

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TESINA PARA OPTAR EL GRADO DE
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Diseño e implementación de un programa de
supervisión, control, adquisición y
almacenamiento de datos para un sistema de
manufactura integrado en el Instituto Nacional de
Aprendizaje para el primer semestre del 2021.**

Sustentante:

Luis Esteban Campos Álvarez

Tutor:

Ing. Eduardo Sanabria Guerrero

Febrero, 2021

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Luis Esteban Campos Álvarez, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 4-0185-0036 egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato de Ingeniería en Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Diseño e implementación de un programa de supervisión, control, adquisición y almacenamiento de datos para un sistema de manufactura integrado en el Instituto Nacional de Aprendizaje para el primer semestre del 2021, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 26 días del mes de febrero del año dos mil veintiuno.

LUIS ESTEBAN
CAMPOS
ALVAREZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por
LUIS ESTEBAN CAMPOS
ALVAREZ (FIRMA)
Fecha: 2021.02.26
11:11:47 -06'00'

Firma del estudiante

Cédula: 4-0185-0036

CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA



Instituto Nacional de Aprendizaje
Centro Nacional Especializado en Electrónica
Extensión: 22207301

Correo electrónico: rivassalguero@ina.ac.cr

Heredia, jueves 25 de febrero de 2021
URHE-CENATE-34-2021

Estimados señores:
Rectoría Ingeniería Electrónica
Universidad Hispanoamericana

Asunto: Proyecto de graduación del Sr. Luis Esteban Campos Alvarez.

Yo, Ricardo Rivas Salguero, portador de la cédula de identidad 3036530314, Encargado del Centro Nacional Especializado en Electrónica y Telecomunicaciones del Instituto Nacional de Aprendizaje, cedula jurídica 4000045127, por este medio hago constar que el proyecto titulado: *Diseño e implementación de un programa de supervisión, control, adquisición y almacenamiento de datos para un sistema de manufactura integrado para el primer semestre del 2021*; fue desarrollado satisfactoriamente por el estudiante Luis Esteban Campos Álvarez cédula 4-0185-0036, cumpliendo ampliamente los requerimientos planteados inicialmente y dando, como resultado, un producto de gran utilidad para los objetivos de este centro.

Atentamente

RICARDO RIVAS
SALGUERO (FIRMA)

Firmado digitalmente por
RICARDO RIVAS SALGUERO
(FIRMA)
Fecha: 2021.02.25 16:28:21 -06'00'

Ing. Ricardo Rivas Salguero
Encargado CENATE

CARTA DEL TUTOR



CARTA DEL TUTOR

San José, 24 de Febrero del 2021

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Luis Esteban Campos Álvarez, cédula de identidad número 4-0185-0036, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL, ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS PARA UN SISTEMA DE MANUFACTURA INTEGRADO EN EL INSTITUTO NACIONAL DE APRENDIZAJE PARA EL PRIMER SEMESTRE DEL 2021", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

| # | Rubro | % Teórico | % Asignado |
|--------|--|-----------|------------|
| a | Original del tema. | 10 | 10 |
| b | Cumplimiento de entrega de avances. | 20 | 20 |
| c | Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación. | 30 | 30 |
| d | Relevancia de las conclusiones y recomendaciones. | 20 | 20 |
| e | Calidad, detalle del marco teórico. | 20 | 20 |
| Total: | | 100 | 100 |

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. Eduardo Sanabria Guerrero
Céd: 108610714
Tutor

CARTA DEL LECTOR



CARTA DEL LECTOR

San José, 29 de abril de 2021

Señores
Departamento de Servicios Estudiantiles
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Luis Esteban Campos Álvarez , cédula de residencia número 4-0185-0036, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: **“Diseño e implementación de un programa de supervisión, control, adquisición y almacenamiento de datos para un sistema de manufactura integrado en el Instituto Nacional de Aprendizaje para el primer semestre del 2021.”**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Electrónica.

He revisado y analizado el contenido, particularmente, lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y el análisis de datos; la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre estos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente.

A handwritten signature in black ink that reads 'José A. Rojas'.

Ing. José Alejandro Rojas López
Cédula identidad 1-1079-0035
Carné Colegio Profesional N°: IEL-15888

CARTA DE AUTORIZACION PARA LICENCIA DE TFG FINAL

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 4 de mayo de 2021

Señores:

Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Luis Esteban Campos Álvarez con número de identificación 4-0185-0036 autor (a) del trabajo de graduación titulado: Diseño e implementación de un programa de supervisión, control, adquisición y almacenamiento de datos para un sistema de manufactura integrado en el Instituto Nacional de Aprendizaje para el primer semestre del 2021, presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar por el título de Bachillerato de Ingeniería en Electrónica; Si autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

LUIS ESTEBAN Firmado digitalmente
CAMPOS por LUIS ESTEBAN
ALVAREZ CAMPOS ALVAREZ
(FIRMA) (FIRMA)
Fecha: 2021.05.04
22:51:48 -06'00'

Cédula: 4-0185-0036
Firma y Documento de Identidad

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| DECLARACIÓN JURADA | 1 |
| CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA | 2 |
| CARTA DEL TUTOR..... | 3 |
| CARTA DEL LECTOR..... | 4 |
| CARTA DE AUTORIZACION PARA LICENCIA DE TFG FINAL..... | 5 |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | 6 |
| Índice de Figuras | 9 |
| Índice de Tablas..... | 14 |
| ABREVIATURAS..... | 15 |
| DEDICATORIA..... | 16 |
| AGRADECIMIENTO..... | 17 |
| RESUMEN | 18 |
| CAPÍTULO I | 20 |
| PROBLEMA DEL PROYECTO..... | 20 |
| 1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO | 21 |
| 1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa. | 21 |
| 1.1.2 Justificación del problema | 22 |
| 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA..... | 23 |
| 1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 26 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 26 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 26 |
| 1.4.1 Alcances..... | 27 |
| 1.4.2 Limitaciones..... | 28 |
| MARCO TEORICO..... | 30 |

| | | |
|---|---|-----|
| 2.1 | CONTEXTO HISTÓRICO | 31 |
| 2.2 | CONTEXTO TEÓRICO | 32 |
| CAPÍTULO III | | 57 |
| MARCO METODOLÓGICO | | 57 |
| 3.1 | TIPO DE INVESTIGACIÓN..... | 58 |
| 3.1.1 | Enfoque de la Investigación | 58 |
| 3.1.2 | Finalidad de la Investigación..... | 59 |
| 3.1.3 | Dimensión Temporal | 61 |
| 3.1.4 | Marco de la Investigación..... | 62 |
| 3.1.5 | Naturaleza de la Investigación..... | 63 |
| 3.1.6 | Carácter de la Investigación..... | 64 |
| 3.2 | FUENTES DE INFORMACIÓN | 66 |
| 3.2.1 | Fuentes Primarias..... | 67 |
| 3.2.2 | Fuentes Secundarias | 67 |
| 3.2.3 | Sujetos de Información | 68 |
| 3.3 | TÉCNICAS Y HERRAMINETAS | 69 |
| 3.3.1 | Observación..... | 70 |
| 3.3.2 | Entrevista | 71 |
| 3.3.3 | Experimental..... | 71 |
| 3.4 | VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 72 |
| 3.4.1 | Definición de variables..... | 72 |
| 3.4.2 | Diseño de investigación..... | 74 |
| 3.5 | IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 79 |
| CAPÍTULO IV | | 80 |
| DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL..... | | 80 |
| 4.1 | DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL..... | 81 |
| 4.2 | RECOLECCIÓN DE DATOS | 86 |
| 4.2.1 | Instrumento para la recolección de datos..... | 87 |
| 4.3 | PROPUESTA DEL PROYECTO | 92 |
| CAPÍTULO V..... | | 103 |

| | |
|---|-----|
| DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO | 103 |
| 5.1 ASPECTOS DE DISEÑO | 104 |
| 5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO..... | 105 |
| 5.2.1 Etapa de sensado y actuadores..... | 105 |
| 5.2.2 Etapa del sistema original | 113 |
| 5.2.3 Etapa de comunicación | 160 |
| 5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA SCADA..... | 165 |
| 5.3.1 Sección de control..... | 166 |
| 5.3.1.1 Sección de selección de producto..... | 168 |
| 5.3.2 Sección de monitoreo. | 170 |
| 5.3.3 Sección de estadística | 173 |
| 5.4 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO..... | 177 |
| 5.5 ANÁLISIS DE COSTOS | 180 |
| CAPÍTULO VI..... | 184 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 184 |
| 6.1 CONCLUSIONES..... | 185 |
| 6.2 RECOMENDACIONES..... | 187 |
| BIBLIOGRAFÍA | 189 |
| ANEXO | 192 |
| Lista de anexos..... | 192 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama de causa – efecto..... | 24 |
| Figura 2. Laboratorio de Manufactura Integrado..... | 32 |
| Figura 3. PLC Siemens S7-300..... | 33 |
| Figura 4. Robot Mitsubishi RV-2F-D..... | 34 |
| Figura 5. Estructura mecánica del robot industrial..... | 36 |
| Figura 6. Comparación entre las articulaciones del brazo humano..... | 37 |
| con las del robot angular. | 37 |
| Figura 7. Robot Mitsubishi RH-3FH..... | 38 |
| Figura 8. Articulaciones de un robot SCARA..... | 39 |
| Figura 9. Sensor de visión OMRON FQ2..... | 41 |
| Figura 10. Motor a pasos y actuador. | 42 |
| Figura 11. Vista principal del TIA Portal..... | 44 |
| Figura 12. Vista del proyecto en TIA Portal. | 45 |
| Figura 13. Cilindro de efecto simple..... | 51 |
| Figura 14. Cilindro de doble efecto..... | 52 |
| Figura 15. Tipos de Actuador oscilante..... | 52 |
| Figura 16. Válvula de 3/2 vías..... | 54 |
| Figura 17. Válvula 5/2 vías..... | 54 |
| Figura 18. Electroválvula..... | 55 |

| | |
|---|-----|
| | 10 |
| Figura 19. Ventosa | 56 |
| Figura 20. Cronograma del proyecto | 79 |
| Figura 21. Sistema de manufactura..... | 82 |
| Figura 22. Secuencia de trabajo del laboratorio de manufactura. | 84 |
| Figura 23. Panel frontal de las estaciones de trabajo | 85 |
| Figura 24. Secuencia de selección de producto en estación FMS 205. | 86 |
| Figura 25. Base con piezas internas..... | 87 |
| Figura 26. Placa PCB..... | 88 |
| Figura 27. Tipos de piezas internas..... | 88 |
| Figura 28. Dispositivo remoto de entradas y salidas..... | 89 |
| Figura 29. Distribución de las estaciones según producto | 90 |
| Figura 30. Diagrama de flujo de la propuesta de diseño..... | 93 |
| Figura 31. Menú de selección de receta..... | 95 |
| Figura 32. Interfaz de monitoreo..... | 96 |
| Figura 33. Interfaz de estadística | 97 |
| Figura 34. Selección del tipo de botón del HMI | 100 |
| Figura 35. Selección del tipo de indicador en HMI..... | 100 |
| Figura 36. Selección de panel gráfico..... | 101 |
| Figura 37. Palet..... | 106 |
| Figura 38. Mecanismo para detección de Palet..... | 106 |
| Figura 39. Conexión de los sensores de identificación de Palets | 107 |
| Figura 40. Sección de programa para la identificación del número de palet. | 108 |

| | |
|--|-----|
| Figura 41. Sensor de detección de presencia de palet. | 109 |
| Figura 42. Selección del tipo de rodamiento. | 111 |
| Figura 43. Selección del tipo de tapa. | 112 |
| Figura 44. Actuadores neumáticos | 112 |
| Figura 45. Distribuciones de las estaciones de trabajo. | 113 |
| Figura 46. Flujo del programa en Estación FMS 201 | 114 |
| Figura 47. Código para la transferencia de datos | 115 |
| Figura 48. Diagrama del bloque de ensamble FMS 201. | 116 |
| Figura 49. Diagrama de flujo del bloque de ensamble FMS 202. | 117 |
| Figura 50. Medición del tamaño del rodamiento. | 118 |
| Figura 51. Dispositivos manipuladores en estación FMS 204. | 120 |
| Figura 52. Diagrama de flujo del proceso de ensamble FMS 204. | 121 |
| Figura 53. Sistemas de intercambio de información FMS 204 | 122 |
| Figura 54. Distribución de la estación FMS 205 | 123 |
| Figura 55. Diagrama de flujo del proceso de ensamble FMS 205. | 124 |
| Figura 56. Diagrama de tiempos de las salidas del encoder. | 125 |
| Figura 57. Bloque de función del encoder | 126 |
| Figura 58. Diagrama de flujo para ensamble de la estación FMS 207 | 126 |
| Figura 59. Altura del inserto en función del tipo de rodamiento. | 128 |
| Figura 60. Secuencia de programa del robot antropomórfico. | 129 |
| Figura 61. Sección de código del robot antropomórfico. | 130 |
| Figura 62. Plano eléctrico de las salidas del robot antropomórfico. | 131 |

| | |
|---|-----|
| Figura 63. Pinzas del Robot antropomórfico..... | 132 |
| Figura 64. Direcciones de los puntos en el programa del robot antropomórfico..... | 133 |
| Figura 65. Diagrama de flujo del ensamble en FMS 214 | 134 |
| Figura 66. Puntas de medición para prueba de continuidad | 135 |
| Figura 67. Estación FMS 215 | 136 |
| Figura 68. Diagrama de flujo del ensamble de FMS 215 | 137 |
| Figura 69. Diagrama de flujo del ensamble en la estación FMS 216 | 139 |
| Figura 70. Código de funcionamiento del robot SCARA | 140 |
| Figura 71. Sistema de sujeción del robot SCARA..... | 141 |
| Figura 72. Diagrama de señales de comunicación del láser..... | 142 |
| Figura 73. Secuencia para máquina de marcado láser..... | 143 |
| Figura 74. Etiquetas para grabado láser..... | 144 |
| Figura 75. Estación de control de calidad..... | 145 |
| Figura 76. Diagrama de la secuencia de trabajo de la estación FMS 211 | 146 |
| Figura 77. Escena 0 del sensor de calidad del BODY | 148 |
| Figura 78. Escena 1 del sensor de calidad del BODY | 149 |
| Figura 79. Escena 2 y 3 del sensor de calidad del BODY..... | 150 |
| Figura 80. Escena 4 y 5 del sensor de calidad del BODY..... | 150 |
| Figura 81. Escena 6 del sensor de calidad del BODY | 151 |
| Figura 82. Escena 7 del sensor de calidad del BODY | 152 |
| Figura 83. Estación FMS 208. | 154 |
| Figura 84. Diagrama de flujo para el almacenamiento de los productos..... | 155 |

| | |
|--|-----|
| Figura 85. Distribución de los espacios en el almacén | 156 |
| Figura 86. Diagrama de tiempos de las señales de comunicación de los servomotores..... | 158 |
| Figura 87. Diagrama de control de los servomotores | 159 |
| Figura 88. Posiciones de memoria de los servomotores..... | 160 |
| Figura 89. Red de PLC y módulos I/O remotos | 161 |
| Figura 90. Configuración de la comunicación PROFINET | 162 |
| Figura 91. Comunicación entre servidor OPC y SCADA..... | 164 |
| Figura 92. Ventana principal de la interfaz de usuario | 166 |
| Figura 93. Sección de código encargada de los botones de control del SCADA | 168 |
| Figura 94. Pantalla para la selección del producto. | 169 |
| Figura 95. Sección de código del menú de producto. | 170 |
| Figura 96. Pantalla de la estación FMS 201 | 171 |
| Figura 97. Mensaje de error en sección de monitoreo. | 172 |
| Figura 98. Sección de programa para el monitoreo de las alarmas. | 172 |
| Figura 99. Sección de estadística..... | 174 |
| Figura 100. Sección de código para mostrar los datos estadísticos..... | 175 |
| Figura 101. Tablas en la base de datos..... | 177 |
| Figura 102. Diagrama de flujo del sistema de producción. | 178 |

Índice de Tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Sujetos de información | 68 |
| Tabla 2. Variables de la investigación. | 73 |
| Tabla 3. Diseño de la investigación | 76 |
| Tabla 4. Tabla de características del proyecto. | 102 |
| Tabla 5. Distribución del byte de producto..... | 109 |
| Tabla 6. Byte de información en FMS 204..... | 122 |
| Tabla 7. Señales eléctricas del robot Antropomórfico..... | 127 |
| Tabla 8. Detalle de las señales luminosas en FMS 215..... | 138 |
| Tabla 9. Señales de entrada y salida del láser. | 142 |
| Tabla 10. Selección de escenas para el sensor de visión..... | 147 |
| Tabla 11. Tipo de Pieza resultante de las escenas..... | 152 |
| Tabla 12. Señales de comunicación de los servomotores | 157 |
| Tabla 13. Bytes de información de la red PROFINET | 163 |
| Tabla 14. Contenido de la base de datos. | 175 |
| Tabla 15. Control de características incorporadas en la solución. | 180 |
| Tabla 16. Costos de implementación del sistema..... | 181 |

ABREVIATURAS

CENATE: Centro Nacional Especializado en Electrónica.

CNC: Control numérico por computadora.

GTIC: Gestión de tecnologías de la información y comunicación.

INA: Instituto Nacional de Aprendizaje.

OPC: Control de procesos por objetos (OLE for Process Control)

PLC: Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller)

SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control And Data Acquisition)

SQL: Lenguaje de Consulta Estructurada (Structured Query Language)

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto a mi hijo Gael que fue la inspiración para terminar la carrera.

A mi familia, Gladys Álvarez, Ingrid Campos y Keylin Sánchez; que con su apoyo incondicional me han dado las fuerzas para llegar a este momento.

AGRADECIMIENTO

A los profesores y compañeros de la Universidad Hispanoamericana que me ayudaron durante mi proceso de formación.

Al Instituto Nacional de Aprendizaje y todas las personas que laboran en esta gran institución que me brindaron la oportunidad de finalizar mis estudios y que me ayudaron durante la realización de este proyecto.

RESUMEN

En la actualidad, la automatización de los procesos industriales ha ido creciendo de la mano con los avances tecnológicos, los cuales, al ser implementados en los diferentes procesos productivos, permiten controlar de una manera más precisa las acciones generadas en la industria.

En el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) están conscientes de los cambios tecnológicos y de las nuevas tendencias en los procesos industriales, debido a estos cambios constantes se deben adquirir equipos didácticos que ayuden a los estudiantes a capacitarse en las áreas de mayor demanda y con prospección al futuro.

La compra de equipos didácticos en la administración pública conlleva un reto debido a que se encuentran sujetos a los procedimientos del gobierno central y a los procesos internos de cada institución, esto provoca que los equipos no puedan ser adquiridos bajo ciertos requerimientos que en la empresa privada no generan un problema como son la marca de los equipos o los proveedores.

Al no tener control sobre las marcas de los equipos en muchas ocasiones se debe lidiar con problemas de compatibilidad entre equipos de diferentes marcas, estos problemas pueden ir desde la capa física, como incompatibilidad en los rangos o tipos de señales eléctricas y pueden llegar hasta la capa de comunicación donde los protocolos industriales no permiten la transferencia de información entre los equipos.

En el Centro Nacional Especializado en Electrónica (CENATE) cuentan con un laboratorio de equipo didáctico de manufactura integrado para simular procesos industriales de automatización y control de datos, sin embargo, por los procesos para la adquisición de los equipos estos tienen algunas deficiencias en cuanto a comunicación y tecnologías para la programación de los procesos.

Estos problemas en los equipos generan deficiencias en el aprovechamiento total de las capacidades con las que cuenta el laboratorio y provoca que no se le de uso por largos periodos de tiempo lo cual le genera problemas de oxidación y altos tiempos de mantenimiento antes de ponerlo en funcionamiento.

Por este motivo el Centro Nacional Especializado en Electrónica busca la forma de crear una plataforma que le permita aprovechar todas las capacidades del laboratorio, pero que también pueda solucionar los problemas que actualmente enfrentan los docentes y estudiantes al trabajar con los equipos.

Al implementar este proyecto en el laboratorio de Manufactura integrado en el CENATE, se pretende mejorar los tiempos de utilización de los equipos al poder solucionar los problemas de comunicación y tecnologías diversas, así como disminuir los costos en el tiempo de mantenimiento que se generan al tener detenido el laboratorio por largos periodos de tiempo.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO

1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.

El Instituto Nacional de Aprendizaje es una institución pública, creada mediante la ley de la republica número 3506 del 21 de mayo de 1965 durante el gobierno de don Francisco José Orlich Bolmarcich, su principal tarea es promover y desarrollar la capacitación y formación profesional de los hombres y mujeres en todos los sectores de la producción para impulsar el desarrollo económico y contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida y de trabajo del pueblo costarricense, mediante acciones de formación, capacitación, certificación y acreditación para el trabajo productivo, sostenible, equitativo, de alta calidad y competitividad.

- Misión.

“El INA forma, capacita y certifica a personas físicas y jurídicas, para contribuir al crecimiento personal, movilidad social, productividad y competitividad; que permita al país adaptarse a los cambios que el entorno exige.”

- Visión.

“Ser una institución educativa que responda oportunamente, de forma inclusiva, con servicios innovadores, flexibles y pertinentes, que contribuyan con el desarrollo del talento humano, la movilidad social y el crecimiento económico de la nación.”

El Instituto Nacional de Aprendizaje brinda servicios de capacitación y formación profesional a la población de Costa Rica en sus 62 centros distribuidos en 9 unidades regionales cubriendo así todas las regiones del país. La cantidad de centros se

distribuyen de acuerdo a parámetros como el área geográfica, densidad de población física y empresarial, basados en estos datos es que se determina la oferta de cursos al público.

Como lo indica la Visión del INA, la institución está llamada a dar servicios de forma innovadora, es por este motivo que el Centro Nacional Especializado en Electrónica tiene un proyecto para convertir sus instalaciones en un laboratorio de Innovación que pueda dar servicios tecnológicos en el área de la electrónica al sector empresarial y al mismo tiempo preparar a sus estudiantes con las tecnologías de punta y los conocimientos necesarios para desempeñarse en el mercado laboral.

1.1.2 Justificación del problema

En el Instituto Nacional de Aprendizaje se cuenta la carrera de Técnico en Mecatrónica, esta especialidad se imparte en el Centro Nacional Especializado en Electrónica en la provincia de Heredia.

Por este motivo el CENATE adquirió un sistema de manufactura integrado que le permita brindar servicios de capacitación en los temas de programación en PLC, servidores OPC, protocolos industriales, SCADA, programación de Robots industriales, bases de datos y manejo de BIG DATA.

El equipo adquirido cuenta con muchas prestaciones a nivel de hardware, sin embargo, a nivel de software no existe un programa que permita que este sistema de manufactura

pueda trabajar de forma autónoma, por lo cual limita mucho su aprovechamiento para los cursos que se imparten en el CENATE.

El sistema de manufactura se adquirió para solventar temas específicos en varios de sus cursos como se mencionó anteriormente, sin embargo, hay unos temas los cuales no han logrado solventar como son la adquisición y almacenamiento de los datos que se producen durante la operación del equipo.

Otro de los problemas que tienen es que no se cuenta con un software que les permita operar el sistema de manufactura de forma remota para indicar el tipo y cantidad de producto a ensamblar, esto con el propósito de que los estudiantes puedan trabajar con la programación de los robots y que el sistema de forma automática les alimente las estaciones de los robots con materia prima.

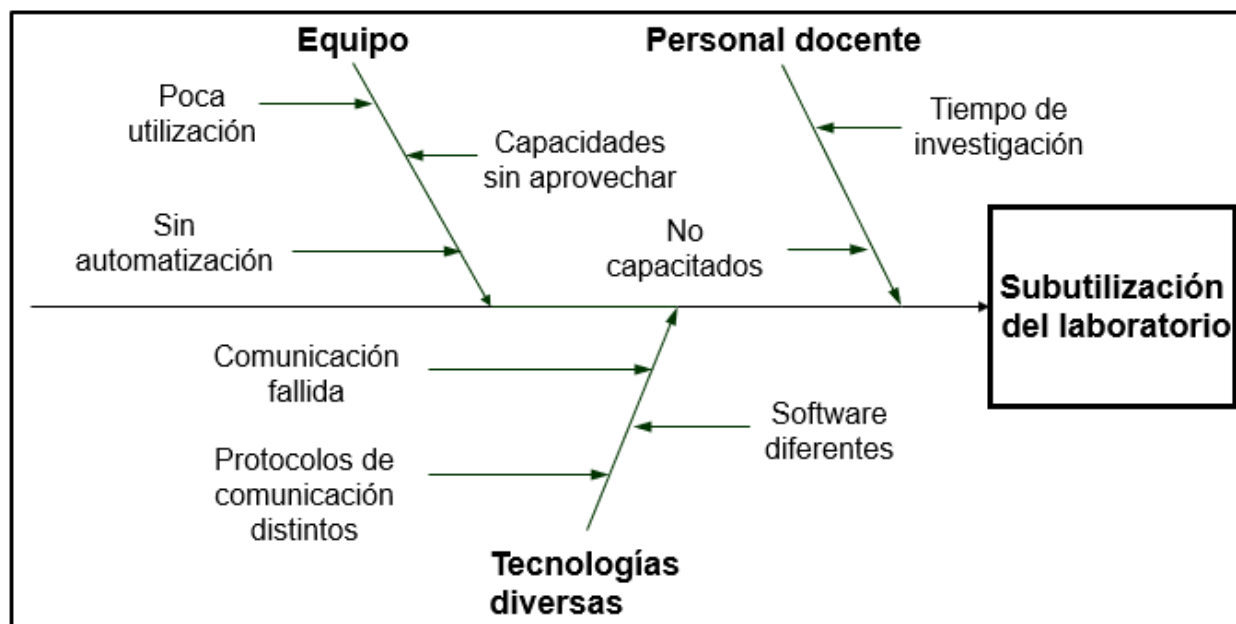
Esta mejora en el sistema de manufactura permitirá que los estudiantes puedan desarrollar conocimientos en las áreas de bases de datos, Big Data y programación de robots industriales, ya que estos conocimientos actualmente no se pueden desarrollar de la forma adecuada.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Existe un problema de subutilización y desaprovechamiento de las características que posee el laboratorio de manufactura, lo cual provoca que no se puedan brindar los cursos de capacitación y formación profesional que el mercado empresarial le solicita al INA,

motivo por el cual fue adquirido el laboratorio hace tres años. La figura 1 expone el diagrama de causa-efecto de la situación detectada.

Figura 1. Diagrama de causa – efecto.



Fuente: Elaborado por el autor.

Existen tres principales variables que se explican a continuación y son los factores a analizar como producto de la problemática:

- Equipo: Actualmente el equipo se utiliza en periodos muy cortos debido a que los estudiantes solo tienen acceso al laboratorio durante la fase final de su carrera, esto se debe a que no existe un proceso automático que les permita utilizar las capacidades del equipo en la generación de datos, control de tiempos de producción y control de calidad entre otros. Los docentes deberían tener la

posibilidad de utilizar las capacidades del laboratorio en varios de los cursos que se imparten en el CENATE.

- b) Personal docente: Los docentes que imparten los cursos no cuentan con la capacitación suficiente para poder implementar el sistema de control y supervisión que necesitan para que el equipo se pueda utilizar en todos los cursos en los que se requiere, además se suma el inconveniente de que en los cronogramas de trabajo no cuentan con tiempos de investigación que les permita adquirir los conocimientos necesarios para solventar los problemas.
- c) Tecnologías diversas: El laboratorio de manufactura está compuesto por equipos de diferentes marcas, por lo cual existen varios softwares propietarios con los cuales se debe lidiar, a lo anterior se le une que los programas no comparten los mismos protocolos de comunicación industrial lo que provoca un fallo en el intercambio de datos entre el servidor principal y los equipos físicos.

Es necesario implementar una solución que permita ampliar el uso que se le brinda al laboratorio de manufactura para ofrecer los cursos de capacitación y formación profesional que el CENATE brinda a sus estudiantes y empresas del sector industrial.

¿Cómo se pueden aprovechar todas las capacidades de comunicación, programación e interacción de los equipos presentes en el laboratorio de manufactura para implementar un sistema de control automático para la supervisión y control de las estaciones de trabajo, que permita la adquisición y almacenamiento de los datos que se generan durante el proceso, de modo que se pueda ampliar los servicios de

capacitación y formación profesional en el CENATE del Instituto Nacional de Aprendizaje durante el primer semestre del 2021?

1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.3.1 Objetivo General

Implementar un programa de supervisión, control, adquisición y almacenamiento de datos para un sistema de manufactura integrado en el Instituto Nacional de Aprendizaje para el primer semestre del 2021.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar la necesidad del Centro Nacional Especializado en Electrónica para el aprovechamiento óptimo del laboratorio de manufactura.
- Reconocer los diferentes equipos eléctricos, mecánicos, neumáticos, tecnología, marcas, protocolos de comunicación y software con los que cuenta el laboratorio de manufactura.
- Definir las condiciones y requerimientos para el hardware de control y automatización de los diferentes elementos mecánicos, eléctricos y neumáticos que posee cada una de las estaciones de manufactura.
- Definir las condiciones y requerimientos de un software de supervisión, control y adquisición de datos en las diferentes estaciones de manufactura.

- Diseñar un sistema de interfaz programable capaz de supervisar, controlar, adquirir y almacenar los datos en tiempo real de cada una de las estaciones de manufactura.
- Programar las rutinas de trabajo para los controladores lógicos programables para las diferentes estaciones de manufactura.
- Programar las secuencias de comunicación con una arquitectura de cliente-servidor entre los controladores lógicos programables y el software de supervisión, control y adquisición de datos.
- Evaluar la puesta en marcha del proceso de manufactura diseñado.
- Realizar un análisis del costo beneficio de la implementación del sistema de manufactura para el Centro Nacional Especializado en Electrónica.
- Desarrollo de un manual de usuario para la utilización del software implementado.

ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

El proyecto propuesto para solucionar los problemas que tiene el laboratorio de manufactura del CENATE se enfoca en una solución para supervisar y controlar las estaciones de trabajo que conforman actualmente el laboratorio, sin embargo, cabe la posibilidad de ampliar el proyecto a equipos de trabajo que se puedan agregar en el futuro.

La solución plantea la programación de controladores lógicos programables marca Siemens, robots didácticos tipo Antropomórfico y SCARA marca Mitsubishi, también cuenta con sensores de visión artificial marca OMRON, grabado láser y una estación de

almacenamiento con un robot cartesiano marca SMC, así como una gran cantidad de sensores digitales y analógicos.

El proyecto plantea la integración de una base datos SQL que permita el almacenamiento de la información generada durante la operación de los equipos, esta característica busca ampliar las capacidades que posee actualmente el laboratorio.

La implementación de este proyecto se puede utilizar para brindar capacitación a las empresas en el área de automatización industrial ya que permite la gestión de los procesos por medio de software sin afectar la parte de hardware de la empresa.

El proyecto plantea brindarle una herramienta educativa más a los docentes para que logren aprovechar todas las características que poseen los equipos en el laboratorio y que los estudiantes se enfrenten a procesos industriales más robustos.

1.4.2 Limitaciones

El proyecto que se pretende desarrollar se implementara solamente para las diez estaciones de trabajo con las que actualmente se cuenta en el laboratorio, ya que al momento de realizar el diseño de la solución no existe una proyección de ampliar la cantidad de equipos.

La solución que se plantea no contempla una plataforma de acceso al sistema de supervisión y control vía internet, ya que las políticas de la oficina de Gestión de Tecnologías de Información y Comunicación (GTIC) no permiten acceder a las redes de datos internas del INA desde fuentes de terceros.

Para la implementación del proyecto se deben utilizar los programas y equipos que fueron adquiridos en conjunto con la compra del laboratorio o que el INA posee de previo, ya que no se contempla la compra de más licencias o dispositivos eléctricos.

Al ser un laboratorio que fue adquirido en el año 2017 este todavía se encuentra en periodo de garantía, razón por lo cual no se puede realizar cambios en los equipos eléctricos, mecánicos o neumáticos debido a que el contrato de garantía lo impide.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

La automatización de los procesos industriales constituye uno de los objetivos más importantes de las empresas en la siempre incesante tarea de la búsqueda de la competitividad en un entorno cambiante y agresivo. La automatización de un proceso industrial consiste en la incorporación al mismo, de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento, dicho automatismo ha de ser capaz de reaccionar frente a las situaciones previstas de antemano y además frente a situaciones inesperadas, su objetivo principal es situar al proceso y a los recursos humanos que lo asisten en la situación más favorable.

Históricamente, los objetivos de la automatización han sido el procurar la reducción de costes de fabricación, una calidad constante en los medios de producción y liberar al ser humano de las tareas tediosas, peligrosas e insalubres.

El concepto de automatización lleva implícita la supresión total o parcial de la intervención humana en la ejecución de diversas tareas industriales, agrícolas, domésticas, administrativas o científicas. Se aplica la automatización tanto a las tareas más sencillas, tales como la regulación de la temperatura de un horno o el mando secuencial de una máquina o herramienta, como a las más complejas tales como la dirección mediante un ordenador de una unidad de soporte de vida o la gestión automatizada de una fábrica automatizada.

Debido a que la automatización industrial toma más importancia con los avances tecnológicos que se viven en las épocas actuales es que INA realizó el proceso de compra de un laboratorio didáctico de manufactura integrado que le permita brindar

servicios de capacitación a las empresas en las áreas de programación de PLC, robótica industrial, visión artificial y sistemas de supervisión y control de la producción.

Figura 2. Laboratorio de Manufactura Integrado



Fuente: Elaborado por el autor.

2.2 CONTEXTO TEÓRICO

2.2.1 PLC Siemens S7-300

El Controlador Lógico Programable es un aparato electrónico que es operado de manera digital y usa una memoria interna programable para la realización de acciones y procedimientos a partir de instrucciones previamente programadas por el usuario,

instrucciones utilizando funciones específicas como de tipo lógicas, secuenciales, temporización, de conteo, aritméticas, para el control mediante módulos de entradas y salidas, tanto digitales como analógicas.

En general se puede definir al controlador lógico programable a todo equipo electrónico que esté diseñado para el control eléctrico automatizado de procesos de cualquier tipo, funcionamiento de máquinas entre otros en tiempo real, de tal manera que el ser humano no deba estar pendiente de su funcionamiento.

El PLC Simatic S7-300 es un controlador lógico programable desarrollado para dar solución a la automatización de procesos de rango medio, diseñado para programación modular, esto le permite un uso inteligente y reduce costos tanto ingeniería como operación. De esta forma es posible reutilizar el programa y sus librerías.

Figura 3. PLC Siemens S7-300



Fuente: Manual Siemens

Este PLC posee una interfaz orientada a objetos, con configuración gráfica en lugar de programación por comandos y que además ofrece diagnósticos inteligentes y un proceso de simulación fuera de línea lo cual permite mayor control de la programación realizada.

La CPU de este PLC fue diseñada para tareas exigentes que requieren tiempos de ejecución rápidos y que maneje un número de entradas y salidas medio, además posee dos puertos de comunicación ethernet que permiten la conexión con periferia descentralizada por medio del protocolo de comunicación PROFINET.

2.2.2 Robot Mitsubishi RV-2F-D

El robot es articulado con 6 ejes, presenta tiempos de ciclo de sólo 0,32 segundos que aumentan la productividad y permiten con ello el empleo en instalaciones con las máximas velocidades. La estructura de brazo doble no sólo aumenta la libertad de movimientos, sino que trae consigo una mayor estabilidad y una mayor flexibilidad de empleo y tiene una capacidad de carga de hasta 2 kg, con un alcance de 504 milímetros.

Fue especialmente diseñado para trabajos en espacios reducidos y permite montaje en pared o techo, además, todos sus sistemas vienen equipados de fábrica con conexiones integradas de Ethernet y entradas de control físicas para conexión con PLC.

Figura 4. Robot Mitsubishi RV-2F-D



Fuente: Manual Mitsubishi

El uso de los robots industriales se ha concentrado en operaciones simples, como tareas repetitivas que no requieren mucha precisión, como las máquinas de inspección, transferencia de materiales, pintado automotriz, soldadura etc. Son económicamente viables para ser robotizado.

Actualmente se ha incrementado la aplicación de los robots en el ámbito industrial, esto debido a los avances tecnológicos, especialmente en los sistemas sensoriales, lo que ha permitido aplicarlo en tareas más sofisticadas como el ensamble de materiales.

La automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción. En consecuencia, la robótica es una forma de automatización industrial.

Los robots son utilizados en una gran diversidad de tareas en los procesos industriales se distingue los siguientes:

- Transferencia de material, como mover una pieza de una posición a otra.
- Carga de material, por ejemplo, una operación de prensado en una lámina de metal, el robot carga la lámina.
- Descarga de material, la maquina se alimentó sin la ayuda del robot ya sea por gravedad u otro medio y el robot solo descarga el producto.
- Carga y descarga de material, por ejemplo, en una operación de mecanizado, el robot alimenta de materia prima a la máquina y una vez finalizado el maquinado de la pieza la descarga.

- Operaciones de procesamiento, el robot realiza trabajos sobre la pieza por ejemplo soldadura de punto, el actuador final no es una pinza sino una herramienta.
- Recubrimiento, cuando algunos productos requieran de algún acabado o tratamiento y necesita un recubrimiento, este se puede dar por inmersión o por spray, como por ejemplo pintar una pieza.

Particularmente los robots están contruidos a partir de una serie de eslabones rígidos conectados por juntas o articulaciones. Los eslabones forman la estructura y deben ser lo más ligeros posibles y a la vez tan rígidos para que no se produzca deformaciones bajo cargas estáticas y dinámicas.

Figura 5. Estructura mecánica del robot industrial

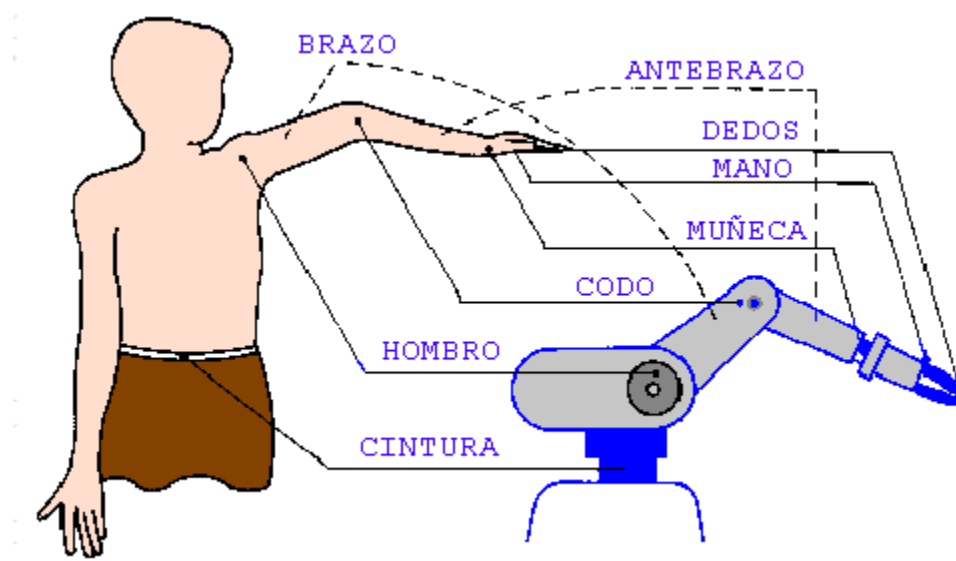


Fuente: Elaborado por el autor.

En los robots industriales de acuerdo a la configuración de eslabones y articulaciones da lugar a diferentes tipos de robots industriales, en este caso el robot corresponde a un

robot giratorio angular o antropomorfo, por su similitud con la anatomía de las extremidades superiores del cuerpo humano, por lo que, en ocasiones para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot, se usan términos como cintura, hombro, brazo, codo, muñeca, etc.

Figura 6. Comparación entre las articulaciones del brazo humano con las del robot angular.



Fuente: www.platea.es

2.2.3 Robot Mitsubishi RH-3FH

Por definición un robot SCARA es el acrónimo en inglés de “Selective Compliance Articulated Robot Arm”, que en español significa “Robot de Brazo de Montaje Selectivamente Adaptable”. Se caracteriza por ser un robot de pequeñas dimensiones que principalmente ha sido diseñado para realizar trabajos repetitivos a gran velocidad y

con mucha precisión. Realizan aplicaciones de coger y dejar piezas de un punto A a un punto B, que en inglés se define como Pick & Place.

Se caracterizan por disponer normalmente de 4 grados de libertad (los hay de 3 ejes) y de realizar trabajos con posicionamiento horizontal. Trabaja con movimientos rotacionales en los ejes X e Y, y es rígido en el eje Z. El robot va instalado sobre un pedestal que se puede desplazar rápidamente de lugar.

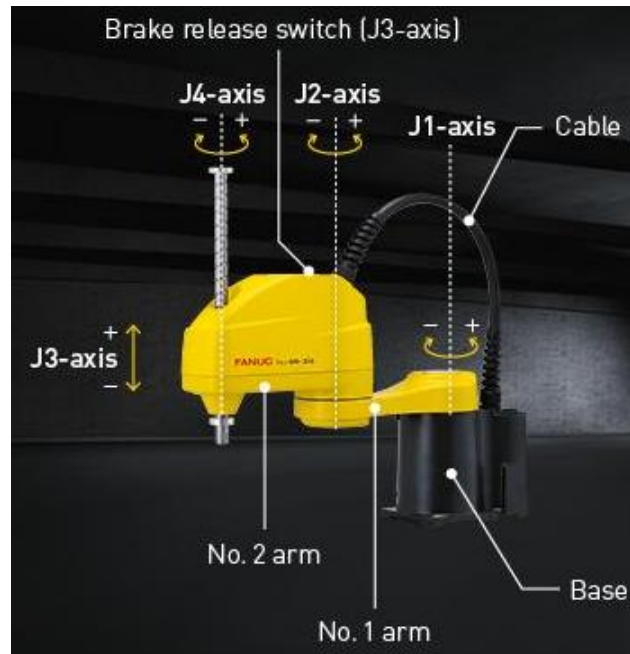
Figura 7. Robot Mitsubishi RH-3FH



Fuente: Manual Mitsubishi

La velocidad es importante a la hora de elegir un robot, y los SCARA son normalmente unos de los más rápidos del mercado. Con cuatro ejes, tienen menos articulaciones en movimiento y se configuran para que J1 y J2 controlen el movimiento X-Y, J3 y J4 controlen el movimiento Z y de rotación. Esto simplifica los cálculos cinemáticos inversos, requiriendo menos tiempo computacional.

Figura 8. Articulaciones de un robot SCARA



Fuente: Manual Fanuc

Un robot SCARA carece del movimiento de inclinación y vuelco de los robots de seis ejes, así que en las aplicaciones donde se requiera inclinación y vuelco, existen mecanismos que pueden añadirse para conseguir el movimiento adicional del eje siempre que el SCARA pueda acomodar los requisitos de carga.

La mayoría de las aplicaciones de montaje que implican mover una pieza desde un punto **A** a un punto **B** son perfectas para los robots SCARA porque esto normalmente implica reubicar la pieza en X-Y-Z con cierta rotación en el eje Z. Las aplicaciones de atornillado son también excelentes para este tipo de robot, donde el eje de rotación puede atornillar fácilmente. Además, para las aplicaciones de dispensado, un SCARA puede coger piezas

y presentarlas a un dispensador, o la herramienta de dispensado puede conectarse al eje del robot.

2.2.4 Sensor de visión OMRON FQ2

La visión artificial puede ser definida como los procesos de obtención, caracterización e interpretación de información de imágenes tomadas de un mundo tridimensional. Estos procesos, también son llamados “visión por computadora” y se conoce como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales.

Actualmente la visión artificial se aplica en diversos procesos científicos y militares, extendiéndose su uso en un amplio rango de sectores industriales para la automatización de tareas que anteriormente se realizaba por la inspección visual humana. Este tipo de incremento de utilización a nivel industrial es debido a que se trata de una tecnología especialmente útil en labores de inspección o supervisión, siendo cuantitativamente más objetivos y consistentes que la inspección humana.

Las técnicas de visión artificial, especialmente su uso en la industria, son apropiadas para la realización de trabajos visuales altamente repetitivos que son fatigosos o difíciles de realizar para un operario, especialmente cuando este trabajo es ineficiente o costoso en términos económicos o temporales.

El sensor de visión FQ2 de OMRON permite realizar detecciones con mayor facilidad que los sensores de gama alta de la anterior generación, posee iluminación integrada y su

carcasa es todo en uno lo que permite el ahorro de espacio. La configuración se hace vía ethernet y la comunicación con el PLC se hace vía entradas físicas de 24 VDC. En la figura 9 se muestra el sensor de Visión.

Figura 9. Sensor de visión OMRON FQ2



Fuente: Manual OMRON

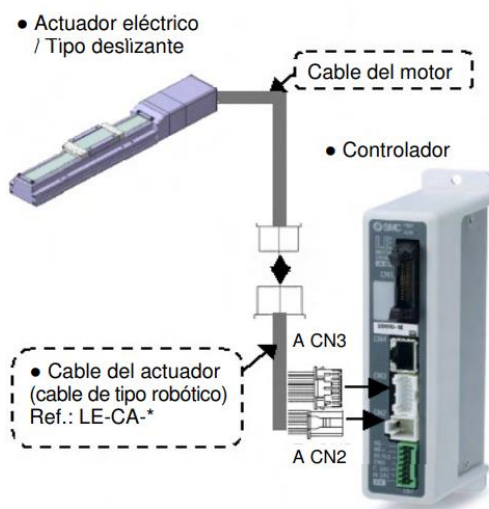
2.2.5 Motores a paso

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de 1.8°, es por eso que ese tipo de

motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador. En la figura 10 se muestra un motor a pasos y su controlador.

Figura 10. Motor a pasos y actuador.



Fuente: Manual SMC International

2.2.6 Servidor OPC

Un servidor OPC (OLE for Process Control) es una aplicación de software (driver) que cumple con una o más especificaciones definidas por la OPC Foundation. El Servidor OPC hace de interfaz comunicando por un lado con una o más fuentes de datos utilizando sus protocolos nativos (típicamente PLC, DCS, básculas, Módulos I/O y controladores) y por el otro lado con Clientes OPC (típicamente SCADA, HMI, generadores de informes, generadores de gráficos, aplicaciones de cálculos y otros).

En una arquitectura Cliente/Servidor, el Servidor OPC es el esclavo mientras que el Cliente OPC es el maestro, las comunicaciones entre el Cliente OPC y el Servidor OPC son bidireccionales, lo que significa que los clientes pueden leer y escribir en los dispositivos a través del servidor. Las partes principales de un sistema OPC se distinguen por su función, las cuales son las siguientes:

- **Comunicación Cliente/Servidor:** Es la infraestructura clásica de Microsoft Windows para intercambiar datos. Esto hace que sea necesario el uso de Microsoft Windows como sistema operativo en los dispositivos. Podemos intercambiar datos con varios clientes desde un mismo servidor.
- **Traducción de datos:** Se trata en casi la totalidad de los casos, de la función esencial de cualquier sistema. Lo que hará será traducir, de la fuente, datos nativos para volverlos compatibles con especificaciones OPC.
- **Comunicación entre fuentes de datos:** La comunicación se da de manera nativa con diferentes fuentes de datos como son controladores, dispositivos o aplicaciones.

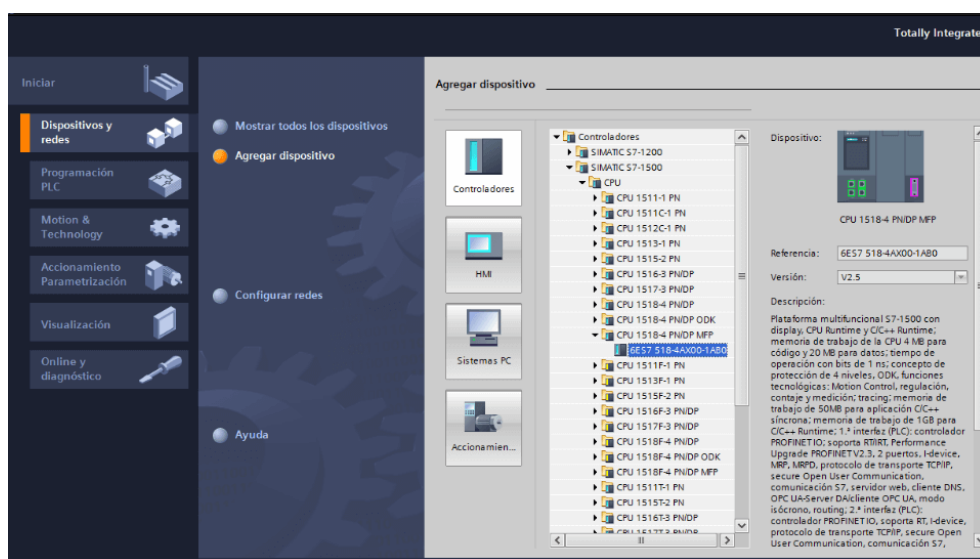
Debido a que el laboratorio de manufactura del INA está compuesto por equipos de diferentes fabricantes y que a su vez utilizan protocolos de comunicación distintos como lo son el PROFINET y el MODBUS TCP/IP, los cuales no son compatibles entre sí. Por esta razón es que para la implementación de este proyecto es necesario utilizar un servidor OPC para establecer la comunicación entre los diferentes dispositivos de campo y el sistema de SCADA.

2.2.7 TIA Portal Siemens

Esta herramienta es bastante sencilla e intuitiva, le permite al usuario un fácil manejo para configurar la lógica del controlador, la visualización HMI y la comunicación vía Ethernet. Para una mejor experiencia del usuario con este software, el TIA Portal tiene 2 vistas diferentes del proyecto y podrá trabajar en la que le parezca la más adecuada para el proyecto que desea desarrollar.

La primera es la vista del portal en donde se tienen distintos portales orientados a tareas y organizados según las funciones de las herramientas y la segunda es la vista del proyecto, una vista orientada a los elementos del proyecto; se puede cambiar de una vista a otra con un simple clic en el programa, lo que lo hace muy útil. La vista Principal del TIA Portal STEP 7 se muestra en la siguiente figura, en ella se observan los distintos portales y paneles que el usuario obtendrá al abrir el programa en la PC.

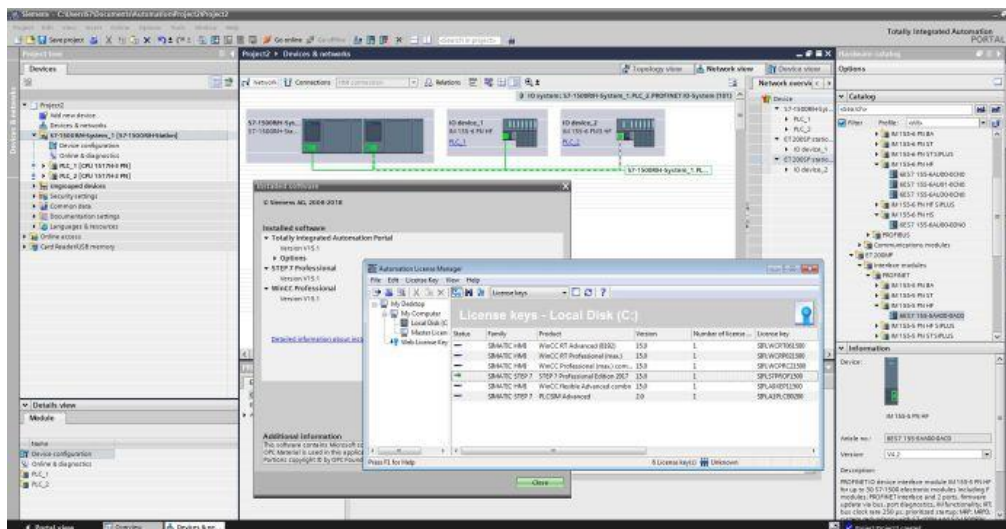
Figura 11. Vista principal del TIA Portal.



Fuente: Elaborado por el autor

A continuación, se muestra una imagen con la vista del proyecto, la cual suministra una visualización muy funcional de la organización de las herramientas según la tarea que se vaya a realizar, así como de las tareas del proyecto. Es sencillo determinar la tarea que se debe seleccionar y el procedimiento que debe usarse.

Figura 12. Vista del proyecto en TIA Portal.



Fuente: Elaborado por el autor.

En esta vista todos los componentes se encuentran en un mismo lugar, lo que hace fácil el acceso a todas las áreas del proyecto. Como, por ejemplo, la ventana de inspección que muestra las propiedades e información acerca del objeto seleccionado en el área de trabajo. Al seleccionar varios objetos la ventana de inspección muestra todas las propiedades que pueden configurarse, además incluye fichas que permiten ver información de diagnóstico y otros mensajes.

Para efectos de este proyecto se utilizará el software de configuración de Siemens TIA Portal debido a que corresponde a la marca del PLC con el que cuenta el laboratorio de manufactura.

2.2.8 LabVIEW

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico pensado para sistemas de hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido.

Los programas que se desarrollan con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales (VI) y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida, comunicaciones, matemáticas y módulos para la mayoría de aplicaciones industriales.

Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no sólo en ámbitos de Pruebas, Control y Diseño) y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo. LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de software y hardware, como tarjetas de adquisición de datos, visión artificial, instrumentos y también hardware de otros fabricantes.

Los programas en LabVIEW son llamados instrumentos virtuales (VI), para los amantes de lo complejo, con LabVIEW pueden crearse programas de miles de VI (equivalente a millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de

automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, proyectos para combinar nuevos VI con VI ya creados.

Como se ha dicho es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener ya prediseñados una gran cantidad de bloques, se le facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual, en vez de estar una gran cantidad de tiempo en programar un dispositivo o bloque, se le permite invertir mucho menos tiempo y dedicarse un poco más en la interfaz gráfica y la interacción con el usuario final. Cada VI consta de dos partes diferenciadas:

Panel Frontal: El Panel Frontal es la interfaz con el usuario, se utiliza para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real (como van fluyendo los datos, un ejemplo sería una calculadora, donde se ingresan las entradas y se pone el resultado en la salida). En esta interfaz se definen los controles los cuales se usan como entradas, pueden ser botones, marcadores u otros; e indicadores que se utilizan como salidas, pueden ser gráficas o pantallas tipo numérico.

Diagrama de Bloques: Es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan entre sí por "hilos" que transportan la información.

2.2.9 Microsoft Access

El término de bases de datos fue escuchado por primera vez en 1963, en un simposio celebrado en California, USA. Una base de datos se puede definir como un conjunto de información relacionada que se encuentra agrupada o estructurada.

Desde el punto de vista informático, la base de datos es un sistema formado por un conjunto de datos almacenados en discos que permiten el acceso directo a ellos y un conjunto de programas que manipulen ese conjunto de datos.

Cada base de datos se compone de una o más tablas que guardan un conjunto de datos, cada tabla tiene una o más columnas y filas. Las columnas guardan una parte de la información sobre cada elemento que se desea guardar en la tabla, cada fila de la tabla conforma un registro.

Se define una base de datos como una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información de una empresa o negocio en particular.

El científico informático Ted Codd desarrolló SQL a principios de la década de 1970 con un modelo relacional basado en IBM. Se volvió más común en 1974 y reemplazó rápidamente a lenguajes similares, por entonces obsoletos, ISAM y VISAM.

SQL (Structured Query Language) es un lenguaje estándar e interactivo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones en ellas, gracias a la utilización del álgebra y de cálculos relacionales, el SQL brinda la posibilidad de realizar consultas con el objetivo de recuperar información de las bases de

datos de manera sencilla. Las consultas toman la forma de un lenguaje de comandos que permite seleccionar, insertar, actualizar, averiguar la ubicación de los datos y más.

Uno de los requerimientos en la implementación del proyecto es que los datos que se generan durante el proceso de adquisición y control de los procesos sean almacenados en una base de datos, se hará uso del programa Microsoft Access ya que es el programa con el que se cuenta en el CENATE y que es permitido por la GTIC del INA.

2.2.10 Neumática

La neumática es la tecnología que emplea un gas, normalmente aire comprimido como elemento de transmisión de la energía, necesaria para mover y hacer funcionar diferentes mecanismos. Los procesos consisten en disponer de la presión de aire y a hacer que esta energía acumulada actúe sobre los elementos del circuito neumático, por ejemplo, los cilindros para que estos efectúen un trabajo útil. Como se mencionó anteriormente, por lo general el gas utilizado es el aire comprimido, pero para aplicaciones especiales puede usarse el nitrógeno u incluso otros gases inertes.

Los circuitos neumáticos básicos están formados por una serie de elementos que tienen la función de la generación de aire comprimido, su almacenamiento, distribución y control para efectuar un trabajo útil por medio de unos actuadores.

2.2.10.1 Actuadores

Un actuador transforma la energía del aire comprimido en trabajo. La señal de salida es controlada por el mando y el actuador reacciona a dicha señal por acción de los

elementos de maniobra. Los actuadores neumáticos pueden clasificarse en dos grupos según el movimiento, si es lineal o giratorio:

A. Movimiento rectilíneo.

- Cilindros de simple efecto.
- Cilindros de doble efecto.

B. Movimiento giratorio.

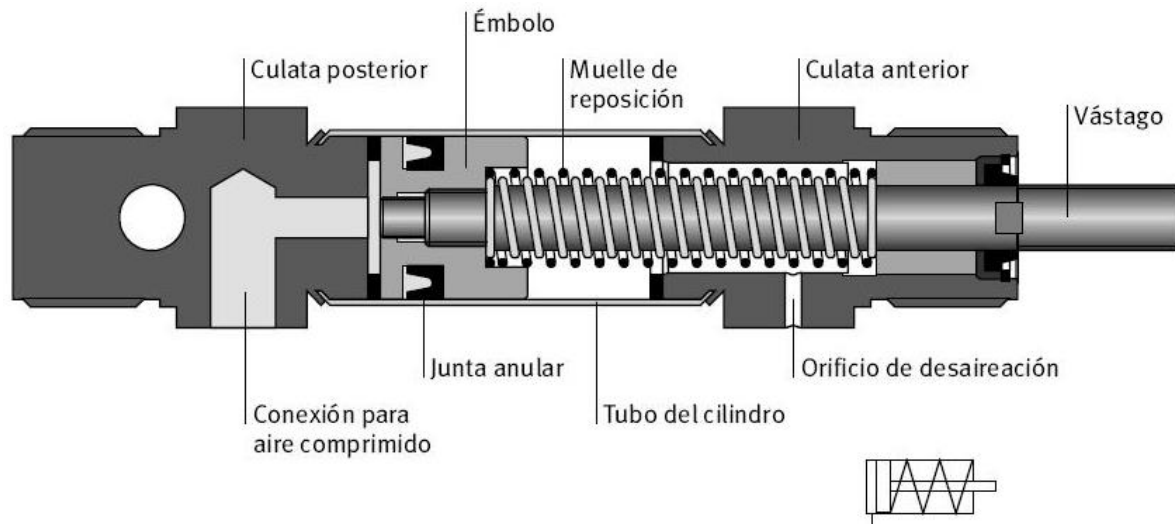
- Motor neumático.
- Actuador giratorio.
- Actuador oscilante.

2.2.10.1.1 Cilindro de simple efecto.

Los cilindros de simple efecto reciben aire a presión solo en un lado. Por lo tanto, solo pueden ejecutar el trabajo en un sentido. El retroceso está a cargo de un muelle incluido en el cilindro o se produce por efecto de una fuerza externa.

La fuerza del muelle hace retroceder el vástago del cilindro a suficiente velocidad, pero sin que el cilindro pueda soportar una carga. En la figura 13 se muestra la estructura interna de un cilindro de simple efecto.

Figura 13. Cilindro de efecto simple



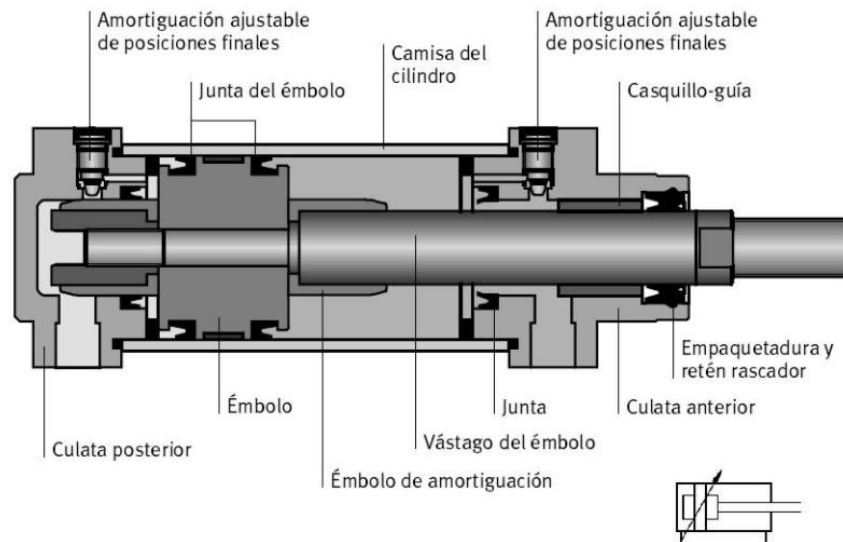
Fuente: Manual de estudio de FESTO DIDACTIC

2.2.10.1.2 Cilindro de doble efecto.

Los cilindros de doble efecto poseen dos conexiones que son utilizadas correspondientemente para la alimentación y la evacuación del aire a presión, ofrecen la ventaja de poder ejecutar trabajos en ambos sentidos. Se trata, por lo tanto, de cilindros sumamente versátiles.

La fuerza ejercida sobre el vástago es algo mayor en el movimiento de avance que en el de retroceso, esto debido a que la superficie en el lado del émbolo es más grande que en el lado del vástago.

Figura 14. Cilindro de doble efecto.

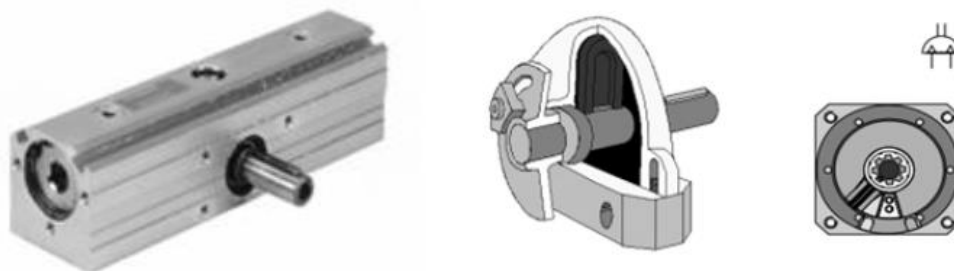


Fuente: Manual de estudio de FESTO DIDACTIC

2.2.10.1.3 Actuador oscilante.

En el actuador oscilante la fuerza es transmitida a través de una aleta de giro directamente sobre el eje motriz. El ángulo puede ajustarse sin escalonamiento de 0° hasta 180° . El par de giro no debe sobrepasar los 10 Nm.

Figura 15. Tipos de Actuador oscilante



Fuente: Manual de estudio de FESTO DIDACTIC

2.2.10.2 Válvulas de vías

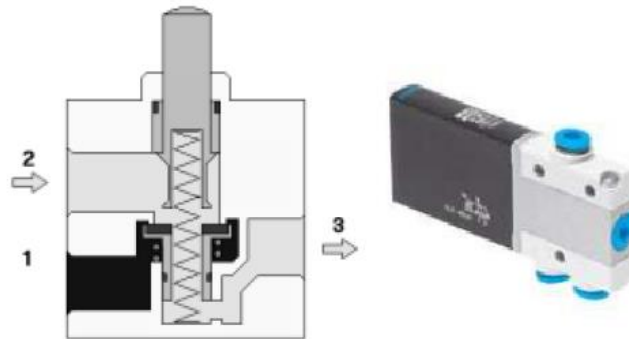
Las válvulas de vías son dispositivos que influyen en el paso, el bloqueo y la dirección del flujo del aire, el símbolo de las válvulas informa sobre la cantidad de conexiones, la posición de conmutación y sobre el tipo de accionamiento. Sin embargo, los símbolos nada indican sobre la composición de las válvulas, limitándose a mostrar su función.

2.2.10.2.1 Válvulas de 3/2 vías.

Las válvulas de 3/2 vías permiten activar o desactivar señales. Las válvulas de 3/2 vías tienen tres conexiones y dos posiciones. La tercera conexión 3(R) permite la evacuación del aire del conducto transmisor de la señal. Un muelle presiona una bola contra un asiento de válvula, y el paso de la conexión que recibe presión 1(P) hacia el conducto de trabajo 2(A) queda bloqueado. La conexión 2(A) es evacuada a lo largo del vástago que abre el paso hacia la conexión 3(R).

Si la válvula está en estado activado, están unidas las conexiones 1(P) y 2(A) y la válvula abre el paso. Estas válvulas son accionadas manual o mecánicamente. La fuerza necesaria para su accionamiento depende de la presión de alimentación y de la fricción en la válvula misma. Estas circunstancias significan una limitación de los posibles tamaños de este tipo de válvulas.

Figura 16. Válvula de 3/2 vías.

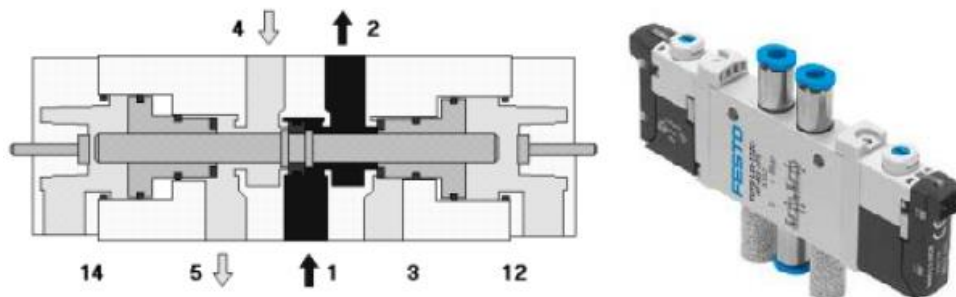


Fuente: Manual de estudio de FESTO DIDACTIC

2.2.10.2.2 Válvulas de 5/2 vías.

Las válvulas de 5/2 vías tienen cinco conexiones y dos posiciones. Estas válvulas son utilizadas principalmente como elementos de maniobra para el accionamiento de cilindros. En su calidad de elemento de mando, estas válvulas tienen un émbolo de mando que se encarga de unir o separar los conductos correspondientes efectuando el movimiento porque no es necesario superar la resistencia del aire comprimido o del muelle.

Figura 17. Válvula 5/2 vías

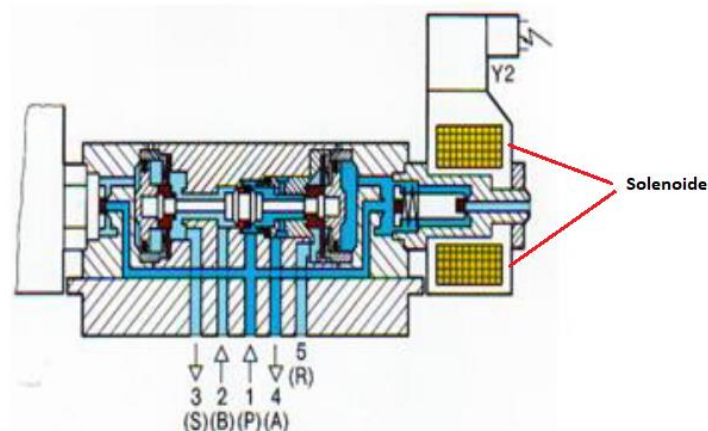


Fuente: Manual de estudio de FESTO DIDACTIC

2.2.10.3 Electroválvula

Las electroválvulas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que circula a través del solenoide es posible abrir o cerrar la válvula controlando, de esta forma, el flujo de fluidos. Al fluir corriente por el solenoide se genera un campo magnético que atrae el núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, en la mayoría de los casos, por efecto de un resorte.

Figura 18. Electroválvula.



Fuente: Manual de estudio de FESTO DIDACTIC

2.2.10.4 Ventosas Neumáticas.

El efecto Venturi consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de sección menor. En ciertas condiciones, cuando el aumento de velocidad es muy grande, se llegan a producir presiones negativas y entonces, si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido de este conducto, que se

mezclará con el que circula por el primer conducto. Este efecto, demostrado en 1797, recibe su nombre del físico italiano Giovanni Battista Venturi.

Basado en este efecto es que funcionan las ventosas industriales, en las cuales se puede controlar su efecto de sujeción por medio de válvulas mecánicas o eléctricas las que tienen la capacidad de controlar el flujo de aire en el tubo de Venturi.

Figura 19. Ventosa



Fuente: Catalogo SMC International

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Enfoque de la Investigación

Según Hernández Sampieri se puede deducir que:

El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos.

Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio (Hernández Sampieri, 2014, p. 7).

Basado en lo anterior se entiende que la investigación de este proyecto está basada en el enfoque cuantitativo, ya que se debe recopilar bastante información para ofrecer soluciones eficientes que se apeguen a la realidad del problema y de las necesidades de la empresa, para que la implementación del sistema de control y supervisión del laboratorio de manufactura permita ampliar los servicios de capacitación que ofrece el INA.

3.1.2 Finalidad de la Investigación

Existen múltiples clasificaciones para las investigaciones, aunque no existe ninguna clasificación rigurosa y que cada autor está en la libertad de clasificar su investigación según su propio criterio, se sugiere una propuesta de clasificación basada en formas y niveles (Muñoz, 2011). Haciendo una clasificación de acuerdo con el origen de la investigación, se tienen cinco tipos de tesis diferentes.

El primer tipo de tesis es de investigación básica. Muñoz (2011) afirma: “Su finalidad es tratar de analizar y explicar hechos, generar conocimiento para desarrollar nuevas teorías, reforzar, rechazar o modificar teorías ya existentes, y así incrementar los conocimientos científicos o filosóficos sin tratar de contrastarlos con algún aspecto práctico” (p.25). Su único propósito es desarrollar conocimiento científico, pero sin fines de lucro.

En la lista de clasificación según el origen, el segundo tipo de tesis es la investigación tecnológica.

Las tesis de investigación tecnológica aplican un conjunto de técnicas, conocimientos y procesos, que sirven para diseñar y construir objetos que ayudarán a satisfacer las necesidades o los deseos de la sociedad. Su propósito final es la mejora de la calidad de vida, la comodidad y el bienestar de la sociedad, por conducto de la innovación tecnológica, la ciencia aplicada y las disciplinas de ingeniería y las áreas similares. (Muñoz, 2011, p.26)

El tercer tipo de tesis es denominado investigación aplicada. En su libro Muñoz (2011) dice: “Se caracteriza por aplicar los conocimientos que surgen de la investigación pura para resolver problemas de carácter práctico, empírico y tecnológico para el avance y beneficio de los sectores productivos de bienes y servicios de la sociedad” (p.26).

La tesis de investigación educativa es el número cuatro de la lista. Muñoz (2011) la define como:

La investigación educativa es el conjunto de actividades profesionales que realiza un grupo colegiado de investigadores, docentes, pasantes, estudiantes y especialistas en diversas áreas y campos temáticos de una comunidad académica para estudiar objetos y fenómenos relacionados con el campo de la educación. (p.26)

Como número cinco y final de la clasificación de acuerdo con el origen de la investigación, se explica la tesis de investigación de caso práctico.

Las tesis identificadas como investigación de caso práctico serán los trabajos de investigación en los que el estudiante que la realiza, propone el estudio, análisis y desarrollo de una práctica o caso real, generalmente relacionado con su práctica profesional. Para ello, se apoya en los métodos, procedimientos e instrumentos formales de una metodología de investigación específica dentro de su disciplina, para plantear la problemática, recopilar y analizar la información, y presentar las conclusiones, corroboradas dentro de un ambiente real de trabajo, el de su tesis. Con ello, el autor de la tesis también intenta comprobar la aplicabilidad de sus estudios en un campo específico. (Muñoz, 2011, p.27)

Con base en las citas anteriores, se concluye que esta investigación tiene una finalidad de caso práctico, pues se presenta un caso real que surge de un problema de subutilización del laboratorio de manufactura integrada en el CENATE, además el autor de la investigación plantea formalmente la problemática y presentará las respectivas conclusiones dentro del ambiente real de trabajo.

