetros al realizar el procesamiento de la información por parte de los métodos recursivos y menor número de iteraciones para consolidar un producto en el mercado final.

2.2. Diseño eléctrico

El inicio de los semiconductores en el área de la electrónica ha causado una renovación en todas las áreas tecnológicas, y esto se debe a que la gran mayoría de los elementos antiguos antes de la electrónica eran bastante grandes y poco prácticos en cuanto a la implementación de los mismos en algún sistema.

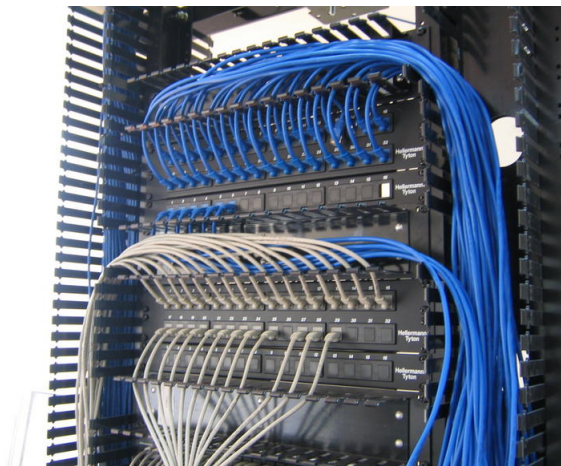


Figura 2.2: Ejemplo de un cableado estructural (Sun soluciones, 2016)

Este tipo de diseño requiere del uso de matemáticas y física, por lo que el ingeniero que desee desarrollarse en este tipo de diseño debe ser capaz de entender cada uno de los conceptos relacionados con estas áreas antes de desarrollar dispositivos eléctricos, para así proponer soluciones realmente integrales y funcionales. En el ámbito profesional; sobretodo en líneas de ensamble, es poco frecuente utilizar elementos de desarrollo en cadenas de producción, usualmente se utilizan elementos ya construidos y normalizados. En la figura 2.2 se puede observar un ejemplo de cableado estructurado, el cual es usual en cualquier industria, debido a que da orden a los elementos específicos para realizar un trabajo y es flexible en caso de requerir cambios.

Las dos teorías fundamentales en las que se apoyan todas las ramas de la ingeniería eléctrica son la de circuitos eléctricos y la electromagnética. Muchas ramas de la ingeniería eléctrica, como la potencia, máquinas eléctricas, control, electrónica, comunicaciones e instrumentación, se basan en la teoría de circuitos eléctricos. (Sadiku, 2004)

Es fundamental mencionar que todos los circuitos eléctricos deben trabajar con voltaje como variable, debido a las cuestiones de seguridad que esto brinda al usuario. La razón para usar elementos eléctricos de línea se debe a que los dispositivos eléctricos tienen mayor tolerancia con picos de voltaje y de corriente, por lo que los sistemas tienen un tiempo de vida mayor, o al menos asegurada por el fabricante. Por ejemplo, la corriente se asocia más a los requerimientos de potencia (tal como alimentación de motores) por lo que existe un catálogo especializado en dispositivos y sistemas eléctricos ya asegurados en caso de falla, lo que reduce la pérdida de producción por paro.

Así mismo, el diseñador en electrónica debe tener en cuenta las normas de la empresa donde este aplicado su labor profesional, esto porque las necesidades varían con respecto a norma y origen de la empresa. Como recomendación, siempre se debe llevar una estructura organizada en las conexiones, elegir correctamente los elementos y dispositivos, prever los tipos de mantenimiento y estructuración en cada uno de sus sistemas, y considerar desde un gabinete de estación de operación hasta líneas de alimentación completas, dependiendo la cantidad de trabajo y tareas a realizar. Dependiendo del tipo de solución, debe realizar la información correspondiente, el uso de manuales donde se explique, paso a paso; cada uno de los arreglos de instrumentación, adecuación de señal, amplificación, filtrado, etc., para que cualquier otra persona pueda realizar una réplica exacta. Por ello, el uso de normas de trabajo y métodos de aplicación; tal como el cableado estructurado, son esenciales para la comunicación entre ingeniero-técnico, escalabilidad, innovación y producción.

2.3. Diseño mecánico

La mecánica es fundamental en cualquier aplicación, pues los sistemas mecánicos son responsables de realizar un trabajo. El sistema mecánico es diseñado y simulado utilizando software antes de realizar cualquier tipo de manufactura, y esto está en relación con los costos de producción asociados a la manufactura y que; a diferencia de los demás tipos de diseño, no es posible corregir errores una vez manufacturado en la mayoría de los casos.

El diseño mecánico es el más antiguo que existe, ya que ha estado presente desde el inicio de la humanidad con inventos como la rueda y herramientas de mano. La automatización y los primeros sistemas de control se realizaron a partir de la implementación de sistemas puramente mecánicos, dichos mecanismos iniciaron con los autómatas de la antigua Grecia y tomaron gran importancia en la vida del hombre en la revolución industrial con la invención de la máquina de vapor creada por James Watt. (History, 2016) (véase figura 2.3).

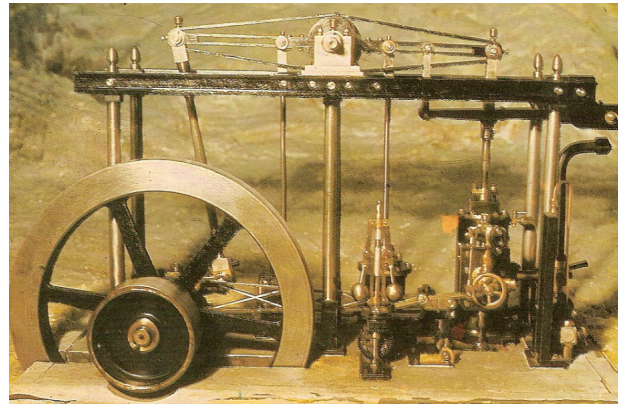


Figura 2.3: Máquina de vapor creada por James Watt en 1764 (Line, 2016)

Con el paso del tiempo han surgido avances en la ingeniería de materiales, provocando que el diseño mecánico esté en constante renovación; mejorando el rendimiento e innovando en cuestiones de energía, peso, relación masa-rigidez, así como los ciclos de funcionamiento, frecuencias de resonancia, durabilidad de los productos y tiempo de vida de los mismos, con la finalidad de ofrecer productos funcionales al menor costo posible.

El diseño mecánico se puede dividir en tres grandes grupos:

- *Diseño CAD*: Modelado en 3D de las piezas y ensambles, fundamental para asegurar que la solución funcionará desde el dimensionado hasta la ergonomía.
- *Diseño CAM*: Relación entre el diseño 3D y la construcción de las piezas, contempla materiales, herramientas y mediciones.
- *Diseño CAE*: Modelado matemático con las entradas físicas de cada una de las piezas y ensambles, comportamientos bajo situaciones simuladas y estudios de vital importancia para la validación; normalmente este tipo de estudios se hace bajo la teoría del elemento finito.

Así mismo, el ingeniero en diseño mecánico debe tener conceptos claros de física, ingeniería de materiales, procesos de manufactura y matemáticas como base para su labor profesional, cumplir con las aptitudes del trabajo en equipo, toma de decisiones, iniciativa y los procesos de validación y seguimiento para cada una de las soluciones propuestas. Es importante recordar que las piezas mecánicas deben partir de un modelo matemático, ya que ésta es fabricada exclusivamente para cumplir una función específica, por lo que el uso de normas, tolerancias y documentación es fundamental para el éxito de cualquier propuesta mecánica.

El ingeniero en diseño mecánico debe ser capaz de usar todo tipo de herramientas de simulación que sea conveniente, la aplicación de sus conceptos en planos utilizando el sistema de normas que sea necesario, el uso de los componentes mecánicos de acuerdo a la función a la cual fueron diseñados, conocer los catálogos de diversos proveedores, y una constante búsqueda por innovar y mejorar sus diseños, con mejores características, para la creación de soluciones cada vez más eficaces.

Existen múltiples tipos de herramientas de software disponibles en el mercado, lo cuales están en función de la actividad, el objetivo de diseño y el sector meta. Es importante considerar las ventajas y desventajas de las herramientas más usadas por las empresas internacionales que son empleadas para el diseño de las líneas de ensamble, entre otras aplicaciones más.

- **Catia:** Es un software de diseño creada por Dassault Systemes cuya distribución de herramientas se encuentra por módulos. Tiene muchas opciones y herramientas especializadas en procesos muy precisos, la distribución de los dibujos es mediante un árbol general y tiene configuraciones establecidas para cuerpos o líneas.

Es muy empleado en industrias alemanas y francesas, debido a la solidez que tiene este software en comparación del resto, la licencia es de alto costo, pero sus funcionalidades y enfoque industrial justifican el precio. Cuenta con herramientas de CAE, CAD y CAM, realiza reportes de manera automática, cuenta por defecto con la norma DIN, por lo que es sencillo realizar dibujos con características geométricas bajo norma; pueden desarrollarse catálogos, cuenta con elementos industriales muy usados en la industria y es el preferido para actividades de superficies tipo A.

- **SolidWorks:** También de Dassault, es un software con una interfaz basada en objetos, es muy amigable con diseñadores con poca experiencia en dibujo mecánico. Cuenta con herramientas CAE/CAD y CAM; sin embargo, no son tan especializadas como ocurre en Catia.

La principal ventaja de esta herramienta es la interfaz intuitiva, provocando una presencia en empresas nuevas, sobre todo las americanas. El costo de licencia es relativamente menor que Catia, pero es lo suficientemente alta como para considerar su uso. En términos generales, el uso de esta herramienta es recomendable si se desean realizar diseños de aplicación general o no tan especializadas como para requerir módulos externos de mayor costo y que están separados de la licencia general.

- **NX Unigraphics:** Siemens lanzó al mercado NX Unigraphics e igual que el anterior, cuenta con las herramientas de CAE/CAD y CAM, es una herramienta en bloques, pero los usos de las herramientas y el panel de diseñador cambia un poco con las dos anteriores, pues es más parecido al entorno de AutoCAD.

Las empresas americanas son las que más lo usan, y esto es comprensible debido a su llegada tarde en Alemania. Su costo es más bajo que las anteriores, sus módulos y herramientas son de propósito general y la funcionalidad es bastante buena para aplicaciones de bajo y medio nivel, por lo que es una opción real de solución.

2.4. Diseño de control/programación

Este tipo de diseño es el más amigable en cuanto a cambios se refiere; ya que solo depende de un equipo de cómputo adecuado y la plataforma del lenguaje a usar. Por ser tan amigable es más difícil transmitir los algoritmos de persona a persona, y esto se debe a que cada persona entiende un problema de manera particular y no existen; como en la eléctrica y mecánica, normas establecidas que describan cómo comunicar. Aunque es deber del ingeniero en programación llevar una explicación por medio del uso de las herramientas como el diagrama de flujo y anotación en cada una de las líneas, códigos y el uso de bloques o funciones independientes para optimizar el programa, siempre es un reto entender la lógica del programa y es necesario en la mayoría de los casos analizar el código para llevar a cabo cambios. El ingeniero en control debe ser profesional para dejar lo más claro posible cada uno de sus pasos, realizar secuencias lo más estructuradas posible, con sentencias lo más sencillas, y con los respectivos manuales de funcionamiento y acceso para cualquier persona.

El control automático ha desempeñado una función vital en el avance de la ingeniería y la ciencia [...]. Debido a que los avances en la teoría y la práctica del control automático aportan los medios para obtener un desempeño óptimo de los sistemas dinámicos, mejorar la productividad, aligerar la carga de muchas operaciones manuales repetitivas y rutinarias, así como de otras actividades, casi todos los ingenieros y científicos deben tener un buen conocimiento de este campo. (Ogata, 1998)

La programación depende en gran medida del desarrollo tecnológico de los dispositivos electrónicos a usar. El ejemplo más simple es la computadora, que ha tenido un auge en relación con la sofisticación de los dispositivos eléctricos que la componen; como lo es el transistor, los sistemas de pistas en lugar de los capacitores e inductores físicos (el sistema de pistas es en realidad un capacitor o un inductor a una escala menor, la ventaja de estos dispositivos son las dimensiones y la velocidad de respuesta con respecto a sus antecesores).

Por el ambiente donde se realizan los procesos en las industrias, se necesitan dispositivos de control robustos y con una larga vida útil. Desde hace años, la solución que ha dominado son los PLC's (controlador lógico programable, por sus siglas en inglés *Programmable Logic Controller*), sin embargo, la entrada de nuevos equipos; como lo es el desarrollo en las industrias de National Instruments con su software Labview y las tarjetas de adquisición de datos más robustas y de menor costo, hacen que los métodos de solución ya no dependan en su totalidad de este equipo. Por ejemplo, National Instruments ha sacado al mercado un sistema novedoso de cámaras con microcontroladores integrados en comunicación con una PC.

El diseño enfocado a los sistemas de control dependen íntimamente en la capacidad del programador para razonar y entender la secuencia del proceso en cuestión, el manejo de tiempos, la implementación de algoritmos y el conocimiento básico de la física del sistema eléctrico (sensores y transductores) para la obtención de las entradas a su sistema, pero también depende en las características del proceso, las características

del equipo o sistema a programar y de su desarrollo extrapersonal al proponer una solución. La programación actual es una de las actividades productivas con mayores ganancias en el mercado, debido a que los materiales necesarios para llevarla a cabo son casi nulos, y se depende únicamente de las habilidades del programador. Sin embargo, es necesario mantenerse flexible y actualizado en las múltiples plataformas de lenguaje; los compiladores, servidores y ser capaz de aprender rápido y ofrecer soluciones extra.

2.5. Consideraciones importantes

Como es posible predecir, el ingeniero que desee incorporarse en el sector industrial, debe fungir como un solucionador. El ingeniero actual debe ser capaz de trabajar en equipo, realizar grupos multidisciplinarios con otras áreas, aún cuando éstas no estén relacionadas directamente con la rama del ingeniero, y toda solución que proponga debe cumplir tres aspectos:

- **Funcionalidad** Toda solución debe realizar la función para la cual fue diseñada. Una máquina, sistema o proceso puede funcionar mejor en relación con las iteraciones y la comprensión real del problema; por lo que, el ingeniero debe resolver primero el problema, y después ejecutar.
- **Tiempo:** El problema principal de las empresas mexicanas en comparación con las extranjeras se puede definir en un enunciado muy simple: *Los mexicanos no cumplen plazos*. El ingeniero debe planear y calcular correctamente las actividades asociadas a la implementación de su solución, de tal modo que cumpla el tiempo pactado con su cliente, proceso y solución.
- **Costo:** Toda empresa debe ser rentable. El término rentabilidad depende en una gran cantidad de factores, no solamente en capitales. Cada ingeniero debe tener claro economizar en medida de lo posible sin decrementar la calidad de sus procesos, sino con la aplicación de soluciones inteligentes, simples y cuya implementación obtenga resultados equivalentes o mejores de los sistemas actuales. He ahí la razón por la cual el ingeniero debe tener todos los conceptos básicos claros y ser capaz de trabajar en equipo, ya que; entre más capaces sean los integrantes del equipo, mejores resultados se obtienen a largo plazo.

El ingeniero debe ser disciplinado, tener las aptitudes y actitudes que aporten valor al sector donde se encuentre y debe tener en mente que; para realizar mejores soluciones, no solo debe realizar las mejoras en sus sistemas, sino que debe aplicar autojuicios, ser autodidácta, tener cultura y disposición de autocrecimiento, ser capaz de desarrollar metodologías de investigación y aplicarlas.

2.6. Análisis de sensores

El sensor o *sonda* es un elemento que se encuentra en contacto directo con la magnitud que se va a medir. Al interactuar con esta, sufre cambios en sus propiedades físicas y es a partir de este cambio la variación del sistema con un valor a la salida. En la figura 2.4 se puede observar un esquema a bloques del funcionamiento de un transductor.



Figura 2.4: Esquema a bloques de un transductor (PCE, 2016)

Un buen ejemplo de sensor es un termistor, el cual se coloca en contacto con el material a medir, y al dilatarse, varía su resistencia; por lo cual, el sistema *ve* una variación de voltaje y por ende, una interpretación de la información a la salida es posible. En este caso, el sensor es la resistencia dentro del termistor.

Existen múltiples tipos de sensores para medir distintas variables físicas pero es importante entender que; aunque la entrada son variables que no necesariamente son eléctricas, la medición si lo es; por lo cual, no hay variación en el tipo de energía involucrada en el proceso; lo que facilita la instrumentación y programación, en especial la actual. Existen también los transductores que; como su nombre lo indica, son unos dispositivos que tienen la misión de traducir o convertir una señal física en otra para el sistema, es decir; convierte una señal no interpretable por el sistema, en otra que sí lo sea.

Volviendo al ejemplo anterior, la variación de la resistencia que se obtiene en el sensor es gracias a la deformación del material por la temperatura; dicho de otro modo, la variación eléctrica de la resistencia del sensor es leída gracias al transductor, asociada a una variación de voltaje en relación a la temperatura. Por lo cual, el transductor suele incluir al sensor, y la mayoría de los sensores son transductores, aunque en la industria ambos términos se usan indistintamente.

También es importante entender que al igual que cada persona percibe la misma variable en términos diferentes (por ejemplo, dos personas en una habitación percibirán temperaturas diferentes), cada sensor tiene gráficas características de funcionamiento que dependen de su morfología, material, exactitud, entre otras variables.

2.6.1. Tipos de sensores

Dadas sus características, bajos costos y su adaptación en aplicaciones, los sensores más frecuentes en industria son:

- *Contacto*: Interruptores de posición y táctiles
- *Proximidad*: Inductivos y capacitivos
- *Ultrasónicos*
- *Fotoeléctricos*
- *Piezoeléctricos*

Sin embargo, el ingeniero no debe concentrarse solo en estos, ya que constantemente salen al mercado nuevos dispositivos de medición y sentido bajo principios físicos que pueden ser de mayor utilidad en un sistema específico.

2.6.2. Interruptores de posición

Solo indican si hay contacto o no; sin considerar la magnitud de la fuerza del contacto, son dispositivos sencillos de bajo costo. Dichos sensores se utilizan como límite, y los más comunes son los finales de carrera (véase figura 2.5) y táctiles. Los sensores táctiles usualmente se utilizan en la mano del robot, y consiste en una almohadilla que cambia de estado para cerrar o abrir un circuito; un caso especial son los sensores de array táctil, son un tipo especial de sensores de fuerza, pues están constituido por una matriz de pequeños sensores de fuerza. Permiten reconocer formas en los objetos, y su funcionamiento básicamente en cambiar su resistencia eléctrica de manera proporcional a la fuerza aplicada.



Figura 2.5: Ejemplo de interruptores de posición (Blogspot, 2011)

2.6.3. Sensores de proximidad

Dispositivos que detectan señales para actuar en un determinado proceso u operación, teniendo en cuenta las siguientes características:

- Dispositivos que actúan por inducción al acercarlos un objeto.
- No requieren contacto directo con el material.
- Son los más comunes y utilizados en la industria dadas sus características.
- Encapsulados, de fácil montaje y protección.

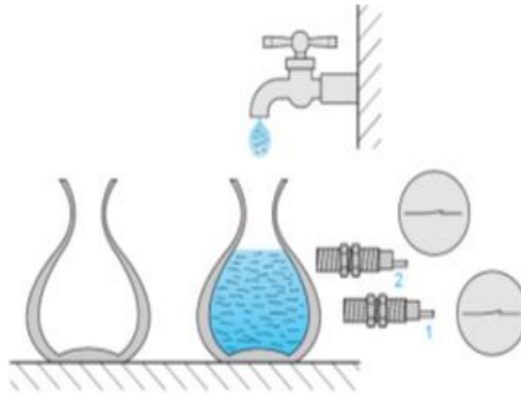


Figura 2.6: Ejemplo de aplicación a sensores de proximidad (Omron, 2014)

Las aplicaciones más frecuentes son:

- Control de transportadoras.
- Control de alta velocidad.
- Detección de movimiento.
- Conteo de piezas.
- Sensado de aberturas en sistemas de seguridad y alarma.
- Sistemas de control como finales de carrera en PLC's

Se dividen en dos grupos, y está determinado por su principio de funcionamiento. Los capacitivos utilizan la capacitancia del material, así como los inductivos la inductancia, y es fácil determinar que los inductivos se utilizan en procesos donde existan metales ferromagnéticos y los capacitivos donde no (véase figura 2.6).

2.6.4. Fotoeléctricos

Este tipo de sensores utilizan el efecto fotoeléctrico para su funcionamiento, y consisten en un foto emisor y un foto receptor, el cual usualmente cambia de estado dependiendo la incidencia y la intensidad del haz de luz, así que pueden detectar tanto presencia como distancia (véase figura 2.7).

La diferencia de este tipo de sensores con los demás radica en la velocidad de envío de la información; usualmente son de tamaño pequeño y son limpios; ya que no producen ruido o vibración, son de costo elevado a corto plazo, no se desgastan rápido, son la solución en cuanto a largo plazo se refiere, y sus aplicaciones van desde simples sensores de presencia hasta instrumentos de medición y seguridad.

Usualmente dichos sensores tienen su etapa de acoplamiento y vienen por familias dependiendo de la marca, por lo cual; al momento de reemplazar, se puede utilizar algún otro de la familia correspondiente de manera rápida y simple.

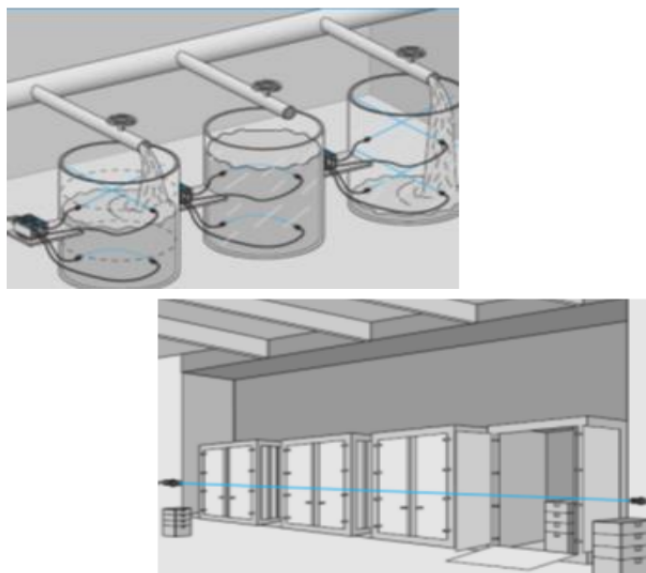


Figura 2.7: Ejemplo de aplicaciones con fotoeléctricos (Omron, 2014)

2.6.5. Sensores piezoeléctricos

Este tipo de sensores son aplicados para medir presión, aceleración, tensión y fuerza a partir del efecto piezoeléctrico, el cual consiste en el efecto de algunos materiales que, al ser deformados, generan voltaje que se amplifica a la salida (véase figura 2.8).

Este tipo de sensores son herramientas versátiles, y una de las aplicaciones más conocidas en la actualidad son las pantallas táctiles. Este tipo de elementos tienen una deflexión casi nula, una frecuencia natural muy alta y buena linealidad en amplio rango, por lo que son precisos, pero no se pueden usar en aplicaciones de medición estática.

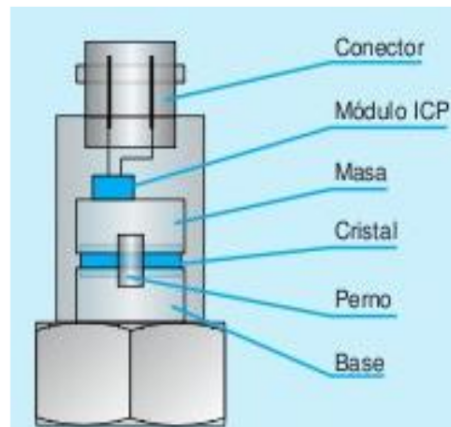


Figura 2.8: Ejemplo de aplicación con piezoeléctrico (Sinais, 2017)

2.7. Análisis de actuadores

2.7.1. Motores

Los motores más usados en líneas de ensamble son los eléctricos, que consisten en bobinas de cable que a través de una corriente que pasa por ellos generan un campo electromagnético lo suficientemente fuerte para hacer girar un eje concéntrico y transformar energía eléctrica en energía mecánica, produciendo un movimiento angular a la salida.

Aunque no se hablará de fondo del actuador, es importante mencionar los datos a tomar en cuenta son torque, la velocidad angular y la inercia, que definirán la usabilidad del mismo para una aplicación o no. En industria, es casi una regla implícita tener factores de seguridad de entre 15 a 20 %, por lo que el motor deberá mantener este porcentaje en todos los valores; sobretodo el torque, para evitar usarlo al 100 % y reducir su vida útil.

Existen muchos tipos de motor, los cuales brindan propiedades que se adaptan mejor para un cierto tipo de aplicación. En industria se trata de evitar el uso de motores con configuraciones complicadas por la necesidad de una mano de obra calificada para arranque y mantenimiento, la presencia de motores en industria son:

- Motores en AC: Este tipo de motor es el más común (véase figura 2.9), debido a que solo es necesario conectarlo a la línea (trifásico, monofásico) y su caja reductora. Para controlar posición y velocidad es necesario el empleo de variadores de frecuencia, sensores y un sistema de programación externo; pero es un actuador simple de usar, de instalar y de conseguir en el mercado permitiendo una respuesta rápida en caso de paro.
- Motor en DC: Este tipo de motor funciona de manera similar al anterior, salvo que la polaridad de la alimentación mantiene su signo. Son útiles para control, pero las energías necesarias para su operación son más peligrosas y difíciles de

conseguir que en el motor anterior, y es necesario una mano de obra calificada para su control.

- Servomotor: Este tipo de motor sacrifica torque para ganar exactitud en posición; tiene un PID integrado que realiza el control de posición a partir de una señal a la entrada variando el ancho de banda, por lo que el sistema de control debe considerar salidas analógicas y una etapa de adecuación de señal. Son difíciles de conseguir, lo que impide respuesta rápida en caso de falla.
- Motor a pasos: Consiste en múltiples bobinados ordenados de tal forma que; dependiendo de una secuencia de bits en la etapa de control, permiten el avance angular discreto, con un ángulo definido por la separación de las bobinas, he ahí la razón de su nombre, ya que se puede interpretar que se mueve por «pasos». Son difíciles de conseguir, pero son muy buenos para aplicaciones de posición, debido a que están discretizados físicamente, y su control involucra un manejo de bits y el uso de un driver.

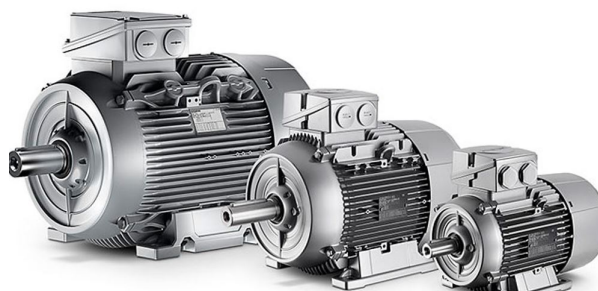


Figura 2.9: Ejemplo de motores en AC (Motores y motores LC, 2017)

En general, los motores de AC se utilizan para aplicaciones de potencia, los de DC en aplicaciones de control de velocidad y posición, los servomotores para movimientos de posición cuya carga es normal al suelo o no tenga alta demanda de peso, y los motores paso a paso son utilizados para la precisión, aunque dependen también del sistema mecánico con el que funcionan. Aunque también pueden encontrarse motores de combustión, neumático, etc., su presencia es tan baja en líneas de ensamble que no se nombrarán a lo largo del documento, pero se hace la anotación para que el lector profundice por su cuenta en caso de así verlo conveniente.

2.7.2. Cilindros neumáticos

Todo sistema requiere actuadores que realicen un trabajo. En la industria, los actuadores más utilizados son los cilindros neumáticos, debido a que tienen una vida útil larga, las conexiones de energía se encuentran presentes en un sinnúmero de procesos, su recuperación en otros sistemas es relativamente rápida, no requieren de un personal altamente capacitado para implementarlos y son completamente definidos y confiables.

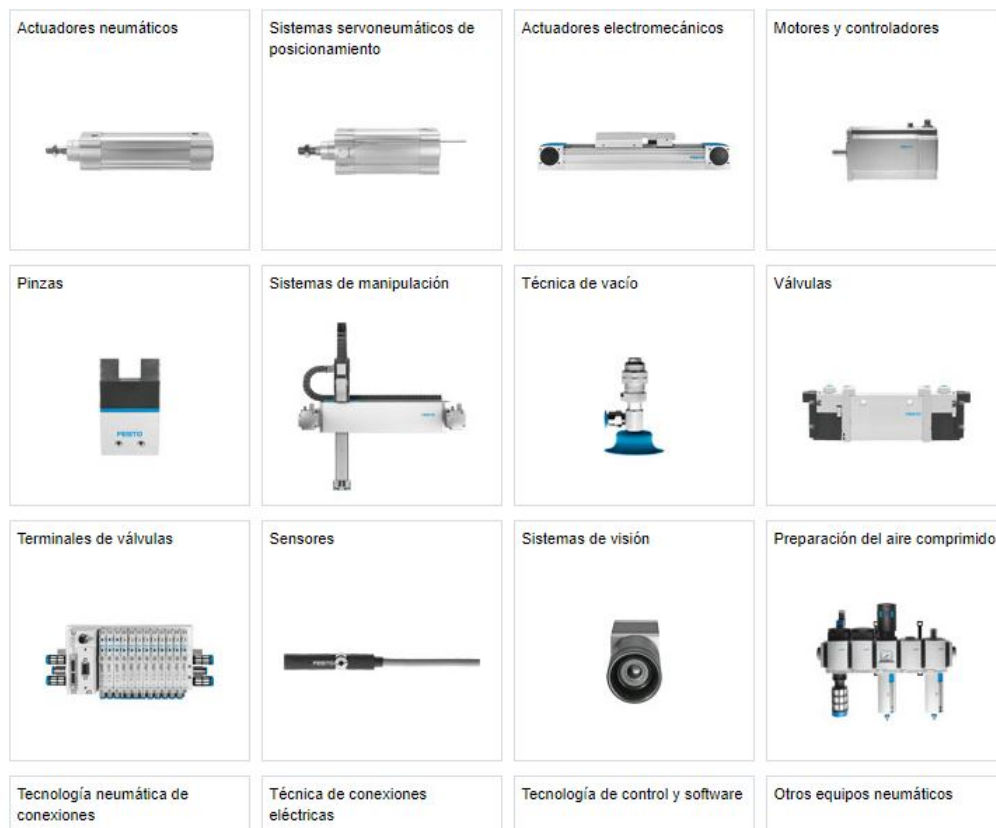


Figura 2.10: Catálogo Festo (Festo, 2017)

Existe una amplia variedad de cilindros (véase figura 2.10), los cuales se pueden dividir en:

- **Actuadores neumáticos simples:** Cilindros con vástago (normalizados, redondos, de acero inoxidable, compactos, roscados, multimontaje y con unidad de bloqueo) cuya posición está determinada por la carrera del vástago, requieren sensores magnéticos como finales de carrera y los hay de simple y doble efecto.
- **Servoneumáticos de posicionamiento:** Cilindros con sistema de medición de recorrido o de ángulo, controlador de ejes, o sistemas de medición de recorrido. Básicamente son sistemas con o sin vástago, cuya posición está definida por una interfaz y diferentes tipos de topes que se activan dependiendo la señal de entrada.
- **Actuadores neumáticos compuestos:** Actuadores giratorios, cilindros tándem, cilindros de tope, de sujeción, fuelle, diafragma y amortiguadores; cuyo uso está determinado en función de los componentes que lo forman. Usualmente son de uso específico y el mantenimiento es complicado, así como su adquisición, al ser poco comunes.

Los cilindros normalizados tienen como principal característica una fuerza mayor en comparación a los demás; debido a que su área transversal interior es mayor, sin embargo, sus necesidades de consumo son mayores. Dichos cilindros tienen una carrera usualmente más larga, la estructura es más resistente y los puntos de sujeción son tratados térmicamente, además, puede ser anexado un sistema guiado, para evitar rotaciones del vástago y desgaste por uso.

Los cilindros redondos son los más comunes en la industria, y esto se debe a que su precio es menor que cualquier otro. Su cámara interna es redonda, por lo que la fuerza es igual en toda el área transversal y son efectivos en tareas simples. Usualmente son pequeños, su fijación se basa en el empleo de tuercas y; ya que sus estados de operación solo son dos, se utilizan para efectos *on/off*.

Los cilindros de acero inoxidable presentan las mismas ventajas que los normalizados, salvo que el acero los hace ideales en aplicaciones en ambientes corrosivos y húmedos. La principal desventaja es que; ya que son elementos construidos por la aleación de Hierro y Cromo, su precio es muy elevado, típicamente, de 10 a 20 veces el valor de un cilindro normalizado.

Los cilindros compactos son; como su nombre sugiere, cilindros de carrera corta con un amplia área transversal, por lo que la fuerza que aplican es alta en relación a su tamaño. Dichos elementos son ideales para actividades de clampeo o fijación, pero son pésimos para efectos de carrera.

Los cilindros con unidad de bloqueo son sistemas que cuentan con un tope interno el cual asegura que; en caso de falla, queden en la inmediata anterior posición al evento, lo cual es conveniente en actividades de ensamble, de medición o de pruebas (testers), ya que evitan la destrucción o daño severo a componentes o piezas dentro de un proceso. Usualmente son un poco más del doble en precio comparándolos con los cilindros redondos, pero son difíciles conseguirlos, los pedidos son de típicamente 3 meses de espera.

2.7.3. Muelles

Los muelles o resortes son elementos de accionamiento mecánico que pueden ser utilizados bajo el propósito de transductor o actuador (véase figura 2.11), ya que su comportamiento es altamente lineal en su zona de operación por la constante de rigidez mecánica que lo define; lo que permite que, a razón de una variación en su longitud, sufran una deformación directamente proporcional a la fuerza aplicada.

Los resortes a nivel industrial son altamente utilizados, precisamente porque su comportamiento es lineal en su zona de operación. Se ocupan en elementos de amortiguamiento, de conservación de la energía y desplazamientos cuyo error de respuesta no es un factor. En el mercado no se encuentra por su valor de rigidez, sino por el calibre y material con el cual está formado, los calibres saltan de dos en dos, y a mayor calibre más delgado es, básicamente están determinados así porque los alambres con los que está formado son comerciales, y se trata de acero tratado térmicamente para aumentar la resistencia mecánica.

El precio de dichos elementos es bajo en comparación de otros actuadores, y la calibración depende solamente de la distancia a la cual se coloque, por lo que es un buen elemento de conservación de fuerza de propósito general, debido a que conviene más hacer un sistema que ajuste la distancia de operación del resorte que fabricar uno con características especiales.



Figura 2.11: Ejemplo de resortes (ResortesLC, 2017)

2.8. Control eléctrico

Los procesos de producción deben tener un sistema de control lo bastante robusto para realizar estas actividades de manera adecuada, operando 24/7. En el mercado, existen múltiples sistemas de control que ofrecen estas características; desde tarjetas de adquisición y control del tipo CMOS, hasta supercomputadoras, las cuales realizan el control de cada una de las tareas del sistema en general. Sin embargo, en industria, es común encontrar PLC's.

Los PLC's son los elementos de control por excelencia en el sector industrial, y esto se debe a su durabilidad, ya que utilizan contactores (pastillas de cobre que permite diseminar la potencia generada por la relación corriente-voltaje en función del tiempo), lo que los protege significativamente de corrientes y energías que puedan generarse inesperadamente durante su funcionamiento. Existen múltiples opciones de PLC, pero existen cuatro marcas que acaparan el mercado industrial.

2.8.1. Siemens

Siemens tiene la máxima presencia en la industria hablando de PLC's (figura 2.12), y esto es simple de justificar, ya que son pioneros en el desarrollo de los mismos. Sus sistemas son de bajo costo, robustos, y las características de cada serie son diferentes entre sí, por lo que es común encontrar un equipo idóneo para su solución.

Además, en cuestión de programación y mantenimiento; así como unidades disponibles en el mercado, la información es abundante, por lo que se pueden reducir costos de implementación, mantenimiento y paro. En cualquier industria encontrará esta marca. Es recomendable que si el ingeniero no tiene experiencia en programación de PLCs, o

bien, desea aumentar sus capacidades, es recomendable hacerlo en estos equipos; pues son fáciles de comprender y programar; además, existe mucha información al respecto y asesoramiento en web.



Figura 2.12: Ejemplo de logo Siemens (Siemens, 2017)

2.8.2. Allen Bradley

A diferencia de Siemens, los modelos de las familias Allen Bradley (figura 2.13) son especializados en la disposición de la arquitectura para mejorar las líneas de código. La marca se preocupa por realizar constantes modificaciones y también cuenta con múltiples plataformas según la aplicación; por ejemplo, cuenta con un sistema de programación a bloques compatible con Labview sin necesidad de una tarjeta del tipo DAQ. Las HMI son muy durables, ergonómicas, y cuenta también con su catálogo de componentes; que al igual que el catálogo de Siemens, están normalizados bajo estrictos estándares de calidad.

La principal desventaja de esta marca es el precio. A diferencia de los modelos Siemens, los modelos AB son más complicados de conseguir debido a su alto costo; para poner una referencia, valen alrededor del doble de un sistema Siemens con características similares, al igual que todos los componentes del catálogo disponibles. La programación suele ser más complicada que en los sistemas Siemens y discontinúan sus modelos muy rápido, imponiendo a sus compradores la necesidad de actualizarse constantemente y adquirir licencias; típicamente cada año.



Figura 2.13: Ejemplo de un PLC Allen Bradley (E&A, 2017).

2.8.3. Omron

Los sistemas Omron (figura 2.14) son posiblemente la marca con mayor crecimiento en años recientes. Se preocupan por abaratar los costos de sus productos sin perder calidad; y aunque no compiten con las características de un Allen Bradley, lo cierto es que para aplicaciones pequeñas; como lo son las implementaciones de control en una estación o los sistemas secundarios de cualquier tipo de robot, son adecuadas.



Figura 2.14: Ejemplo de un PLC Omron (Omron, 2017)

La principal ventaja que ofrecen estos sistemas es la liberación de sus manuales y licencias de programación, existen también opciones de capacitación por parte de la marca a las empresas, con la finalidad de entrar con mayor fuerza en el mercado; fenómeno que puede ser aprovechado por pequeñas y medianas empresas. La desventaja es el casi nulo catálogo de componentes de la marca y ser la tercera en la mente del consumidor, se recomienda usarlos siempre y cuando sea general el tipo de sistema que se desea implementar.

2.8.4. Mitsubishi



Figura 2.15: Ejemplo de PLC Mitsubishi (MRPSTOP, 2017)

La ventaja de la marca es que tiene un tiempo considerable en el mercado, de tal modo que la información y manuales de programación son sencillos de conseguir,

tiene un catálogo respetable y no es tan complicado encontrar sistemas repuesto de las familias más comunes. También tienen equipos de múltiples tamaños y características casi genéricas, de tal modo que aunque los brincos de modelo en modelo son más grandes que en las otras marcas, coinciden con las necesidades habituales del mercado (véase figura 2.15).

La principal desventaja es la salida de la marca en el mercado, por lo que invertir en sistemas de la misma proyectando a futuro no es recomendable.

2.8.5. Cómo elegir

Cada una de las marcas es funcional; si se operan de acuerdo a sus recomendaciones de uso, y dicha funcionalidad ha sido comprobada por un sin número de aplicaciones en diferentes sistemas por diferentes industrias. Sin embargo, es importante valorar cada una de las ventajas y desventajas en la implementación del equipo desde el punto de vista del cliente, por lo que es necesario evaluar cada uno de los siguientes aspectos con respecto a las necesidades reales, para llevar a cabo la elección correcta.

- **Capacidades de función:** Tomar en cuenta expansiones, entradas y salidas digitales, entradas y salidas analógicas, durabilidad y tamaño.
- **Comunicación:** Profinet, Profibus, etc. Determinar el tipo de comunicación es fundamental, ya que las líneas de ensamble usualmente tienen fases que se comunican entre sí.
- **Proceso:** Existen ambientes en donde no es conveniente utilizar algunos modelos o series, los valores soportados se pueden revisar en la hoja de datos.
- **Precio:** Todo proyecto tiene un presupuesto.
- **Estandarización y normalización:** Cada empresa tiene sus principales proveedores, alianzas estratégicas y métodos de capacitación; por lo cual, es conveniente valorar el hecho que implican nuevos modelos o marcas dentro de las labores de mantenimiento e ingeniería, pues es la capacitación y la curva de aprendizaje son los principales factores de riesgo en cualquier implementación.

2.9. Robots

Un robot es un conjunto de sistemas eléctricos, mecánicos y de control cuya principal tarea es realizar un trabajo. La definición por parte de la ISO declara:

El robot se define como un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, a través de movimientos variables programados, para el desempeño de tareas diversas (Sumir, 2010).

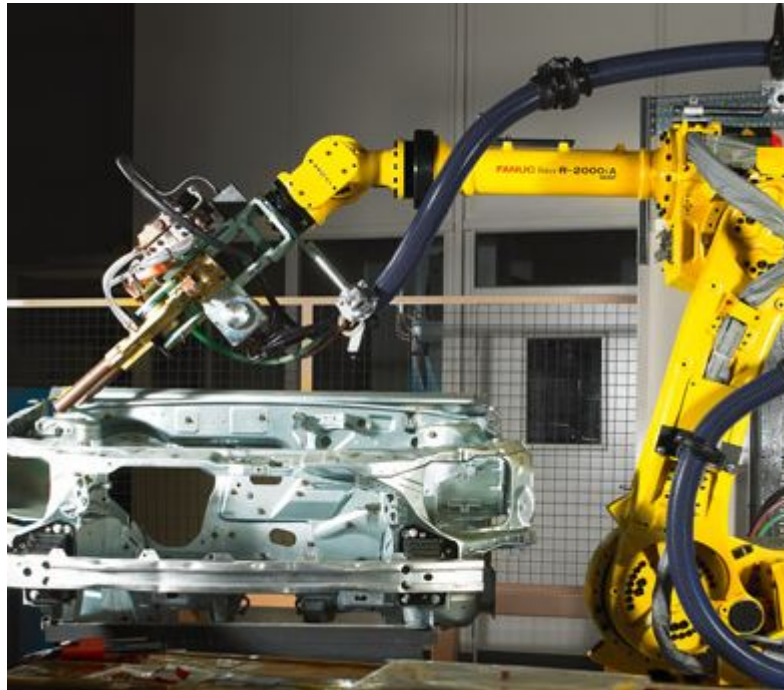


Figura 2.16: Robot Fanuc para aplicaciones de soldadura (Fanuc, 2017)

Existen muchas configuraciones posibles dependiendo el tipo de trabajo, pues el robot puede ser de propósito general, de media capacidad y específico; dependiendo claro el uso del mismo, las aplicaciones y la disposición de otros equipos en su conjunto. Es prácticamente imposible no encontrar robots en cualquier proceso industrial. La mayoría de los robots que son conocidos dentro de las líneas de ensamble son precisamente los de lazo abierto en configuración brazo (véase figura 2.16), debido a que su control es relativamente simple; dependiendo el modelo y la marca, son más baratos que un robot especializado, son generales; por lo que se pueden reciclar en otros procesos después, y son más fáciles de conseguir e intercambiar; si el proceso así lo requiere.

La presencia de robots en las líneas de ensamble se deben básicamente a cuatro conceptos (Sumir, 2010):

- La tarea a desempeñar es constante y aburrida; tal como lo es la postura de tapas de dentrífico, o clasificar componentes.
- La tarea a desempeñar es peligrosa; tal como es la soldadura o trabajo en condiciones ambientales de riesgo para el humano.
- La tarea es sucia, por lo que es preferible colocar la máquina antes que el humano.
- La tarea a realizar es difícil; como mover componentes muy pesados, requiere una repetibilidad bien definida, o bien, asegurar un proceso.

Debido a sus aplicaciones dentro de la industria, a partir de este momento se deja de lado el resto de configuraciones posibles para un robot y se toma al articulado como ilustrativo debido a su relevancia dentro del documento, sin embargo, las marcas y los procesos de programación son similares entre robots; y de ser necesario, bastará con indagar en los catálogos del fabricante.

2.9.1. Datos importantes de un robot

Es importante mencionar que no se hablará a detalle de la cinemática y dinámica que impera en un robot, por lo que es necesario que el lector cuente con los conocimientos básicos para entender el funcionamiento física y matemáticamente. Sin embargo, es importante mencionar una serie de conceptos a tener en consideración para el momento de su programación.

- **Base feature:** Como su nombre lo indica, se trata de la base del robot y es el origen coordinado real del robot; debe estar anclado debidamente para evitar vibraciones u oscilaciones en funcionamiento. Su posición puede ser «omitida» para fines prácticos durante la programación pero se debe tener especial cuidado de sus fijaciones, las inercias y momentos que se puedan generar durante el funcionamiento (véase figura 2.17).
- **Tool feature:** Es el centro de la brida de la herramienta, es decir, el último punto del lazo del robot sin herramienta. Es importante asegurar el correcto aseguramiento de la herramienta o gripper, ya que dependerá de esta la exactitud y repetibilidad (véase figura 2.18).
- **Tool feature:** Es el origen del TCP (tool centre point), justo el punto de interés para realizar la programación (véase figura 2.19). Es fundamental desarrollar los análisis de inercia y momento, es recomendable mantenerse bajo un 15 % por seguridad de funcionamiento; dichos análisis se pueden realizar matemáticamente o asistido por computadora.
- **Feature por usuario:** Sin duda, el más usado para las tareas de programación; pues permite realizar adecuaciones al sistema, y las coordenadas físicas se miden a partir de él. Se fija en la zona de trabajo, produce mejor repetibilidad y exactitud aún con movimientos del sistema y robot (véase figura 2.20).

Es importante mencionar que, aunque es fundamental saber las características de masas, inercias, momentos y aceleraciones para realizar los movimientos referentes al trabajo, lo cierto es que los robots tienen módulos o adecuaciones de ajuste automático que corrigen defectos o errores cinemáticos. El realizar las mediciones y cálculos correspondientes le servirán para alargar la vida útil del robot.

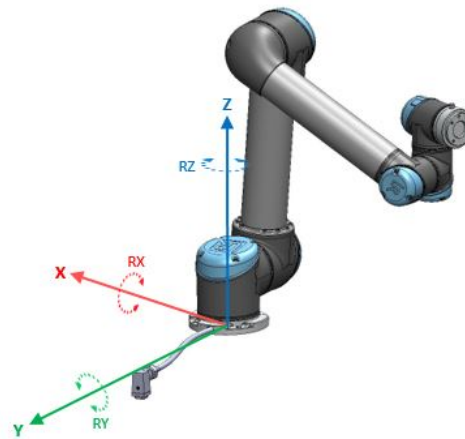


Figura 2.17: Base feature (UR, 2016)

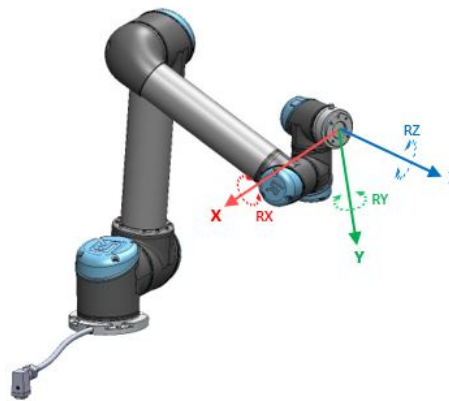


Figura 2.18: Tool feature (UR, 2016)

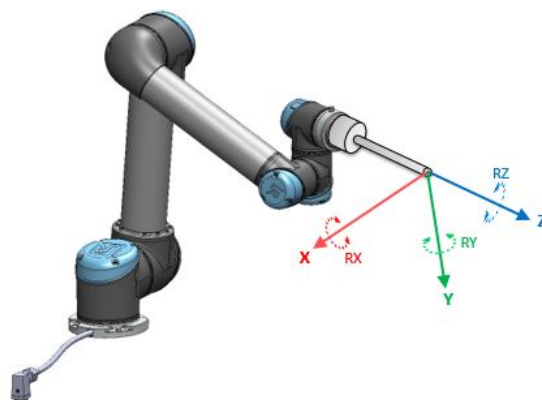


Figura 2.19: Tool feature (UR, 2016)

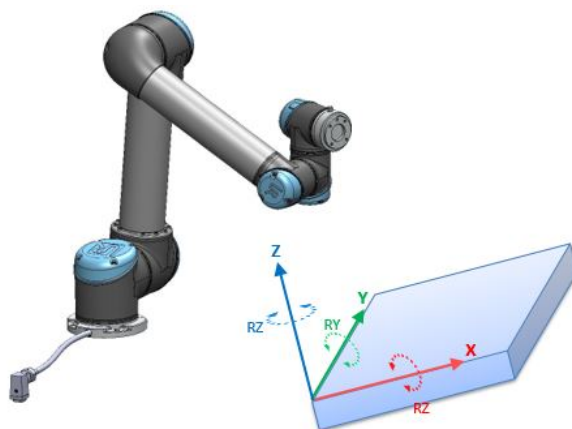


Figura 2.20: Feature definido por usuario (UR, 2016)

Centro de masa

Los robots deben funcionar con algún tipo de herramienta, y dependiendo de las características de la misma es como se realiza la programación. Un ejemplo muy claro son las aplicaciones de pintura, en las cuales el movimiento suave y a una distancia constante es crítico para realizar un acabado adecuado, sin mencionar que las trayectorias afectan de manera significativamente el gasto y el volumen posible para el pintado.

Como se puede intuir, el robot de lazo abierto consiste en una cadena cinemática abierta con la herramienta en la punta. Aunque los robots garantizados por fabricante tienen un peso de trabajo característico, el peso y momentos generados en la herramienta no son considerados por el modelo matemático ni de control por el robot, por lo que es importante conocer y evaluar dichos parámetros junto con las velocidades y distancias que realizará dicho robot, para evitar daños en la estación o el robot.

Las formas más simples de calcular los centros de masa son tres:

- **Matemática:** Cuando se tiene un completo conocimiento con la geometría y las masas de cada uno de los elementos que componen la herramienta, se puede realizar el cálculo del centro de masa partiendo de la sumatoria de los centros individuales, o bien mediante aproximación matemática comparándolos con elementos geométricos comunes.
- **CAD:** Si dichas herramientas se encuentran en diseño y modelo matemático, es posible realizar un análisis en la mayoría de los software de diseño para la obtención de los centros de masa, siendo un método rápido.
- **Experimental:** Ya que por definición el centro de masa es el punto donde actúa la gravedad del sistema, si dicho elemento se coloca a cuerpo libre sujetándolo por solo un punto, mostrará un alineamiento, si se repite el proceso con otro punto, se encontrará otra línea con un punto de intersección. Dicho punto es el centro de

masa del sistema, y bastara con pesar el elemento para conocer su masa. Este método sirve para encontrar el centro de masa de forma rápida.

Resolución

Los robots actuales tienen un sistema de control digital para detectar la posición, los cuales utilizan un encoder (arreglo de sensores fotoeléctricos y discos, los cuales determinan la posición por conteo de intermitencias o por patrones establecidos) que es discreto. La resolución se vuelve importante para determinar si un robot es capaz de llegar a una posición en específico y también determina la estabilidad en el punto. Factores como repetibilidad y precisión dependen íntimamente de la resolución de los encoders, y aunque la mayoría de robots generales actuales cuentan con unas resoluciones adecuadas para movimientos finos de hasta 0.01mm dentro de su área de trabajo nominal, es importante mencionarlo en caso de una aplicación que requiera una precisión mayor.

Punto de trabajo

El interés de usar un robot es por la repetibilidad para realizar una tarea. Dentro de los sistemas de trabajo es necesario que el robot se coloque en una serie de puntos de interés antes de realizar su trabajo, ya sea llamando una función o reportar su posición. Los puntos de trabajo son importantes debido a que el robot cambiará de operación en ese instante, por lo que la programación correcta de dichos puntos es fundamental para la operación. Es recomendable basar estos puntos dentro de un modelo coordinado y en función de tres variables generales (x , y , z), de tal modo que en caso de cambios se realice una programación sin necesidad del paro. En general, se pueden englobar los puntos de trabajo en tres categorías:

- **Puntos de ruta:** Son los puntos donde el robot cambia de un tipo de translación a otra, sirven para mejorar la forma en la cual se mueve la herramienta en el espacio y es importante tener cuidado con los factores de velocidad y distancias, pues cambios abruptos generan momentos e inercias que pueden afectar al robot, al producto y a la estación.
- **Puntos secundarios:** Son los puntos en los cuales el robot cambia de una translación a una rutina de operación del robot. Aunque se menciona con mayor claridad en apartados futuros, las actividades de trabajo asociados a la herramienta deben programarse en una función diferente a la de movimiento, por lo que estos puntos secundarios con cierto delay preparan a la herramienta, evitando daños en los sistemas. Pueden existir tantos puntos como sean necesarios al proceso.
- **Puntos de interés:** Aquellos puntos donde se desea que actué la herramienta. Estos puntos deben estar definidos por los modelos matemáticos más el ajuste por tolerancia necesario, debe evitarse en la manera de lo posible cambiar sus valores reales con los matemáticos, y dichos puntos deben estar dentro de una

función diferente a las demás y debidamente protegida y respaldada, pues son los puntos críticos donde la herramienta realiza su función dentro del producto.

Rutas de traslación

Los puntos de interés son los más importantes al desarrollar las tareas de programación, sin embargo, las rutas por las cuales la herramienta llegará a cada punto es igual de importante, ya que en todo momento se debe proteger la integridad del robot, del usuario, de la estación y del producto a obtener.

Aunque la programación de rutas dentro de un robot se puede realizar punto a punto, lo cierto es que los fabricantes ponen a la disposición del robotero una serie de funciones para la traslación punto a punto del robot, utilizando diferentes métodos de interpolación de manera automática. Aunque cada desarrollador tiene sus métodos de interpolación, se pueden resumir en tres tipos comunes que la mayoría de robots utilizan.

- **Interpolación circular:** Como su nombre lo indica, toma la distancia de punto a punto y forma un arco cuyo diámetro es la distancia a recorrer. En dicha interpolación es posible definir la orientación y el arco.
- **Interpolación lineal:** Consiste en una interpolación en la cual el centro de la herramienta (TCP) realiza el recorrido por la distancia más corta entre ambos puntos, que es una línea recta. Este tipo de movimiento es veloz, pero involucra un gasto energético mayor, así como el uso de la mayoría o todos los actuadores del mismo.
- **Interpolación optimizada:** Consiste en una interpolación en la cual toma la posición del robot y optimiza su movimiento ante el gasto energético y la reducción de momentos e inercias. Este tipo de movimiento varía dependiendo la posición actual con la deseada, el ideal para mantener la vida del robot, pero por su naturaleza, es necesario realizar las valoraciones correspondientes antes de correr con los sistemas de la estación o en simulador, evitando golpes o impactos que pueda recibir el robot o los alrededores por la acción de moverse.

2.9.2. Principales marcas

Los robots se pueden conseguir de diferentes marcas y modelos, pero las principales marcas, las cuales tienen años de experiencia y son las preferidas en el sector son:

- **Fanuc:** Es una marca japonesa con una larga trayectoria desarrollando y comerciando este tipo de equipos. Tiene un catálogo extenso de modelos, los cuales separan por actividad, clase de trabajo y exactitud, y aunque no han sacado o renovado modelos de manera significativa, no es necesario, pues su amplio catálogo ofrece soluciones integrales para cada problema. Quizá uno de sus defectos es la programación; debido a que se realiza por bloques, se necesitan módulos de expansión para agregar características y dichos módulos son sensibles.

- **KUKA:** Marca alemana de robots, cuyo funcionamiento es robusto, competidor directo con Fanuc y ABB, tiene un catálogo respetable, y tiene una amplia presencia en empresas que se originaron en Alemania a mediados del siglo XIX. Su panel de programación es intuitivo, la programación también se realiza por su propio lenguaje y también requiere módulos y accesorios.
- **ABB:** Es una empresa que se originó por fusión de empresas más pequeñas, su sede está en Suiza y tiene un catálogo de soluciones no tan amplio como Fanuc o KUKA pero si bastante funcional y atractivo. Su programación se basa también en sentencias por bloques, el panel de control es funcional y cuenta con una robustez y repetibilidad confiable.

Los costos son variados, pero se mantienen muy similares en modelos con la misma carga y misma aplicación; por lo cual, la adquisición depende en gran medida de la empresa o línea donde serán introducidos; es decir, es cuestión de normalización y estandarización, además claro del costo.

2.9.3. Métodos de programación

El programador debe conocer dos puntos clave para cuestiones de seguridad antes de realizar la programación, que son el volumen de trabajo del robot y el volumen de trabajo de usuario.

El volumen de trabajo del robot le definirán los puntos máximos y mínimos a los que tiene acceso un robot; es decir, un volumen discreto definido por puntos a los cuales el robot es capaz de llegar, y así determinar zonas de riesgo, fatiga y cargas que puedan reducir su vida útil (véase figura 2.21).

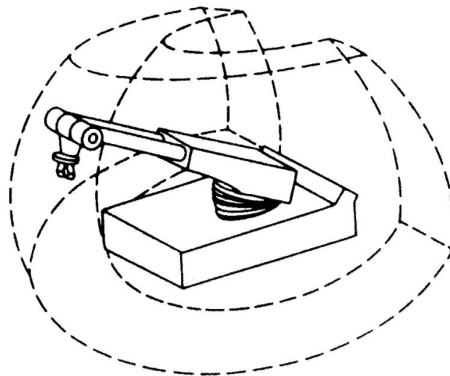


Figura 2.21: Volumen de trabajo de un robot (Faculty Petra, 2017)

Mientras que el volumen de trabajo del robot depende de los elementos físicos del mismo (encoders, geometría, etc.), el volumen de trabajo de usuario depende de la programación. Usualmente se utilizan una serie de funciones que activan alarmas y paros de emergencia que los controles del robot tienen por defecto, y sirven para proteger la integridad del robot, de la estación, la línea y el operador.



Figura 2.22: Volumen de trabajo de usuario (Fanuc, 2017)

En la figura 2.22 se puede observar al robot dentro de un cubo ficticio, el cual está formado por una serie de planos perpendiculares entre sí. Es evidente mencionar que no es necesario colocar de esta forma dichos planos de seguridad, pero si es importante que dichos planos formen un volumen cerrado, ya que la pérdida de posición, golpes y ajustes de programación son comunes en industria y es complicado parar líneas para realizar trabajos de ajuste.

Otro detalle a considerar es tener especial atención a los puntos físicos antes mencionados, hacer la programación de los planos de seguridad en una función independiente al programa de interés y modificarlo lo menos posible, comprobando que está bien definido antes de arrancar cualquier código que use esta función.

Para realizar la programación, existen en general cuatro técnicas usadas en la industria actual, y que dependen en gran medida de su practicidad.

- **Aprendizaje:** Se hace que el robot o maqueta del mismo realice una vez la tarea, al tiempo que se registran las configuraciones del punto.
- **Pasivo:** Consiste en desenergizar al robot y llevarlo a los puntos de interés. Se diferencia del anterior en que éste no existe energía suficiente para hacer el movimiento, lo realiza el usuario.
- **Activo:** Se mueve el robot con energía y la interfaz del teach pendant, por lo cual se aproxima el TCP al punto, variando y grabando posiciones.
- **Textual:** Conociendo las posiciones de interés a partir de las coordenadas globales del robot, es posible realizar las instrucciones de código necesarias para colocar el TCP, la posición de cada uno de los eslabones y articulaciones, la forma de atacar el siguiente punto y el ciclo.

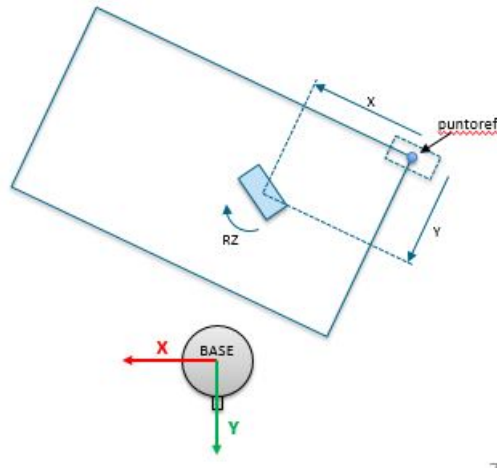


Figura 2.23: Puntoref como referencia (UR, 2016)

En ocasiones, los robots llegan a perder posición, debido al juego mecánico. Para evitar eso, es recomendable colocar una instrucción que le ordene al robot; después de cierto número de ciclos, setear la posición por medio de sensores, para mantener exactitud (figura 2.23).

2.9.4. Consideraciones importantes

Los robots articulados sufren desgaste y terminan por fallar debido a malas ejecuciones al momento de su control, esto porque se les exponen a trabajar en medios con contaminación que dañan los mecanismos internos, por malas posiciones al momento de llegar a los puntos de interés, por velocidades excesivas o forzar el robot a cinemáticas poco fluidas. Lo ideal es mantener al robot lo más protegido posible. Si se mantiene el robot dentro del 15 % de seguridad, su vida útil puede alargarse significativamente.

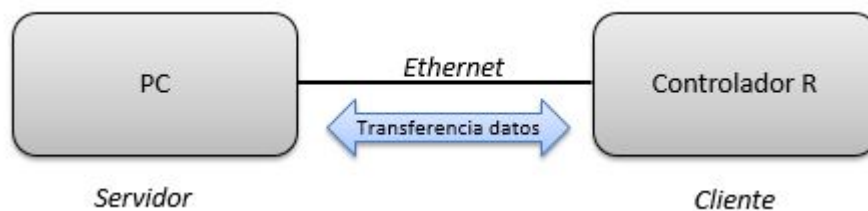


Figura 2.24: Ejemplo de comunicación PC-Robot (UR, 2016)

Es importante; además de realizar la programación necesaria para la posición de puntos, utilizar un punto dentro del sistema para realizar las transformaciones necesarias dentro del área de trabajo (véase figura 2.23), estas transformaciones le permitirán al sistema saber la posición del sistema a trabajar con respecto al base feature, lo que ahorra tiempo y esfuerzo al momento de programar. Después de ello, es importante determinar el tipo de comunicación con el cual se enlazará el robot y mantener al

robot como esclavo, no al revés (Figura 2.24). Dependiendo del tipo de comunicación que se determine para el robot (Servidor ModBus, servidor FTP, servidor Dashboard, Interfaces cliente o comunicación Socket) son los materiales, las protecciones, los protocolos de comunicación y sus normas, por lo que la elección debe ser considerando la estandarización y normalización.

2.10. Proceso

El proceso es la actividad de la empresa donde se obtiene valor por la producción. Existen varias teorías que señalan las prácticas adecuadas para llevar a cabo las optimizaciones necesarias y reducir costos vinculados a tiempo, recursos o mejoras. La teoría más aceptada en la industria actual es la Lean manufacturing, o manufactura esbelta. Lean Manufacturing es un proceso continuo y sistemático que permite identificar y eliminar actividades que no generan valor pero si implican costo y esfuerzo, y para funcionar, todos los colaboradores deben pensar en la mejora continua, por muy pequeña que esta sea.