3.1.3 Dimensión Temporal

En la investigación no experimental (el investigador no manipula las variables que desea estudiar) se puede clasificar según el número de momentos o puntos en el tiempo en el cual se recolectan los datos; por tanto los diseños no experimentales se clasifican como transeccionales o longitudinales (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

La investigación transeccional también es conocida como transversal. “Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado” (Hernández et al., 2014, p. 154). Es un momento único de una situación que se presentó y se hizo la toma de datos en ese momento específicamente.

En contraparte, la investigación longitudinal o evolutiva colecta información de las variables a investigar a través del paso del tiempo. Hernández et al. (2014) expone:

“Entonces disponemos de los diseños longitudinales, los cuales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. Tales puntos o periodos generalmente se especifican de antemano” (p.159).

Al hacer un análisis de ambas clasificaciones expuestas, se puede identificar que la dimensión de esta investigación es longitudinal, debido a que se obtuvieron datos de las variables del problema durante meses anteriores al inicio del proyecto y se continuará con la obtención de datos durante el tercer trimestre del 2020.

3.1.4 Marco de la Investigación

Al respecto, Kaufman (2004) dice que el nivel mega “es el resultado de todo lo que una organización usa, hace, produce y logra – productos y outputs- con respecto a los clientes externos y el mundo exterior. Vincula todos los elementos organizacionales” (p. 117). En este nivel se definen los resultados en términos del impacto social deseado, donde los resultados esperados derivan de una visión ideal de la sociedad con base en la cual se definen la misión de la organización y sus integrantes.

Asimismo, Kaufman (2004) describe que el nivel macro:

...combina el nivel micro de contribuciones (productos) para poder lograr resultados útiles fuera de la organización para los clientes externos. La unidad de análisis del nivel macro es el total de lo que una organización usa, hace y logra para sí misma, así como también para sus clientes externos. No incluye resultados y consecuencias externas (p.118).

Este nivel indica que los resultados son los ingresos y que el valor generado beneficia a la organización.

Finalmente, Kaufman (2004) determina que el nivel micro “engloba el interés por las contribuciones acumulativas de los (a) recursos organizacionales (inputs) más (b) los procedimientos y métodos (procesos) empleados en las actividades organizacionales que

logran (c) resultados inmediatos (productos)” (p.118). En este nivel, los resultados se miden en términos de los productos internos de la organización como lo son los productos.

El nivel de determinación para la investigación de este proyecto es de tipo micro y mega; es de tipo micro porque será implementado de primera instancia en el laboratorio de manufactura integrada del Centro Nacional Especializado en Electrónica y de tipo mega ya que se espera tener un impacto sobre la población y las empresas que se capacitan en el INA en las áreas de electrónica y automatización.

3.1.5 Naturaleza de la Investigación

Según sea la naturaleza de la investigación, (Hernández Sampieri et al., 2014), se clasifica en dos enfoques: cualitativos o cuantitativos, cada uno con sus propias características.

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis. (Hernández Sampieri et al., 2014, p.4)

Por otra parte, se afirma del enfoque cualitativo:

El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio. (Hernández Sampieri et al., 2014, p.7)

Según lo estipulado en las citas anteriores se puede determinar que la naturaleza de esta investigación es de tipo cuantitativo; ya que, a partir de la recolección de los datos y el análisis de la variedad de tecnologías que se deben implementar, se determina la secuencia de las etapas y el plan para probar cada variable, además al finalizar se hará un análisis de datos del funcionamiento del sistema.

3.1.6 Carácter de la Investigación

El carácter de la investigación puede ser: exploratorio, descriptivo, experimental, explicativo o correlacional.

Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan sólo hay guías no

investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas (Hernández Sampieri et al., 2014, p.90).

Como se expresa en esta cita, estudios exploratorios son aquellos en donde la rama de la investigación no está desarrollada y se encuentra poca información al respecto.

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas (Hernández Sampieri et al., 2014, p.92).

Estos estudios son de carácter más social, donde se pretende describir un grupo de individuos o comportamientos dentro del área investigada, pretende determinar características específicas de estos.

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández Sampieri et al., 2014, p.95).

Como lo menciona la cita anterior, este tipo de investigación busca dar explicación a una teoría o suposición de un tema a tratar.

Los estudios experimentales según Muñoz (2011):

Es reproducir un fenómeno dentro de un ambiente específico de pruebas e ir modificando diferentes elementos para observar qué sucede con el fenómeno. Desde luego, todo esto se realiza mediante un método formal de investigación con manipulación de variables experimentales en condiciones rigurosamente controladas para simular las posibles condiciones a las que se enfrentará el objeto de estudio (p.23).

El trabajo de investigación en el CENATE cumple con características de carácter experimental, ya que se debe estudiar, desarrollar e implementar un sistema de supervisión, control y monitoreo de datos en un laboratorio de manufactura integrada que contiene equipos electrónicos, mecánicos y neumáticos con los cuales se deben hacer pruebas y simulaciones para alcanzar resultados que puedan brindar solución a la problemática planteada.

3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información son aquellas de donde se obtiene y recopila la información encargada de fundamentar la investigación. Se hace una referencia a los diferentes elementos que permitan validar los resultados del proyecto, mediante la consulta y comparación de información de fuentes fiables y de calidad.

3.2.1 Fuentes Primarias

Según dicta Muñoz (2011):

Se vale de aquel material que se recaba directamente donde tienen su origen los datos. Es la información que se toma de la fuente primaria, es decir, del punto mismo donde se origina, ya sea que se trate de un hecho, un fenómeno o una circunstancia que se desea investigar. Dentro de esta categoría entran la experimentación, los autores inéditos, las encuestas, la descripción de eventos, las noticias periodísticas, la narración de hechos, los reportes de investigaciones, etcétera (p.226).

Basado en la declaración anterior, para la obtención de información de fuentes primarias para el desarrollo de este proyecto, se utilizan diferentes herramientas de recopilación de información, tales como el método de observación y entrevistas dirigidas a los docentes de la especialidad de Mecatrónica del Centro Nacional Especializado en Electrónica. Así como también se implementan distintas referencias bibliográficas que den sustento teórico a la investigación.

3.2.2 Fuentes Secundarias

Como menciona Muñoz (2011) una fuente secundaria:

...es aquella que toma sus contenidos de las fuentes primarias para su interpretación, complemento, corrección o refutación. La investigación que utiliza información de segunda mano tiene la ventaja de que está más documentada, pues toma varias fuentes para complementar y se apoya en la seriedad metodológica (p. 226).

Las fuentes secundarias se refieren a información obtenida de datos generados con anterioridad, de tal manera que esta es básicamente un análisis o comentario basado en una fuente primaria. Dentro de las fuentes secundarias se pueden encontrar las publicaciones de instituciones, los ensayos, las tesis, las antologías, las enciclopedias y manuales técnicos. Estas fuentes secundarias son válidas si se obtienen de fuentes confiables y la responsabilidad del autor de una investigación es evaluar la veracidad de la información.

3.2.3 Sujetos de Información

De acuerdo con Cid et al. (2011): “Cuando las fuentes de información son personas se les llama sujetos de investigación” (p.85).

Para la realización de esta investigación los sujetos de información son aquellas personas a quienes se contacta para la obtención de información de gran valor para la investigación, en este caso corresponden a los docentes y personal administrativo de la especialidad de mecatrónica del CENATE los cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Sujetos de información.

| Puesto Laboral | Profesión | Actividades relacionadas con el tema de investigación |
|-------------------------|--------------------------|---|
| Encargado del CENATE | Ingeniero en Mecánica | Encargado del proyecto |
| Instructor de Enseñanza | Ingeniero en Electrónica | Consultor general del proyecto. |

| Puesto Laboral | Profesión | Actividades relacionadas con el tema de investigación |
|-------------------------|--------------------------|--|
| Instructor de Enseñanza | Diplomado en Electrónica | Encargado del laboratorio de manufactura. Tramita los permisos para el ingreso al laboratorio. Consultor general del proyecto. |
| Encargado de T. I | Ingeniería Informática | Facilitar los accesos a las computadoras del laboratorio y tramitar permisos para la instalación de los softwares. |

Fuente: Elaborado por el autor.

3.3 TÉCNICAS Y HERRAMINETAS

La recolección de datos es el acopio de la información en ambientes naturales y cotidianos de los participantes o unidades de análisis; en un estudio de enfoque cualitativo el instrumento recolector de información es el propio investigador, el cual no solamente analiza la información, sino que también mediante el empleo de diversos métodos es el responsable de recolectar los datos para la investigación. Tales métodos de indagación cualitativa no son estandarizados. Se pueden implementar diferentes herramientas como observación, entrevistas, encuentros o encuestas (Hernández Sampieri et al., 2014)

“La aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente. A dicho soporte se le denomina instrumento” (Arias, 2012, p.68)

Para la adquirir información que sustente el desarrollo de esta investigación se utilizan múltiples instrumentos para la recolección de esta, tales como la aplicación de entrevistas; así como también se emplea el método de la observación del proceso a investigar. Estos métodos se describen a continuación.

3.3.1 Observación

“La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (Arias, 2012, p.69)

No consiste solamente en limitarse a ver un evento, sino que implica involucrarse en la situación de estudio y mantener un papel activo dentro de esta, así como una reflexión permanente, prestando atención a los detalles, sucesos y eventos. (Hernández Sampieri et al., 2014)

Al fundamentarse en la cita anterior, el uso de la observación para esta investigación es utilizado para determinar las características de los equipos a utilizar en el proyecto, así como obtener información sobre el proceso que desarrollan los docentes durante las

lecciones y los softwares disponibles; para así estructurar la idea del sistema de control y supervisión por desarrollar.

3.3.2 Entrevista

La entrevista es una técnica de recolección de información basada en un diálogo “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado; con la cual se logra obtener la información requerida de un tema determinado. Este instrumento se caracteriza por su profundidad, ya que con él se puede indagar de manera más amplia sobre los diferentes aspectos o detalles de la investigación (Arias, 2012).

En una entrevista de tipo semiestructurada, esta se basa en una guía o lista de preguntas donde el entrevistador posee la libertad de formular preguntas adicionales conforme se desarrolle la entrevista, para de esta forma precisar conceptos y obtener información adicional. (Hernández Sampieri et al., 2014)

La técnica de la entrevista semiestructurada para efectos de esta investigación se utiliza como complemento de la observación, ya que permite recabar detalles más profundos pues permite al entrevistado expresar la información que considera importante para la investigación, además es posible identificar la situación actual del proceso, así como los puntos relevantes que se desean mejorar, desarrollar o modificar.

3.3.3 Experimental

Es el estudio de un fenómeno sometido a condiciones especiales conforme a las necesidades del investigador. Durante la experimentación, el fenómeno bajo estudio es

susceptible de sufrir modificaciones en sus variables, con el propósito de estudiar sus conductas, comportamientos y características. (Muñoz, 2011, p.119)

3.4 VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Definición de variables.

Cuando se hace referencia a una variable se habla de una propiedad que tiende a sufrir cambios que pueden medirse u observarse. “Una variable es una característica o cualidad, magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control de una investigación” (Arias, 2012, p.57).

Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse. Ejemplos de variables son el género, la presión arterial, el atractivo físico, el aprendizaje de conceptos, la religión, la resistencia de un material, la masa, la personalidad autoritaria, la cultura fiscal y la exposición a una campaña de propaganda política. El concepto de variable se aplica a personas u otros seres vivos, objetos, hechos y fenómenos, los cuales adquieren diversos valores respecto de la variable referida. Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman parte de una hipótesis o una teoría. En este caso, se les suele denominar constructos o construcciones hipotéticas (Hernández Sampieri et al., 2014, p.105).

Con la intención de facilitar la relación de las variables de estudio con los objetivos específicos planteados para la elaboración del presente proyecto, se crea la Tabla 2.

Tabla 2. Variables de la investigación.

| Objetivo Especifico | Variable | Definición |
|---|--|---|
| Reconocer los diferentes equipos eléctricos, mecánicos, neumáticos, tecnología, marcas, protocolos de comunicación y software con los que cuenta el laboratorio de manufactura. | Diferentes tecnologías disponibles | Identificar los diferentes elementos y tecnologías que posee el laboratorio |
| Identificar la necesidad del Centro Nacional Especializado en Electrónica para el aprovechamiento óptimo del laboratorio de manufactura. | Necesidades de control | Elementos a considerar para el diseño del control |
| Definir las condiciones y requerimientos para el hardware de control y automatización de los diferentes elementos mecánicos, eléctricos y neumáticos que posee cada una de las estaciones de manufactura. | Necesidades de hardware | Identificar las fuentes de entrada y salida de señales, así como los diferentes tipos de mecanismos |
| Definir las condiciones y requerimientos de un software de supervisión, monitoreo y adquisición de datos en las diferentes estaciones de manufactura. | Necesidades de software | Identificar los lenguajes de programación y protocolos de comunicación |
| Diseñar un sistema de interface programable capaz de supervisar, monitorear, adquirir y almacenar los datos en tiempo real de cada una de las estaciones de manufactura. | Programación de la interfaz de control | Desarrollo de la interfaz de usuario y de control para el laboratorio. |
| Programar las rutinas de trabajo para los controladores lógicos programables para las diferentes estaciones de manufactura. | Programación de los PLC | Comprender y programar la secuencia de trabajo de cada estación de trabajo |

| Objetivo Especifico | Variable | Definición |
|--|-----------------------------|--|
| Programar las secuencias de comunicación con una arquitectura de cliente-servidor entre los controladores lógicos programables y el software de supervisión, monitoreo y adquisición de datos. | Programación del servidor | Identificar los protocolos de comunicación que tiene cada uno de los equipos electrónicos. |
| Evaluar la puesta en marcha del proceso de manufactura diseñado. | Funcionamiento del proyecto | Valoración del funcionamiento de los dispositivos implementados. |
| Realizar un análisis del costo beneficio de la implementación del sistema de manufactura para el Centro Nacional Especializado en Electrónica. | Viabilidad del proyecto | Balance de la factibilidad de la implementación del sistema. |

Fuente: Elaborado por el autor.

3.4.2 Diseño de investigación.

El diseño de la investigación es el plan que se desea ejecutar para poder responder la pregunta del problema planteado, basado en toda la información obtenida y documentada anteriormente mediante la definición de los objetivos, alcances, limitaciones y variables de la investigación. Para Niño (2011):

... el diseño se puede interpretar de una de las dos maneras: en un sentido amplio, y en un sentido específico. En el sentido amplio, diseño equivale a la concepción de un plan que cubra todo el proceso de investigación, en sus diversas etapas y actividades comprendidas, desde que se delimita el tema y se formula el problema hasta cuando se determinan las técnicas, instrumentos y criterios de análisis... (p.53)

Por tanto, para tener una visualización completa del diseño de la investigación se diseña la Tabla 3, la misma contiene la información relevante de cómo se desarrollará la estrategia, con el uso de métodos, técnicas y herramientas para alcanzar los objetivos previamente establecidos en el capítulo II de este trabajo escrito.

Tabla 3. Diseño de la investigación

| Pregunta de la investigación | Objetivo general | Objetivos específicos | Variables | Método de investigación | Técnicas y herramientas |
|--|--|---|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| ¿Cuál será la mejor manera de diseñar e implementar un sistema de control automático para la supervisión y control de las estaciones de trabajo, que permita la adquisición y almacenamiento de los datos que se generan durante el proceso en el laboratorio de manufactura integrado en el Centro Nacional especializado en electrónica durante el segundo semestre del 2020? | Implementar un programa de supervisión, control, adquisición y almacenamiento de datos para un sistema de manufactura integrado en el Instituto Nacional de Aprendizaje para el segundo semestre del 2020. | Reconocer los diferentes equipos eléctricos, mecánicos, neumáticos, tecnología, marcas, protocolos de comunicación y software con los que cuenta el laboratorio de manufactura. | Diferentes tecnologías disponibles | Método descriptivo | Observación Entrevista |
| | | Identificar la necesidad del Centro Nacional Especializado en Electrónica para el aprovechamiento óptimo del laboratorio de manufactura. | Necesidades de control | Método descriptivo | Observación Entrevista |
| | | Definir las condiciones y requerimientos para el hardware de control y automatización de los diferentes elementos mecánicos, eléctricos y neumáticos que posee cada una de las estaciones de manufactura. | Necesidades de hardware | Método Experimental | Diseño experimental |

| Pregunta de la investigación | Objetivo general | Objetivos específicos | Variables | Método de investigación | Técnicas y herramientas |
|------------------------------|------------------|---|--|-------------------------|-------------------------|
| | | Definir las condiciones y requerimientos de un software de supervisión, monitoreo y adquisición de datos en las diferentes estaciones de manufactura. | Necesidades de software | Método Experimental | Diseño experimental |
| | | Diseñar un sistema de interface programable capaz de supervisar, monitorear, adquirir y almacenar los datos en tiempo real de cada una de las estaciones de manufactura | Programación de la interfaz de control | Método Experimental | Diseño experimental |
| | | Programar las rutinas de trabajo para los controladores lógicos programables para las diferentes estaciones de manufactura. | Programación de los PLC | Método Experimental | Diseño experimental |

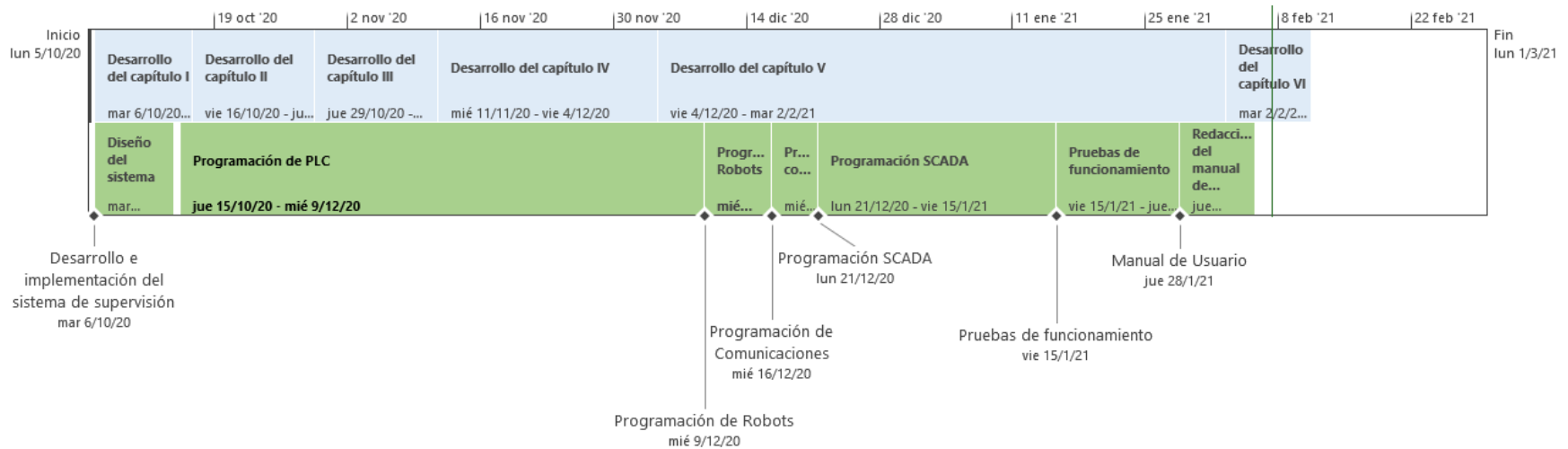
| Pregunta de la investigación | Objetivo general | Objetivos específicos | VARIABLES | Método de investigación | Técnicas y herramientas |
|------------------------------|------------------|--|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | Programar las secuencias de comunicación con una arquitectura de cliente-servidor entre los controladores lógicos programables y el software de supervisión, monitoreo y adquisición de datos. | Programación del servidor | Método Experimental | Diseño experimental |
| | | Realizar un análisis del costo beneficio de la implementación del sistema de manufactura para el Centro Nacional Especializado en Electrónica | Funcionamiento del proyecto | Método Experimental | Diseño experimental |
| | | Realizar un análisis del costo beneficio de la implementación del sistema de manufactura para el Centro Nacional Especializado en Electrónica | Viabilidad del proyecto | Método Experimental | Diseño experimental |

Fuente: Elaborado por el autor.

3.5 IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, en la figura 20 que detalla una línea de tiempo que establece las principales etapas y desarrollos del proyecto, así como las etapas más significativas y su ubicación en el tiempo. El archivo completo se encuentra en la sección de anexos (Anexo 01. Cronograma del proyecto)

Figura 20. Cronograma del proyecto



Fuente: Elaborado por el autor.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad en el Centro Nacional Especializado en Electrónica se imparte la carrera de técnico en electrónica industrial y de forma permanente hay seis grupos que están cursando los diferentes módulos que componen esta especialidad, sin embargo, los contenidos como robótica, manufactura, automatización industrial y programación de PLC se encuentran al final de la carrera por lo que el laboratorio no está en uso durante varios meses al año.

La poca utilización del laboratorio genera altos costos de mantenimiento ya que se presentan problemas de óxido, lubricación y tiempos de mantenimiento preventivo que deben realizar los docentes antes de iniciar cualquier curso debido a que se desconoce el estado del laboratorio después de largos periodos sin estar en funcionamiento.

El laboratorio también se adquirió para solventar las necesidades en cursos de la especialidad de telecomunicaciones en temas como bases de datos y Big data mediante la adquisición de datos durante el proceso de manufactura del laboratorio, sin embargo, esto no ha sido posible ya que no cuentan con un sistema automatizado que pueda realizar dicho proceso.

El laboratorio consiste en una célula flexible de manufactura, mediante la cual se lleva a cabo uno de los dos siguientes procesos: El montaje de las diferentes piezas que componen un mecanismo de giro con marcado de la base o la elaboración de tarjetas de circuito impreso con mecanizado y marcado de la tarjeta.

Para ello, el sistema completo está constituido por una serie de 10 estaciones diferentes, realizándose en cada una de ellas un proceso de inserción de un determinado componente o uno de los procesos de mecanizado, manipulación o control de calidad que integran el sistema, en la figura 21 se muestra una imagen de las estaciones de trabajo.

Figura 21. Sistema de manufactura



Fuente: SMC International. Manual de operación. Página. 5

Para la realización de los procesos se utilizan las siguientes estaciones de trabajo, cada una de las cuales, realiza una tarea en particular dentro del sistema:

- FMS 201: Alimentación de la base. (Estación maestra o coordinadora del sistema).
- FMS 202: Inserción del rodamiento.

- FMS 204: Inserción del eje.
- FMS 205: Inserción de la tapa.
- FMS 207: Ensamble-desensamble robotizado.
- FMS 214: Alimentación de tarjetas de circuito impreso.
- FMS 215: Estación de fresado de circuitos impresos.
- FMS 216: Estación de grabado por láser.
- FMS 211: Control de calidad por visión artificial.
- FMS 208: Almacén automático.

Adicional a la situación antes mencionada sobre los periodos de uso del laboratorio se suma el inconveniente de que solamente tres docentes están capacitados para el uso de algunos de los sistemas con los que cuenta el laboratorio y no cuentan con tiempo en sus cronogramas de trabajo que les permita investigar sobre el tema.

Actualmente para lograr que la célula de manufactura pueda ensamblar un producto es necesario realizar una serie de pasos para encender y calibrar las estaciones de trabajo para que puedan realizar un ensamble, dentro de esta secuencia de pasos se debe presionar una serie de botones para inicializar cada una de las 10 estaciones, posteriormente se debe insertar un código de receta en el panel frontal cada vez que recibe un palet para indicar que producto debe ser ensamblado y este proceso se debe realizar en cada una de las estaciones y por cada uno de los productos que se desee ensamblar, de este modo se creó la figura 22 donde se muestra la secuencia de trabajo.

Como se indicó en el diagrama anterior, en cada estación se debe ingresar una secuencia para seleccionar el producto que se desea ensamblar, esto provoca que el tiempo que debe invertir el usuario sea muy largo y a la misma vez debe conocer los códigos en cada estación. Esta secuencia se puede ingresar por medio de una serie de pulsadores e interruptores que se encuentran en el panel frontal de cada estación de trabajo como se muestra en la figura 23.

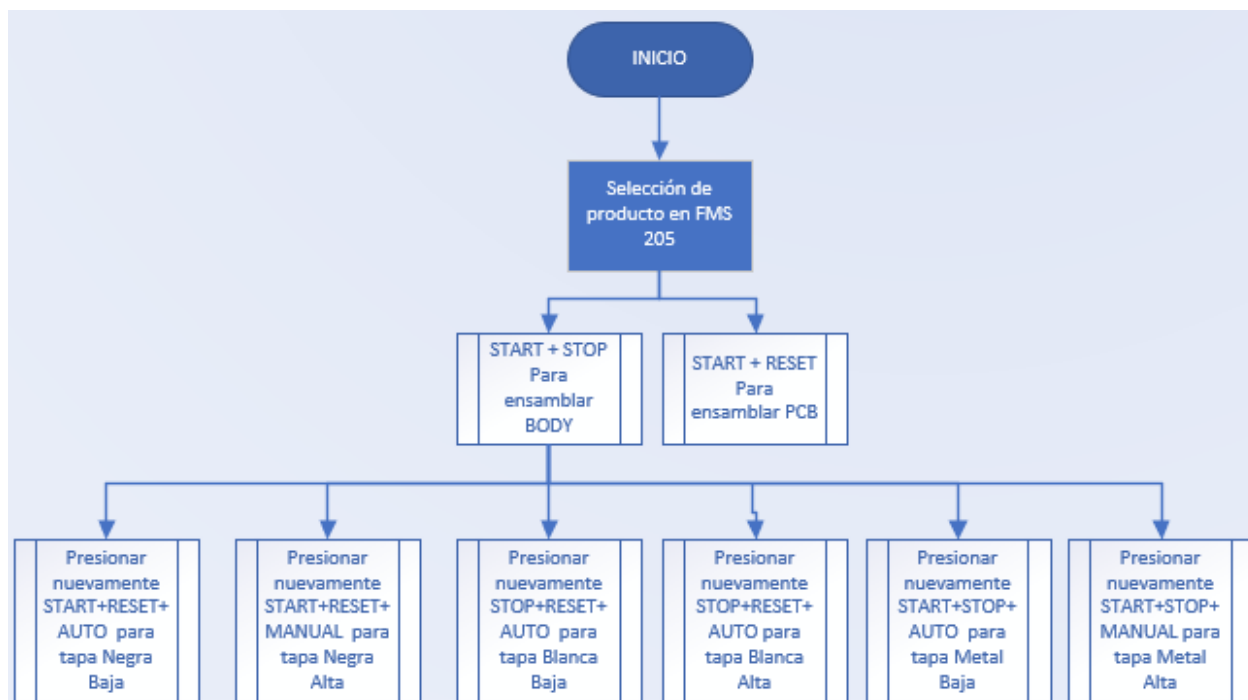
Figura 23. Panel frontal de las estaciones de trabajo



Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 24 se muestra la secuencia para la selección del producto en la estación FMS 205, donde se puede observar que para seleccionar un producto en específico es necesario que el usuario pueda diferenciar entre 8 códigos.

Figura 24. Secuencia de selección de producto en estación FMS 205.



Fuente: Elaborado por el autor

4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Debido a que el enfoque del proyecto está dado hacia un problema específico en un laboratorio orientado a la capacitación técnica de personas, se optó por utilizar dos herramientas distintas para la recolección de información sobre la situación en estudio, una de estas es el método de la observación, en donde se realiza una inspección general del proceso actual para que sea analizado y se puedan conocer sus características y requerimientos; así como también se hará una entrevista al director del centro educativo, al encargado de los sistemas de cómputo y a los docentes que imparten clases en el laboratorio los cuales con su experiencia y conocimiento permitirán conocer el problema más a fondo.

4.2.1 Instrumento para la recolección de datos.

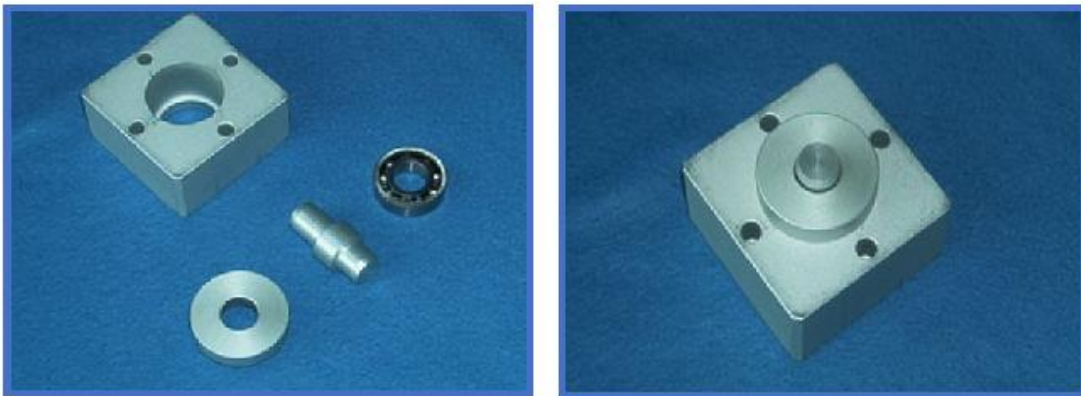
4.2.1.1 Observación

Para el proceso de observación que se realizó en el laboratorio de manufactura del Centro Nacional Especializado en Electrónica, se desarrolló un documento que se encuentra en el Anexo 02 de este trabajo escrito (Instrumento de observación).

En este documento se contemplan aspectos de suma importancia para el desarrollo del proyecto, como lo es el tipo de proceso o el producto que se elabora dentro de la célula; en este apartado se recolecto información referente al tipo de pieza que se incorpora al material de ensamble.

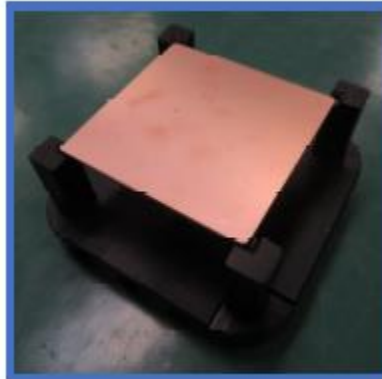
Con este apartado se logra determinar que existen dos tipos de productos principales que se pueden ensamblar dentro de la célula, ya sean un BODY (Base de aluminio) con tres piezas internas (ver figura 25) o una placa para circuito impreso *PCB* (Printed Circuit Board) como se observa en la figura 26.

Figura 25. Base con piezas internas



Fuente. Manual SMC International

Figura 26. Placa PCB



Fuente. Manual SMC International

En el caso del BODY con piezas internas, se pueden crear variantes del producto final, ya que cada una de las piezas utilizadas tiene variantes en cuanto a tamaño o tipo de material como se puede observar en la figura 27, lo que permite la creación de productos con especificaciones diferentes.

Figura 27. Tipos de piezas internas



Fuente. Manual SMC International

Otro de los aspectos importantes durante la observación es que permite determinar los tipos de tecnologías con las que cuenta cada una de las estaciones de trabajo, donde cabe rescatar que todas las estaciones utilizan PLC Siemens S7-300, además se detecta la presencia de unos módulos de entradas y salidas remotos de la marca Weidmüller que

se comunican vía ethernet con los PLC. Estos módulos remotos se encargan de funciones como el control de las bandas transportadoras y los sensores de detención de las paletas de transporte del producto. En la figura 28 se pueden observar estos dispositivos.

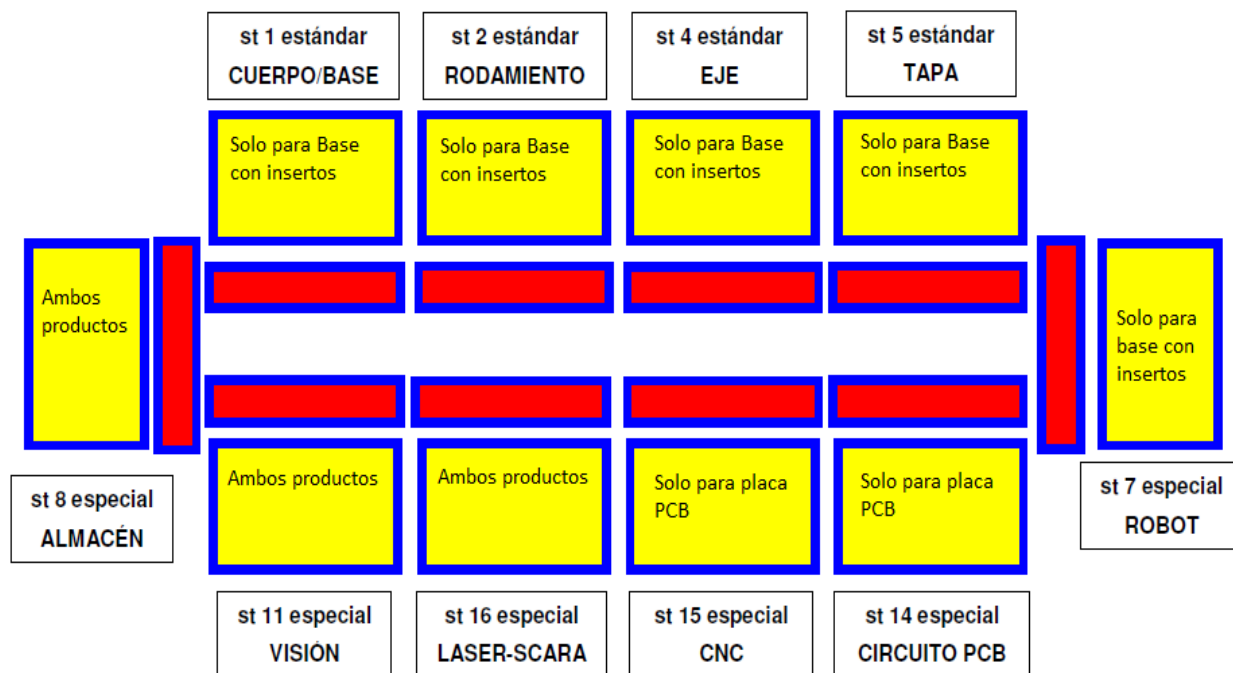
Figura 28. Dispositivo remoto de entradas y salidas.



Fuente: Catálogo de productos Weidmüller

De igual manera se realizaron observaciones respecto a la función que realiza cada una de las estaciones de trabajo dentro de la célula, ya que se encontraron estaciones que realizan tareas comunes para los dos tipos de productos principales que se pueden ensamblar como se indicó anteriormente y existen estaciones de trabajo que cumplen tareas específicas para solo uno de los productos como se puede observar en la figura 29.

Figura 29. Distribución de las estaciones según producto



Fuente: Elaborado por el autor.

Utilizando como guía la figura 29 que muestra la distribución de las estaciones, se puede hacer énfasis en las estaciones 7, 8 y 15, en las cuales se observó que poseen robots de diferentes tipos. En la estación 7 se encuentra un robot tipo Antropomórfico de seis ejes, en la estación 8 se encuentra un robot cartesiano de tres ejes y en la estación 15 existe un robot tipo SCARA; Cabe mencionar que en esta estación también se observó la presencia de un láser industrial que tiene como función el marcado del logotipo del producto.

4.2.1.2 Entrevista.

Para fortalecer los datos obtenidos mediante la observación del sistema de manufactura, se hace una entrevista semiestructurada a las personas que se encuentran involucradas

en la administración o utilización del laboratorio, el documento elaborado para tal fin se encuentra en el anexo 03 de este trabajo escrito (Entrevista). De dicha entrevista se extrae la información más relevante y se muestra a continuación:

En el laboratorio de manufactura integrada es necesario implementar un sistema de control que le permita a los docentes realizar demostraciones del funcionamiento de una célula de producción, en el cual un docente de la especialidad de Telecomunicaciones o de Industrial que no tenga conocimientos en electrónica pueda encenderlo y utilizarlo para sus clases.

Para impartir los cursos de Big data y bases de datos se necesita de un sistema que pueda generar datos de forma continua, en tiempo real y sin la necesidad de tener varias personas operando el sistema, además debe tener la capacidad de ensamblar varios productos diferentes.

El CENATE cuenta únicamente con los programas que fueron adquiridos en el proceso de compra del laboratorio de manufactura o que poseen por compras de otros equipos, esto implica que se debe trabajar con los programas existentes ya que no hay posibilidad de que puedan comprar, adicional a esto, si se desea utilizar software libre este debe ser de una lista de programas aprobados por la GTIC para garantizar la seguridad de los sistemas de cómputo y redes de la institución.

Debido a que todos los equipos mecánicos y eléctricos se encuentran aún en garantía, está prohibido realizar cambios a nivel mecánico o eléctrico en cualquiera de las estaciones de trabajo, esto implica que el proyecto se debe centrar solo en la parte de software.

El docente encargado del laboratorio mantiene en su custodia los planos eléctricos y demás información acerca de las estaciones de trabajo que fueron proporcionados por el fabricante, esta información estará disponible durante la ejecución del proyecto, sin embargo, por derechos de autor solo se permite la reproducción parcial del material con fines educativos.

El laboratorio cuenta con una red ethernet en configuración de estrella, lo cual permite la comunicación entre todos los dispositivos a través de un Conmutador de red administrable, sin embargo, no se pueden realizar cambios en la red o en la programación de los dispositivos que la componen ya que estos son administrados por personal del departamento de redes y por reglamento interno del INA está prohibido su manipulación ya que no se pueden revelar claves o configuraciones de seguridad.

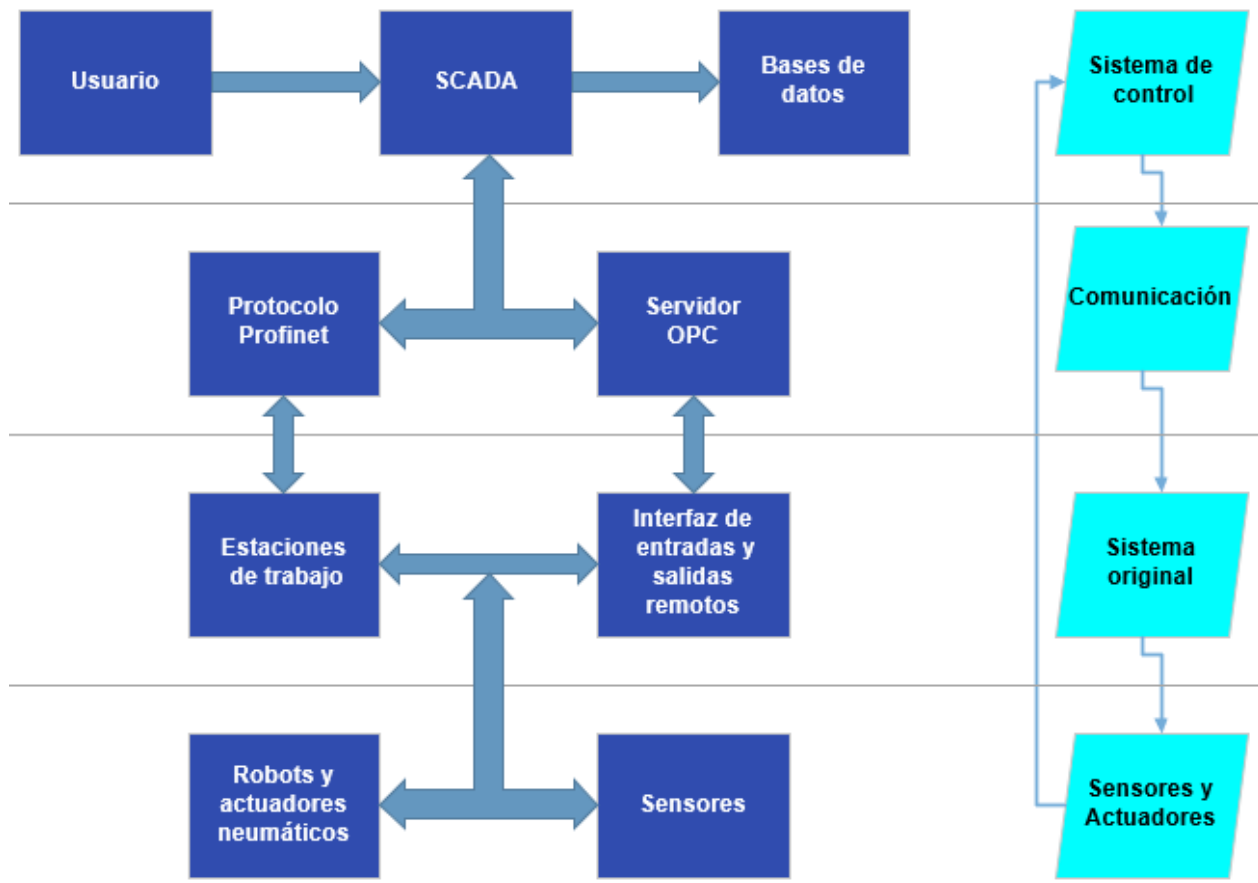
Por normas institucionales no se puede tener acceso a la red del laboratorio vía internet, ya que esto compromete la seguridad de las redes y los datos del INA. La única forma de tener un acceso remoto a la red del laboratorio es por medio de una Red Privada Virtual (VPN), pero eso requiere de la contratación del servicio a un proveedor.

4.3 PROPUESTA DEL PROYECTO

En la figura 30 se muestra un diagrama de bloques en el cual se puede apreciar las distintas etapas y elementos necesarios en el desarrollo del sistema propuesto para la supervisión, control, adquisición y almacenamiento de datos para un sistema de manufactura integrado, según las deficiencias identificadas en el análisis de las características de los equipos y en el análisis de los datos proporcionados por el personal docente y administrativo del Centro Nacional Especializado en Electrónica. El diagrama

se puede encontrar en la sección de anexos (Anexo 04. Diagrama de flujo de la propuesta de diseño).

Figura 30. Diagrama de flujo de la propuesta de diseño.



Fuente: Elaborado por el autor.

Con base en el diagrama anterior se puede definir que el proceso inicia con las ordenes que el usuario ingresa a la interfaz humano-maquina (HMI), esta interfaz tiene la capacidad de comunicarse con las estaciones de trabajo y con el SCADA. Una vez que las ordenes son ingresadas por el usuario, el sistema de control se comunica con las

estaciones de trabajo a través del servidor OPC para que cada una de ellas empiece el proceso de verificación de su estado y la célula pueda ensamblar el producto solicitado.

Las estaciones de trabajo se comunican entre ellas a través del protocolo de comunicación PROFINET y al mismo tiempo envían y reciben datos de la interfaz de entrada y salida remotos, que se encargan de controlar las bandas transportadoras y el sistema de sensores que detectan el código de identificación de los Palets que transportan el producto.

Varios de los actuadores son controlados directamente por la estación de trabajo por medio de las salidas del PLC, sin embargo, en algunas de las estaciones que poseen robots el control no se realiza de forma directa desde el PLC, ya que los robots necesitan de código escrito para su funcionamiento.

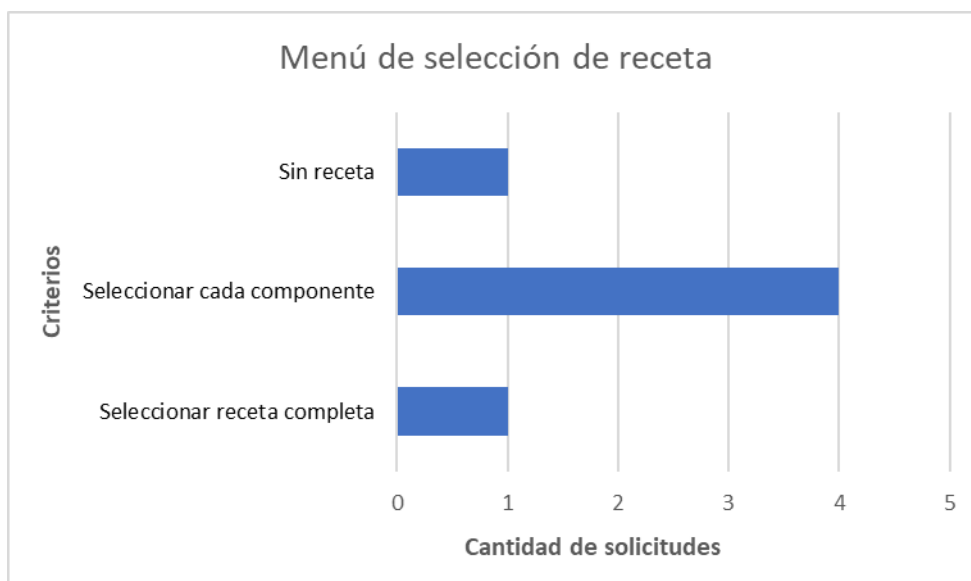
El sistema SCADA recibe los datos desde las estaciones de trabajo o directamente desde los dispositivos de entrada y salida remotos, y es el único que se puede comunicar con la base de datos para almacenar o extraer información referente al proceso.

Para plantear una solución a la necesidad del CENATE se consultó el criterio de los docentes acerca de los requisitos que debe contemplar el proyecto. De esta forma se lograron concretar algunos puntos importantes del proyecto que se muestran a continuación:

1. Se evidencio por parte de los docentes que la interfaz HMI debe tener una ventana de control en la cual los usuarios puedan tener un menú donde se permita seleccionar el tipo y cantidad de producto a ensamblar.

En el siguiente gráfico se muestran las opciones planteadas por los docentes en relación al tipo de menú que requieren para la selección del producto que se necesita producir.

Figura 31. Menú de selección de receta



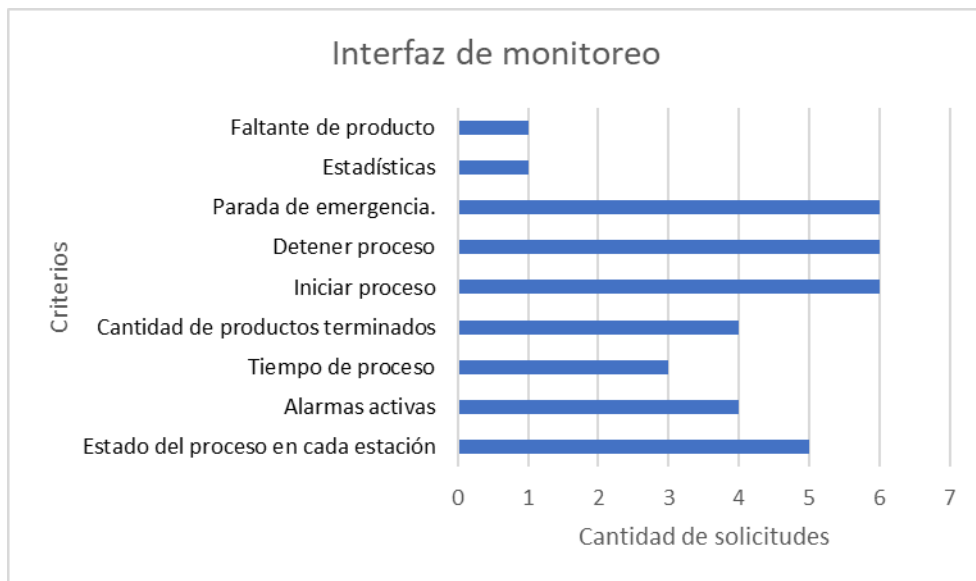
Fuente: Elaborado por el autor.

Para la elaboración del siguiente gráfico se realizó la consulta a seis docentes del CENATE, correspondientes a las especialidades de electrónica industrial y telecomunicaciones. En concordancia con lo solicitado por la mayoría de los docentes, en la solución se debe agregar un menú que permita seleccionar cada componente de la receta por separado. Esta selección se debe realizar por medio de un control que permita visualizar la imagen del componente y su nombre, con el fin de evitar posibles errores en la receta. Para mayor detalle ver Apéndice 1A.

2. Otro de los requerimientos solicitados por los docentes es la inclusión de una ventana que permita el monitoreo de los principales procesos que se están realizando por medio de la célula de manufactura.

En la figura 32, se observan los criterios que fueron solicitados por los docentes, de igual forma que en el gráfico anterior se incluyen la cantidad de solicitudes por cada uno de los criterios mencionados.

Figura 32. Interfaz de monitoreo

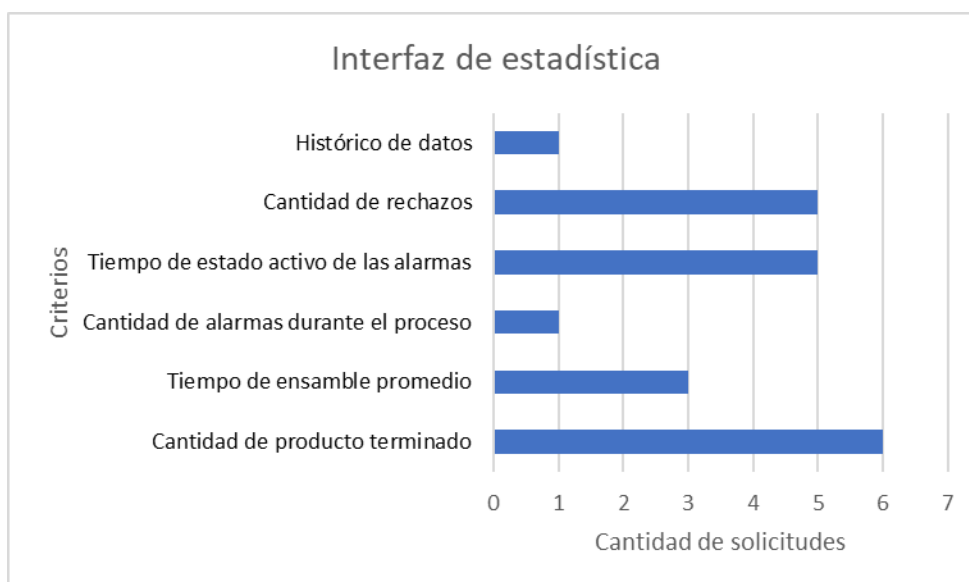


Fuente: Elaborado por el autor.

Para el caso de la interfaz de monitoreo se deben incluir todos los criterios que hayan sido solicitados por más de tres docentes, esto excluye la solicitud de monitorear el faltante de producto y las estadísticas del proceso, sin embargo, estos aspectos fueron retomados en la sección de la interfaz de estadística.

3. Se realizó la solicitud por parte de los docentes de la inclusión de una sección en la cual se puedan visualizar algunos datos estadísticos que el proceso pueda generar. En la figura 33 se muestran los criterios solicitados por los docentes para esta ventana de visualización.

Figura 33. Interfaz de estadística



Fuente: Elaborado por el autor.

Por medio del criterio de los docentes se incluirá en una sección que permita visualizar datos estadísticos del proceso de manufactura, como la cantidad de piezas que son rechazadas por estar invertidas, no ser del producto que se desea ensamblar o no cumplir con las características de calidad. Además, se incluirá el tiempo de estado activo de las alarmas, la cantidad de producto que se ha finalizado y el tiempo de ensamble promedio.

4. Otro de los requerimientos solicitados es la inclusión de ventanas que permitan visualizar el estado específico de cada una de las 10 estaciones de trabajo, donde

se muestren el estado de la estación, las alarmas activas y la cantidad de producto procesado.

5. Respecto a la base datos, los docentes unificaron sus criterios y conformaron una lista de los indicadores que se deben almacenar de forma permanente, la lista se muestra a continuación:

- Cantidad de producto finalizado.
- Cantidad de producto rechazado.
- Cantidad total de producto ensamblado por día.
- Tiempo de ensamble por estación de trabajo.
- Tiempo total del pedido.
- Tiempo de estado activo de las alarmas.
- Fecha y hora de todas las alarmas.

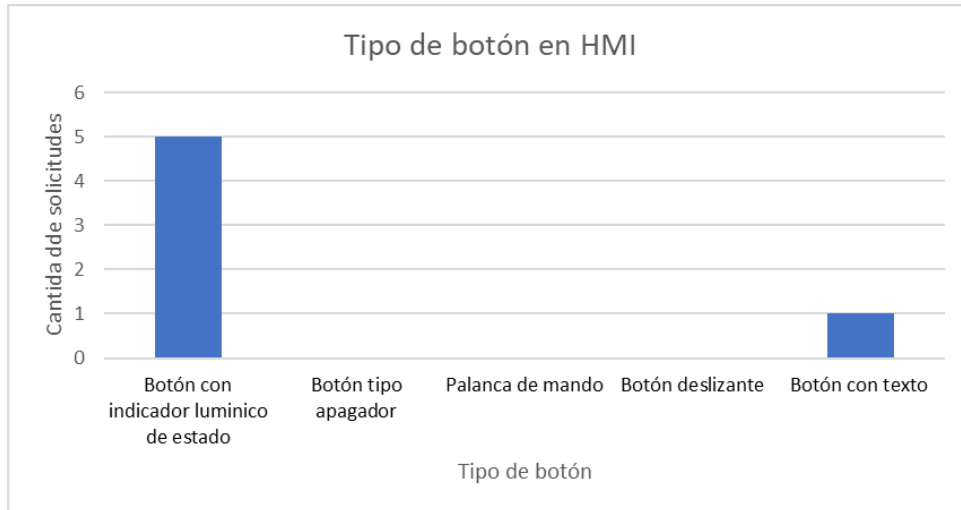
6. En el caso de las alarmas los docentes también realizaron una lista de los procesos o errores que pueden generar una alarma en la interfaz de usuario. A continuación, se muestran los criterios expuestos:

- Faltante de materia prima.
- Activación de paro de emergencia.
- Producto Atascado.
- Perdida de vacío.
- Apertura de la puerta del láser.
- Apertura de la puerta del robot antropomórfico.
- Apertura de la puerta del robot SCARA.
- Reinicio manual de una alarma.

- Arranque manual en una estación de trabajo.
7. Respecto a la cantidad de recetas que se pueden crear para ensamblar productos diferentes, los docentes establecieron que se podrá seleccionar entre 25 productos diferentes, creados a partir de la selección de 24 recetas para el producto construido a partir de un cuerpo de aluminio, selección entre dos tipos de rodamiento, selección entre dos tipos de inserto y seis tipos diferentes de tapas. Además, se determinó que la receta número 25 será para el producto que ensambla una Placa de Circuito Impreso (Printed circuit Board, PCB). Para un mayor detalle ver el Apéndice 2A.

 8. En cuanto a los tipos de controles gráficos se presentó a los docentes las opciones que se encuentran disponibles en el entorno gráfico de LabVIEW, para que determinen los tipos de botones que según su criterio se adaptan mejor a la necesidad de la interfaz HMI. En la figura 34 se muestran los resultados de la consulta realizada a los docentes sobre el tema. Para un mayor detalle ver el Apéndice 3A.

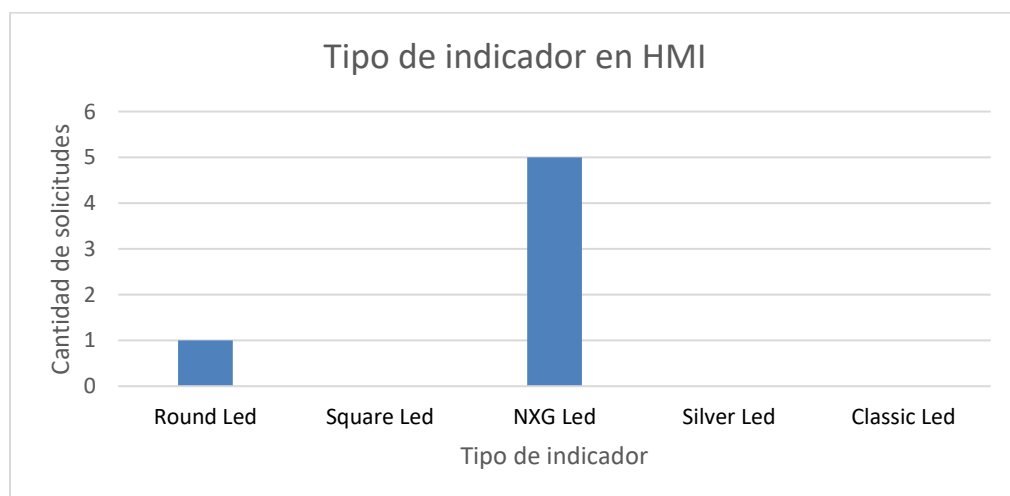
Figura 34. Selección del tipo de botón del HMI



Fuente: Elaborado por el autor.

9. En el caso de los indicadores que se deben utilizar para mostrar el estado de las estaciones de trabajo, alarmas activas y otros elementos que requieran de una indicación visual, se le presento a los docentes las opciones con las que cuenta el software, según lo muestra la figura 35. Para mayor detalle ver Apéndice 4A.

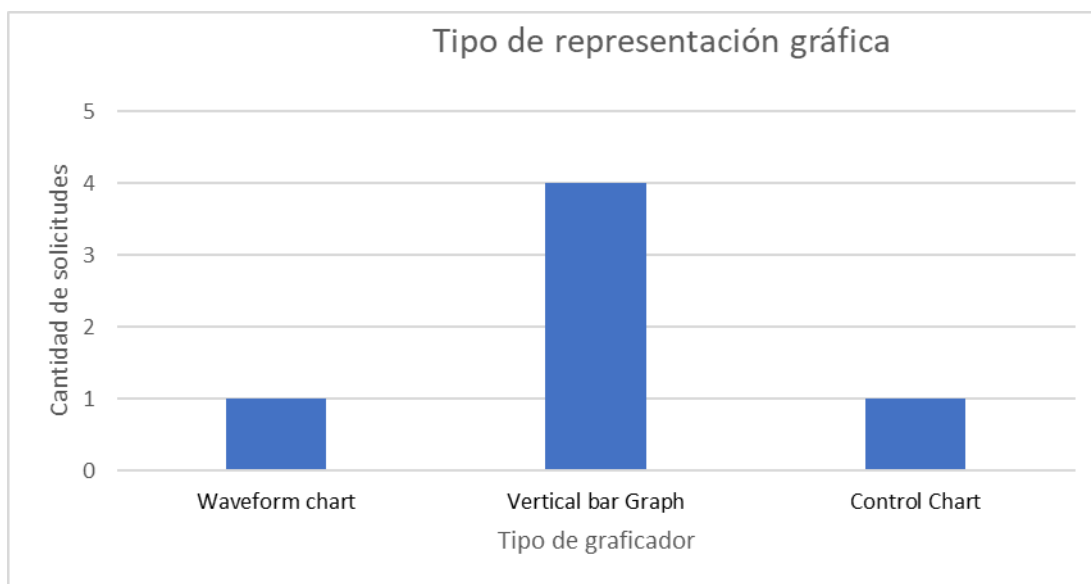
Figura 35. Selección del tipo de indicador en HMI



Fuente: Elaborado por el autor.

10. En el panel de estadística los docentes reiteraron la necesidad de que en los casos que sea posible, los datos sean representados por medio de gráficas para facilitar su interpretación. Debido a la solicitud de los docentes se les presento las opciones que existen en el entorno gráfico de programación para la representación de datos, obteniendo los resultados mostrados en la figura 36. Para mayor detalle ver apéndice 5A.

Figura 36. Selección de panel gráfico.



Fuente: Elaborado por el autor.

Con el propósito de resumir los requerimientos que indicaron los docentes respecto a los puntos de interés que debe contener el proyecto, se diseñó un cuadro de resumen que muestra todos los criterios que deben ser implementados en la solución.

Tabla 4. Tabla de características del proyecto.

| Característica definida | |
|--------------------------------|---|
| 1 | Interfaz de menú de receta |
| 2 | Interfaz de monitoreo |
| 3 | Interfaz de estadística |
| 4 | Automatización de estación "201 Base" |
| 5 | Automatización de estación "202 Rodamiento" |
| 6 | Automatización de estación "204 EJE" |
| 7 | Automatización de estación "205 Rodamiento" |
| 8 | Automatización de estación "207 Robot" |
| 9 | Automatización de estación "214 PCB" |
| 10 | Automatización de estación "215 CNC" |
| 11 | Automatización de estación "216 Laser-SCARA" |
| 12 | Automatización de estación "211 Visión" |
| 13 | Automatización de estación "208 Almacén" |
| 14 | Adquisición y almacenamiento de datos |
| 15 | Establecer comunicación OPC entre PLC y SCADA |

Fuente: Elaborado por el autor

CAPÍTULO V

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 ASPECTOS DE DISEÑO

La propuesta para crear un sistema de supervisión, control, adquisición y almacenamiento de datos para el laboratorio de manufactura integrada que se encuentra en el Centro Nacional especializado en Electrónica fue presentada al encargado del centro ejecutor, se explicó los beneficios que brindará el sistema a los docentes que imparten clases en el laboratorio, así como las características nuevas que se van a incorporar a la célula de producción que le permiten dar un mayor uso a los equipos e incluso que otras especialidades puedan aprovechar el laboratorio.

Dentro de la propuesta que se planteó a la administración del CENATE contempla que se utilizará el software licenciado que está disponible en el centro educativo, en el caso de los programas que sean de licencia libre se deberán utilizar los programas que sean aprobados por la GTIC del INA en estricto apego a las normas internas de la institución.

El diseño del sistema se basa en los datos recolectados por medio de la herramienta de observación y de las entrevistas que se realizaron a los docentes y personal administrativo, también se tomaron en cuenta aspectos importantes para el diseño como lo son los software disponibles y las características de cada uno de ellos, de igual forma se tomó en cuenta que estos programas tengan la capacidad de solventar todas las fases de la implementación del proyecto, ya que no hay posibilidades a corto plazo para la adquisición de nuevos programas.

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, en el diseño del sistema no se planteó ningún cambio en el hardware ya que este aún se encuentra en garantía, por lo que se

analizó que los equipos cuenten con todos los accesorios necesarios para su comunicación y adecuado funcionamiento.

5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Esta sección detalla el prototipo final, la funcionabilidad de cada uno de sus respectivos componentes, características, datos técnicos, protocolos de comunicación y la debida programación individual de los elementos utilizados.

La construcción del prototipo final será realizada por etapas, correspondientes a las fases mostradas en la figura 30 en la última sección del capítulo anterior de este documento, a saber: etapa de censado y actuadores, sistema original, etapa de comunicación y etapa del sistema de control.

Para la adecuada descripción de cada una de las etapas, será necesario dividir las en secciones donde se aborden los temas de software y hardware de forma independiente, esto para mantener un orden durante el desarrollo del prototipo.

5.2.1 Etapa de sensado y actuadores

En esta sección se encuentran los equipos relacionados con la captura de los datos del proceso, dentro de los cuales se pueden encontrar sensores inductivos y capacitivos, vacuómetros, finales de carrera magnéticos, sensores de desplazamiento lineal y encoder.

Todos los productos que se deseen procesar dentro de la célula de producción se transportan mediante un dispositivo llamado palet, el cual está construido en plástico con unas incrustaciones de metal en la base que funcionan como identificadores de cada unidad, en la figura 37 se muestra este dispositivo.

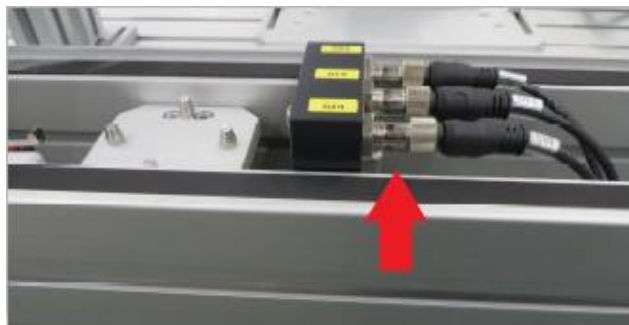
Figura 37. Palet



Fuente: Manual SMC International

Para la detección de los palet, cada una de las estaciones de trabajo está equipada con mecanismo compuesto por tres sensores inductivos que leen los identificadores, de esta forma se puede determinar el número de palet que está presente y el tipo de producto que se debe ensamblar, estos sensores inductivos son controlados por los módulos de entrada y salida remotos. En la figura 38 se muestra el mecanismo que posee los sensores.

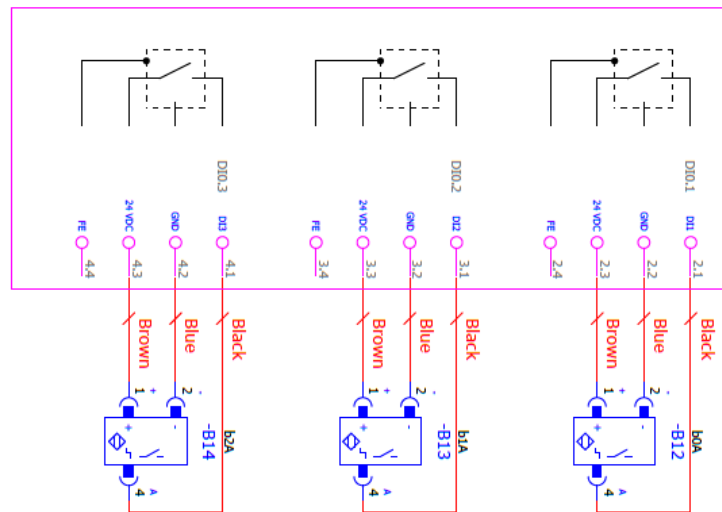
Figura 38. Mecanismo para detección de Palet



Fuente: Manual SMC International

Según los planos eléctricos estos sensores están conectados a las entradas digitales del módulo remoto, el cual se mostró en la figura 21. Estos sensores brindan una señal positiva cuando detectan la presencia de un metal conductor, por lo cual en los palets alternan la presencia de una pieza de metal para indicar un bit de presencia en el código de identificación, los cuales tienen 3 bits que forman un código binario de 000 a 111. En la figura 39 se muestra un segmento del plano eléctrico donde se indica la conexión de los sensores inductivos.

Figura 39. Conexión de los sensores de identificación de Palets



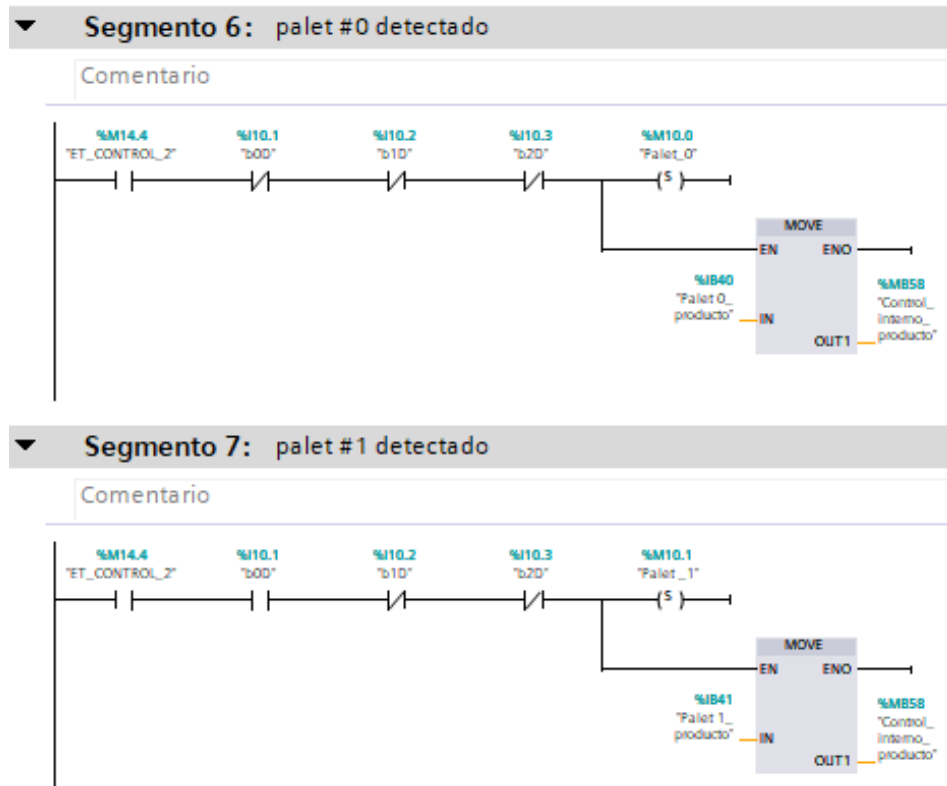
Fuente: SMC International. Esquema Eléctrico estación FMS 201. Página 6.

Al ser un código binario el sistema que utilizan los palets para su identificación, se realizó una secuencia en el diagrama en escalera del PLC para identificar el número de palet que está presente en la banda transportadora, cuando se logra identificar se accede a la red y se extrae la información referente al producto que contiene.

Como se puede observar en la figura 40, los contactos llamados “b0D”, “b1D” y “b2D” son las variables que contienen la información del estado de los sensores, por lo cual se

realizaron 8 diferentes líneas de programa que identifican un número en específico de palet. En la siguiente figura se muestra un extracto de la programación para la detección del código.

Figura 40. Sección de programa para la identificación del número de palet.



Fuente: Elaborado por el autor.

Debido a que el código de los palets inicia en 000, el sistema cuenta con un interruptor de final de carrera tipo micro interruptor que le permite a la estación de trabajo detectar cuando hay un producto presente en la banda transportadora, ya que de otra forma sería imposible detectar el palet con el código 000 debido a que los sensores no pueden diferenciar entre este palet y la banda vacía. Este sensor de presencia se encuentra

ubicado frente a los sensores inductivos en la banda transportadora como se muestra en la figura 41.

Figura 41. Sensor de detección de presencia de palet.



Fuente: Elaborado por el autor.

Una vez que el palet ha sido detectado y se identifica su código numérico, el programa extrae la información del producto desde la red de comunicación para iniciar su proceso de ensamble, este proceso depende del tipo de producto ya que las piezas que se van a ensamblar difieren en cada producto.

Tabla 5. Distribución del byte de producto

| # Bit | Nombre | Descripción |
|-------|-----------|--|
| 0 | Presencia | Identifica la presencia de un inserto |
| 1 | Posición | Identifica si la pieza tiene la orientación correcta |
| 2 | Aluminio | Identifica si hay presencia de metal |
| 3 | Plástico | Identifica si hay presencia de plástico |

Fuente: Elaborado por el autor

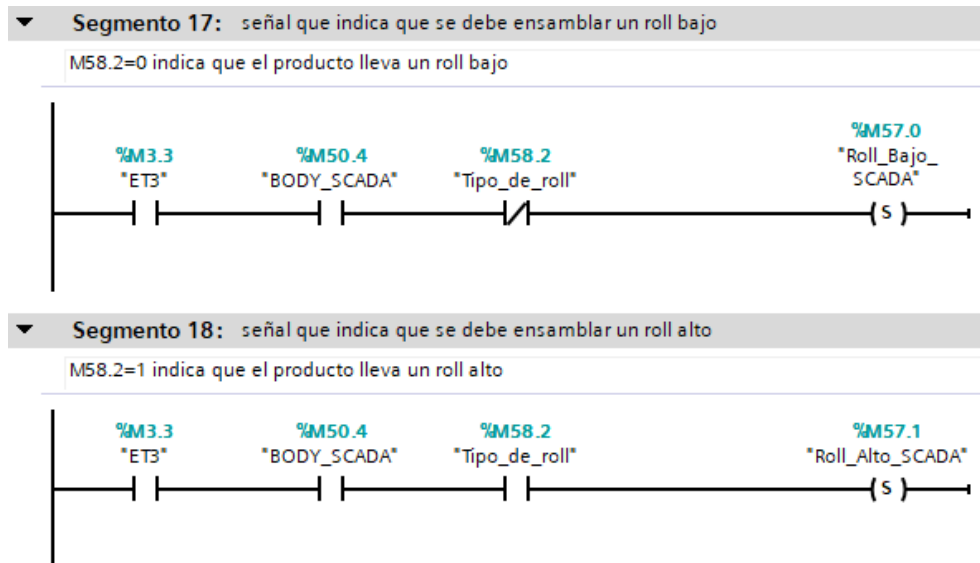
En la tabla 5 se muestra la información que se envía en el Byte de producto, el cual se carga en la estación FMS 201 y se relaciona con cada uno de los palets, de esta forma cada estación de trabajo cuando determina el código del palet, se dirige a la red y obtiene el tipo de producto que transporta. En los bits 0 y 1 se identifica el tipo de producto que transporta, realizando la diferencia entre los dos productos principales que se pueden ensamblar, los cuales son el BODY o una placa PCB.

Una vez que se identifica que el producto es un PCB las estaciones FMS 201 al FMS 207 no realizan ningún tipo de ensamble, simplemente controlan el flujo de los palets en la banda transportadora para que no se acumulen en una sola estación. De esta forma la estación retiene el palet hasta que la próxima le indique que está libre o puede dejarlo pasar.