Es importante para el ingeniero entender que la línea debe ser capaz de ajustar la producción de acuerdo a la demanda, en el momento y cantidades en que le sean solicitadas por un costo bajo o nulo, por lo que tomar las herramientas como Kaizen y 5s, promueven las alternativas para lograr mejoras dentro del proceso, tomando en cuenta:

- Optimización con los recursos existentes.
- Velocidad de implementación y puesta en marcha en cambios, sean estos previstos o imprevistos.
- Alta participación de personal.
- Pasos pequeños pero constantes.
- Acercamiento continuo a metas.

Combinar la tecnología e innovación con los sistemas Lean enriquecen el proceso y son muy apreciados en todos los sectores, por la rentabilidad que estos son capaces de producir.

2.10.1. Lean manufacturing

También conocido como Just In Time (JIT) o Manufactura esbelta, es el sistema de producción Toyota que la posicionó como una de las empresas más productivas en los años recientes. Los resultados obtenidos a través de sus prácticas la convierten en una de las filosofías de producción más exitosas y revolucionarias de la historia dentro del sector industrial (IIO, 2017)

Es un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de actividades que no generan valor en el proceso, pero que implican costo de algún tipo. Bajo la premisa *todo puede hacerse mejor*, la empresa que implementa esta metodología debe ser capaz de ajustar la producción a su demanda en el momento que así sea necesario, al menor costo, por lo que se obtienen resultados como éstos:

- Minimizar inventarios
- Minimizar retrasos
- Minimizar el espacio de trabajo
- Minimizar los costos
- Reducir el consumo energético
- Mejorar calidad

Todas las áreas participan en Lean, por lo que es importante contar con la gente correcta dentro de los procesos de producción, realizar las capacitaciones y señalizaciones adecuadas, fomentar el trabajo en equipo y una visión de puertas abiertas, ya que la búsqueda continua puede aplicarse tanto a procesos específicos como al modelo estratégico mediante un sistema de administración ajustado.

Es importante entonces para el departamento de ingeniería tener en cuenta la visión de compromiso por la mejora continua que se puede realizar en el proceso desde el diseño, de tal modo que el producto, el proceso de fabricación y de trabajo sean lo más simples posible, beneficien al operador o las máquinas involucradas, y contemplen desde el proceso productivo hasta el embalaje.

2.10.2. Balanceo de línea

La línea de ensamble y de cualquier proceso, debe ser continua y las tareas que se realicen en cada una de las estaciones no deben permitir la pérdida de tiempo entre subprocesos. El ingeniero a cargo del diseño debe valerse de la información necesaria y calcular correctamente dichos tiempos, pues estos le definirán la velocidad del proceso, de los subprocesos y de los equipos necesarios.

Los dos conceptos clave para hacer un buen balanceo de línea son (IIO, 2017):

- **Cantidad:** El volumen debe ser suficiente para la realización de la línea, justificar el costo contra el tiempo.
- **Continuidad:** Considerar el número de materiales que entran en el proceso, la cantidad mínima y máxima en el PoU, tareas de ensamble y medidas contra fallas (figura 2.25).

2.10.3. Control visual

Como su nombre lo indica, consiste en la señalización dentro del proceso para las tareas de ensamblaje. A primera vista, puede parecer que la importancia es casi nula para las actividades de diseño y desarrollo, sin embargo, se vuelve de gran valor para las tareas de programación y señalización de proceso dentro de la línea; en especial para el operador y los ingenieros industriales y de calidad. Aunque es cierto que la tarea de señalización usualmente recae en los ingenieros industriales, es importante para el diseño considerar las señales desde el concepto, debido a que así se pueden crear las características idóneas dentro de cada sistema. El uso de elementos descriptivos es fundamental por norma, así que se debe dar la importancia pertinente desde el concepto.

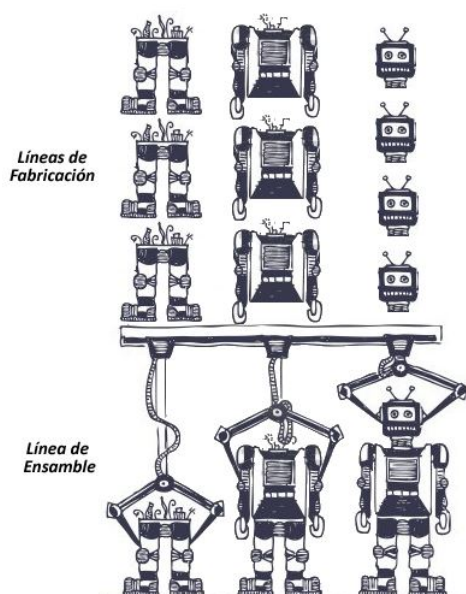


Figura 2.25: Línea de fabricación y ensamblaje (IIO, 2017)

2.10.4. Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF)

Es una herramienta dedicada a evaluar la confiabilidad de los equipos, detectar problemas y evitarlos antes de que sucedan. Muchos ingenieros lo toman como base para el mantenimiento preventivo, lo cual es un error, debido a que ni es mantenimiento, pues no cambia la condición del equipo, ni es predictivo, pues no predice. Existen diferentes técnicas relacionadas con la medición y la observación, las cuales tratan de ver un parámetro y la relación con el estado del equipo. Es importante tener claras dichas técnicas aplicadas para tener una mejor valoración, y la herramienta más común para este tipo de tareas es el AMEF. La ventaja de usar las AMEF es que es un objeto dinámico, en la cual el ingeniero en aplicación tiene una memoria de los riesgos de elementos y sistemas.

El proceso de AMEF puede aplicarse a:

- **Producto:** Sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas de diseño.
- **Procesos:** Detecta posibles fallas en las etapas de producción, para realizar los planes de prevención, corrección y de emergencia.
- **Sistema:** Detecta los errores de sistema, para realizar las contenciones necesarias.

Es importante la consulta de los AMEF y las matrices de causa y efecto, pues es conveniente que los tenga presente y examine los componentes que desea implementar junto con los riesgos que tuvieron sistemas similares en la línea para valorar los pros y contras por estadística, con el objetivo de utilizar los controles para proteger al cliente, sin mencionar que; usualmente, es el único que sabe como está construida su máquina, por lo que deberá trabajar con otros ingenieros para desarrollar dicha documentación en tiempo futuro.

2.10.5. Heijunka

Es una de las herramientas más importantes en el Lean, ya que busca nivelar el flujo de acuerdo al comportamiento real de la demanda. Es importante mencionar que el flujo de producción considera solo el ritmo, no la capacidad de producción. Toma en cuenta proceso, producto y medios, y permite la flexibilidad de la línea con sus consecuencias en logística, surtimiento, inventarios, etc. (IIO, 2017).

Estas herramientas le permitirán al ingeniero diseñador realizar líneas y estaciones adecuadas para el proceso, le permitirán pensar de manera ergonómica y enfocarse en el producto. Entre más consiente sea de las necesidades del proceso, de los subsistemas y del producto, le será más fácil desarrollar los sistemas pensar en adecuaciones a futuro.



Figura 2.26: Transformación a líneas en forma de U (IIO, 2017)

Como norma, los heinjunka consideran los puntos de uso dispuestos a la mano derecha de los flujos, la implementación de equipos móviles, ayudas visuales, poka-yokes con los números de serie de cada componente, la señalización de las cadenas de producción y los ciclos modo loop dentro de las líneas, junto con sus puestos de mando con auxiliares y supervisores.

2.11. Normas de la industria

2.11.1. La importancia de las normas

Una norma es un conjunto de especificaciones para partes, materiales o procesos establecidos a fin de lograr uniformidad, eficiencia y cantidad específicas. Uno de los propósitos importantes de una norma es poner un límite al número de artículos en las especificaciones para proporcionar un inventario razonable de herramientas, tamaños, formas y variedades. (Budynas, 2008)

Es importante entender que; para el diseño e implementación de un equipo de validación (y de cualquier producto en realidad), es necesario tener claras las normas que rigen el proceso, ya que todas las organizaciones tiene una serie de normas y códigos de diseño y seguridad que deben cumplirse. En definición:

Un código es un conjunto de especificaciones para analizar, diseñar, manufacturar y construir algo. El propósito de un código consiste en lograr un grado específico de seguridad, eficiencia y desempeño o calidad. Es importante observar que los códigos de seguridad no implican seguridad absoluta. De hecho, la seguridad absoluta es imposible de obtener. Algunas veces realmente acontece un suceso inesperado. Diseñar un edificio para que resista un viento de 120 mi/h no significa que el diseñador piense que un viento de 140 mi/h es imposible; sólo significa que piensa que es muy improbable. (Budynas, 2008)

Aunque existen muchas entidades que regulan (ANSI, DIN, ISO...), lo cierto es que las normas se parecen o tienen equivalencias una a otra, así que el ingeniero debe preocuparse por entender los métodos y las características a validar; que es en realidad el objetivo de dichas instituciones. Es importante seguir las normas del proceso, ya que en la industria prevalece el concepto de *responsabilidad jurídica*, la cual consiste en responsabilizar a la empresa fabricante de reponer los daños que un mal producto pueda causar; el ejemplo evidente es la aplicación de la *garantía del producto*, aunque claro se puede proceder de múltiples formas en cuanto a la compensación de daños y arreglo de contratos.

Es importante manejar los conceptos de calidad, determinar correctamente los requisitos del diseño, las especificaciones por parte del cliente y el proceso, comprender correctamente las unidades de cada una de las magnitudes que se encuentran dentro y fuera del sistema, y entender que las fallas siempre ocurren, pero es ocupación del equipo de diseño hacer de estas las mínimas posibles o bien minimizar los efectos en cierto porcentaje, antes de caer en un acto fuera de la ley por algún tipo de incompetencia profesional. La única forma de no cometer este tipo de errores es realizar ingeniería con análisis y diseño, control de calidad y pruebas, utilizar métodos iterativos y constante innovación.

2.11.2. Norma de seguridad eléctrica

Uno de los compromisos más importantes que debe cumplir cualquier producto en la industria es que actúe bajo norma. En el caso de los PLC, debe tener cuenta la robustez electromagnética, y dicho elemento no debe generar perturbaciones de ningún tipo; incluyendo claro la electromagnética. Existen múltiples normas que describen cada uno de los procesos industriales, por lo que al ingeniero mecatrónico debe preocuparle saber qué tipo de norma deben cumplir sus productos y aplicarla. Sin embargo, en este apartado se explicarán; a groso modo, cuales son las importantes y sus lineamientos a seguir.

La Normativa Europea Armonizada es un conjunto de especificaciones técnicas de compatibilidad y susceptibilidad electromagnética, en donde se explica la inmunidad a los campos electromagnéticos que debe tener el PLC, los niveles de voltaje a los cuales debe trabajar, protecciones contra cortes, tensiones, transitorios y ráfagas, como lo indica en los seis apartados principales del LEC, en los ensayos SC 77/(A-F). Una aclaración especial es que la norma DIN comúnmente se aplica por separado, y esto se debe a la presencia de las empresas alemanas en el país, sin embargo, los conceptos son los mismos aunque no los estándares.

Algunas de las normas vigentes en México son:

- DIN 40700 y DIN 40719: Símbolos eléctricos.
- DIN 40 050: Protección completa de los elementos de control.
- CEI 801 1-4: Normas de compatibilidad electromagnética.
- DIN 19 234: Instalación en zonas de operación.

Todo dispositivo debe funcionar en la zona ideal, pero es posible que se vea sometido a comportamientos erráticos o transitorios. Los sistemas PLC deben tener dispositivos de seguridad, pero estos deben estar directamente con las alimentaciones **nunca con dispositivos eléctricos**, y se recomiendan las siguientes medidas.

- Finales de carrera como sensores.
- Pulsadores de emergencia en tablero y posiciones a la mano del operador.
- No utilice transformadores.
- Posibles corrientes producto de fuga en algunos dispositivos deben ser aislados.
- Puesta en tierra.
- Tableros o gabinetes con correcta ventilación y asegurar estanqueidad en caso de agua.

Los riesgos mecánicos e hidráulicos también son importantes y deben normalizarse junto con lo eléctrico, por lo que; si se toma una vista general, se puede diseñar todos los sistemas de tal modo que la ergonomía del proceso sea la adecuada para el operador.

2.11.3. Normas de instalación y ensamble

Normas técnicas

Desde el punto de vista mecánico, los equipos deben:

- No estar sometidos a vibraciones o choques intensos.
- No soportar cargas estáticas o pesos apoyados sobre su estructura.
- No deberá servir de soporte para cable u otros elementos.
- No deberá estar sometido a esfuerzos por cableado.
- Los conductos y rejillas de ventilación deben estar siempre libres.
- El panel de control debe estar alejado de grandes contactores e interruptores.
- De ser necesario, hacer bases elásticas para amortiguar vibraciones externas.

Normas del fabricante

Debe leerse la hoja de especificaciones por parte del fabricante para cada uno de los equipos que componen el sistema. En ella, se describen las condiciones en las cuales debe operar cada uno de los subsistemas y en caso de falla, poder protegerse de costos asociados a la garantía y reposición inmediata. Es recomendable siempre hacer consulta con el cliente final o puesto de alto mando sobre el tema de equipos y garantías, esto para mejorar la comunicación proveedor-cliente. Además de esto, algunos puntos clave son:

- Distancias entre PLC y otros elementos; como los de maniobra y cableado, completamente claros y señalizados.
- Alejados de puntos de calor.
- Debe colocarse en la parte media baja del panel de control, aunque este es más una guía que una norma, ya que el ingeniero debe de dar prioridad a la optimización del gabinete.

Normas de conexiones

Debido a que los movimientos no planeados de zonas donde descansan o se acoplan arneses eléctricos pueden significar rupturas de empaques, conexiones no planeadas, cortos y destrucción de los sistemas eléctricos:

- Distancias entre partes activas sometidas a carga, dependiendo de la norma, se asegura la distancia entre clemas.
- Todo sistema de cableado debe ser estructurado.

- Cada uno de los cables debe ser etiquetado, con número par para las entradas e impar para las salidas.
- El sistema gabinete o tablero debe tener un espacio de maniobra del 20 por ciento del espacio total del gabinete.
- Ningún sistema, dispositivo o cable puede estar posicionado de tal forma que sea necesario retirarlo para llegar al elemento de interés.
- Especial cuidado a los campos electromagnéticos.

Normas de identificación y aplicación

La instalación del PLC debe realizarse tomando en cuenta las condiciones ambientales en las que funcionará el sistema, de tal modo que se asegure la vida útil de funcionamiento del equipo; es decir, tener especial cuidado en el riesgo de deterioro o envejecimiento prematuro. Para ello, se deben de tomar en cuenta las siguientes especificaciones:




- **Condiciones climáticas:** Cada sistema tiene sus límites, sin embargo, lo general es:
 - Temperatura ambiente de entre 0 y 40 grados Celsius, algunos equipos soportan entre -10 a 55 Celsius.
 - Humedad relativa inferior al 85 o 9 por ciento. Si la humedad es elevada, deben preverse resistencias calefactoras para evitar condensaciones y cambios de temperatura.
 - Evitar la exposición directa al sol.
 - Si el dispositivo se coloca dentro de un gabinete o armario, se deben calcular las potencias disipadas en calor por cada uno de los elementos dentro del mismo, con la finalidad de obtener la ventilación correcta. El caudal para cada kilovatio de potencia disipada debe de ser 6 metros cúbicos/minuto.
- **Contaminación ambiental:** Evitarse en la medida de lo posible instalar equipo tipo PLC en los siguientes ambientes.
 - Ambientes polvorientos o que contengan partículas metálicas en suspensión.
 - Atmósferas de gases corrosivos o inflamables.
 - Ambientes donde exista vapor o sustancias químicas vaporizadas.
 - Ambientes salinos o que produzcan corrosión.
 - Ambientes donde exista electricidad estática o campos magnéticos fuertes.
- **Ruido:** Cualquier tipo de perturbación externa que pueda alterar el funcionamiento del PLC introduciendo señales extrañas en los circuitos internos. Recordar que la tecnología que se emplea en el PLC es tipo C-MOS.

2.11.4. Norma mecánica

Para realizar las piezas del diseño es necesario obedecer algún tipo de norma que permita realizar la descripción de dichos componentes. En México se utiliza la norma ASME y la DIN, que trata de la dimensión y tolerancias dentro de un ensamble. Un plano permite la fabricación de piezas técnicamente iguales, de ahí su importancia en el mercado actual. Para que pueda detallarse la información a través de un plano, es necesario la implementación de normas o códigos que son; básicamente, una serie de reglas o convenios para establecer el lenguaje.

Generalidades para planos

- La líneas no deben ser muy gruesas, se recomienda el rango 0.25-1mm.
- Las puntas deben ser esbeltas y negras, con ángulo de 15 grados.
- La separación entre líneas de acotación es de 10mm para la primera, y 7mm las siguientes, paralelas con respecto a las caras acotadas.
- La separación entre líneas de acotación es de 10mm para la primera, y 7mm para las siguientes, paralelas con respecto a las caras acotadas.
- Los signos de acabado se describen con un símbolo en forma de v y la numeración determina el acabado en caras (véase cuadro 2.1).

| SIMBOLO | TERMINACION | MEDIO CONSTRUCTIVO |
|---|---|--|
| S/ símbolo | Superficie en bruto como sale de tratamiento primario. | Colado – forjado |
|  | Superficie en bruto fabricada con cuidado o con defectos eliminados con lima o muela. | Limado Muela Corte a soplete |
|  | Superficie alisada. Marcas visibles a simple vista | Fresado fino Torneado Laminado en frío |
|  | Superficie alisada finamente, marcas no visible a simple vista | Rectificado Torneado fino Brochado |

Cuadro 2.1: Acabados según DIN

- Los cortes son permitidos para no acotar líneas auxiliares, esto incluye ejes de barrenos, ejes auxiliares, cuerdas, etc.
- Los dibujos de conjuntos se enumeran por ensamble, y cada una de las piezas reciben el índice del mismo, para cuestiones de trazabilidad y control.
- Las tolerancias y ajustes se determinan según su simbología, empleando los planos datos dentro del plano (véase cuadro 2.3).
- Especificar los tratamientos, procesos de soldadura y filos.

| CLASE | ESCALA |
|------------|--------|
| REDUCCION | 1:2 |
| | 1:2.5 |
| | 1:5 |
| | 1:10 |
| | 1:20 |
| NATURAL | 1:1 |
| AMPLIACION | 2:1 |
| | 5:1 |
| | 10:1 |

Cuadro 2.2: Escalas de representación en plano norma DIN

Adicionalmente, el tamaño del papel con el que se constituye el plano debe ser lo suficientemente amplio para observar la vista frontal, lateral y los cortes en las áreas que así sea necesario, de tal modo que se evite cualquier tipo de confusión o poca comprensión que derive en un error en la manufactura. En el cuadro 2.2 se puede observar las escalas que se pueden emplear al representar una pieza dentro del plano bajo la norma DIN.

| TOLERANCIAS | CARACTERISTICAS | SIMBOLO |
|--------------|------------------------------|---------|
| Forma | Rectitud | — |
| | Planitud | |
| | Redondez | |
| | Cilindricidad | |
| | Perfil de una línea | |
| | Perfil de una superficie | |
| Orientación | Paralelismo | // |
| | Perpendicularidad | |
| | Angularidad | |
| Localización | Posición | |
| | Concentricidad y Coaxialidad | |
| | Simetría | |
| Alabeo | Circular | |
| | Total | |

Cuadro 2.3: Los doce símbolos de tolerancia (Aguilar, 2017)

Capítulo 3

Metodología de diseño y desarrollo

Este capítulo tiene como objetivo describir los pasos que le permitirán al diseñador de aplicación realizar las tareas correspondientes al diseño e implementación de líneas de ensamble de manera rápida, correcta y completa; respetando costo, tiempo y alcances de su área junto con las demás en una estructura empresarial para facilitar la aplicación de la solución enfocada al proceso, realizando la gestión del proyecto en sí.

3.1. Ingeniería inversa

En países poco desarrollados o en vías de desarrollo, es necesario que la ingeniería llegue del exterior a través del análisis de la tecnología de punta y realizar lo que se conoce como ingeniería inversa.

Es el proceso de analizar el código, documentación y comportamiento de un sistema para identificar sus componentes actuales y sus dependencias para extraer y crear una abstracción del sistema e información de diseño. El sistema en estudio no es alterado, sino que se produce conocimiento adicional acerca del sistema (UDLAP, 2017).

Se puede entender como un método de «copia» para entender como funciona la tecnología, y permite realizar grandes saltos adelante en la economía local, debido a que es más fácil para una economía emergente ponerse a la par de otras realizando este tipo de actividades; sobretodo en el campo tecnológico (véase figura 3.1).



Figura 3.1: Ejemplo de ingeniería inversa (Grupo Carman, 2017)

México es un país en vías de desarrollo, por lo que su innovación y creación de tecnologías se deben; en su mayoría, a la aplicación de la ingeniería inversa. Esto lejos de desanimar al lector, debe ser una pauta para entender que la tecnología y las grandes innovaciones se deben a mejoras continuas de procesos ya creados; por lo que debe pasar cierta cantidad de su tiempo para conocer otros procesos, revisar como funcionan algunas máquinas de su interés, como funcionan las líneas y sobretodo, tener una intuición de ver posibles mejoras en cualquier ámbito, pues este camino le ayudará a realizar cada vez más rápido tareas de diseño y desarrollo adecuadas a las demandas del mercado global.

Aunque existen diferentes pasos y metodologías para realizar la ingeniería inversa, lo cierto es que los métodos para aplicar ingeniería inversa son bastante intuitivas, y se basan en la comprensión de la máquina o producto por un equipo de trabajo con amplia experiencia en máquinas y procesos (véase figura 3.2). Es importante ser lo menos invasivo al momento del despiece, así como modificar de manera significativa tanto las conexiones eléctricas como de control, debido a que las iteraciones son necesarias en el proceso de ingeniería inversa.

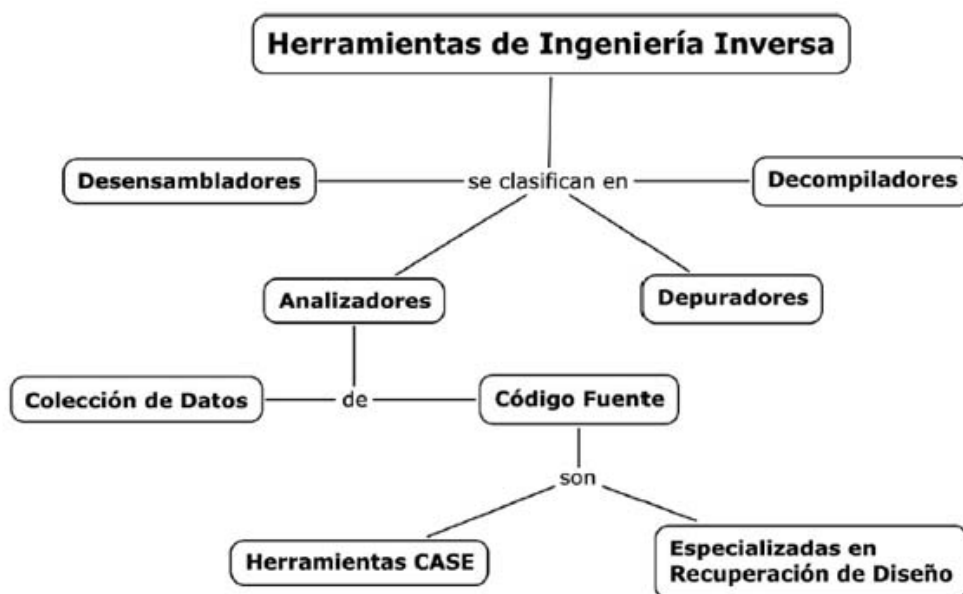


Figura 3.2: Herramientas de la ingeniería inversa (Monroy, 2017).

Es aconsejable utilizar la herramienta de forma continua y prudente, siempre que sea necesario pero teniendo especial cuidado de no ser el único motor de innovación dentro de su propuesta de valor. Debe entenderse a la ingeniería inversa como un método para obtener una solución, no como la única.

El crecimiento de las industrias y tecnología en este último siglo está ligado íntimamente con las herramientas informáticas que crean la vinculación de la información de las industrias, procesos y desarrollo con los usuarios. Esta nueva era de la información exige trabajar por vinculación entre cada una de las empresas, los clientes, proveedo-

res, consumidores, y todos aquellos personajes que entren en la cadena de valor. El ingeniero mecatrónico y sus similares deben estar relacionados con dichas tecnologías. Aunque es cierto que no se puede conocer todo y la principal forma de realizar un trabajo dentro de un grupo multidisciplinario es especializándose en un campo, lo cierto es que toda información posible brindará una visión diferente del problema que intenta solucionar.

Internet es indiscutiblemente el motor que mantiene creciendo a un ritmo acelerando la innovación desde hace 20 años. Es importante entonces contar con las aptitudes necesarias para saber manejar dicha herramienta, conocer los sitios donde se puede obtener información y realizar sinergias colaborativas con proveedores, universidades, clientes y hasta competencia, para generar un aumento en su propuesta de valor.

3.2. Ingeniería conceptual

La ingeniería conceptual cobra un valor clave dentro de la cadena para concretar y generar un producto, debido a que las decisiones tomadas en esta parte del proceso son realmente críticas para el futuro del producto. Debido a las exigencias existentes en la industria, es conveniente que la ingeniería de concepto se realice con un grupo calificado y variado, y se utilicen todas las herramientas disponibles para la creación de valor a partir del conocimiento empírico y teórico.

Trabaje con el personal adecuado para esta tarea; de preferencia, con ingenieros de diseño de producto y aplicación. En la primera iteración, puede iniciar el proceso de conceptualización del problema mientras reúne al segundo grupo de trabajo, con el objetivo de entender de manera específica el producto, los puntos críticos del ensamble, y tiempos, para así obtener bocetos de las propuestas solución rápidamente. Un problema común para el recién egresado es realizar ingeniería de concepto en CAD. No gaste su tiempo ni la de sus colaboradores en dicha tarea y ofrecer un número limitado de soluciones, lo importante es tener varias opciones para realizar las discusiones necesarias. Realizar bocetos a mano junto con recortes es una buena opción, ya que; además de mostrar sus ideas de una forma visual e intuitiva, permite que cada uno de los representantes de áreas puedan jugar con los elementos, lo que facilita la comunicación y fomenta la creatividad.

Una vez evaluado el concepto, realice la iteración con su equipo de área, de esta forma obtendrá detalles que alimentará su concepto, y podrá realizar las tareas de cambio junto con sus diseñadores de manera rápida. Haga tantas iteraciones como le sean necesarias, lo importante es tener el concepto lo más claro posible. Después de las iteraciones, realice entonces la evaluación y aprobación de su concepto, y lleve a cabo las actividades relacionadas con la administración de tiempos para cada actividad, metas a lograr y reconozca amenazas; es decir, realice el análisis del proyecto en actividades y defina su ruta crítica, para así separar las actividades por departamentos (gestión de información). En caso de que no esté a su disposición realizar dicho análisis, conozca las metas y los tiempos pactados en su área, haga su propio análisis de tiempos y comprométase a cumplirlo.

Use las herramientas que hagan falta para llevar a cabo sus conceptos, obtenga la validación correspondiente y recuerde fijar su mente en tres aspectos:

- **Tiempo:** Sabiendo el tiempo de duración del proyecto, puede determinar un diseño que sea fácil de desarrollar, o bien, requerir personal extra. El tiempo le determinará las necesidades.
- **Costo:** Conociendo los valores referentes a la producción y el OEE, puede determinar la velocidad del proceso, el número de actuadores y sensores en cada estación, las estaciones de trabajo, dimensiones, y equipo especial. Si el nivel de producción es bajo, no justifica una inversión alta.
- **Alcance:** Conociendo el nivel de producción, usted puede conocer el ritmo de trabajo que debe cumplir cada estación dentro de la línea de ensamble.

Aunque las líneas de ensamble deben ser diseñadas específicamente para el producto, lo cierto es que son útiles ciertas generalidades que desde el concepto deben tomarse en cuenta, aquí algunas de ellas:

- **Ergonomía:** Siga las recomendaciones de la STPS. Si su línea de ensamble requiere de estaciones de trabajo fijas al suelo, considere 600x300x900mm como estándar, si las estaciones de trabajo requieren arneses aéreos, considere un punto medio de movimientos dentro del ensamble a una altura de 1200mm, si requiere carros o partes móviles, considere la altura de 900 a 1200mm, y de ser posible, mantenga sentado al operador por debajo de esta altura. Realice el diseño de tal forma que las zonas de trabajo puedan ser ajustables.
- **Equipos móviles:** La retracción debe ser siempre hacia dentro de la estación, y solo en posición segura puede liberar la posición del operador. Use los sensores pertinentes, y lleve a cabo las redundancias necesarias.
- **Fijadores y actuadores:** Elementos automáticos para la fijación de componentes; tales como clamps y cilindros, deben evitar quedar en contacto con el operador en su funcionamiento; siempre manténgalos en posición abierta y desenergizados al momento de colocar las piezas del ensamble. Coloque botones bimanuales, sensores de peso, presencia o cortinas para asegurar que el operador sale del área de trabajo antes del funcionamiento.
- **Caza de ensamble:** Sea una cuna tipo holding, poka-yoke, o cualquiera de estas variantes, debe asegurarse la postura correcta de los componentes desde el diseño; es decir, la postura debe ser intuitiva y solo encajar para la pieza correcta, debe ser de fácil montaje y desmontaje, tener puntos de medición claros, con referencia en al menos tres puntos.
- **Equipos especiales:** Equipos que se compran y realizan una tarea específica tienen hojas de datos con recomendaciones del fabricante para su funcionamiento. Considérelas desde el diseño. Tenga especial cuidado en la disposición de los elementos móviles, y considere las protecciones necesarias.

- **Sensores:** La elección correcta de sensores le permitirá tomar varias medidas de interés. Procure considerar sensores de propósito específico para validación, y los menos posibles sin sacrificar funcionalidad.
- **Control:** La industria prefiere los modelos Siemens con posibilidad a expansión, tableros de 500x250x600mm, alimentación con termomagnético y el uso de relés de 5 vías, evite las entradas y salidas analógicas, y considere arneses eléctricos del tipo oruga.
- **Seguridad:** Coloque botones de paro y emergencia en zonas estratégicas; de tal modo que siempre puedan ser activados, coloque elementos de alarma, tales como torretas o sirenas en zonas específicas para que sea fácilmente identificable el lugar de alarma.
- **Disposición:** Procure que cada diseño considere una disposición de herramientas de acuerdo a una señalización y sentido; Heijunka es una herramienta muy útil. Coloque a mano derecha y a la altura de 900mm las herramientas más usadas, a la derecha superior las segundas, a la izquierda central las terceras y la izquierda superior las menos usadas, coloque puntos de mantenimiento en la parte trasera o inferior, y considere elementos que hagan fluido el proceso; tal como lo es una hoja de indicaciones, un portavasos para la comodidad del operador, etc. Para la línea, considere como favorita la configuración de Loop, rutas de evacuación, puntos de control, de trazabilidad, de acceso, embalaje, etc.
- **Validación:** Siempre considere una estación que sirva para verificar ensamble correcto, hágalo redundante y automático, y marque las piezas OK y NOK.
- **Diseño modular:** Utilice elementos de construcción que permitan ajustar sin dificultad toda la operación para el usuario.
- **Normativa:** Todo debe estar bajo norma.

3.2.1. Formación del grupo de trabajo

Es imposible crear una solución a partir de una sola mente. Todo profesional debe ser capaz de trabajar de forma eficaz con un grupo de colaboradores que puedan aportar; con sus experiencias y habilidades, al proyecto. El ingeniero encargado del proyecto debe formar dos grupos de trabajo, los cuales serán enfocados para el proyecto en cuestión y deben contar con las habilidades y capacidades suficientes para aportar valor al mismo. Los grupos a formar son los siguientes:

- **Equipo de proyecto:** Este equipo tiene la tarea del desarrollo del proyecto en general, por lo que todas las áreas involucradas deben estar presentes. Para este grupo es conveniente que solo los gerentes y jefes de área se reúnan en juntas periódicas para realizar tareas de evaluación de conceptos, análisis de progresos, alcances y limitaciones, financiamiento, etc., pues son los que cuentan con los

recursos. Cada proyecto es diferente y por consiguiente, las áreas dentro del grupo también suelen variar; pero en general:

- **Ingeniería:** El deber del representante de esta área es ofrecer las soluciones reales y las capacidades de éxito o fracaso para realizar dicho proyecto. Se encarga de todo el diseño, automatización y puesta en marcha, y debe tener amplios conocimientos en el tema de compras y calidad.
- **Calidad:** Está con la intención de supervisar los procesos y la obtención del producto. Evaluar y valora los posibles puntos débiles que pueda tener un diseño solución para su mejora.
- **Compras:** Es quien va a comprar todos los materiales necesarios para materializar el proyecto. Su asistencia es fundamental debido a que en la mayoría de las ocasiones, los colaboradores de este departamento son capaces de bajar costos significativamente; pero al no conocer la línea, no realizan optimizaciones.
- **Recursos Humanos:** El desarrollo de cualquier línea de ensamble depende profundamente de la capacidad del personal, por lo que el representante de RH debe; en caso de que sea necesario, capacitar al personal, contratar, y la debida protección y aseguramiento del personal clave para efectos del proyecto.

Adicional a esto, debe existir un líder de proyecto; que puede ser natural o por posición según convenga (si el tiempo de desarrollo es corto, conviene un líder de posición, si el tiempo de proyecto es largo, conviene que exista un líder de proyecto temporal y que fomente la sinergia entre el grupo, formando a un líder que lo reemplace).

- **Equipo de área:** El segundo grupo está formado por los colaboradores dentro de cada área, esto es, subordinados al gerente o jefe de área. Debido a la naturaleza del documento, solo se hablará del equipo de trabajo dentro del área de ingeniería.
 - **Área de automatización:** La tarea del representante de dicha área es desarrollar las ideas para llevar a cabo los procesos de automatización. Se puede dividir en control y eléctrica; pero en lo personal considero que unificarlas termina por reducir el tiempo de desarrollo, debido a que una va íntimamente ligada con la otra.
 - **Área de manufactura:** El representante debe conocer su campo, de tal modo que sea capaz de informar la viabilidad de la construcción de un sistema, ensamble o estación, conocer tiempos de manufactura, herramientas especiales, etc.
 - **Área de calidad, metrología o laboratorio:** Posiblemente no sea necesario tener un coordinador o un supervisor, pero es necesario; si no incluir a esta área de forma periódica, si tener a un ingeniero en calidad revisando los prototipos, como doble filtro a las propuestas solución.

- **Jefe de área o gerente:** Sirve de vínculo entre grupos, debe asumir la responsabilidad y el peso que conlleva su área en el proyecto, resolver problemas dentro de ambos grupos y asegurarse que todos los intereses se satisfagan. Debe ver el equilibrio en su área bajo las necesidades del proyecto, y maniobrar si es necesario.

Es recomendable que dicho grupo se junte periódicamente entre sí y realice las juntas de concepto necesarias para obtener un buen producto. El ambiente debe ser creativo y de confianza, para que cada representante aporte al proyecto con sus conocimientos, tenga conocimiento a groso modo del proceso del otro y pueda tomar decisiones rápidas en caso de cambios.

Si usted se encuentra en alguno de estos grupos, debe saber que la información es clave para el desarrollo del proyecto y es necesario distribuirla de forma inteligente. Aprender a manejar personal debe ser una de sus prioridades, planeé correctamente la carga de trabajo en cada una de las áreas y tenga especial cuidado en tiempos y recursos, pues los retrasos siempre están presentes.

3.2.2. Levantamiento

Para solucionar un problema, es necesario conocer las variables que influyen en el proceso. Los levantamientos deben realizarse con el grupo de proyecto. Una vez formado el grupo y designado el líder del proyecto, es importante que realicen las juntas relacionadas con la producción meta u objetivo, los estudios de tiempos, las dimensiones del producto, características del mismo y volúmenes, que son la base para todas las áreas. Ingeniería debe realizar además un levantamiento en el lugar donde debe implementar su solución, conocer las energías disponibles, las vías de acceso, el ruido, la iluminación, la calidad del aire, la humedad, la estandarización y normalización del lugar, el tipo de comunicación, etc. Esto le dará un panorama para comenzar el diseño de la línea; después de eso, es conveniente realizar un segundo levantamiento, en el cual se tiene una idea parcial de los elementos que se usarán en la propuesta solución y así detectar posibles amenazas, iterando hasta conseguir la solución correcta. En caso de que no pueda hacer un levantamiento físico, tome nota de tres datos fundamentales, que le brindarán el resto de la información:

- **Cantidad de producción:** Debe estar relacionado con el tiempo; le servirá para saber cuántas unidades se esperan de la cadena de producción, y así determinar si es necesario diseñar una línea de ensamble general o especializada.
- **Tiempo de proyecto:** O plazo de entrega. Le permitirá realizar la planeación del tiempo de desarrollo de las actividades, las cuales exigen tiempo de desarrollo, prueba y ajuste; es recomendable sumar un 5-10% de tiempo extra, para imprevistos. Este dato define si sus metas son alcanzables con los medios que dispone, y así determinar las amenazas del proyecto.

- **OEE:** Algunas ocasiones se nos otorga además la *Eficiencia General de los Equipos* que se espera obtener, por lo que es importante conocer este parámetro debido a que los procesos buscan JIT que puede ser incluido desde el diseño, y si dicho valor es alto, es necesario consumir equipos y dispositivos que encarecen la solución, requieren mano de obra especializada, o capacitación.

Resuelva y alivie cualquier duda existente dentro de las reuniones de levantamiento, esté en ellas lo más posible, y lleve una memoria de anotaciones, así como una comunicación saludable entre áreas.

3.2.3. Gestión de proyectos

Para las tareas de gestión de proyectos, es importante conocer las habilidades y capacidades, como reconocer las debilidades que sufre nuestro departamento, para así definir las actividades que podemos realizar y las que no. Lo recomendable es tomar en cuenta las actividades que son propias de la actividad económica de la empresa, decidir cuáles tienen mayor campo de utilidad contra aprendizaje, y desechar aquellas que, o no ofrecen valor agregado a la actividad, o bien no son de interés para fines del proyecto.

La herramienta común para el cálculo es el diagrama de Gantt. Sea cual sea la opción que tome para el manejo del proyecto, debe tomar en cuenta las herramientas disponibles en administración, las habilidades de su grupo de trabajo y la obtención de resultados en tiempo. Debe tomar en cuenta que el proceso ideal de un proyecto sería el descrito en la figura 3.3.



Figura 3.3: Esquema de desarrollo ideal.

Sin embargo, es muy posible que durante el desarrollo del proyecto tenga que recomponer, maniobrar o cambiar, por lo que sea flexible, tome decisiones a tiempo y mantenga comunicación constante con sus colaboradores. Adicionalmente, algunas recomendaciones dentro del área de ingeniería son:

- Fabrique de manera inteligente, todos los procesos e información déjelos interconectados por NET, con las respectivas llaves de acceso.
- Comparar los datos de tal forma que permitan la entrega y actualización de los mismos de forma automatizada.

- Haga un diseño colaborativo con los equipos de trabajo, y fomente la participación en todos los niveles.
- Centralice los datos y realice respaldos.
- Genere la menor cantidad de información, aumente su calidad.

También es recomendable colocar un elemento visual informativo donde sus colaboradores distingan el avance y las necesidades actuales, de tal modo que se sientan involucrados en el proceso. Finalmente, gestione de forma correcta sus recursos, no fomente el desperdicio y actualice constantemente su diagrama de actividades contra tiempo; de tal forma que tenga en mente el tiempo de entrega. Si le es posible, abarate costos en cada una de las actividades usando sinergias entre ellas, pero básicamente tiene que jugar con los valores de tiempo, costo y alcance durante todo el proyecto:

Si no es cuantificable, no es medible, y la medición es lo que le permitirá saber el estado del proyecto.

3.3. Diseño mecánico

3.3.1. Generalidades

Posiblemente el diseño mecánico es la parte más importante de todo proyecto, por lo que debe tomar consideraciones especiales para hacer un trabajo óptimo. Después de validado el concepto, se puede desarrollar toda la ingeniería de detalle, tomando en cuenta las siguientes recomendaciones.

- **Utilice modelos disponibles en el mercado:** No tiene sentido desarrollar un rodamiento o un tornillo, utilice elementos que se encuentran en el mercado para construir su línea de ensamble.
- **Empleé GD&T:** Es importante utilizar la simbología de geometría dimensional y tolerancias para asegurar piezas exactamente iguales. Asegure la buena manufactura de las piezas desde el momento de su diseño.
- **Utilice una nomenclatura clara y serial para referirse a cada uno de los componentes:** Es importante definir mediante números y letras cual es el nombre de la pieza, y describir a que ensamble pertenece, que estación y a que operación dentro de la línea de ensamble. Una forma es utilizar prefijos de tres ordenados de izquierda a derecha (véase figura 3.4).

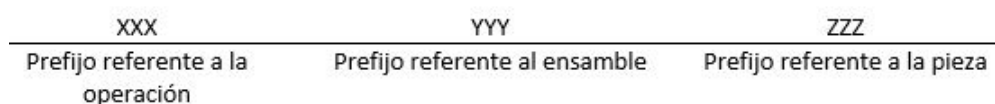


Figura 3.4: Ejemplo de nomenclatura.

- **Realice dibujos paramétricos:** Siempre es necesario un cambio de ingeniería, por lo que es vital realizar todo tipo de diseño dependiente a una variable. Dependiendo de su herramienta software, es el tipo de herramientas que puede usar para implementar esta característica, pero casi todos pueden realizarse con una serie de restricciones desde su acotado.
- **Simule antes de liberar:** Cualquier simulación le permitirá dislumbrar errores desde el momento de introducir los parámetros y así detallar su concepto. Existen también herramientas como el prototipo rápido para tener una idea física de lo que se espera, pero la simulación es la validación obligada para el diseñador mecánico.
- **Planos claros:** Es recomendable el uso de tablas automáticas (las bills of materials y similares), cotas automáticas, etc. con el objetivo de no repetir en caso de cambios por reingeniería.
- **Considere el diseño para mantenimiento:** Esto incluye puertas de protección, acceso y ajuste rápido, etc. El mantenimiento debe ser rápido sin interrumpir el proceso, de manera rápida y segura.
- **Materiales, tratamientos y función:** Considerar los materiales, las dimensiones y tratamientos es pensar en la manufactura. Todo diseño debe ser implementado y para las líneas de ensamble todo elemento de diseño está ligado con la función que debe ejecutar.
- **Mecanismos simples:** El diseño de producto debe considerar las tareas de ensamble, facilitándolo. En este sentido, utilice mecanismos para cada una de las estaciones de ensamble simples y fáciles de construir.

3.3.2. Tipos de herramientas

Hay un abismo entre ser catista o dibujante mecánico a un diseñador mecánico; la diferencia radica en que el catista realiza el dibujo con las especificaciones que se le piden, mientras que el diseñador mecánico propone y da solución a problemas. Declarado esto, es importante que comprenda el uso de las herramientas en el software, las razones por las cuales toman importancia en diseño y cómo interpretarlas.

- **Elemento Finito:** Esta herramienta consiste en emplear una malla en un dibujo tridimensional y; mediante un modelo matemático, determinar el comportamiento de la pieza a una respuesta ante variables físicas. Lo importante de esta herramienta no es la simulación, sino la interpretación de los valores obtenidos, por lo que es importante definir correctamente las variables del sistema y las condiciones de mallado correctamente.
- **Superficies:** La mayoría de los productos en el mercado responden a una geometría basada en la ergonomía, la ergonomía exige superficies, así que la necesidad del empleo de superficies es fundamental para el ingeniero mecánico. Las

herramientas para trabajar con una superficie ya fabricada son relativamente sencillas, debido a que todo se trata de copiar y pegar; aunque hay ocasiones en que el modelo matemático tiene errores y se deben utilizar otras herramientas para repararla (cortar, barrer, rellenar y unir son las más usadas).

- **Cortes:** Las vistas en cortes (ya sean seccionadas o alámbricas) son muy útiles para la validación de tolerancias, mediciones físicas de puntos de interés (SPC, RPS, etc.) y de colisión entre piezas.
- **Tarjetas de señalización:** Importante emplear dentro del dibujo la señalización de cada uno de los ensambles y piezas, describir de forma precisa la posición de sensores y actuadores, y justificar las tolerancias.
- **Colores:** No se puede usar toda la nomenclatura que describa las características del ensamble sin una cantidad ingente de planos, la idea de adoptar una simbología de color reduce los planos. Existen diferentes normas de color, las cuales describen acabados, contactos hasta simples indicaciones.
- **Módulos de ergonomía:** No todos los softwares lo tienen, pero resulta atractivo medir y verificar las medidas con un humano desde el CAD. Si el software del cual dispone no tiene dicha característica, puede llevar a cabo las tareas de verificación con una rutina de ensamble, pero es fundamental garantizar la funcionalidad del equipo para el usuario.

3.4. Diseño eléctrico

El diseño eléctrico es fundamental en el desarrollo de las líneas de ensamble, debido a que es la encargada de obtener las variaciones del entorno e interpretarlos de acuerdo a las variables de control para realizar los movimientos de los actuadores. Por lo cual, el manejo correcto de las herramientas, la conexión y los diagramas son vitales para la correcta ejecución de este tipo de ingeniería.

3.4.1. Generalidades

Como es simple intuir, las actividades relacionadas con el diseño e implementación de circuitos eléctricos requiere de los conocimientos previos de electrónica de potencia. Pero, en el mundo industrial, se pueden tomar las siguientes generalidades:

- **Distribución del tablero:** El tablero o gabinete eléctrico es una gaveta donde se encuentran los dispositivos eléctricos tanto de control como de potencia (pueden ir separados o dentro del mismo, eso depende de la disipación de calor), la distribución correcta es colocar los elementos de control en la parte superior, las entradas y salidas del PLC debajo, las clemas relacionadas con las entradas y salidas físicas después y las etapas de potencia y los conectores abajo.

- **Conexiones rápidas hembra-macho:** Estas conexiones consisten en una serie de empaquetados con zócalos hembra-macho que sirven para tener los cables en paquetes, y reducir drásticamente la cantidad de cables en el sistema, reduciendo el tiempo de mantenimiento significativamente.
- **Cableado estructurado:** Es fundamental llevar el orden preciso y correcto al momento de desarrollar la conexión física en las terminales del tablero, es fundamental hacer las conexiones de acuerdo a los planos, con la numeración y etiquetado correspondiente.
- **Documentación:** Planos eléctricos bajo una nomenclatura (similar al del diseño mecánico, mencionado en el apartado *normas*) disponible para el armado. Tener una copia dentro del gabinete.
- **Cubiertas, protecciones y disipadores:** Tener en consideración el equipo correspondiente a las protecciones y cubiertas para los cables; es usual utilizar tipos distintos de arneses o cubre ranuras, las cuales mantienen los cables por dentro de la estructura. En aplicaciones de calor, es necesario la implementación de disipadores y protecciones para evitar el daño del cable en cuestión.
- **Adecuación de señal:** Aunque en el mercado se pueden encontrar elementos eléctricos que funcionan con los niveles de voltaje comunes en industria, hay ocasiones que es necesario implementar etapas de adecuación de señal. Se debe implementar elementos eléctricos que se puedan conseguir en el mercado, pues en caso de falla o cambios imprevistos, el paro debe ser el menor posible.
- **Comunicación entre elementos:** Coloque la instalación de alimentación como exijan los requerimientos energéticos, coloque fusibles y elementos de protección, así como la respectiva unión de pines.
- **Seguridad:** Considere desde el diseño los elementos de seguridad que estarán presentes en la estación y en la línea. Objetos tales como sirenas, torretas, botones de emergencia y paro son los más comunes, pero dependerá completamente de su aplicación. Además, considere la seguridad correspondiente a cargas estáticas, conexiones a tierra, fusibles, etc, de tal modo que evite daños al operador y a la máquina lo más posible.

3.4.2. Detalles técnicos

Es importante entender que usted debe tener el control de cada parte del circuito; por lo que, a groso modo, a continuación se mencionan algunos detalles técnicos que tiene que considerar para una buena práctica:

- **Platina fija al tablero:** Puede fijarla con diferentes elementos mecánicos comunes, pero recuerde conectar la tierra para evitar cargas estáticas en el elemento.

- **Distribución de canaleta:** Usualmente la canaleta se coloca del lado izquierdo del tablero, con los canales horizontales en cada división para conexión de los pines con los elementos. Si es necesario colocar más canaleta, tenga especial cuidado en obstruir ventilaciones y considere el riesgo de chispa.
- **Distribución de elementos:** Las clemas destinadas para entradas y salidas, deben estar señalizadas por número y color, además, es preferente que se agrupen físicamente clemas que tienen un mismo propósito, y se separen de otros grupos, ya sea por espacio o usando separadores. Esto aplica para cualquier elemento.
- **Revise la soldadura:** Detecte continuidad en cada nodo, asegure el funcionamiento integral de toda la línea punto a punto, realice un etiquetado correcto e intuitivo.
- **Haga los menores cambios posibles:** Una vez definido un tablero para una estación, el resto debe ser una copia del mismo, esto para facilitar las tareas de mantenimiento y detección de errores que son comunes al momento de la puesta en marcha. Utilice nomenclaturas distintivas pero que no varíen en sentido dentro el sistema global, use configuraciones maestro-esclavo, y defina entradas y salidas de energía siguiendo el mismo protocolo del modelo maestro.
- **Separe equipos especiales:** Que compartan solo lo que es necesario, y; de preferencia, mantenga a cada uno de los elementos con las debidas protecciones, de tal modo que si un elemento falla, el resto de los equipos no sufra ningún tipo de percañe.
- **Cables:** Aunque se requiere realizar los cálculos necesarios para determinar que tipo de calibre es el adecuado, para las etapas de control se utiliza calibre 14 o 12, mientras que para potencia (motores en AC de 2HP, por ejemplo) del 8.

El resto de los detalles técnicos los adquirirá con la práctica, utilice herramientas de simulación y confíe en los rangos de funcionalidad declarados por el fabricante, considere un factor de seguridad y de ser posible, realice pruebas.

3.5. Diseño de control y automatización

El trabajo de control va de la mano con las tareas de automatización, debido a que la automatización es la encargada de toda la parte de actuación y sensado que se encuentra dentro de la línea de ensamble, mientras que el control necesita saber la cantidad, disposición y proceso para realizar el trabajo. Aunque en realidad no existen pautas establecidas sobre cómo hacer un control y automatización, se pueden tomar en cuenta las siguientes generalidades:

3.5.1. Generalidades de la automatización

- **Defina sus sensores:** Es su responsabilidad determinar la posición, el tipo y el uso de los sensores. Cada uno de ellos debe estar elegido no solo por funcionalidad, sino también por precio, alcance, reusabilidad, etc.
- **Defina sus actuadores:** Los actuadores deben estar en función del trabajo a desempeñar; la potencia, la posición o el número de ciclos, es importante entonces realizar un análisis exhaustivo sobre qué elementos emplear. La energía más usada en la industria es la neumática; debido a que es limpia, segura y de fácil acceso, por lo que dé prioridad a los elementos neumáticos sobre todos los demás.
- **Use elementos disponibles en el mercado:** Conozca los catálogos y los equipos que se manejan, esto le ayudará a obtener soluciones prácticas y facilitará el desarrollo de los sistemas.
- **Realice esquemas y simulaciones:** Es importante tener claro la funcionalidad de cada uno de los sistemas, por lo que es importante realizar planos y simulaciones de validación antes de la compra.
- **Adquisición y manejo de señales:** En industria se prefiere, o bien el manejo de altos y bajos, o el manejo de señales analógicas dentro del rango del PLC. Trate; en medida de lo posible, trabajar con estos niveles y; en caso de ser absolutamente necesario, realice la adecuación con una etapa cuyo elemento físico pueda ser adquirido comercialmente. Si esto es imposible y debe desarrollarse, aporte la documentación necesaria y realice planes de contención.

3.5.2. Generalidades de control

Las tareas de control deben ser enfocadas al funcionamiento de cada estación y su sinergia en la línea de producción, así que el control debe ser flexible, bien definido y enfocado a las necesidades del proceso y de la industria en la cual se implementan. A continuación se mencionan algunas generalidades que debe cumplir el control para una correcta ejecución.

- **Una sola marca:** Aunque es posible que cada equipo especial esté fabricado por diferentes marcas, lo cierto es que se debe intentar utilizar equipos de una sola para efectos de soporte técnico.
- **Considere sistemas expansibles:** Debe dejar bases para expansiones desde el software, con la intención de que la programación se realice en bloques y puedan usarse funciones o puertos especiales.
- **Método de programación PLC:** Aunque existen múltiples tácticas de programación, lo cierto es que la forma más común de programar es a través de

lenguaje Ladder o escalera, debido a que es muy gráfica, simple, y permite realizar cambios representados de forma visible cuando se vincula la PC con el PLC de forma online para el programador de mantenimiento.

- **Método de programación HMI:** La programación en HMI es una interfaz para los operadores. Es común que el programador inexperto realice una programación elaborada y complicada como interfaz olvidando las capacidades del operador; lo cual rara vez funciona en el ámbito profesional. La programación se debe realizar tomando en cuenta cada nivel, dejando claro el proceso y las fases del mismo.
- **Control analógico:** En caso de que el control sea analógico y no digital, realice la documentación pertinente al desarrollo, cuáles son las variables que se pueden modular en el sistema y qué consecuencias tienen a la salida.
- **Comunicación:** Sea cual sea el protocolo de comunicación, le debe permitir escalar el proceso y comunicar las estaciones con el control maestro.
- **Configuración maestro-esclavo:** En toda línea de ensamble debe existir un sistema maestro, el cual puede ser un PLC de gamma alta o un CPU. Para cada estación de trabajo se vuelve necesario tener la configuración correspondiente a un servidor, que a su vez es el maestro de la estación.
- **Envío y recepción de datos:** Use las configuraciones necesarias para que el envío de datos se pueda realizar por tablas o datos muy específicos, coloque las llaves que sean necesarias, utilice estructuras claras y aplíquelas.
- **Plano de entradas y salidas:** En caso de usar los periféricos, debe dar constancia de cuáles son los pines a utilizar, cuales no y que configuraciones son necesarias para la conexión.
- **Evite configurar salidas al máximo o mínimo de su valor:** Supongamos que tenemos un PLC de 4 pines de salida, las configuraciones que se deben evitar son 0000 y 1111, esto debido a que; en caso de pérdida de energía, disparos o vibraciones, los valores tomados por defecto para inicializar el componente de control son estos; y aunque las empresas que diseñan y comercializan dichos dispositivos realizan grandes esfuerzos para evitar este fenómeno, lo ideal es evitarlo desde el proceso de diseño.
- **Comentarios y empleo de funciones:** Realice las funciones que sean necesarias, pues conforme se alargan los programas, el uso de funciones optimiza el tamaño del código y la comunicación entre estaciones, reduciendo trabajo dentro de la línea de ensamble; favoreciendo los cambios de ingeniería, mantenimiento y se pueden utilizar para futuros desarrollos. Los comentarios, por otra parte, deben ser claros, utilice la mención de direcciones tanto de hardware como software, declare la intención de la línea dentro de la estructura en la que se emplea, y en la cabecera defina las variables por una nomenclatura clara, y mantenga la misma a lo largo del código.

3.5.3. Generalidades de equipos especiales

Equipos especiales son todos aquellos dispositivos mecatrónicos que realizan una función específica por sí mismos, y que son autónomos de la línea de ensamble. Un ejemplo claro de ello son los atornilladores, fuentes de soldadura e impresoras de tinta. Por lo general estos equipos son adquiridos en el mercado, debido a los inconvenientes que implica desarrollarlos. Cada sistema tiene sus propias indicaciones de fabricante, pero en general se pueden describir los siguientes aspectos.

- **Necesidades de funcionamiento:** Deben tenerse claros cuáles son las necesidades del equipo que se desea implementar en la línea de ensamble para un correcto funcionamiento; esto incluye necesidades eléctricas, de iluminación, de ventilación, espacio, fijación, etc.
- **Usar los recursos de control lo menos posible:** Los equipos especiales son independientes a la aplicación, por lo que funcionan con o sin sistemas de control ajenos a su hardware. El control debe basarse en el concepto maestro-esclavo, donde el maestro es el sistema de control. Se debe emplear el menor número de líneas en el equipo especial.
- **Conozca las configuraciones por defecto:** Muchos de los equipos especiales tienen configuraciones de fábrica que realizan tareas por defecto, permitiendo el control de los mismos a través de unas cuantas variables. El usar este tipo de configuraciones garantiza al encargado de las tareas de control mantener el menor tipo de cambio de datos posibles entre estaciones, además de tener resultados precisos en actividades específicas.
- **Envío de paquetes de información:** El envío de la información debe realizarse a través de variables cada cierto tiempo, por lo que el uso de bytes es preferible que solo bits. Eso también estará en medida de las capacidades tanto del protocolo de comunicación, el número de componentes dentro de la red y las capacidades de memoria.
- **Redundancias:** Los sistemas de control deben mostrar procesos OK y NOK independientemente de los indicadores que vienen por defecto en los equipos especiales. En caso de existir una falla de cualquier tipo dentro de la red de control, el equipo especial puede hacernos saber de dicha falla gracias a sus periféricos.
- **Documentación:** La documentación de la configuración del equipo y del control debe estar en los planos eléctricos y de control; sin embargo, es importante anexar la información que otorga el fabricante para cambios rápidos, dicha información debe mantenerse íntegra y a la mano.

Así como es deber para el ingeniero en diseño y aplicación conocer las tecnologías existentes y nuevas en el mercado, es deber del programador conocer el funcionamiento

de cada uno de los componentes más usados y la programación que estos requieren, para ganar flexibilidad y adaptabilidad al momento de la programación de equipos nuevos.

3.5.4. Generalidades de Robots

Aunque entra en la clasificación de equipo especial, debido a su presencia en las líneas de ensamble, es importante conocer algunas generalidades de los robots para su correcto funcionamiento. No importa el tipo de robot, o la configuración del mismo, la programación es muy similar en todos los casos y la complejidad de la misma depende de las capacidades y elegancia del programador.

- **Programación por coordenadas:** La programación de puntos debe ser a partir del CAD, debido a que es la base de todo el sistema, y que; en teoría, debe coincidir con el sistema salvo las respectivas tolerancias. Realice su programación basándose en el CAD, y después observe el comportamiento físico para realizar los cambios necesarios.
- **Considere un espacio de trabajo seguro:** Debe tener en cuenta todas las condiciones de control para la seguridad del operador y del producto. Además del empleo de planos de control, es fundamental utilizar las transformadas y planos con ciertos offset para las tareas de mantenimiento, una posición en Home, interrupciones de emergencia y posición de mantenimiento.
- **Ubicación a tres puntos:** Como la mayoría de los sistemas de ensamble deben estar enfocados en posturas y cambios de modelo rápido, es frecuente que los dispositivos no se encuentren en el punto donde deberían estar en cada cambio. Aunque es evidente que las tolerancias evitan este efecto, el robotero no debe suponer que su proceso será idéntico todo el tiempo y debe utilizar una medición de plano de trabajo en tres puntos; sin importar variaciones por ensamble y cambios de modelo.
- **Referencias de ubicación:** En ocasiones el robot necesita de sistemas de ubicación para realizar su trabajo. Existen muchas formas de cambiar las coordenadas de operación dentro del software para mantener el TCP en las zonas donde es preciso, pero es deber del robotero realizar dichas estructuras en funciones bien definidas, por lo que el programa debe realizarse a bloques en todo momento.
- **Manejo del Teach Pendant:** Al momento de la puesta en marcha, el robotero debe bajar las velocidades del robot y realizar los cambios necesarios a **través de las flechas en tres dimensiones del teach**, esto porque ofrece un control sobre la posición del punto y no de la aproximación. Utilice las interpolaciones lineales o circulares.
- **Funciones de proceso:** La herramienta debe realizar una actividad específica en un intervalo de tiempo; y debido que la mayoría de las líneas de ensamble

el robot repite la operación una y otra vez, es necesario que se configure dicha acción en una función determinada por tiempo.

- **Forzado del robot:** Debe tenerse cuidado en cada postura de no forzar los elementos mecánicos internos en el robot, tal como lo son los frenos, los motores y encoders. La mejor forma de preservar la vida útil del robot es manejar todos los parámetros por debajo del 85 % y realizar la interpolación de movimientos con suavizado de trayectoria (la más común es la instrucción `pole_traslation`, pero depende de marca y modelo), para evitar desgaste sin sacrificar trayectoria.

3.6. Manufactura

Debido a la diferencia de actividades necesarias para la obtención de piezas, ensamblajes y sistemas, es posible que las tareas de manufactura sean liberadas para bien del proyecto, sin embargo, si es también una actividad de valor o de interés, se deben considerar materiales, maquinaria y herramientas independientemente de la clase de manufactura a realizar. Por lo general, es conveniente hacer énfasis de las soluciones simples para abaratar costos. En el documento se hablará en especial del maquinado en CNC, que es el que se empleó para desarrollar los sistemas mostrados a continuación.

3.6.1. Generalidades

- **Documentación clara:** Debe validarse la información obtenida de ingeniería y realizar observaciones antes de manufacturar. La documentación es la base para la construcción, por lo que si existe omisión de algún tipo, se debe informar inmediatamente a ingeniería.
- **El menor costo posible:** Con esto no se indica sacrificar calidad, sino buscar las formas de evitar costes innecesarios. Se determinan las máquinas, los procesos necesarios para la obtención del producto y las herramientas, entre menos exactitud y complejidad, más barato es manufacturar.
- **Maquinado en convencionales:** Ocupe personal acorde a la pieza a obtener, use las herramientas adecuadas en las menores posturas posibles y permita que el colaborador tome decisiones.
- **Programa en control numérico:** A diferencia del punto anterior, esta fase de manufactura requiere a un programador, por lo que depende de capital humano capacitado para resolver la tarea. Al final de su trabajo, debe proporcionar la documentación adecuada para la ejecución de la tarea, esto es, número de fases del programa, número de herramientas a usar, posición de herramientas y referencias.
- **Operador CNC:** Sea cual sea la variante de la máquina, es importante contar con un operador con habilidad para la toma de postura y medición de herramientas; sobre todo para aplicaciones de exactitud y control.

- **Calidad:** Después de la obtención del producto, deben pasar por las tareas de medición y liberación de calidad, por lo que mantener los productos en óptimas condiciones es necesario.

3.6.2. Recomendaciones de acuerdo a puesto

En caso de que se encuentre ejecutando alguna tarea dentro del proceso de manufactura, las recomendaciones son las siguientes:

- **Operador de máquina convencional:**
 - Conozca su máquina, intuya su funcionamiento por el ruido, la vibración y cabeceo. Conozca los botones de paro y emergencia, ajustadores de velocidad, de posición, y funciones integradas.
 - Cada inicio de turno o cada que trabaja con una máquina nueva, calibre tanto el cabezal, mandril, mesa y portaherramientas con la herramienta de medición adecuada.
 - Analice las posturas de la pieza, de tal forma que realicen pocos pasos, así como la selección de herramientas, portaherramientas, insertos, etc.
 - Coloque la pieza con sumo cuidado de respetar la posición deseada, de forma fija y con las sujeciones necesarias.
 - Todos los centros de maquinado son adaptables, coloque la máquina en una posición cómoda que le permita trabajar sin obstruir su alcance a botones de emergencia o acceso a herramientas.
- **Operador de máquina CNC:**
 - Conozca su máquina, intuya su funcionamiento por el ruido, la vibración y cabeceo que genera. Conozca la interfaz de control, el lenguaje para realizar programación a pie de máquina, la estructura, los manuales y las herramientas (conos, accesorios, etc.).
 - Cada inicio de turno o cada que trabaja con una máquina nueva, calibre tanto el cabezal, mandril, mesa y portaherramientas con la herramienta de medición adecuada.
 - Coloque la pieza con sumo cuidado de respetar la posición deseada, de forma fija y con las sujeciones necesarias.
 - Antes de correr un programa, visualice el código y detecte posibles errores (algunas máquinas cuentan con visualizadores que ejecutan de forma virtual el código). En caso de que no sea posible, conviene ejecutarlo con el uso de offsets.
 - Realice mediciones geométricas con las herramientas adecuadas, realizando acercamientos a partir del jog de la máquina. Cuando esté convencido de la medición, realice el vaciado en el plano de trabajo correspondiente.

- Realice los cambios de posición correspondientes, de tal forma que no se pierdan las medidas originales por variaciones en el sensado; se pueden usar varios planos de trabajo en la programación, para evitar estos efectos.
- **Programador:**
- Conozca sus medios; lo que incluye las medidas reales de la máquina; el tipo, la interpolación, el control, las herramientas de sujeción y de corte, por mencionar algunos.
 - Realice la programación por bloques, dando prioridad a las tareas de desbaste con herramientas grandes hasta las de detalle con herramientas de radio pequeño.
 - Cuide las revoluciones, acercamientos, retrocesos, etc. Existen tablas para determinar dichos valores, e incluso algunos softwares tienen los valores integrados.
 - Conozca las tácticas de manufactura y su razón de ser en el software, es decir, cada una de las tácticas tienen un objetivo específico de funcionamiento con su respectiva estrategia, como lo puede ser el desbaste en bruto, el acabado bajo una línea, una superficie, o punteado.
 - Visualice su máquina dentro del entorno de programación, lo que incluye las mordazas, la longitud de la herramienta, el cabezal, etc. Correr las simulaciones con todas las piezas que están involucradas en su construcción facilitará la validación del código.
 - Realice la documentación adecuada, de forma clara y precisa, coloque títulos acerca de la rutina, herramienta y proceso dentro del código y las posturas con sus referencias.
- **Calidad:**
- Conozca las herramientas de medición y su uso, esto le permitirá tomar decisiones adecuadas en cuanto a la toma de datos y documentación de validación.
 - Realice las medidas bajo condiciones ambientales adecuadas, ya que efectos como el calor o la humedad modifican las propiedades físicas de los materiales y, por ende, su geometría. La temperatura idónea es de 22 grados y 60 HR, aunque depende de la norma.
 - Si tiene a su disposición equipos de medición, tal como lo es un brazo o una CMM, realice mediciones a partir de coordenadas globales **con respecto a la pieza a medir** y valide con respecto a estos parámetros.
 - Cuide en especial los parámetros de control, tal como lo son los RPS y SPC, y de ser posible, realice la validación con un ajustador, para evitar los tiempos muertos.

3.7. Puesta en marcha

Después de la manufactura es fundamental realizar las liberaciones estación por estación, lo que implica que se armen operación por operación y validar su funcionamiento. En algunas ocasiones es necesario que los sistemas de diferentes estaciones se combinen para su funcionamiento, en ese caso se deben simular o forzar las señales para operar primero separadas y después unidas.

Cada liberación de estación permite una validación dentro de la línea de ensamble, es importante no saltar este método de prueba, debido a que las consecuencias pueden ser retrasos sustanciales. Las generalidades para una correcta puesta en marcha son:

3.7.1. Desarrollo de subensambles

Cada una de los sistemas de ensamble en la línea tienen que estar separadas en subsistemas que, a su vez, son ensambles mecatrónicos que pueden construirse y validarse por separado; comprobando las tareas de función independientes, y después en conjunto con la estación.

- Después de tener las piezas liberadas, deben armarse los ensambles de acuerdo a plano. En ellos se debe comprobar que la construcción sea rápida y sin complicaciones; de no ser así y requerir ajustes, realizarlos e informar al departamento de ingeniería.
- Los ensambles deben ser válidos para las aplicaciones eléctricas, mecánicas y de control, por lo que se debe incluir todo el sistema y realizar las pruebas correspondientes mediante condiciones ideales.
- Si el ensamble funciona en condiciones ideales, se debe probar en condiciones extremas (las condiciones son definidas por el proceso). Si después de dichas condiciones, es necesario realizar ajustes, se deben llevar a cabo con todas las áreas, para aumentar experiencia.
- De tener éxito en las condiciones extremas, mantener en óptimas condiciones hasta el momento del desarrollo de la estación a la cual pertenece.

3.7.2. Desarrollo de estación

Una vez que todos los subensambles con los cuales opera la estación son liberados, se deben colocar en conjunto para su funcionamiento junto con los equipos especiales y la señalización correspondiente.

- Comprobar que la construcción sea rápida y sin complicaciones, de no ser así y requerir ajustes, realizarlos informando los cambios al departamento de ingeniería.

- El funcionamiento debe ser satisfactorio en condiciones ideales, y validar los aspectos de ergonomía, funcionalidad y disposición de los componentes, con el objetivo de mejorar el diseño dentro de la estación.
- Si la estación funciona en condiciones ideales, forzar a la misma a porcentajes de producción de seguridad, y validar o realizar los cambios correspondientes con el equipo de área.
- De preferencia, dejar que los equipos trabajen durante tiempos largos sin parar; al menos un 150% del tiempo crítico, esto le permitirá determinar aflojamientos, calentamiento, vibraciones, efectos por el calor, humedad, etc., que le permitirá realizar los cambios que sean necesarios antes de la pre-serie.
- Valorar la señalización, proceso de ensamble, etc.
- Si la estación pasa la prueba, mantener en optimo estado hasta el desarrollo de la línea.

3.7.3. Desarrollo de la línea

La entrega de la línea es la fecha que más presente debe tener el encargado del proyecto, por lo cual, es recomendable desarrollar la línea en las instalaciones donde se quedará al menos un mes antes de la entrega final, para efectos de prueba con materiales, capacitación del personal técnico, operativo y de proceso.

- De tener oportunidad, pruebe la línea de ensamble para su validación, con las condiciones similares a donde se encontrará en funcionamiento.
- Valorar los puntos de uso, de surtimiento, el flujo, alimentaciones y zonas de mantenimiento.
- Pruebe la línea de ensamble con producción normal como con los valores de protección, garantice que funcionan correctamente, y lleve a cabo los cambios que puedan surgir.
- Use conexiones rápidas, sistemas modulares, verifique los puntos de alarma y conserve en óptimas condiciones para el momento de la pre-serie.

3.7.4. Pre-series

Es una actividad que lleva a cabo una simulación del proceso con todas las áreas involucradas en la línea de ensamble, y consiste en verificar que el proceso se realizará como lo planeado en cuanto a márgenes de producción, de logística, inventarios, calidad, entre otros. Para la parte de ingeniería que se encuentra desarrollando la línea de ensamble, debe enfocarse en los resultados obtenidos en cuanto al funcionamiento de las estaciones.

La presencia del grupo de proyecto es necesaria en la pre-serie, y cada uno debe tomar las mediciones que le sean pertinentes para mejorar su proceso, lo que implica un levantamiento de la línea, que sigue los mismos pasos que en apartado *levantamiento*. Es importante para el ingeniero en diseño tomar nota de los detalles que puede mejorar su acción directa, y después la toma de puntos que puede mejorar de forma indirecta. Es recomendable tener un número pequeño de colaboradores dentro del área que sirvan como apoyo para este proceso, por lo que el trabajo en equipo se vuelve sustancial para la implementación de soluciones en el momento en que son necesarias.

3.7.5. Ajustes

Después de analizar los resultados de la pre-serie, se debe realizar una junta no pasadas más de 48 horas con el objetivo de buscar soluciones adecuadas a los problemas que puedan surgir. Es importante tener claro propuestas junto con ventajas y desventajas de medidas preventivas y correctivas, de tal suerte que la toma de decisiones sea rápida y efectiva. La comunicación es vital de ambos grupos en estas horas críticas, debido a que la toma de decisiones puede caer en errores pasado este tiempo, por lo que los colaboradores que se elijan como apoyo durante la pre-serie tienen un rol importante en la solución de cualquier problema que pueda surgir. La elección debe contemplar personas con iniciativa, buena comunicación y con liderazgo, para tomar ventaja en las propuestas solución junto con el equipo de área.

Después de que el equipo de proyecto ha tomado decisiones, el diseñador debe tomar en cuenta las propuestas del equipo de área para la correcta ejecución y sinergia de conceptos de ambos lados, y tomar las decisiones que mejor resuelvan los inconvenientes y sumen valor al proyecto. Una vez tomadas las decisiones y ejecutados los cambios necesarios, se realiza una nueva pre-serie y se repite el proceso. Al ser las pre-series eventos planeados, el encargado del proyecto tiene a su disposición la información que complementará su análisis de tiempos, lo que le permitirá tomar las precauciones necesarias hasta la liberación de la línea. Si la línea de ensamble es validada dentro de las necesidades de producción, seguridad y calidad, se hace la entrega oficial al área de producción (en caso de que se trate de un empleado) o al cliente (en caso de que se trate de emprendimiento), por lo que las tareas de puesta en marcha juegan un papel muy importante para la consolidación del proceso. El equipo de trabajo debe estar balanceado y ser supervisado todo el tiempo y tener un coordinador que pueda flotar entre la puesta en marcha, las liberaciones de manufactura y los procesos de calidad.

3.8. Seguimiento

Es evidente mencionar que; una vez entregado los equipos, el área de ingeniería queda completamente liberada del proceso, y ahora es responsabilidad del área de proceso mantener las condiciones óptimas de la línea. Por lo cual, se pueden tomar tres aspectos que son fundamentales para un buen seguimiento aplicado al campo de la ingeniería, con la intención de fungir como un verdadero soporte a la operación:

3.8.1. Proyecto

Aunque una vez liberado el proceso se hace entrega de toda la información (planos, diagramas, manuales, memorias, etc), es conveniente realizar seguimiento sobre el funcionamiento de la línea en campo, por tres simples detalles:

- Para analizar posibles mejoras a futuro (en ésta y futuras líneas), lo que mejora la producción y la experiencia del equipo.
- Para analizar el proceso, lo que mejora los volúmenes de producción y los gastos asociados.
- Para hacer presencia en el área, lo cual da confianza a las partes técnicas, operativas y de proceso.

3.8.2. Clientes

Es importante saber cuáles son las impresiones del cliente sobre el trabajo realizado; sea un cliente o la persona a cargo del proyecto general de producción, y las posibles mejoras que pueda ofrecer. Contrario a lo que se cree, tener quejas o sugerencias es lo mejor que le puede pasar al departamento de ingeniería, debido a que puede tomar información de propia mano de la parte operativa y realizar las mejoras correspondientes, no solo para la línea en cuestión, sino para las futuras líneas de ensamble.

Debe tenerse especial cuidado en solo oír las recomendaciones del cliente meta, también se debe escuchar las recomendaciones del cliente objetivo, que son en este caso los operadores. Muchas de las ocasiones, las mejores ideas de implementación y de sistemas no vienen del departamento de ingeniería, sino de los propios operadores que encontraron la forma más rápida de solucionar un problema. También se debe escuchar las recomendaciones de calidad, mantenimiento y proceso, pues nutren las capacidades de nuestro equipo de trabajo, realizando mejoras sustanciales en cuanto a la solución de problemas, praxis de diseño, etc.

3.8.3. Proveedores

El ingeniero encargado de diseñar e implementar líneas de ensamble debe separar las actividades y desechar aquellas que no le generen valor a la actividad, o bien, cuya curva de aprendizaje al elaborarlos sea tan pronunciada que lo hace inviable por razones de tiempo, costo y alcance. Es importante saber que se depende también del proveedor, lo que hace necesario la correcta comunicación de necesidades, el empleo de recursos y la sinergia entre ellos y usted, por lo que una relación sana beneficia a ambas partes. Es importante tener al menos tres proveedores del mismo material o servicio, realizar actualizaciones de catálogos, precios y cotizaciones; que si bien, es un tema propio de compras, es importante conocer esos valores para realizar proyectos alcanzables. Si el proveedor cuenta con técnicos especializados, preste especial atención a los cursos que esta institución o persona ofrece; la única forma de prestar servicios de

este tipo es estar constantemente capacitado, por lo que debe aprovechar capacitaciones correspondientes a nuevas tácticas, equipos y especialidades.

Finalmente, el proveedor puede tener problemas de retraso, de solvencia o de mano calificada, por lo cual, escoger correctamente al proveedor va más allá del precio y de la marca. Debe tomar en cuenta que cualquier retraso es tiempo perdido, y el tiempo es quizá el recurso más valioso que tiene el ingeniero en diseño.

3.9. Metodología de diseño y desarrollo

En el cuadro 3.1 se realiza la descripción de las áreas comúnmente involucradas en el proceso de diseño y las actividades que realizan, mientras que en la figura 3.5 se muestra el diagrama de flujo que describe las tareas de diseño que todo involucrado en el proceso dentro del área de ingeniería debe conocer.

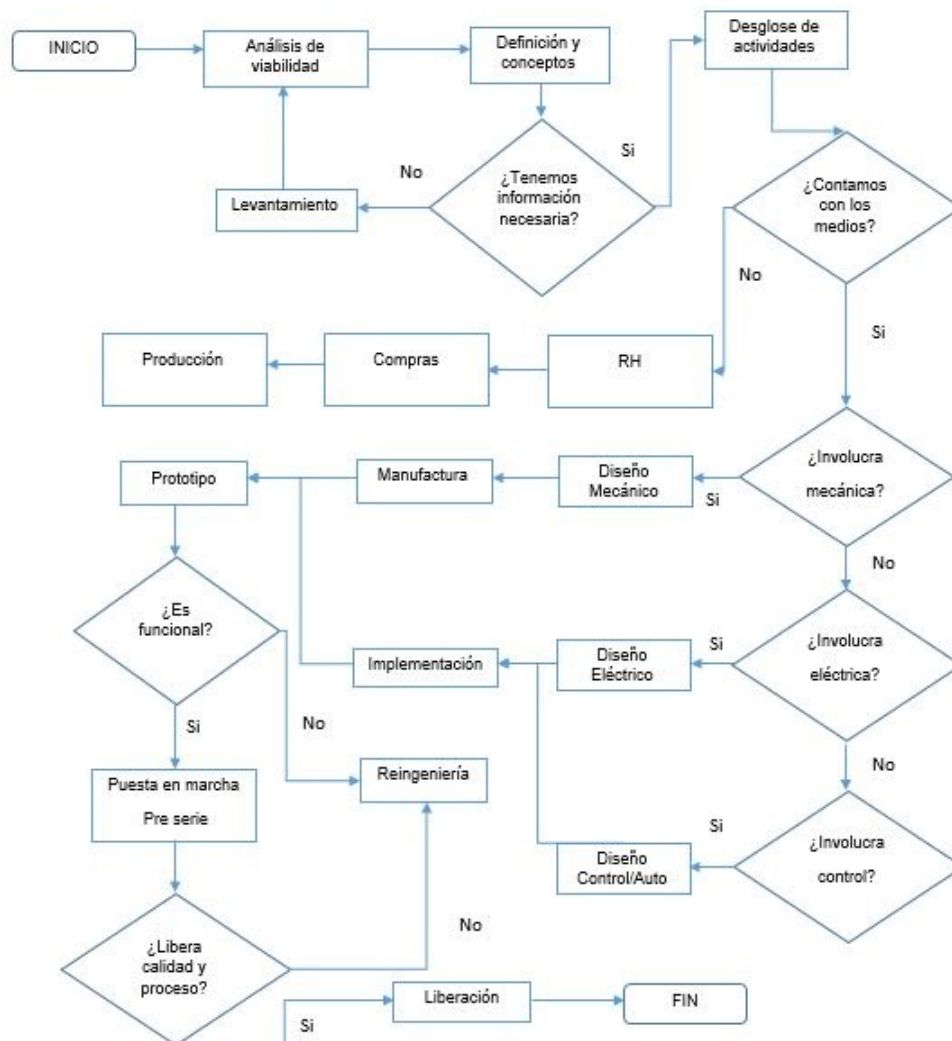


Figura 3.5: Diagrama de la metodología de diseño y desarrollo en la industria.

| Grupo de proyecto | Grupo de área | Ingeniería mecánica | Ingeniería eléctrica | Control Auto | Manufactura P en marcha | Calidad | RH | Producción |
|--------------------------------------|---|---|--|-----------------------------------|---|---|--------------------------------|-----------------------|
| Definición del problema y estrategia | Medios, tiempos, análisis de riesgos y Know-How | Concepto por área, priorizando experiencias y sugerencias | | | | Recomendaciones, expectativas y sugerencias para mejoras dentro de la línea de ensamble | | |
| Concepto | Concepto | Levantamiento y actividades a detalle | | | | | Contratación de personal | Planeación pre-series |
| Propuesta final | Distribución de la información | Reingeniería, iteraciones y seguimiento | | | | | Capacitación | Pruebas en campo |
| Planeación | | Planos mecánicos, simulaciones y análisis | Planos eléctricos, simulaciones y análisis | Programa, simulación y validación | Manufactura y ensamble de menor a mayor jerarquía | Revisión manufactura y ensamble | Conservación de personal clave | |
| Liberación | Liberación | | | | | Liberación | | Liberación |
| Gestión del proyecto | | | | | | | | |

Cuadro 3.1: Esquemático área vs actividad

Capítulo 4

Desarrollo mecatrónico

Debido a la cantidad y profundidad de los temas que se deben mencionar para explicar el diseño e implementación de la línea de ensamble aquí presentada, se mencionarán de manera general; declarando la serie de pasos para realizar dichas tareas, los ejemplos dentro de cada apartado, tecnicidades y generales del funcionamiento del sistema y las actividades relacionadas con el desarrollo.

- **Diseño mecánico:** Enfocado a trabajo con cunas, estructuras y análisis en Catia.
- **Diseño eléctrico:** Enfocado al desarrollo del panel eléctrico y neumático; es decir, la instrumentación que va de la mano con el control.
- **Programación de Robot:** Enfocado a la programación del robot, comunicación llamado de funciones.
- **Programación de PLC-HMI:** Tareas de programación, interfaz y tareas de red.
- **Programación de cámara y atornillador:** Explicación sobre el funcionamiento de ambos sistemas de modo general, especificando la programación de la cámara por contornos.
- **Manufactura CNC:** Enfocado a las tareas de manufactura de superficies con Catia como interfaz.

Cabe mencionar que el diseño de instrumentales y estructuras se desarrolló en Catia, la programación del robot mediante la interfaz de UR, el PLC y HMI en Siemens, el atornillador Deprag, la cámara en SOPAS por Sick y a lo largo del documento se pueden encontrar imágenes de los sistemas en cuestión. Debido a cuestiones de confidencialidad, los datos numéricos referentes a información sensible se mencionarán como variables, bloques o etiquetas. Sin embargo, la información que se provee a lo largo del capítulo es suficiente para formarse conjeturas del funcionamiento del sistema.

Como nota, las tareas descritas aquí, junto con los datos numéricos y condiciones de diseño son generales, por lo que se pueden aplicar (y de hecho, se aplican) a un


sin número de procesos, pero es importante no tomarlos como valores únicos, pues dependen del proceso y del producto, sin mencionar al cliente o las normas de la empresa.

4.1. Diseño mecánico

Catia tiene un número importante de herramientas que son especializadas de tal modo que cada proceso de diseño se puede realizar en tiempos relativamente cortos si se usa la herramienta adecuada. En el presente documento, se hablará del diseño en estructuras y el de superficies, que son los más importantes en la industria de forma guiada, con el objetivo de expresar adecuadamente las características de este diseño. Adicional a ello, se pueden realizar ciertas precisiones.

4.1.1. Generalidades técnicas

Después de concluido el diseño, es necesario representar el CAD en un plano para su posterior fabricación. Además de lo mencionado en apartados anteriores, las etiquetas de interés dentro de los planos para su descripción se pueden realizar como se observa en la figura 4.1.

| ESQUEMA | GIRO DE PIEZA | OP | DESCRIPCION | HERRAMIENTA | OBS. |
|--------------------------|-------------------|---------------|---|--|------|
| PZA N° | XXXXXXXX | | |  | 1 |
| PZA NOMB | XXXXXXXX | |  Describido en v.m. | | |
| CLIENTE | XXXXX | | FECHA DD/MM/AA | | |
| PROYECTO | DIBUJO XXXXX | ESCALA 1:1 | | | |
| PROJECT MANAGER XXXXX | PROYECTO XXXXX | HOJAN' DE | X X | | |

C




Figura 4.1: Etiqueta de plano recomendada

Detalles generales de diseño

- Seguridad del operador en todo momento.
- Diseño ergonómico.
- El punto centro debe estar en las coordenadas X y Y, con Z opcional, y debe ser con referencia a las coordenadas globales del automóvil para piezas de este sector.

- Proveer una correcta localización de la pieza, que garantice la máxima repetibilidad y reproductibilidad.
- Construcción segura y económica, que garantice su funcionamiento de manera estable y duradera.
- Accesibilidad para obtener mediciones según los requerimientos de diseño del producto (incluye lo especificado en el plano de pieza) y proceso de manufactura.
- Simplicidad en la carga de trabajo para el operador.
- Fácil acceso a todos los componentes, ergonomía y resistencia de la operación.
- Proporcionar puntos de localización consistentes y precisos para alcanzar una máxima repetibilidad y reproductibilidad.
- Que sean precisamente construidos, durables para el uso pretendido y de fácil mantenimiento.
- Utilizar las columnas, clamps, etc., más simples en el proceso.

Cunas o holdings

- Es necesario considerar la gravedad en el sistema para determinar el plano dato de preferencia, para que la pieza no se caiga por su propio peso antes de ser sujeta por los clamps.
- La cara de apoyo de la pieza será la matemática, ya que los datums están sobre la misma.
 - Plano A: Garantiza como mínimo 3 puntos de contacto (evita desplazamientos arriba-abajo o en el eje Z).
 - Plano B: Garantiza dos puntos de contacto (evita desplazamientos de izquierda a derecha o en el plano X) perpendicular al plano A.
 - Plano C: garantiza al menos un punto de contacto (evita desplazamientos de frente-atrás o en el plano Y) y debe ser perpendicular a los anteriores.
- No hacer cotas decimales.
- De existir componentes derechos e izquierdos deberán despiezarse separados.
- De tener varios barrenos, colocar una tabla con coordenadas.
- Para la posición es necesario 3 alojamientos para bujes de 6mm de diámetro para referencia.
- Pernos a ± 0.02 en posición, H7 en tamaño.

- La posición de los tornillos, columnas, bujes, topes y componentes en general deben dibujarse respecto al punto centro en números enteros en cota.
- Los pasajes redondos u oblongos deben estar acotados en posición ± 0.1 como dimensión ± 0.1 .

Clamps

- Deben aplicar la presión en dirección normal hacia la pieza y a través de la línea central de apoyo.
- Cada apoyo debe tener un clamp separado.
- Si el clampeo es una superficie clase A, la cabeza del clamp debe tener una superficie no abrasiva, no debe rotar y hacer contacto completo con la misma.
- Los clamps deben estar fijos y tener menos de 3mm de movimiento lateral en la cabeza del clamp (véase figura 4.2).
- La presión del clamp debe ser regulable, usar detensores o estranguladores de ser necesario.

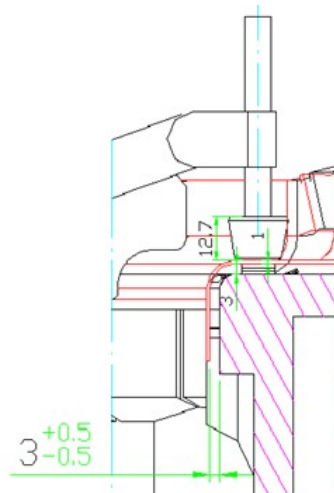


Figura 4.2: Esquemático de funcionamiento clamp

Detalles en piezas

Para el resto de las piezas, se pueden considerar las siguientes generalidades técnicas:

- Portapiezas: Polietileno de alta densidad de 2 a 3" para vista, o epóxicos de alto impacto.
- Base: Aluminio 6061 con anodizado.

- Clamps: Aluminio.
- Planitud de base $\pm 0.05\text{mm}$ en 300mm.
- Matar filos 3mm a 45 grados.
- Apoyos a ± 0.01 paralelos a la base.
- Localización de bujes $\pm 0.05\text{mm}$.
- Todos los hilos deben ser métricos, prefiriendo M8 y M6 para acciones de ensamble y M12 y M20 para los ganchos de elevación.
- La ubicación de los pines de control deben formar un rectángulo, manteniendo una tolerancia cuadrada de $\pm 0.05\text{mm}$ e individual de $\pm 0.15\text{mm}$, separados por 25mm de las orillas a la base (véase figura 4.3).

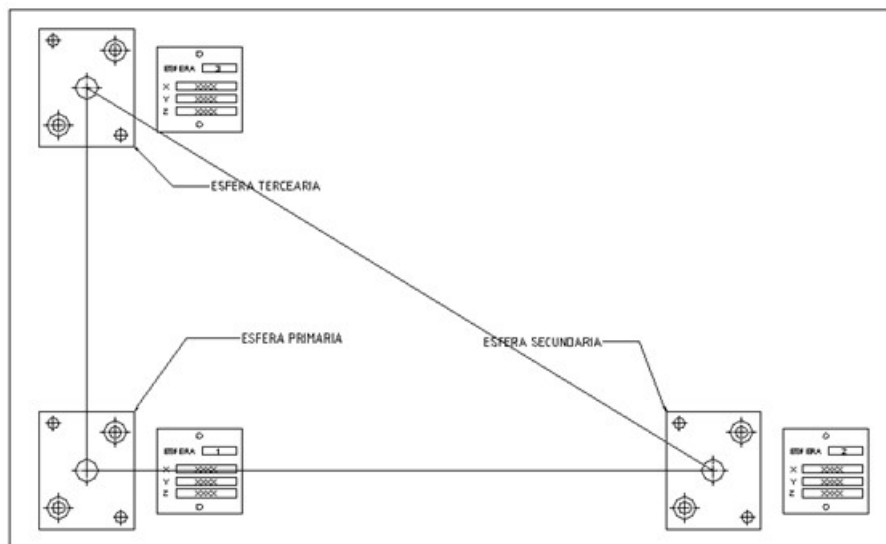


Figura 4.3: Ejemplo de esferas de control

4.1.2. Structure Design

Cada software de diseño tiene a su disposición una serie de herramientas para uso específico, o al menos las más comunes en la industria. Para el caso de la estructura, es útil la herramienta *Structure Design*, la cual consiste en una serie de catálogos con perfiles normalizados dentro del mercado, que permite realizar estructuras con solo definir un alámbrico en un croquisado. Para entrar en la herramienta, basta con acceder en el menú *start - mechanical design* y *structure design* (véase figura 4.4).

Dentro de la herramienta, existen íconos dentro del entorno que tienen función específica para realizar las tareas de estructura, en la figura 4.5 se muestra la interfaz de mallado por líneas, la cual, tiene la opción de determinar la posición, el número de

separaciones y la medida de separación entre líneas. Para las estaciones con robots en esta aplicación, las medidas son 1500x2000x2000mm.

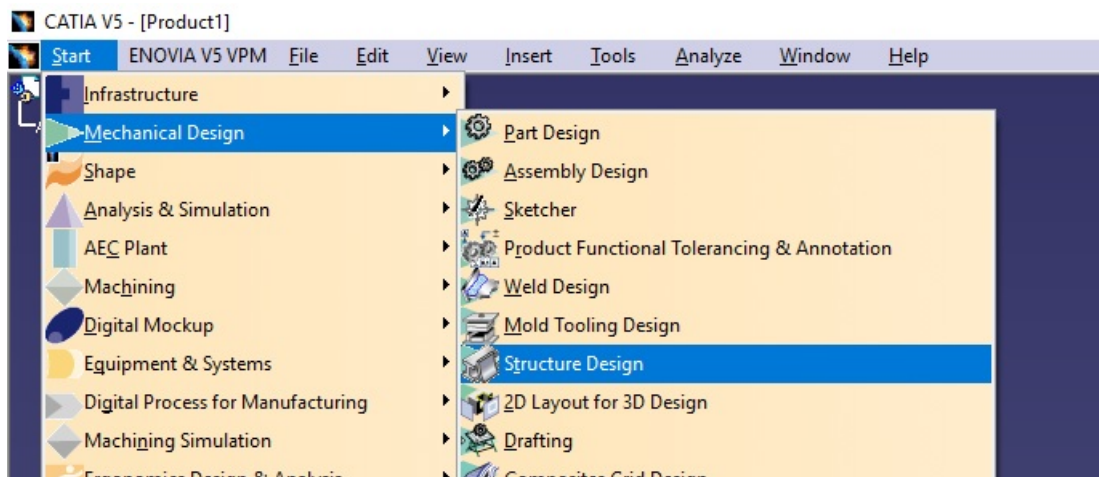


Figura 4.4: Acceso a la herramienta diseño estructural

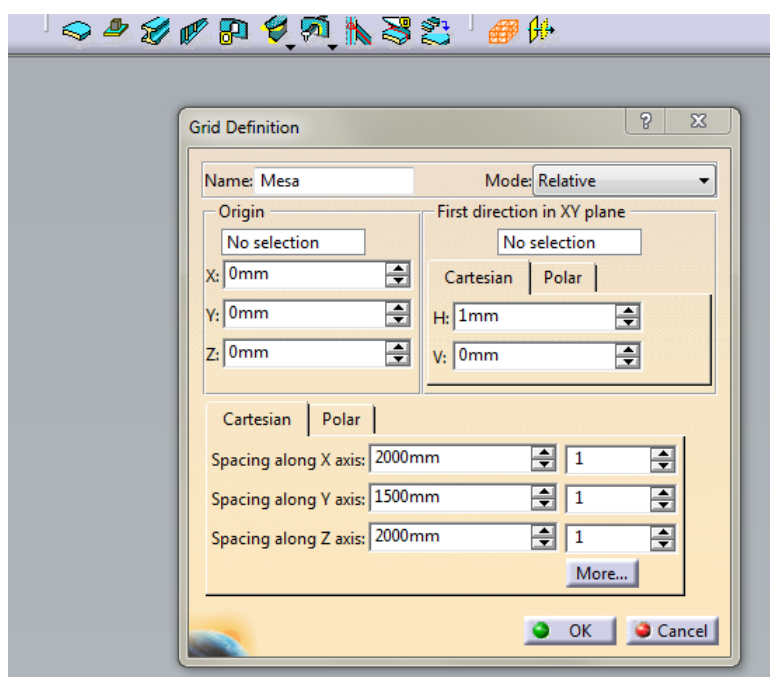


Figura 4.5: Selección de estructura

En caso de ser necesario definir otros puntos, líneas o vértices, basta con seleccionar en el árbol de operaciones el *geometry* dos veces para abrir el menú *sketch*, o bien seleccionar el modo *part*. Una forma más rápida es la unión de puntos con líneas disponibles en la barra de herramientas (véase figura 4.6) pero si son varios puntos y líneas, resulta conveniente crear un sketch nuevo.

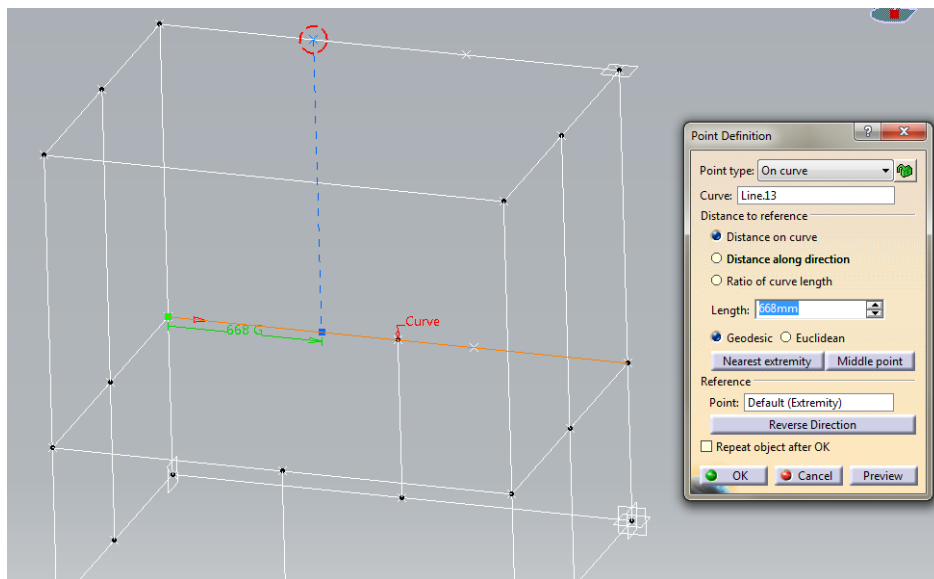


Figura 4.6: Selección de puntos para la creación de líneas

Cuando se cuenta con la estructura completa (la estructura alámbrica se puede modificar dentro del apartado de geometría en cualquier momento, y el dibujo se actualiza aún después de la perfilación) se puede escoger el perfil (véase figura 4.8) y las líneas donde pasará el perfil (véase figura 4.7). Los catálogos que se encuentran por defecto reconocen ASME, sin embargo, es posible descargar perfiles o diseñar un sketch con las características transversales y guardarlos como plantillas para futuros perfiles. El perfil toma la línea antes creada como centro, y *barre* el perfil a través de ella.

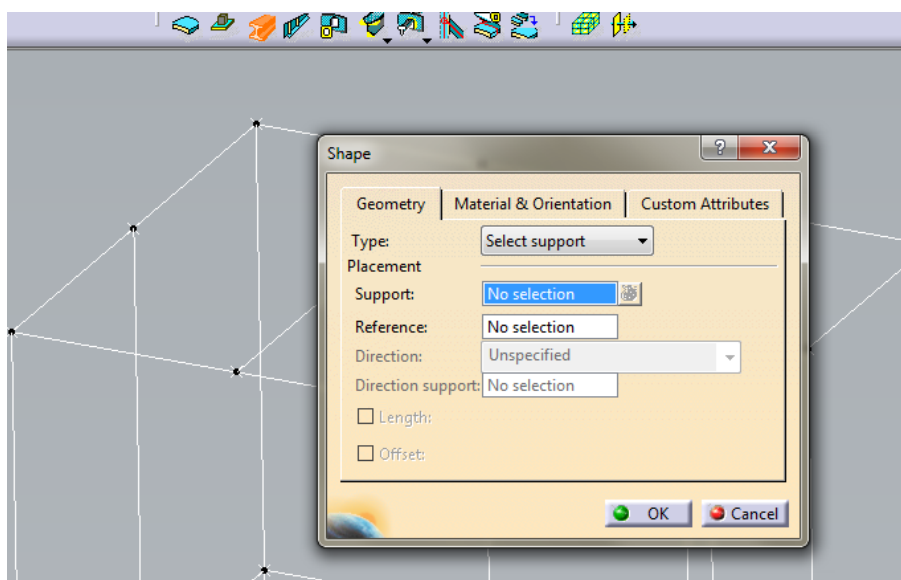


Figura 4.7: Selección de línea

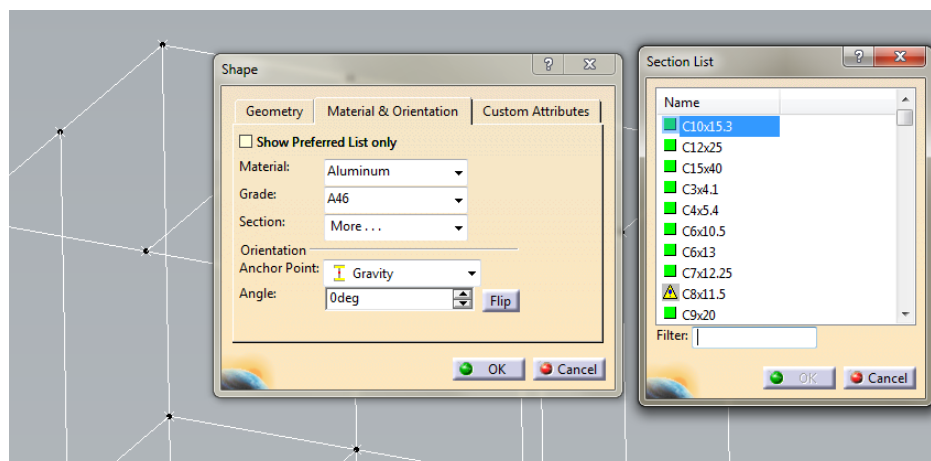


Figura 4.8: Selección de perfil

Después de seleccionar cada una de las líneas, debe resultar la figura 4.9. Debe mencionarse que el perfil es barrido por toda la línea y no por las intersecciones, por lo que la herramienta de corte permite realizar los acabados correspondientes, tal como se observa en la figura 4.10.

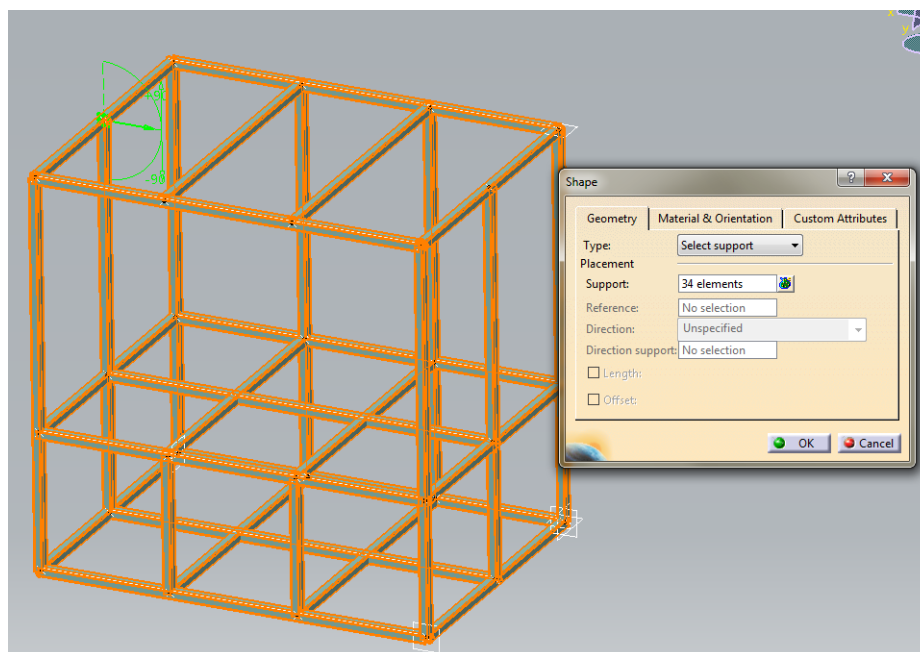


Figura 4.9: Producto barrido

La selección de componentes es importante al momento de cortar, debido a que el primer perfil seleccionado se le da la categoría de mantener, mientras que al segundo de rechazar. En caso de tener varios cortes dentro de un vértice, es recomendable realizar pasos de perfiles a la vez, ya que el software muestra dificultades para trabajar con varios sólidos.

Una vez terminado todo el desarrollo de la estructura, es posible guardar el elemento como ensamble o cualquiera de los formatos neutros. Si se guarda como ensamble, en automático crea los archivos con cortes y ángulos, y se actualizan con cualquier modificación.

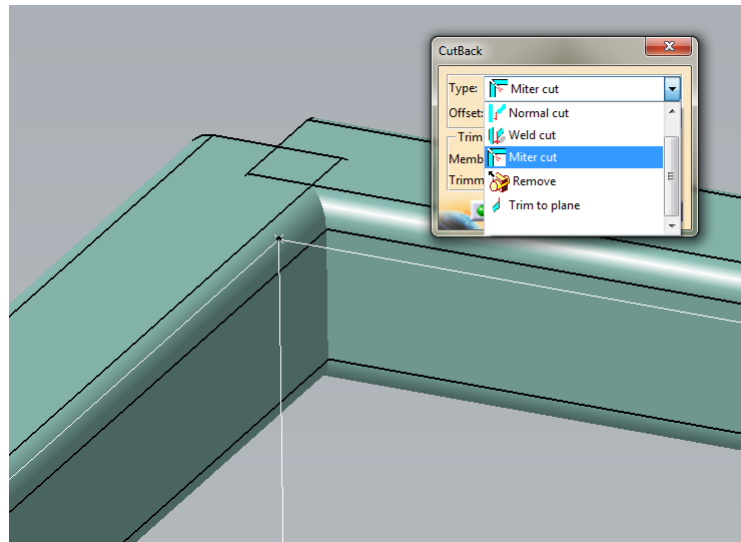


Figura 4.10: Herramientas de corte entre perfiles

4.1.3. Shape

El ambiente de dicha herramienta está enfocado al trabajo de superficies a través de puntos y alámbricos, además de permitir al usuario realizar cambios y adecuaciones de superficies del tipo A. Cuenta con estudios de luz y franjas para diagnosticar y el uso de árbol y compás en cada punto. En la figura 4.11 se muestra el acceso a esta herramienta.

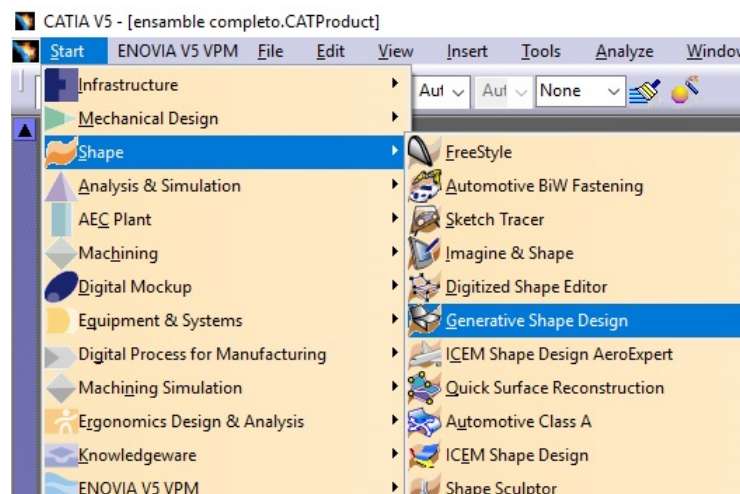


Figura 4.11: Acceso herramienta Shape.

La principal ventaja de trabajar con modelos CAD de un producto ya validado es que los cambios en ellos son nulos, y se pueden realizar las tareas de *copiado* dentro del modelo matemático, las cuales son más simples o difíciles dependiendo las herramientas empleadas en el proceso. El siguiente método describe la forma de copiado más simple.

Es necesario realizar la copia del elemento y los espacios destinados al cuerpo sólido, por lo que es necesario introducir los *bodies* dentro del árbol, disponibles en el apartado *Insert*. Una vez insertados los bodies, cambiar el nombre y características dentro de las propiedades del mismo (clic derecho sobre el *body* en el árbol o Alt + Enter) como se muestra en la figura 4.12.

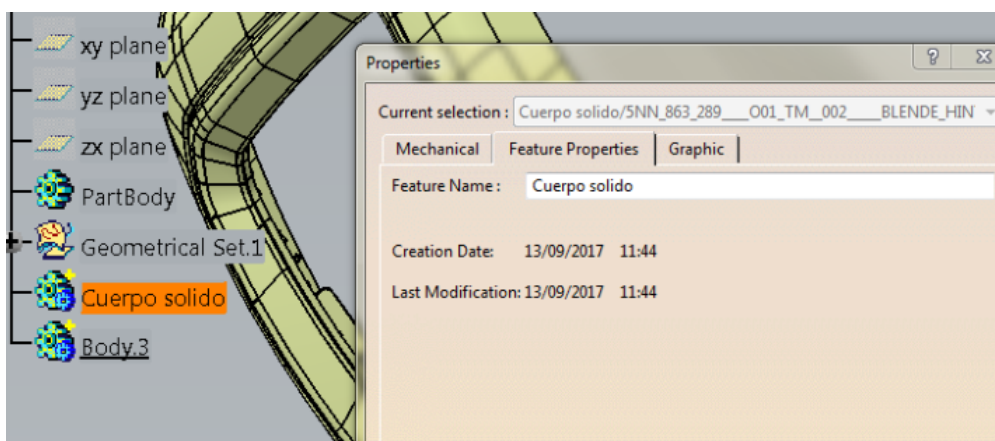


Figura 4.12: Bodies independientes en el modelo

Para el copiado, es conveniente hacer un body especial para guardar las superficies, de tal modo que el modelo original sea utilizado lo menos posible dentro del pad sólido. Para realizar las tareas de copiado con el offset necesario para un holding (2 décimas de milímetro) se utiliza la herramienta del mismo nombre (véase figura 4.13 y 4.14).

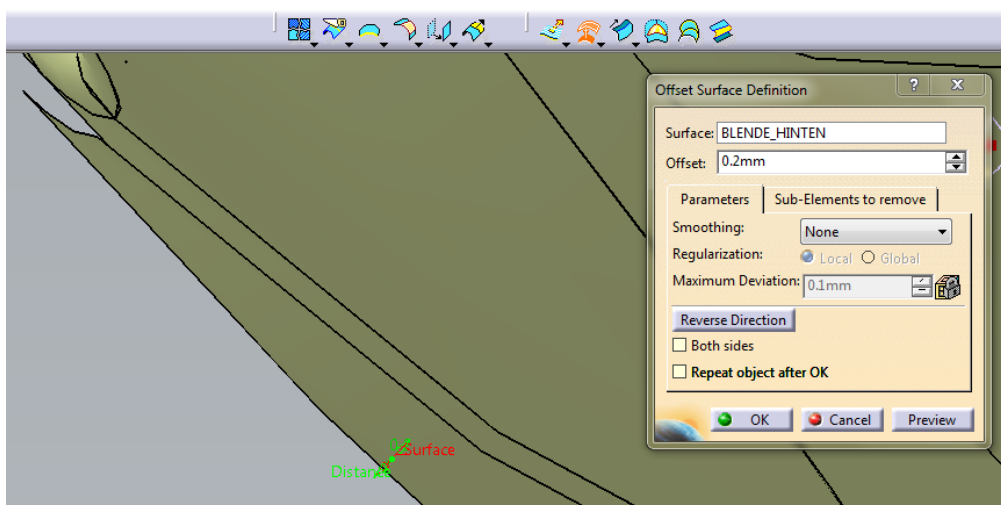


Figura 4.13: Offset del modelo matemático

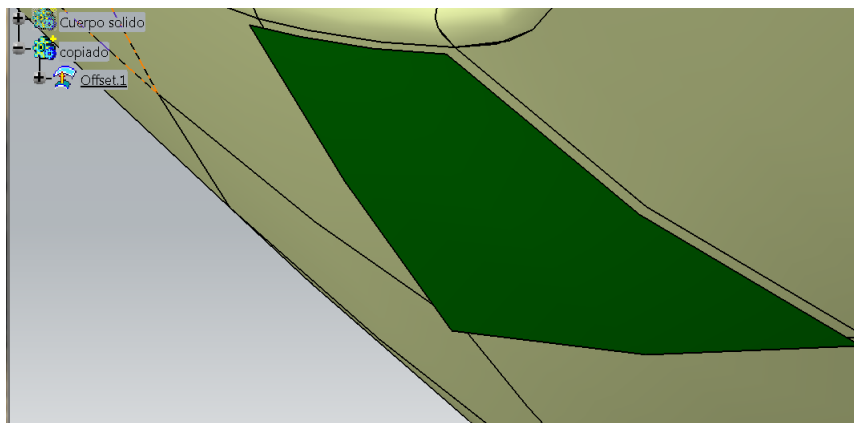


Figura 4.14: Resultado de copiado

Esta tarea se repite a lo largo de cada una de las caras y aunque parezca complicado o tardado, es el método más seguro cuando se tienen CADs neutros; es decir, igs, step, etc. Después de realizar los copios en el área de interés, se esconde el modelo original (figura 4.15) y se cierran los contornos que sean necesarios.

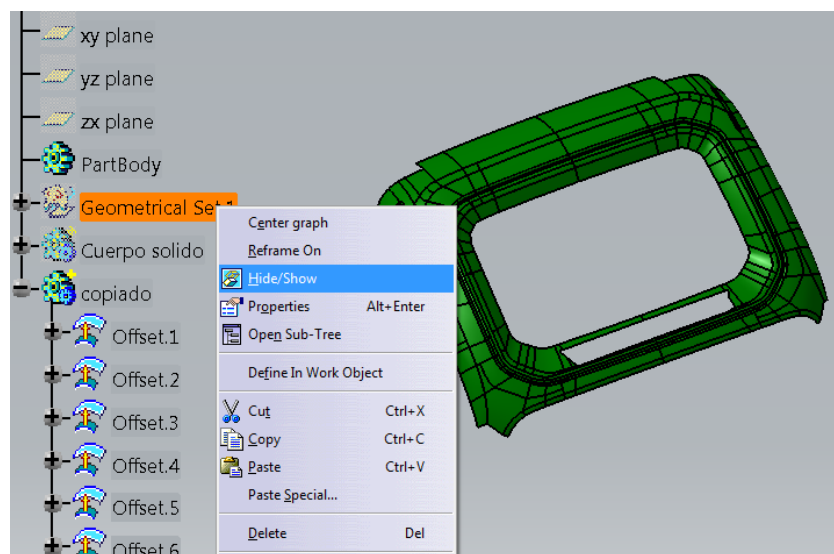


Figura 4.15: Copiado de área específica

Una de las herramientas más prácticas para el cerrado de superficies es *Blend*, la cual une dos líneas con la opción de usar una línea como perfil de referencia. La acción de la herramienta es parecida a un recubrimiento, en el cual la superficie hace un trayecto recto entre ambos componentes. No es recomendable su uso en espacios grandes o en diferentes planos (véase figura 4.16).

En caso de contornos cerrados, la herramienta *Blend* es poco eficiente. La herramienta adecuada para este tipo de contornos es *Fill* también disponible en el panel de herramientas. Dicha herramienta consiste en seleccionar el contorno a cerrar (solo aristas y líneas auxiliares) hasta que el contorno se encuentre cerrado. La secuencia debe

ser progresiva, de realizar un salto, es necesario regresar al punto anterior; y dentro del menú desplegable se permite crear líneas y puntos auxiliares, para evitar salir de la edición (véase figura 4.17 y 4.18).

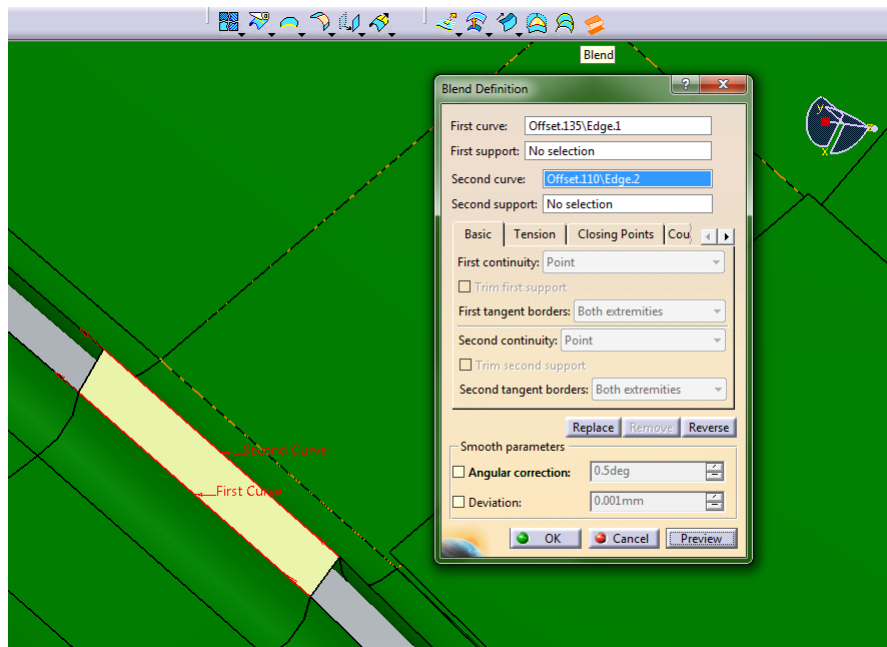


Figura 4.16: Operación blend entre dos líneas

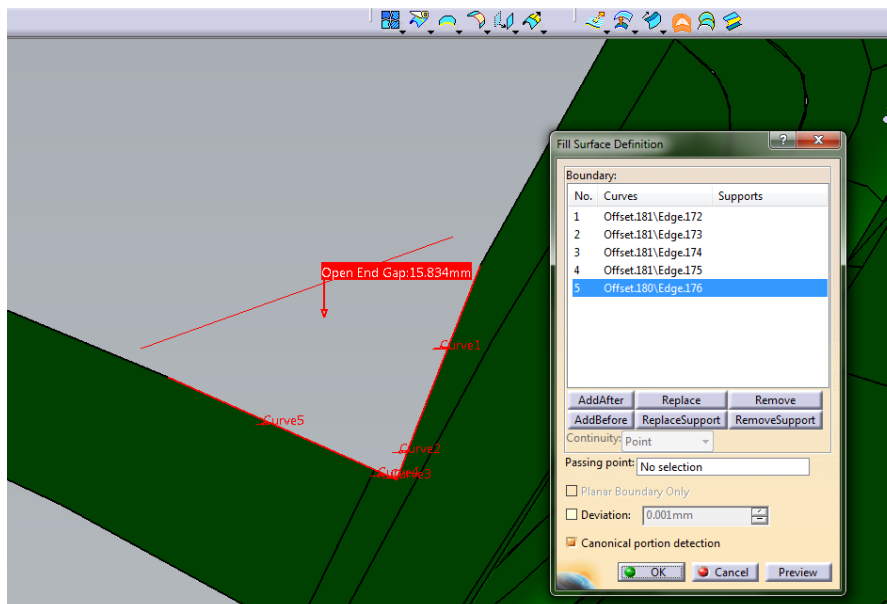


Figura 4.17: Operación fill

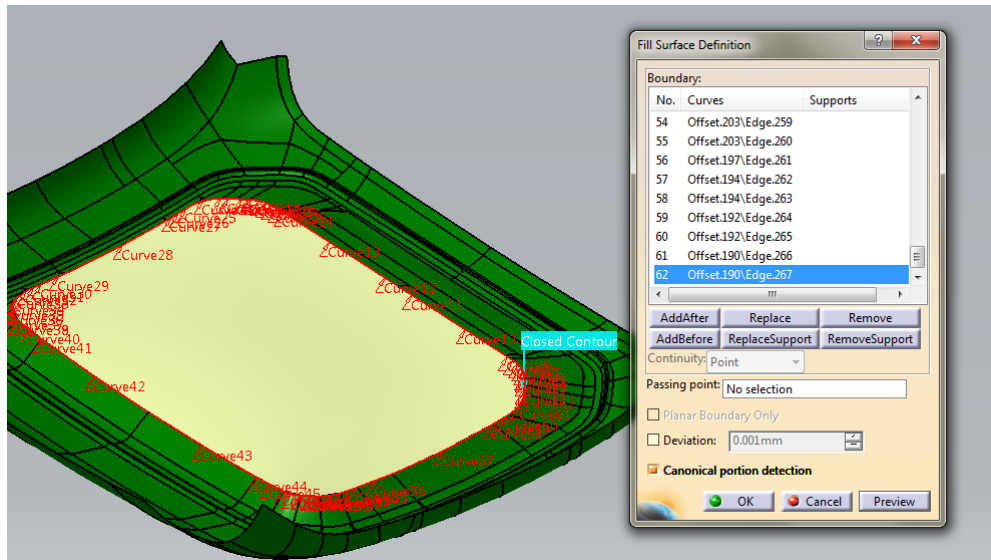


Figura 4.18: Contorno cerrado

Una vez cerrados todos los contornos, reparadas todas las uniones y copiadas todas las superficies de interés, es necesario que todo el sistema se comporte como una sola superficie, para hacer esta tarea, se usa la herramienta *Join* disponible en el panel de herramientas (figura 4.19). La herramienta *Join* permite tomar todas las superficies seleccionadas (se pueden marcar las caras desplazando el cursor sobre toda el área de copiado o seleccionar el bodie donde se encuentren las caras, este último es el recomendado) y convertirlas en una sola; es decir, realiza un cosido. Dentro de la herramienta se puede revisar tangencias, simplificar la superficie, etc.; también la herramienta ofrece un preview del producto a obtener, donde nos muestra los contornos en conflicto en superficies en caso de que así hubiera.

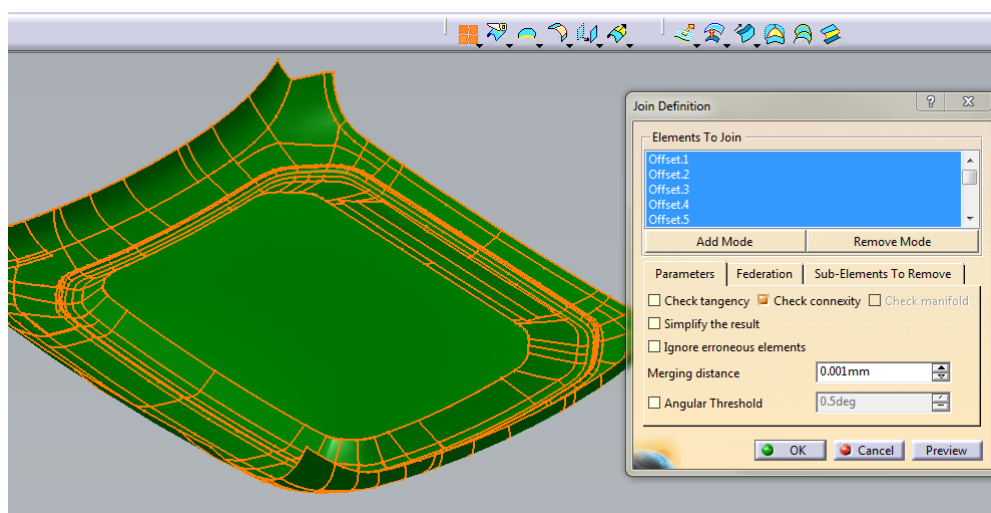


Figura 4.19: Herramienta Join

Dichos contornos aparecen en pantalla como líneas donde se muestran los bordes en conflicto, ya sea que sean fronteras o intersecciones (véase figura 4.20). Para solucionar estos problemas, se puede aumentar el *merging distance* a un valor mayor, o realizar las reparaciones correspondientes a cerrar o trimear (cortar) según el caso y la tolerancia deseada.

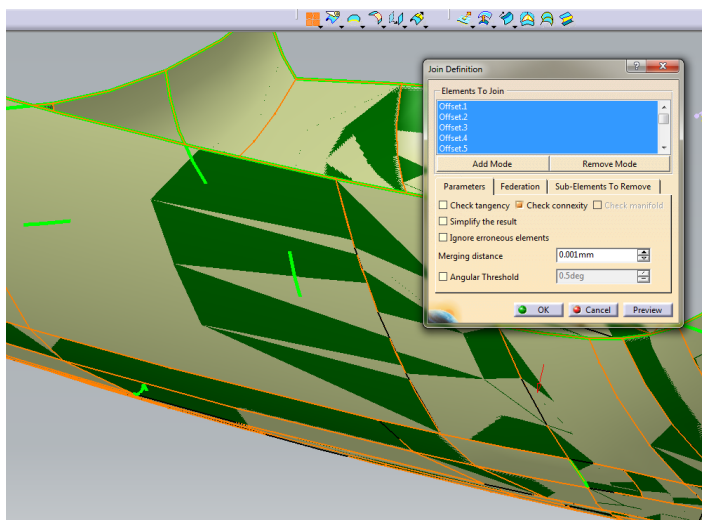


Figura 4.20: Imperfecciones en la superficie

Se debe tener especial cuidado con la tolerancia que se emplea, debido a que se ve reflejada al momento de maquinar. Usualmente los desarrollos de diseños aplicados a la exactitud, medición y validación (SPC y RPS) se encuentran en tolerancias de $\pm 0.005\text{mm}$, por lo que abusar del merging puede ocasionar un defecto de diseño.

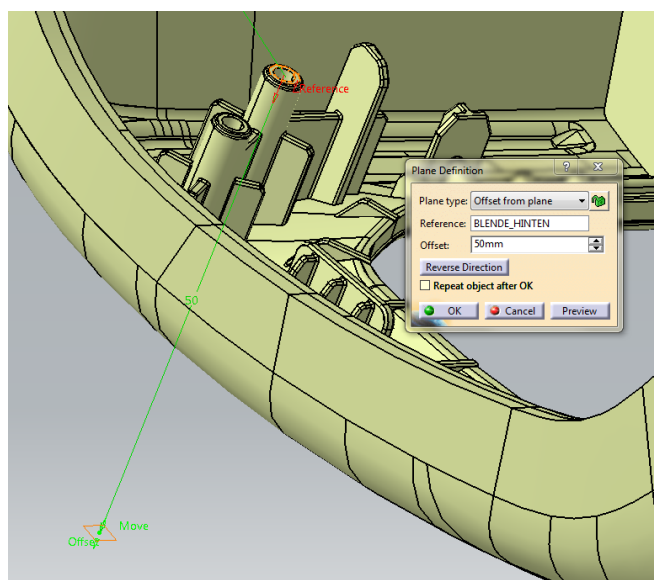


Figura 4.21: Plano de referencia para la base

4.1.4. Pad

Como se mencionó en las generalidades, el diseño de un holding debe ocuparse de los datums de referencia sobre la superficie y considerar el efecto de la gravedad en la pieza. Adicional a ello, es de interés colocar el plano de la base perpendicular a los puntos a soldar; para cumplir la condición, basta con crear un plano a partir de la superficie (véase figura 4.21) dentro del nuevo bodie para el sólido en el ambiente pad.