Continuando con el Byte de información, cuando se determina que el producto a ensamblar es un BODY las estaciones continuaran leyendo los bits del 2 al 7 para determinar las diferentes partes que el usuario desea en el producto final, de esta forma del bit 2 se extrae la información del tipo de rodamiento requerido siendo que un 0 lógico se interpreta como un rodamiento bajo y un 1 representa a un rodamiento alto.

En la figura 42 se detalla el segmento del programa que se encarga de realizar la selección del tipo de rodamiento que se debe ensamblar y activa una variable específica para que el programa posteriormente pueda realizar la selección correcta del producto cuando lo extrae de la bandeja de partes nuevas.

Figura 42. Selección del tipo de rodamiento.

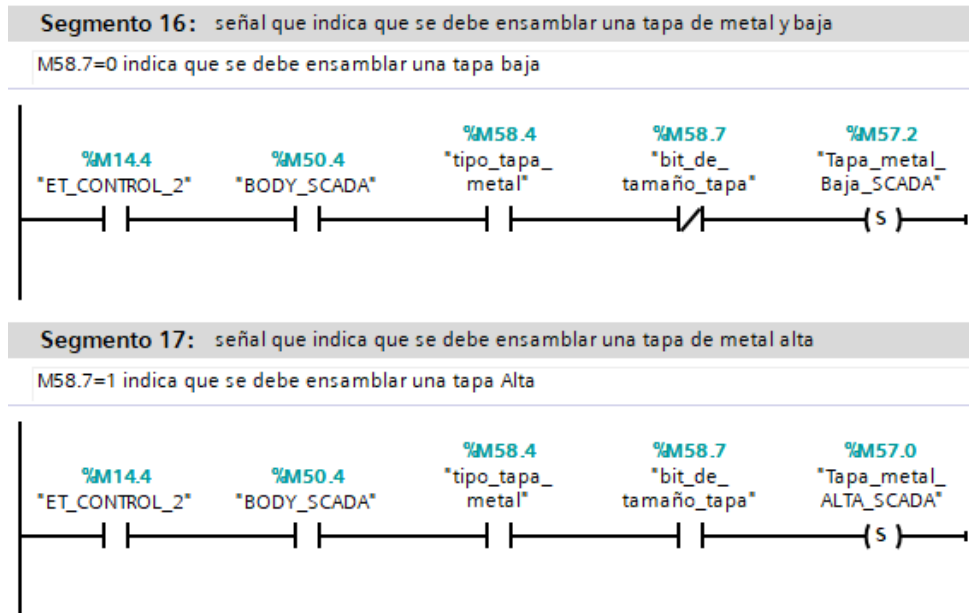


Fuente: Elaborado por el autor

En el bit 3 del Byte de producto, se encuentra la información correspondiente al tipo al tipo de inserto que el usuario seleccionó, de este modo si el bit presenta un 0 lógico el programa interpreta que se ha seleccionado un inserto de metal y si el bit presenta un 1 lógico se determina que se desea un inserto de plástico.

En cuanto a los bits 4, 5 y 6 estos representan el tipo de tapa que se debe ensamblar, de modo que el bit 4 corresponde a una tapa metal, el bit 5 identifica a una tapa blanca y el bit 6 es representativo de una tapa de color negro. Para realizar la distinción en el tamaño de la tapa se utiliza el bit 7, en el cual un 0 lógico corresponde a una tapa de tamaño bajo y un 1 lógico indica que la tapa debe ser de tamaño alto, de esta manera se puede realizar la selección entre seis diferentes tipos de tapas.

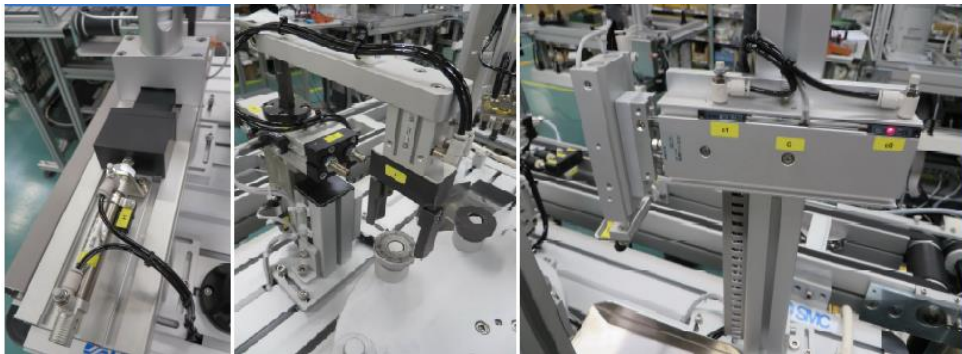
Figura 43. Selección del tipo de tapa



Fuente: Elaborado por el autor

Dentro de los actuadores se puede encontrar dispositivos neumáticos como cilindros de efecto simple, cilindros de doble efecto y cilindros rotativos, todos ellos son controlados por electroválvulas que reciben las señales de control desde el PLC de cada estación de trabajo. En la figura 44 se observan algunos de los cilindros neumáticos con los que se cuenta.

Figura 44. Actuadores neumáticos

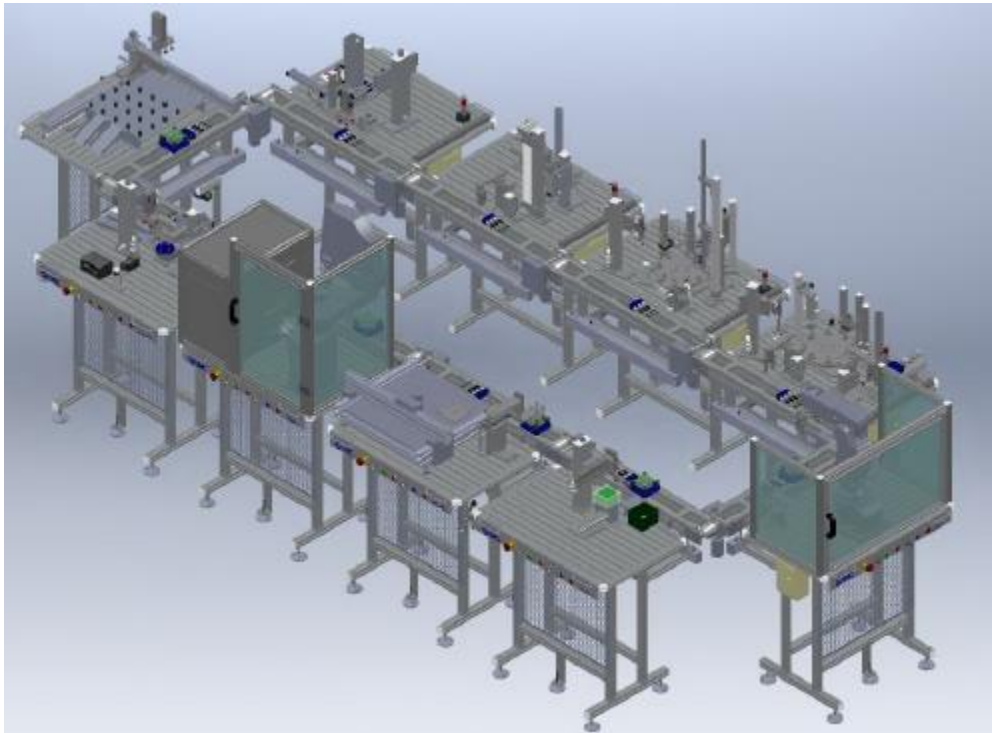


Fuente: Elaborado por el autor

5.2.2 Etapa del sistema original

En esta etapa se encuentran las estaciones de trabajo, cada una de ellas realiza una función diferente dentro del ensamble del producto, en total existen diez estaciones las cuales se encuentran dispuestas una al lado de la otra en forma de rectángulo. En la figura 45 se muestra un bosquejo de la disposición de todas las estaciones.

Figura 45. Distribuciones de las estaciones de trabajo.



Fuente: SMC International. Manual de usuario. Página 15.

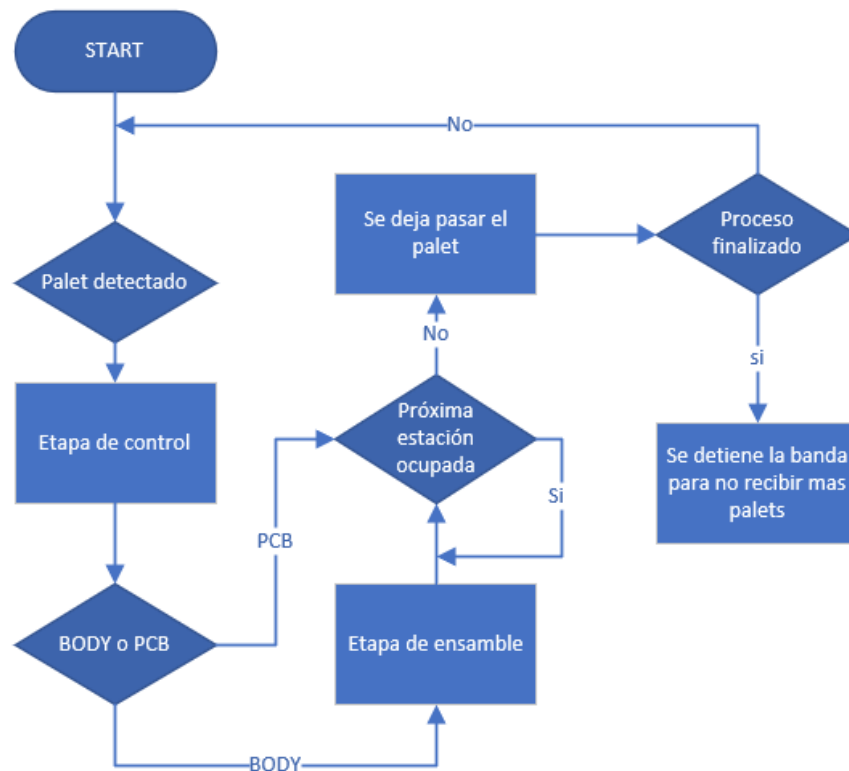
Cada estación de trabajo cuenta con dispositivos eléctricos, neumáticos y mecánicos propios de la función que desempeña dentro de la célula, sin embargo, comparten algunos elementos en común, por ejemplo, todas las estaciones tienen un PLC Siemens S7-300, un módulo de entradas y salidas digitales remoto y poseen un panel frontal que

contiene varios pulsados, selectores, indicadores y un pulsador de emergencia como se mostró en la figura 23 en la sección 4.3.

5.2.2.1 Estación FMS 201

Esta es la primera estación en la línea de ensamble, es la encargada de recibir los palets vacíos y enviar a la red los datos del tipo de producto que se está ensamblando en dicho palet. En la figura 46 se muestra el flujo de programa que se generó para cumplir con la necesidad del sistema.

Figura 46. Flujo del programa en Estación FMS 201

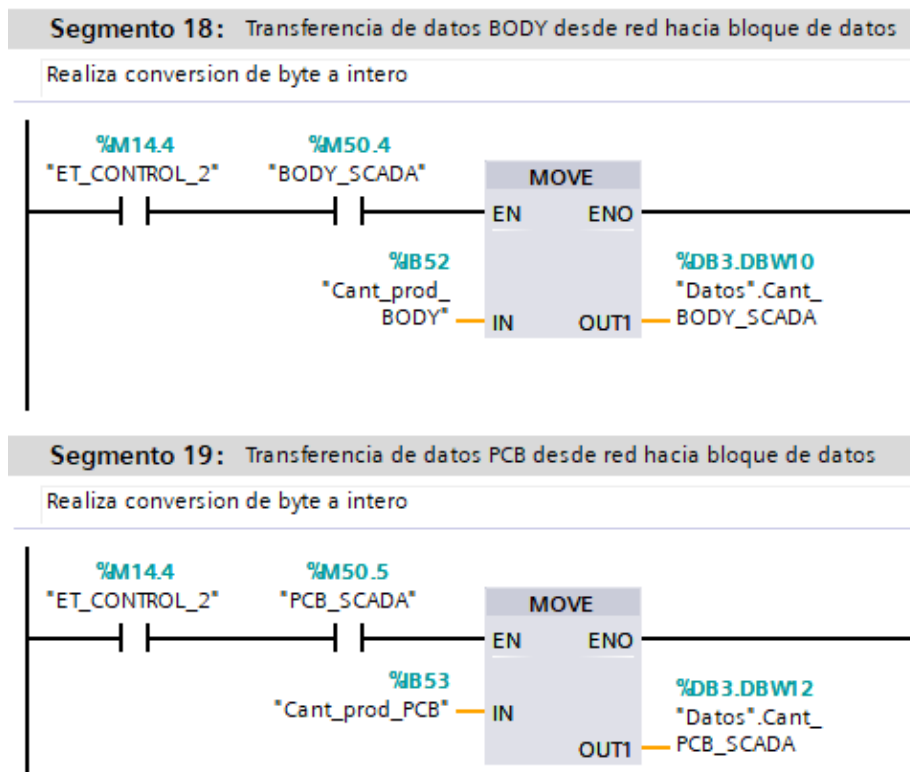


Fuente: Elaborado por el autor

En la figura anterior se muestran dos grandes bloques, la primera es la etapa de control en la cual se detectan los palets que llegan por medio de la banda transportadora y se decodifica su número para obtener la información del producto que debe ensamblar como se explicó en la sección 5.2.1 “Etapa de Sensado y actuadores”. En esta etapa de control también se incluyen secciones de código destinados a realizar la transferencia de las cantidades de producto a ensamblar hacia los bloques de datos internos en el PLC.

En la figura 47 se muestra la sección de código donde se realiza la transferencia de la información desde la red hacia el bloque de datos del PLC, de esta forma también se realiza la conversión de binario a decimal, ya que los datos en la red están en formato binario debido a que se depositan en un puerto de entradas del PLC.

Figura 47. Código para la transferencia de datos

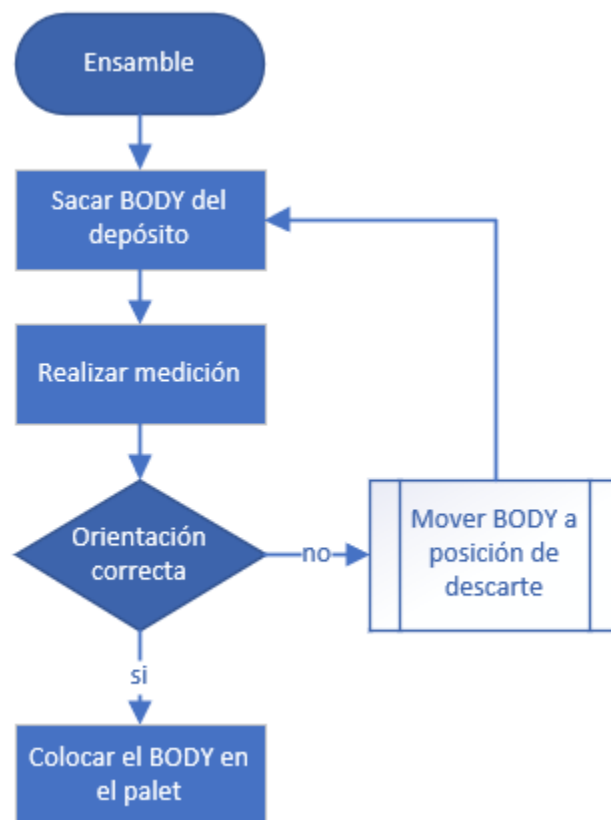


Fuente: Elaborado por el autor

Esta etapa de control es común para todas las estaciones de trabajo, con la salvedad de que en algunas de las estaciones se incluyen unas líneas de código extra para identificar el tipo de inserto o la tapa que se solicitó en el SCADA, es por este motivo que la etapa de control se omitirá en las siguientes secciones.

En el bloque de ensamble se realiza una secuencia de acciones para colocar el cuerpo de aluminio en el palet en el caso de que el producto sea un BODY, para el caso de que se requiera un PCB solamente se dejara pasar el palet a la siguiente estación. En la figura 48 se muestra un diagrama de flujo del bloque de ensamble.

Figura 48. Diagrama del bloque de ensamble FMS 201.



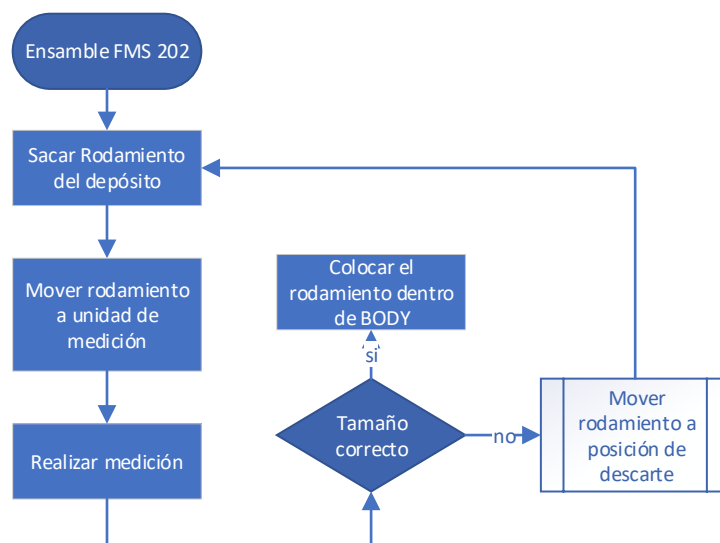
Fuente: Elaborado por el autor.

Una vez que el BODY se coloca en el palet, este debe esperar a que la siguiente estación indique que está libre para poder avanzar por medio de la banda transportadora. Todas las estaciones de trabajo publican en la red si están ocupadas, de esta forma se evita que se generen colapsos o cuellos de botella en una estación en particular.

5.2.2.2 Estación FMS 202

Esta estación es la encargada de colocar los rodamientos dentro de los BODY, debido a que existen dos tamaños para las piezas a ensamblar, el programa debe realizar la consulta del tipo de rodamiento requerido en el bit 2 del byte de producto, esta consulta se realiza en el bloque se control. Posteriormente la estación de trabajo continua con el bloque de ensamble, el cual realizara una secuencia de acciones para seleccionar el tipo de rodamiento correcto como se muestra en la siguiente figura.

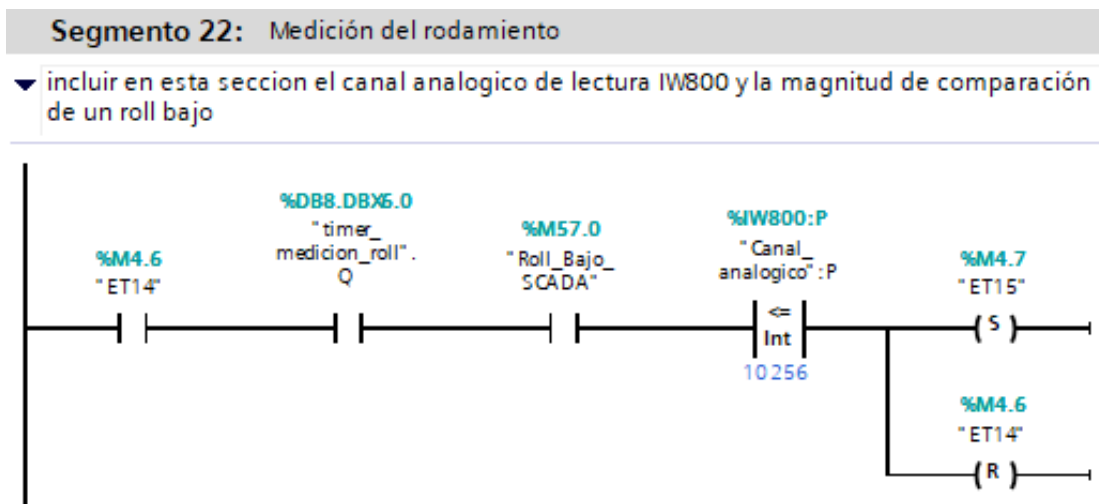
Figura 49. Diagrama de flujo del bloque de ensamble FMS 202.



Fuente: Elaborado por el autor.

Para determinar que el rodamiento es el correcto, se realiza una medición de la altura del mismo por medio de un sensor constituido por un potenciómetro lineal, este sensor brinda una salida de voltaje de 0 V a 10 V proporcional a la magnitud de la medición. Esta señal ingresa a un puerto de entradas analógicas en el PLC, para que posteriormente el programa compare esta magnitud con una referencia y determinar el tamaño del rodamiento presente en el sensor.

Figura 50. Medición del tamaño del rodamiento.



Fuente: Elaborado por el autor

En la figura anterior se muestra una sección del programa donde se realiza la medición al rodamiento por medio del sensor y se compara con una magnitud estándar para determinar si el rodamiento corresponde al tamaño indicado por el SCADA, si el tamaño no es el correcto se descarta y la estación procede a sacar otra pieza del depósito de materia prima.

5.2.2.2 Estación FMS 204

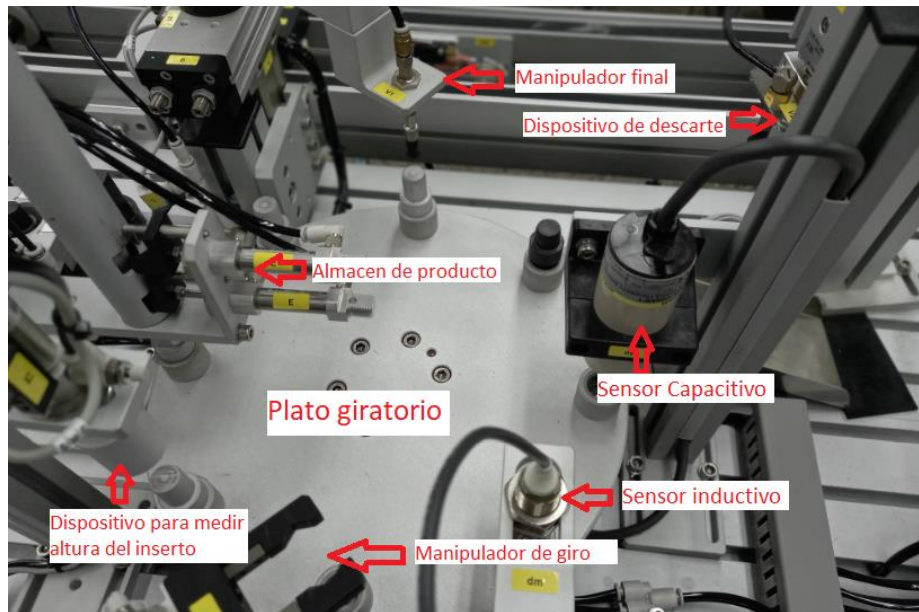
La tercera de las estaciones permite realizar el proceso necesario para el montaje de un inserto, situándolo dentro del rodamiento que se encuentra en el interior del BODY. Existen dos opciones de inserto: uno metálico, fabricado en aluminio anodizado y otro de plástico, fabricado en nylon de color negro.

Dicha operación comienza a realizarse en el momento en que un palet se encuentre frente a la estación, y con una base con rodamiento colocados dentro de él en las estaciones anteriores. Con esta estación se aumenta la flexibilidad desde el punto de vista de la variedad de productos que es posible fabricar, ya que permite la colocación de insertos con dos materiales diferentes; aluminio y nylon negro.

La existencia de dichas variantes exige que, a las operaciones tradicionales de alimentación, manipulación e inserción, se les sumen las de comprobación del tipo de material y rechazo de los insertos en el caso de que no coincida con el deseado.

Para realizar la colocación del inserto dentro del cuerpo de aluminio, la estación hace uso de varios dispositivos neumáticos y eléctricos montados alrededor de un plato giratorio que funciona como medio de transporte interno en la estación, este mecanismo se mueve por medio de dos actuadores neumáticos en los cuales dos cilindros realizan el efecto de sujeción y un tercer pistón ejecuta la acción de empuje, logrando que con cada secuencia de movimiento el plato gire 45°.

Figura 51. Dispositivos manipuladores en estación FMS 204

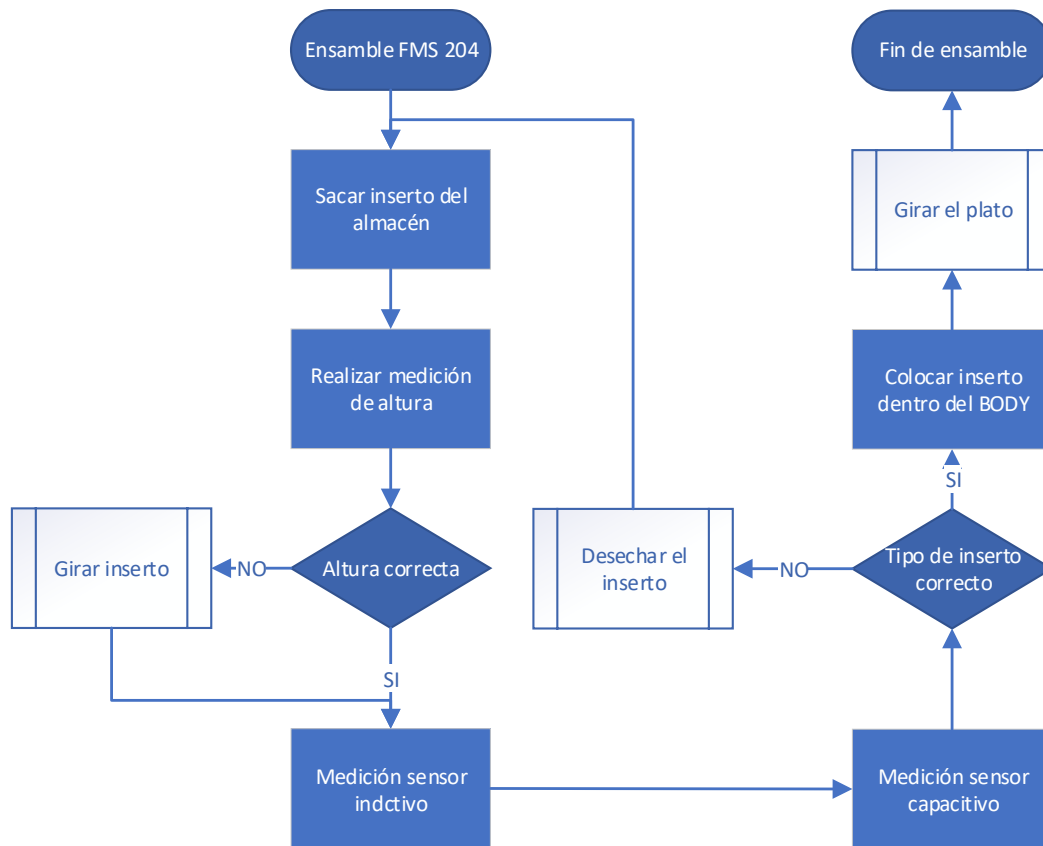


Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 51 se muestra la distribución de cada uno de los dispositivos de manipulación de los insertos, dentro de los cuales se puede mencionar que posee un pistón doble que permite dispensar insertos desde el almacén de producto hacia el plato giratorio, posteriormente se encuentra un pistón que mide la altura del inserto, si esta altura no coincide con la orientación correcta en el siguiente espacio un dispositivo de giro le permite a la estación de trabajo sujetar el inserto y rotarlo para que tenga la orientación adecuada para su ensamble.

También posee un sensor inductivo para detectar las piezas de aluminio y un sensor capacitivo para detectar la presencia del inserto sobre el plato giratorio. En caso de que el material del inserto no coincida con el solicitado por el usuario, la estación cuenta con un dispositivo para eliminar los insertos no deseados y que el manipulador final solo coloque los correctos.

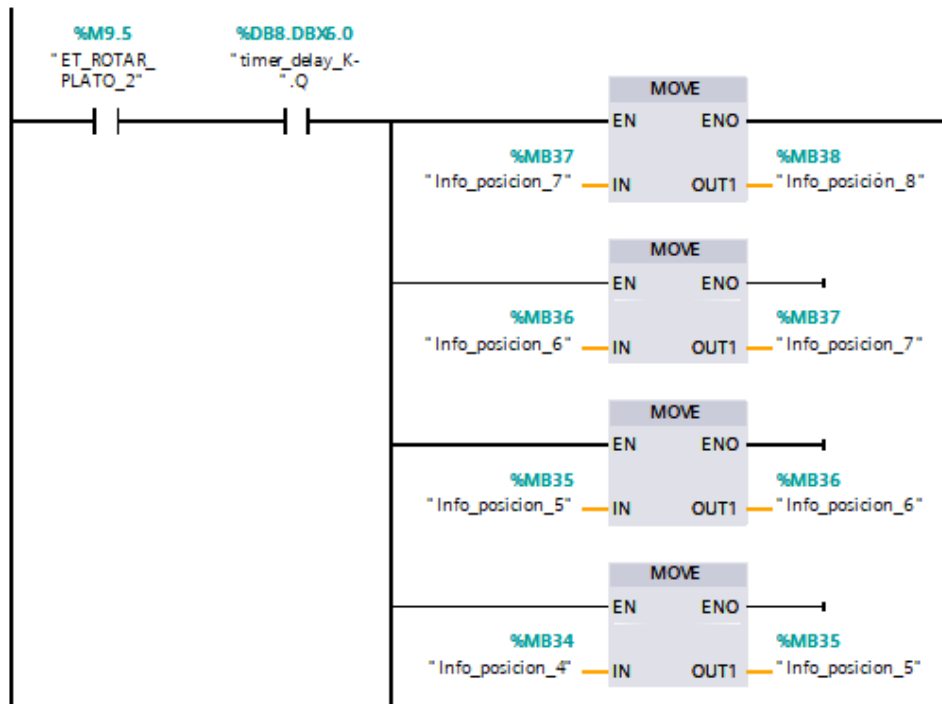
Figura 52. Diagrama de flujo del proceso de ensamble FMS 204



Fuente: Elaborado por el autor

Debido a que los insertos se mueven en un plato giratorio y cada vez que este gire la posición de los insertos cambia, se incorporó en la programación un sistema de codificación que le permita a la estación de trabajo determinar cuándo un inserto es el correcto para ensamblar o si debe desecharlo. Este sistema consiste en utilizar un byte de información que se traslada con cada movimiento del plato, de esta forma cada uno de los dispositivos de medición o de accionamiento neumático actúa según la información que se muestra en este byte de datos; en la figura 53 se muestra un extracto del bloque donde se realiza el intercambio de la información cuando se mueve el plato giratorio.

Figura 53. Sistemas de intercambio de información FMS 204



Fuente: Elaborado por el autor

La información que porta cada byte consiste en un bit que identifica si el depósito de materia prima colocó un inserto nuevo en el plato, un segundo bit identifica si el inserto tiene la posición correcta o si se el dispositivo de giro debe invertirlo. El tercer bit corresponde al material de tipo aluminio el cual es medido a través del sensor inductivo y el cuarto bit identifica si existe la presencia de un inserto de plástico; en la tabla 6 se muestra el contenido del byte de información.

Tabla 6. Byte de información en FMS 204

| # Bit | Nombre | Descripción |
|-------|-----------|--|
| 0 | Presencia | Identifica la presencia de un inserto |
| 1 | Posición | Identifica si la pieza tiene la orientación correcta |
| 2 | Aluminio | Identifica si hay presencia de metal |
| 3 | Plástico | Identifica si hay presencia de plástico |

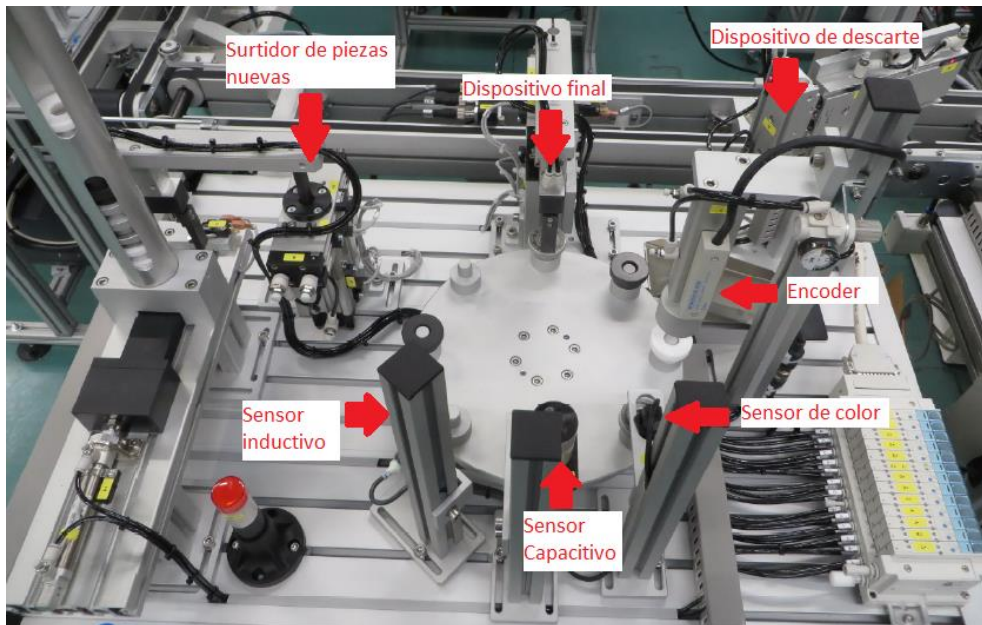
Fuente: Elaborado por el autor

5.2.2.4 Estación FMS 205

La operación realizada por esta cuarta estación consiste en colocar una tapa sobre el cuerpo de aluminio, existen seis opciones de inserción de tapa de las cuales tres son en función del material: metálica, fabricada en aluminio anodizado; plástico negro, fabricado en nylon de color negro y plástico blanco; fabricado en nylon blanco. Asimismo, cada tapa, independientemente del material con el que esté fabricada presenta dos alturas diferentes.

Para realizar la colocación la tapa sobre el cuerpo de aluminio la estación hace uso de varios dispositivos neumáticos y eléctricos montados alrededor de un plato giratorio, similar al mecanismo expuesto en la estación FMS 204. En la figura 54 se muestra la distribución de los sensores y dispositivos neumáticos para la manipulación de las tapas.

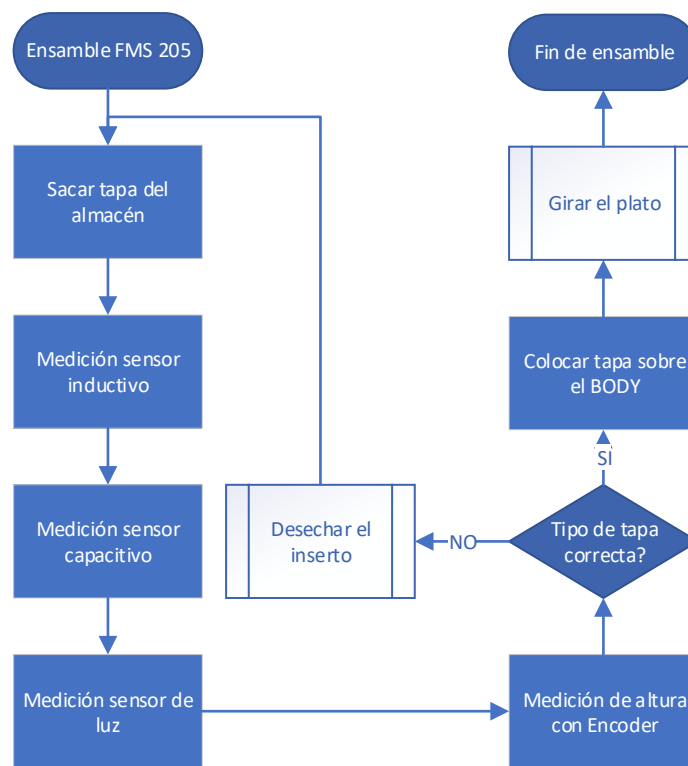
Figura 54. Distribución de la estación FMS 205



Fuente: Elaborado por el autor

Como se observa en la figura anterior, la estación de trabajo contiene un dispositivo surtidor que toma las tapas nuevas de un almacén y las coloca en el plato giratorio, también cuenta con un sensor inductivo, un sensor capacitivo y un sensor de luz capaz de detectar si las tapas son de color negro. Al igual que en las pasadas estaciones, se tiene un dispositivo de rechazo y un actuador final que permite colocar las tapas en el BODY.