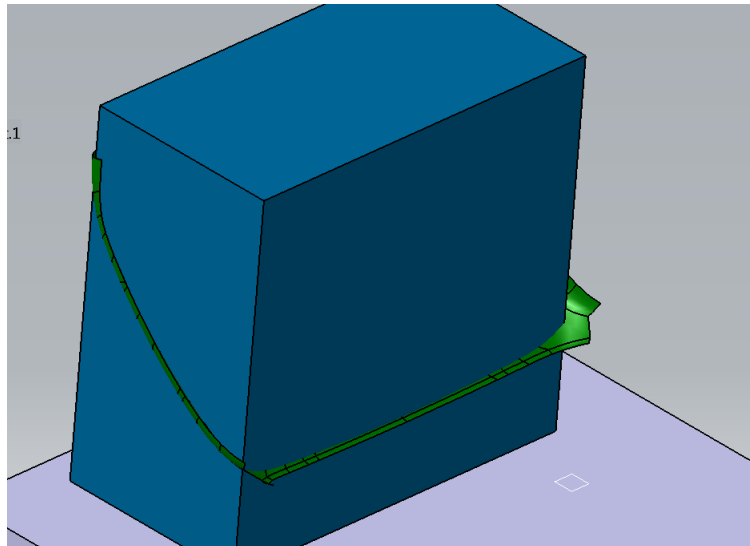


Figura 4.22: Base y cuerpo de producto

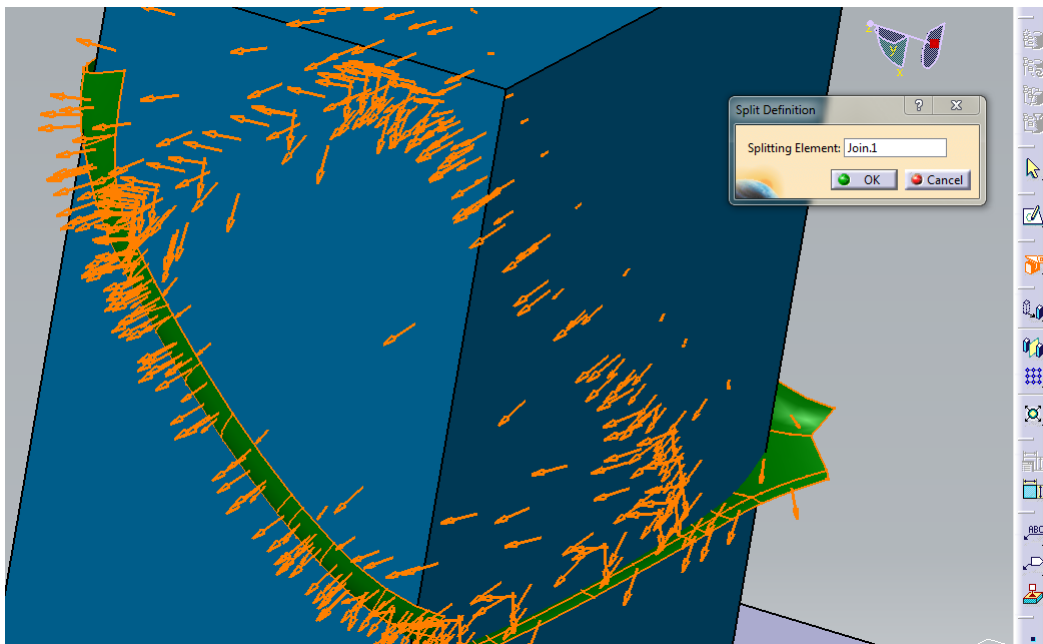


Figura 4.23: Herramienta split

Una vez definido el plano para la placa base, se pueden agregar más bodies para las torres correspondientes a las cunas. Es recomendable hacer las cunas en un solo pad, y una vez validado, guardar los sólidos por separado, para que cualquier modificación se vea reflejada en las demás operaciones. Una vez definida tanto la base, la cuna y la superficie (véase figura 4.22) es conveniente usar la herramienta *split* dentro del pad. Esta herramienta produce un corte de un sólido con una superficie, obteniendo el copiado deseado (véase figura 4.23 y 4.24). Cuando se trata de productos completos (véase figura 4.25), basta con el copiado de todo el modelo y realizar las mismas operaciones, salvo por el cuidado a los movimientos y ángulos de salida.

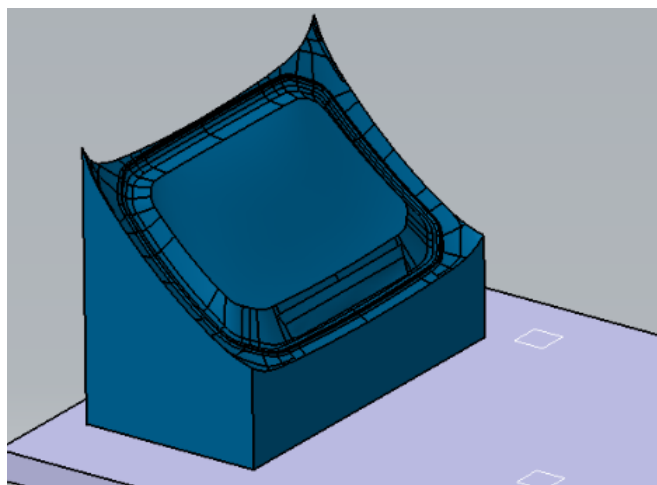


Figura 4.24: Producto trimeado

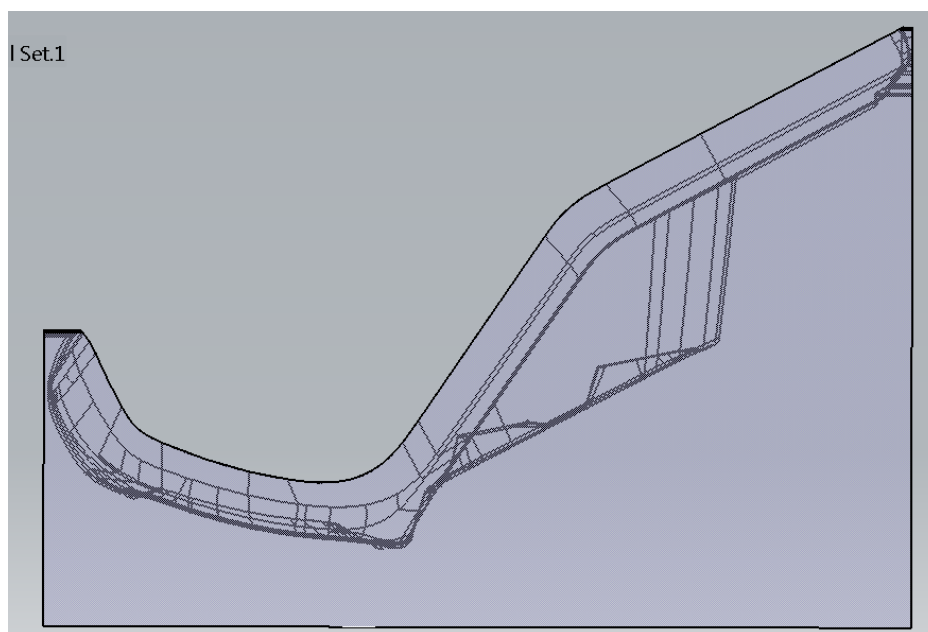


Figura 4.25: Ejemplo de ángulos de salida negativos

Los ángulos negativos son problemáticos debido a que por ellos las piezas no encajan o son forzadas a la posición que se espera. La forma más simple de corregirlos es con un simple corte (figura 4.26), en caso de que ello no sea posible por aspectos de funcionalidad, entonces se pueden emplear sistemas de empalme por movimientos, actuados por cilindros o forma manual.

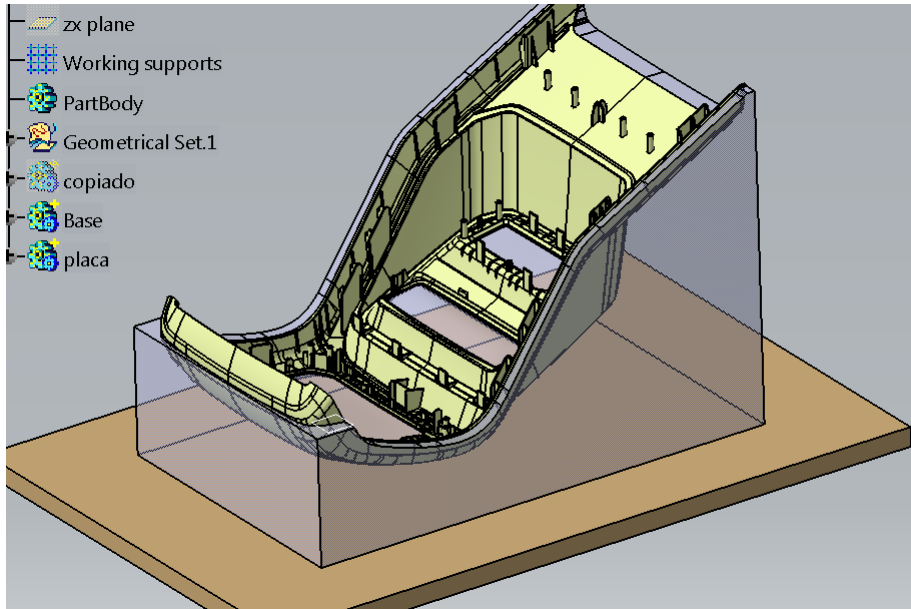


Figura 4.26: Sistema sin ángulos negativos

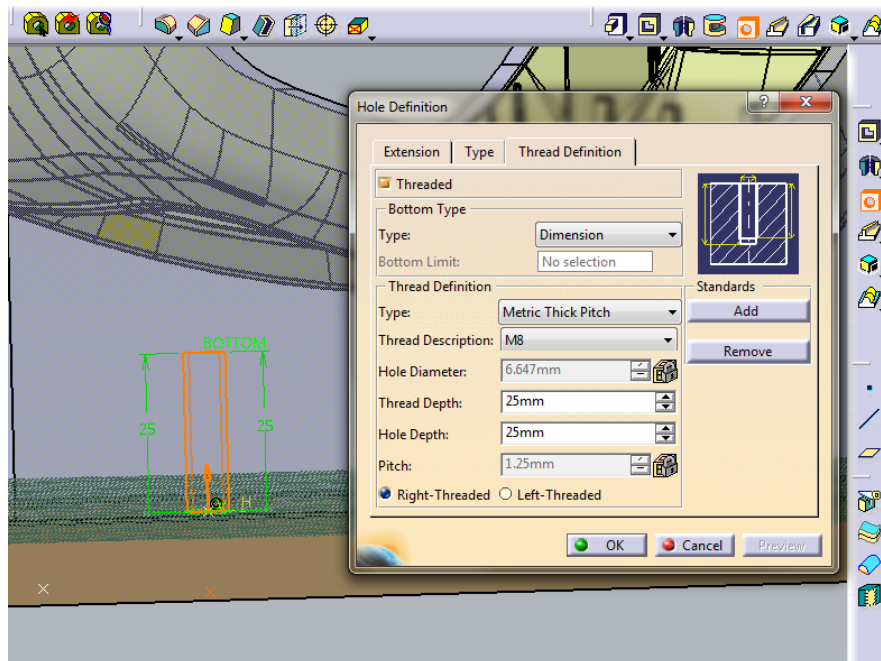


Figura 4.27: Herramienta hole

Para la posición de pernos y tornillos, Catia cuenta con la herramienta *hole* (véase figura 4.27) en donde se puede elegir la tornillería dentro del estándar DIN y ASME, y cuenta con el menú interactivo para definir cuerda, tipo de cabeza, profundidad y paso. Es recomendable realizar el sketch con los puntos de posición independientes a la herramienta para realizar actualizaciones rápidas, tal como se muestra en la figura 4.28.

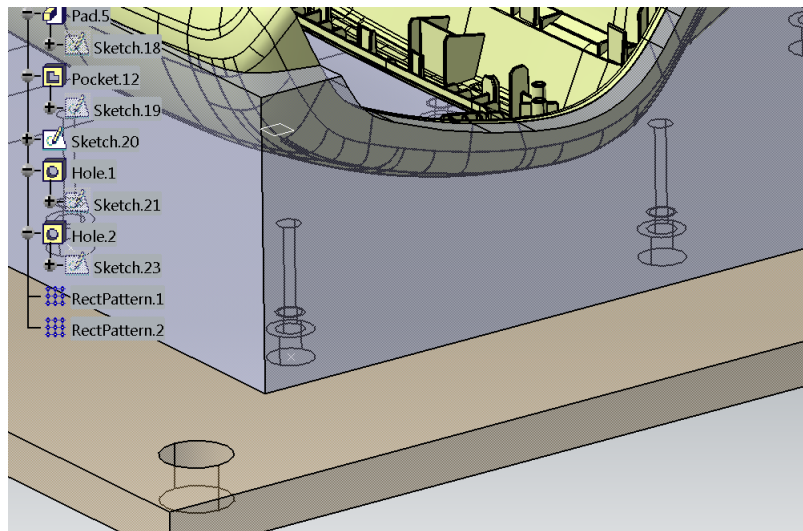


Figura 4.28: Sistema con tornillería

Para validar, se puede utilizar la herramienta *Sectioning* disponible en la barra de herramientas dentro del ambiente pad y assembly (véase figura 4.29).

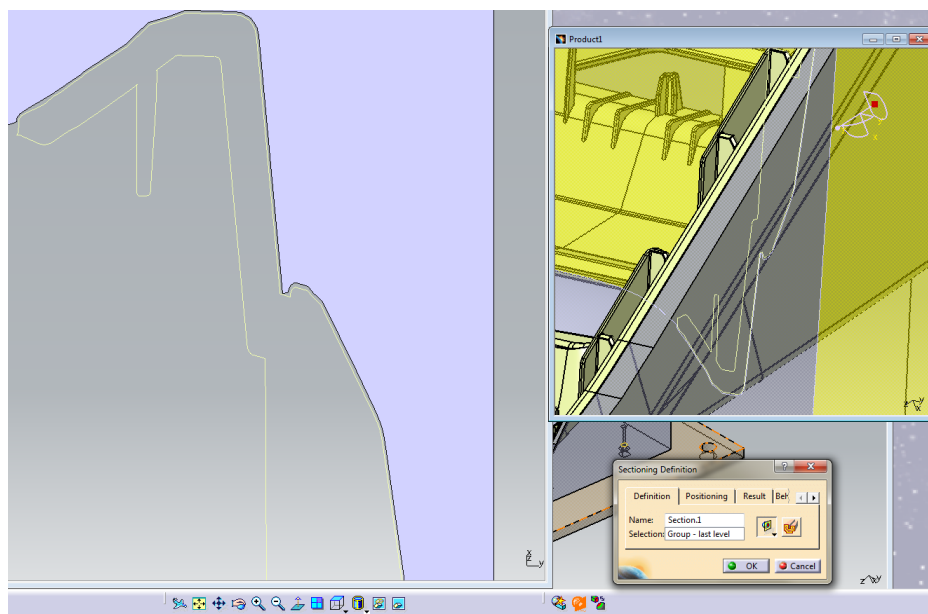


Figura 4.29: Corte para validación

4.1.5. Ergonomics

Catia también cuenta con una herramienta de análisis ergonómico dentro de la herramienta del mismo nombre, en la cual, se pueden revisar diferentes aspectos sobre los ensambles en general y determinar la usabilidad del producto, ensamble, estación o línea (véase figura 4.30).

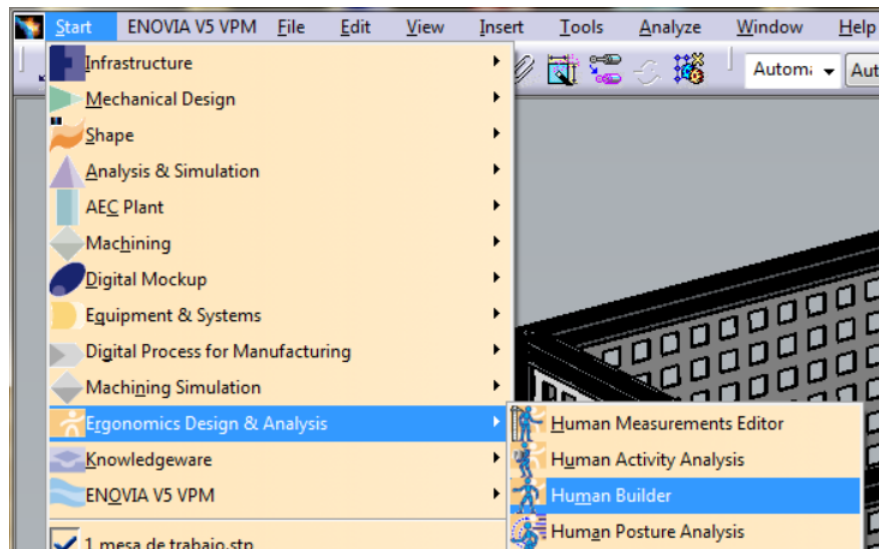


Figura 4.30: Acceso herramienta Ergonomics

Dentro de la herramienta se encuentra un asistente que permite definir género, nacionalidad, porcentaje, etc., sobre las características del maniki (véase figura 4.31) a insertar en el producto deseado. En caso de requerir modificar dimensiones dentro del maniki, basta con seleccionarlo en el árbol y entrar en el ambiente *Human Measurements Editor* para modificar las cotas, o buscar el catálogo correspondiente al humano que se desea para los análisis.

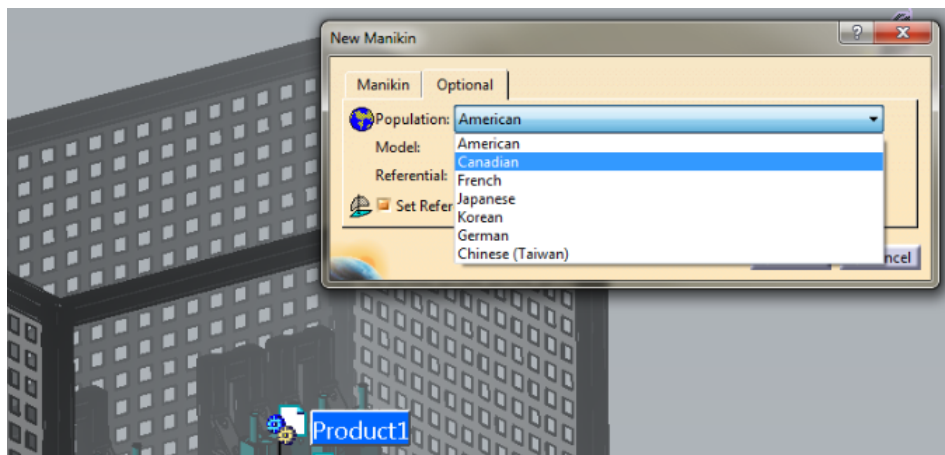


Figura 4.31: Menú ergonomics

Dentro del ambiente *Human Activity Analysis* se pueden medir los parámetros relacionados con los movimientos del maniki. Dichas tareas son fáciles de simular con las herramientas dentro del ambiente, tal como lo son la cinemática por articulación, cinemática por punto de interés y por movimientos específicos; permite la simulación de la «*vista*» del maniki, así como la parametrización completa del sujeto de prueba para mejores resultados. Es importante mencionar que dichos módulos solo validan el modelo a partir de un sujeto prueba, no el proceso y menos sus posibles optimizaciones.

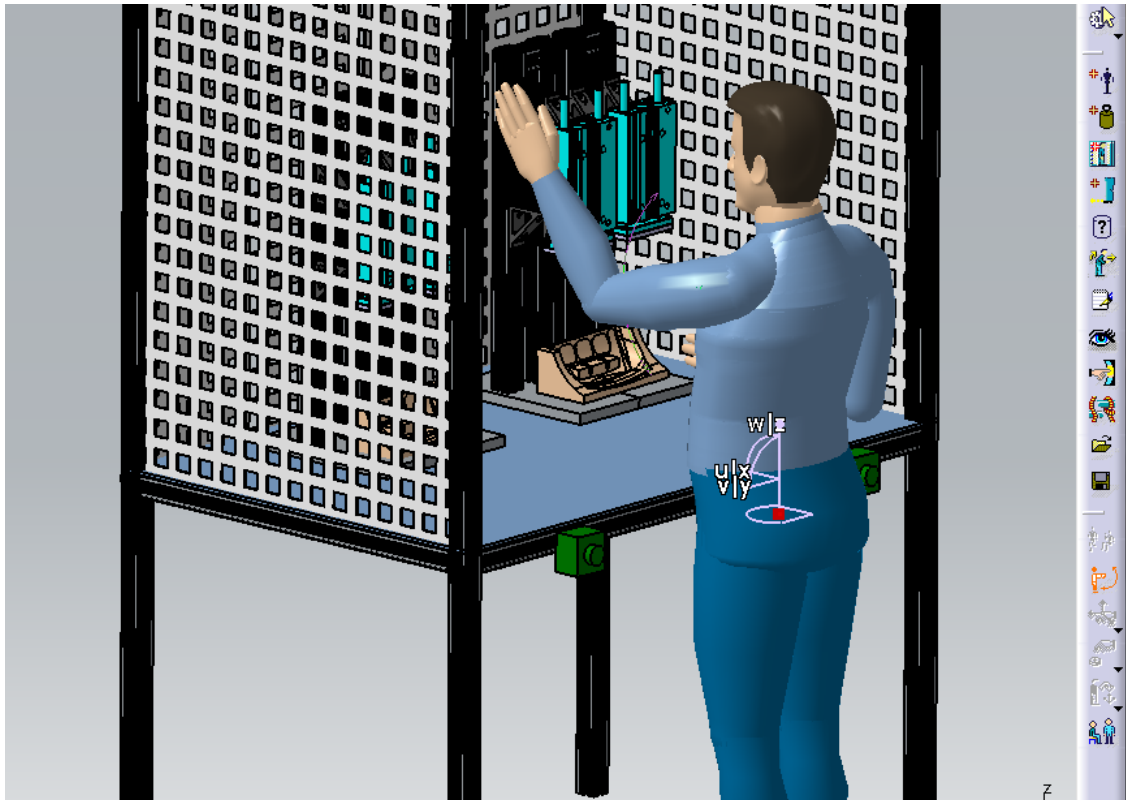


Figura 4.32: Ejemplo de modelo

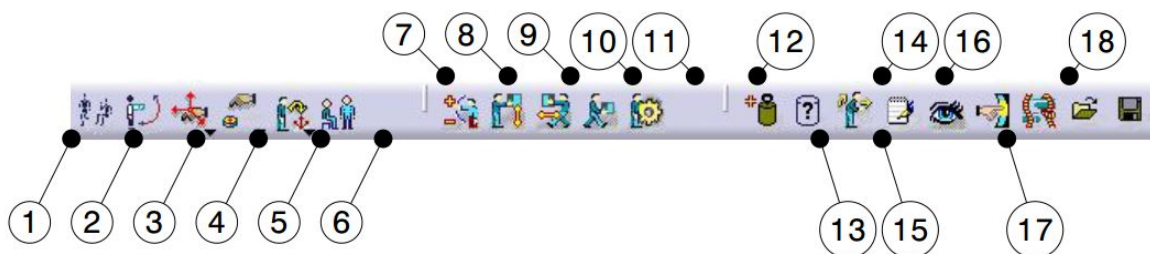


Figura 4.33: Herramientas dentro de el módulo

En la figura 4.33 se pueden ver las herramientas más importantes dentro del ambiente *Ergonomics*, cuyo funcionamiento es:

1. **Posture Edition:** Esta herramienta sirve para controlar la posición y anatomía del maniki, dentro de la interfaz aparecerá un cuadro con los segmentos del cuerpo (brazo, hombro, codo, etc.) y es posible configurar dentro de ellos los grados de libertad de cada articulación, setear el modelo y definir posiciones predefinidas.
2. **Forward Kinematics:** Consiste en el movimiento por medio del mouse de cada extremidad del cuerpo en los diferentes grados de libertad. Mientras que el número 1 realiza los movimientos de manera controlada, en esta herramienta es libre la postura de cada miembro.
3. **Inverse Kinematics Worker Frame Mode:** Como su nombre lo indica, es el control de posición automático por interpolación de la punta de trabajo, la cual es la mano. Al seleccionar esta herramienta, la posición por arrastre del mouse hace que la mano conserve su forma mientras que el resto del brazo realiza los movimientos necesarios para llegar al punto. Esta herramienta permite el control de la mano completa o por herramienta, siempre y cuando se encuentre en la mano del maniki.
4. **Reach:** Configura los puntos de interés con la posición de la mano. Se divide en dos, donde solo se le da una posición y la otra donde le da posición y orientación, es muy útil cuando se saben los puntos exactos de movimiento, pues los movimientos los hace optimizando la posición del brazo.
5. **Place Mode:** Configura la posición del maniki de manera controlada en el ensamble de trabajo. Puede configurarse solo la posición en Z o en los tres ejes.
6. **Standard Pose:** Posiciones precargadas por parte de Catia para los modelos, siendo *de pie* y *sentado* los por defecto.
7. **RULA Analysis:** Herramienta que despliega una interfaz donde es posible configurar los parámetros de postura, frecuencia y repetición de movimientos, carga y balanceo.
8. **Lift-Lower Analysis:** Herramienta que se utiliza para realizar un movimiento de carga ascendente de un modelo en específico en relación con el maniki. Previamente se debe definir la posición fija del cuerpo del maniki, es decir, la posición de las manos o los brazos. Se define el tiempo de acción y la forma en que se levantará o descenderá el peso.
9. **Push-Pull Analysis:** Similar al punto 8, solo que en este se realizan los movimientos frente-atrás.
10. **Carry Analysis:** Interfaz similar a los puntos 8 y 9, salvo que es necesario contar con una ruta de camino definido por un sketch, el cual se selecciona junto con los parámetros de tiempo y modo de caminar por parte del maniki. Útil para simular procesos enfocados al flujo.

11. **Biomechanics Single Action Analysis:** Reporte de control de cada punto realizado en el maniki, con los valores específicos para visualización.
12. **Insert a new Load:** Insertar una carga que será desplazada por el maniki.
13. **Change display:** Herramienta para configurar la forma en la que mira el maniki.
14. **IK Behaviors:** Mejoramiento de posición mediante una interfaz con las variables de articulación del maniki más importantes (Espalda, pelvis, cabeza, etc).
15. **Add description:** Permite agregar descripciones en texto de cada rutina del maniki, para un completo análisis futuro vía documentación.
16. **Vision Window:** Interfaz que permite inspeccionar la forma en la cual *ve* el maniki, con el objetivo de mejorar la ergonomía del sistema. Debe configurarse primero el *Change Display* para cambiar o editar el resultado.
17. **Reach Envelope:** Como su nombre lo indica, es la configuración general de la herramienta *Reach*, es recomendable modificar (si es necesario) lo menos posible esta herramienta, al menos que se tenga claro las formas en las cuales se espera una posición específica para todos los puntos.
18. **Attach/Detach:** Adjunta o suelta algún tipo de enlace del tipo matemático o por puntos entre cuerpos asociados al maniki o actividades entre varios manikis, siendo un punto de seteo para las actividades de simulación.

Esta herramienta permite también la simulación de cada actividad, un conjunto de ellas o toda la secuencia si se importa el mismo a Delmia, dentro de Catia sirve solo como un análisis general de movimientos y desplazamientos para la validación de procesos por el operador, no como validación de todo el proceso en sí.

Como apunte final, Delmia cuenta con herramientas muy parecidas a Catia, y consiste en una interfaz de simulación de procesos para la mejora del mismo, utilizando técnicas de manufactura, como lo es la Lean. Las herramientas utilizadas dentro de la interfaz son muy parecidas a Catia, incluyendo las mencionadas en este apartado, y aunque no se puede diseñar dentro de esta herramienta, se pueden importar los modelos para los análisis de tiempos, ciclos y OEE correspondientes a la aplicación de ingeniería industrial. Es decir, Delmia es una extensión de Catia enfocada al proceso, y por efectos del documento, solo se menciona para conocimiento del lector.

4.2. Diseño eléctrico

Es fundamental el uso de energía en un sistema mecatrónico, debido a que dicha energía será la encargada de mover los actuadores y alimentar a los sensores. Se puede hacer la analogía con el sistema nervioso del ser humano, donde los axiones son los cables que comunican con el cerebro, el PLC.

En este tipo de aplicaciones donde el requerimiento de corriente es bajo, se pueden usar productos del mercado de baja potencia, los cuales ya están asegurados por el fabricante y están disponibles en un catálogo disponible dentro del mercado.

Es importante mencionar que hay algunos casos donde comprar un componente es imposible, debido a las tareas que debe realizar un sistema. En caso de que sea necesario desarrollar un equipo o sistema eléctrico, es importante que el proceso de fabricación contemple los elementos que lo componen disponibles en el mercado, establecer correctamente los métodos de mantenimiento, los análisis de fallas y, sobre todo, flexibilidad desde el diseño, con el objetivo de evitar pérdidas en caso de falla o paro. Lo cierto es que en este tipo de aplicaciones es poco común realizar algún tipo de desarrollo, debido a que, al ser sistemas que se encontrarán trabajando en la parte operativa y su volumen de producción es alto, se busca que todos los componentes se encuentren lo más estandarizados posible, para tareas de mantenimiento, cambios rápidos y ajustes de producción. Por lo cual, a partir de este punto se hablará del diseño del tablero en cuestión, mencionando los elementos del mercado para su instrumentación.

4.2.1. Marcas de componentes eléctricos

Aunque existen múltiples compañías que se dedican a la distribución de componentes eléctricos, lo cierto es que dentro de las empresas automotrices nacionales se ocupan tres marcas, las cuales acaparan el mercado debido a sus equipos tienen buena robustez y funcionamiento.

- **Schneider:** Es una compañía dedicada exclusivamente al equipamiento eléctrico, teniendo desarrollos de componentes cada año, ya sea en función o mejoras que indirectamente mejoran el desarrollo de la implementación. Cuentan con equipos de potencia alta, media y baja, están normalizados y cuentan con un catálogo extenso. Es recomendable debido a que provee, además de los equipos, cursos y capacitaciones para la implementación de sus sistemas.
- **Finder:** Tiene una calidad menor a la primera, pero sus componentes son robustos y funcionan bien cuando el tiempo de vida es a mediano plazo. Son de menor costo, típicamente 2/3 partes que Schneider, por lo que su uso es frecuente en los tableros de uso general, en especial sus dispositivos de potencia, tal como relevadores y termistores.
- **Rittal:** Además de componentes eléctricos, también tiene una línea de aplicaciones centradas en Domótica, mercado en el cual tienen un crecimiento apreciable.

su precio es parecido a Schneider, y es la preferida para industrias del Norte del país, debido a que sus sistemas son parecidos a los de ABB.

- **ABB:** Tienen un catálogo que inicio como una propuesta de componentes eléctricos para sus sistemas robóticos, y que con el tiempo creció hasta tener elementos eléctricos adecuados para la construcción de tableros. Su precio es mayor a los de Schneider, pero responden de manera eficaz a los sobretiros o demandas eléctricas de potencia.
- **Weidmüller:** Dedicada a los componentes eléctricos para los procesos de manufactura, tienen un catálogo que busca posicionarse en el mercado a partir de costo y calidad, tomando en cuenta que la vida útil de este tipo de aplicaciones es de 1 o 2 años. Sus equipos por tanto son los más baratos de la lista, pero tienen una calidad que es suficiente para la mayoría de los procesos. Es la marca más común dentro de los tableros eléctricos y en general es recomendable utilizar la marca en aplicaciones de potencia baja o media.

En general, los elementos de bajo nivel energético o de potencia baja, tal como lo son clemas, conectores multipolos, etc, se recomienda usar una marca de bajo costo, y los dispositivos de potencia alta o de funcionamiento crítico bajo una marca de alta calidad, aunque como se mencionó en el capítulo anterior, los gastos de construcción dependen de la vida útil de la línea y el retorno de inversión del proyecto.

4.2.2. Elementos eléctricos para tableros

Para aclarar mejor cuales son los elementos utilizados en la construcción de los tableros, se mencionarán los elementos dentro de él junto con una breve explicación de cada uno de ellos. Cabe mencionar que todos los elementos en este capítulo están bajo norma DIN, debido a que la empresa en donde se implementó la línea es de origen alemán.

- **Platina:** Es la placa interior dentro del tablero eléctrico o neumático. Esta hecha de un metal galvanizado que permite el paso de corriente, sirve como soporte para los rieles donde se colocarán los componentes electrónicos y siempre deben estar ancladas a tierra física, para evitar daños dentro del sistema. Van con tornillos al tablero y los rieles pueden ir atornillados o remachados, según convenga.
- **Riel:** Lámina estampada en forma de ranura modo U, la cual sirve como soporte para los equipos eléctricos. Su tamaño y geometría depende de la norma en la cual se quiera implementar, y se debe tener especial cuidado en los filos después del corte, para evitar daños en los componentes o virutas metálicas que puedan generar cortos dentro del sistema.
- **Termomagnético:** Todo sistema eléctrico debe tener un dispositivo de seguridad que corte la corriente al momento de una sobre carga. El termomagnético consiste en un fusible sensible al calor, por lo que protege al sistema de corrientes

ocasionadas por sobretiros y por la acumulación de potencia en cada uno de los elementos de la red, liberando una pastilla que solo puede ser reactivada de forma manual. Se encuentran de múltiples líneas y cuenta también con un interruptor mecánico para tareas de mantenimiento.

- **Interruptores de fase:** Pastillas para la conexión de líneas, pueden contar con fusibles independientes.
- **Canaleta:** Cubiertas plásticas de forma cuadrangular de dos partes, tapa y contenedor. Se utilizan para proteger y ordenar el cableado dentro del tablero, y son de distintos tamaños.
- **Clema:** Equipo eléctrico que funciona como nodo para la unión de dos cables por apriete por tornillo y contacto. Al evitar el uso de soldadura, los cambios de componentes son rápidos, al igual que estas piezas.
- **Relevadores:** Empaquetados de 3 y 5 vías con el relevador dispuesto para cambios rápidos en caso de falla. Debido a que el empaquetado del relé es el que realiza la función, el resto del equipo ocupa el espacio de una clema, optimizando el espacio del tablero. Cuentan con una pastilla que se libera en caso de sobrecarga, indicando el cambio de empaquetado.
- **Conectores multipolos:** Arreglos de cables en un empaquetado y un conector, los cuales sirven para reducir el número de cables en el sistema. Existen empaquetados de 8, 12, 16 y 24 polos, con sus respectivos conectores macho y hembra.
- **Botones:** Son contactos NA o NC mecánicos, los cuales constan de pastillas que realizan la función de inicio o paro.
- **Interruptores de Emergencia:** Botones normalmente cerrados conectados directo a la línea de energía, los cuales, al momento de ser activados, abren el circuito terminando con la energía dentro del proceso. Deben al menos contarse con un interruptor por cada punto de riesgo.

Cada uno de los dispositivos depende de su aplicación en cuanto a potencia se refiere, por lo que el conocimiento de los catálogos del fabricante es primordial para la selección de los mismos. Aunque el diseño descrito en esta sección solo se refiere a la disposición de los componentes ya mencionados para ejecutar las tareas relacionadas con el control y la automatización, se debe mencionar que el cálculo de potencias y energías es importante cuando el tablero es de volumen reducido o cuando la potencia utilizada es alta, y siempre se deben tomar en cuenta las indicaciones mencionadas en la sección *Normas* dentro del capítulo *Marco teórico* descrito en este documento.

4.2.3. Diseño de tablero eléctrico

Como se puede observar en la figura 4.34, se realiza la estructura en cuatro niveles. En la parte superior o nivel 1 se utiliza un relevador termomagnético de tres fases y tres interruptores (véase figura 4.35). El termomagnético funciona como fusible mientras que los interruptores permiten la energía de las fases dentro del sistema. La energía es de 220V, ya que el robot y la fuente del PLC funcionan a este voltaje, junto con la fuente de soldadura y el atornillador eléctrico. Al lado se conectan borneras de cada una de las fases, aunque en esta estación solo son requeridas tres líneas: positivo, negativo y tierra.

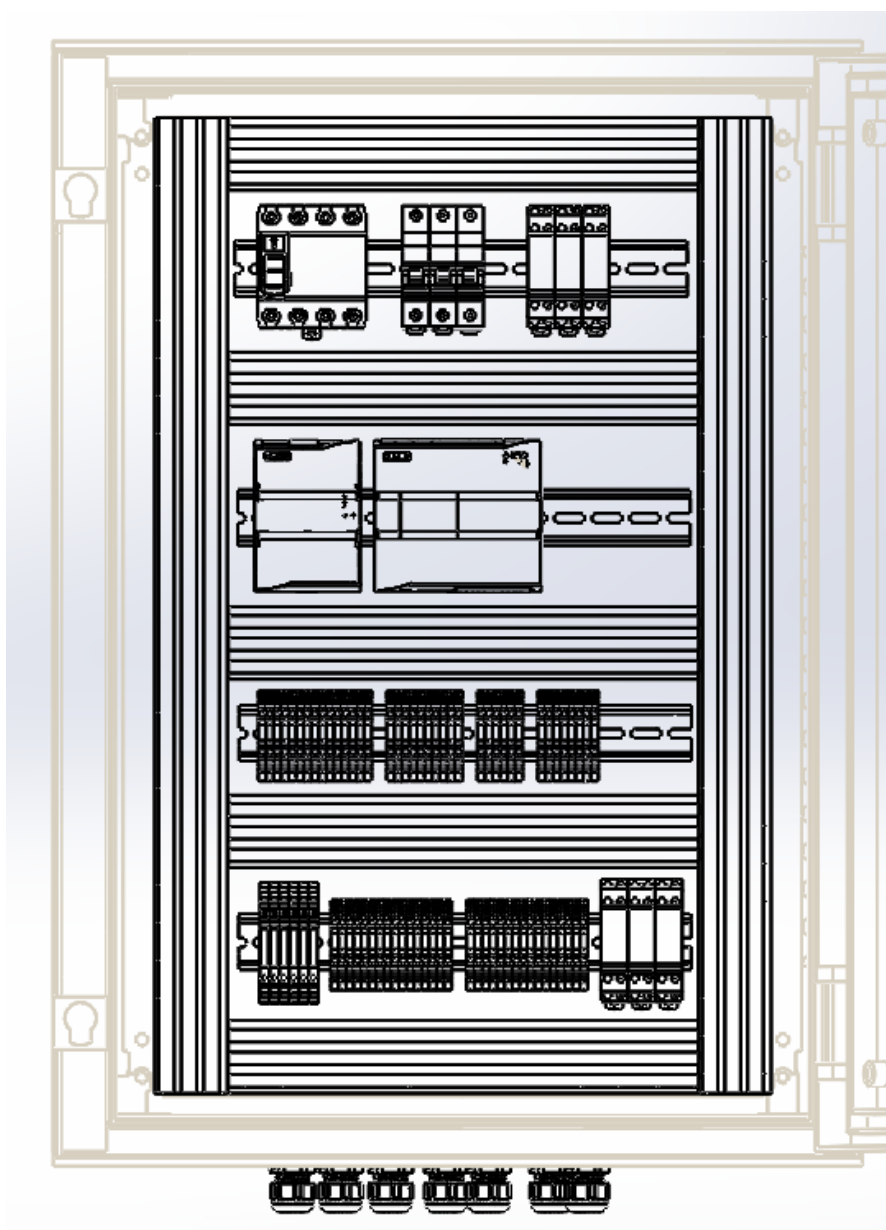


Figura 4.34: Diagrama de tablero eléctrico general

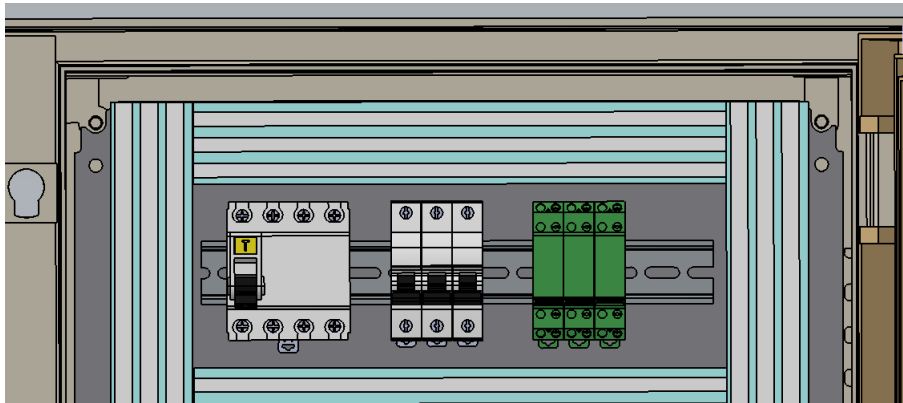


Figura 4.35: Nivel superior

En el segundo nivel se encuentra la etapa de control, la cual cuenta con la fuente de poder y el controlador. Para la línea se utilizan los modelos PM120 y PLC 1214 en fuente y PLC, respectivamente (véase figura 4.36). La salida de la fuente es de 24V, mientras que el PLC controla los clamps, las banderas de inicio y paro del robot, atornillador, cortinas y sensores de seguridad, según la estación. El cable usado en la etapa de control es de calibre 14, debido a que no se requiere potencia en esta zona del tablero pero soporta la corriente de 5 A normal en estos dispositivos; la mayoría de la comunicación entre equipos especiales es a través de profibus, cuyo zócalo es colocado a la orilla de los tableros.

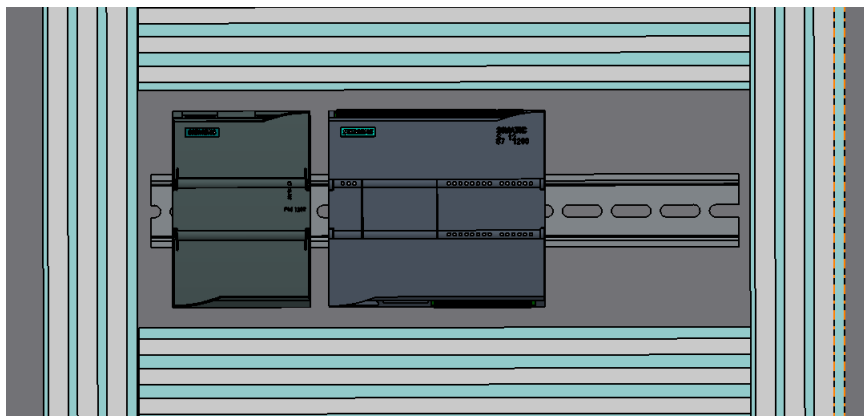


Figura 4.36: Segundo nivel

El tercer nivel cuenta con cuatro zonas: la zona de entradas; las cuales constan de clemas que vinculan las entradas del sistema con las del PLC, la zona de salidas; las cuales vinculan las salidas del PLC con el sistema, las de bit especial para el robot; como lo son seteo y seguridad, y las señales de uso general. En el último nivel se cuenta con el sistema de energía de la cortina fotoeléctrica de seguridad, los relevadores para la etapa de potencia, y el cableado concerniente tanto a voltajes como tierras correspondientes a dichas etapas, sensores, etc. En la figura 4.37 se muestran los niveles 3 y 4.

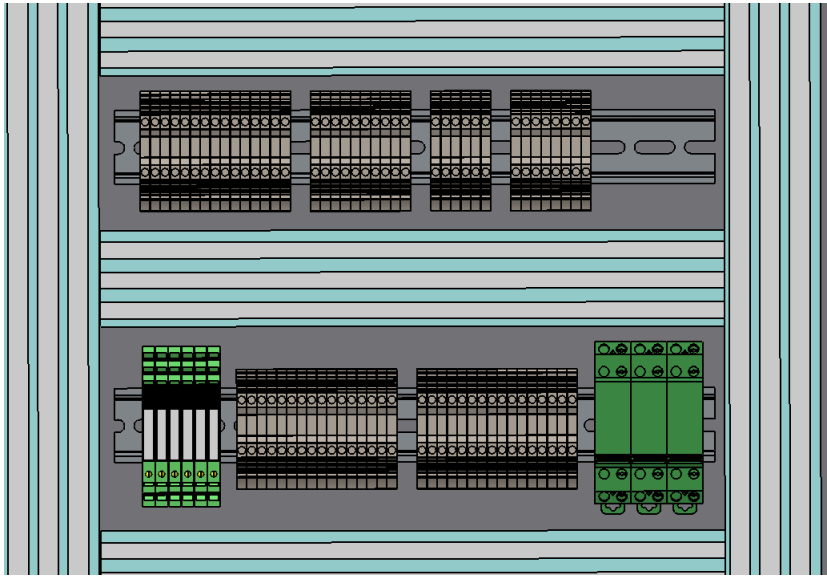


Figura 4.37: Tercer y cuarto nivel del tablero

Nótese que todos los conductores deben estar numerados, la numeración se hace par para las salidas y non para las entradas, y se agrega una cabecera para determinar la zona y la estación. Por lo que el cable uno de izquierda a derecha del primer nivel de la estación 4 se observa:

04.01.001

La razón de la colocación de puntos y no de espacios es debido a cuestiones de espacio. También se puede observar que la canaleta se encuentra rodeando la platina, esto para facilitar las tareas de conexión y aumentar las rutas para los cables, mientras que los PGs que se encuentran en el tablero sirven como base para los conectores de n cantidad de polos, (el estándar son 8 polos por conector). La función de la canaleta; como es evidente, es proteger la instalación manteniendo el cableado dentro de sí misma, mientras que los PG protegen el empaque de los multipolos que van directo a la estación de ensamble.

Se facilita el diseño eléctrico con el uso de elementos de catálogo, ya que aseguran corrientes y voltajes de operación que facilitan los cálculos; y si a cada equipo se le alimenta de forma individual asegurando su corriente a la entrada, basta solo con usar correctamente los periféricos dentro de cada sistema de control para llevar a cabo la tarea. Los planos generales se deben encontrar en la documentación de la información básica del equipo de cada estación.

Las conexiones de cada multipolo junto con los equipos especiales siguen el mismo principio de etiquetado y conexión, por lo que la parte eléctrica en este tipo de aplicaciones tiene su peso en la instalación, más que en el diseño cuando se utilizan elementos eléctricos de catálogo y las normas mencionadas en el *marco teórico*; pues los tableros y las estructuras eléctricas que funcionan por propósito general se encuentran

ya documentadas e instrumentadas en las empresas, y basta con realizar la ingeniería inversa para diseñar y desarrollar.

La medición de la calidad de soldadura se realiza por cámara, mientras que la validación de puesta correcta de pieza, posición de los actuadores, y verificación de grapas mediante sensores inductivos. El realizar los trabajos de inspección por cámara resuelve sustancialmente el cableado, debido a que es posible emplear recetas similares por punto para medir contrastes en la cámara y utilizar la comunicación profibus entre el PLC-HMI-Robot-Soldadura ultrasónica-Atornillador, según cada caso.

4.2.4. Marcas de componentes neumáticos

Al igual que la explicación de las marcas de componentes eléctricos en la sección anterior, es importante mencionar algunas marcas presentes en las industrias actuales junto con su relación de costo, con la intención de mejorar la gestión de recursos al momento de ejecutar las compras o investigar componentes para el diseño.

- **Festo:** La marca número 1 en cuanto a cilindros se refiere, debido a que sus equipos tienen una vida útil alta y una fiabilidad comprobada en la mayoría de las industrias. Su precio en comparación con las demás marcas es muy alto, típicamente un 300 % en comparación con un SMC. Tienen también su línea de componentes electrónicos, neumáticos e hidráulicos y está presente en las empresas de primer nivel.
- **SMC:** Son la segunda opción en cuanto a vida útil y fiabilidad de funcionamiento. Su precio es moderado, cuenta con su línea de componentes, pero la calidad de ellos en comparación con los sistemas Festo es de un 35 %, al igual que su vida útil. Son la opción para aplicaciones de bajo costo o de ciclos bajos.
- **Airtag:** Cilindros de costo más bajo, alrededor del 75 % a un SMC, tiene un catálogo que se adecua a la mayoría de aplicaciones de propósito general, pero las características de calidad y vida útil en comparación con Festo simplemente son inferiores de manera considerable. Sus aplicaciones se limitan a sistemas de bajo uso y poco volumen, debido a su poca fiabilidad.

4.2.5. Elementos neumáticos

Además de los cilindros mencionados en el capítulo *Marco teórico*, es importante mencionar los componentes con los cuales funcionan dichos actuadores, para facilitar la explicación del diseño e instrumentación neumática.

- **Electroválvula:** Consiste en una válvula neumática accionada por una señal eléctrica que estimula un solenoide en una o dos entradas. Existen de 2, 3 y 5 vías, cuya diferencia radica en el modo de energizar y liberar la presión de los actuadores. Las electroválvulas se prefieren con retorno por muelle por cuestiones de seguridad, colocando por defecto en la programación el retorno por muelle la desenergización del cilindro.

- **Manifold:** Consiste en un maquinado que consta de las vías donde se asegura las electroválvulas, son en paquetes de 5 vías, y cuentan con sellos plásticos para evitar las fugas de presión.
- **Silenciadores:** Son sistemas porosos que liberan la presión generada durante los ciclos de trabajo, parecidos a la válvula de seguridad en un sistema hidráulico; la cual se abre cuando la presión dentro del sistema excede la del sistema de alimentación. Todo manifold debe contar con al menos dos silenciadores.
- **Racor:** Rosca metálica con un seguro plástico a la salida. Gracias a su interior con un anillo dentado hacia dentro, asegura la manguera que alimenta a los cilindros al momento de entrar en él, solo siendo capaz de liberar la manguera con la presión exterior en el anillo plástico. Son de diferentes tamaños, la rosca es estándar y la ranura de la manguera métrica.
- **Tapón:** Son racores sin salida, es decir, solo con rosca, con el objetivo de sellar las vías del manifold que no van a ser ocupadas.
- **Manguera neumática:** Tubo transparente de plástico que funciona a diferentes presiones según el grosor de la pared, evitando tensado por la inyección de aire. Vienen normalizadas por 5, 10 y 15 bares.
- **Unidad de mantenimiento:** Consta de una cámara de filtrado de aire y una de regulación de presión con su manómetro. La más sencilla consta de una etapa de filtrado, la cual se conecta preferentemente por conexiones rápidas a las líneas de energía. La parte de filtrado sirve para eliminar contaminación o la humedad dentro de la línea, la parte de dosificación de presión consta de una llave regulable con un manómetro como indicador, y un interruptor de flujo.
- **Finales de carrera:** Sensores inductivos que detectan el vástago a través de la superficie de la cámara del cilindro. Existen de abrazadera, del tipo U por apriete de tornillo y por correa, siendo los de abrazadera los más baratos y más simples de usar. Como todo sensor inductivo, cuentan con tres líneas, y normalmente se asocian a un multipolo.

4.2.6. Diseño de tablero neumático

Es importante que cada sistema de sensado y actuado este correctamente validado y simulado dentro de los subsistemas y el ensamble. La elección depende de las características de los elementos (*apartado sensores y actuadores*) como en la forma en la cual se comportarán dentro del sistema global, su funcionamiento y su tasa de fiabilidad; como se mencionó en el *Marco teórico*. En el caso de los sensores, se puede utilizar las herramientas de simulación como Proteus o Multisim, mientras que los actuadores neumáticos se puede emplear la herramienta Festo FluidSim, la figura 4.38 muestra un diagrama de un sistema a pasos de un sistema de clampeo de prueba.

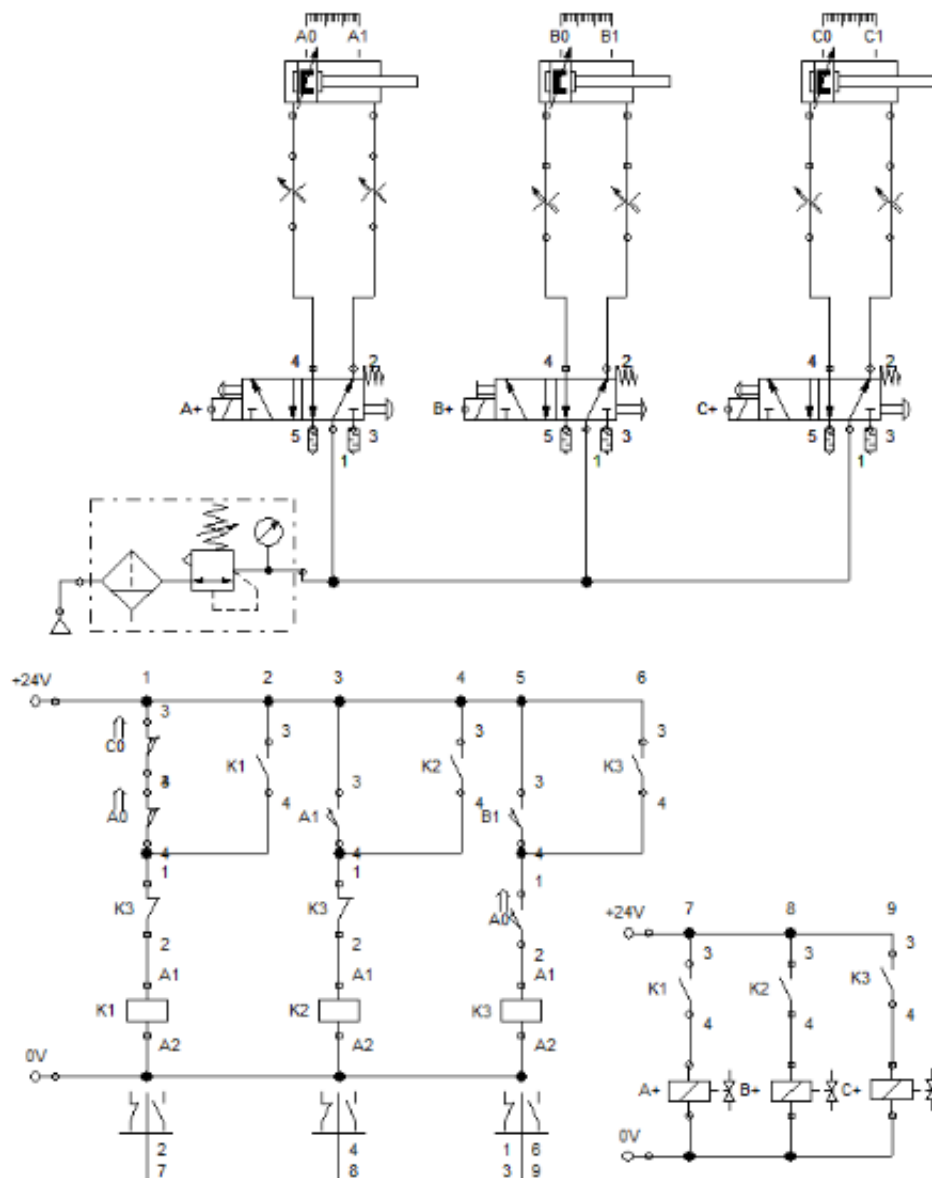


Figura 4.38: Simulación de un sistema de clampeo

El sistema eléctrico va de la mano con el sistema neumático, debido a que los sistemas de accionamiento de los cilindros denominados electroválvulas requieren de un nivel de voltaje para ser activados, por lo que la comunicación con el área de control es necesaria. No es necesario que el sistema neumático se encuentre dentro de un gabinete, pero es necesario que el sistema completo se encuentre lo suficientemente protegido tanto estructural como ambientalmente. En la figura 4.39 se puede observar el tablero neumático, en donde el primer nivel está reservado para las conexiones eléctricas y el segundo las electroválvulas de 5 vías por retorno de muelle.

La disposición de la canaleta debe separar los cables de las mangueras, lo usual en este tipo de configuraciones es mantener los rieles separados, canaletas individuales y usar los PGs con espiral como salida de las mangueras y los conectores multipolos para el cableado del tablero neumático al general. Sobra decir que también se debe realizar un cableado estructurado aquí y etiquetado de las mangueras, electroválvulas y marcaje de la unidad de mantenimiento similar al explicado en la parte eléctrica.

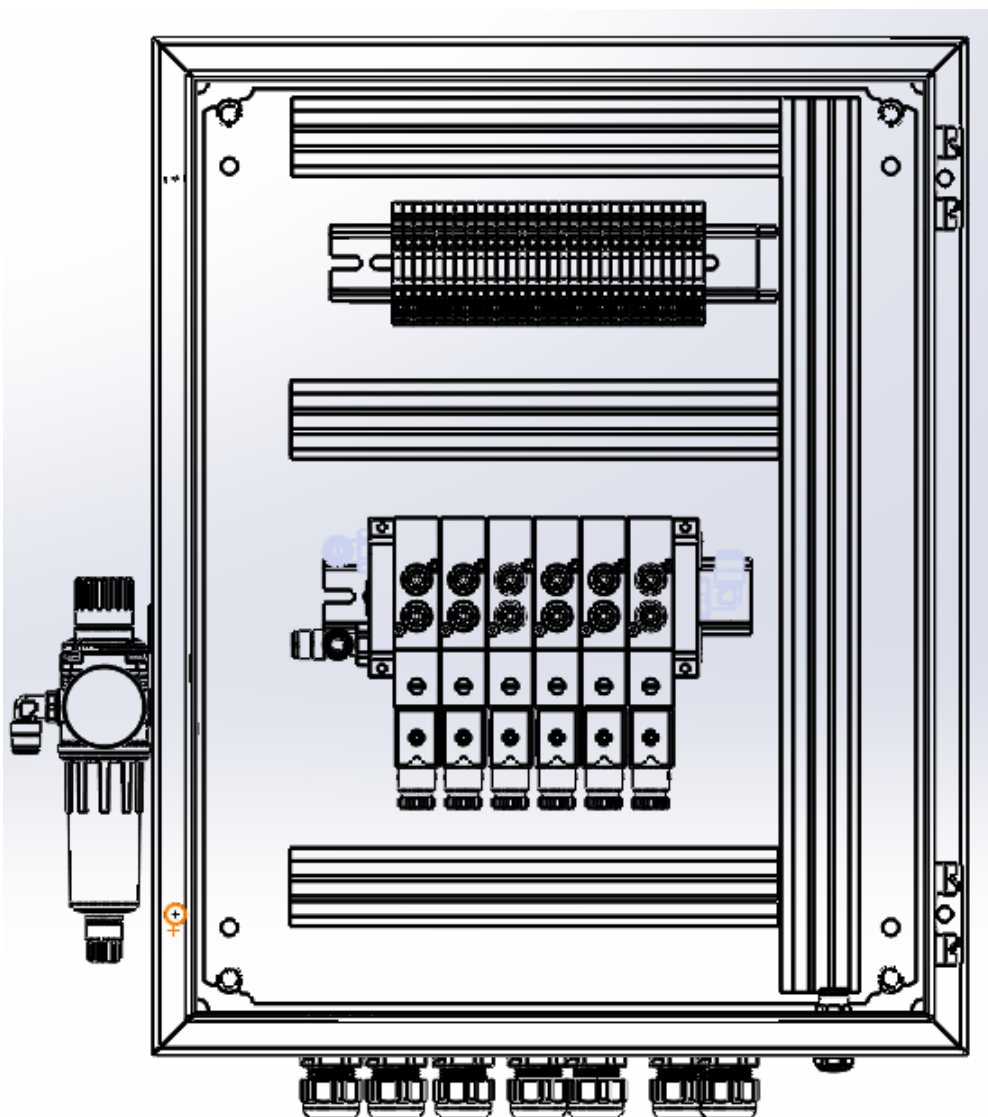


Figura 4.39: Tablero neumático

4.3. Programación de robot UR

El lenguaje de programación del robot UR difiere un poco de la programación de robots industriales porque la programación está basada en GUI. Es una programación similar a Python y con su interfaz PolyScope, se puede programar en cinco niveles:

- **Asignación:** Se define una instrucción script, se asigna un valor a la variable y se realiza la estructura de los comandos, mostrando el resultado de variables en el Teach Pendant (figura 4.40).
- **Código de script-line:** Ejecuta una sola línea de script, y los puntos no aparecen en la pestaña de gráficos dentro de la animación.
- **Código de script-file:** Carga un archivo script de la memoria, se puede modificar y copiar a través de Ethernet, pero el código no se puede simular.
- **Llamado de funciones:** Muy útil para subrutinas específicas, debido a que puede tomar argumentos y devolver valores a la salida.
- **Interfaces Cliente:** Las interfaces pueden ser cargadas directamente por Ethernet, y las variables de entrada y salida se realizan a través del protocolo de comunicación elegido, junto con los demás elementos de la red.

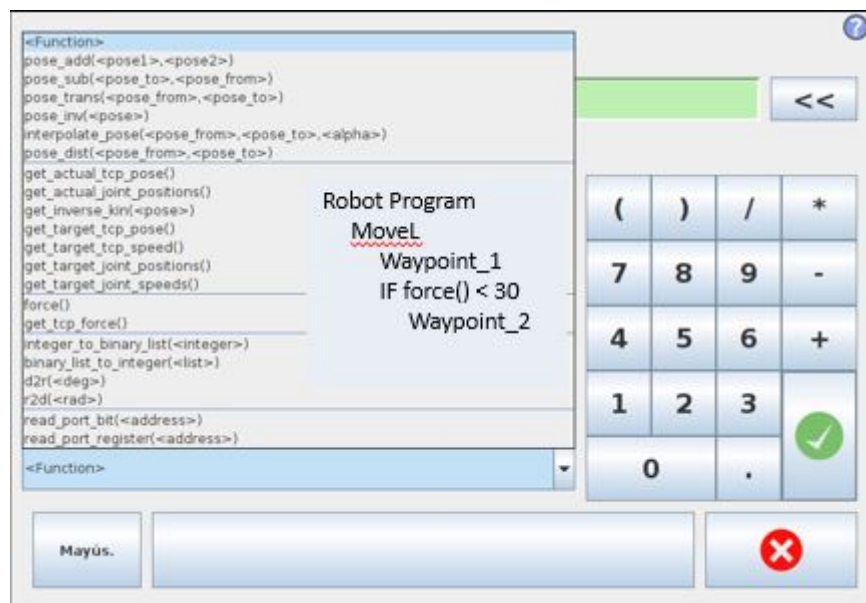


Figura 4.40: Asignación de variables en el teach pendant (UR, 2016)

Las variables se convierten en transformadas de posición, las cuales se pueden programar de diferentes formas, pero el método de conversión es a través del PolyScope y el controlador del robot (véase figura 4.41).

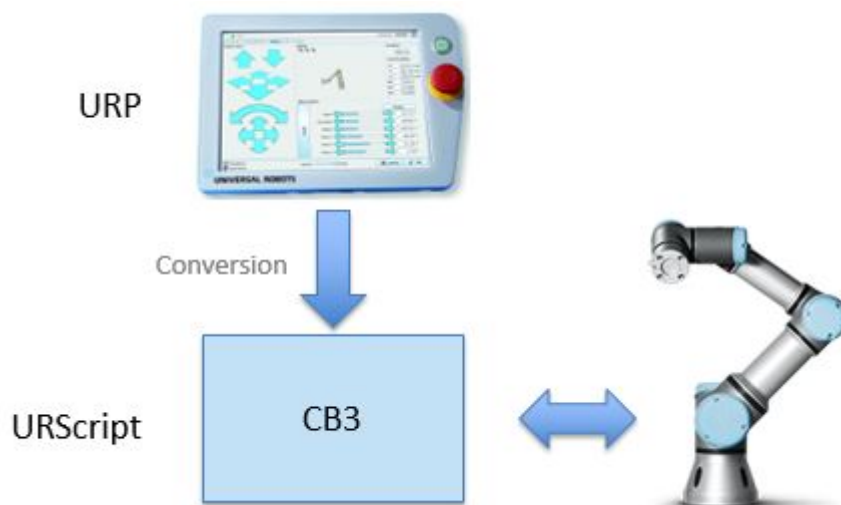


Figura 4.41: Método de conversión (UR, 2016)

Las posiciones se graban a través de vectores dentro de la interfaz o del modo aprendizaje, lo ideal es realizar la programación a través del uso de las coordenadas globales de la estación (véase figura 4.42), sin embargo, el ajuste que se realiza en modo aprendizaje o a través del teach pendant.

| Elementos Pose | |
|---------------------|------------|
| $p[x,y,z,rx,ry,rz]$ | No. índice |
| x | [0] |
| y | [1] |
| z | [2] |
| rx | [3] |
| ry | [4] |
| rz | [5] |

Figura 4.42: Sistema de entrada de transformadas (UR, 2016)

La formación de los planos se realiza de forma similar a la de otros robots; es decir, se colocan tres puntos en el espacio con ciertas coordenadas previamente definidas. Es importante que cada plano sea linealmente independiente y que la configuración responda de acuerdo al volumen de trabajo del robot (véase figura 4.43).

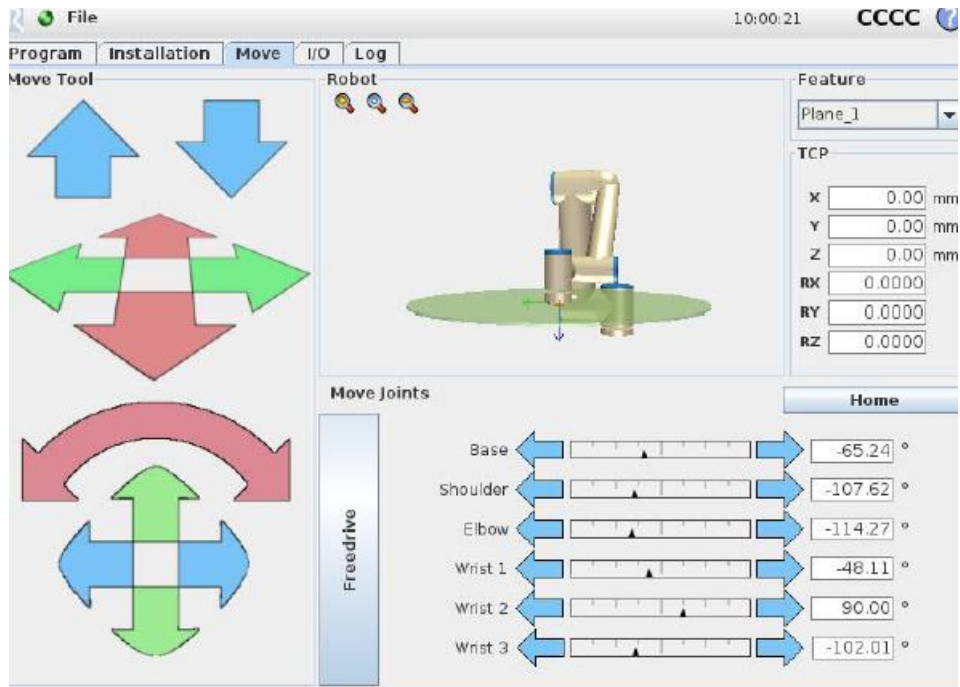


Figura 4.43: Interfaz de planos de seguridad (UR, 2016)

Finalmente, la configuración del centro de masa de la herramienta se realiza en la interfaz de ajuste del TCP, el cual obedece al centro de masa desde el centro de la herramienta (véase figura 4.44).

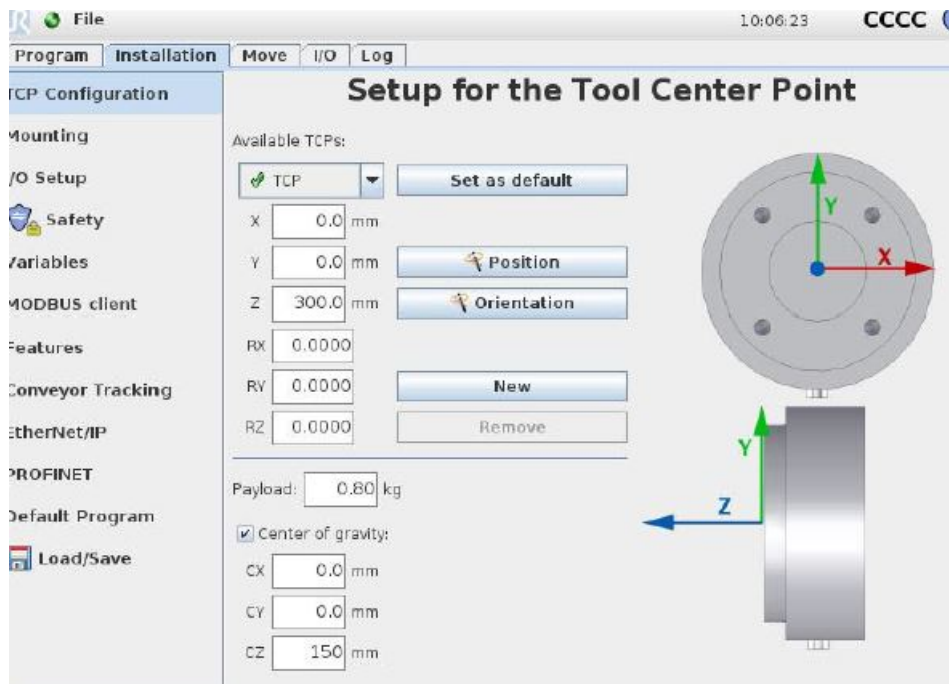


Figura 4.44: Interfaz de ajuste de herramienta (UR, 2016)

La interfaz de comunicación se puede realizar dentro de la interfaz de configuración de red (figura 4.45) disponible en el teach pendant; aunque para configurar el dispositivo se deben anular los programas dentro del robot y realizando el seteo de la configuración del robot.

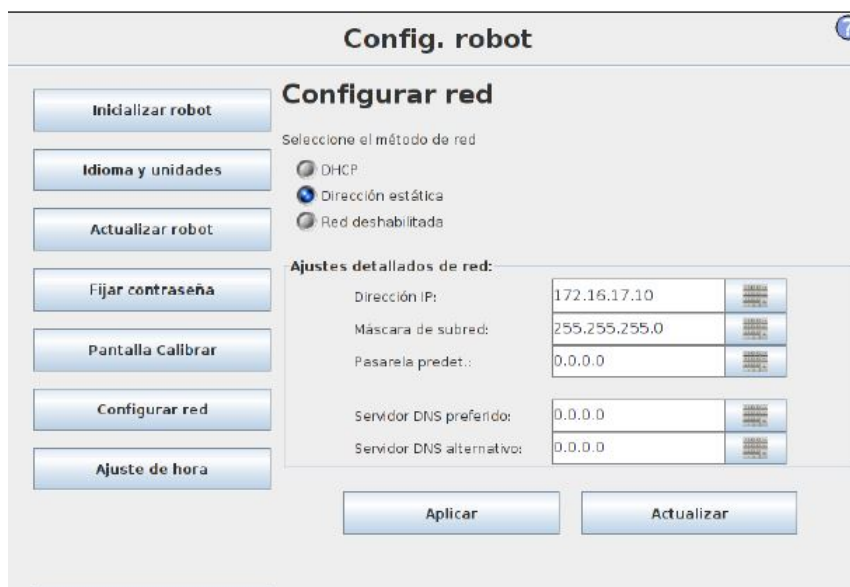


Figura 4.45: Interfaz de configuración de red (UR, 2016)

Después de vinculado el robot dentro de la red del PLC, éste funciona como maestro, y básicamente envía peticiones a los servidores o esclavos a partir de paquetes, cuyos datos son entradas y salidas digitales de registro. Dichas variables también se pueden observar en el teach pendant pero en la interfaz de ModBus, indicando el protocolo Ethernet de preferencia; que en este caso es la estructura Profinet. En la figura 4.46 se puede observar la estructura a bloques de los robots funcionando como servidores.

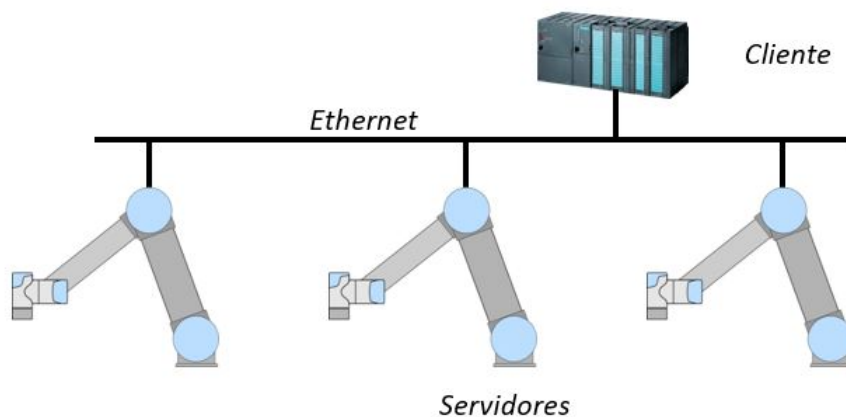


Figura 4.46: Esquema a bloques de protocolo red (UR, 2016)

Para iniciar un programa, basta con la asignación de las variables dentro del mismo (véase figura 4.47) y tener especial cuidado en la declaración de cada uno de los puntos de acuerdo al lenguaje de programación, tal como se ve en la figura 4.48.

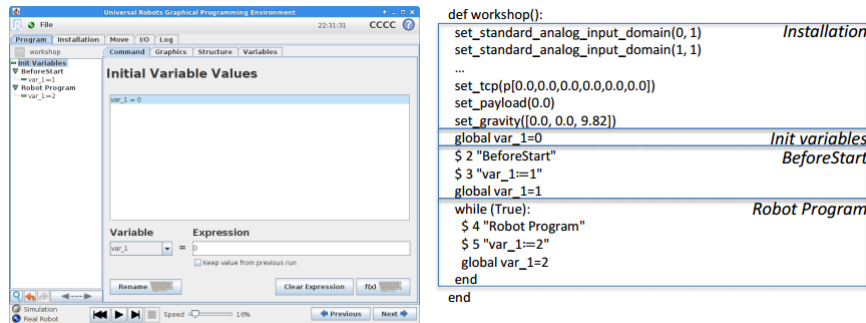


Figura 4.47: Ejemplo de variables y funciones (UR, 2016)

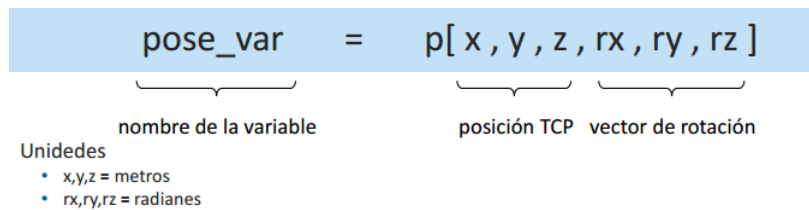


Figura 4.48: Transformada pose (UR, 2016)

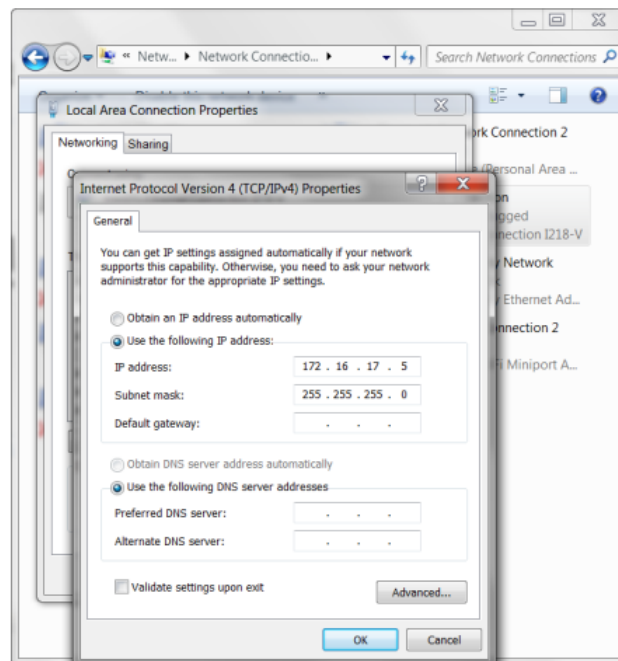


Figura 4.49: Configuración de red en W7

La comunicación por red debe considerar la dirección IP y la máscara de Subred, donde la IP esté en el mismo rango que la PC (para configurar la red, dentro de la PC se debe especificar las propiedades en conexión de red como se muestra en la figura 4.49) mientras que la máscara de subred debe ser **255.255.255.0**, tal como se muestra en la figura 4.50. Ya que el robot tiene dos sonotrodos, se puede utilizar el siguiente ejercicio para propósitos de demostración. En la figura 4.51 se muestra la configuración de un gripper con dos herramientas sobre el plano Y del TCP, también se muestran las dimensiones y la base móvil del plano de referencia.



Figura 4.50: Configuración de red en robot (UR, 2016)

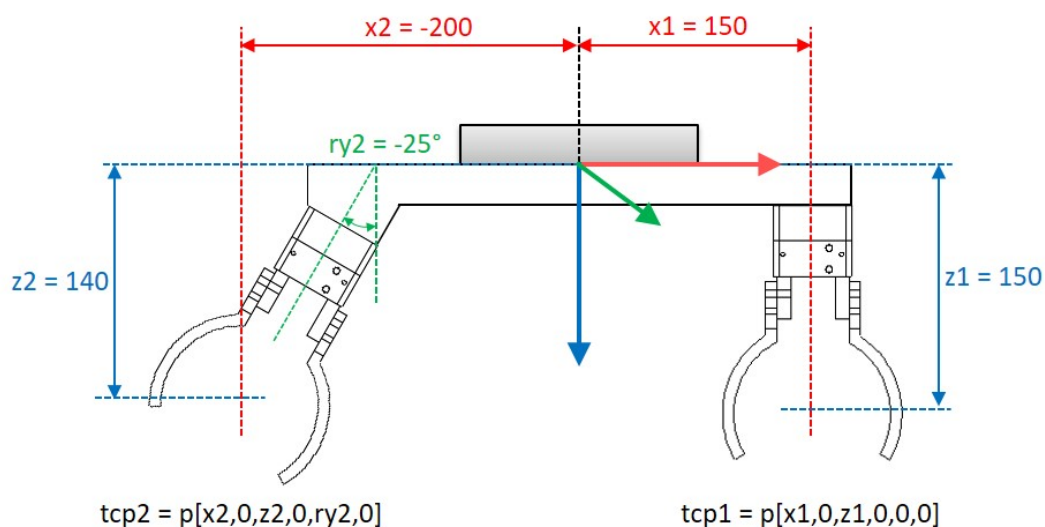


Figura 4.51: Sistema gripper con 2 herramientas (UR, 2016)

Las variables se pueden representar de la siguiente forma:

- Valores tcp1
 - Datos
 - $x_1=150\text{mm}$
 - $z_1=150\text{mm}$
 - $\text{tcp1} = \text{p}[0.15,0,0.15,0,0,0]$
- Valores tcp2
 - Datos
 - $x_2=150\text{mm}$
 - $z_2=150\text{mm}$
 - $\text{ry}_2=-25^\circ$
 - $\text{tcp2} = \text{p}[-0.2,0,0.14,0,\text{d2r}(-25),0]$

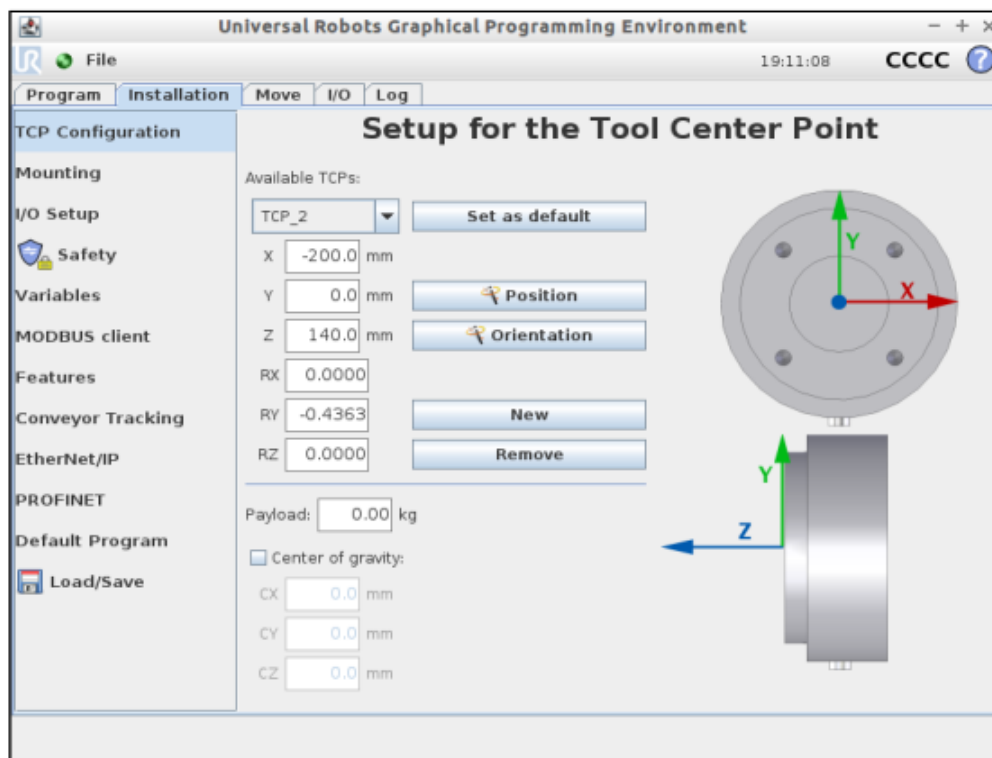


Figura 4.52: Anexo de TCP (UR, 2016)

Para realizar la iniciación del robot, es importante en el apartado de configuración colocar el *Feature Base* como variable y definir el tcp también variable, y definir las

dimensiones de ambas herramientas dentro de la interfaz *setup* (véase figura 4.52). Para anexar ambos TCPs, basta con hacer clic en nuevo, y definir las características del mismo. También en este menú se puede editar los parámetros de peso y centros de masa; pero para efectos explicativos, este punto no se utiliza en la programación, salvo mencionar que el ajuste de estos parámetros con el ambiente real mejora la dinámica del robot y aumenta su vida útil, ya que éste y la mayoría de robots disponen de software que mide y evalúa los efectos de arrastre de las herramientas de manera automática.

```
BeforeStartSequence
tcp = 1
tcp1 = p[0.15,0,0.15,0,0,0]
tcp2 = p[-0.2,0,0.14,0,d2r(-25),0]
MoveJ
    home
Robot Program
IF tcp = 1
    set_tcp(tcp1)
    tcp = 2
ELSEIF tcp = 2
    set_tcp(tcp2)
    tcp = 1
MoveL
    Waypoint_1
    Waypoint_2
    Waypoint_1
```

Figura 4.53: Cambio de TCP automático de dos herramientas

El código para cambio de TCP automático se observa en la figura 4.53. La función *BeforeStartSequence* es la función de iniciación, donde se declara a la herramienta 1 como la principal, se declaran las coordenadas de cada herramienta y el tipo de interpolación para la posición home. En el programa principal, se hace una evaluación tipo If, donde define el valor del TCP, determina si es la principal o la secundaria, y luego le cambia el valor para asignarle la siguiente herramienta. Cada herramienta debe llegar a los mismos puntos, por lo que el programa de puntos es independiente a la herramienta y a la base del robot, mejorando la programación y los cambios de ser necesarios.

4.4. Programación de PLC-HMI

La parte de control dentro de la línea en general es vital, debido a que el control será encargado de gestionar y realizar las activaciones y detecciones del sistema junto con los equipos especiales, por lo que esta área debe estar en constante comunicación con la parte eléctrica.

4.4.1. Generalidades

Además de lo ya mencionado dentro de los capítulos *Marco teórico* y *Metodología de diseño y desarrollo*, es importante mencionar la **Jerarquía de programación en interfaces** para la correcta implementación de la visualización de control y llaves de seguridad necesarias dentro de cualquier proceso. En la figura 4.54 se puede observar la pirámide que responde a esta jerarquía, donde los niveles se definen por:



Figura 4.54: Jerarquía de programación

- **Operador:** Consiste en la programación de la interfaz en la cual se mencionan las características del proceso y se guía al usuario de las tareas que debe realizar, con las ayudas visuales pertinentes. Es importante hacer el entorno lo más visual posible, con indicaciones claras, usar animaciones y el menor texto posible, ya que es común que las personas dedicadas a operar la máquina solo cuentan con un nivel de estudios básico o medio; por lo que, si pueden realizar una tarea de forma más simple, lo harán, afectando la seguridad del proceso.
- **Control:** Consiste en la programación de la interfaz que puede observar un supervisor o coordinador, la cual se enfoca en el rendimiento de la estación en cuestión. Determina el número de piezas OK y NOK, el tiempo trabajado y los tiempos de productividad, de tal modo que le permite saber un estado general de

dicha estación en cuestión. La programación debe contener los datos necesarios para evaluar el desempeño del operador, no realizar cambios en ella.

- **Mantenimiento:** Consiste en la programación de la interfaz que le pueda facilitar la tarea de inspección y mantenimiento al operador, para realizar sus tareas en caso de paro. Básicamente es un entorno visual de las entradas y salidas del sistema, las cuales mandan en tiempo real un estado, dando las guías necesarias para encontrar problemas de forma rápida y sencilla. Es recomendable hacer dicha interfaz separada entre entradas y salidas, de forma ordenada y clara.
- **Gestión:** Interfaz hecha para realizar los cambios en cuanto a producción, tiraje y cambios de modelo que no requieran una re programación del equipo en cuestión. Por su importancia en el sistema, es necesario que dicha interfaz cuente con las llaves de acceso necesarias, y debe dar prioridad a los datos asociados con la producción global, e incluso es conveniente el uso de tablas visuales con los datos para la obtención del OEE.

Además de la jerarquía de programación, es importante conocer la forma en la cual esta estandarizada la programación de interfaces, debido a que el operador está acostumbrado a trabajar con ellas, y le resultará más fácil trabajar con interfaces que cambien muy poco a cambios radicales.

4.4.2. Proceso de programación

Antes de iniciar TIA PORTAL, es necesario actualizar todas las bibliotecas de PLCs, HMIs y Computadores, con el objetivo de tener las versiones nuevas. Este proceso puede ser tardado, así que es conveniente realizarlos con cada actualización de software.

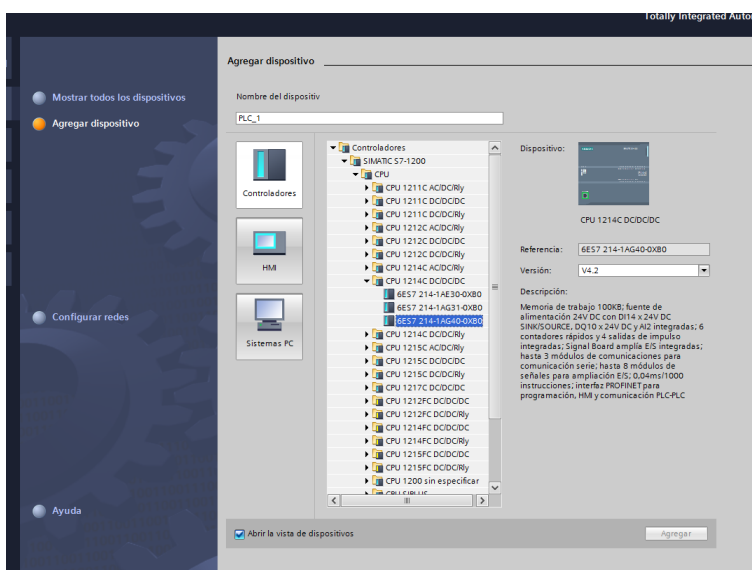


Figura 4.55: Agregar dispositivo.

El PLC a utilizar es el 1214, versión 6, junto con el HMI KTP de 9"; relativamente nuevo, por medio de comunicación Profinet, que es un protocolo Ethernet. Para la programación se empleó el software TIA Portal, el cual es una plataforma de programación por bloques de Siemens que es bastante intuitivo y flexible.

El primer paso es generar el proyecto y seleccionar el dispositivo de la barra desplegable *agregar dispositivo*. Dentro del menú desplegable se encuentran todos los modelos disponibles de Siemens al momento de la obtención de la licencia o actualización, al igual que los componentes HMI y sistemas tipo PC. Del mismo modo, seleccionamos el HMI dentro del menú desplegable (véase figura 4.55).

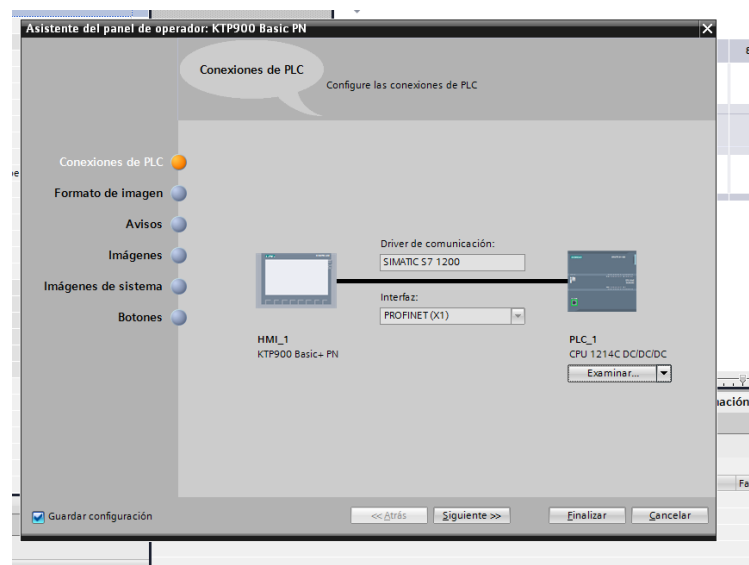


Figura 4.56: Conexión de HMI con PLC

Para comunicar los sistemas entre si, es necesario que ambos modelos compartan un mismo tipo de protocolo de comunicación; es recomendable verificar que el tipo de protocolo que se desea implementar es posible entre dispositivos. La forma de conectarlos vía software es a partir del apartado *conexiones* dentro de la interfaz de TIA Portal (véase figura 4.56) y ubicar los elementos. Estarán conectados cuando la conexión se encuentre en color verde (figura 4.57).

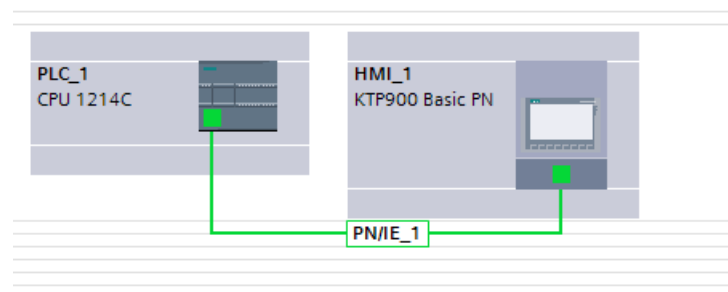


Figura 4.57: Resultado de conexión

Dentro del árbol de proyecto se encuentran los diferentes menús de opciones, en los cuales se encuentran los bloques de funciones, el programa principal, los colores, imágenes y, por supuesto, las variables del proceso. La mejor opción para programar es definir una tabla de variables para cada función, de tal modo que se puedan actualizar dentro de un solo panel dedicado a las funciones del programa. En la figura 4.58 se puede observar el menú para la tabla de variables, mientras que en la figura 4.59 una lista de variables para el proceso.

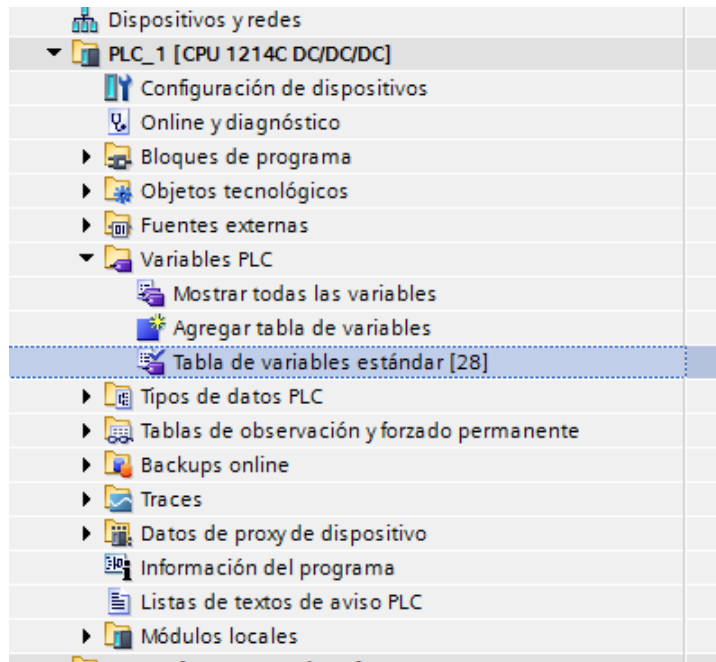


Figura 4.58: Tabla de variables estándar

| Tabla de variables estándar | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | Nombre | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... | Co... |
| 1 | arranque | Bool | %I0.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 2 | presencia | Bool | %I0.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 3 | punto correcto | Bool | %M0.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 4 | emergencia | Bool | %I0.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 5 | electrovalvula 1 | Bool | %Q0.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 6 | electrovalvula 2 | Bool | %Q0.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 7 | atornillador | Bool | %M0.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 8 | robot | Bool | %M0.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 9 | final de carrera 1 | Bool | %I0.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 10 | final de carrera 2 | Bool | %I0.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 11 | <Agregar> | | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |

Figura 4.59: Tabla de variables definidas

Las variables se pueden definir por el tipo; si es entrada, salida o una señal reservada a la memoria dentro del PLC. Aunque en esta línea se utilizan solo señales del tipo bit (0,1), es importante aclarar que la memoria reserva Bytes para cada variable, característica a tener en cuenta para la realización de los programas con muchas variables; ya que puede ser más útil emplear un arreglo o una cadena. Como se mencionó en apartados anteriores, es fundamental no utilizar tanto las entradas como las salidas en casos de cero y máximo valor de los puertos de entradas y salidas.

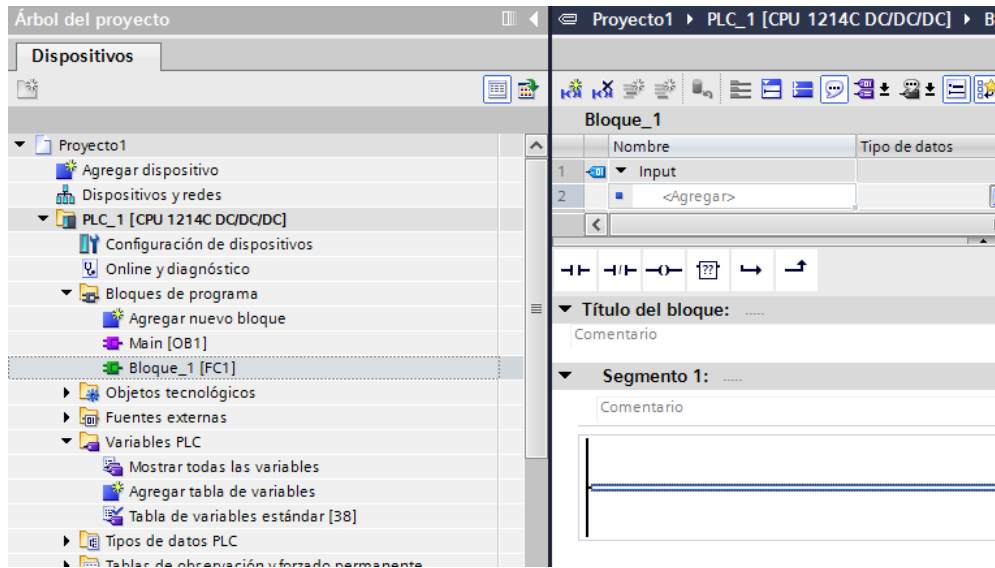


Figura 4.60: Funciones

Dentro del apartado de funciones se encuentran todos los bloques que se han generado (recordar la utilidad de reciclar funciones de programas pasados) junto con la función principal del programa, la cual obedece al nombre *main* (figura 4.60). Las funciones de programación a bloque tienen por defecto la programación tipo Ladder, por lo que se toma el contacto y la bobina, se le coloca el nombre previamente definido en la tabla de variables y en automático realiza una actualización de rastreo, donde indexa la dirección de la variable, tipo y estado (véase figura 4.61).

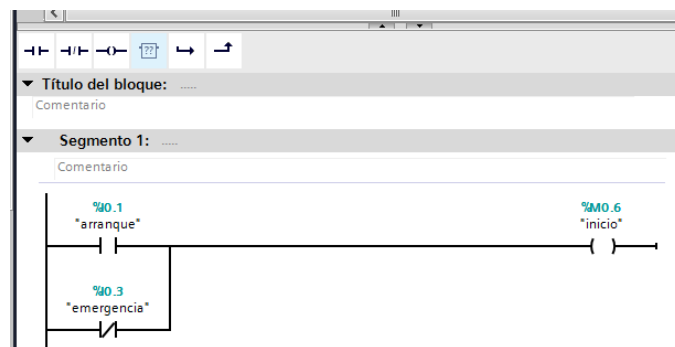


Figura 4.61: Sección de programa.

Realizada la programación correspondiente en cada una de las funciones *main* tanto del PLC como del HMI, se realiza la carga del programa en ambos elementos. Para conseguirlo, se conecta a la red el dispositivo, seleccionando *panel de control - centro de redes - configuración del adaptador - click derecho en el icono de red Ethernet, protocolo 4 o 6 - propiedades* (véase figura 4.62).

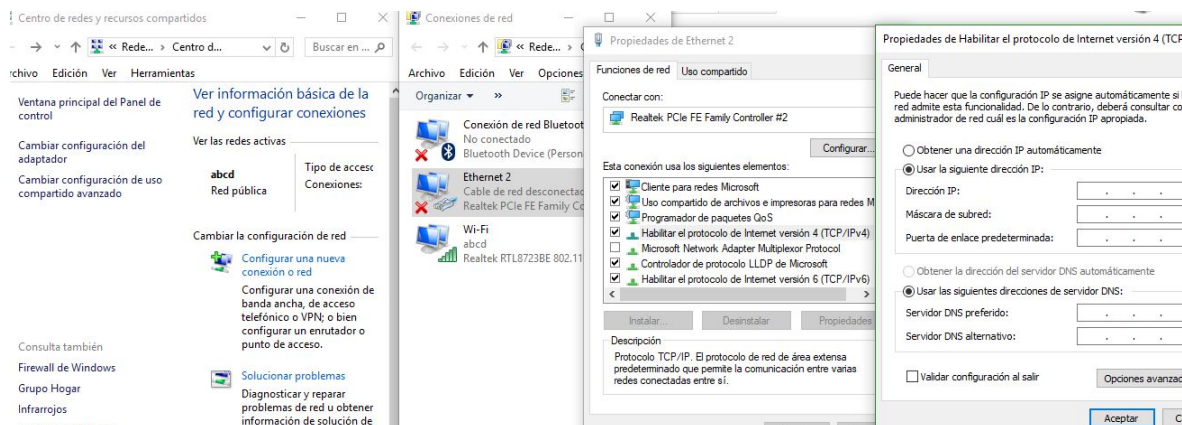


Figura 4.62: Configuración de red

Después de configurada la red, se puede continuar con la simulación online del PCL con el HMI a través del protocolo, seleccionando la opción online y run; si la conexión está en verde, la comunicación está completa, se carga el programa y se finaliza el proceso. Para la comunicación de los demás elementos basta con ponerlos en dominio de la red IP con una dirección característica (véase figura 4.63).

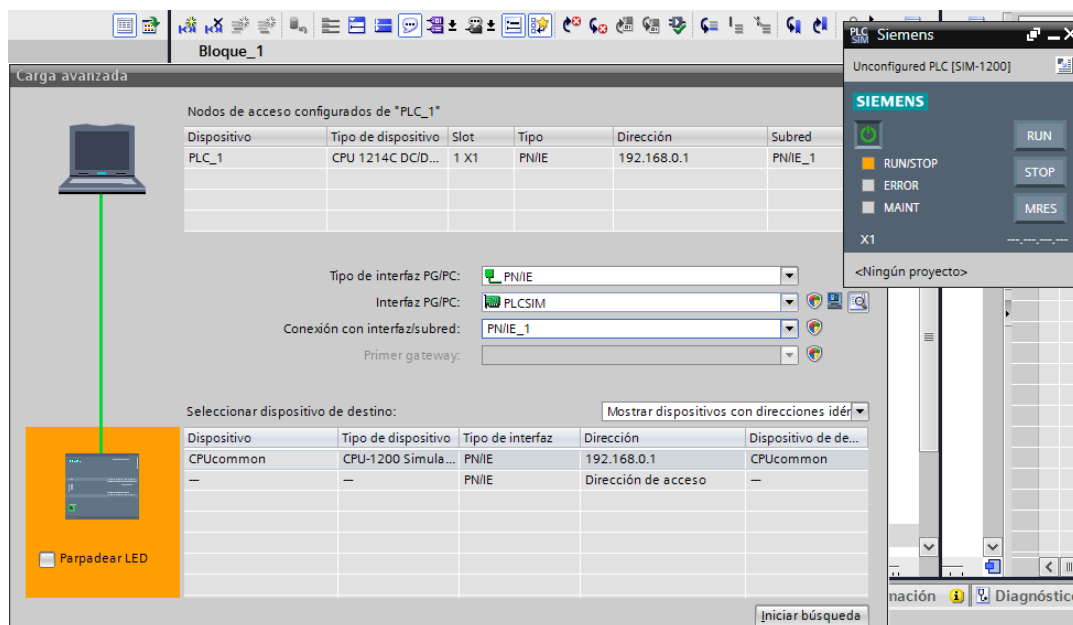


Figura 4.63: Comunicación exitosa

La comunicación utilizada fue Profinet, debido a que todos los elementos dentro de la estación de ensamble tienen disponible esta configuración. La comunicación por Profinet consiste en una red vía Ethernet, la cual asigna una dirección a cada componente y una jerarquía, donde el PLC funciona como maestro de toda la red dentro de la estación. En la figura 4.64 se muestra una pantalla de la interfaz del mantenimiento.



Figura 4.64: Interfaz para mantenimiento

Físicamente se utiliza un zócalo tipo switch donde se conectan cada uno de los cables de comunicación de cada sistema, y se les asigna una serie de actividades y configuraciones según código. Para este caso, mediante flujo de bytes se comunica la acción desde el PLC por un programa sencillo precargado. Cada elemento unido en la subred recibe la información del maestro y realiza su tarea, al terminar, manda un bit y se desactiva hasta la siguiente llamada.

En el caso del HMI, la programación se realiza por secciones; operador, mantenimiento, inspector y gerencial. La interfaz de operador muestra las actividades de ensamble, instrucciones simples y botones en la pantalla, la interfaz de mantenimiento muestra las señales de entrada y salida, para facilitar rastreabilidad en caso de falla, el inspector puede ver la jornada diaria y eventos, mientras que la gerencial realizar cambios en cuanto a indicaciones de producción, tareas, actividades y eventos.

La limpieza y practicidad de la interfaz del HMI juega un papel importante en el proceso de la información, mientras que la programación del PLC lo hace para la consecución del proceso, por lo que son complementarios y se debe dar prioridad sobre los demás sistemas esclavos.

4.5. Programación de cámara y atornillador

Dentro de este capítulo se verá a fondo la programación de la cámara Sick utilizada para los procesos de evaluación e inspección de pieza, mientras que se hablará de la arquitectura y programación básica de los modelos Deprag, debido a que este solo es utilizado de forma manual y no existe una necesidad real de programación a detalle.

4.5.1. Principales marcas equipos ópticos

Una forma de evaluar una línea es con los sistemas de visión, debido a que estos muestran una imagen clara de como es que termina un producto, una área de él, el acabado o el marcaje en espacios pequeños, optimizando espacio y evitando errores de apreciación. Existen las cámaras de visión, las cuales son cámaras de uso programable y los sensores de visión, los cuales funcionan como una cámara limitada. Los sensores de visión cuestan aproximadamente 1/3 parte de las cámaras, y son convenientes cuando se espera evaluar contornos, colores o distancias dentro de una receta. Las principales marcas son:

- **Keyence:** Es la líder en cuanto a aplicaciones de imagen y luz se refiere. Sus equipos tienen una fiabilidad y funcionamiento adecuado para cualquier tipo de aplicación, además de una línea de sensores que pueden ser usados para tareas de medición e inspección en metrología. Cuenta con un vasto soporte técnico y una red de compra-venta robusta, su precio es elevado pero es la opción en cuanto a exactitud se refiere.
- **Cognex:** Su calidad rivaliza con la de Keyence, cuenta también con aplicaciones de luz e imagen, así como sistemas de medición y línea de sensores de proximidad. El soporte técnico, red de proveedores y compra-venta es ligeramente menor que en Keyence, y su precio es ligeramente menor también. Son la opción en empresas del Norte.
- **Sick:** Empresa alemana de aplicaciones de imagen y luz de años recientes, tienen un catálogo de sensores, sistemas de medición, cámaras y sensores de visión. La calidad en comparación con las anteriores es menor, pero su estructura más robusta la hace adecuada para aplicaciones de movimiento. De menor costo, es la idónea para aplicaciones donde existen riesgos de colisiones, o donde el proceso es repetido sin muchos pasos.

La programación de estos elementos puede realizarse por tablas o por evaluación de imagen, dependiendo la exactitud y el ambiente a medir, normalmente se tienen que trabajar con filtros y lentes especiales y, dependiendo si el análisis es 2D o 3D, las distancias de enfoque y recetas, que son las condiciones de análisis. Como nota especial, a mayor número de recetas, más lento el funcionamiento, por lo que se deben medir las características justas adecuadas para su funcionamiento y no más de las necesarias.

4.5.2. Arquitectura cámara

La arquitectura de la mayoría de las cámaras y sensores de visión de esta marca es la que se ve en la figura 4.65, donde:

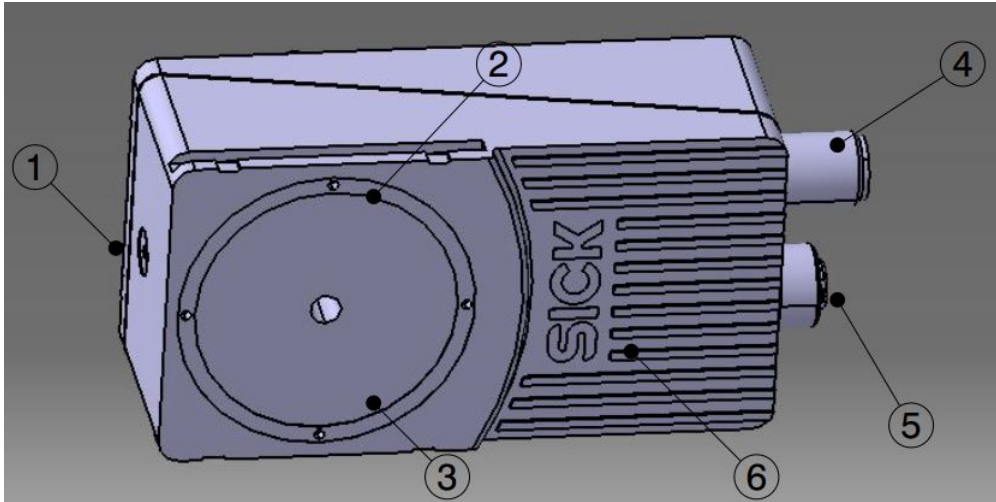


Figura 4.65: Arquitectura cámara

1. **Ajuste focal:** Es un prisionero que ajusta el ángulo de enfoque de la cámara. Existen modelos con enfoque automático en donde esta pieza no existe. A mayor presión interior el ángulo focal aumenta, y es importante recordar que no se puede variar a lo largo de la programación ni en su funcionamiento.
2. **Filtro:** Disco con una mica de diferentes colores y espesores, los cuales filtran la luz que llega al lente. Existen tres filtros básicos:
 - **Amarillo:** El filtro amarillo es útil cuando la iluminación es diferente entre componentes, o para aplicaciones de contrastes entre piezas muy brillantes con opacas.
 - **Azul:** Muy útil en aplicaciones donde exista mucho ruido en cuanto a luz se refiere, es decir, en áreas de trabajo oscuras con reflejos de luz ambientales. Funciona bien en inspección de moldes y de procesos a velocidades altas.
 - **Verde:** Muy útil en aplicaciones de detalle en piezas oscuras, sobre todo en contornos. Puede afectar la luz exterior, por lo que es recomendable utilizar medidas de aislamiento para asegurar su funcionamiento.

También es posible agregar lentes que funcionan como un amplificador a la imagen tomada, obteniendo un mejor detalle cuando las distancias son grandes o el objeto a medir demasiado pequeño.

3. **Lente:** La parte más importante de la cámara, nunca se debe trabajar sin filtro, debido a que estos lentes son sensibles a la luz y al polvo. En general debe darse mantenimiento cada 3 meses y en algunos modelos puede intercambiarse.

4. **Entrada Ethernet:** Multipolo hembra de 6 polos, los cuales sirven para mandar los datos de inspección, los cuales funcionan así:
 - 2 polos para resultado de inspección (OK, NOK y no localizado)
 - 3 polos para intercambio de recetas (existen módulos expansibles)
 - 1 polo para Trigger (inicio de proceso)

Previamente se debe programar las recetas y los parámetros a medir, para que el sistema maestro mande la combinación de bits únicos para los diferentes tipos de recetas.

5. **Entrada de programación:** Multipolo hembra para la programación de 4 hilos bajo el protocolo USB. La programación se realiza a modo de comparación de imágenes, donde la receta no es más que la imagen que se desea. Dicha medición depende del filtro, el foco, luz y lente, por lo que es importante realizar los ajustes correspondientes de manera adecuada al proceso.
6. **Carcasa:** Todas las carcasas cuentan con barrenos de rosca métrica (M3 usualmente) para empotrar a la placa, gripper o soporte.

4.5.3. Programación cámara

Para la programación de la cámara, es necesario instalar el software de programación SOPAS disponible en su portal. Una vez instalado, se comunica con la cámara y se nombra de acuerdo a proyecto (véase figura 4.66). Este ejemplo es el mismo que utiliza la marca como parte de su curso de introducción (Sick, 2016).

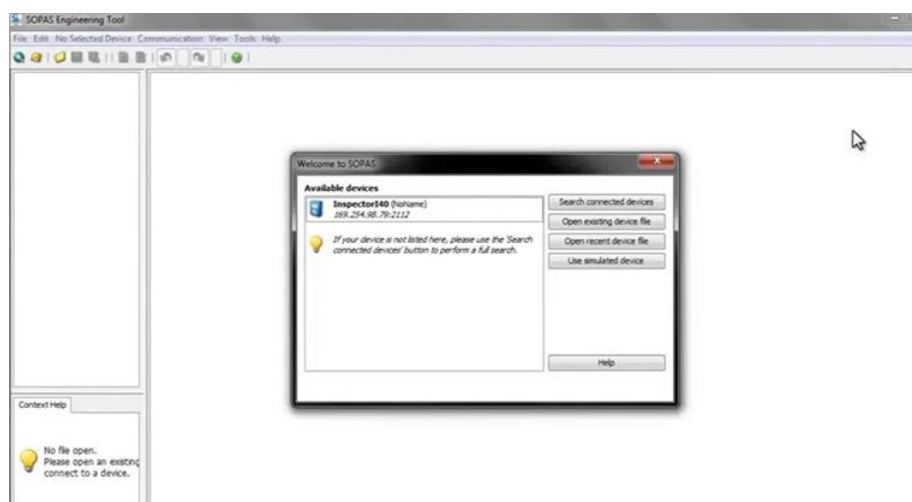


Figura 4.66: Inicio de configuración SOPAS (Sick, 2016)

Una vez seleccionado el dispositivo dentro de la red, mostrará dos paneles dentro de la interfaz de programación, que es la imagen en tiempo real y los ajustes de la

programación en sí. Como recomendación, es necesario realizar un ajuste de enfoque automático para mejorar la imagen, si esta no está clara, entonces variar el ajuste focal físico o cambiar el lente (véase figura 4.67).

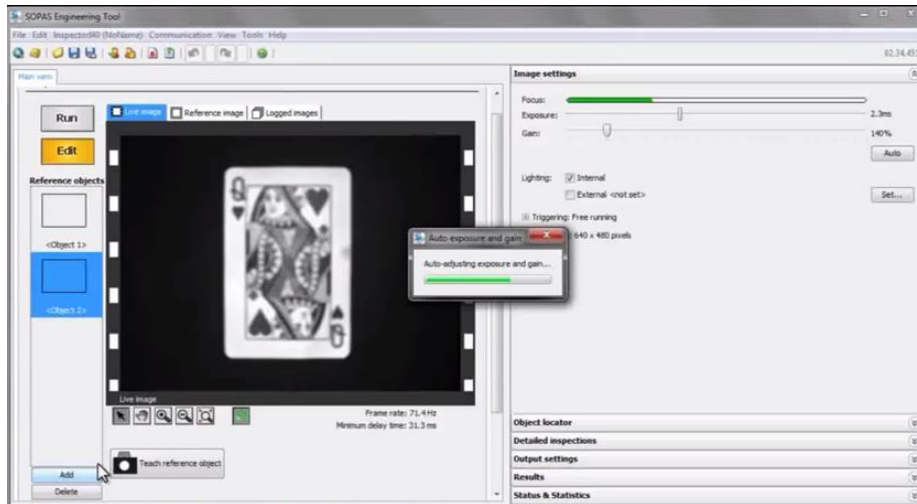


Figura 4.67: Ejemplo de auto enfoque (Sick, 2016)

Una vez que la imagen se ha mejorado de tal forma que todos los componentes son visibles claramente. Es necesario realizar la referencia de contornos y contraste adecuado para la medición, la forma más simple de realizarla es mediante el *Teach reference object*, el cual inspecciona y selecciona todos los contornos de la pieza a medir, tal como se aprecia en la figura 4.68.

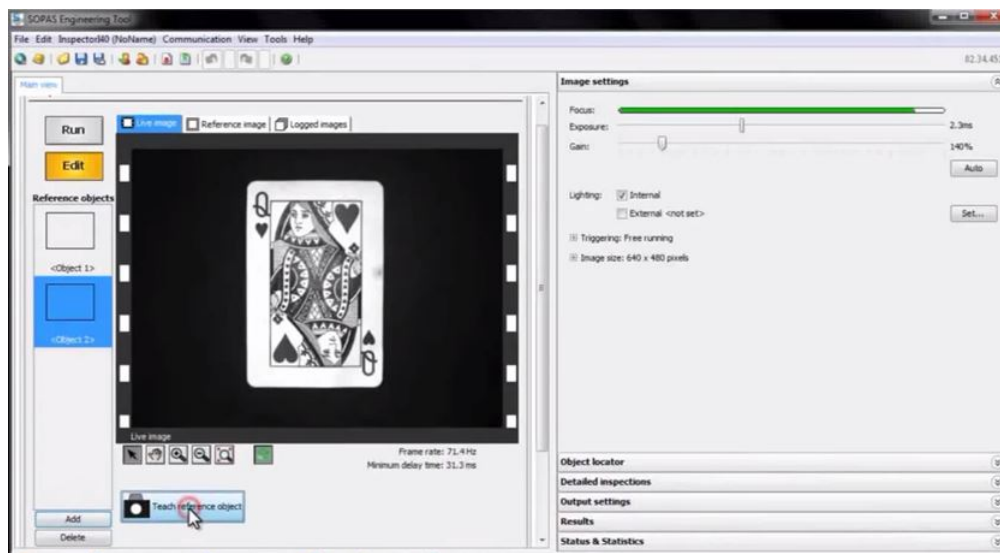


Figura 4.68: Imagen ajustada y selección del Teach reference (Sick, 2016)

Dentro del ambiente Teach se puede apreciar el uso de herramientas para definir el tipo de medición, ya sea por contorno, por límite, por píxel, etc., tal como se aprecia en la figura 4.69, herramientas que son útiles para la medición de objetos particulares o cuando la luz que incide y refleja es un factor en la medición.

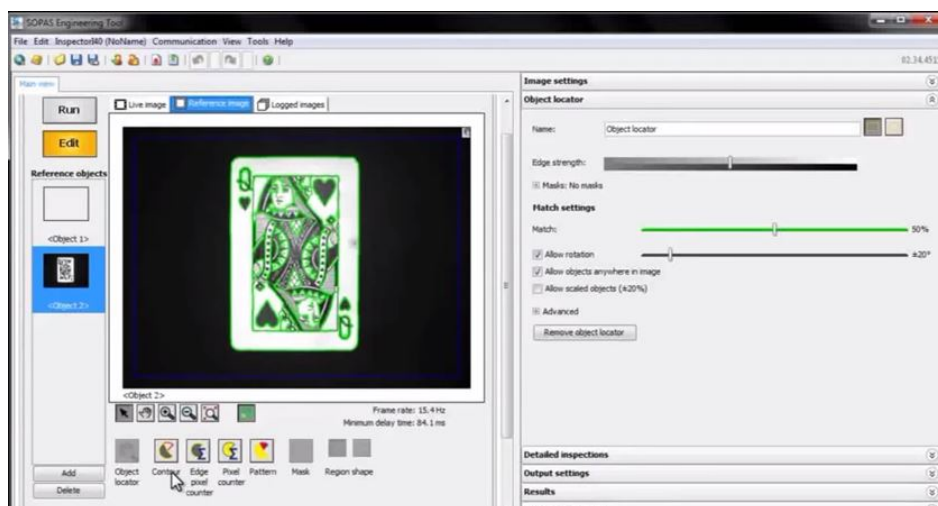


Figura 4.69: Uso de contornos (Sick, 2016)

El primer paso para definir el componente a medir es definir el área, y esto se consigue implementando una máscara de límite utilizando la herramienta del mismo nombre. Se hace el límite interno junto con el límite externo definido por las líneas azules dentro de la interfaz y se consigue delimitar la pieza, de tal modo que es posible utilizar menos recursos del sistema. En la figura 4.70 se puede observar el uso de dicha máscara junto con los límites de medición.

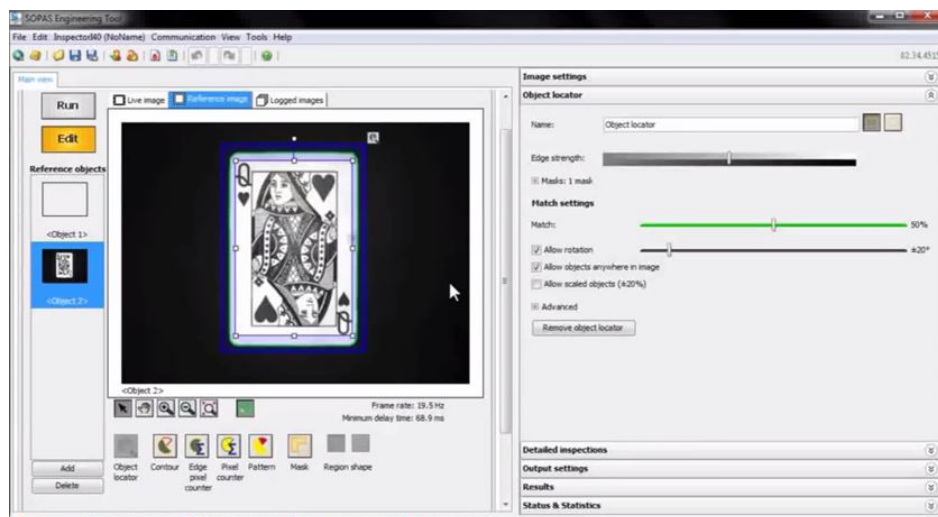


Figura 4.70: Límite de evaluación (Sick, 2016)

Una vez definido el área donde deberá trabajar la medición de la cámara, se utiliza la herramienta que se acople mejor al punto a medir, en este caso, se quiere medir el símbolo de la reina y el corazón en la carta, y no todo el impreso, para utilizar los menores recursos posibles. Para este caso en concreto, la herramienta *pattern* que se encuentra dentro de las herramientas de contorno muestra un cuadro donde los recursos de comparación analizarán las futuras piezas acorde a los contornos, colores y distancias.

Cuando se selecciona cualquier tipo de herramienta, en el panel situado a mano derecha se despliega el menú donde se pueden ajustar el tipo de constaste, la máscara, la tolerancia en cuanto al número de pixeles para la comparación y el porcentaje de tolerancia o *match* entre la receta original y las piezas a medir dentro del proceso. Dependiendo de la visión y el porcentaje deseado, se pueden utilizar otros macros con detalles específicos para la comparación. En la figura 4.71 se muestra el uso de la herramienta en el ícono de la reina de corazones, con el macro del pattern remarcado en amarillo, y a mano derecha las características propias de la receta.

Una vez que la receta está definida, en el panel de *line image* o *imagen en línea* se puede observar en tiempo real los resultados con cada uno de los sistemas, marcando con verde los OK y rojo los NOK. Si se desea tener una referencia mejor, en el panel derecho en la sección de *resultados* se puede comparar las salidas de acuerdo a software.

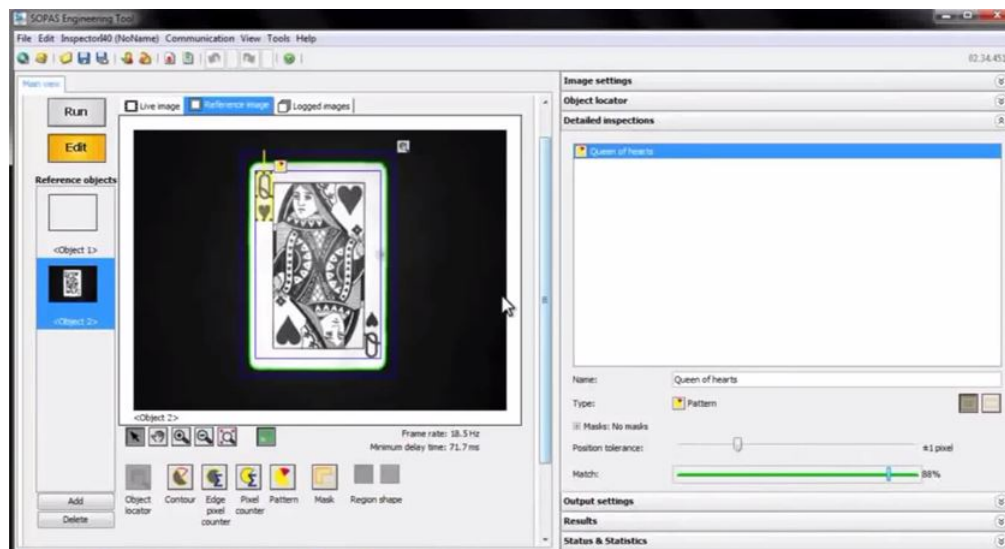


Figura 4.71: Uso de la herramienta Pattern (Sick, 2016)

Dentro del apartado *Results* se puede ver en tiempo real el tipo de salida que se obtiene según si la pieza es OK o NOK, y las barras correspondientes a la posición de la pieza medida, tal como rotación y posición en el plano 2D en comparación con la receta original. El análisis 3D es similar al 2D, salvo que los detalles de iluminación juegan un papel aún más importante. En la figura 4.72 se muestra la sección *results* con una carta NOK.



Figura 4.72: Interfaz Results (Sick, 2016)

Después de los ajustes necesarios para la configuración de la receta, y la correcta inspección de funcionamiento, es necesario guardar la receta dentro de la memoria del equipo. Para hacer esto, basta con seleccionar el botón *run* y guardar en la memoria (véase figura 4.73). En caso de usar más recetas, cada imagen se encuentra debajo de los botones *run* y *edit*, y al seleccionarlas se puede cambiar las características de programación en cada receta.

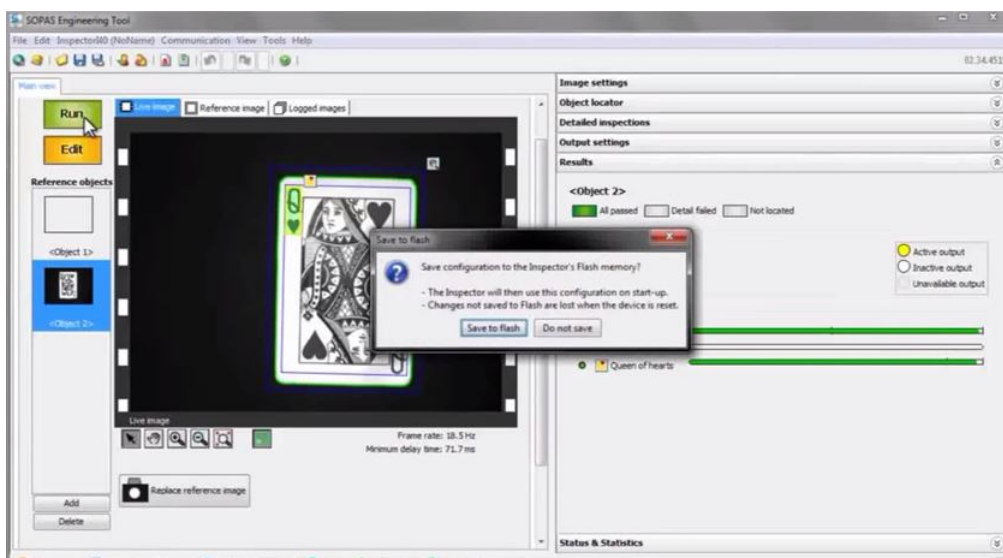


Figura 4.73: Programación en cámara (Sick, 2016)

4.5.4. Arquitectura y programación atornillador

Los atornilladores eléctricos solo con justificados cuando se desea un torque y revoluciones específicas, es decir, cuando el tornillo debe estar en una posición exacta y evitar el daño en la rosca de la hembra lo más posible, siendo colocado en una estructura automática para su control de posición. En el caso particular de la línea de ensamble dentro de este documento, en realidad no es necesario el uso de dicho atornillador, debido a que no es importante la posición, por lo que esta sección hablará de la arquitectura del sistema, la comunicación Ethernet y la configuración del torque, como un apartado anexo a la programación de equipos especiales que se ocupan dentro de la línea y que el lector conozca el dispositivo.

El sistema se puede definir en una interfaz de usuario caracterizada por un display y los botones, tal como se ve en la figura 4.74, mientras que los periféricos de programación en la figura 4.75, en donde:

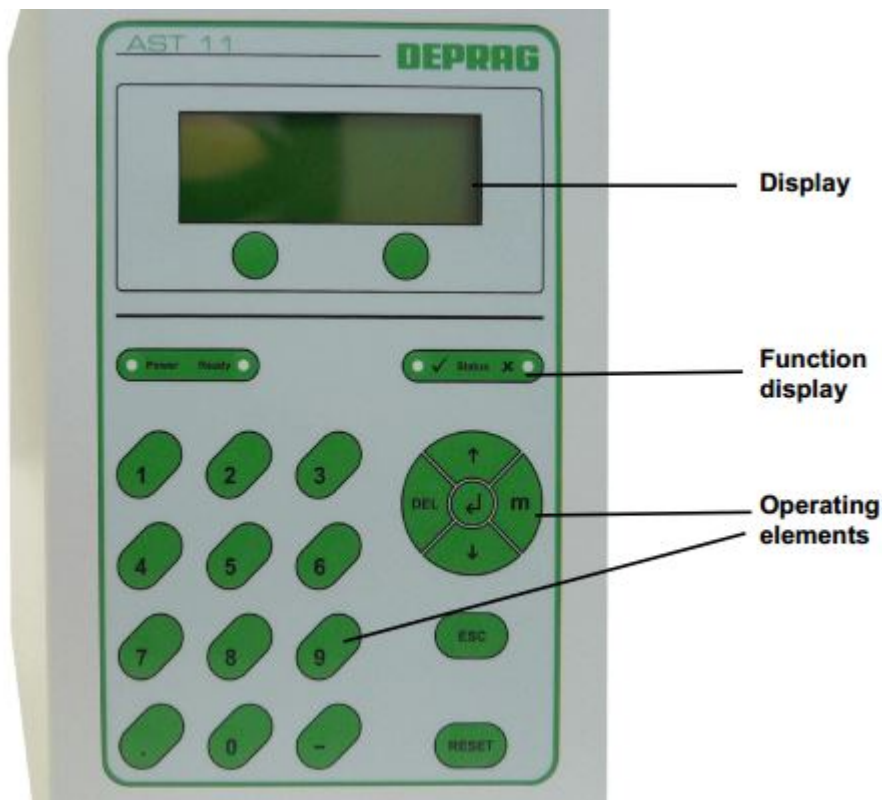


Figura 4.74: Interfaz de usuario (Deprag, 2016).