Figura 55. Diagrama de flujo del proceso de ensamble FMS 205



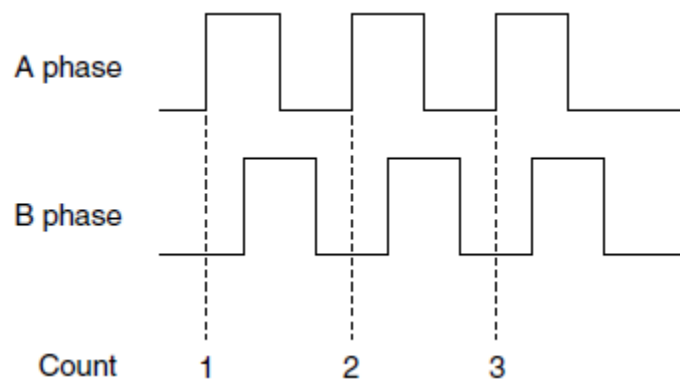
Fuente: Elaborado por el autor

La gran diferencia en esta estación es que se emplea un sensor del tipo Encoder lineal, el cual permite realizar una medición de altura de la tapa, ya que como se mencionó anteriormente las tapas pueden tener dos alturas. Este encoder lineal permite realizar la

medición de la tapa por medio de pulsos que son captados por un puerto en el PLC que está relacionado a un contador rápido, el cual puede detectar pulsos de alta velocidad.

El encoder utiliza dos salidas como líneas de señal, las cuales proporcionan una onda cuadrada en cada señal con un desfase de 90°. Para determinar si el encoder se mueve hacia adelante o atrás, se debe emplear una técnica de detección de flanco ascendente en el cual cuando se detecta primero el flanco de la línea A se mueve hacia el frente, pero cuando se detecta primero el flanco de la línea B se determina que el encoder se mueve hacia atrás. En la figura 56 se muestra un diagrama de tiempos de las señales de salidas del encoder.

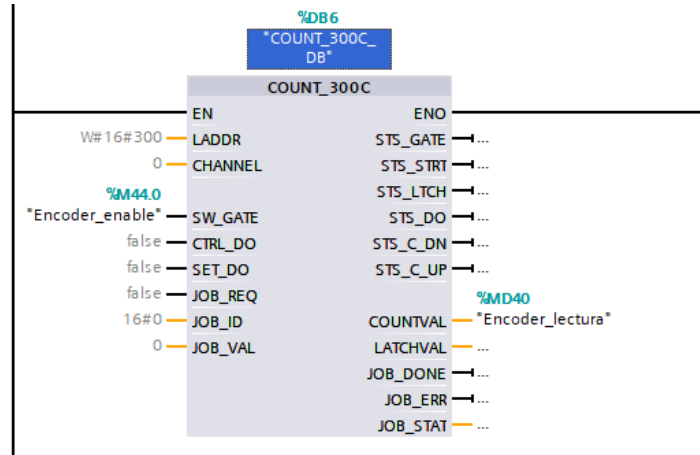
Figura 56. Diagrama de tiempos de las salidas del encoder



Fuente: SMC International. Stroke Reading cylinder and counter. Catalogo. Página 5.

Para la interpretación de las señales del encoder se debe utilizar el bloque de función COUNT del autómeta, al cual se le debe configurar una entrada de "Enable" que habilita la función del conteo rápido y un canal de 16 bits en formato entero para almacenar el conteo de pulsos del encoder como se muestra en la figura 57.

Figura 57. Bloque de función del encoder

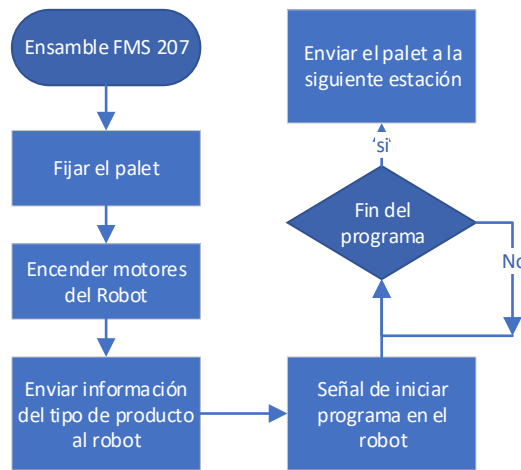


Fuente: Elaborado por el autor

5.2.2.5 Estación FMS 207

Esta estación es la encargada de realizar un proceso de intercambio de piezas por medio de un robot industrial, para realizar esta tarea el PLC debe comunicarse con el robot por medio de señales eléctricas, en la siguiente imagen se muestra el diagrama de flujo de la estación.

Figura 58. Diagrama de flujo para ensamble de la estación FMS 207



Fuente: Elaborado por el autor

Para realizar la comunicación entre el robot y el PLC se utilizan señales eléctricas cableadas desde los puertos digitales de ambos dispositivos, estas señales son utilizadas por el robot dentro del flujo de programa para determinar cuáles piezas debe cambiar, ya que según el tipo de rodamiento que el producto contiene no se podrán cambiar el inserto y el rodamiento debido a que la pinza del robot no podrá alcanzarlos. En la tabla 7 se muestran las señales eléctricas del robot.

Tabla 7. Señales eléctricas del robot Antropomórfico.

| Tipo de señal | Nombre | Comentario |
|-----------------|---------------------|--|
| Entradas | Robot_Start | Señal para encender los servomotores |
| | Robot_Stop | Señal para apagar los servomotores |
| | Robot_Reset | Reiniciar alarmas |
| | Robot_Auto/man | Automatico o manual |
| | Robot_Cycle Start | Iniciar el programa del robot |
| | Robot_Hight Bearing | Rodamiento Alto |
| | Robot_Inserto | Tipo de inserto |
| | Robot_Tapa metal | Tapa de metal presente |
| | Robot_Tapa negra | Tapa negra presente |
| | Robot_Tapa Blanca | Tapa Blanca presente |
| Salidas | Robot_Alarm | Señal de alarma en el robot |
| | Robot_Assembling | Señal que indica que el robot esta en movimiento |
| | Robot_Cycle End | Señal que indica que el robot finalizó el programa |

Fuente: Elaborado por el autor

Como se puede observar en la tabla anterior, el robot utiliza la señal “High Bearing” para identificar el tipo de rodamiento que contiene el producto, si la señal es un 0 identifica un rodamiento de tamaño bajo por lo cual solo podrá sustituir la tapa, si la señal contiene un 1 lógico se puede sustituir tanto la tapa como el inserto y rodamiento, esto es posible debido a que el rodamiento de tamaño más alto permite que el inserto pueda sobresalir

del cuerpo de aluminio y que la pinza del robot lo pueda sujetar como se muestra en la figura siguiente.

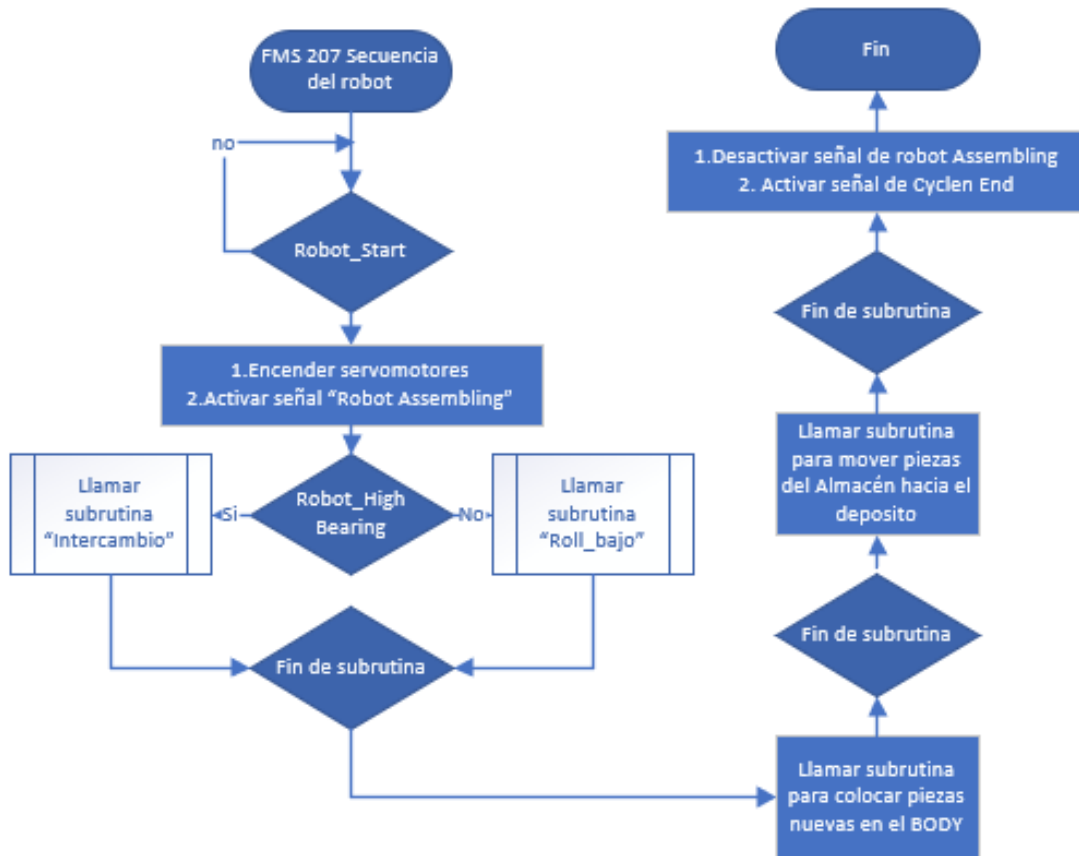
Figura 59. Altura del inserto en función del tipo de rodamiento.



Fuente: Elaborado por el autor

Para detallar el funcionamiento del programa del robot, en la figura 60 se muestra un diagrama de flujo de la programación y de cómo se utilizan las señales dentro de la secuencia. Para que el programa sea más eficiente se dividió en subrutinas pequeñas que realizan movimientos a posiciones específicas en el área de trabajo, de esta forma se pueden reutilizar las secciones de código varias veces dentro de un programa general, para mayor detalle de las subrutinas dirigirse al apéndice 6A.

Figura 60. Secuencia de programa del robot antropomórfico.



Fuente: Elaborado por el autor

Para realizar la programación del robot se debe utilizar el software de MITSUBISHI llamado RT Toolbox2, el cual incorpora el ambiente gráfico para escribir el código de funcionamiento del robot que está basado en el lenguaje MELFA V. En la figura 61 se muestra una sección del código principal utilizado para realizar las tareas de ensamble, para mayor detalle en el anexo 06 se adjunta el programa completo.

Figura 61. Sección de código del robot antropomórfico.

```

1 | ***** Programa para el robot FMS 207*****
2 | M_Out(5)=0 'apaga señal de cycle end
3 | Wait M_In(8)=1 'espera instrucción de cycle start
4 | M_Out(6)=0 'señal de activación de la pinza para agarrar tapas e insertos
5 | M_Out(8)=0 'Señal de activación para la pinza de agarrar los rodamientos
6 | Servo On 'enciende los servomotores
7 | Wait M_Svo=1 'espera a que los servomotores esten activos
8 | M_Out(4)=1 'señal hacia el PLC de Robot Assembling
9 | If M_In(9)=1 Then GoSub *Intercambio ' Si el rodamiento es alto, se llama a subrutina INTERCAMBIO para cambiar las piezas
10 | If M_In(9)=0 Then GoSub *Roll_Bajo ' Si el rodamiento es bajo, se llama a la subrutina ROLL_BAJO para cambiar solo la tapa.
11 | Ovrd 50 ' ajuste de la velocidad al 50%
12 | Mov phome ' posicion de origen
13 | Dly 0.1 'retardo para que finalice la operación anterior
14 | M_Out(4)=0 'señal hacia el PLC de Robot Assembling apagado
15 | M_Out(5)=1 'enciende señal de Cycle End
16 | dly 1 'retardo de 1seg
17 | M_Out(5)=0 'apaga señal de Cycle End
18 | Servo Off ' apaga los servomotores
19 | End ' fin del programa
20 | .....
```

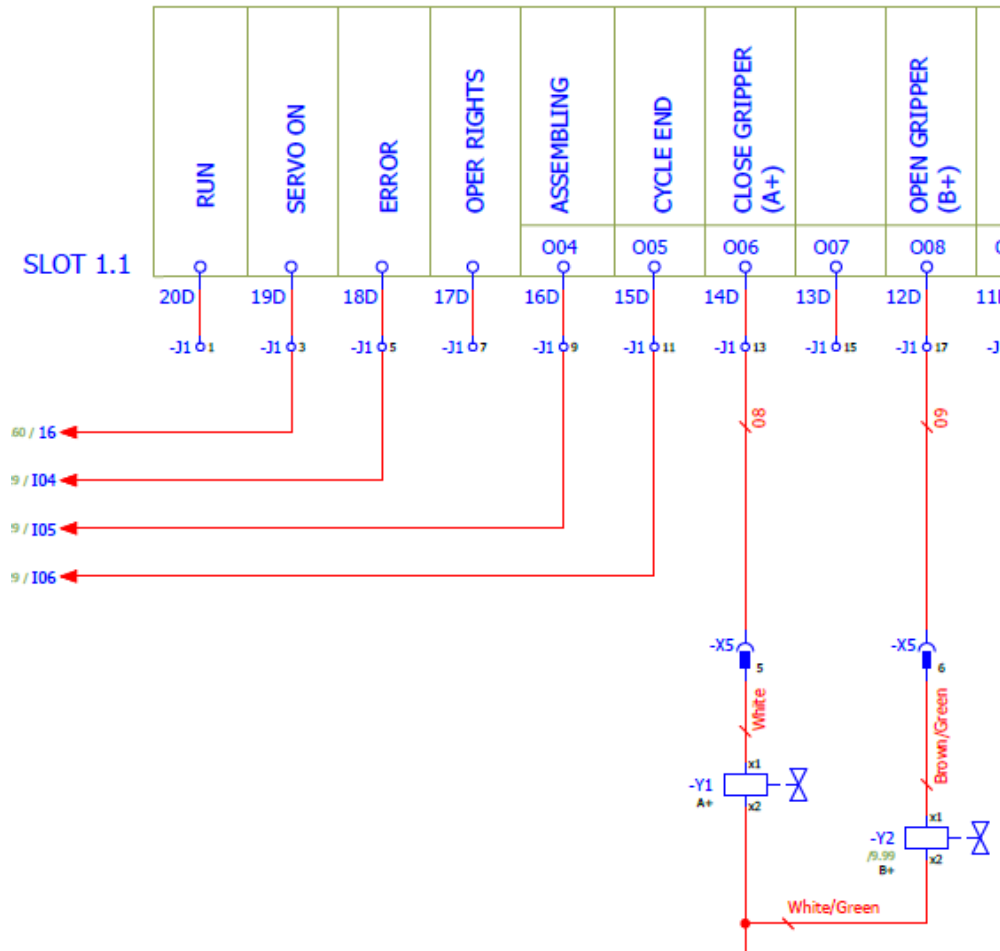
Fuente: Elaborado por el autor

En la figura anterior se muestra que el lenguaje de programación llama a las señales de entrada por medio del comando *M_IN()*, esto hace que dentro del código se puedan leer las señales que provienen del PLC para que el robot pueda tomar decisiones dependiendo del tipo de producto que se encuentra en el palet, de esta forma se utiliza el comando *IF – THEN* para tomar decisiones respecto a la subrutina que se debe llamar.

Un aspecto importante de rescatar es que las pinzas para manipular las piezas de ensamble son manejadas por medio de un sistema neumático que controla el robot, debido a esto las señales de activación de la salida se deben controlar desde el código principal por medio del comando *M_OUT()*.

En la siguiente figura se muestra una sesión del plano eléctrico de la estación donde se detalla el número de salida en las cuales están cableadas las válvulas neumáticas que controlan las pinzas para sujetar las tres piezas del producto.

Figura 62. Plano eléctrico de las salidas del robot antropomórfico.



Fuente: SMC International. Manual de esquemas eléctricos estación FMS 207. Robot outputs. Página 7.

En la salida O06 se encuentra conectada la válvula de control para manipular la pinza que sujeta las tapas y los insertos. La salida O08 controla la pinza que se encarga de sujetar los rodamientos. Estas salidas son digitales por lo cual en el código del robot para

su activación se debe indicar la dirección de las salidas y su estado lógico, de esta forma el comando para la activación de la salida O06 sería el siguiente: $M_OUT(6)=1$. En la figura 63 se muestran las dos pinzas que posee el robot.

Figura 63. Pinzas del Robot antropomórfico.



Fuente: Elaborado por el autor

Cuando se crea la secuencia de código para el robot se debe tomar en cuenta que las direcciones hacia donde se debe mover el brazo del robot se deben guardar directamente como PUNTOS en el software, estos puntos contienen las coordenadas en los ejes X, Y, Z del plano cartesiano, así como las coordenadas A, B, C que corresponden a la posición de giro del antebrazo, altura y giro de la muñeca. En la figura 64 se muestra una imagen con algunos de los puntos grabados en el software. La nomenclatura utilizada para dar el nombre a cada uno de los puntos se puede consultar en el apéndice 7A.

Figura 64. Direcciones de los puntos en el programa del robot antropomórfico.

| XYZ | X | Y | Z | A | B | C | L1 | L2 | FLG1 | FLG2 |
|--------------|---------|----------|---------|----------|--------|----------|----|----|------|------|
| palmtnegra | 232.770 | 327.420 | 271.260 | -179.960 | -0.970 | 94.550 | X | X | 7 | 0 |
| pdepinsmetal | 225.300 | -199.520 | 276.190 | -179.960 | -0.970 | -179.460 | X | X | 7 | 0 |
| pdepinsplas | 175.830 | -200.660 | 276.570 | -179.960 | -0.970 | -179.480 | X | X | 7 | 0 |
| pdeproll | 221.240 | -149.530 | 248.610 | -179.960 | -0.970 | -0.700 | X | X | 7 | 0 |

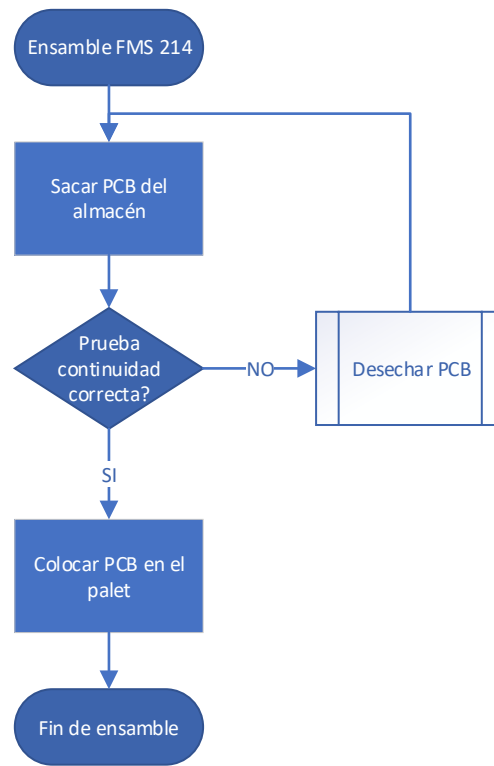
Fuente: Elaborado por el autor.

5.2.2.6 Estación FMS 214

Esta sexta estación realiza la alimentación de la tarjeta de circuito impreso que sirve como materia prima para el segundo de los procesos que permite ensamblar el laboratorio de manufactura, como lo es la elaboración de tarjetas de circuito impreso.

La pieza a manipular es una tarjeta de circuito impreso sin procesar de dimensiones 80 x 80 x 1.5 mm y recubierta con una fina película de cobre. Dicha operación comienza a realizarse en el momento en que un palet se encuentre frente a la estación, y se obtiene una tarjeta del almacén para ser realizada una medición de continuidad con el propósito de determinar si la tarjeta esta plana y no habrá problemas cuando se someta al proceso de fresado; en la figura 65 se muestra el diagrama de flujo con el proceso completo de ensamble.

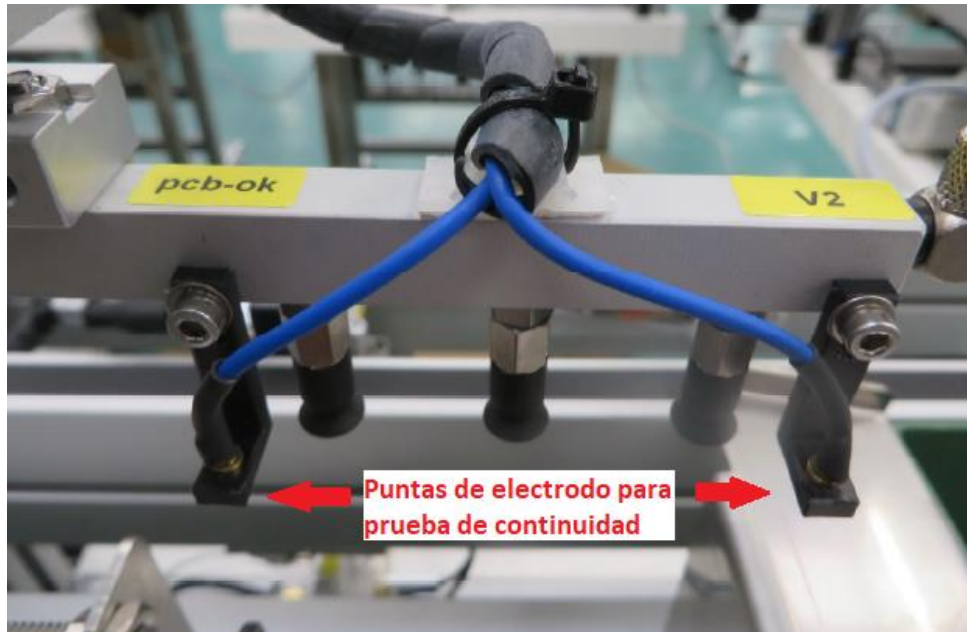
Figura 65. Diagrama de flujo del ensamble en FMS 214



Fuente: Elaborado por el autor

La prueba de continuidad consiste en que el autómatasujeta la tarjeta por medio de unas ventosas y envía una señal de voltaje continuo de 24V en uno de los pines de electrodo y espera que ingrese la señal por el segundo pin de electrodo. Esta prueba se basa en que si la tarjeta no está perfectamente plana alguna de las dos puntas de continuidad no podrá hacer contacto con la PCB y la prueba será fallida; esto implica que la tarjeta no es apta para el proceso de fresado ya que se requiere una superficie completamente plana.

Figura 66. Puntas de medición para prueba de continuidad

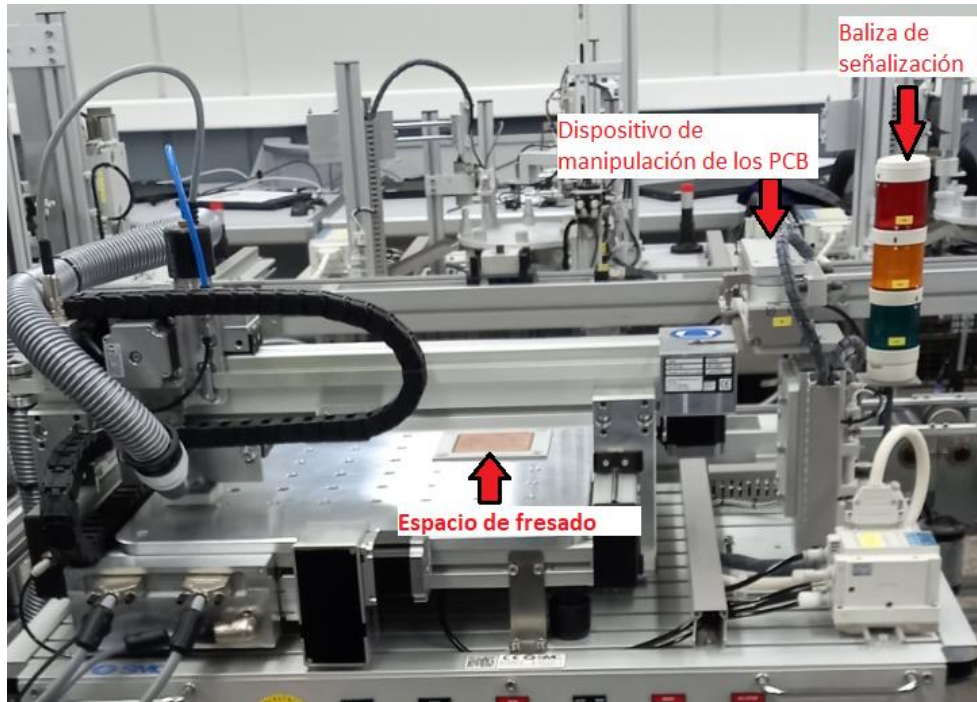


Fuente: Elaborado por el autor

5.2.2.7 Estación FMS 215

Esta estación es la encargada de realizar el fresado de la tarjeta de circuito impreso, para ejecutar esta tarea la estación cuenta con una mesa de control numérico por computadora (CNC) la cual realiza el fresado de las pistas en el PCB, también cuenta con una baliza de señalización con tres luces y un dispositivo neumático para la manipulación de los PCB entre el palet y el CNC. En la siguiente figura se muestra la estación FMS 215.

Figura 67. Estación FMS 215

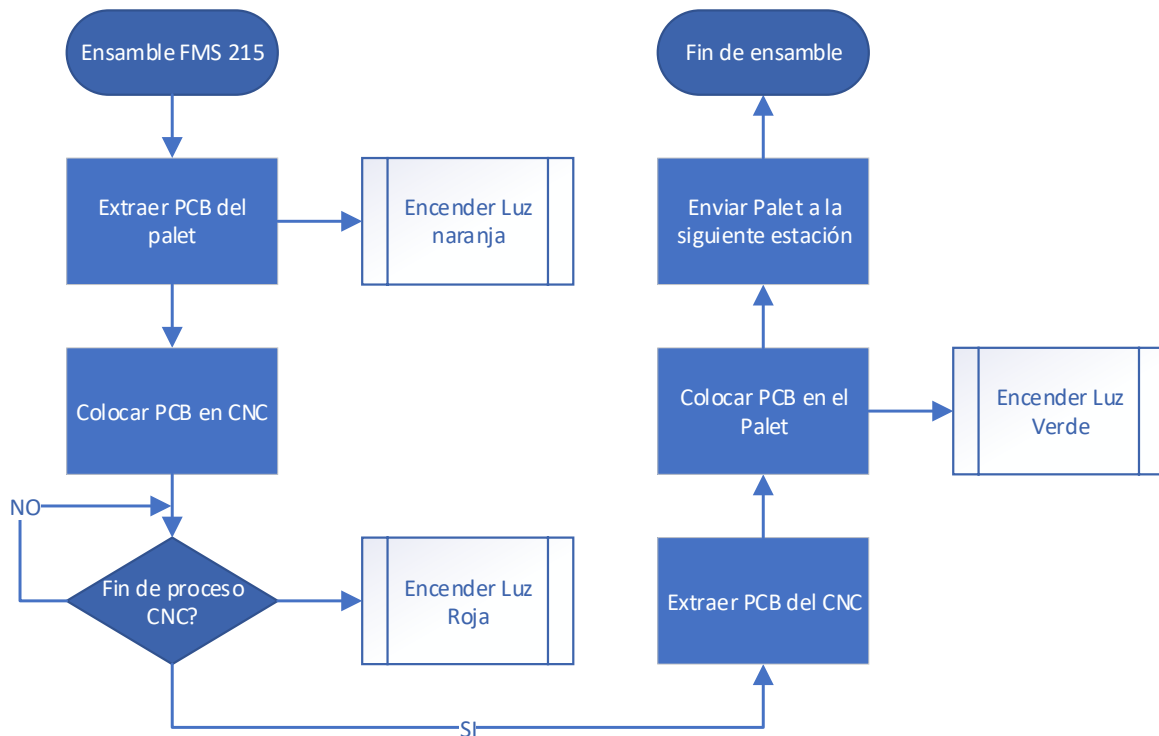


Fuente: Elaborado por el autor

Para el desarrollo de los procesos en la estación de fresado el autómeta se encuentra limitado al control únicamente de los dispositivos neumáticos, ya que la maquina CNC no cuenta con ningún tipo de puerto de comunicación compatible con el PLC.

Al no existir posibilidad de automatizar el proceso de fresado por medio del autómeta, el PLC debe utilizar la baliza de tres colores para indicar al usuario que la estación esta lista para que se inicie el proceso de frezado desde el software de la maquina CNC, esta indicación se realiza por medio de las señales luminosas que se pueden generar con el color verde, naranja y roja que posee el dispositivo de señalización.

Figura 68. Diagrama de flujo del ensamble de FMS 215



Fuente: Elaborado por el autor

Como se observa en la figura anterior, el proceso inicia con la carga de la tarjeta PCB en la máquina de CNC, una vez que la tarjeta se encuentra posicionada y sujeta por medio de ventosas de vacío, el PLC informa al usuario por medio de una luz roja que se debe iniciar el proceso de fresado y quedara en espera hasta que el usuario presione el botón de “Start” en el panel frontal para indicarle al autómata que el fresado finalizó. Con esta señal, el PLC puede realizar la tarea de extraer la tarjeta del CNC y colocarla en el palet para que sea enviada a la siguiente estación de trabajo.

En la tabla 8 se presenta un resumen del significado de las señales luminosas que el PLC le muestra al usuario.

Tabla 8. Detalle de las señales luminosas en FMS 215

| Luz | Tipo de señal | Detalle |
|---------|---------------|--------------------------------|
| Verde | Fija | Estación lista para producción |
| Naranja | fija | Estación manipulando un PCB |
| Rojo | Intermitente | Lista para Fresado |
| | Fija | Estación en estado de alarma |

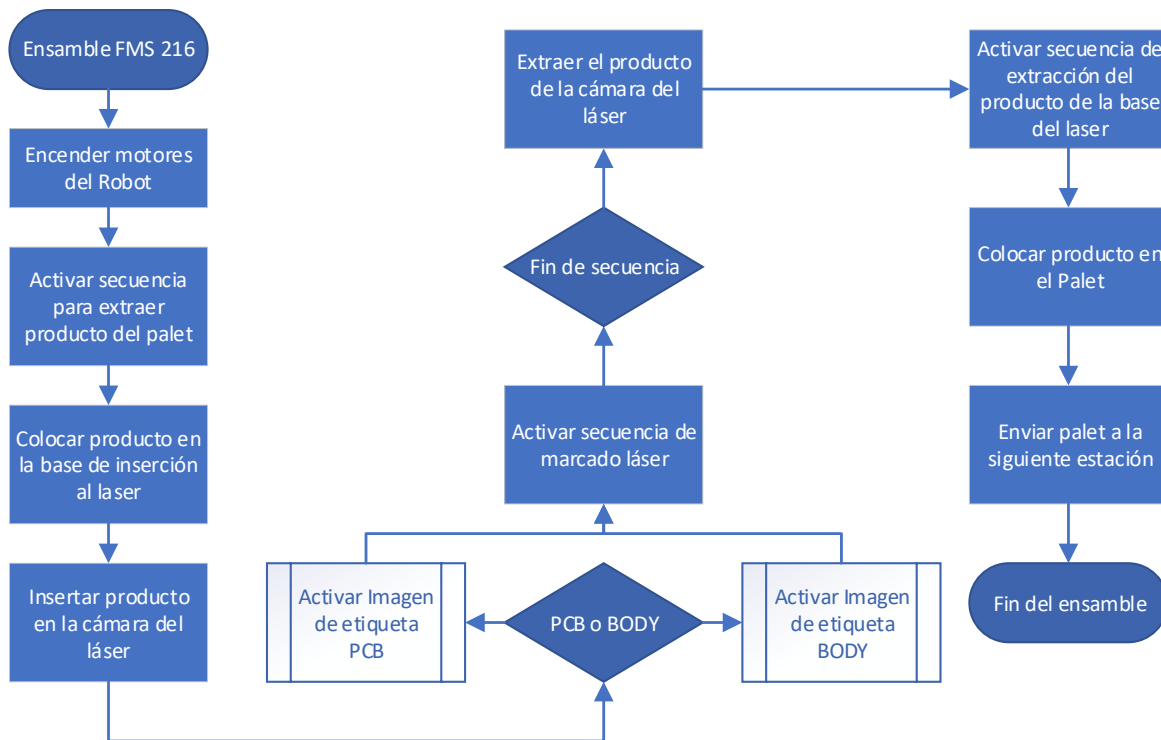
Fuente: Elaborado por el autor

5.2.2.8 Estación FMS 216

Esta estación realiza el grabado tanto de la tarjeta PCB como del cuerpo de aluminio BODY por medio de una máquina de marcado laser, para realizar este marcado la estación de trabajo utiliza un robot industrial de tipo SCARA para tomar el PCB o BODY del palet y colocarlo en una base para que ingrese dentro de la cámara del láser, posteriormente a que la etiqueta fue grabada, el robot toma el producto y lo vuelve a colocar en el palet que está situado sobre la banda transportadora.

En la figura 69 se muestra el diagrama de flujo que emplea el PLC para realizar la secuencia de movimientos del robot y la activación del marcado laser.

Figura 69. Diagrama de flujo del ensamble en la estación FMS 216



Fuente: Elaborado por el autor

En el caso de esta estación el PLC debe manejar la secuencia de trabajo tanto del robot como de la máquina de marcado láser, para realizar esta labor el programa del robot SCARA se divide en dos grandes secciones para que al finalizar la primera secuencia el autómatas pueda iniciar con el ciclo de trabajo del láser y posteriormente retomar la segunda parte de la secuencia del robot. En la figura 70 se muestra el código utilizado para las secuencias de trabajo.

Figura 70. Código de funcionamiento del robot SCARA

```

1 | Programa para el robot FMS216
2 | Servo On 'enciende los servomotores
3 | Wait M_Svo=1 'espera a que los servomotores esten activos
4 | M_Out(7)=0 'desactivar vacio V+
5 | M_Out(8)=0 'desactivar vacio V-
6 | Wait M_In(8)=1 'espera instrucción de cycle start
7 | M_Out(4)=1 'señal hacia el PLC de Robot Assembling
8 | GoSub *Banda 'llamado a subrutina para insertar el producto desde el palet hacia el laser
9 | M_Out(4)=0 'señal hacia el PLC de Robot Assembling
10 | M_Out(5)=1 'señal hacia el PLC de END Cycle ← Finaliza primera secuencia
11 | Dly 1 'retardo 1seg
12 | M_Out(5)=0 'señal de cycle end
13 | Wait M_In(8)=1 'espera instrucción de cycle start ← Inicia segunda secuencia
14 | M_Out(6)=1 'señal hacia el PLC de Robot Extracting
15 | GoSub *Extraer 'llamado a subrutina para extraer el producto desde el laser hacia el palet
16 | M_Out(6)=0 'señal hacia el PLC de Robot Assembling
17 | M_Out(5)=1 'señal hacia el PLC de END Cycle
18 | Dly 1 'retardo 1 seg
19 | M_Out(5)=0 'señal hacia el PLC de END Cycle
20 | End
21 | .....

```

Fuente: Elaborado por el autor

Cuando la primera secuencia del código del robot finaliza, el PLC no apaga los motores servomotores debido a que la secuencia de encendido tarda varios segundos por lo que se optó por dejarlos encendidos en espera de que el láser finalice el marcado y que el robot pueda realizar la extracción del producto de una forma más eficiente.

Es importante mencionar que en esta estación el robot no hace distinción entre los dos productos, ya que los trata por igual debido a que realiza los mismos movimientos para ambos productos y el sistema de sujeción está adaptado para tomar ambos productos de la misma forma como se observa en la figura 71. Este sistema de sujeción está conformado por una herramienta que cuenta con una plataforma a la cual se le instalaron

8 ventosas de vacío, cuatro para manipular la tarjeta de circuito impreso y otras cuatro para sostener un cuerpo de aluminio.

Figura 71. Sistema de sujeción del robot SCARA



Fuente: Elaborado por el autor

La novedad en esta estación es el uso de la máquina de marcado láser, la cual utiliza diodo por fibra de Ytterbium, con una potencia de 10 W y una longitud de onda de 1064 nanómetros. La comunicación con el PLC se gestiona por medio de una unidad controladora que tiene integrado un puerto de entradas y salidas digitales. En la tabla 9 se muestran las señales de entrada y salida requeridas para realizar el marcado láser.