- **Display:** Interfaz de usuario del tipo pantalla donde se muestran las instrucciones y configuraciones de programación.
- **Funcion display:** Control ON/OFF y OK/NOK
- **Operating elements:** Teclado numérico y de navegación.

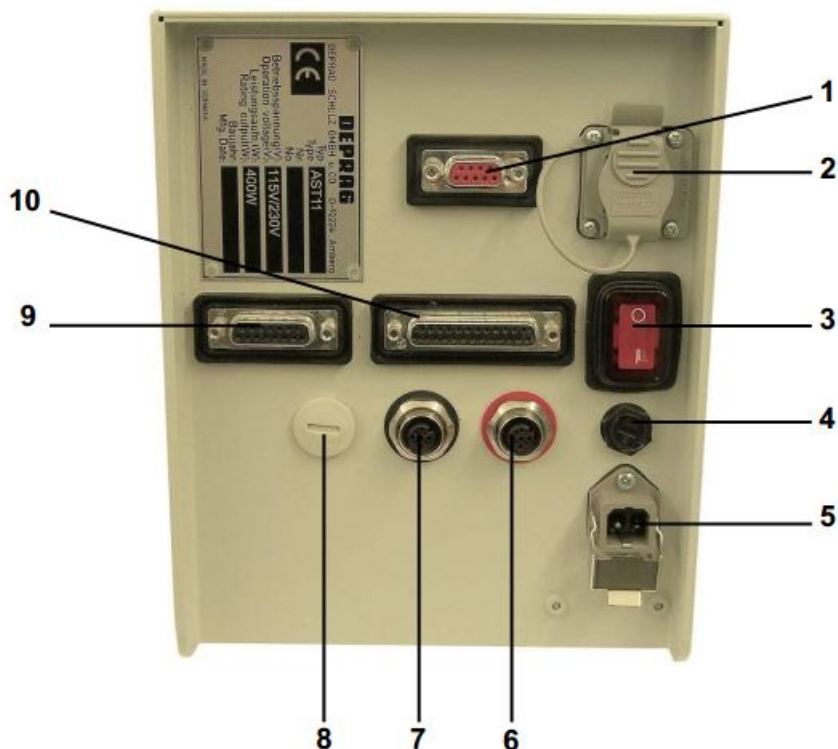


Figura 4.75: Base de conexión (Deprag, 2016)

- Serial GX10: Útil para la programación externa de scanner o printer.
- Conexión Ethernet
- Interruptor
- Fusible
- Conexión de alimentación
- Controlador modelo GX7
- Puerto de retroalimentación modelos GX8
- Puerto de emergencia
- Puerto de control para atornillador
- Interfaz GX6

Ya que solo se utilizará la función de encendido y apagado del sistema, solo se ocupará la configuración de comunicación con la red Ethernet, de tal modo que los componentes a usar en el sistema son los representados en la figura 4.76.

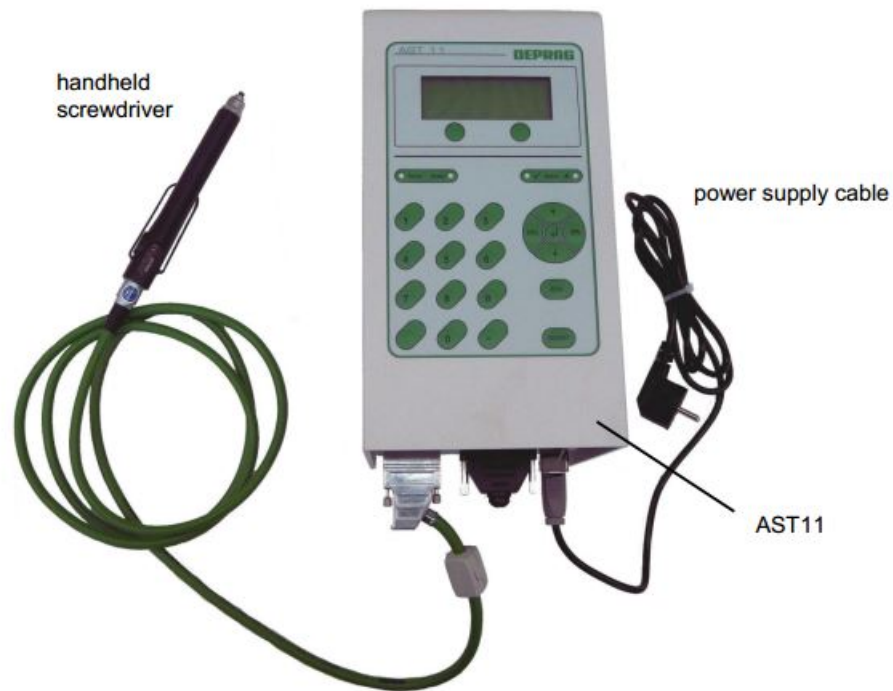


Figura 4.76: Sistema completo (Deprag, 2016)

Para la comunicación Ethernet, solo basta con entrar en la interfaz de comunicación dentro del software de programación adjunto al equipo y configurar de manera similar al robot y el PLC, teniendo especial cuidado en la dirección IP. En la figura 4.77 se muestra la interfaz de programación.

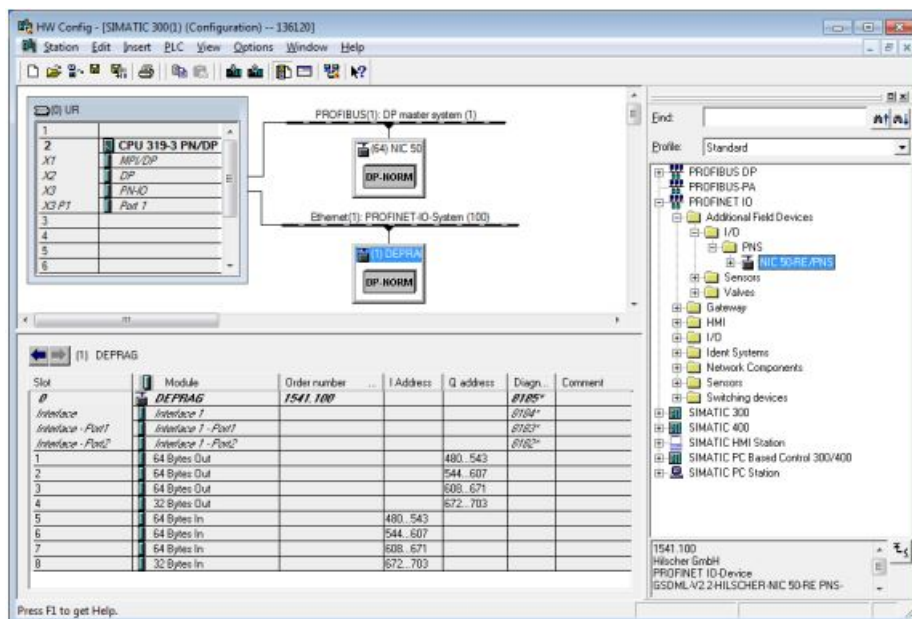


Figura 4.77: Comunicación Profinet

Una vez comunicado el servidor, se despliega una interfaz de programación, donde se definen las secciones generales del atornillador, incluyendo el torque y la velocidad. La forma más simple de programar; y la que se usó, consiste en solo variar dichos valores y configurar el encendido cuando la bandera sea recibida vía Ethernet se active (véase figura 4.78), sin embargo, en la figura 4.79 se muestra la interfaz de programación avanzada, donde los parámetros a controlar son mayores.

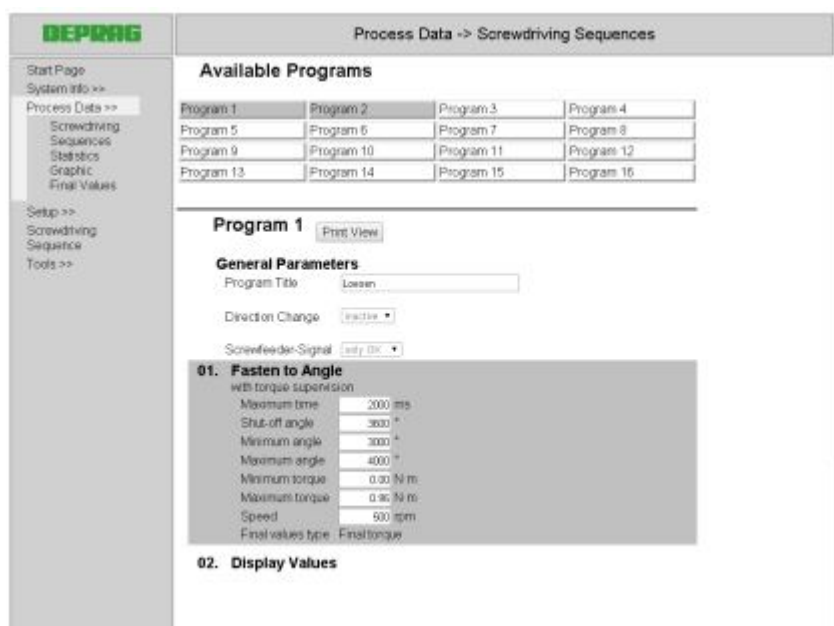


Figura 4.78: Modificación de parámetros

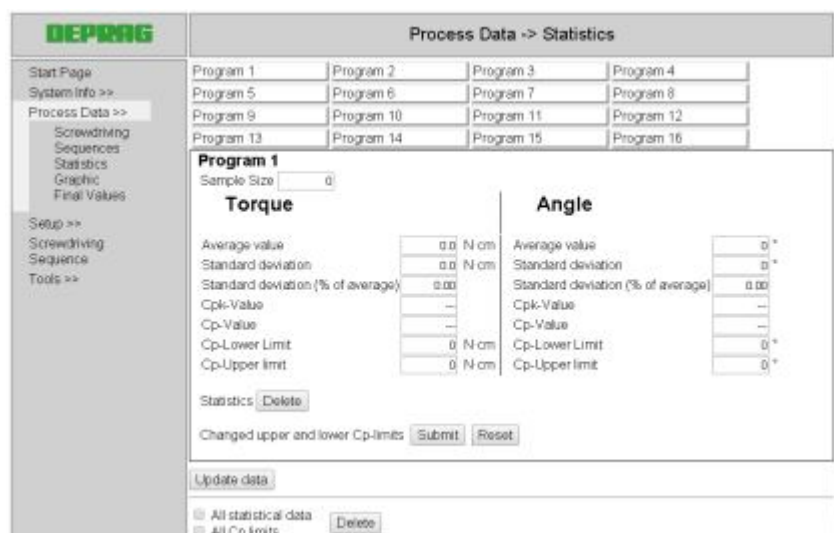


Figura 4.79: Información avanzada

Es conveniente mencionar que, al igual que en el robot y el PLC, se puede programar funciones dentro del equipo, y cuenta con programas preestablecidos y una interfaz intuitiva para su programación. Este tipo de atornilladores son muy comunes en la industria, de ahí su objeto de mención e introducción.

4.6. Manufactura CNC

El desarrollo de la manufactura por control numérico se realizó a través de la interfaz machining de Catia y la implementación del código bajo los controladores Haas y Fanuc, en máquinas CNC verticales de tres ejes. También se implementaron sistemas dentro de máquinas convencionales, pero debido a su baja complejidad se omitirán en este capítulo, al igual que los equipos especiales de medición para validación, tal como es un brazo o una CMM.

4.6.1. Generalidades



Figura 4.80: Secuencia de fabricación

Después del desarrollo y liberación por parte de ingeniería, es necesario realizar las operaciones correspondientes a la fabricación de cada pieza para los ensambles **tomando en cuenta sobrematerial de 10mm en cada dimensión**. En la figura 4.80 se puede observar el esquema del proceso, pero la secuencia de fabricación es:

1. Proceso de fabricación, ficha de fabricación.
2. Diseño
3. Simulación y validación del proceso
4. Dibujo en CAD de la geometría a detalle
5. Construcción del modelo, que depende de:
 - Programación CAM para el modelo
 - Se copia la forma del modelo por CNC

- Las formas ortogonales se construyen a mano según diseño.
6. Armado y ajuste en banco o bancada
 7. Obtención de la pieza
 8. Medición de la pieza
 9. Correcciones

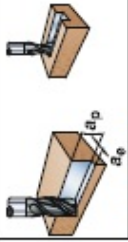
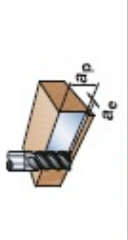
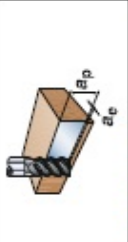

Cada material requiere diferentes tipos de estrategias, herramientas, avances y velocidades características, como se mencionó anteriormente. Aunque existen fórmulas y tablas generales para la programación, las herramientas proveen los valores nominales de sus productos, por lo que solo basta con realizar los cálculos correspondientes. En los cuadros 4.1 y 4.2 se muestran los valores de desbaste y acabado respectivamente, mientras que en la figura 4.81 se muestra la simbología de calidades para las herramientas Coromill.

Algo importante de mencionar es que el operador y el programador deben conocer las herramientas que se van a emplear, las técnicas y estrategias de ataque y las configuraciones de la máquina, con el objetivo de realizar la manufactura de manera simple y correcta. Es recomendable emplear tablas de operación, números de programa, esquemáticos sobre el copiado y una breve simulación o imagen de la simulación de lo que se espera obtener, contar con las medidas de seguridad pertinentes y los equipos de trabajo en condiciones óptimas, para evitar accidentes y daños.

Calidades para fresado

| | |
|----------|---|
| P | Acero |
| M | Acero inoxidable austenítico/ferrítico/martensítico |
| K | Fundición |
| N | Metales no féreos, plástico, madera |
| S | Aleaciones termorresistentes Aleaciones de titanio |
| H | Acero templado |

Figura 4.81: Calidades

| ISO | | GC1620 GC1630 H10F N20C | |  $a_0 \times a_b > D_c$ | |  $a_0 \times a_b < D_c$ | |  $a_b \leq 0.05 \times D_c$ | |  $a_b \leq 0.05 \times D_c \text{ o } D_{c2}$ $a_p \leq 0.05 \times D_c \text{ o } D_{c2}$ | | |
|-----|-----------|----------------------------------|-----|---|-------------|--|----------------|---|----------------|---|----------------|----------------|
| | | MC | CMC | HB | HRC | v_f m/min | v_f pies/min | v_f m/min | v_f pies/min | v_f m/min | v_f pies/min | |
| P | P1.1.Z.AN | 01.1 | 125 | 155 | 510 | 200 | 660 | 375 | 1230 | 690 | 2260 | |
| | P1.2.Z.AN | 01.2 | 150 | 135 | 440 | 185 | 610 | 340 | 1120 | 630 | 2070 | |
| | P1.3.Z.AN | 01.4 | 200 | 120 | 390 | 140 | 460 | 255 | 840 | 470 | 1540 | |
| | P2.5.Z.HT | 02.2 | 250 | 100 | 330 | 130 | 430 | 245 | 800 | 450 | 1480 | |
| | P2.5.Z.HT | 02.2 | 300 | 90 | 300 | 120 | 390 | 220 | 720 | 410 | 1350 | |
| | P3.0.Z.HT | 03.22 | 400 | 75 | 250 | 95 | 310 | 180 | 590 | 335 | 1100 | |
| | P3.0.Z.HT | 03.22 | 450 | 65 | 210 | 85 | 280 | 160 | 520 | 300 | 980 | |
| | P5.0.Z.AN | 05.11 | 200 | 60 | 200 | 90 | 300 | 165 | 540 | 300 | 980 | |
| | M1.0.Z.AQ | 05.21 | 200 | 60 | 200 | 75 | 250 | 145 | 480 | 270 | 890 | |
| | M3.1.Z.AQ | 05.51 | 230 | 45 | 150 | 55 | 180 | 110 | 360 | 200 | 660 | |
| K | | 07.1 | 150 | 135 | 440 | 180 | 590 | 330 | 1080 | 610 | 2000 | |
| | K2.1.C.UT | 08.1 | 180 | 85 | 280 | 110 | 360 | 210 | 690 | 385 | 1260 | |
| | K3.3.C.UT | 09.2 | 200 | 100 | 330 | 130 | 430 | 240 | 790 | 440 | 1440 | |
| N | | 30.22 | 90 | 1000 | 3280 | 1100 | 3610 | 1250 | 4100 | 1300 | 4270 | |
| | N1.4.C.NS | 30.42 | 130 | 470 | 1540 | 605 | 1985 | 1000 | 3280 | 1050 | 3445 | |
| | S2.0.Z.AG | 20.22 | 350 | 50 | 165 | 60 | 195 | 100 | 330 | 150 | 490 | |
| S | S4.3.Z.AG | 23.22 | 350 | 70 | 230 | 80 | 260 | 160 | 525 | 300 | 985 | |
| | H1.1.Z.HA | 04.1 | | 55 | 180 | 80 | 260 | | | | | |
| | H1.3.Z.HA | 04.1 | 55 | - | - | 55 | 180 | | | | | |
| H | H1.4.Z.HA | 04.1 | 60 | - | - | 40 | 130 | | | | | |
| | O3.0.U.NS | | 250 | 125 | 410 | - | - | | | | | |
| O | O4.0.U.NS | | 250 | 150 | 490 | - | - | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | CD15 | | $a_0 \times a_b > D_c$ | | $a_0 \times a_b < D_c$ | | $a_b \leq 0.05 \times D_c$ | | $a_b \leq 0.05 \times D_c \text{ o } D_{c2}$ $a_p \leq 0.05 \times D_c \text{ o } D_{c2}$ | | |
| ISO | MC | CMC | HB | HRC | v_f m/min | v_f pies/min | v_f m/min | v_f pies/min | v_f m/min | v_f pies/min | v_f m/min | v_f pies/min |
| | O | O3.0.U.NS | 250 | | 95 | 310 | 300 | 985 | 400 | 1310 | - | - |
| | O4.0.U.NS | 250 | | 120 | 390 | 315 | 1035 | 420 | 1380 | - | - | |

Cuadro 4.1: Valores para desbaste

4.6.2. Programación en Catia

Catia cuenta con un módulo especializado en programación del tipo G, que es el encargado de realizar actividades de manufactura dentro del software de diseño; por lo que no se pierde tiempo convirtiendo elementos del dibujo, arreglando sistemas o parchando superficies, ya que no se corrompen los datos. El sistema de programación en Catia está altamente desarrollado para aplicaciones donde se requieran superficies clase A; sin embargo, las herramientas disponibles para 4 y 5 eje son limitadas, por lo que es conveniente compilar en modo APT y luego convertir el código con las líneas de optimizador de código extra para cada compilador, según el caso.

Para realizar los programas necesarios, primero es necesario configurar el panel de control del módulo *machining*, eligiendo el postprocesador adecuado a la máquina (generalmente IMS) y la extensión del programa, el cual es NC en su mayoría; aunque puede diferir según marca y modelo (véase figura 4.82).

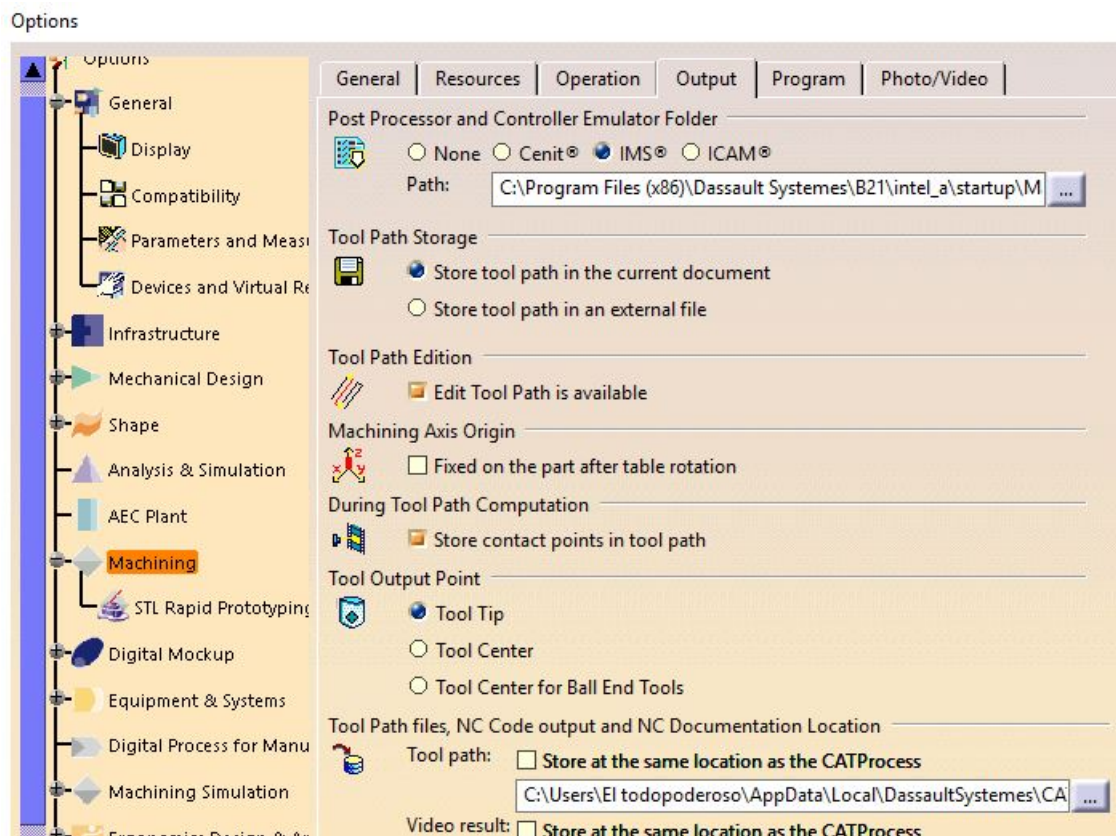


Figura 4.82: Configuración módulo machining catia

Una vez modificadas las características del módulo a ventaja del usuario, es necesario entrar al módulo (véase figura 4.83) y antes de realizar la programación del maquinado, la pieza debe contar con el tocho dentro del part, para tener el control de la pieza.

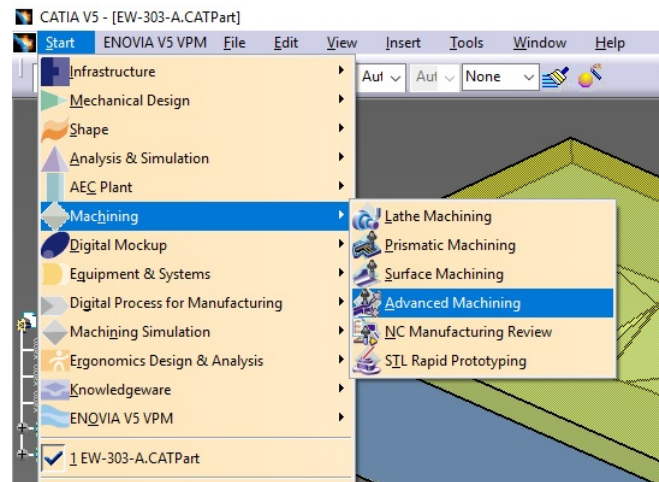


Figura 4.83: Herramienta machining

Dentro del body en donde se encuentra configurado el tocho (es importante que el tocho y el body principal sean diferentes, sino, el módulo de maquinado lo tomará como una sola pieza y producirá errores al momento de compilar) también se puede dibujar un eje de coordenadas particulares a la pieza, que obedezcan al punto de referencia de la pieza a maquinar, o definir un punto y después realizar la definición dentro del ambiente de la herramienta. Dentro de la interfaz de machining, es posible encontrar un árbol de proceso, el cual tiene tres apartados:

- **ProcessList:** El cual tiene todas las indicaciones, órdenes y operaciones del proceso de manufactura. El ícono *Part Operation* sirve para configurar la máquina, coordenadas, etc., mientras que el ícono *Manufacturing Program* almacenará todas las rutinas de maquinado; sea un pocket, superficie o álabe (véase figura 4.84).

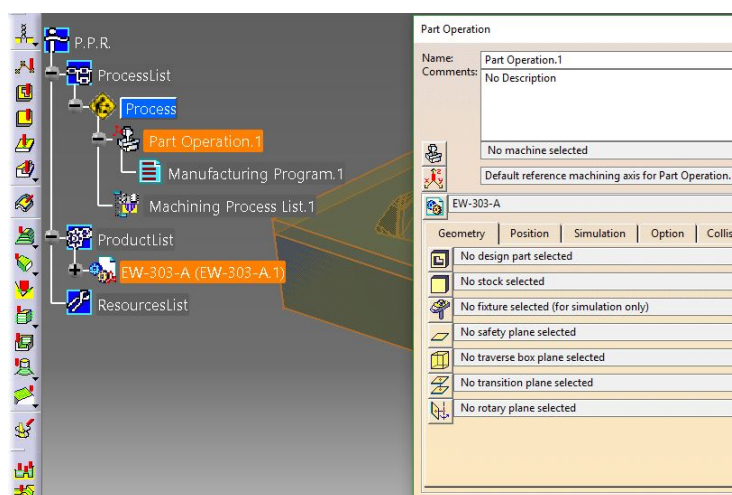


Figura 4.84: Árbol de proceso y Part Operation

- **ProductList:** Es donde se guardarán todas piezas o ensambles a maquinar, y despliega el árbol de la pieza en cuestión, para modificaciones rápidas.
- **ResourcesList:** Todas las herramientas, mesas giratorias, ejes adicionales, etc., que son ocupados por el programa.

Se realizan los ajustes adecuados, seleccionando el tipo de máquina, el post procesador y el tipo del código (véase figura 4.85), las coordenadas del punto de referencia y se definen tanto la pieza a maquinar como el tocho. Una vez definidos cada uno de los campos, se puede realizar la programación del código.

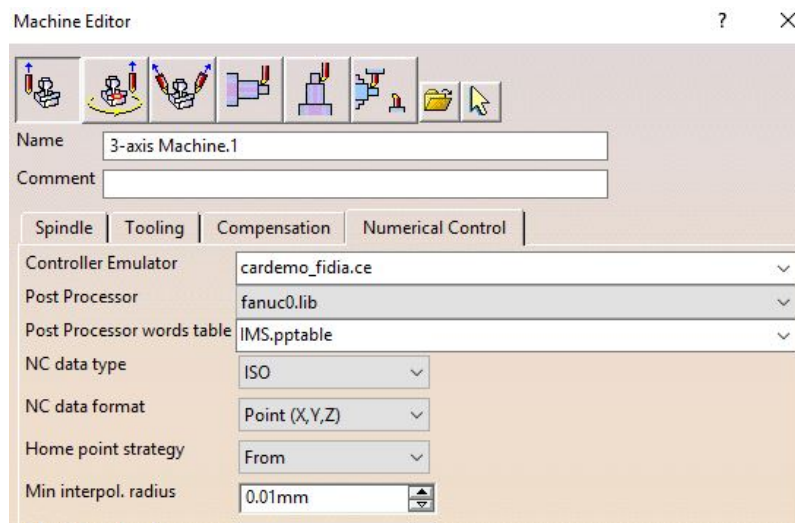


Figura 4.85: Definición del tipo y procesado de máquina

Las herramientas para la programación dentro del ambiente CNC son:

- **Herramientas para sistemas altamente geométricos**
 - **Point to point:** Consiste en la solución de trayectoria a partir de puntos dentro de un sketch. Es muy útil para realizar radios pequeños o grabados.
 - **Drilling:** Herramienta enfocada al barrenado. Consta de una serie de operaciones específicas para cada tarea, tal como lo es un punto con broca guía, un barrenado con saltos, etc. Es necesario un punto y un plano o eje de referencia.
 - **Pocket:** Herramienta especializada para vaciados o desbastados cuando la pieza es altamente geométrica. Es necesario un plano de referencia, en automático se detecta la pieza y el tocho, por lo que solo es necesario definir la estrategia, velocidades y macros de ataque.
 - **Facing:** Herramienta especializada para acabados de superficies planas. Es necesario configurar la herramienta y la estrategia, muy útil para planos y acabados.

- **Curve following:** Herramienta parecida a Point to point con la diferencia de que sigue líneas y no puntos.
 - **Profile contouring:** Herramienta específica para contornos geométricos. Es necesario un plano de referencia y las paredes junto con su estrategia de corte. Útil para acabado y rectificaciones.
- **4 axes pocketing:** Herramienta exclusiva para 4 eje rotativo.
 - **Herramientas de superficie y multi-eje**
 - **Roughing:** Desvastado para superficies. Realiza un desvastado multi-nivel de manera automática, con solo definir el tocho y la pieza. Ideal para desvastos.
 - **Sweeping:** Acabado de superficie, herramienta útil para realizar acabados donde no existe un cambio de ángulo o de dirección. Solo maquina la superficie del cuerpo o la propia superficie de copiado. Útil en tareas de acabado y semi-acabado.
 - **Pencil:** Parecido a la herramienta point to point, pero en superficie o multiejes
 - **Z level:** Parecido al profile contouring, solo aplicado para superficies. Es muy útil cuando existen radios pequeños o superficies que requieren maquinados en acabado con direcciones especiales. Este tipo de corte puede ser en el eje Z o con alguna combinación.
 - **Advanced Finishing:** Una versión de la herramienta pocketing avanzada, donde se le da prioridad a los radios, contornos y aristas. La opción para acabados de cavidades.
 - **Contour driven:** Herramienta especial para contornos no regulares. Basta con seleccionar las guías y los límites del contorno en cuestión como la dirección de ataque. Útil en acabados.
 - **Spiral milling:** Herramienta desarrollada como una versión de la herramienta facing mejorada. Cuenta con la interpolación espiral por defecto para acabados de alta calidad.
 - **Multi axes Helix machining:** Herramienta especializada para álabes de turbinas. Permite el control total de la geometría del álabe como las estrategias de corte, y permite al programador evaluar de forma virtual el proceso de maquinado. Muy útil en la industria espacial.

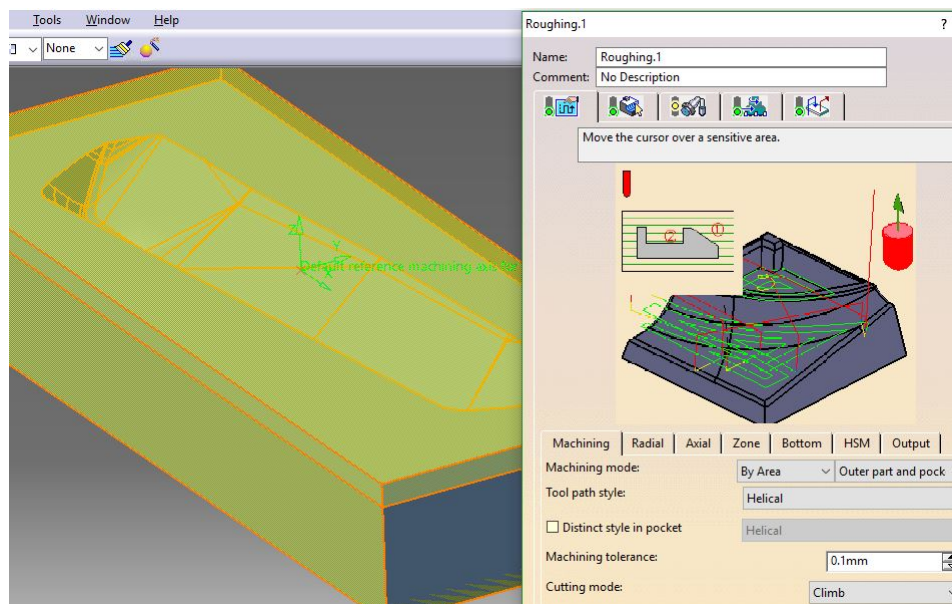


Figura 4.86: Interfaz herramienta Roughing

El procedimiento de programación consiste en seleccionar alguna de las herramientas de programación que se desea realizar en la pieza a maquinar. En la figura 4.86 se puede ver la instrucción de vaciado mediante la herramienta *Roughing*, que es especial para el vaciado cuando se trata de superficies. Dentro de la interfaz se encuentran las pestañas destinadas a la estrategia de corte, herramientas a usar, acercamientos, retracciones, etc. Los avances, velocidades de husillo, profundidad de corte y demás valores se pueden encontrar en tablas especializadas para el mecanizado tanto de proveedores de herramientas, ya que dichos parámetros están en función del material a mecanizar, el tipo y material de la herramienta y la estrategia de corte.

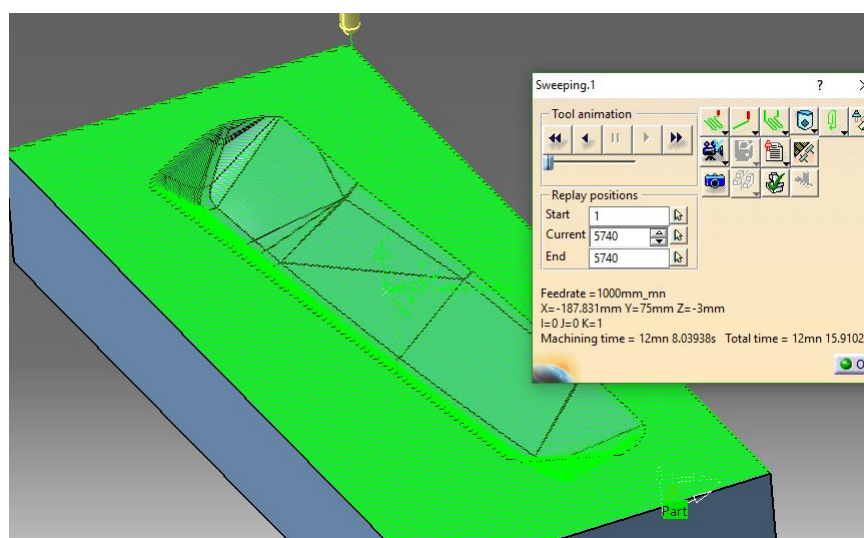


Figura 4.87: Simulación operación sweeping

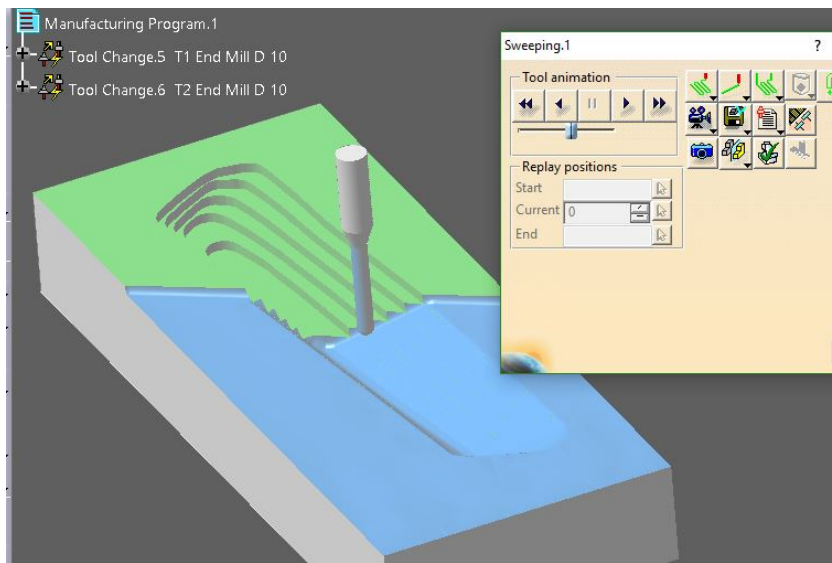


Figura 4.88: Simulación 3D del programa

Para el maquinado de superficies es recomendable utilizar la herramienta *sweeping*; para obtener un acabado estético, es recomendable realizar el acabado con ángulo, el genérico es 45 grados (véase figura 4.87).

Terminado el programa con todas las herramientas necesarias, es necesario revisar los resultados antes de la compilación. Catia cuenta con la herramienta 3D de maquinado, asigna colores a cada tipo de herramienta, y permite realizar estudios como material sobrante, colisiones, fijaciones, etc., previamente definidas en los procesos (véase figura 4.88).

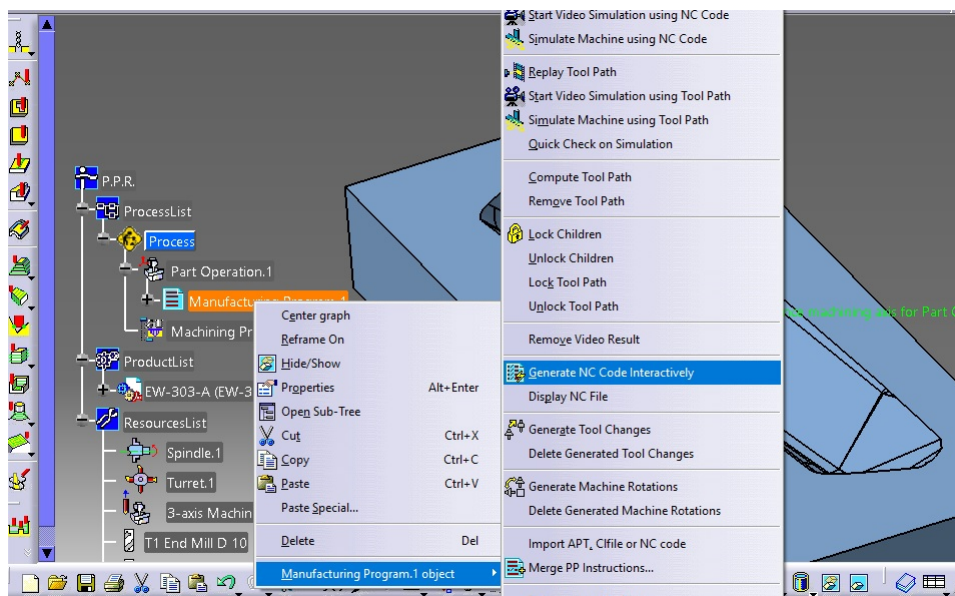


Figura 4.89: Compilar programa

Después de validado el programa, se obtiene el código para la comunicación con la máquina. Para hacerlo, *click derecho* sobre el apartado de programas, *Manufacturing Program - Generate NC Code Interactively* (véase figura 4.89), el cual nos lanza una interfaz donde podemos dar la dirección de almacenamiento, numeración, asociación con otros programas, etc. En caso de que dicha interfaz no se muestre en pantalla, es debido a que no se realizó la configuración del módulo adecuadamente, por lo que basta ir a las opciones generales del módulo (figura 4.82) para revisar la configuración.

Las librerías de los postprocesadores no están actualizadas desde la década de los 90, por lo que es seguro que no compile el programa en la máquina, o bien, muestre errores de funcionamiento. Es necesario revisar el código generado y cambiar las instrucciones por las correctas. Aunque no son muchos los cambios, es una tarea innecesaria si cuenta con otro tipo de compilador de NC; si es el caso, basta con guardar el archivo en APT y compilar en un programa auxiliar.

4.6.3. Haas y Fanuc



Figura 4.90: CNC vertical de 3 ejes Fanuc

Como se mencionó en la introducción de esta sección, los controles a utilizar en la manufactura son los controles Haas y Fanuc. Haas desarrolla las máquinas de control numérico de manera general y completa, mientras que Fanuc (véase figura 4.90) solo desarrolla el control, y es compatible con múltiples marcas que desarrollan la parte mecánica y eléctrica. Ya que solo se pueden comparar ambas marcas en la interfaz, su mayor diferencia radica en que la interfaz de usuario por parte de Haas es usando código, mientras que la Fanuc está basada en íconos visuales. A continuación, se muestra el control Haas junto con las indicaciones de funcionamiento, y después las del control Fanuc, con los cuales el lector puede hacer uso de las máquinas de forma básica.

Haas

Los controles Haas (véase figura 4.91) cuentan con una pantalla con botones indicados por texto; lo que facilita las tareas de programación, una sección de botones para instrucciones y una última de acceso general, que contiene los accesos de paro, inicio y movimientos. Dentro de los manuales de compra y portales certificados se encuentran los manuales que describen los botones y su función dentro de la interfaz para la codificación de la máquina, sin embargo, aquí se mencionan los procedimientos para realizar las principales actividades de funcionamiento; como medir, posiciones y carga de un programa.

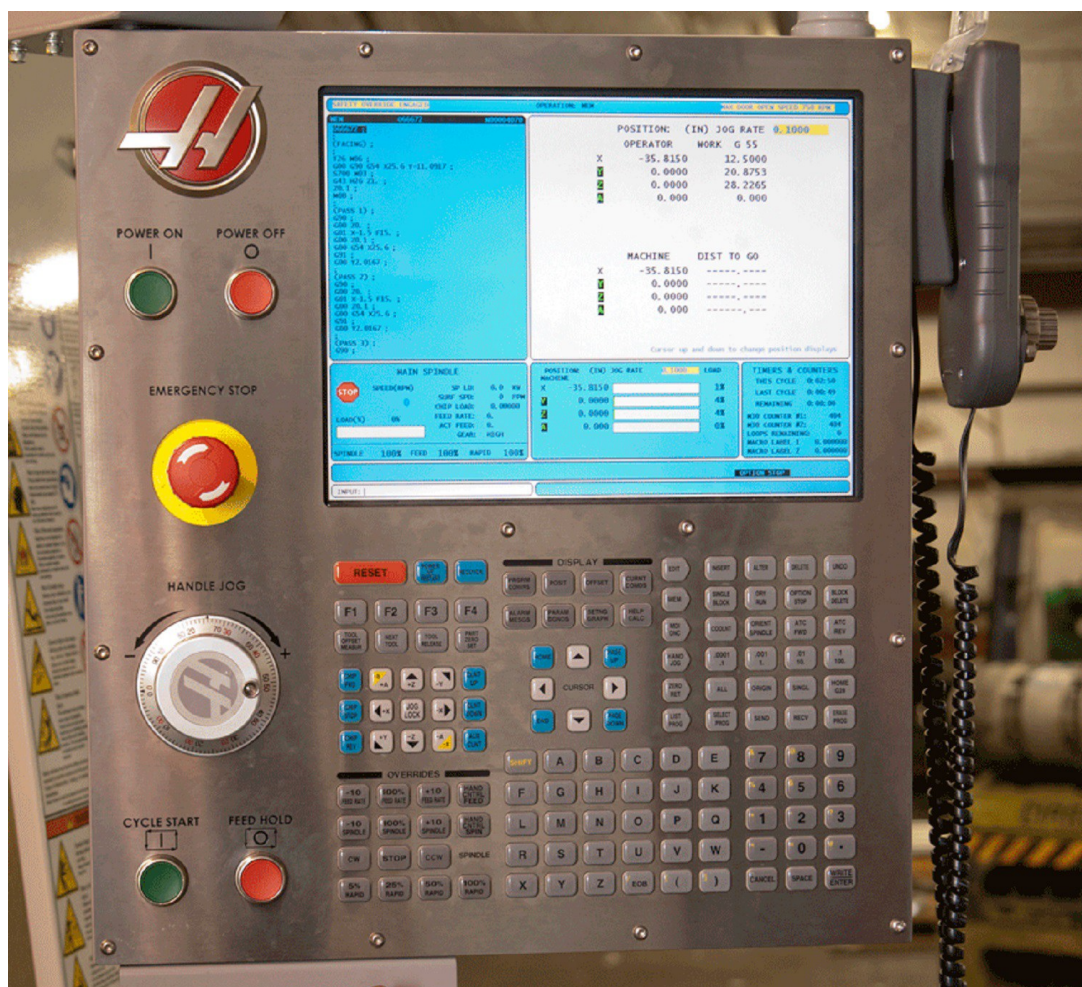


Figura 4.91: Interfaz control Haas

- Encendido de estación:** Inicie la máquina con el botón *Power on*, una vez encendida la pantalla, debe aparecerle una alerta de alarma, desenclave el botón *Emergency stop* y oprima la opción *Power up*. Inmediatamente la bancada se moverá a la posición home de la máquina, y cuando llegue a posición, debe marcar cero en todas las variables, En caso de que esto no ocurra, deberá colocar

una alarma indicando que la herramienta no llega a la posición home, por lo que es necesario setear la máquina eje por eje, esto se logra oprimiendo *Reset* para anular la alarma, *Zero ret* y *Singl*, oprimiendo las teclas x, y o z según el eje que no llegó a la posición. Es importante realizar este proceso de seteo para trabajar con las coordenadas reales de la máquina.

- **Colocar un punto cero:** Una vez seteada la máquina, oprimir *Hand jog* y la tecla asociada con la coordenada a mover. Usando el *Handle jog*, ya sea dentro del centro de mando o una extensión manual, realizar el acercamiento (para reducir la resolución, arriba de los botones numéricos se encuentran los botones de resolución .0001, .001, .01 y .1, asociados de milésima a décima) y sensar con la herramienta adecuada. Una vez encontrado en el valor deseado, oprimir la tecla *Position*, seleccionar el eje asociado a la medida a tomar y presionar la tecla *Origin*, lo que vaciará la posición en las coordenadas deseadas. Puede sumarse o restarse medidas tecleándolas con su signo correspondiente a la operación y tecleando *Enter*.
- **Medir herramientas:** Colocada la posición deseada de la máquina, hacer el llamado de la herramienta a medir (puede introducir el código mediante M6T+ el número, o seleccionando el botón *ATC INW/REV* para moverlas consecutivamente. Una vez que la herramienta se encuentre en el cabezal, oprimir *Hand jog* y moverla hasta la posición deseada. Para guardar la coordenada basta con seleccionar *Tool Offset Measure*, dicha medida es visible en la sección *Offset*. En caso de que las herramientas sean consecutivas, puede usar el botón *Next Tool* para cambiar de herramienta de manera automática, y se pueden agregar offsets cambiando de plano de trabajo o digitado el número con el signo asociado a la operación correspondiente, más la tecla *Enter*.
- **Correr programa:** Aunque existe la comunicación serial en los modelos recientes, es posible que se vea en la necesidad de utilizar un programa en una unidad de almacenamiento, por lo que el método de carga se divide en dos:
 - **Correr desde memoria interna:** Introducir la unidad externa y esperar hasta el mensaje de confirmación de comunicación. Oprimir *List program* y con la tecla arriba de navegación subir de directorio hasta que aparezca el dispositivo externo. Seleccionar el código con las teclas de navegación y seleccionar *Mem*, mostrará una ventana donde aparecerá la memoria interna, seleccionarla y verificar el copiado revisando en el directorio. La memoria interna es reducida, por lo que es conveniente revisar el espacio disponible. Una vez dentro, oprimir *Select program* para que el código sea visualizado en la interfaz y oprimir *Cycle start*.
 - **Correr desde la memoria externa:** Cuando se trata de programas muy largos, es conveniente reproducirlos dentro del dispositivo externo, por lo que el estado de dicho elemento debe ser el óptimo. Introducir la unidad externa y esperar hasta el mensaje de confirmación de comunicación. Oprimir

List program y con la tecla arriba de navegación subir de directorio hasta que aparezca el dispositivo externo. Seleccionar el código con las teclas de navegación y seleccionar *Select program*. Nos mostrará el código, si todo es correcto, oprimir *Cycle start*.

Es recomendable que antes de correr un programa se reduzcan los avances y se tenga cuidado en los acercamientos, para ello, se puede oprimir las teclas *Rapid* con el porcentaje de avance deseado, y el botón *Feed Hold* es una pausa del programa, es decir, no resetea la máquina.

- **Editar un programa:** En caso de requerir algunos cambios en un código basta con seleccionar el programa y teclear *Edit*. Las teclas alfanuméricas son para el código en cuestión, mientras que:
 - *Insert*: Inserta el código en donde se encuentre el cursor, es decir, no agrega líneas nuevas.
 - *Alter*: Cambia el valor tecleado por el seleccionado en el código
 - *Delete*: Elimina la selección
 - *Undo*: Deshace la anterior operación inmediata.
 - *Cancel*: Elimina lo digitado.
 - *Write/enter*: Agrega una nueva línea con el código digitado.

En el caso de realizar un programa a pie de máquina se teclaea *MDI/DNC*, y se realiza el proceso de programación similar a como se edita un programa. Es importante mencionar que muchos modelos actuales tienen a la disposición del operador asistentes de programación de 2D, con operaciones como contorneados, careados y barrenados.

Para apagar la máquina basta con parar el programa, usar el botón *Reset*, enclavar el botón *Emergency stop* y *Power off*. Debe enclavarse antes el botón de emergencia, pues el apagar la máquina directamente daña la circuitería interna del sistema.

Fanuc

La mayoría de controles Fanuc cuenta con una pantalla como interfaz manejada por botones en su base, un teclado alfanumérico y una sección de botones y perillas asociadas a los avances, revoluciones, direccionamiento, inicio y apagado (véase figura 4.92). Fiel a su metodología de programación, hace uso de los íconos y no del texto para indicar las operaciones, por lo que el operador nuevo debe familiarizarse primero con dicha simbología. Dentro de su página web se encuentran varios manuales de uso y configuración, sin embargo, recordar que las máquinas CNC solo disponen del control Fanuc, a diferencia de la Haas que es global.



Figura 4.92: Interfaz control Fanuc

Antes de hablar de las rutinas de manejo, se hablará de la interfaz a detalle, debido a que todo el ambiente está basado en íconos. La interfaz se puede dividir en tres etapas basándonos en la disposición y la función de cada control.

- **Interfaz de mando:** En esta parte del panel de control se encuentran los marcos que se pueden ver en la figura 4.93.
 1. Botón de emergencia
 2. Botón de inicio de programa
 3. Botón de pausa del programa
 4. Perilla porcentaje de avance: Regula la velocidad de avance.
 5. Perilla porcentaje fino de avance
 6. Indicador de husillo: Indica la fuerza normal de resistencia del material en el husillo.
 7. Perilla porcentaje husillo: Regula la velocidad rotativa del husillo
 8. Perilla de mando: De izquierda a derecha
 - RDT: Sección para correr un programa desde memoria
 - Serial: Activación de puerto serial

- MEM: Memoria interna de la máquina
- MDI: Block en blanco para programación a pie de máquina
- Handle jog
- Activar perilla porcentaje fino de avance
- Activar perilla porcentaje de avance
- Origen de la máquina

9. Llave de bloqueo

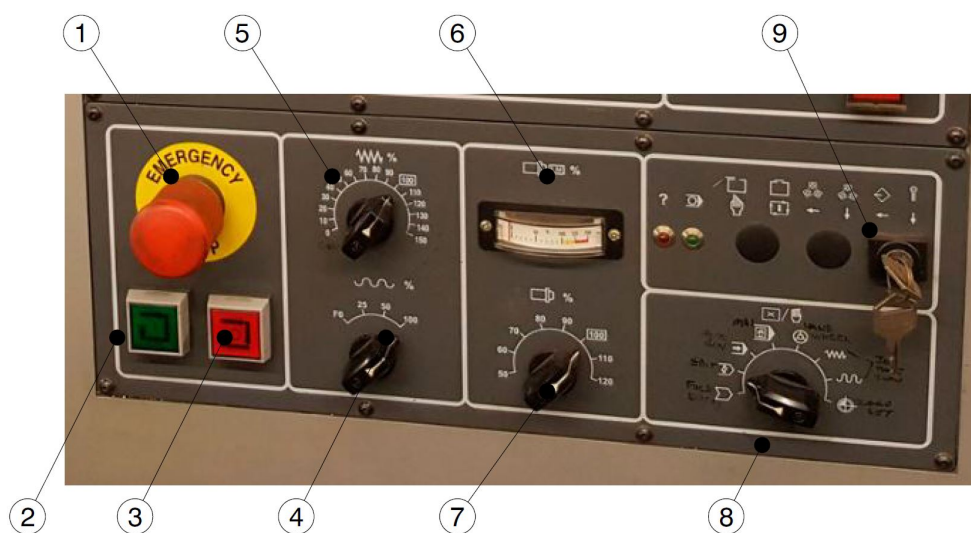


Figura 4.93: Interzas de mando

- **Interfaz secundaria:** Se ven los controles de movimiento y periféricos de la máquina (véase figura 4.94).



Figura 4.94: Interfaz secundaria

1. Botones de movimiento: control de movimiento en los 5 ejes
 2. Botones de husillo: Características de control sin programa, como posición home para herramienta, giro y avance.
 3. Periféricos: Control de herramientas, encendido de lámpara, sinfín para rebaba y refrigerante
 4. Control de 4 eje
 5. Control de 5 eje
- **Interfaz visual y de programación:** Pantalla de visualización y teclado alfanumérico (véase figura 4.95).
 1. Puerto para dispositivos de almacenamiento externo
 2. Pantalla de visualización
 3. Teclado alfanumérico
 4. Botones encendido/apagado
 5. Botones de acceso a interfaces



Figura 4.95: Interfaz visual y programación

A continuación, los mismos procedimientos mencionados en la sección anterior serán explicados utilizando la interfaz en el control Fanuc. Es importante mencionar que la interfaz explicada es la de las series **oi mc**; aunque las series tienen disposiciones diferentes, los iconos se mantienen y el manejo es similar en otras series.

- **Encendido:** Fanuc utiliza llaves e interruptores mecánicos para seguridad del operador, por lo que es posible que la máquina que utilice tenga algún tipo de

interruptor mecánico de media vuelta o pastilla en la parte trasera de la máquina. Una vez energizada la estación, oprima el botón de encendido de la máquina y, cuando mande la señal de alarma del botón de seguridad, desenchávelo. Oprima la tecla *Reset* dentro de la *interfaz de programación* para eliminar la alarma y, coloque la *perilla de mando* en la opción *origen de coordenadas*, después teclear *origen* en la *interfaz secundaria*, o tecleando cada *botón de movimiento* de cada eje para el seteo.

- **Colocar un punto centro:** Coloque la *perilla de mando* en la posición *Handle jog*, realizar los movimientos de acercamiento con la *interfaz secundaria* o utilizando el *handle jog manual*, el cual tiene la resolución de décimas a centésimas. Una vez en el punto de interés, teclee el botón *pos* en el teclado alfanumérico y utilizando los botones de acceso a interfaces seleccione *planos* – tecleé la letra de la coordenada – *zero*, y *medida*, o introduzca la cantidad directamente dentro de la sección *offset*
- **Medir herramienta:** Coloque la *perilla de mando* en la posición *Handle jog*, realizar los movimientos de acercamiento con la *interfaz secundaria* o utilizando el *handle jog manual*, el cual tiene la resolución de décimas a centésimas. Una vez en el punto de interés, teclee el botón *pos* en el teclado alfanumérico y utilizando los botones de *acceso a interfaces* seleccione *offset* – teclee 0 – *medida*, o coloque el valor dentro del número de la herramienta en cuestión
- **Correr un programa:** Aunque existe la comunicación serial en los modelos recientes, es posible que se vea en la necesidad de utilizar un programa en una unidad de almacenamiento, por lo que el método de carga se divide en dos:
 - **Correr desde la memoria interna:** Utilizando la *perilla de mando*, colocarla en la posición *Mem*, después, en la *interfaz visual de programación*, utilizando los *botones de acceso a interfaces* realizar las siguientes operaciones *prog – dir – usb* – teclear el número asociado al programa con el *prefijo M* – Seleccionar el *botón de inicio*. Después, regresar a la interfaz *prog – dir – mem* – teclear el número asociado al programa – *botón de inicio*
 - **Correr desde la memoria externa:** Utilizando la *perilla de mando*, colocarla en la posición *RDT*, después, en la *interfaz visual de programación*, utilizando los *botones de acceso a interfaces* realizar las siguientes operaciones *prog – dir – usb* – teclear el número asociado al programa con el *prefijo O* dos veces (aparecerá en la pantalla el valor de dirección y el nombre del programa) – *input*, Seleccionar el *botón de inicio*.

Es recomendable que antes de correr un programa se reduzcan los avances y se tenga cuidado en los acercamientos, para ello, reducir con la *perilla porcentaje de avance la velocidad* y utilizar el *botón de pausa* del programa para pausar la lectura del código, sin resetear la máquina.

- **Editar un programa:** Colocar la perilla de control en el modo *MDI* y utilizar el teclado alfanumérico para escribir las indicaciones del programa, de manera igual al explicado en la Haas

En el caso de realizar un programa a pie de máquina se coloca la *perilla de mando* en *MDI* y se teclaea *MDI*, y se realiza el proceso de programación similar a como se edita un programa en la Haas. Si se quiere programar operaciones como contorneados, careados y barrenados, todos los controles Fanuc cuenta con un asistente gráfico que es simple de entender y llenar, listos para correr después de vaciar todos los parámetros necesarios. Para entrar al asistente colocar la *perilla de mando* en *MDI*, seleccionar dentro de la *interfaz visual* la opción *C.A.P.* y llenar los datos que solicita según la operación a realizar.

4.6.4. Manufactura de componentes

Una vez terminados los programas correspondientes a las piezas, es importante verificar tanto los desplazamientos, la altura de la bancada, la posición de la pieza con respecto al carrusel y las fijaciones a emplear al ejecutar el programa. Aunque es deber del programador verificar todo este tipo de circunstancias, lo cierto es que también es deber de los operadores de máquina verificar que el programa sea correcto, y frecuentemente es responsabilidad del programador realizar el maquinado. Después de alineados los materiales en bruto para la obtención de las piezas y dejarlos correctamente asegurados, es necesario realizar la posición del punto cero en el plano de trabajo dentro de la estación CNC. El método es el siguiente:

- Sensar la posición de una cara o un punto de referencia en el eje X, sensar la contraria e introducir la medida de referencia. Realizar lo mismo en Y. Use el Jog junto con las variaciones en décimas, centésima y milésima.
- Colocar las herramientas por número y medir su posición con respecto a la bancada. Introducir el valor del offset adecuado dentro del apartado *Tools* en la pantalla de control.
- Con el uso del Jog se verifican las medidas obtenidas.
- Si el sistema no cuenta con una interfaz de simulación, aumentar el offset y correr al aire, para verificar el programa.

Es cómodo para el operador utilizar el comando *M01* para hacer un paro opcional en cambios de herramienta, así como la reducción de velocidades de ataque y husillo desde el panel visual.

Dependiendo de la operación es el tipo de herramienta que se utiliza y el material que la constituye. Sin embargo, es importante estar relacionado con los distintos tipos de herramienta junto con los insertos que el mercado maneja. Por ejemplo, en la figura 4.96 se puede observar el planado de una placa de polietileno de alta densidad para la construcción de las piezas de la estación 5 mediante una piña de 6 insertos. Es claro

que la funcionalidad del programa, la rapidez y el acabado final dependen; además de la correcta programación, de un conocimiento práctico en sensado, postura y corte.



Figura 4.96: Planado de placa de polietileno

En la figura 4.97 se puede observar la máquina Haas trabajando en las placas individuales, en la figura 4.98 se puede observar la cuna de la pieza 3 terminada.



Figura 4.97: Haas en funcionamiento

Finalmente, las actividades de manufactura van íntimamente ligadas al diseño, por lo que la comunicación entre ambas áreas debe ser fluida para realizar las tareas correspondientes a la construcción. En la figura 4.99 se muestra un diagrama del proceso de manufactura, donde se inicia por las indicaciones del proceso hasta la manufactura del producto, a modo de resumen de esta sección.

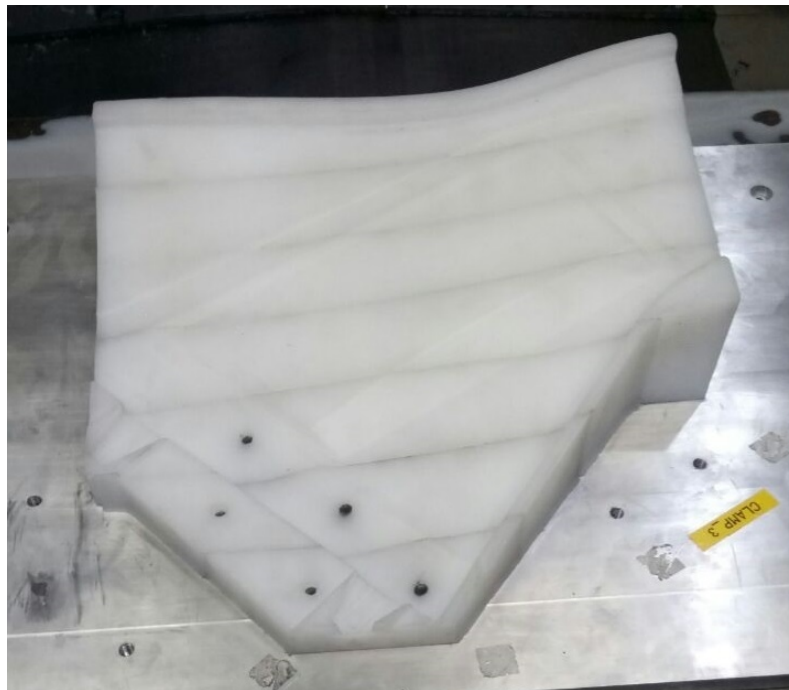


Figura 4.98: Maquinado pieza 3

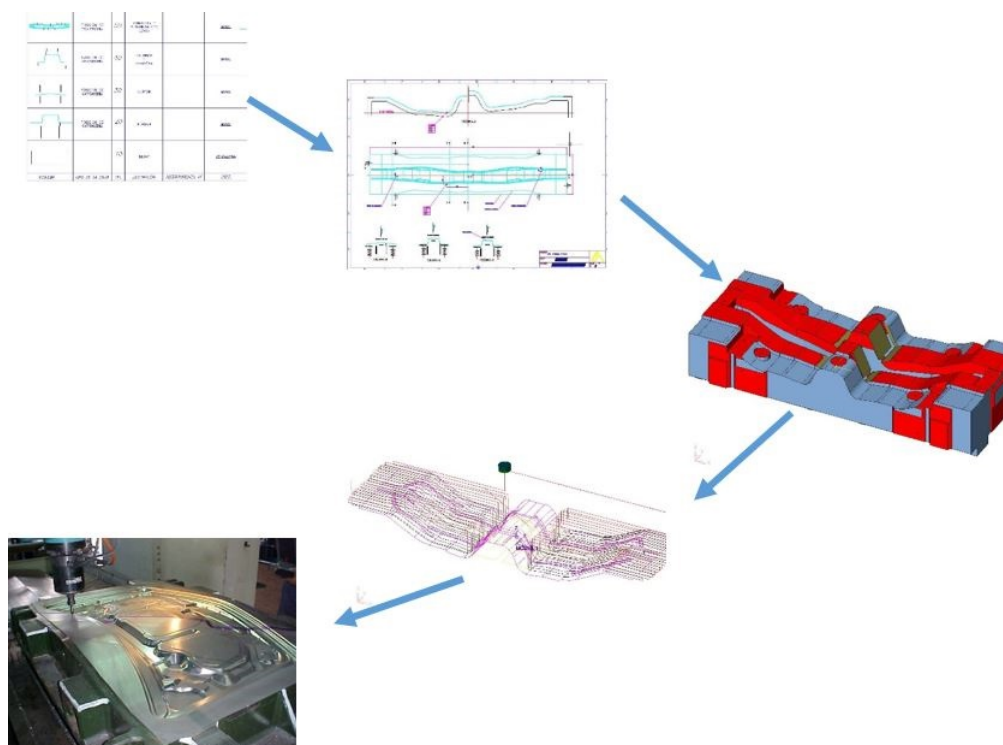


Figura 4.99: Diagrama del proceso de manufactura

Capítulo 5

Desarrollo de la línea

La línea de ensamble está enfocada al unido de piezas plásticas mediante soldadura y algunos procesos manuales. Por la cantidad de modelos, piezas, puntos de soldadura y actividades extras (tal como lo es posición de grapas, seguros, tornillos, etc.) se considera viable la implementación de una línea de ensamble, que consta de varias estaciones que lleven a cabo tareas para cumplir la producción.

La primera tarea es revisar la información correspondiente a los procesos dentro de la planta que sean similares a lo que se desea construir. Las preguntas clave son:

- ¿Qué tipo de soldadura se utiliza?
- ¿Cuánto tiempo tarda en realizar un punto (Incluye características, material, presión, etc.)?
- ¿Qué herramientas se emplean para realizar las demás tareas (tornillos, ligas, seguros, etc.)?
- ¿Cuánto dura el proceso y qué tareas realiza durante el mismo?
- ¿Cuáles son los puntos de inspección en calidad?
- ¿Cuáles son los puntos o factores de riesgo?
- ¿Qué opina el operador? ¿Cómo se puede mejorar?
- ¿Qué tipo de norma y estandarización se emplea?

Debido a la confidencialidad de los procesos, solo se puede decir que la soldadura es del tipo ultrasónica, un rectángulo de 10x5mm tarda alrededor de 2 segundos a una presión de 3kg perpendicular a la base, se utilizan elementos neumáticos o eléctricos para postura y atornillado. Los puntos de calidad se basan en la uniformidad, fluencia y porosidad del punto sin rechupe, el tiempo de enfriado tanto del plástico como de la soldadura es un riesgo para la calidad, el operador exige alturas, posiciones ergonómicas y la posición de las herramientas, y el tipo de norma; que para este ejemplo, es la alemana.

Se puede obtener información de todo el proceso y de las herramientas de información que se deseen, sin embargo, para propósitos del ejemplo, se mencionan los datos más importantes que se obtienen como experiencia de otros procesos, para que la siguiente línea se realice con mejoras sustanciales al diseño de sus antecesoras.

5.1. Ingeniería inversa

A modo de ilustración del proceso, las piezas que se describen a continuación son consola y porta vaso, los cuales se pueden observar en la figura 5.1. El plástico utilizado es ABS (de uso común en este tipo de piezas) y por la función que desempeñan dentro del automóvil, es importante cuidar la *zona de vista*, que es como se denomina a la textura del plástico para detalle al tacto. Este tipo de líneas unen las piezas plásticas mediante el uso de soldadura ultrasónica, que consiste en hacer vibrar una punta de titanio de entre 1K a 30MHz, para fundir el plástico que se encuentre en contacto al momento de la soldadura.

El funcionamiento de un sonotrodo es simple, (véase figura 5.2). Como puede intuirse, el proceso de soldadura ultrasónica es la unión de piezas plásticas mediante sonido a altas frecuencias, el funcionamiento del sistema consiste en un generador de ondas de entre 1k a 30MHz que funciona como fuente para la pieza mecánica a la punta. La fuente se conecta a un sistema oscilante, que consiste en una bobina y un capacitor conectados en paralelo.

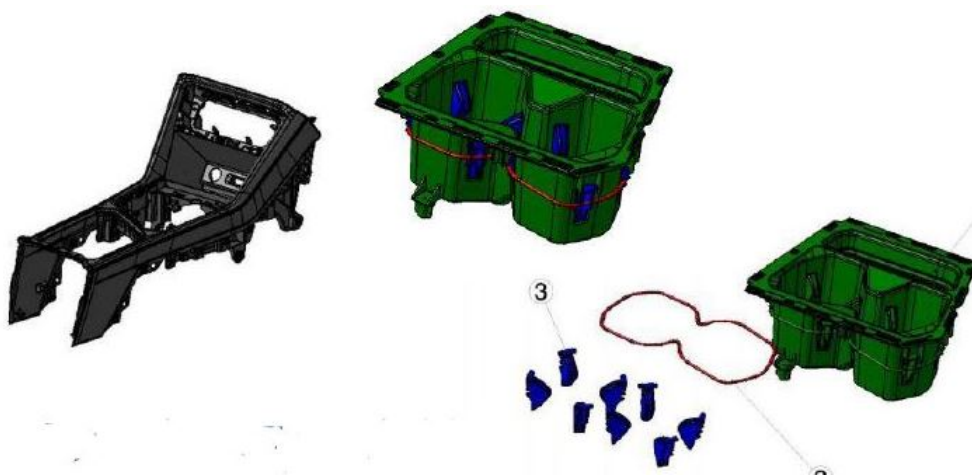


Figura 5.1: Piezas involucradas en el proceso 4

El núcleo de la bobina está formado por una aleación específica cuya principal característica es modificar su forma dentro del campo magnético formado por el paso de la corriente de forma reversible, es decir, la frecuencia de resonancia del material es la misma que la frecuencia del campo generado por la bobina; sobra decir que el campo electromagnético es ajustable y depende de la aplicación. La amplitud de la señal es muy pequeña, por lo que se emplea un amplificador de señal del tipo mecánico que aumenta la vibración generada hasta una punta.

Dependiendo de la forma geométrica de la punta, es el acabado de la soldadura. La punta también funciona como amplificador, por lo cual, la soldadura que se realiza es pequeña y por puntos, ya que, de existir movimientos axiales y no normales con respecto a las piezas, el sonotrodo puede romperse junto con la estructura interna por fenómenos de vibración y frecuencia de resonancia. Para el caso de la aplicación, la frecuencia **H** para soldar también depende de la geometría del punto, y debido a que se usará un solo modelo, los tiempos de ataque varían en la programación.

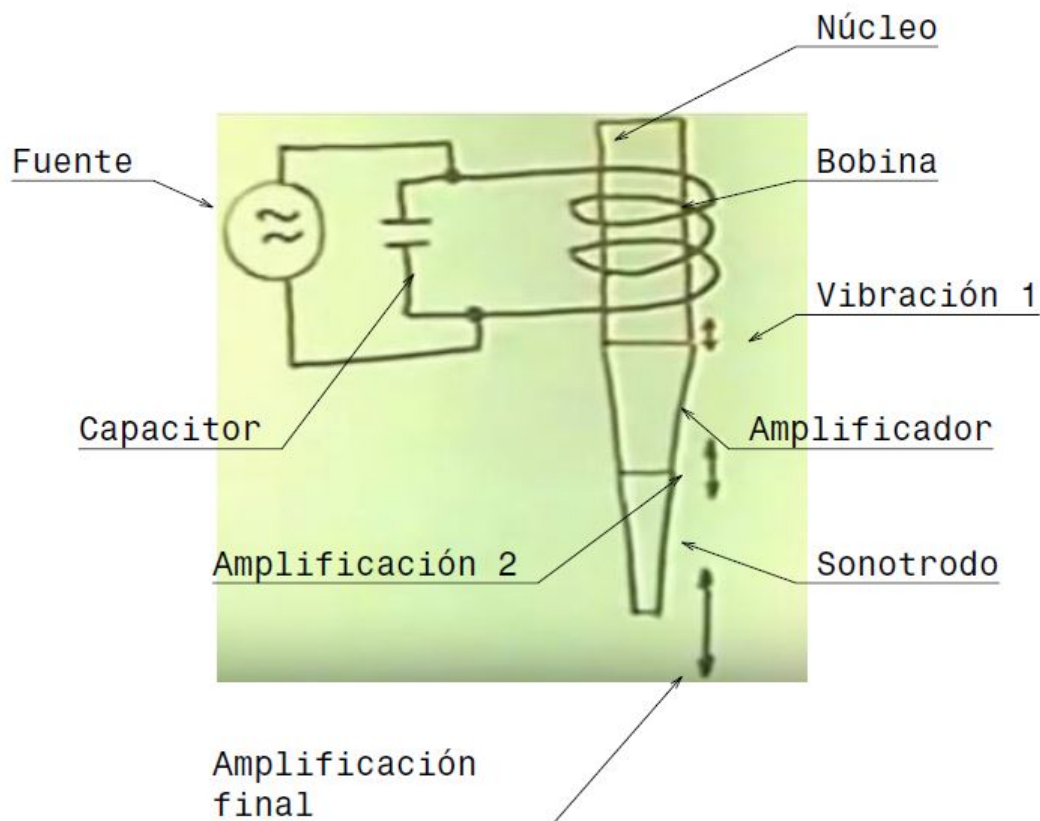


Figura 5.2: Funcionamiento de un sonotrodo

Una de las principales marcas en el mercado de equipos y sistemas para soldadura ultrasónica es Dukkane; marca que se emplea en esta estación y cuyos sistemas son aplicados en la industria nacional, por lo que la ingeniería inversa se realizó a partir de su catálogo y de las aplicaciones dentro de planta, en la figura 5.3 se puede observar un ejemplo.

Se puede observar el uso de item 45x45 al igual que las protecciones de seguridad al usuario (cortinas fotoeléctricas Cognex), cubierta de polietileno para filtrar el ruido, dos cabinas, una para trabajo del operador y otra para la prensa, prensa de 10 Kg, fuente de poder de 10 MHz, etc.

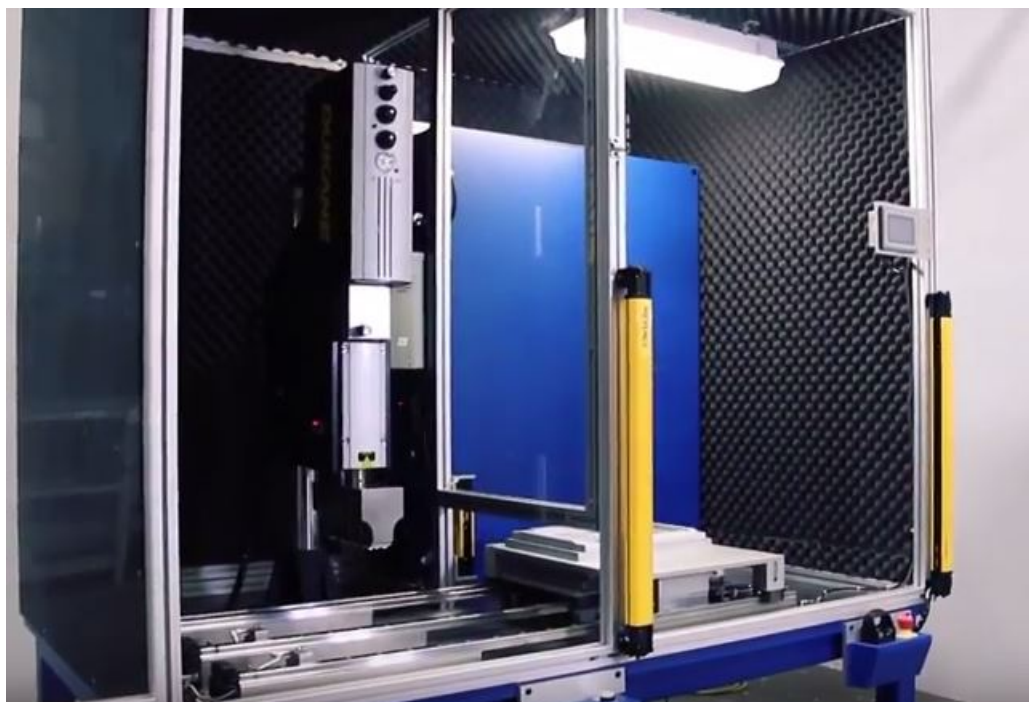


Figura 5.3: Ejemplo de un sistema tipo prensa (Dukkane, 2017)

Los puntos más importantes que influirán en el diseño son:

- Necesario el uso de protección para el operador.
- Cuidado con la posición y presión de la soldadura.
- Sensores fotoeléctricos o de proximidad para evitar desgaste.
- Robot en la parte interna de la estación, y gripper configurado para evitar retrocesos durante soldadura (no gripper neumático).

5.2. Ingeniería conceptual

Es importante en primer lugar reconocer la pieza a soldar junto con sus componentes y modelos. Debido a que los puntos de soldadura rectangulares son los que demoran más tiempo, son los que serán más cuidados para cumplir el tiempo de ciclo. El primer paso entonces sería contar el número de puntos, las zonas en las cuáles se concentran y las secuencias en las que se pueden soldar sin afectar el ensamble (figuras 5.4, 5.5 y 5.6).

Es fundamental tener claro los modelos que pueden no ser compatibles con los procesos o las estaciones, considerar los que puedan coexistir en las estaciones de trabajo, los volúmenes de producción y los tiempos.

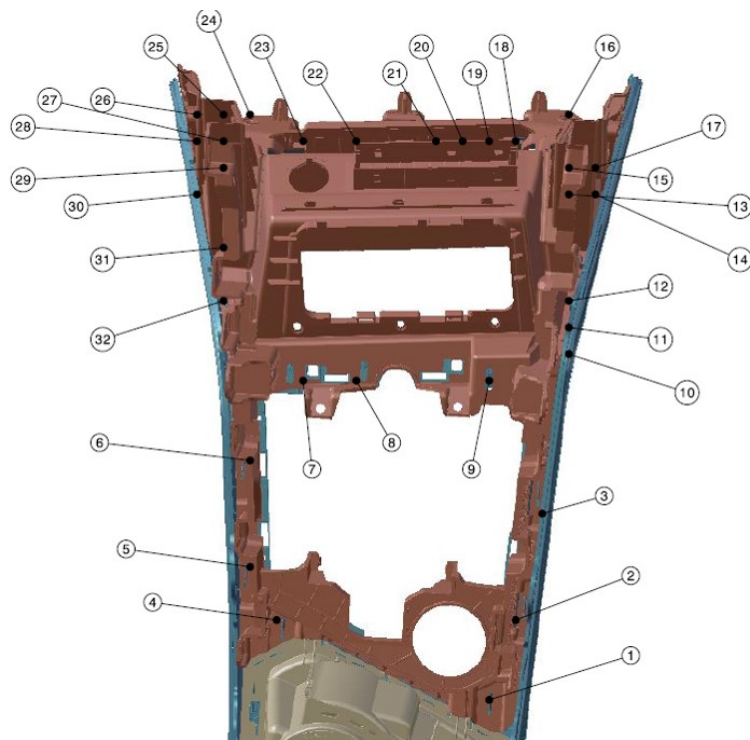


Figura 5.4: Descripción de puntos pieza 1

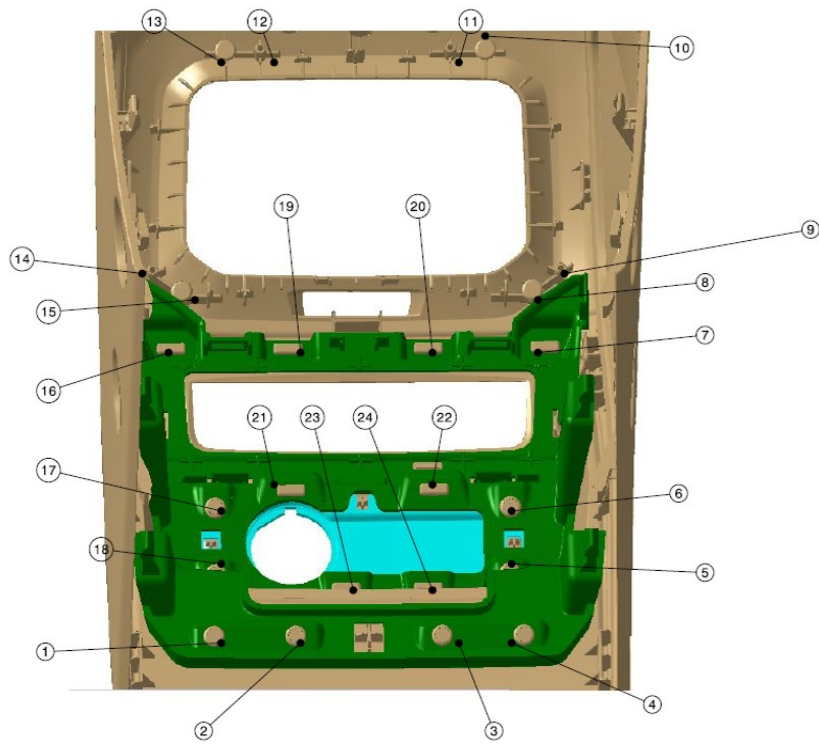


Figura 5.5: Descripción de puntos pieza 2

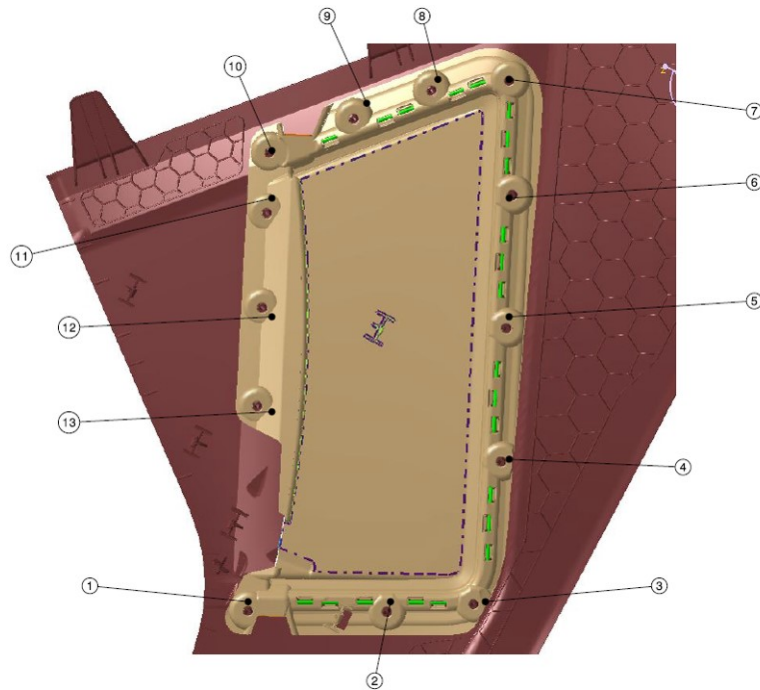


Figura 5.6: Descripción de puntos pieza 3

En la figura 5.7 se puede ver una propuesta de layout con referencia a la conceptualización de la línea. Las grapas deben venir desde el proceso de producción, por lo que solo se toman en cuenta para la validación del producto, mientras que los puntos de grasa pueden llevarse a cabo tanto manual como automático, siendo en este caso particular la opción manual, por costo.

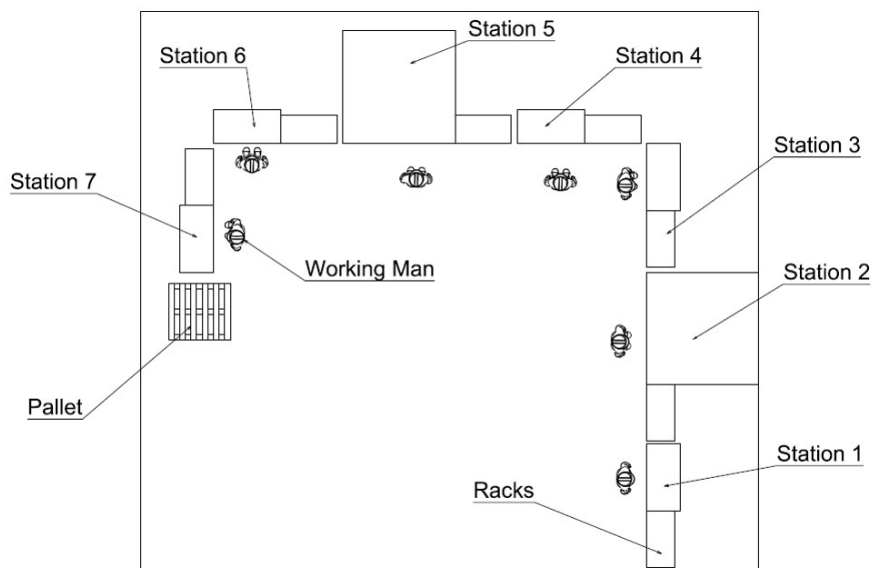


Figura 5.7: Layout propuesto

Note que dicho layout se encuentra en modo loop, pero va de izquierda a derecha, esto se justifica porque los racks de alimentación se encuentran a mano derecha del operador, y el flujo iría de derecha a izquierda, no afectando en medida de lo posible el tiempo de producción equilibrado a cada estación.

La zona de pallet describe la salida del producto terminado y validado, y no es necesariamente que en esta zona se empaque el producto, es de carácter ilustrativo y lo más conveniente es que tenga acceso al pasillo principal. Tenga en cuenta que dicha zona debe estar cerca de su similar para líneas de ensamble continuas, o bien, con los accesos lo suficientemente libres para evitar contactos con las estaciones, alimentaciones y colaboradores.

5.2.1. Levantamiento

La zona donde se encontrará la línea de ensamble está adecuada con puntos de toma de energía cada 20m, líneas neumáticas a 5 bares (común en este tipo de aplicaciones) pasillos auxiliares y buena iluminación. El área esta formada por un cuadrado de 30m de largo, buen nivel de piso, y mucha iluminación solar, por lo que las líneas que emplean cámaras (actividades de inspección, detección, etc.) tienen protecciones especiales para filtrar la luz variable del sol a lo largo del día dentro de la planta. En la figura 5.8 se muestra una estación que es parecida a las de la línea desarrollada.



Figura 5.8: Ejemplo estación soldadura

5.2.2. Concepto

Las dimensiones de la mesa serán de 2000x1500x200mm (véase figura 5.9) para las mesas con robots (como se mencionó en el capítulo anterior) y 1200x600x900mm para las manuales.

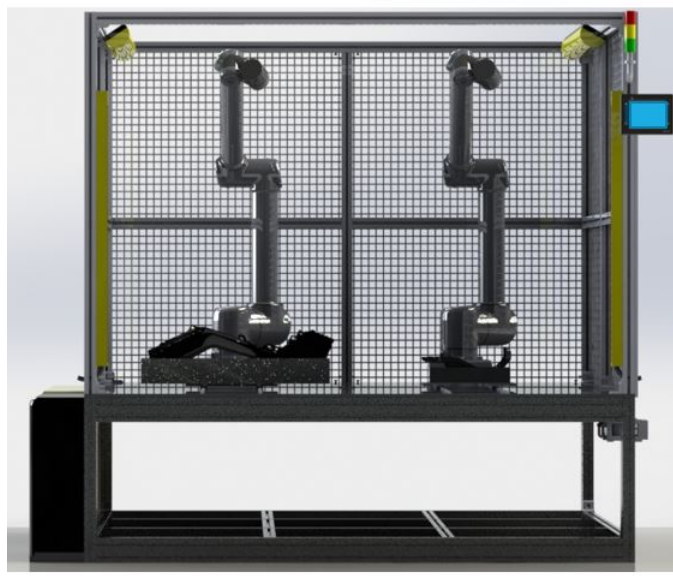


Figura 5.9: Primer concepto

Después de la valoración de la pieza (véase figura 5.10), se definen 3 estaciones, dejando la estación 4 con un robot, la 2 con dos y la 5 con uno pero dos piezas, por ser bajo volumen. Las estaciones 1, 3 y 6 son solo ensamble manual, por lo que no se mencionarán para efectos del documento, y la 7 solo se mostrará el CAD por cuestiones de confidencialidad.

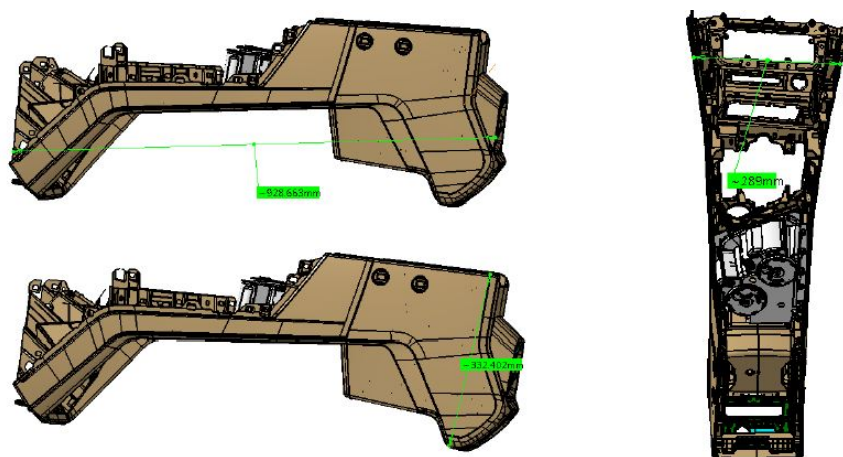


Figura 5.10: Dimensiones generales del producto

Los puntos a soldar en la estación 2 son los de la pieza 1, la estación 4 soldará los puntos de la pieza 1 con el portavasos (figura 5.1) y la estación 5 las piezas 2 y 3, mientras que la 7 realizará la validación del producto final. El resto de las estaciones son de pre-ensamble.

Normalmente no se sueldan todos los pines debido a que es necesario contemplar las refacciones que sean necesarias para el producto, sin embargo, la cantidad de puntos a soldar es un tema sensible y por tanto no se menciona en este documento de forma específica; se usa la expresión n para el número de puntos. Basta mencionar que cada empresa tiene sus propios lineamientos sobre cuantos puntos soldar, debido a que de ello depende la durabilidad y fiabilidad de los subensambles.

La norma a emplear será la alemana DIN, por lo que todos los diseños y componentes se encuentran regulados bajo este marco de aplicación. Por estandarización dentro de la planta, se usará aluminio estructural tipo Bosch de la serie 45 perfil ranurado tipo U, el cual es confiable para aplicaciones estructurales, relativamente ligero y modular.

Finalmente, de acuerdo a las características geométricas de la pieza, se puede unificar todos los puntos como un solo rectángulo, el cual es de medida 13x4mm, ya que el resto de componentes varía poco y la huella al final de la soldadura es muy parecida; es decir, la desviación se puede controlar con la aplicación de fuerza adecuada y el tiempo de exposición del sonotrodo, mientras que los redondos son de un diámetro de 8mm. Entre más tiempo se exponga el punto a soldar por el sonotrodo, la fundición es mayor y se producen problemas de agrietamiento, fundición de la pieza a soldar y rotura en el producto y el sonotrodo.

El control está basado en los sistemas de control Siemens (S7-1214, que cuenta con memoria expandible para módulos externos) y por petición se usan los robots UR, los cuales están abriéndose mercado como robots colaborativos, de baja potencia y repetibilidad adecuada para trabajos de baja carga, pick and place, etc.

5.3. Diseño mecánico de la línea

Una vez descrito el número de estaciones y definidos los tiempos de ciclo en cada estación, el número de pasos a seguir, los componentes que se encuentran en las áreas de trabajo y el proceso de iteración (datos confidenciales, pero responden a la lógica mencionada en el capítulo *Metodología de diseño*, se puede dar inicio de la ingeniería a detalle (véase figura 5.11), la cual se convierte en la versión final conforme satisfaga las necesidades de diseño.

La definición del sistema también permite llevar a cabo el diseño enfocado a las tareas de función específica; o como se mencionaron con anterioridad, subsistemas de funcionamiento. La forma de iterar depende de las características de las piezas, el número de movimientos y la dificultad de tareas. El desarrollo de los subsistemas depende también de las habilidades del diseñador; tanto el mecánico como el de aplicación, por lo que los conocimientos en proceso y conceptos básicos son usualmente soluciones viables.

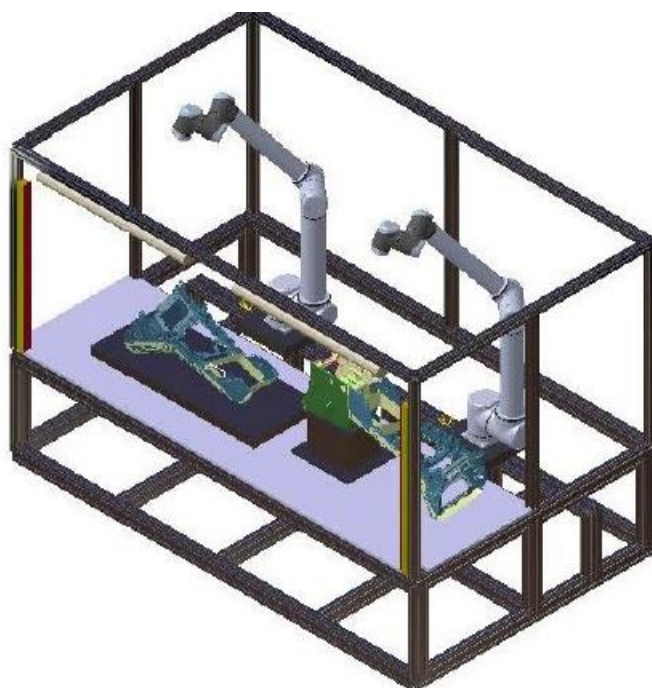


Figura 5.11: Diseño conceptual estación 2

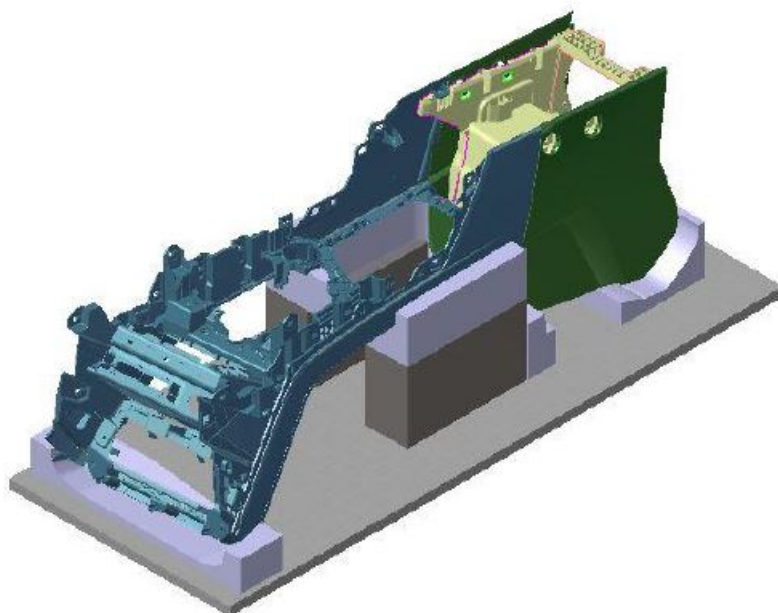


Figura 5.12: Ejemplo de holding para la estación 2

Debido a que las cunas (véase figura 5.12 y 5.13) tienen acabado superficial (comúnmente llamado vista), el material que se debe utilizar para realizar el contacto con la pieza debe ser suave al tacto, por lo que se realizaron bajo los estándares mencionados en

el capítulo *Desarrollo mecatrónico*. Como se mencionó anteriormente, la cuna será un simple holding para el producto, por lo que la precisión no es un tema crítico salvo para los puntos de control de rechupe de material.



Figura 5.13: Ejemplo de holding para la estación 5

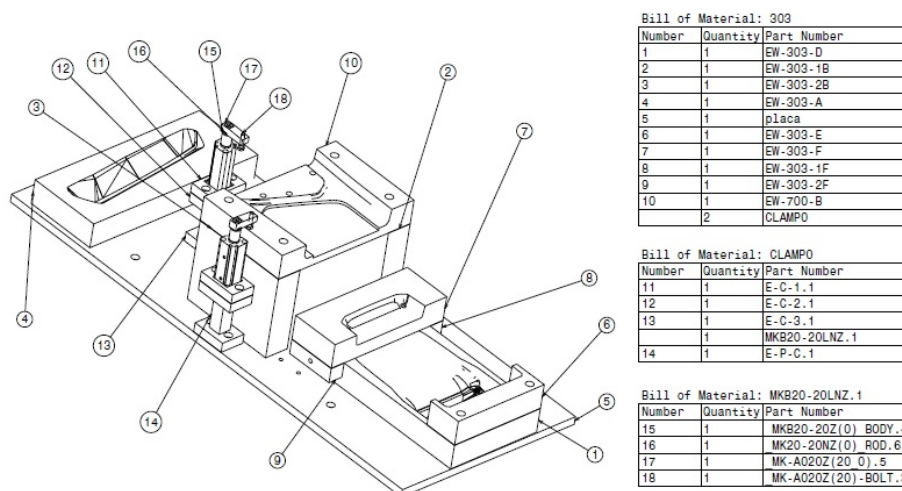


Figura 5.14: Sistema final holding

Se usa placa normalizada de 2 y 3" junto con tornillería DIN, aluminio 6061 (también denominado *Duraluminio*) y el uso de clamps neumáticos giratorios de 25mm de la marca Festo, para dar el soporte necesario a las piezas de la consola al momento de soldar. Las piezas, salvo las superficies, son fáciles de maquinar y armar dentro de las estaciones manuales, y el ajuste queda en un tema de altura de cada componente (véase figura 5.14).

El resto del diseño se implementa utilizando Item de 45x45 y 90, debido a que es el estándar dentro de la empresa, aluminio 6061 o duraluminio, como también se le conoce de forma comercial, tornillería cabeza redonda y de gota Allen bajo norma DIN y equipos especiales como lámparas, cortinas de visión Keyence, etc.

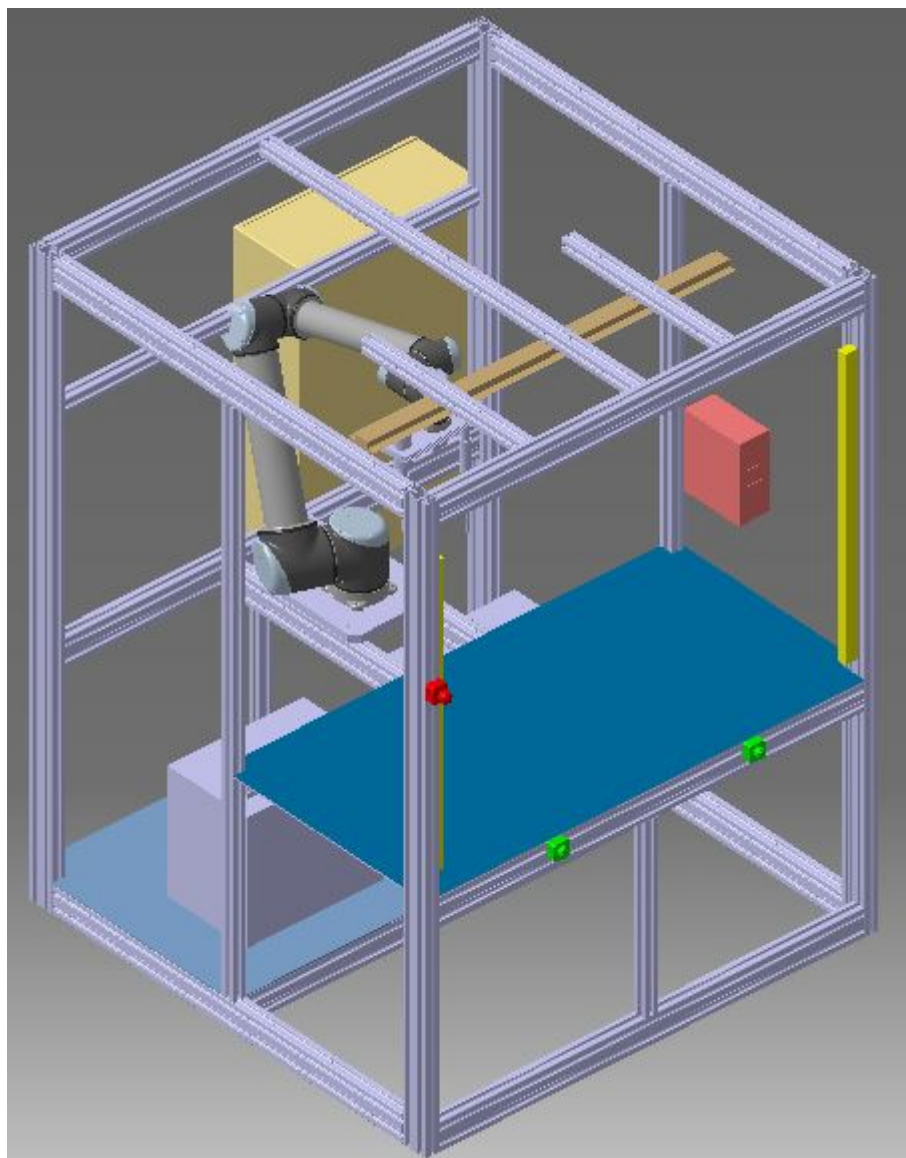


Figura 5.15: Esquema básico de estación 4

Una vez detallado el concepto de la estación con un robot, las dimensiones de la mesa y las características de la pieza junto con los puntos; es importante definir las características a cumplir de la cuna que será la encargada de alojar las piezas para su soldado, que en este caso en particular se trata de un Holding o cuna de posición.

La estructura tiene las medidas de 1500x1500x750mm con una altura total de 2000mm, y cuenta con cuatro refuerzos para soportar una carga de 350 Kg., capa-

cidad que toma en cuenta el peso del robot, cuna, equipos especiales, inercias más el 15 % de seguridad que se mencionó en apartados anteriores.

Después de realizada la estructura de la estación, se le pueden ensamblar el resto de los componentes usando la herramienta *Assembly Design* incluida en el software. El robot utilizado es un UR 10, el cual tiene una capacidad de 10 Kg de carga en la punta del mismo, cuyo CAD se puede descargar en la página de UR, junto con los manuales y datos técnicos correspondientes.

Se usarán las protecciones de acrílico oscuro de 7mm de espesor, trespas para la cubierta de la mesa y el repositorio de fuentes y módulos de control, mientras que el tablero se encuentra alojado en la parte posterior de la estación junto con alimentaciones y cableado eléctrico y neumático, por cuestiones de seguridad.

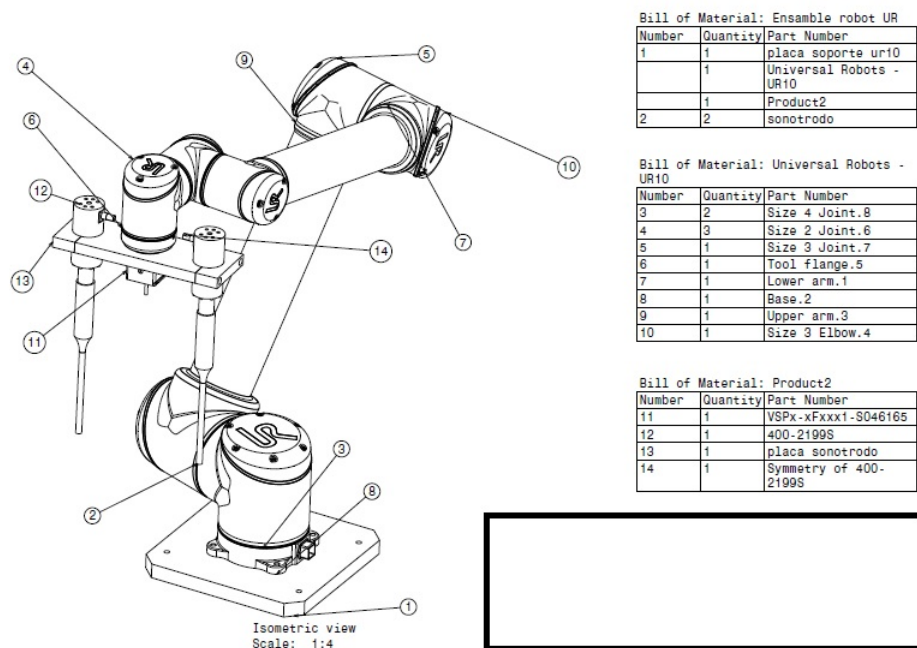


Figura 5.16: Ensamble robot.

En la figura 5.15 se puede observar el diseño básico de la estación 4 con los componentes antes mencionados, en azul las trespas, en amarillo las cortinas de seguridad Keyence de 900mm, en verde los botones bimanuales de activación y en rojo el botón de emergencia, mientras que en rosa se representa la zona donde estará el atornillador Deprag. El ensamble omite las cubiertas de acrílico para efectos visuales, pero estarán al contorno de todo el ensamble para evitar daños por sonido y la luz que pueda afectar a la visibilidad de las cámaras y del usuario de la estación y se menciona por la similitud con el resto de las estaciones.

Los sonotrodos tienen una cubierta estilo carcasa para la bobina, núcleo y capacitor por arriba del sonotrodo, por lo que no tener correctamente ajustados los parámetros correspondientes a su geometría implica una vibración que desgasta al equipo eléctrico.

Existen tres formas de escoger el gripper, las cuales son: contacto directo con el metal; por lo que hay que hacer estudios de resonancia, contacto mediante junta; cuya junta es un anillo de plástico que funciona como aislante de vibración y el gripper amortiguado; que se implementa con cilindros neumáticos y juegos de muelles. Se usó la junta plástica por practicidad.

En la figura 5.16 se puede observar el ensamble de todo el equipo robótico, ensamble que servirá para el área de manufactura y puesta en marcha, junto con sus listas de materiales y la numeración normalizada de acuerdo a lo mencionado en capítulos anteriores.

5.4. Diseño eléctrico de la línea

La medición de la calidad de soldadura se realiza por cámara, mientras que la validación de puesta correcta de pieza, posición de los actuadores, y verificación de grapas mediante sensores. El realizar los trabajos de inspección por cámara resuelve sustancialmente el cableado dentro de la estación de trabajo, debido a que es posible emplear recetas similares por punto para medir contrastes en la cámara y utilizar la comunicación profinet entre el PLC-HMI-Robot-Soldadura ultrasónica-Atornillador.



Figura 5.17: Esqueleto común para los tableros

Debido a que previamente se desarrollaron todas las adecuaciones en las estaciones para llevar a cabo las tareas de ensamble en pasos y tiempos similares, es posible definir un esqueleto común de tablero (véase figura 5.17) con el cual partir. El uso de un tablero estándar permite reutilizar planos y cálculos, realizando cambios poco

significativos, reduciendo tiempo en diseño y manufactura. En la sección *Diseño de tablero eléctrico* se mostró el diagrama del tablero que se puede observar en la figura 5.18, y todos los tableros dentro de la línea están estructurados de la misma forma.

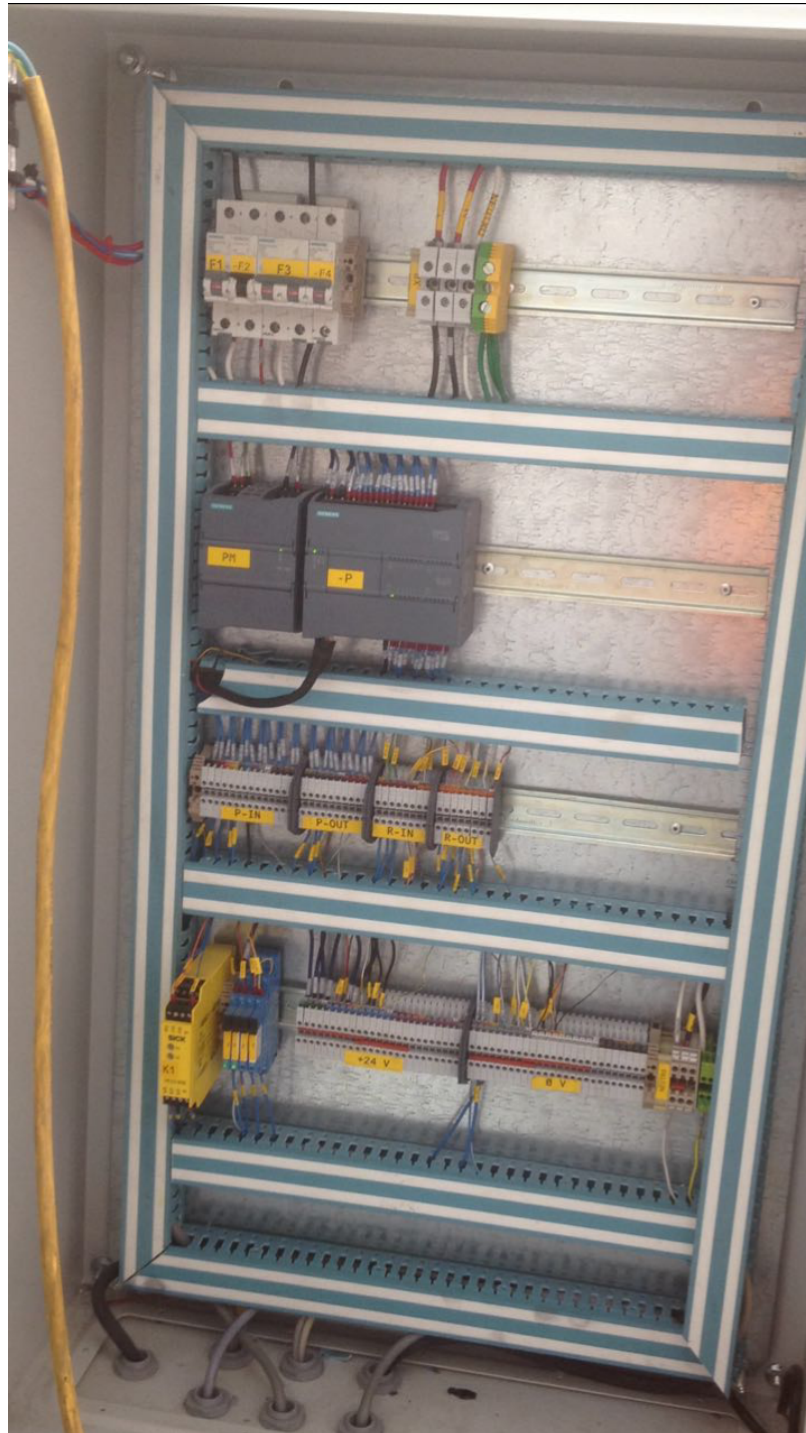


Figura 5.18: Ejemplo de tablero terminado

Para los cables del robot, fuentes de poder, cable de alimentación para sonotrodo y el cable de comunicación de la cámara, se usaron orugas plásticas y espiral, las cuales funcionan como arnés que permite dar movimiento a los sistemas sin dañarse.

5.5. Diseño de control y automatización de la línea

Como se mencionó con anterioridad, los componentes de cada estación de trabajo son el robot de 10kg, la fuente de poder de soldadura, los periféricos; que constan de sensores de presencia, las cortinas de seguridad, los botones de arranque, paro y emergencia junto con el PLC y HMI Siemens 1240 y KTP 9", respectivamente.

Físicamente se utiliza un zócalo tipo switch donde se conectan cada uno de los cables de comunicación de cada sistema, y se les asigna una serie de pasos según reciban información. Para este caso, mediante flujo de bytes se comunica la acción desde el PLC por un programa sencillo precargado. Cada elemento unido en la subred recibe la información del maestro y realiza su tarea. Al terminar, manda un bit y se desactiva hasta la siguiente llamada.

Los detalles de la programación se realizó como se indicó en el capítulo anterior *Desarrollo mecatrónico*.

5.5.1. Diagrama de flujo estación 2

En la figura 5.19 se muestra el diagrama de flujo de la estación 2, la cual consiste en dos robots y tres áreas de trabajo independientes entre sí, donde:

- **Rph**: Posición home de los robots.
- **cps**: Clamps.
- **bp y be**: Botón de paro y emergencia, respectivamente.
- **cs**: Cortina de seguridad.
- **c**: Señal de pieza correcta cámara.
- **sp**: Sensor de presencia de las piezas en cuna.
- **bi**: Botones de inicio.

Aunque se emplean dos robots, el funcionamiento de ambos comienza en el mismo punto en el tiempo que el operador manda la orden, y basta con sincronizar los movimientos dentro de la programación para evitar contactos. Algo importante de mencionar es que esta marca de robots; al ser colaborativos, permite el paro automático al sentir cargas no programadas o excesivas, por lo que la configuración de la carga máxima dentro de la interfaz del UR es configurada a 10 Newtons de fuerza límite. En el caso de los robots industriales, existen módulos extras que se pueden emplear o realizar comunicación entre robots punto a punto, según las necesidades del proyecto.

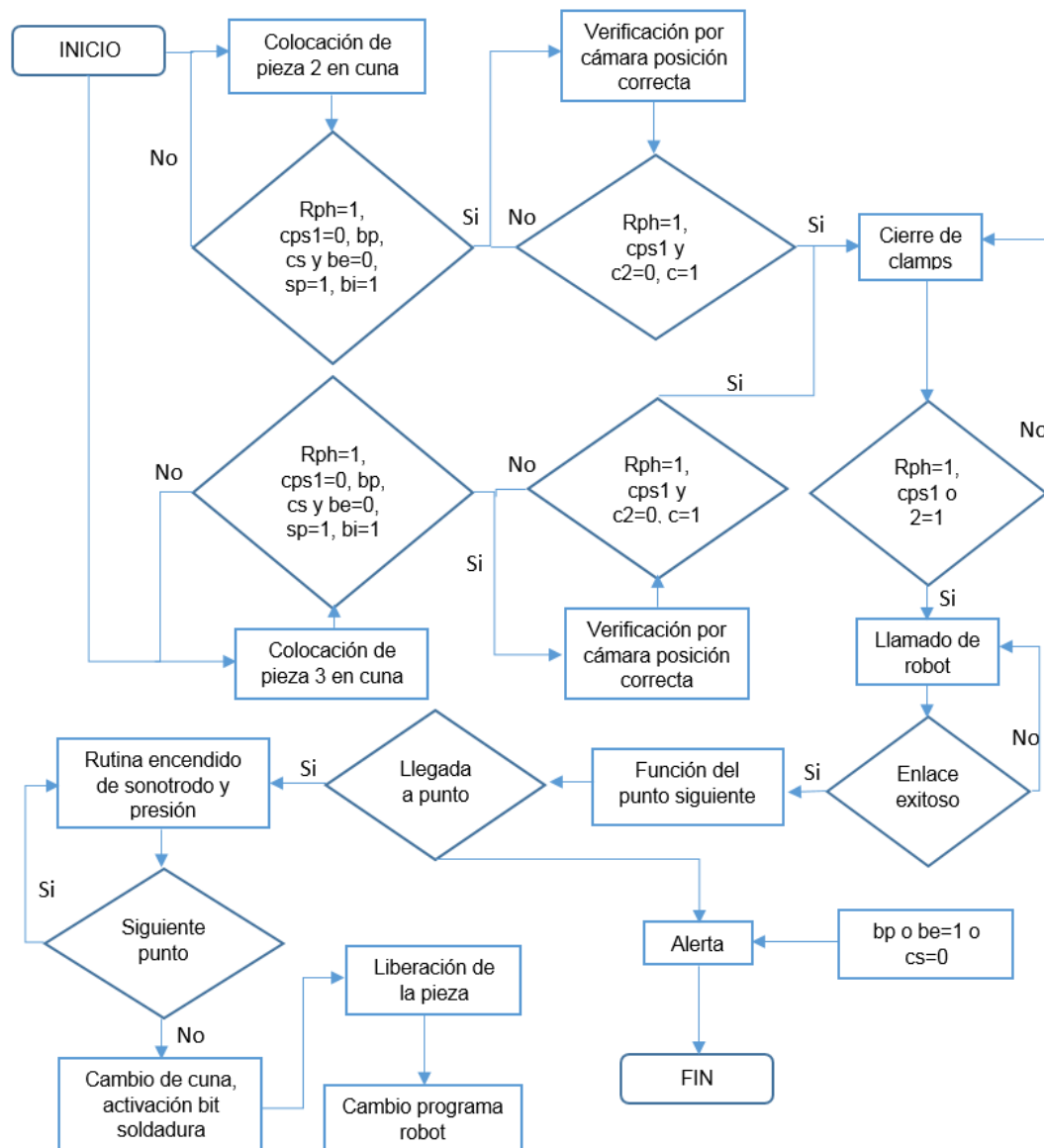


Figura 5.19: Diagrama de flujo funcionamiento estación 2

5.5.2. Diagrama de flujo estación 4

En la figura 5.20 se muestra el diagrama de flujo de dicha la estación 4; que se diferencia de las demás por considerar el atornillador, donde:

- **Rph:** Posición home del robot.
- **c1, c2:** Clamp 1 y 2.
- **bp y be:** Botón de paro y emergencia, respectivamente.
- **cs:** Cortina de seguridad.

- **c**: Señal de pieza correcta cámara.
- **sp**: Sensor de presencia de las piezas en cuna.
- **bi**: Botones de inicio.

Es importante mencionar que el llamado del robot y el atornillador se realizan mediante Profinet, por lo que se consideran llamados a funciones dentro de la lógica del programa la cual se denomina *Llamado del robot*.

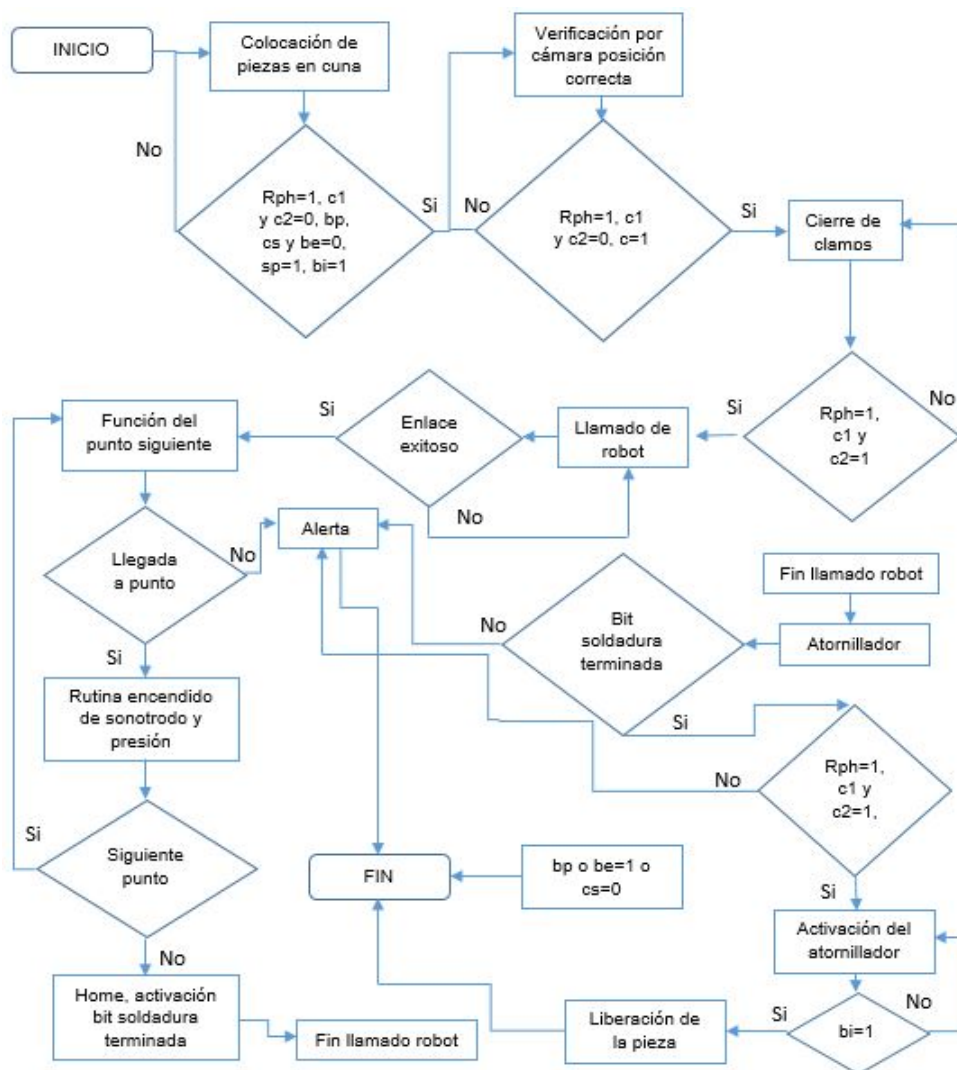


Figura 5.20: Diagrama de flujo funcionamiento estación 4

5.5.3. Diagrama de flujo estación 5

En la figura 5.21 se puede observar el diagrama de flujo de la estación 5, la cual consiste en una estación de un solo robot con dos áreas de trabajo. Debido a la cantidad de puntos, es necesario que el robot trabaje sin parar, por lo que se contempla también un sistema de cunas independientes, de tal modo que una es trabajada por el operador mientras que el robot trabaja con la otra, ininterrumpiendo el ciclo de trabajo.

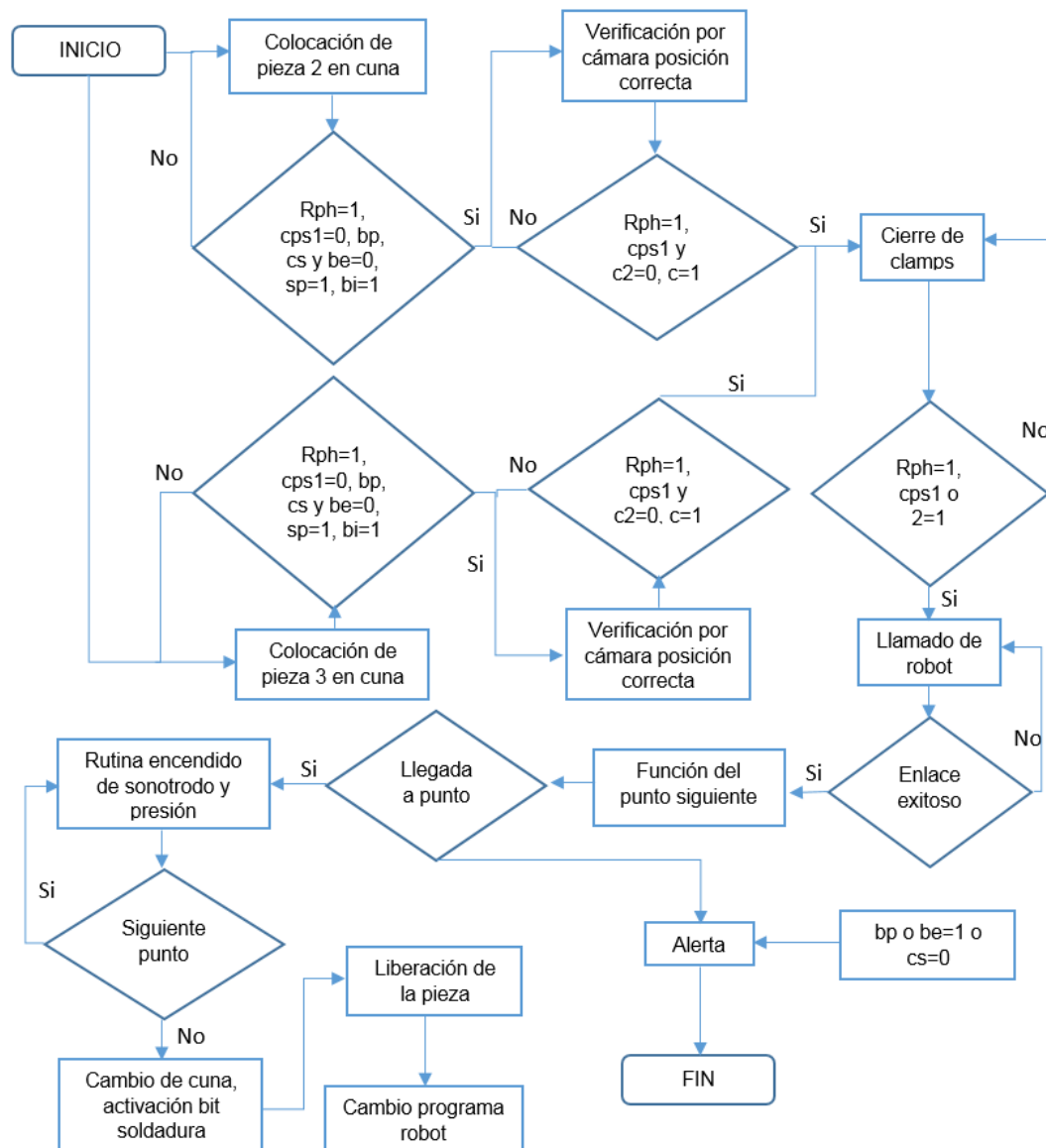


Figura 5.21: Diagrama de flujo funcionamiento estación 5

Donde:

- **Rph**: Posición home del robot.
- **cps1-2**: Clamps sistema 1 y 2.
- **bp y be**: Botón de paro y emergencia, respectivamente.
- **cs**: Cortina de seguridad.
- **c1-2**: Señal de pieza correcta cámara 1 y 2.
- **sp**: Sensor de presencia de las piezas en cuna.
- **bi**: Botones de inicio.

Para la estación 7, que es la estación de verificación del sistema se mostrará el diagrama de funcionamiento más adelante, en la sección *Estación 7* en éste capítulo.

5.6. Puesta en marcha de la línea

Después de desarrollar todas las piezas involucradas en el proceso y su validación, es necesaria la construcción de los ensambles; y para ello, se debe tomar en cuenta las actividades de fabricación, ajuste y armado mencionados en la sección *Puesta en marcha* del capítulo *Metodología del diseño y desarrollo*. En la figura 5.22 se observa el plano de ensamble de la mesa 4. El área de manufactura es la que se encargará de realizar cada una de las piezas, ensambles y componentes que sean necesarios, mientras que en las figuras 5.23 y 5.24 las compras de los materiales.

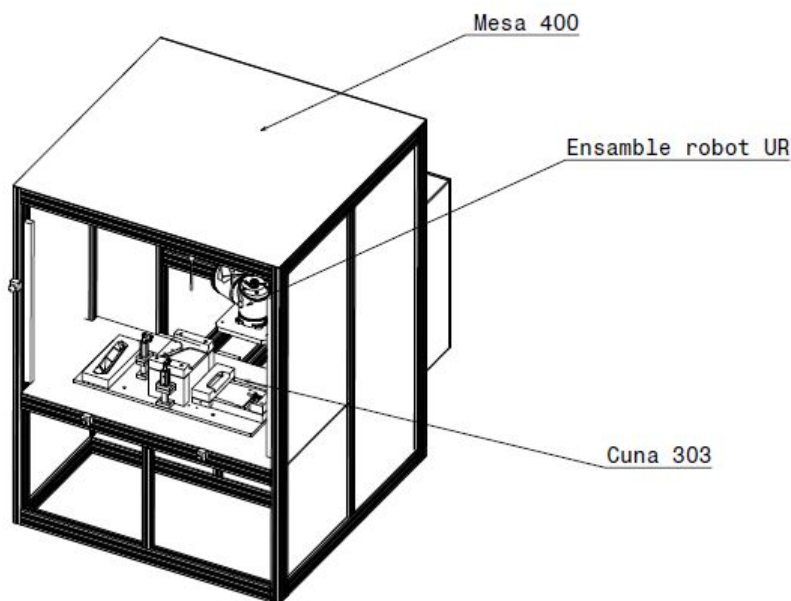


Figura 5.22: Plano de ensamble mesa 4



Figura 5.23: Tableros y PLCs

Para la puesta en marcha es necesario realizar ayudas visuales y un plan de actividades, el deber de todo ingeniero; sea industrial o no, es realizar dichas ayudas para una correcta ejecución del ensamble. En la figura 5.25 se muestra un ejemplo de puesta en marcha con ayudas visuales para la estación 5.



Figura 5.24: Atornillador y fuentes

Es importante llevar a cabo las pruebas referentes a los equipos especiales y familiarizar a los desarrolladores con las dimensiones, el peso y movimientos, para que también puedan proponer y ajustar en caso de ser necesario (véase figura 5.26).

Para la puesta en marcha son necesarias herramientas de taller, es conveniente realizar kits de herramientas idénticas para cada colaborador. El uso de máquinas convencionales, rectificadoras y herramientas eléctricas requiere del personal capacitado para manejarlas. Por estas tareas la planeación es clave.