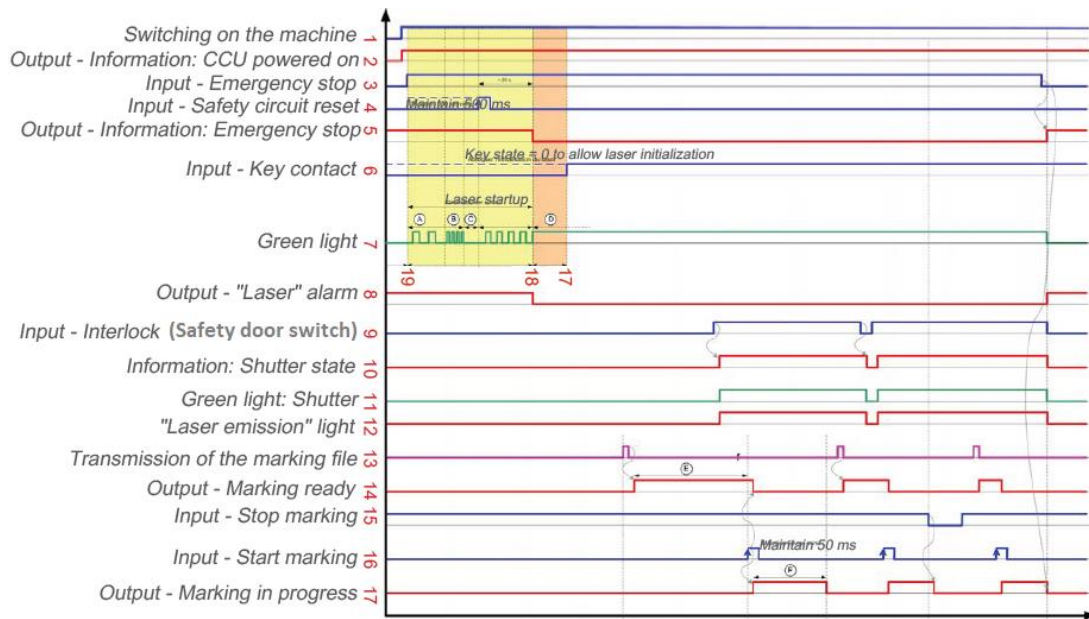
Tabla 9. Señales de entrada y salida del láser.

| Tipo de señal | Nombre | Comentario |
|---------------|----------------------------|--|
| Entradas | Laser_marking_stop | Señal para detener el marcado |
| | Laser_marking_start | Señal de iniciar el marcado |
| | Laser_shutter | Señal para abrir el obturador |
| | Laser_key | Señal de activación de llave maestra |
| | laser_safety_circuit_reset | Señal para reiniciar las alarmas |
| | Laser_user_input_1 | Señal de dirección de la imagen para etiqueta BODY |
| | Laser_user_input_2 | Señal de dirección de la imagen para etiqueta PCB |
| Salidas | Laser_Alarm_status | Láser en estado de alarma |
| | Laser_UC_ready_status | Señal de que el láser está preparado para marcar |
| | Laser_marking_in_progress | Láser en proceso de marcado |
| | Laser_shutter_status | Estado de apertura del obturador |

Fuente: Elaborado por el autor

Para determinar la secuencia correcta de encendido y marcado de la maquina láser es necesario referirse al manual de operación y mantenimiento del fabricante, en el cual se muestra el diagrama de tiempos de las señales de comunicación. En la figura 72 se muestra este diagrama.

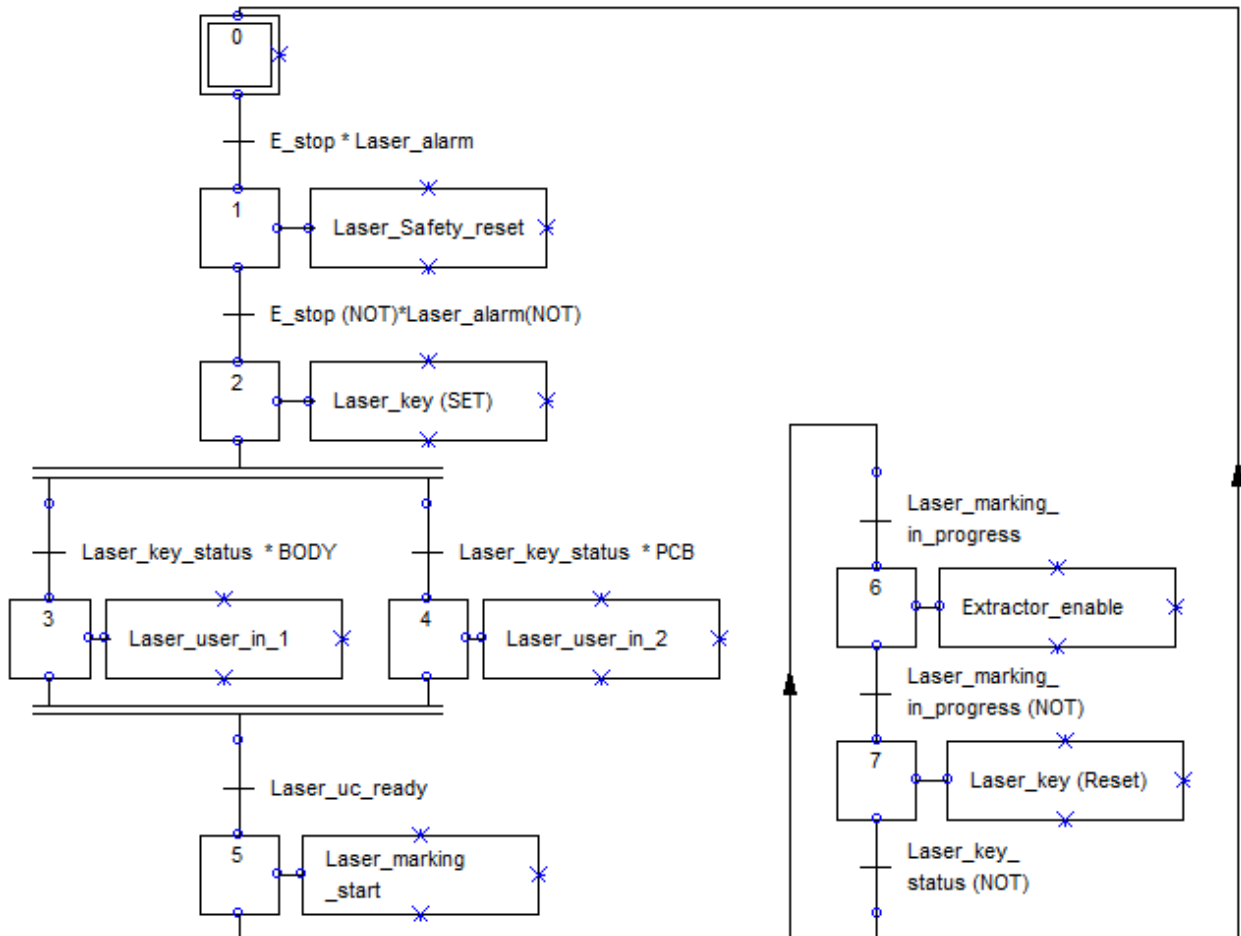
Figura 72. Diagrama de señales de comunicación del láser.



Fuente: GRAVOTECH. Operating and maintenance manual integration. Página 47.

Al interpretar el diagrama de señales se obtiene como resultado la secuencia de activación para la máquina de grabado láser, con esta información se confecciona un diagrama de control con etapas y transiciones que funcione como guía para la programación en el PLC.

Figura 73. Secuencia para máquina de marcado láser

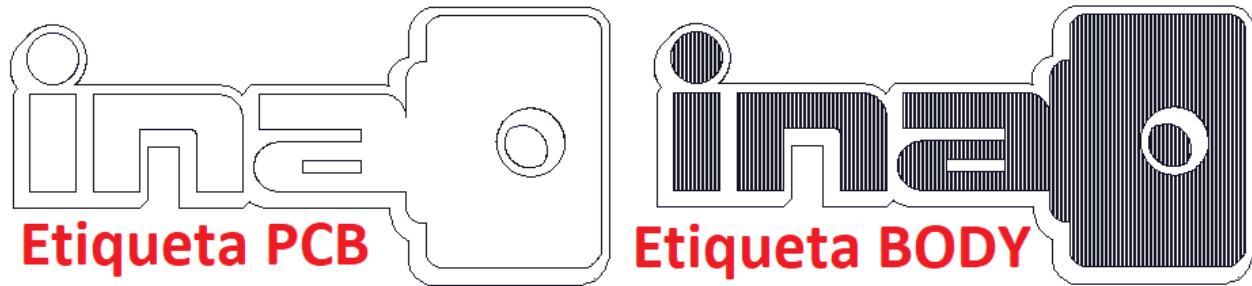


Fuente. Elaborado por el autor

Para la elaboración de las etiquetas que se deben grabar, se utiliza el programa Autodesk Inventor para crear el diseño de las mismas. Se diseñó una etiqueta para el cuerpo de aluminio con la imagen del INA y con las letras rellenas para que tengan el mayor

contorno posible; en el caso de la etiqueta para los PCB se utilizó también la imagen del INA, pero las letras no están rellenas debido a que eso provoca quemaduras en cobre y la calidad de la misma no es buena.

Figura 74. Etiquetas para grabado láser.



Fuente: Elaborado por el autor

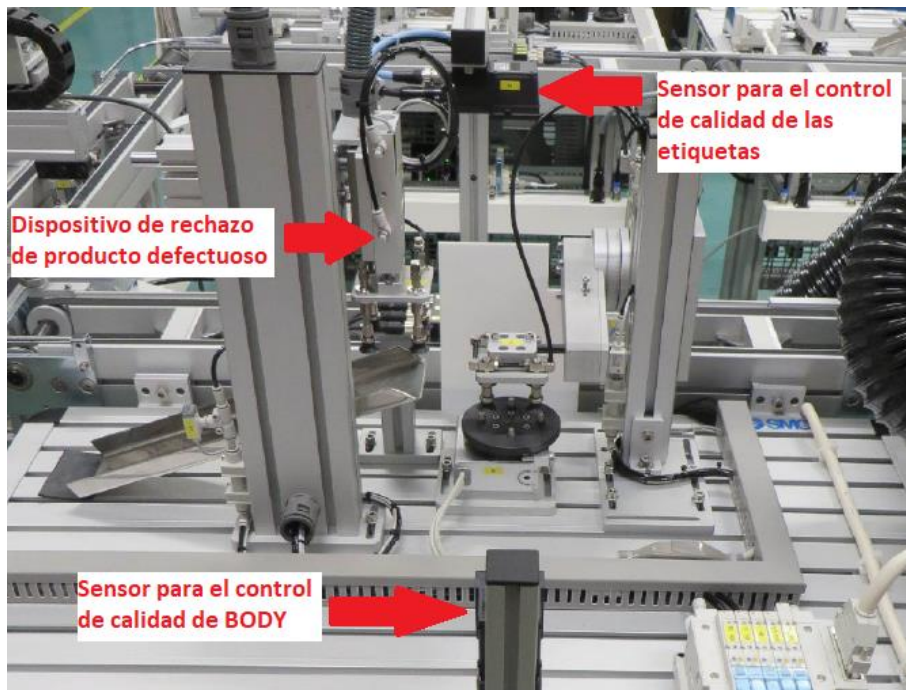
5.2.2.9 Estación FMS 211

Esta es la estación de control de calidad del producto ensamblado, para realizar este control se emplean dos sensores de visión artificial en el cual la primera de las cámaras se encuentra a la entrada de la estación, justo sobre la posición de parada en la banda transportadora, enfrente de la estación.

Esta será la primera posición de control y este sistema de visión artificial realizará una inspección en dicha posición, la cual se encarga de detectar si el proceso de marcado de la etiqueta se realizó de forma correcta, en el caso de que alguna de las etiquetas no coincida con la calidad requerida se almacena el dato en el sistema y si el producto que fallo es un PCB este se desecha en la estación FMS 208. La segunda posición de control se encuentra en el interior de la estación de trabajo, para lo cual se emplea un pistón

neumático giratorio que toma el BODY que se encuentra en el palet y lo traslada hasta una base donde se encuentra el segundo sensor de visión.

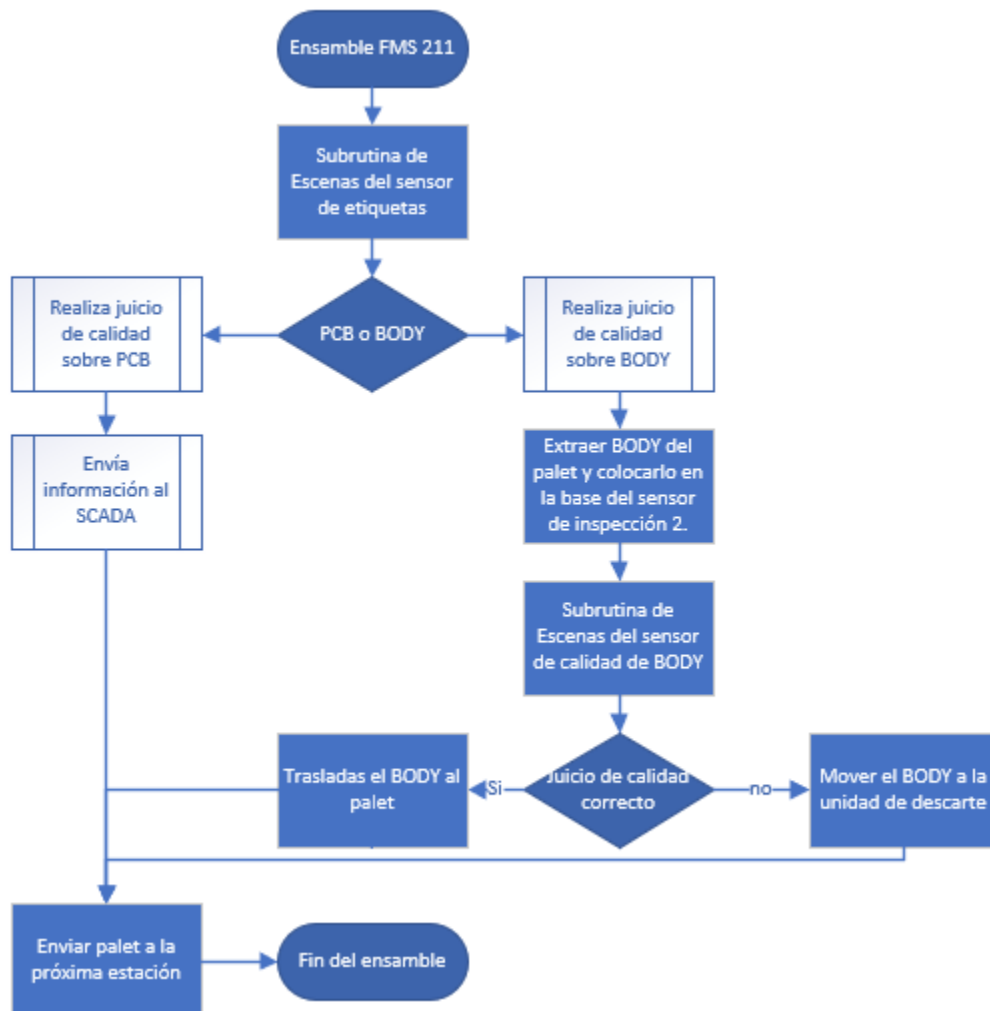
Figura 75. Estación de control de calidad



Fuente: Elaborado por el autor

En la segunda posición de control se realiza la inspección solamente del producto conformado por el cuerpo de aluminio, sobre el cual se verifican las características de la presencia, color y tamaño de la tapa; también se inspecciona la presencia y tipo de inserto, además se realizan mediciones de la altura del inserto para determinar el tipo de rodamiento que posee el producto. Si en alguna de las inspecciones alguno de los componentes no concuerda con las especificaciones solicitadas en el SCADA, el producto es rechazado y se envía el palet vacío a la siguiente estación.

Figura 76. Diagrama de la secuencia de trabajo de la estación FMS 211



Fuente: Elaborado por el autor

En la secuencia de ensamble que realiza el PLC se muestra que los sensores de visión requieren de una subrutina para que puedan ejecutar la función del control de calidad, dicha sección del programa se basa en la secuencia de la selección de la escena, posteriormente enviar la orden para que el sensor capture la imagen y devuelva el juicio como resultado de la escena seleccionada. El juicio se realiza internamente en el sensor

y regresa una señal eléctrica que identifica con un 1 lógico cuando el juicio es correcto o con un 0 cuando la imagen no supera el juicio de calidad de la escena seleccionada.

El control de las inspecciones se realiza por medio de una secuencia en la cual primero se le debe enviar al sensor la dirección de la escena que se desea seleccionar, posteriormente se activa una señal de confirmación de la escena seleccionada y se activa la señal de disparo (Trigger) para que el sensor haga la captura de la imagen; el sensor internamente realiza el juicio de la escena y devuelve el resultado por medio de la salida “OR”. Para realizar el control de las escenas se utiliza un contador ascendente que posee una frecuencia de 1Hz, con esto se logra que las escenas se vayan seleccionando una a la vez de forma automática por el PLC como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10. Selección de escenas para el sensor de visión

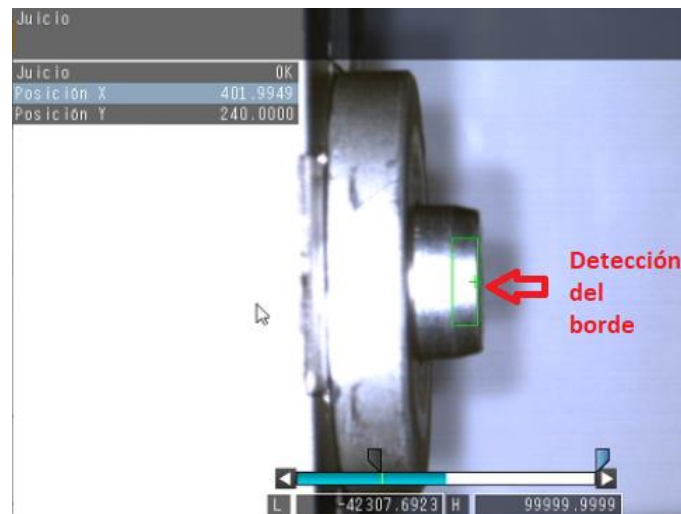
| Orden de selección | Valor del contador | Entradas de los sensores | | | | | Juicio |
|--------------------|--------------------|--------------------------|-------|-------|--------------|-----------|-------------------|
| | | Bit 0 | Bit 1 | Bit 2 | Confirmación | Capturar | |
| | | B_IN0 | B_IN1 | B_IN2 | B_IN5 | B_trigger | |
| Escena 0 | 0 | | | | x | | Roll bajo |
| Foto 0 | 1 | | | | | x | |
| Escena 1 | 2 | x | | | x | | Inserto negro |
| Foto 1 | 3 | | | | | x | |
| Escena 2 | 4 | | x | | x | | Tapa negra |
| Foto 2 | 5 | | | | | x | |
| Escena 3 | 6 | x | x | | x | | Tapa blanca |
| Foto 3 | 7 | | | | | x | |
| Escena 4 | 8 | | | x | x | | Tapa baja |
| Foto 4 | 9 | | | | | x | |
| Escena 5 | 10 | x | | x | x | | Tapa alta |
| Foto 5 | 11 | | | | | x | |
| Escena 6 | 12 | | x | x | x | | Inserto presente |
| Foto 6 | 13 | | | | | x | |
| Escena 7 | 14 | x | x | x | x | | Presencia de tapa |
| Foto 7 | 15 | | | | | x | |

Fuente: Elaborado por el autor

Los sensores de visión instalados son de la marca OMRON, los cuales solo permiten almacenar un máximo de 8 escenas en cada sensor, debido a esto la inspección que se realiza sobre el producto BODY se debe acondicionar de forma que se puedan determinar si están presentes todas las partes y que estas coincidan con el producto seleccionado.

En la escena 0 se busca la presencia de un rodamiento de tamaño bajo, para determinar esto en la captura se realiza la búsqueda del borde superior del inserto en una zona determinada que es resultante de sumar la altura del rodamiento más la altura del inserto, si el juicio es correcto, el PLC almacena esta información para que sea procesada posteriormente.

Figura 77. Escena 0 del sensor de calidad del BODY

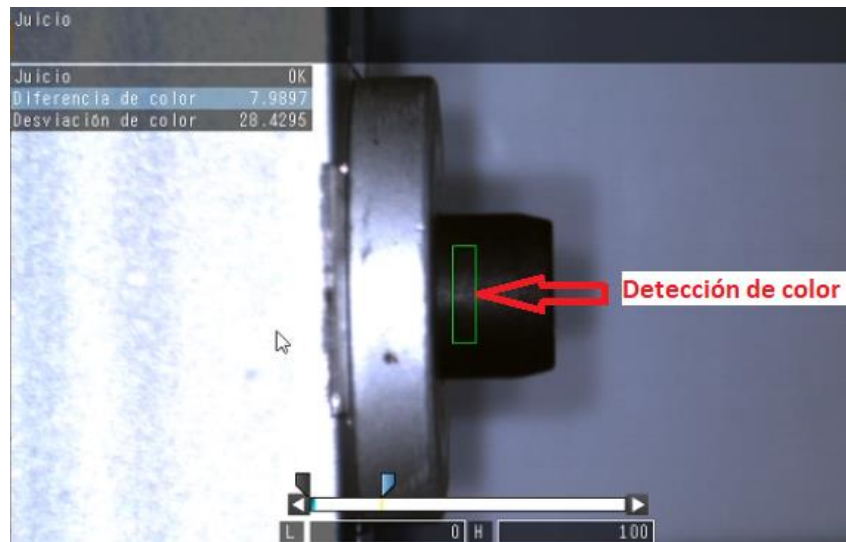


Fuente: Elaborado por el autor

En la escena 1 el objetivo es buscar si el inserto es de color negro, para esto lo que se realiza es una búsqueda de color en una zona específica y se verifica el nivel de concordancia del color encontrado contra el color de la muestra que fue almacenada en

la escena, con esta característica podemos determinar el tipo de inserto que se encuentra dentro del producto.

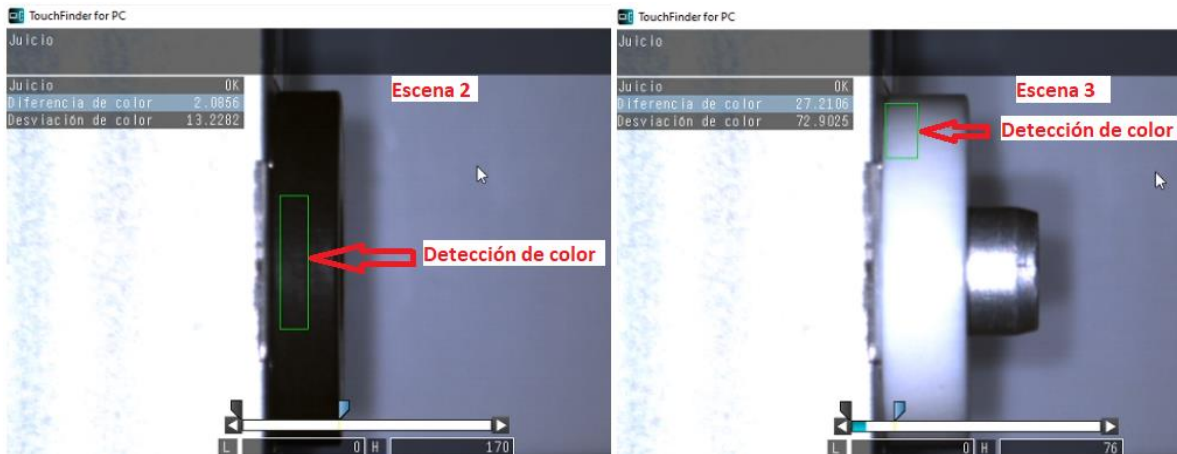
Figura 78. Escena 1 del sensor de calidad del BODY



Fuente: Elaborado por el autor

En la escena 2 del sensor de calidad para el producto BODY se realiza la búsqueda de una tapa de color de negro, al igual que en el caso anterior se ejecuta una detección de color en una zona específica para luego compararlo contra una muestra. En la escena 3 se utiliza el mismo método para buscar una tapa de color blanco, la diferencia radica en que para esta escena la muestra del color se realiza en una esquina de la tapa debido a que si se toma de frente tiene un nivel muy alto de concordancia con una tapa de aluminio debido a la iluminación de la cámara.

Figura 79. Escena 2 y 3 del sensor de calidad del BODY



Fuente: Elaborado por el autor

Para las escenas 4 y 5 lo que se busca es detectar el tamaño de la tapa, para esta inspección se ejecuta la búsqueda del borde superior de la tapa en dos zonas distintas, las cuales deben ser acordes al tamaño de la tapa que se está buscando. Para el caso de la escena 4 se busca el borde de una tapa baja y en la escena 5 se realiza la búsqueda de una tapa alta.

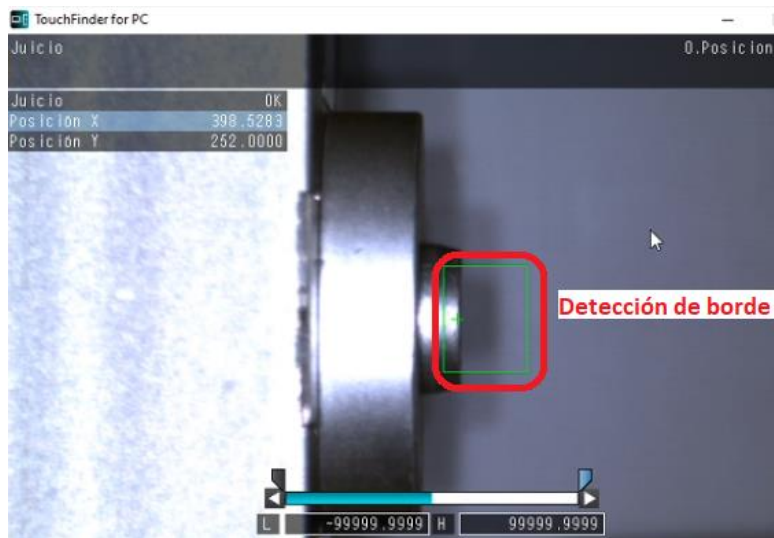
Figura 80. Escena 4 y 5 del sensor de calidad del BODY



Fuente: Elaborado por el autor

En la escena 6 se verifica la presencia de un inserto, para realizar esta acción en la captura se realiza la detección del borde en un área ampliada con respecto a la escena 0, ya que esta área debe ser capaz de compensar las dos alturas que muestran los insertos en presencia de un rodamiento alto o bajo.

Figura 81. Escena 6 del sensor de calidad del BODY



Fuente: Elaborado por el autor

En el caso de la escena 7, se ha programado el sensor para que la escena busque la presencia de una tapa sin importar el tamaño o al color. Para realizar este proceso se recurre a la detección del borde superior de la tapa en un área ampliada, ya que debe contemplar las dos alturas de tapa que existen.

Figura 82. Escena 7 del sensor de calidad del BODY



Fuente: Elaborado por el autor

Una vez que se han ejecutado todas las escenas para este sensor, el PLC procede con el análisis de los datos para determinar las piezas presentes en el producto inspeccionado; la combinación del juicio de dos o más escenas son las que producen un escenario completo para determinar si el producto presente concuerda con las características solicitadas. En la tabla 11 se muestra un resumen de las escenas y el producto final que se logra conseguir con todas las inspecciones presentes.

Tabla 11. Tipo de Pieza resultante de las escenas

| Escena 0 | Escena 1 | Escena 2 | Escena 3 | Escena 4 | Escena 5 | Escena 6 | Escena 7 | Tipo de pieza Resultante |
|-----------|---------------|------------|-------------|-----------|-----------|------------------|-------------------|--------------------------|
| Roll bajo | Inserto negro | Tapa negra | Tapa blanca | Tapa baja | Tapa alta | Inserto presente | Presencia de tapa | |
| Positivo | | | | | | Positivo | | Rodamiento Bajo |
| Negativo | | | | | | Positivo | | Rodamiento Alto |
| | Negativo | | | | | Positivo | | Inserto de Aluminio |

| Escena 0 | Escena1 | Escena 2 | Escena 3 | Escena 4 | Escena 5 | Escena 6 | Escena 7 | Tipo de pieza Resultante |
|-----------|---------------|------------|-------------|-----------|-----------|------------------|-------------------|--------------------------|
| Roll bajo | Inserto negro | Tapa negra | Tapa blanca | Tapa baja | Tapa alta | Inserto presente | Presencia de tapa | |
| | Positivo | | | | | Positivo | | Inserto de plástico |
| | | Negativo | Negativo | Positivo | | | Positivo | Tapa de Aluminio Baja |
| | | Negativo | Negativo | | Positivo | | Positivo | Tapa de Aluminio Alta |
| | | | Positivo | Positivo | | | Positivo | Tapa Blanca Baja |
| | | | Positivo | | Positivo | | Positivo | Tapa Blanca Alta |
| | | Positivo | | Positivo | | | Positivo | Tapa Negra Baja |
| | | Positivo | | | Positivo | | Positivo | Tapa Negra Alta |

Fuente: Elaborado por el autor

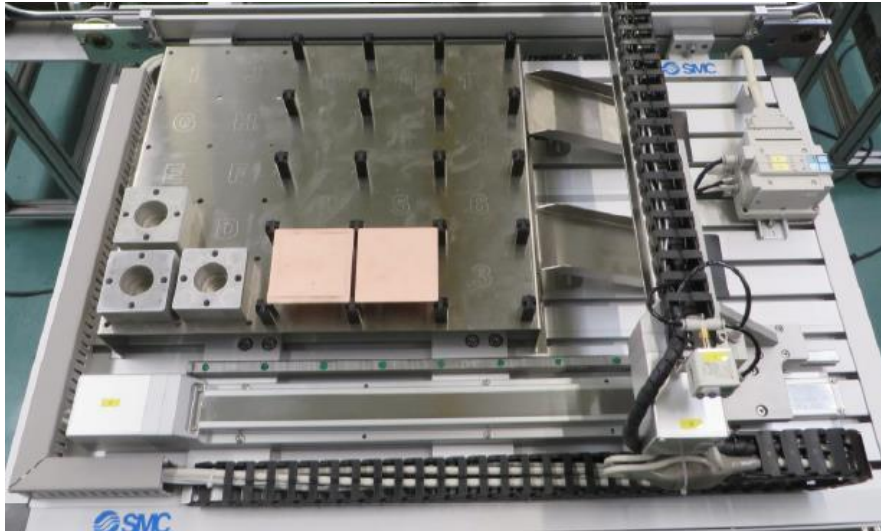
5.2.2.10 Estación FMS 208

Una de las operaciones siempre presentes en los sistemas flexibles de fabricación y montaje, donde todas las operaciones se llevan a cabo de forma automática, es la de almacenaje. Una vez que la tarjeta de circuito impreso PCB o el BODY ha sido fabricado a través de las diferentes estaciones y superado el control de calidad, en esta última de las estaciones ha de ser extraído del sistema de transporte. De esta forma el palet ya vacío puede direccionarse hacia la primera de las estaciones, comenzando el montaje de un nuevo producto.

Este almacén de productos terminados ha sido construido con un robot mediante un sistema basado en dos ejes de coordenadas eléctricos más un tercer eje vertical de coordenadas neumático. La superficie total de la mesa que constituye la estación está dividida en dos partes: una asignada para los BODY que corresponde a la parte izquierda del almacén y lo forman 10 posiciones de producto que están marcadas con las letras de

la A hasta J, la otra sección está asignada para las tarjetas de circuito impreso mecanizadas y marcadas que corresponde a la parte derecha del almacén y lo forman 12 posiciones que están etiquetadas con los números del 1 al 12.

Figura 83. Estación FMS 208.

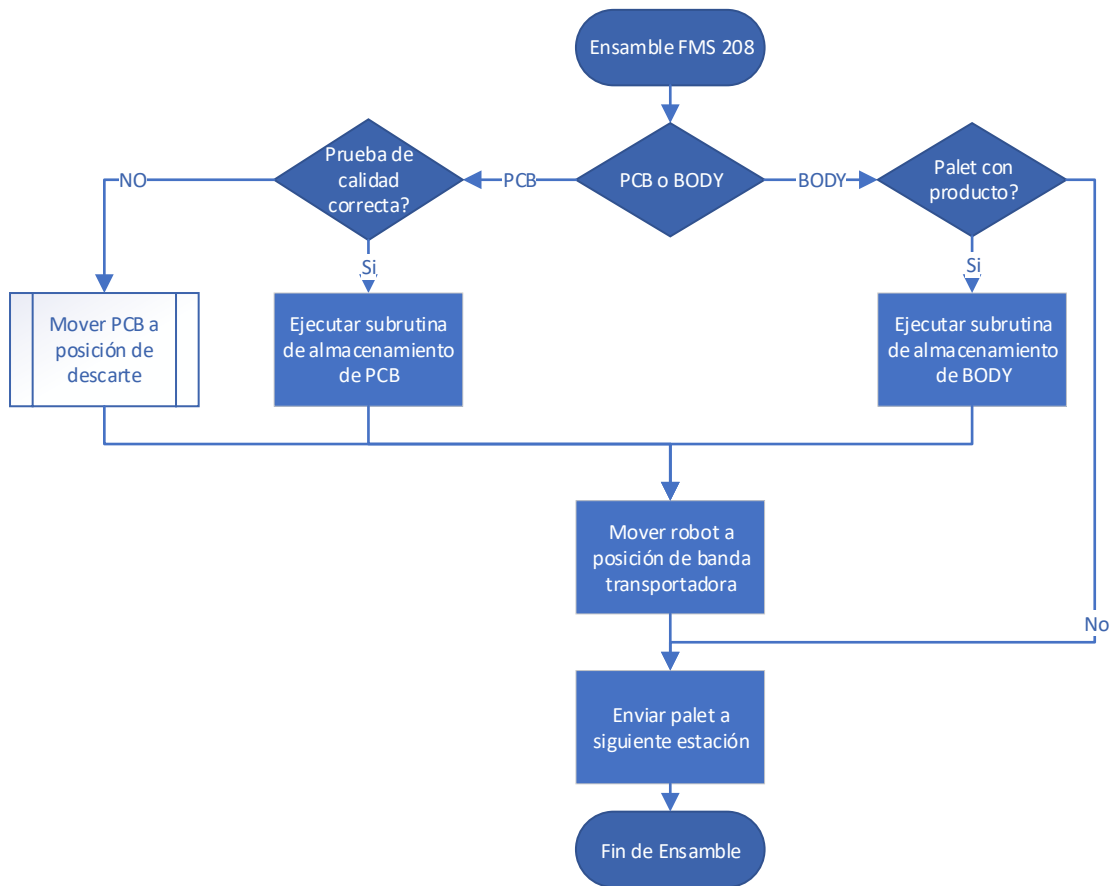


Fuente: Elaborado por el autor

La estación también dispone de dos rampas de salida, la primera de las rampas que es la más próxima a la banda transportadora está asignada para las tarjetas de circuito impreso PCB que fallaron la prueba de control de calidad y deben ser desechadas; la segunda rampa que se encuentra más cerca del panel frontal de la estación esta libre para su uso como salida de producto.

Para el control de esta estación de trabajo, el PLC debe trabajar con dos servomotores en paralelo, cada uno de ellos cuenta con una controladora que requiera de señales eléctricas para comunicarse con el autómat, de esta forma se le pueden enviar las instrucciones para que se posicione en las coordenadas asignadas a cada producto.