Figura 5.25: Ejemplo de ayudas visuales



Figura 5.26: Prueba de fijación de robot y capacitación

Después de los ajustes necesarios en ensambles y la construcción de cada uno de los sistemas, es necesario realizar las validaciones correspondientes. La clave es utilizar elementos de sujeción rápida y flexible; tal como lo son las conexiones rápidas de energía, subensambles o tableros para la parte neumática, uso de arneses con conectores multipolos, subsistemas desmontables, etc., tal como se mencionó en los apartados anteriores.

Las características de una buena implementación de la línea dependen; entre otros factores, de la luz dentro de la estación, la facilidad de uso de acuerdo a la ergonomía y operación de equipos y la localización de puertos y periféricos. Después de la construcción y validación de los sistemas eléctricos, de control y mecánicos, es necesaria la implementación de las estaciones de ensamble antes de realizar la puesta en línea.

Es importante que cada subsistema se encuentre en óptimas condiciones para la realización de su trabajo, lo cual, solo se puede comprobar inspeccionando el sistema mecánico, eléctrico y de control en su conjunto; antes de la puesta en marcha y pre-series. La validación se puede realizar con el sistema energizado y activo, o solo mediante una corriente de polaridad para indicadores visuales. Un método de validación de repetibilidad es el **ANOVA** (análisis de variables), donde se hace un mínimo de 5 partes, 2 operadores y una prueba.

- Si **ANOVA** es menor al 10 % es aceptable.
- Si **ANOVA** varía de entre el 11 al 20 % es necesario realizar una evaluación, pero puede concederse el proceso.
- Si **ANOVA** se encuentra arriba del 20 % el proceso es rechazado.

Si no se cuenta con las piezas necesarias para realizar **ANOVA**, el estudio puede realizarse repitiendo dos veces con la pieza. La pieza debe ser colocada, clampeada y removida luego del proceso.

Finalmente, asegurar que la estación sea lo suficientemente rígida, que guarde relación tanto morfológica como visual de los componentes que la constituyen, la disposición de herramientas, elementos visuales y la zona de mantenimiento en un lugar que no afecte la operación.

5.7. Estación 2

La estación 2 cuenta con dos robots y tres áreas de trabajo, es decir, tres cunas. Las cunas se encargan de ensamblar la consola central junto con el refuerzo, como se puede apreciar en la figura 5.27.



Figura 5.27: Piezas involucradas en la estación 2

Las medidas de la mesa son de 2000x1500x2000mm en aluminio estructural tipo Item de perfil U ranurado con acrílico de protección y bases de aluminio. Cuenta dos kits de soldadura ultrasónica, cámara de inspección y dos robots UR10. En la figura 5.28 y 5.29 se muestran las vistas en perspectiva del usuario dentro de la estación, mientras que en la figura 5.30 se muestra el ensamble completo de la estación antes de su envío y puesta en marcha. Las actividades de diseño y manufactura se describen, al igual que las anteriores dentro del capítulo anterior y las secciones dentro de este mismo capítulo.



Figura 5.28: Vista en perspectiva 1 estación 2



Figura 5.29: Vista en perspectiva 2 estación 2



Figura 5.30: Estación 2

5.8. Estación 4

La estación 4 consiste en el soldado de los productos de la estación 2 con el portavasos (véase figura 5.31). La figura 5.32 muestra el área de trabajo del robot y la posición de la pieza, mientras que la figura 5.33 la imagen en perspectiva de la estación.

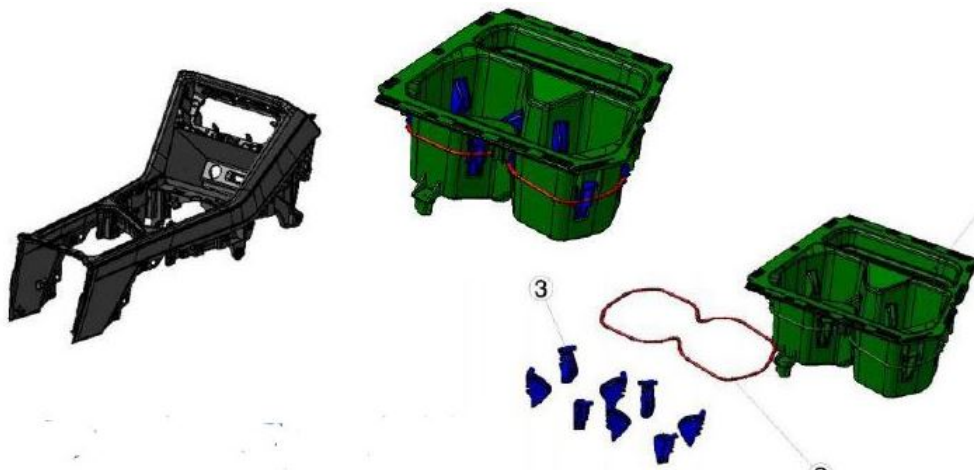


Figura 5.31: Piezas involucradas en la estación 4

Esta estación tiene unas dimensiones de 1500x1500x2000mm en aluminio estructural tipo Item ranurado con acrílico de protección y bases de aluminio. Cuenta con un kit de soldadura ultrasónica, cámara de inspección y un robot UR10.

A diferencia del resto de las estaciones, aquí se encuentra un equipo más; que es el atornillador eléctrico, aunque para efectos prácticos se puede tomar como un sistema manual debido a que solo se activa por un bit mandado por el PLC y su operación depende del operador que realiza el ensamble de los dos tornillos en el sistema, cuyo funcionamiento se define en la sección *Diseño de control/automatización* de este capítulo.

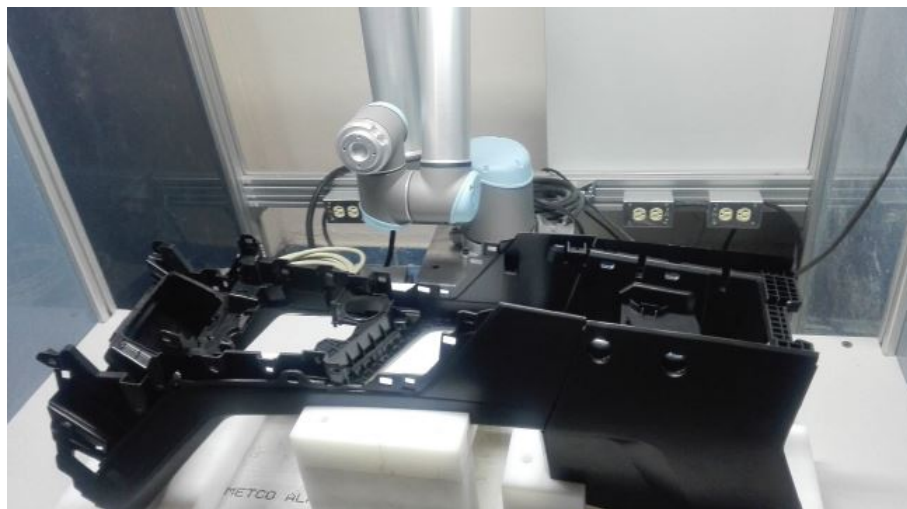


Figura 5.32: Acercamiento de la cuna 4



Figura 5.33: Vista lateral de la estación 4

Debido a que los espacios entre la pared y el portavasos son muy delgados, es necesario utilizar sonotrodos de 3 ondas para alcanzar los puntos (Cada onda implica 8cm). En la figura 5.34 se muestra la estación completa, mientras que en la figura 5.35 la estación con el resto de los equipos.



Figura 5.34: Vista completa estación 4

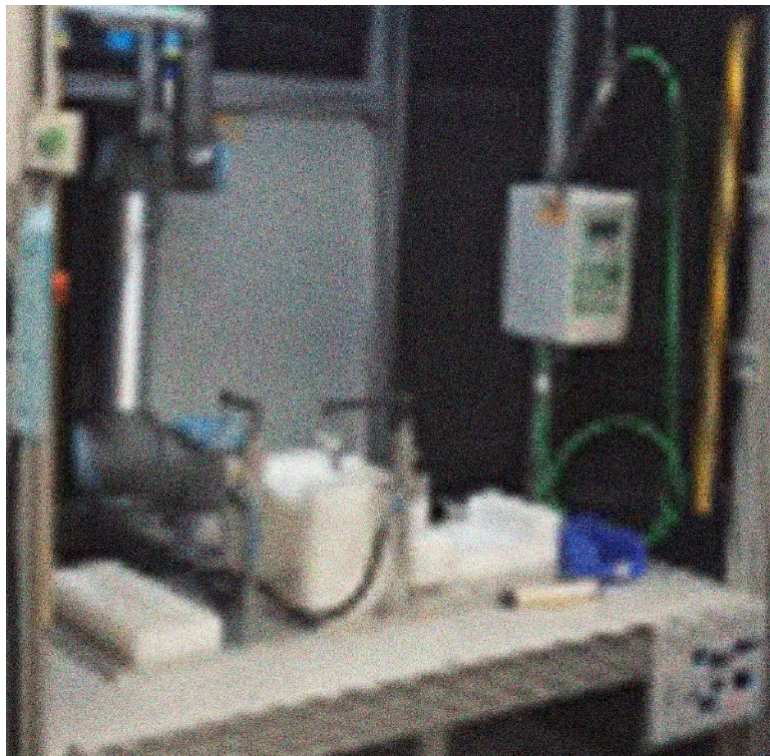


Figura 5.35: Estación 4 con todos los equipos

5.9. Estación 5

En esta estación se encuentran los ensambles de las piezas 2 y 3 mencionadas en el apartado *Ingeniería conceptual* del presente capítulo y se muestran en la figura 5.36.

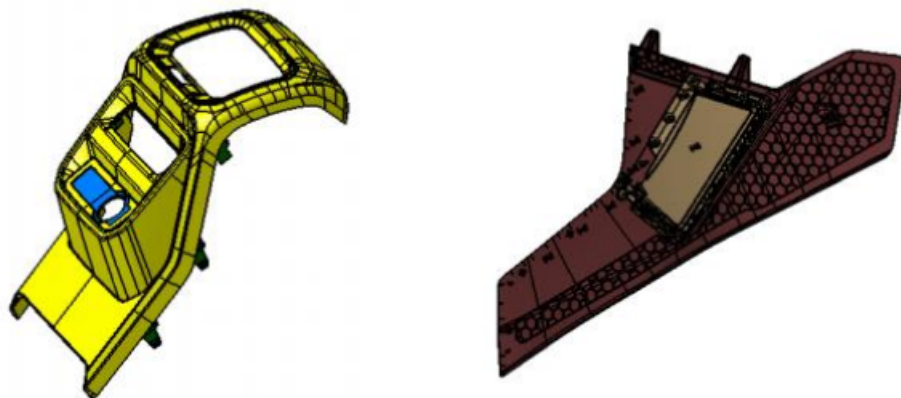


Figura 5.36: Piezas en la estación 5

La estructura es la misma que en la estación 2 salvo que cuenta con sistemas deslizables por cilindro y guías lineales en la base, para cambios rápidos. La principal amenaza de esta estación es la velocidad de desplazamiento, y la postura de la pieza, por lo cual el robot se encuentra todo el tiempo trabajando y el operador se ocupa de colocar los componentes de cada operación mientras se realiza la otra, como se mencionó en su diagrama de funcionamiento. En la figura 5.37 se muestran las vistas de la estación, mientras que la figura 5.38 muestra la estación antes de la entrega.



Figura 5.37: Subsistemas de la estación 5



Figura 5.38: Estación 5

5.10. Estación 7

Por razones de confidencialidad, la estación no puede ser mostrada en funcionamiento ni realizarle un despiece a profundidad, pero se describen las actividades y los parámetros a medir dentro del producto debido a que dicha estación (véase figura 5.39) realiza la tarea de evaluación del producto en la línea, y dichos procesos son clave en el diseño y desarrollo de una línea como esta.

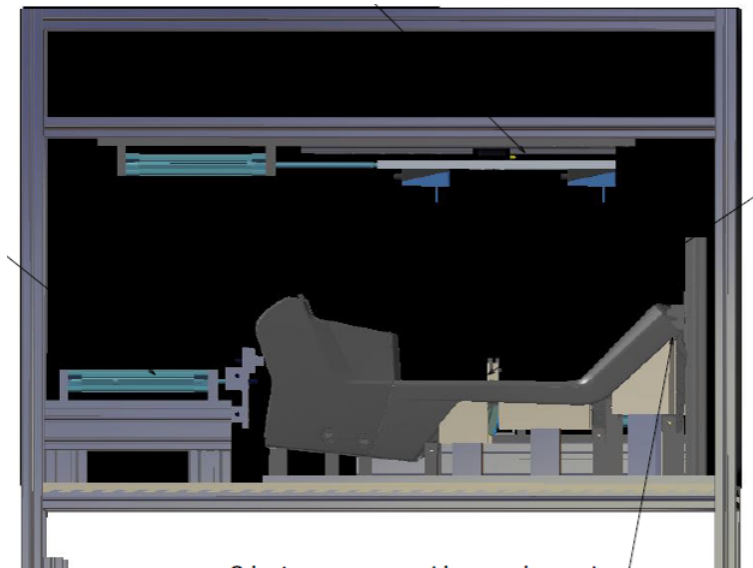


Figura 5.39: CAD propuesta de la estación 7

La estación valida la existencia de grapas y tornillos en todo el producto, el ensamble y la presencia de cada uno de los componentes junto con la funcionalidad de la cortina para ediciones europeas. La figura 5.40 muestra las características principales a medir en la base mientras que la 5.41 las características en la parte superior.

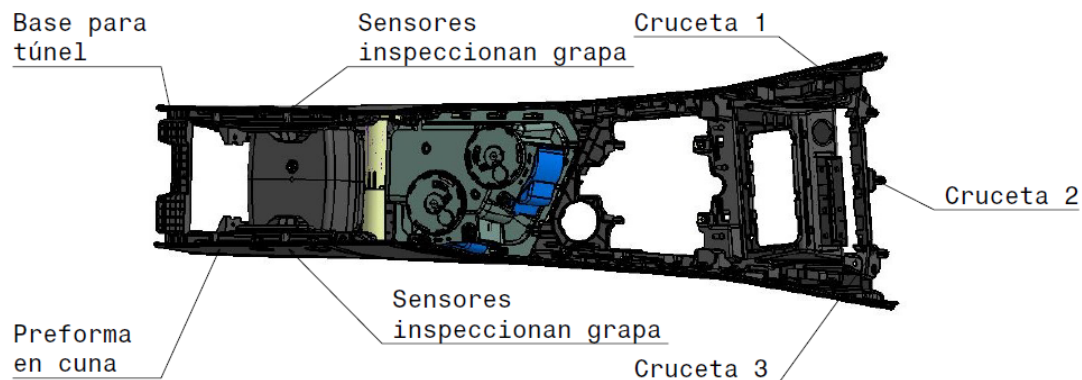


Figura 5.40: Mediciones en la base

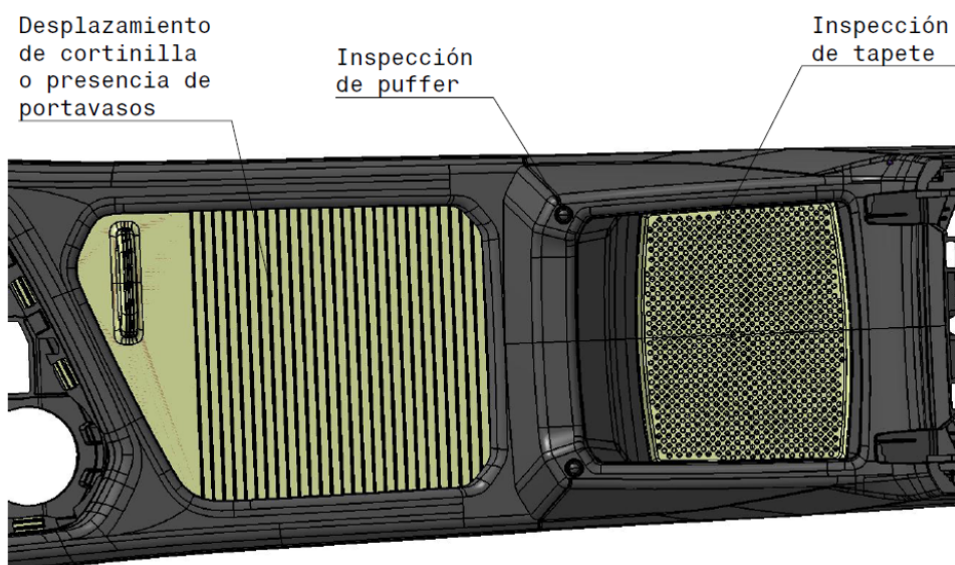


Figura 5.41: Grapas para pieza 2

Para las mediciones descritas en la figura 5.40 se realizó la cuna con una serie de sensores del tipo inductivos para presencia de grapas y tornillos. Dicha cuna consta de una serie de torres con el contorno de la superficie y perforaciones por donde pasan los sensores, cuidando la altura y los ajustes de precisión. Para las cuestiones geométricas,

como las crucetas y el túnel, se realizó una estructura parecida a un dispositivo de control pero con una tolerancia más amplia ($\pm 0.5\text{mm}$) para evitar desgastes y facilitar la posición al operador. Dicho sistema redujo el rechazo de piezas por parte de metrología.

El siguiente sistema utilizado fue un riel con cámaras en la parte superior conectadas a un cilindro, en el cual se realizaban cuatro lecturas, dos por cámara al variar la posición del cilindro. En la primera medición, el sistema revisa los componentes mecánicos que se encuentren fuera del alcance de la base, mientras que en la segunda posición evalúa la presencia y funcionamiento de los sistemas en la figura 5.41

Uno de los principales problemas es la detección de puffer (pieza plástica que funciona como amortiguador para las tapas, como un cojinete), pues la pieza es oscura mate mientras que el plástico de la vista es reluciente y brillante, por lo que el contraste realizado en la lectura de la cámara exige dos niveles de contraste diferentes, tarea que no es del todo confiable por cuestiones de luz. La opción solución fue utilizar la programación de contornos, obteniendo una mejor lectura a costo de tiempo de procesamiento, efecto que no es significativo dentro del sistema, pero que puede serlo en otro tipo de aplicaciones.

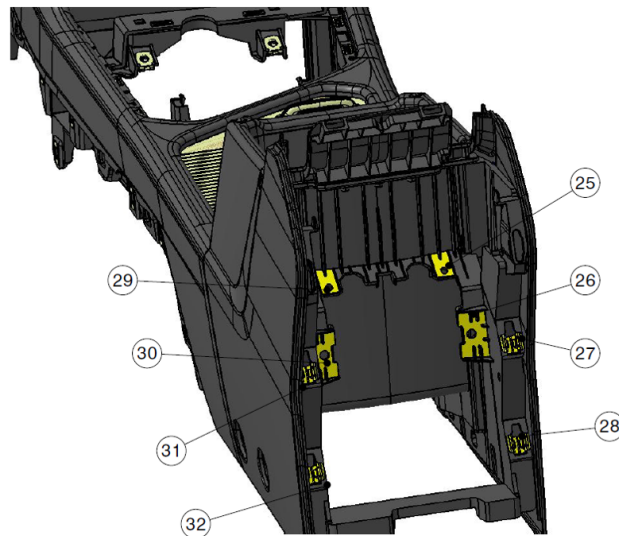


Figura 5.42: Puntos de inspección traseros

La zona de grapas (véase figura 5.43) para el ensamble de la pieza 2 del presente documento requiere de la validación de todos sus componentes, ya que son críticas para el buen funcionamiento del sistema al momento de instalar dentro del auto.

El sistema construido consta de un cilindro que mueve un sistema de sensores inductivos al interior de la pieza, justo de la forma en que la pieza 2 se ensambla con el producto en la línea de ensamble general. La variación en este sistema es de $\pm 1\text{mm}$, variación que la absorbe los sensores inductivos, ya que su lectura es de 0 a 3mm. Para evitar errores y riesgos por parte del operador, la pieza se mantiene clampeada en todo momento y las cámaras son capaces de detectar la entrada del sistema, por lo que, al

existir una intromisión, el sistema neumático frena y pierde presión para mantenerlo en posición nula, mientras que los clamps mantienen la pieza y se manda la alarma de fallo, reiniciada solo por el encargado de la línea.

Finalmente, la estación cuenta con un sistema de marcaje automático y un contador en la pantalla HMI junto con el registro OK-NOK dentro de la memoria del PLC, con el objetivo de marcar las piezas, ser un punto de trazabilidad y de control dentro de la línea de ensamble y registrar los valores de productividad y eficiencia; para evaluar correctamente el OEE y realizar las mejoras a futuro con base en mediciones cuantificables. El diagrama de funcionamiento se muestra en la figura 5.44.

Las medidas de la estación son de 1500x600x1800mm; que son las medidas para las estaciones de ensamble manual, en aluminio tipo Item ranurado de 45x45. Aunque los sistemas eléctricos no son de propósito específico o por comunicación en red salvo por las cámaras y el marcaje, el tablero eléctrico es el mismo que el visto en la sección *diseño eléctrico de la línea* presente en este capítulo, debido al número importante de sensores que la estación requiere para la presencia de cada objeto mecánico.

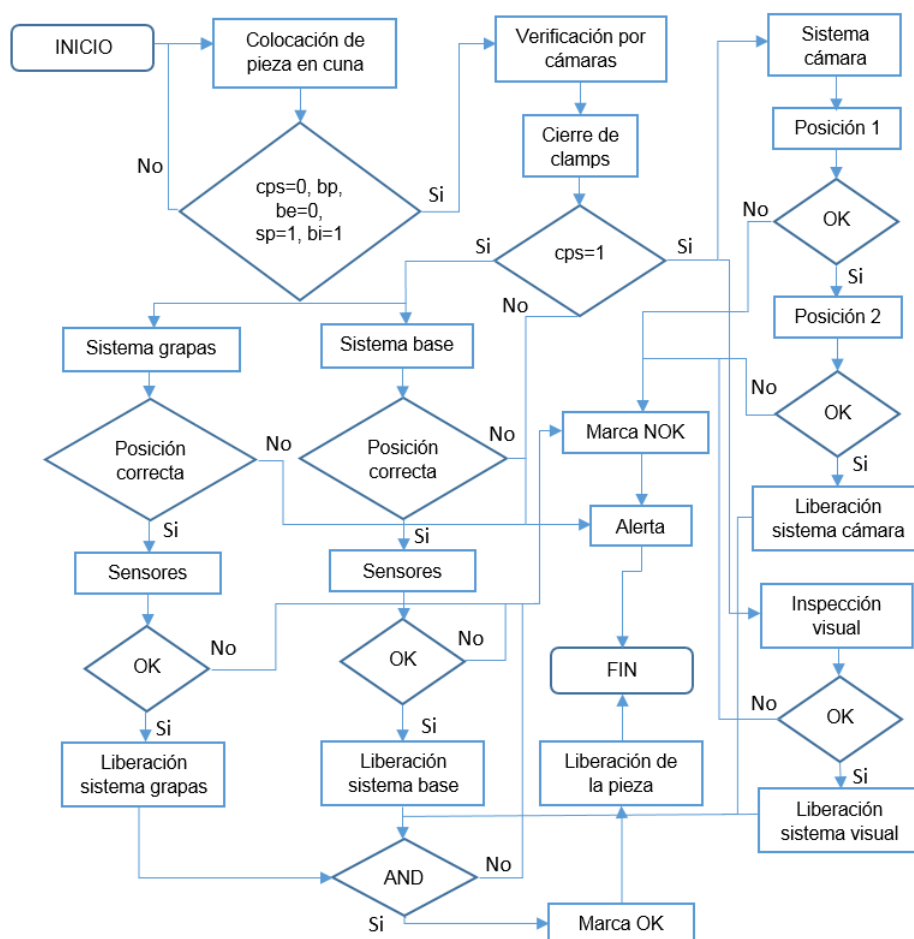


Figura 5.43: Diagrama de flujo funcionamiento estación 7

Capítulo 6

Resultados y conclusiones

En esta sección se realizarán las conclusiones referentes al diseño y manufactura de la línea de ensamble, iniciando por la sección *Conclusiones metodología* la cual muestra las conclusiones particulares, se agregan las experiencias y recomendaciones de cada una de las actividades realizadas, con la única finalidad de aconsejar al lector de algunos puntos, habilidades y datos que puede realizar para tener mejores resultados; es decir, secciones de mejora basados en experiencia dentro de un sector tan demandante como el automotriz para el recién egresado.

En la sección *Resultados y conclusiones de línea de ensamble* se mencionará de la descripción de actividades, y los resultados obtenidos durante el proceso. Este capítulo inicia con los resultados obtenidos en las estaciones descritas en el capítulo anterior, y realiza las conclusiones con las actividades necesarias para su desarrollo e implementación, con una estructura parecida a la metodología de diseño desde la perspectiva mecatrónica, necesaria para entender de mejor forma las actividades de diseño y desarrollo dentro de la industria.

Finalmente, se hace mención de las conclusiones generales, las cuales especifican las metas propuestas y la usabilidad de la metodología propuesta para el desarrollo de líneas de ensamble, usando la línea de soldadura como ejemplo de aplicación.

6.1. Conclusiones metodología

La metodología de diseño resulta necesaria para implementar soluciones completas y funcionales dentro de tiempo y alcances. La comunicación entre áreas en una empresa requiere la disposición de cada uno de los colaboradores, y usualmente, el ingeniero mecatrónico deberá participar en actividades de sinergia dentro de un grupo para desarrollar sus propuestas solución; por lo cual es importante que el egresado se empape del proceso y sus actividades con el fin de aumentar sus posibilidades de éxito al momento de diseñar e implementar. De acuerdo a la metodología descrita en el capítulo *Metodología de diseño y desarrollo*, las conclusiones por punto son:

6.1.1. Levantamiento

Sin importar el tipo de sector, la actividad o el lugar, es fundamental obtener toda la información posible del problema; y eso incluye el ambiente, las conexiones de energía, los operadores, la filosofía de la empresa, etc. Entre más datos relevantes pueda obtener del problema, mejor será su solución.

- Tome las medidas donde pueden estar sus máquinas o sistemas; no se limite a considerar el espacio vacío o delimitado de manera evidente, también considere el realizar movimientos de los sistemas alrededor de, considere la opción de otra posición y cambios en la infraestructura, su responsabilidad es asegurar el proceso.
- Reconozca las tomas de energía, puntos de evacuación, flujos y todo aquello que pueda resultarle ventajoso al momento de la puesta en marcha.
- Considere los tiempos de ciclo, volúmenes a cumplir, y toda la información que le pueda aclarar el tiempo de ciclo de su solución.
- Hable con el operador, ya que el conoce el sistema mejor que nadie; aún en caso de ser una implementación nueva.
- Analice sistemas a su alrededor, que puedan ser parecidos a lo que quiere realizar, o bien, que considere puedan serle útiles.

Finalmente, hable con el encargado del proyecto y su equipo de trabajo, le dará la información complementaria y le servirá para llevar a cabo una propuesta solución real tanto para el operador como para el cliente.

6.1.2. Ingeniería inversa

Prestar atención a las múltiples soluciones de otros colegas usualmente complementa a las propias, o sirven como base a nuevas ideas creativas. Si se entiende el funcionamiento de los sistemas que se encuentran alrededor y se fusiona con lo que se sabe, es fácil encontrar soluciones innovadoras e ideas nuevas.

- Mantener en mente la acción o el trabajo que realiza el aparato, y no confiar en ideas o aparentes perspectivas.
- Partir de las fijaciones y los sistemas motrices recordando en todo momento la tercera ley de Newton.
- Si el sistema funciona, entender los sistemas cinemáticos que ocupa, si no, inspeccionar las articulaciones, actuadores y sensores.
- De ser posible, usar el sistema en los extremos del rango de operación, y observar detenidamente qué sucede.

- No descartar ningún elemento hasta tener claro que función realiza en el sistema.
- Escuchar a los operadores de los productos, ellos le van a dar una referencia real del mismo, e incluso podrían mostrarle usos y funcionamientos prácticos que no estaban contemplados.

Finalmente, realizar varias muestras, cambiar las magnitudes de entrada y cambiar las condiciones de funcionamiento, si es posible hacerlo.

6.1.3. Análisis y propuesta solución

Si la información que usted tiene es la suficiente para establecer una idea solución, llevar a cabo el análisis del problema y determinar la solución.

- Uno de los problemas clásicos para los recién egresados es el detallar innecesariamente los conceptos. Trabajar en papel y utilizar las herramientas necesarias para plasmar una idea es mejor.
- Aterrizar una hipótesis de solución, y tratar de llevarla a cabo. Piense primero en la funcionalidad y las múltiples formas de llevarla a cabo.
- Una vez que tenga las opciones que considera funcionales, valore las fortalezas y experiencia por usted y los demás departamentos, y priorice.
- Realizar una junta invitando a personas de otras áreas, como compras, calidad, seguridad industrial, etc. Las personas invitadas dependerán de la naturaleza del proyecto, pero otras perspectivas aumentan la funcionalidad del proyecto.
- Considerar costos, recursos y tiempos estimados de cada una de las propuestas, realizar tablas comparativas y optar por la que sea adecuada (si se apuesta por la experiencia, el sistema no presentará un reto grande; si se opta por el riesgo de algo nuevo, los nuevos conocimientos pueden abrir otros modelos de negocios).
- Realice su presentación al cliente, hacer énfasis en las fortalezas de su concepto y mostrar lo que espera obtener, sea flexible.

Siempre se agradece el plasmar un concepto en CAD, pero use geometrías básicas en lo demás y céntrese en mostrar de manera profesional la propuesta de valor, utilice los catálogos y diseños anteriores para la imagen, esto le permitirá enfocarse en las actividades que le generan valor y reforzar su concepto, que es lo que en realidad importa.

6.1.4. Diseño

Llevar el concepto al siguiente nivel es complicado para un recién egresado por su falta de experiencia. En este punto, es posible pensar que es debido a que el egresado no sabe ejecutar la mayoría de las acciones o no conoce los procesos; y lo es en parte, sin embargo, la principal razón por la cual cuesta la inexperiencia es por desear llevar el diseño sin programación de trabajo, sin validación y sin confianza. Muchos de los ingenieros actuales con experiencia tienen que renovarse y aprender contra reloj, tener una actitud de autoaprendizaje y disciplina.

- Tener claro los conceptos como *rango de operación, número de ciclos, condiciones de funcionamiento, ergonomía, manufactura y equipos especiales*. Son los principales datos que le ayudarán a guiar su concepto de construcción e implementación.
- Realizar una junta con personas **técnicas** de los diferentes departamentos, le darán algunos consejos e ideas, esta información es valiosa, por lo que haga todo lo posible para crear un ambiente adecuado.
- Piense en fijaciones, alimentaciones y seguridad en todo momento. Tome la propuesta convenida y aumente a base de iteraciones, adopte herramientas enfocadas al diseño y simule tantos escenarios como le sea posible.
- Ser flexible con los conceptos, identificar futuros problemas y condiciones de uso.
- Una vez que tenga el diseño, convoque otra junta con los mismos técnicos, y realice el diseño a detalle.
- Verifique y valide el sistema final, realice la planeación de actividades para cada área y distribuya la información (en caso de estar en una empresa jerárquica) o comuníquela (en caso de estar en una empresa planar). La información debe ser clara, accesible y suficiente para cada una de las áreas.

Mantenga disponible al equipo de diseño para monitoreos de las pre series, con la finalidad de realizar cambios necesarios en el momento justo.

6.1.5. Manufactura

Una vez determinadas cada una de las piezas mecánicas que conforman el ensamble, determinar una numeración es básica para llevar control sobre la construcción de los mismos. Así facilitará los trabajos de la propia parte operativa y calidad. Los puntos esenciales en el área técnica son:

- Tenga herramientas idénticas a la mano así como un almacén.
- Asegúrese de tener claro los planos, puntos de referencia y ceros. En caso de existir SPC, RPS, etc., tener especial cuidado con las referencias.

- Identifique las herramientas y máquinas disponibles, y programe bajo sus recursos.
- Valore las estrategias de avance y corte, tomando en cuenta el material, y aproveche las placas con el número de cortes maximizados, así como las posturas en prensas o clamps en la bancada deben ser simples, para evitar tiempos gastados en posición y ajuste del cero.
- Realice la verificación de dimensiones y tolerancias.

En caso de duda o de sugerencia de reingeniería, comuníquese con ese departamento y exponga su observación, para la valoración de la misma, e involucrarse con las demás áreas.

6.1.6. Control eléctrico

Es necesario entender la información del diseño, y llevar a cabo las tareas de ensamblaje y pruebas correspondientes al armado y diseño. En la sección *normas eléctricas* se habló un poco de las generalidades de las implementaciones, pero los puntos a tener en mente son:

- Valore las posiciones de cada uno de los elementos dentro y fuera del tablero de control, de acuerdo a su funcionalidad.
- Piense siempre en el mantenimiento de las máquinas, esto le ayudará a mejorar la distribución.
- Utilice como le sea posible conectores para los pines, facilita el mantenimiento.
- Lleve un control sobre las conexiones, de otro modo es posible fallar en las conexiones y provocar todo tipo de daños a los sistemas.
- De preferencia deje la neumática fuera del tablero, si existe una etapa de fuerza que disipa mucha potencia, coloque otro tablero.
- La parte de control va arriba, la externa al sistema de control, por debajo, aterrice todos los elementos y recuerde el triangulo de la vida.
- Documente.

Utilice el cable adecuado, el de control es usualmente calibre 14, el de potencia depende de las necesidades de alimentación, siendo común el calibre 8. Fije cada componente y considere espacio extra para adecuaciones futuras.

6.1.7. Programación

La programación permite flexibilidad para llevar a cabo un proceso, sin embargo, deben cumplirse algunas normas que están «implícitas» en el ambiente industrial:

- Los botones de paro y emergencia siempre tienen prioridad en la configuración del sistema de control.
- Todo botón va asociado a una bobina en el sistema Ladder, cada línea tiene una bobina asociada a un relé.
- Temporalizadores y contadores deben ser comentados y adecuadamente reseteados por el sistema.
- Es recomendable seguir algún método de programación, y mantener los comentarios en funciones y bloques de programas.
- Coloque nombres intuitivos a las variables y funciones, o establezca una nomenclatura en los comentarios generales.
- Realice una programación simple para el mantenimiento, recuerde, *menos es más*.
- Para la interfaz, conozca al operador, y ese conocimiento le mostrará la mejor forma de usar las pantallas, botones y uso de la información.
- Es posible que le sea necesario además generar documentos y monitoreos partir del sistema de control, y para ello es necesario usar redes y un nivel de programación elevada, por lo que; de serle de interés, investigue redes, dominios y matrices de datos en servidores.
- Siempre mantenga un respaldo con la última actualización.

Adicionalmente, mantenga contacto con los integradores, ya que sus actividades permiten cambios rápidos.

6.1.8. Ajustes y puesta en marcha

Este trabajo suele ser menospreciado por un número importante de ingenieros, debido a que se trata de actividades puramente físicas, sin embargo, es fundamental que el ingeniero tome su tiempo para revisar el desarrollo, ya que incrementa el aprendizaje y valoración de ergonomía del dispositivo, y tener la opción de cambiar algún detalle en caso de ser necesario.

- Tenga disponible kits de herramientas idénticas a la mano. Cada integrador debe tener las herramientas necesarias para llevar a cabo su labor.
- Tenga disponible equipo y herramientas especiales, debido a que siempre es necesario los ajustes al momento de ensamblar.
- Sea observador, haga sus liberaciones desde lo simple a lo general, si algo no satisface, evalúe.
- Realice cambios y ajustes pequeños. En caso de ser necesarios cambios de ingeniería, informar y llevar a cabo.
- Use en todo momento su equipo de seguridad.
- Identifique accesos, tomas de energía, puntos de atención médica y tenga una ruta de evacuación, en caso de percances.

Planee el tiempo necesario para los ensambles, las puestas en marcha y validaciones. Tenga buenas relaciones con los demás departamentos.

6.1.9. Gestión de proyectos

Es fundamental para las necesidades actuales de la industria, que los profesionistas tengan características de autogestión y planeación para llevar a cabo las tareas a un costo, recursos y tiempo optimizados. Es fundamental para el ingeniero mecatrónico realizar gestión de proyectos, debido a su visión general de los mismos. Algunos de los puntos que debe tener claro son:

- Realice la planeación en tiempo de entrega, un Gantt es comúnmente aceptado.
- Identifique los recursos que tiene a la mano (mano de obra, maquinaria, talento, memorias anteriores, etc.) y establezca fechas y horarios de actividades.
- Realice fichas y descripciones de proceso, y cada una debe de tener la información que facilite las tareas de cada sector.
- Determine las actividades críticas y evalúe opciones, ya sea tiempo, recursos para su aseguramiento o liberación a terceros.

- Identifique las fortalezas de su equipo y utilícelas, dedique presupuesto a capacitación.
- Realice seguimientos, utilice técnicas como pizarrón de información o semáforo de actividades para la liberación de los mismos. Realice juntas periódicas; dichas juntas deben de durar menos de una hora.

Llevar un control completo de cada una de las actividades permite realizar las tareas y cumplir plazos. La planeación permite abaratar costos, identificar actividades de riesgos y toma de decisiones, mientras que calidad asegura la integridad del sistema. Puede complicar el sistema de planeación en medida que lo necesite, pero propóngase metas alcanzables en todo momento.

6.2. Resultados y conclusiones de línea de ensamble

6.2.1. Estación 2

La estación 2 mostró la necesidad de sincronizar los robots para balancear las operaciones de soldadura en las cunas, por lo que fue necesario comunicarlos entre sí por una señal dentro de la red del PLC, en la cual no permite la liberación de un robot si el otro no se mueve junto a él. Esta solución causó un retraso de 3 segundos al final de la rutina, tiempo que no fue de impacto dentro de la estación.

Los clamps relacionados con la última operación se encontraban en una posición incómoda para el operador, por lo que el análisis ergonómico en dicha operación debió reevaluarse y modificar las características de dicha operación.

La soldadura de la parte trasera de la consola requirió sonotrodos de tres ondas, provocando que el robot tuviese que ir más lento de lo planeado para evitar golpes o pérdidas de posición que afectaran las paredes de las piezas en funcionamiento. Esta es la razón de requerir un balanceo de puntos.

Los sonotrodos se calientan bastante después de 15 ciclos seguidos, por lo que el programa del robot asociado al salto del TCP cambia de 10 en 10 puntos.

6.2.2. Estación 4

La estación 4 mostró los puntos más gruesos en todo el ensamble, por lo que cada punto tarda de entre 1.5 a 3 segundos, dependiendo la temperatura del sonotrodo. Fue necesario adaptar un sistema de enfriamiento por aire y una rutina de 5 puntos para cambio de herramienta, aumentando el tiempo planeado considerablemente, 10 %.

Debido a su poca resistencia en las paredes, fue adaptada una herramienta de separación entre caras internas para la postura del vaso, dicha herramienta consiste en una barra de Nylamid blanco y su postura es manual, junto con el porta vasos.

La soldadura, al ser más gruesa, requiere de mayor potencia, por lo que la fuente trabaja a un 85 %, mientras que las demás a 75 %. El funcionamiento se encuentra dentro del factor de seguridad pero es un factor de riesgo.

6.2.3. Estación 5

Al principio se calcularon las bases para las cunas lo más cercanas posible, pero dicho diseño interfería con las actividades del operador, por lo que se evaluó y decidió colocar las cunas alejadas entre sí para dar el espacio central al operador, siendo esto de riesgo para el robot.

El cambio anterior provocó un aumento de la velocidad del robot en un 85 % de su velocidad máxima, aumentando el riesgo de falla de frenos.

Los planos de seguridad son más alejados en este robot de su base, por lo que los sonotrodos utilizados en esta estación son de una onda, para evitar pesos fuera de la herramienta y evitar inercias y momentos fuera de los provocados por el robot.

Los sistemas deslizables son un peligro para el operador al momento de la salida, por lo que se liberan hasta que el operador se encuentre en zona segura y se desenergizan si cambia dicho valor.

Los puntos redondos son más rápidos de soldar que los cuadrados, pero requieren de un movimiento circular antes de salir, por lo que la rutina del robot varía del resto al agregar un movimiento circular mientras se mantiene en posición de soldado.

6.2.4. Estación 7

Los sistemas de evaluación son rápidos debido a que son automáticos. El proceso de evaluación, marcado y liberación está por debajo del **TT** de las demás estaciones y lo indicado por el nivel de producción en un 15 %.

El sistema de cámaras superior aumenta unos 3 segundos en cada medición, fenómeno que no es crítico en la estación pero que puede serlo en otras aplicaciones, debido a la medición de contraste precisa que debió realizar en cada objeto.

El sistema de marcaje debe considerar la limpieza del puntero y el recipiente de tinta, ya que de taparse puede producir marcas de diámetros mayores al estándar y producir defectos de fábrica.

El sistema mecánico de caza para los sistemas inferiores sufre desgaste sin la tolerancia adecuada, y debido a la falta de resistencia en las paredes, es necesario utilizar un esqueleto que tome áreas grandes de puntos de medición para sostenerla de acuerdo a los puntos de enganche del automóvil.

6.2.5. Equipo soldadura

- La fuerza necesaria para fundir el plástico es de 3 a 5 kg en dirección normal a la pestaña. Las piezas más gruesas requieren de mayor frecuencia, no de mayor presión.
- La frecuencia necesaria para fundir los puntos a una velocidad de 1 segundo es de **H**, la cual puede variar dependiendo el grosor del material y el tipo de plástico.
- Las fuentes de soldadura tienen diferentes intervalos de oscilación, pero es necesario utilizarlas a una frecuencia menor al 90 %, debido a que un choque o un

golpe al sonotrodo mientras suelda puede provocar cortos dentro de la fuente, inutilizándola.

- El sonotrodo debe estar suficientemente firme en el gripper, y la aplicación de soldadura debe evitar contactos axiales en todo el proceso.
- El sonotrodo debe estar sintonizado, si no lo está, cada ligero desbalance provoca una vida útil más corta.
- Los cables de conexión deben ser adecuadamente protegidos, teniendo especial cuidado de no tocarse entre sí durante el funcionamiento y los movimientos del robot.
- La fuente y multiplexores (en caso de requerirlos) deben estar conectadas a tierra con los fusibles correspondientes.

6.2.6. Programación robot

- Los puntos dentro de la programación del robot varían en posición pero no en la tarea de soldado, por lo que el uso e implementación de funciones es necesaria para evitar códigos largos y realizar cambios rápidos dentro de la interfaz.
- El uso de un sistema de referencia dentro de cada cuna es funcional debido a que el robot obtiene de forma rápida la ubicación dentro del sistema a partir del área de trabajo y no de sus coordenadas globales, reduciendo los errores hasta en un 50 % de acuerdo a ANOVA.
- La carga máxima del robot son 10kg en el centro de la articulación, es necesario calcular el TCP de la herramienta o gripper. Existen varios métodos, el más simple es el método de cuerpo libre.
- El valor de tiempo de ciclo definido en t debe de ser cumplido por el robot, lo cual hace que $t = n * 1,5$ segundos, que es el tiempo en promedio de soldadura de pestañas.
- Los programas pueden ser enviados de robot a robot, pero las variaciones son ligeramente visibles, debido a que dichos robots no son físicamente iguales, lo que les resta valor con respecto a los de uso común en industria.
- Para ajustar los tiempos de ciclo dentro de las actividades de cada estación, se puede aumentar la velocidad de desplazamiento del robot, pero al aumentarla, se pierde precisión por inercia.
- La función de autobloqueo por inercia es funcional y recomendable de configurar para evitar desplazamientos fuera de la velocidad de frenado. Dicha función consiste en detectar velocidades de desplazamiento mayores a un valor definido, en la cual, los frenos de las articulaciones bloquean los eslabones, evitando la pérdida de control del robot.

- Ajustar los planos de trabajo del robot a máximo 85 % de su longitud máxima contrarresta el efecto por inercia, mientras que el ataque normal a no más de 50 grados con respecto a la base evita el bloqueo por fuerza del sonotrodo.

6.2.7. Programación PLC-HMI

- La interfaz del HMI es clave para todos los niveles del proceso, por lo que realizar una programación con diferentes pantallas, niveles de acceso y contraseña resultan útiles al flujo de la información.
- El uso de programación tipo Ladder en el PLC facilita las tareas de mantenimiento y retrabajos, no porque sea un lenguaje sencillo y altamente visual; sino porque todos los ingenieros en las áreas de mantenimiento conocen y están acostumbrados a este tipo de lenguaje.
- La velocidad de comunicación entre dispositivos no es un problema, pero es importante considerar habilitar y deshabilitar en la secuencia correcta los dispositivos dentro de la red, para evitar entorpecimientos por red ocupada.
- Las funciones y bloques de funciones son fundamentales en la programación de líneas de ensamble, pues funcionan como plantilla para actividades relativamente parecidas.
- Es posible conocer la dirección del PLC y del HMI por defecto, pero no si esta se cambia, lo útil es dejar los diferentes subfijos en los planos y una numeración lógica con el resto de equipos dentro de la red.
- En caso de bloqueo del PLC o del HMI, la primera opción es forzar la comunicación online junto con las variables de memoria (nunca las físicas). Si la anterior no funciona, es posible entrar al PLC en modo paro, buscando por software el error. El último consiste en el Hard Reset de la memoria, por lo que debe contar con un respaldo de cada actualización.
- El uso de la memoria interna junto con los protocolos Ethernet ahorran tiempo, manufactura y trabajo de programación, solo utilizar los periféricos para elementos específicos.
- Todos los sensores y botones van al PLC y el PLC ejecuta la orden; es decir, son servidores y el PLC maestro, a excepción de los mandos de emergencia y paro, en cuyo caso se invierten.

6.2.8. Diseño mecánico

- La holgura de 0.2mm por pared funciona como un ajuste superficial, evitando movilidad en la pieza en los tres ejes, pero facilitando la montura y desmontura.
- Las estructuras deben tomar en cuenta una carga adicional de 150kg en la mesa, en caso de que el operador decida subir a la misma.
- El uso de tornillería como fijación permite el ajuste, el uso de pernos permite la ubicación.
- El polietileno de alta densidad tiene aplicaciones para la soldadura y propósitos de baja y media carga, su costo es 1/3 del aluminio y la maquinabilidad del 1/4 del tiempo necesario para aluminio.
- La herramienta Catia para diseño es la más completa en la actualidad para propósitos de diseño, pues es fluido y trabaja con una importante cantidad de datos.
- El manejo de superficies debe evitar las conexiones forzadas entre aristas y vértices y el parchado mayor a 12% de la normal. Cambiar dicho valor produce interpolaciones inestables.
- Guardar la información por carpetas y subfijos en cada pieza; de preferencia usar el árbol para configurar las actividades de los diferentes módulos a usar.

6.2.9. Diseño eléctrico y automatización

- Las conexiones estructuradas con los cables multipolo reducen trabajos de ingeniería y pérdida de tiempo.
- La conexión de control se realiza con cable 14, mientras que el de potencia (baja) con calibre 8.
- Los catálogos de componetes industriales más usados en industria son Rittal, ABB y Schneider.
- La conexión de electroválvulas puede realizarse de tal forma que las bornas o clemas queden al aire libre; siempre y cuando cuenten con la protección de polvo y ruido necesarias.
- Los sensores más empleados en esta línea son los fotoeléctricos, por durabilidad, tiempo de vida y conexión con excepción de las grapas, en estos se usaron sensores inductivos para detección de material.
- Es preferible regular la presión y usar cilindros iguales que adquirir cilindros diferentes, y los finales de carrera magnéticos por abrazadera son mejores que los de ranura, debido a que su sensibilidad es mejor.

- Las electroválvulas de retorno por muelle son idóneas para fallas de energía y paros imprevistos, el uso de manguera de 6mm facilita la velocidad de los cilindros y la vida útil de los sellos en las electroválvulas.
- La conexión de los equipos especiales junto con la red del PLC y el Robot deben estar en secuencia, y ser activadas solo en el orden correspondiente.

6.2.10. Manufactura y puesta en marcha

- La verificación de código por simulación, lectura a pie de máquina y corridas al aire evitan gastos y pérdidas.
- El uso de tablas y fórmulas es fundamental para la programación, en especial para materiales especiales.
- Cada desarrollo de material o ensamble debe contar con su respectiva ayuda visual, división de tareas y planos.
- Tareas de ajuste y contra medida debe estar basado en el funcionamiento del sistema, y nunca más allá de 1mm de desviación.

6.2.11. Producto

- Los puntos circulares son más rápidos y fáciles de soldar que los rectangulares, típicamente un 50% de su contraparte a dimensiones similares.
- La forma idónea de soldar la pieza es a través de la presión por el sonotrodo activo durante 0.5s, y presión en frío de 1s.
- Un acabado superior para los puntos redondos es realizar la soldadura en vertical y salir con una rotación en el eje normal.
- Defectos como rechupe y fundición se pueden evitar con la limpieza correcta de las piezas.
- La mejor forma de realizar el proceso de soldadura es iniciando con la unión de los extremos en contra esquina, y después realizar los puntos de forma repartida, de afuera hacia adentro.

6.2.12. Estaciones automáticas y manuales

- La elección de estación automática o manual la definen: la *complejidad del ensamble*, el *número de componentes* y el *volumen de producción*, si el ensamble toma como mínimo un tiempo de 1 minuto, se puede considerar una estación manual.
- Las estaciones manuales son propensas a variaciones y a errores, por lo que el diseño debe centrarse en los poka-yokes.
- Para las estaciones manuales se diseñan herramientas para el operador, mientras que en las automáticas la sincronización de las tareas rige el diseño.
- Estaciones automáticas deben controlar el proceso y considerar el 15 % de seguridad, por lo que la atención a la escalabilidad y fiabilidad de sus componentes exige el uso de módulos ajustables y desmontables.
- En las estaciones manuales, se debe tomar especial cuidado en el desarrollo de las actividades y las herramientas involucradas, así como la inviolabilidad del sistema.
- Ambas estaciones deben estar sincronizadas y balanceadas, pero en la primera el operador debe considerarse parte del sistema, y si está en cadena con otros operadores, debe buscarse la homogeneidad del proceso.

6.2.13. Estación de validación

- Cada pieza finalizada debe ser evaluada por sistemas redundantes, lo ideal es usar 3 sistemas independientes de verificación, que puede constar de inspección visual, sensores y geometría.
- La tarea de validación y liberación automática debe ser veloz, por lo que los sistemas automatizados son más robustos, y deben aislarse de cualquier perturbación externa.
- Colocar sistemas de bloqueo para piezas rechazadas, así como contenedores de pieza OK y NOK.
- De usar una impresora, asegurarse que el punto o logo a inyectar se encuentre a un 10 % del rango funcional, aplica para cualquier equipo.
- Realizar sistemas automatizados que simulen el funcionamiento de cada pieza dentro del ensamble. Crear fuerzas y presiones en un rango de 15 % sobre el valor nominal.
- La marca de liberación debe ser fácilmente detectable y la pieza no debe ser manipulada, por lo que un diseño de bandas y sellado puede ser de gran utilidad al momento de empaquetar.

6.2.14. Línea de ensamble

La cantidad y el tipo de la línea depende del producto. El ingeniero en diseño de aplicación debe evaluar las dimensiones de las piezas, la forma en la cual se ensamblarán y los procesos con los que se realizará dicho ensamble, para así determinar el número de herramientas, estaciones y las características de cada estación. Es entonces importante realizar las actividades de la metodología mencionadas en el capítulo del mismo nombre para llevar a cabo un buen levantamiento e ingeniería de concepto, la cual es fundamental para el desarrollo de todo el proyecto.

En cuanto al desarrollo mecatronico de cada estación, es importante usar una jerarquía de cada ensamble por función, de tal forma que las actividades de diseño puedan separarse en sistemas más pequeños y realizar la ingeniería a detalle con la atención debida. Uno de los principales riesgos para el cumplimiento de tiempos y costos es realizar sistemas que sean diferentes entre sí, por lo que realizar la estandarización de todos los sistemas ahorra esfuerzo, tiempo y costo, mientras que aumenta la posibilidad de realizar mejoras sustanciales y vuelve a las estaciones y sus subsistemas modulares, clave para la ergonomía.

El desarrollo e implementación de alarmas y alertas dentro de la programación del PLC ayuda a la solución y prevención de problemas; por norma de las principales empresas automotrices alemanas; tal como lo son Volkswagen o Audi, utilizan una alarma visual cada 20 metros en las columnas de las cadenas de armado. Para este caso, la mejor opción es colocar una alarma en cada una de las estaciones para indicar fallas dentro del proceso, y la HMI como interfaz de ajuste.

Finalmente, implementar la metodología de diseño e implementación en el capítulo 3 facilita las tareas de diseño mencionadas en el capítulo 4 dentro del proceso, por lo que las tareas de diseño en manufactura para líneas de ensamble deben estar enfocadas al proceso en sí.

6.3. Opciones de mejora

Los sonotrodos duran en promedio 4 a 5 meses en condiciones de uso duro, por lo que el gripper debió haber contado con un sistema de desmontaje rápido, tal como lo son las sujeciones con cabeza de mariposa o moleteadas. Es importante dentro del proceso, que los sonotrodos puedan cambiarse en cualquier momento, debido a que las rupturas también son comunes por errores de mantenimiento y golpes injustificados.

En la estación 7 no contó con un sistema de alerta de acceso al área de trabajo no autorizado, y aunque se utilizan los bimanuales para esta tarea, el sistema solo asegura que el operador no introduzca las manos al sistema, no alguna otra extremidad o que una persona ajena realice cambios. Es una mejora necesaria colocar un elemento; tal como una cortina de seguridad, en la entrada del sistema.

En la estación 5, la cuna asociada a la pieza 3 no requería ser completa, y aunque fue petición del área productiva, lo cierto es que basta realizar el control y la caza de las zonas a soldar, ahorrando material y haciendo a esta placa intercambiable menos pesada.

6.4. Conclusión general

El ingeniero actual debe saber qué es lo que se le pide realizar, en dónde debe aplicar su solución y qué tiene disponible para conseguirlo; sin embargo, debe tener a su vez una disposición de apertura, autojuicio, aprendizaje y gestión para marcar una diferencia.

La línea de ensamble bajo la metodología de diseño y desarrollo descrita en esta tesis consiste en mencionar y describir la serie de pasos que el ingeniero actual debe tener claro para desarrollar las actividades de su profesión en un ambiente real. Las líneas de soldadura son comunes en el sector automovilístico en México, debido a que la ingeniería requerida es relativamente baja a comparación del desarrollo de herramientas; por ejemplo, por lo que es un excelente ejemplo de diseño para el recién egresado.

Es importante recordar que el diseño desde el punto de vista ingenieril debe basarse en tres principios básicos: toda solución debe ser funcional, debe estar dentro de un costo, y debe obedecer a una necesidad, la cual es impuesta por el cliente y el sistema, y es responsabilidad ética y profesional llevar a cabo la mejor de las soluciones posibles, características que se pueden cumplir apegándose a esta metodología y en el desarrollo de la línea de ensamble.

El lector ahora es capaz de realizar un diseño y desarrollo de líneas de ensamble uniendo sus capacidades y conocimientos técnicos y teóricos propios de su desarrollo profesional, junto con un esquema claro sobre las necesidades y estructuras que son comunes en la industria; en especial del sector automovilístico, bajo un concepto de ensamble flexible, ligero y práctico.

Bibliografía

- [1] AGUILAR, LUIS, (2017). *Metrología avanzada: Las GD&T* 27/08/2017, de Monografías.com. Sitio web: <http://www.monografias.com/trabajos75/metrologia-avanzada-gdt/metrologia-avanzada-gdt2.shtml>
- [2] BANCO MUNDIAL, (2016). *Doing Business*. 03/07/2017, de Banco Mundial. Sitio web: <http://espanol.doingbusiness.org/rankings>.
- [3] BUDYNAS, R. G., (2008). *Shygley's mechanical engineering desing*. Missouri: Mc Graw Hill.
- [4] CNN EXPANSIÓN, (2009). *Laboratorios automotrices*. 03/07/2017, de CNN Expansión. Sitio web: <http://expansion.mx/manufactura/2009/11/11/laboratorios-automotrices>.
- [5] DEFINICIÓN, (2017). *Definición de mecatrónica*. 03/07/2017, de Definición. Sitio web: <http://definicion.mx/mecatronica>.
- [6] DEPRAG, (2016). *Operating instruction booklet USA*.
- [7] DUKKANE, (2017). *Custom Built Ultrasonic Welding System by Dukkane* 27/08/2017, de Youtube. Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=BU-zHLaO4UA>
- [8] E&A ENGINEERING SOLUTIONS, (2017). *Allen Bradley PLC HMI*. 03/07/2017, de E&A Engineering Solutions. Sitio web: <http://www.eaengineering.co.in/allen-bradley-plc-hmi.html>.
- [9] E. MONROY, MARTÍN, (2017). *Caracterización de herramientas de Ingeniería Inversa* 27/08/2017, de SciELO. Sitio web: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642012000600005
- [10] FACULTY PETRA, (2017). *Classification of Automation* 27/08/2017, de Faculty Petra. Sitio web: <http://faculty.petra.ac.id/dwahjudi/private/robot1.htm>
- [11] FANUC, (2017). *Industrial robots* 27/08/2017, de Fanuc. Sitio web: <http://www.fanuc.eu/uk/en/robots>
- [12] FESTO., (2017). *Productos*. 27/08/2017, de Festo. Sitio web: https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/products

- [13] FORBES MÉXICO, (2013). *Crisis reconfigura industria automotriz en Europa*. 03/07/2017, de Forbes México. Sitio web: <http://www.forbes.com.mx/crisis-reconfigura-industria-automotriz-en-europa>.
- [14] FORBES MÉXICO, (2013). *Las 15 automotrices más importantes del mundo*. 03/07/2017, de Forbes México. Sitio web: <http://www.forbes.com.mx/las-15-automotrices-mas-importantes-del-mundo>.
- [15] FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO (FCCyT), (2013). *Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT)*. 03/12/2016, de FCCyT. Sitio web: <http://www.foroconsultivo.org.mx/home/index.php/libropublicados/eestadisticas-en-cti/1991-ranking-nacional-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-2013>.
- [16] GISWEB, (2017). *Capítulo 4: Ingeniería inversa* 27/08/2017, de UDLAP. Sitio web: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/lopez_a_aa/capitulo4.pdf
- [17] GRUPO CARMAN, (2017). *Ingeniería inversa* 27/08/2017, de Grupo Carman. Sitio web: <http://grupocarman.com/blog/ingenieria-inversa/>
- [18] GUERRERO, MICHEL, 2016. UR Entrenamiento Avanzado. Universal Robots, Guadalajara.
- [19] HISTORY, (2016). *James Watt*. 03/07/2017, de History. Sitio web: <http://www.history.co.uk/biographies/james-watt>.
- [20] INGENIERÍA INDUSTRIAL ONLINE, (2017). *Balaceo de línea* 27/08/2017, de [ingenieriaindustrialonline](http://www.ingenieriaindustrialonline.com). Sitio web: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/produccion/balaceo-de-l%C3%ADnea/>
- [21] INGENIERÍA INDUSTRIAL ONLINE, (2017). *Heijunka: Nivelación de producción*. 27/08/2017, de [ingenieriaindustrialonline](http://www.ingenieriaindustrialonline.com). Sitio web: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/heijunka-nivelacion-de-la-produccion/>
- [22] INGENIERÍA INDUSTRIAL ONLINE, (2017). *Lean Manufacturing*. 14/10/2017, de IIO. Sitio web: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/>
- [23] LACOMSOCIALDEHISTORIA, (2016). *La navegación del barco a vapor en el siglo XIX*. 03/07/2017, de line. Sitio web: <https://line.do/es/la-navegacion-del-barco-a-vapor-en-el-siglo-xix/qy0/vertical>.
- [24] MELLER, VICTOR, 2016. Introduction training. SICK, Puebla.
- [25] MOTORES Y MOTORES LC, (2017). *Inicio* 27/08/2017, de Motores y motores LC. Sitio web: <http://www.motoresmotoreslc.com/>

- [26] MROSTOP, (2017). *FX3UC-32MT-LT Mitsubishi Programmable Logic Controller, PLC*. 03/07/2017, de MROSTOP. Sitio web: <https://www.mrostop.com/fx3uc-32mt-lt-mitsubishi-programmable-logic-controller-plc.html>.
- [27] OGATA, K., (1998). *Ingeniería de control moderna*. Minnessota: Pearson.
- [28] OMRON, (2017). *Autómatas programables*. 03/07/2017, de OMRON. Sitio web: <https://industrial.omron.mx/es/products/programmable-logic-controllers>.
- [29] OMRON, (2014). *StartUp Guide Manual*. Japón.
- [30] PCE, (2016). *Transductores*. 03/07/2017, de PCE. Sitio web: <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores.htm>.
- [31] PEI CONACYT, (2017). *Programa de Estímulos a la Innovación*. 03/07/2017, de Secretaría de Economía. Sitio web: <http://www.conacyt.mx/index.php/fondos-y-apoyos/programa-de-estimulos-a-la-innovacion>.
- [32] PROMEXICO, (2014). *Sector automotriz en México*. 03/07/2017, de Secretaría de Economía. Sitio web: http://mim.promexico.gob.mx/wb/mim/auto_perfil_del_sector.
- [33] RESORTESLC, (2017). *Resortes de compresión* 03/07/2017, de ResortesLC. Sitio web: <http://www.resorteslc.com/productos.html>.
- [34] SADIKU, M. N., (2004). *Fundamentos de circuitos eléctricos*. México: Mc Graw Hill.
- [35] SAHA, SUMIR KUMAR (2010). *Introducción a la robótica*. México, DF: Mc Graw Hill.
- [36] SECRETARÍA DE ECONOMÍA, (2016). *México cuenta con una industria automotriz en crecimiento*. 03/07/2017, de Secretaría de Economía. Sitio web: <https://www.gob.mx/se/articulos/mexico-cuenta-con-una-industria-automotriz-en-crecimiento>.
- [37] SIEMENS, (2017). *Soluciones en PLC*. 03/07/2017, de Siemens. Sitio web: <https://www.siemens.com/mx/es/home.html>.
- [38] SINAIS, (2017). *Transductores piezoeléctricos*. 03/07/2017, de Sinais. Sitio web: http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/sensores/transductores_piezoelctricos.html.
- [39] SUN SOLUCIONES, (2016). *Cableado estructurado*. 03/07/2017, de Sun soluciones. Sitio web: <http://sunsoluciones.com/sitio/servicios-productos/cableado-estructurado.html>.

- [40] TEMPORIZADORES, (2011). *Finales de carrera*. 03/07/2017, de Blogspot. Sitio web: <http://clasificaciondetemporizadores.blogspot.mx/2011/06/finales-de-carrera.html>.
- [41] VALENCIA JULIANO, HUGO., (2016). *Más de mil emprendedores beneficiados por el Fondo de Innovación Tecnológica*. 27/08/2017, de Conacyt. Sitio web: http://www.conacytprensa.mx/index.php/sociedad/politica-cientifica/8066-nota-del-dia-presentan-nuevo-modelo-para-el-fondo-de-innovacion-tecnologica-fit?utm_source=newsletter_3738&utm_medium=email&utm_campaign=mas-de-mil-emprendedores-beneficiados-por-el-fondo-de-innovacion-tecnologica
- [42] WARDAUTO, (2014). *VW Unveils New 1.8L Gasoline Engine*. 01/01/2017, de WardsAuto. Sitio web: <http://wardsauto.com/engines/vw-unveils-new-18l-gasoline-engine>.