Figura 84. Diagrama de flujo para el almacenamiento de los productos



Fuente: Elaborado por el autor

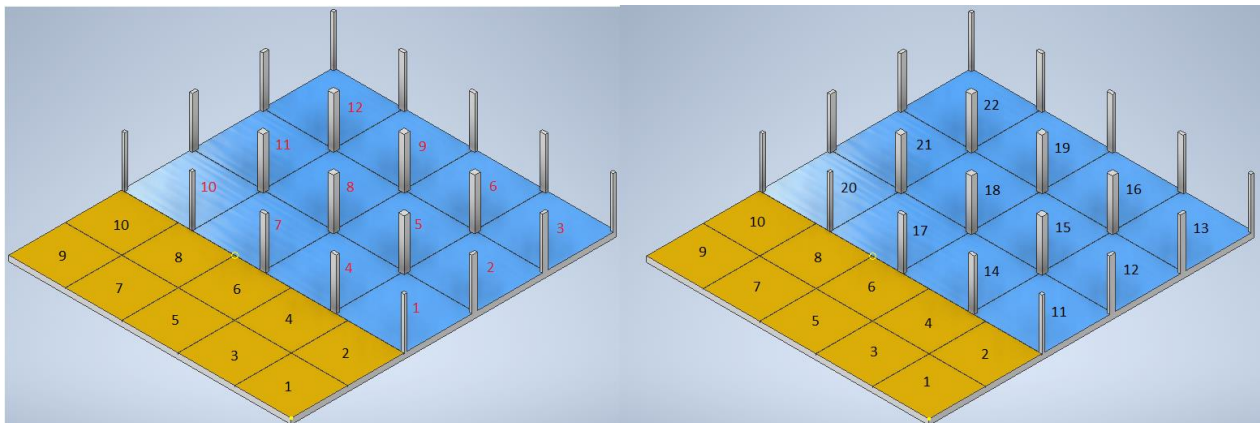
En el diagrama de flujo se muestra que el autómatas debe realizar unas subrutinas para el almacenamiento tanto de los PCB como de los BODY, en estas secciones de código lo que se realiza es la asignación de las posiciones que van a ocupar los productos. El posicionamiento se define por medio de un contador que se va incrementando con cada pieza que llega al almacén, de esta forma los productos se guardan por orden de llegada y según el tipo de ensamble.

Como se mencionó anteriormente, para el producto BODY el fabricante de las estaciones de trabajo asignó solamente 10 espacios de almacenamiento, sin embargo, según las

pruebas realizadas los espacios asignados para las tarjetas de circuito impreso también se pueden emplear para el almacenaje de los BODY ya que estos espacios tienen un área superior comparados con las zonas dedicadas para los BODY. De esta forma al utilizar los espacios de los PCB se puede ampliar la capacidad de almacenamiento de los cuerpos de aluminio hasta un máximo de 22 piezas, brindándole una mayor capacidad de producción continua al sistema en caso de ser requerido.

En la siguiente figura se muestra del lado izquierdo la distribución actual de los espacios en el almacén y del lado derecho la distribución ampliada para una capacidad de 22 piezas BODY.

Figura 85. Distribución de los espacios en el almacén



Fuente: Elaborado por el autor

Para el control de los servomotores se debe ejecutar una secuencia específica de señales de comunicación entre el PLC y la unidad controladora de cada uno de los servos, debido a que las dos controladoras son iguales solo se analizará el funcionamiento de una de ellas. En la siguiente tabla se muestran las señales de comunicación que están cableadas entre el autómatas y el servomotor.

Tabla 12. Señales de comunicación de los servomotores

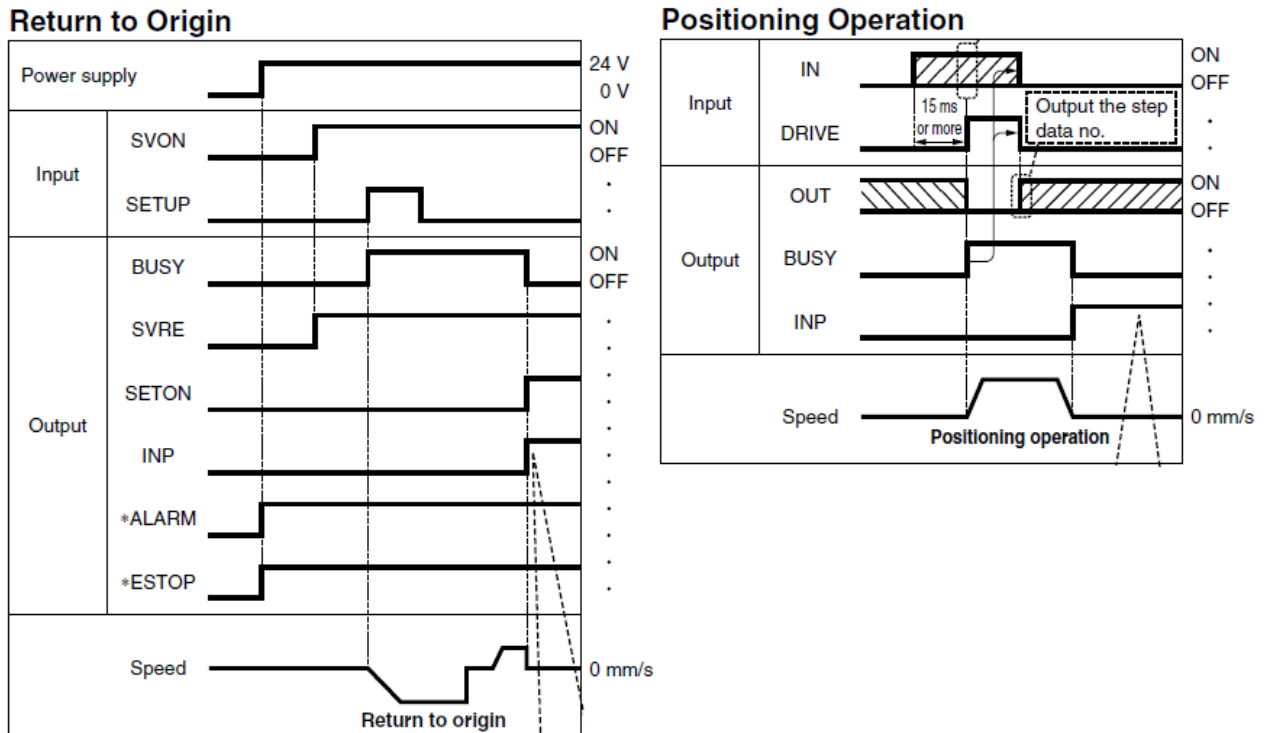
| Tipo de señal | Nombre | Comentario |
|-----------------|---------|---|
| Entradas | Y_IN0 | Entrada de dirección 0 |
| | Y_IN1 | Entrada de dirección 1 |
| | Y_IN2 | Entrada de dirección 2 |
| | Y_IN3 | Entrada de dirección 3 |
| | Y_SETUP | Señal para mover el servo hacia el origen |
| | Y_DRIVE | Señal para que el servo que mueva a la dirección asignada |
| | Y_SVON | Encender los servomotores |
| Salidas | Y_Busy | Servomotores en movimiento |
| | Y_SETON | Posición de origen alcanzada |
| | Y_ALARM | Señal de alarma |
| | Y_ESTOP | Señal de paro de emergencia |

Fuente: Elaborado por el autor

Esta secuencia de comunicación se encuentra definida en el manual del fabricante, en donde se tienen dos instrucciones principales, la primera es la secuencia para realizar la calibración del servomotor que se realiza al enviarlo a la posición de origen; la segunda instrucción es para que el servomotor se mueva a un número de posición que ya fue almacenada previamente en el controlador.

En la figura 86 se muestran los diagramas de tiempos para las secuencias de activación de los movimientos en el servomotor.

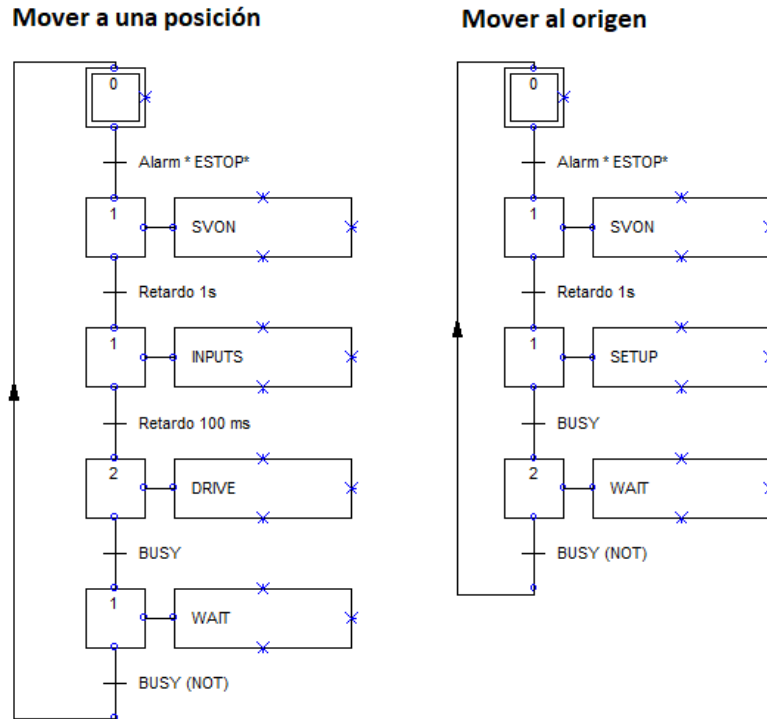
Figura 86. Diagrama de tiempos de las señales de comunicación de los servomotores.



Fuente: SMC International. Manual de servicio. Página 76

Al interpretar el diagrama de señales se obtiene como resultado la secuencia de activación para los servomotores, con esta información se confecciona un diagrama de control con etapas y transiciones que funcione como guía para la programación en el PLC de la secuencia de trabajo de la controladora.

Figura 87. Diagrama de control de los servomotores

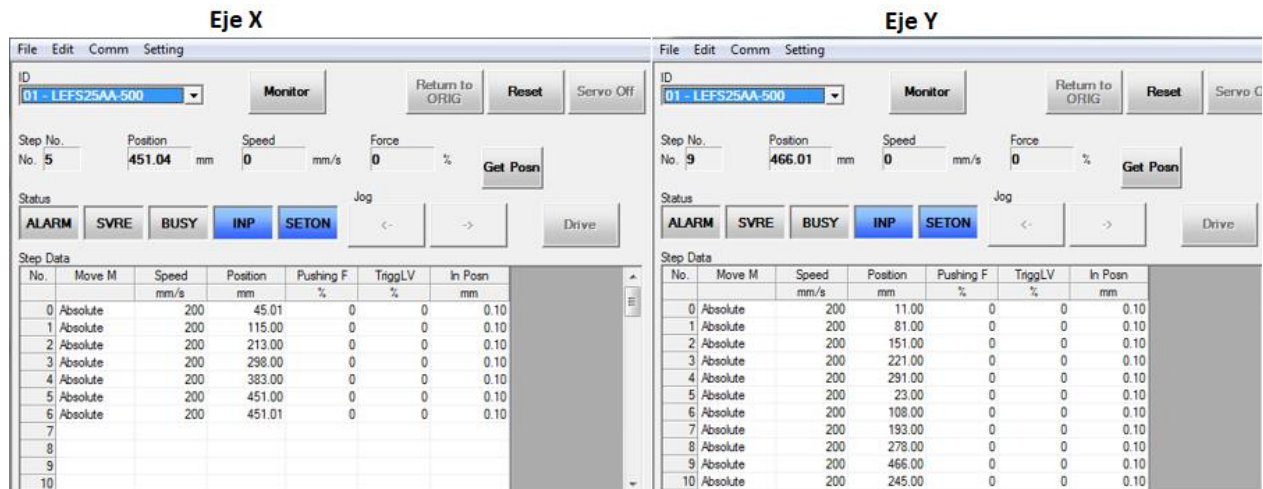


Fuente: Elaborado por el autor

Para almacenar los puntos en la controladora de los servomotores, es necesario hacer uso del software *ACT Controller* del fabricante SMC International. En el cual los servomotores se pueden mover hasta la posición deseada e indicarle al programa que debe guardar, a cada posición que se almacena se le asigna un número que funciona como dirección. Posteriormente desde el autómata cuando se desea mover el servomotor a una ubicación en específico se le envía la dirección por medio de un código binario a las entradas de comunicación.

En la figura 88 se muestra el software para configurar los servomotores, en la imagen de la derecha están las posiciones asignadas al servomotor que controla el eje X y a la izquierda las posiciones asignadas al del eje Y.

Figura 88. Posiciones de memoria de los servomotores



Fuente: Elaborado por el autor

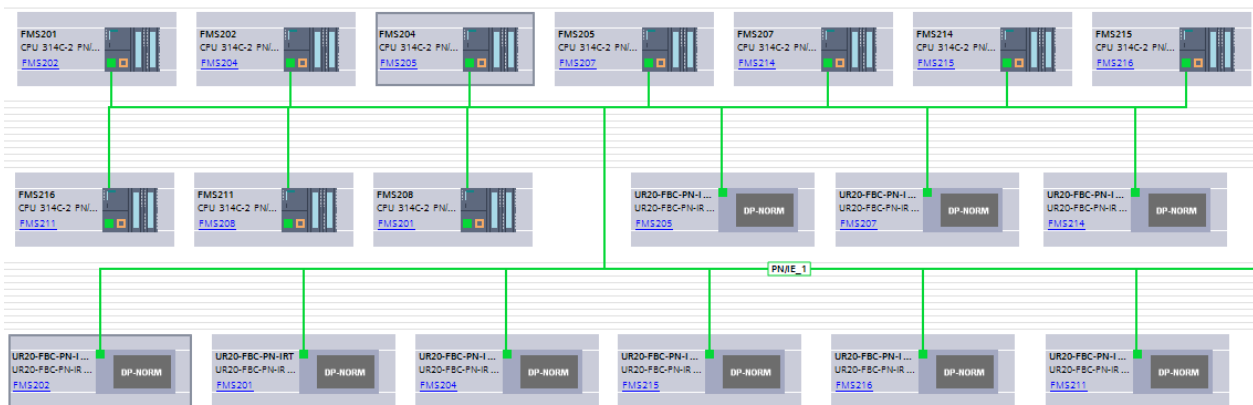
5.2.3 Etapa de comunicación

Como se mencionó anteriormente, cada una de las estaciones de trabajo cuenta con un PLC, el cual viene provisto con dos puertos de comunicación Ethernet y trabaja bajo el protocolo PROFINET, el cual (SIEMENS, 2020) define de la siguiente manera:

“PROFINET es una red universal para la transmisión y el transporte de todos los datos de proceso necesarios, como datos de I/O, seguridad y diagnóstico, pero también datos de usuario para el registro de datos de energía, control de calidad y otros datos de TCP/IP. Para la integración vertical del nivel de automatización a sistemas de nivel superior (como los sistemas SCADA) o para la comunicación horizontal entre diferentes componentes de la planta, OPC UA se puede usar fácilmente en la misma red. PROFINET facilita la comunicación fluida de productos de varios fabricantes basados en la norma PROFINET (IEC 61158/61784).”

Debido a que los PLC manejan un protocolo de comunicación PROFINET solo pueden comunicarse con los módulos de entradas y salidas remotos ya que estos tienen soporte para este protocolo. De esta forma es que se estableció que la comunicación que deben tener entre estaciones de trabajo se hará por medio de este protocolo, en el formato de Controlador I/O y I-Device (Maestro - Esclavo).

Figura 89. Red de PLC y módulos I/O remotos



Fuente: laborado por el autor

En la comunicación PROFINET permitida por el autómatas programable, solicita que se establezca quien es el Controlador I/O que maneja el uso de los datos, de esta forma se define que el controlador de la estación FMS 201 será la próxima estación FMS 202 y este caso se repite en todas las demás estaciones, de forma que la comunicación queda establecida como red en anillo. Esta red se emplea para enviar varios paquetes de información necesaria para que todas las estaciones de trabajo puedan ensamblar el mismo producto, recibir instrucciones generales enviadas por el SCADA y conocer el estado de la próxima estación.

Figura 90. Configuración de la comunicación PROFINET

Modo de operación

Controlador IO

Sistema IO: PROFINETIO-System (100)

Número del dispositivo: 0

Dispositivo IO

Controlador IO asignado: FMS202.Interfaz PROFINET_1 **Definición del controlador**

Parametrización de la interfaz PN por el controlador IO de nivel superior

Arranque preferente

Número del dispositivo: 2

> Comunicación de I-device

Áreas de transferencia

| ... | Área de transferencia | Tipo | Dirección en el con... | ↔ Dirección en el I-De.. | Longitud |
|-----|-----------------------|------|------------------------|--------------------------|----------|
| 1 | Read_next_station | CD | Q 20 | → I 20 | 1 Byte |
| 2 | Write_next_station | CD | I 30 | ← Q 30 | 1 Byte |
| 3 | Palets_info | CD | I 40...47 | ← Q 40...47 | 8 Byte |
| 4 | Info_SCADA-PLC | CD | I 50...53 | ← Q 50...53 | 4 Byte |

Bytes de información

Fuente: Elaborado por el autor

En la imagen anterior se muestran los bytes de información que se intercambian entre los PLC, esta información se transfiere de un autómata a otro iniciando en la estación FMS 201 que es la encargada de definir el tipo de producto que se transporta en cada palet y finaliza en la estación FMS 208.

En la tabla 13 se muestra el detalle de la información que se envía por la red de los autómatas.

Tabla 13. Bytes de información de la red PROFINET

| Bytes de información por la red PROFINET | | |
|--|-----------|---|
| Nombre | Dirección | Contenido |
| Read_next_station | I20 | Estado de la próxima estación |
| Write_next_station | Q30 | Estado de la estación |
| Palets_info | Q40 | Información de producto ensamblado en palet 0 |
| | Q41 | Información de producto ensamblado en palet 1 |
| | Q42 | Información de producto ensamblado en palet 2 |
| | Q43 | Información de producto ensamblado en palet 3 |
| | Q44 | Información de producto ensamblado en palet 4 |
| | Q45 | Información de producto ensamblado en palet 5 |
| | Q46 | Información de producto ensamblado en palet 6 |
| | Q47 | Información de producto ensamblado en palet 7 |
| Info_SCADA-PLC | Q50 | Información del SCADA |
| | Q51 | Tipo de producto |
| | Q52 | Cantidad de producto BODY |
| | Q53 | Cantidad de producto PCB |

Fuente: Elaborado por el autor

Debido a que la interfaz de control y supervisión está diseñada con el software LabVIEW el cual solo tiene soporte nativo para el protocolo MODBUS, es que se debe implementar una etapa de comunicación por medio de un protocolo llamado OPC, el cual (Kepware, 2019) lo define de la siguiente manera:

“OPC es una tecnología de comunicación de estándar abierto con una arquitectura de cliente y servidor. Una aplicación actúa de servidor proporcionando datos y otra actúa como cliente leyéndolos o manipulándolos.

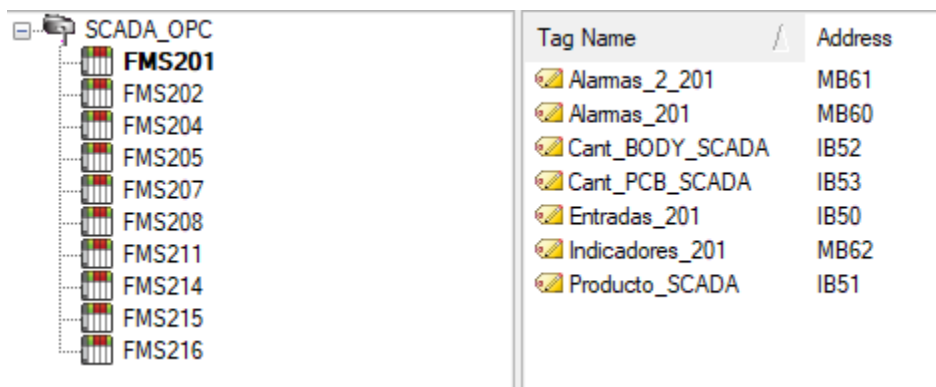
OPC es, con mucha diferencia, la tecnología de comunicación industrial estándar. Ello permite el intercambio de información entre múltiples dispositivos y aplicaciones de control sin restricciones o límites impuestos por los fabricantes. Un servidor OPC puede estar comunicándose continuamente con el PLC de campo, RTU, estaciones HMI u otras

aplicaciones. Aunque el hardware y el software provengan de diferentes marcas comerciales, el cumplimiento del estándar OPC posibilita la comunicación continua en tiempo real.”

Esta etapa de comunicación permite que el SCADA se pueda comunicar con todos los PLC, haciendo que todo el sistema se pueda comportar como una sola célula productiva debido a que el sistema de control y supervisión concentra el estado de todas las estaciones y su información.

La información que se envía a través del servidor OPC, se divide por cada estación de trabajo, en la cual la mayor cantidad de datos se transfieren a la estación FMS 201 ya que esta envía el tipo de producto y las cantidades a ensamblar vía PROFINET a las demás estaciones, por lo cual no se requiere que los datos se envíen desde el SCADA a los otros autómatas. En la figura 91 se muestra la comunicación establecida entre la estación FMS 201 y el SCADA.

Figura 91. Comunicación entre servidor OPC y SCADA



| Tag Name | Address |
|-----------------|---------|
| Alamas_2_201 | MB61 |
| Alamas_201 | MB60 |
| Cant_BODY_SCADA | IB52 |
| Cant_PCB_SCADA | IB53 |
| Entradas_201 | IB50 |
| Indicadores_201 | MB62 |
| Producto_SCADA | IB51 |

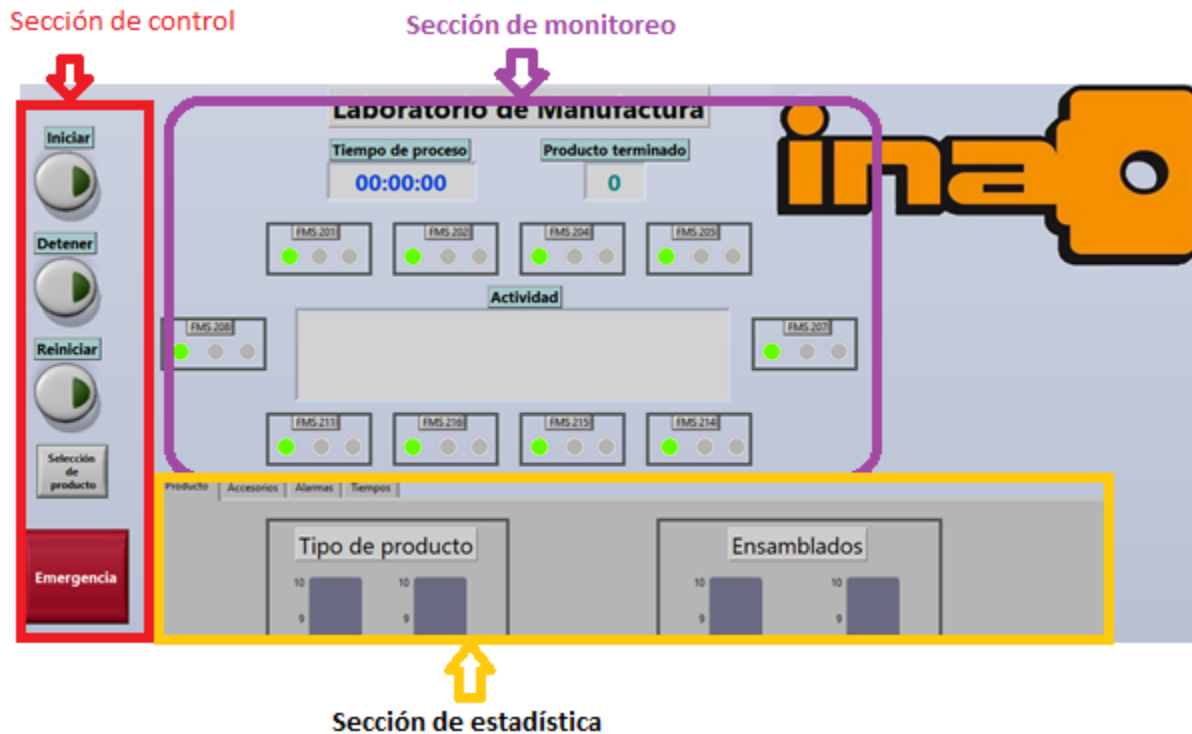
Fuente: Elaborado por el autor

Los bytes correspondientes al estado de la estación de trabajo se envían de forma individual desde cada una de las estaciones hacia el SCADA en formato de dos Bytes de información llamados “Alarmas”, además se incluye un tercer byte de información que comunica el estado de operación actual y bits específicos para el registro de los tiempos de producción que serán almacenados en la base de datos. Los bytes de información correspondientes a las alarmas e indicadores se detallan en el apéndice 8A.

5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA SCADA

En esta etapa es donde se implementa el sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA), el cual tiene la capacidad de supervisar y controlar los principales procesos que se están realizando dentro de la célula de manufactura, esto implica que el usuario desde una interfaz hombre-máquina (HMI, Human-Machine interface) puede iniciar o detener el proceso productivo, así como seleccionar el tipo y cantidad de producto que se desea procesar. En la figura 92 se muestra la ventana principal de la interfaz de usuario.

Figura 92. Ventana principal de la interfaz de usuario



Fuente: Elaborado por el autor

5.3.1 Sección de control

En la figura anterior se observa la pantalla principal del sistema de monitoreo y supervisión del laboratorio de manufactura integrado, en esta pantalla se encuentran del lado izquierdo los controles relacionados con la operación de las estaciones de trabajo. Dentro de estos controles se encuentra el botón de “Iniciar”, el cual permite enviar la orden de arranque para que las estaciones de trabajo empiecen la operación de ensamble. Si el usuario no ha seleccionado un producto previo a esta orden, la pantalla despliega un mensaje emergente indicando al operador que se debe seleccionar un producto.

El siguiente de los controles de operación que se puede encontrar es el botón de “Detener”, el mismo envía una orden a todas las estaciones de trabajo para que al finalizar el ensamble de la pieza que se está ejecutando finalice el proceso de armado, a pesar de que no se haya procesado el total de piezas seleccionado en el SCADA.

Otro de los controles es el botón de “Reiniciar”, el cual permite al operador restablecer la operación de las estaciones de trabajo en el caso de que alguna o todas las estaciones se encuentren en estado de error.

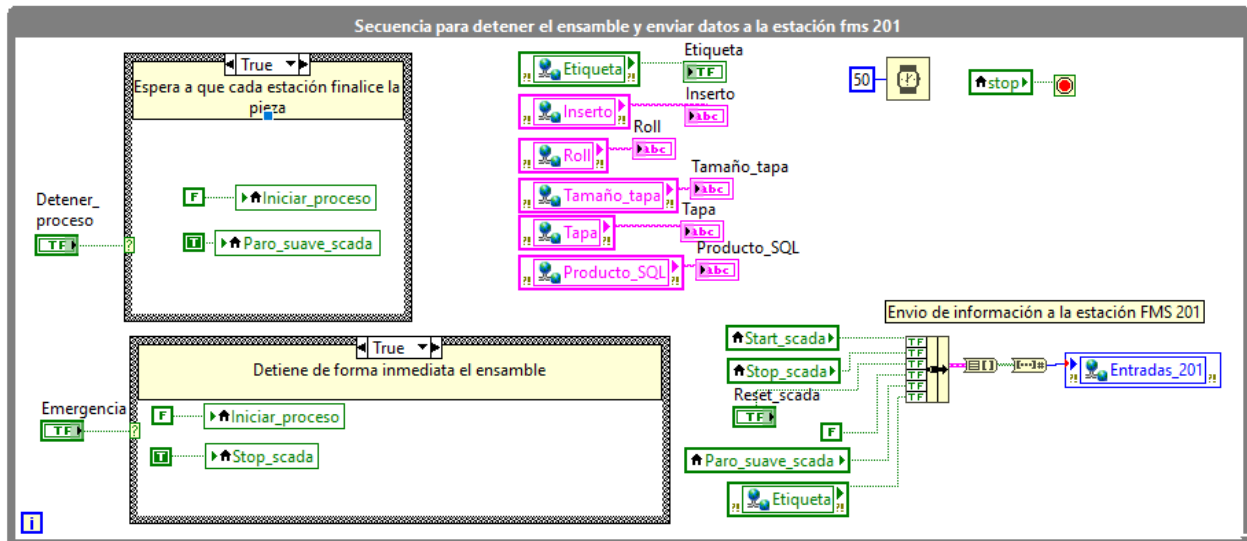
Continuando con la sección de controles, se encuentra el botón de “Emergencia”, el cual envía una orden para que todas las estaciones se detengan de forma inmediata sin importar el proceso que se esté realizando. Mientras este botón se encuentre en estado activo, la pantalla principal despliega un aviso de que el sistema está en “Paro de emergencia”. Para recuperar el estado activo de las estaciones de trabajo se debe desactivar el botón y pulsar “Reinicio” para que las estaciones puedan seguir ensamblando.

Otro de los botones que se encuentran en esta sección se llama “Apagar” y permite al usuario finalizar el proceso de ejecución de la interfaz de usuario. Al presionar este botón, el sistema despliega un aviso para confirmar si se desea salir de la pantalla de monitoreo, esto con el propósito de verificar si el operador realmente desea salir o por el contrario se presionó el botón por error.

En la figura 93 se muestra la sección de código encargada de realizar las acciones correspondientes a los botones de la sección de control que se describió en los capítulos anteriores, además este bucle se encarga de enviar la información de control hacia la

estación FMS 201, que a su vez la prolifera a todas las estaciones por medio de la red PROFINET.

Figura 93. Sección de código encargada de los botones de control del SCADA



Fuente: Elaborado por el autor

5.3.1.1 Sección de selección de producto.

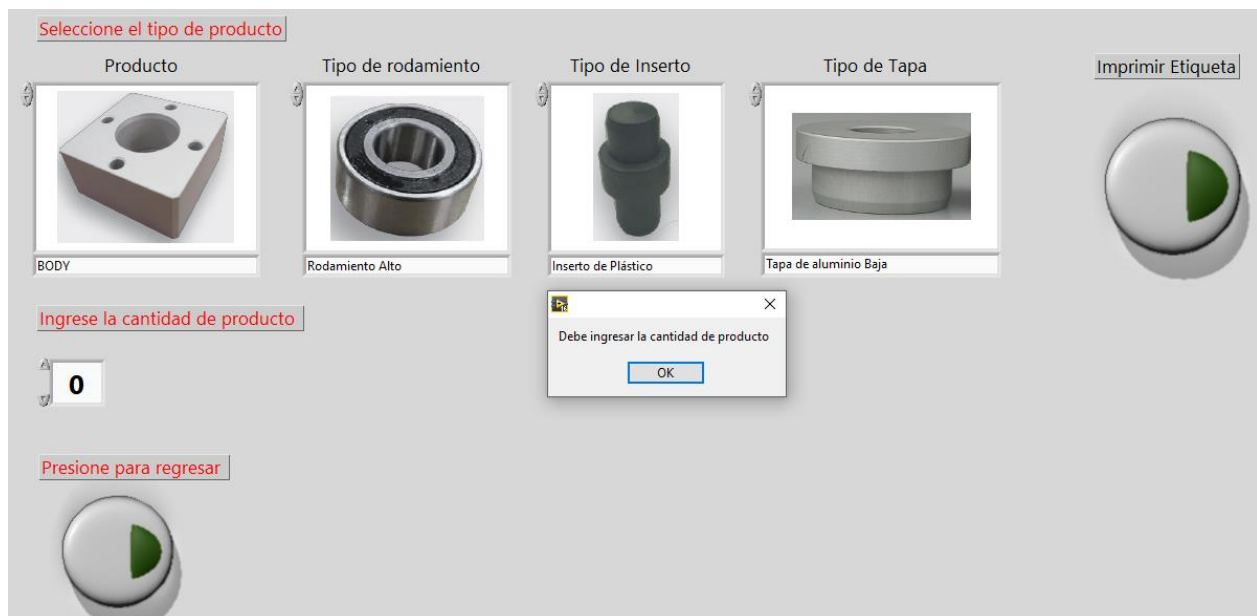
El control llamado “Selección de producto” despliega una pantalla que permite la selección del producto a ensamblar, esta pantalla esta provista por selectores que muestran tanto la imagen de las piezas como su nombre, de esta forma se evita que el usuario pueda confundir el tipo de producto que desea producir. También posee un selector que permite ingresar la cantidad de piezas a procesar.

En el caso de que el operador seleccione el producto de tipo PCB, el sistema deshabilita la posibilidad de seleccionar otras piezas como los rodamientos, insertos o tapas debido a que el PCB no admite este tipo de complementos. De igual forma en el caso de que el usuario no ingrese la cantidad mínima de una pieza, el sistema despliega un aviso

indicando que no se ha ingresado la información referente a la cantidad de piezas a ensamblar.

La célula de manufactura esta provista de un láser que permite realizar el marcado de una etiqueta en los productos que se ensamblan, sin embargo en esta pantalla se encuentran un botón que fue diseñado para indicarle al sistema si se desea que esta etiqueta sea grabada en los productos o se omite este proceso, esto debido a que en ocasiones el usuario no desea que se realice este marcaje ya que el mismo no es reversible y genera un consumo excesivo de algunos materiales; al mismo tiempo también se omite la revisión de esta etiqueta en la estación de control de calidad FMS 211. En la figura siguiente se muestra la pantalla para la selección del tipo de producto.

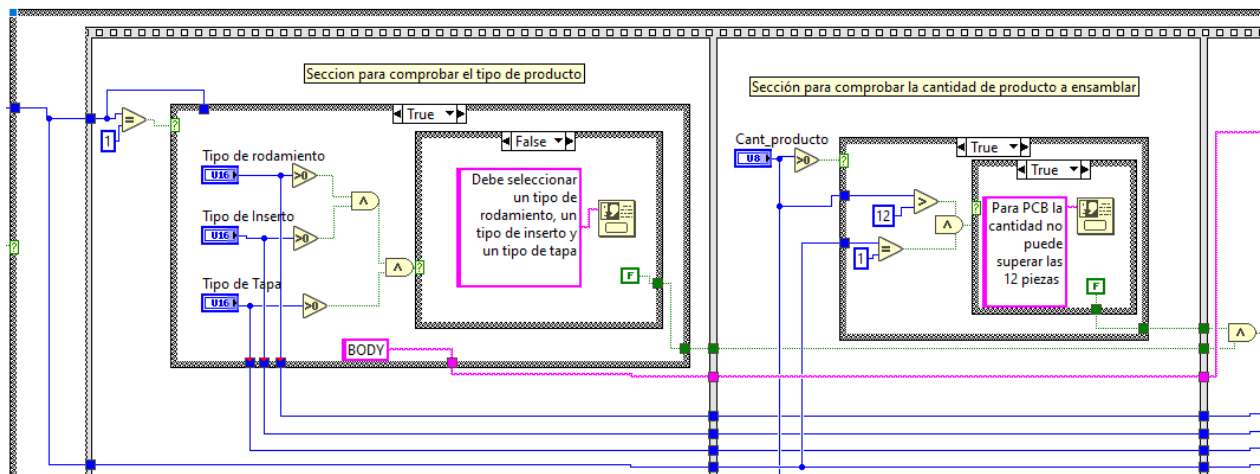
Figura 94. Pantalla para la selección del producto.



Fuente: Elaborado por el autor.

En la figura 95 se muestra un segmento del código que controla la pantalla del menú de producto, en esta sección se observa el proceso de verifica si el producto y la cantidad a procesar se ingresaron de forma correcta o de lo contrario se muestra una ventana de ayuda al usuario.

Figura 95. Sección de código del menú de producto.



Fuente: Elaborado por el autor

5.3.2 Sección de monitoreo.

En la parte central de la pantalla se encuentra la sección de monitoreo, que posee tres luces indicadoras por cada una de las estaciones de trabajo, una luz verde que indica cuando la estación está en funcionamiento normal, un indicador amarillo que se enciende de forma pulsante cuando la estación está detenida a causa de una alarma de error en alguno de los dispositivos. El tercer indicador es una luz roja que se enciende cuando se presiona el botón de paro de emergencia en la estación de trabajo.

Junto a cada juego de luces se encuentra un botón que indica el nombre de la estación de trabajo al cual está asociado, al presionarlo se despliega una pantalla que corresponde

a dicha estación. En esta pantalla se observa la información del estado de funcionamiento, así como las alarmas activas, el tiempo de ensamble general, el número de piezas procesadas por producto, el tiempo promedio de armado por cada pieza, y un control de pestañas donde se muestra información estadística como las alarmas o cantidades de producto procesado, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 96. Pantalla de la estación FMS 201



Fuente: Elaborado por el autor

En esta sección de monitoreo también se encuentra un espacio de información que muestra el estado general del proceso y a su vez se emplea para mostrar un mensaje de alerta en el caso de que una de las estaciones se encuentre detenida por una alarma como se observa en la siguiente figura.

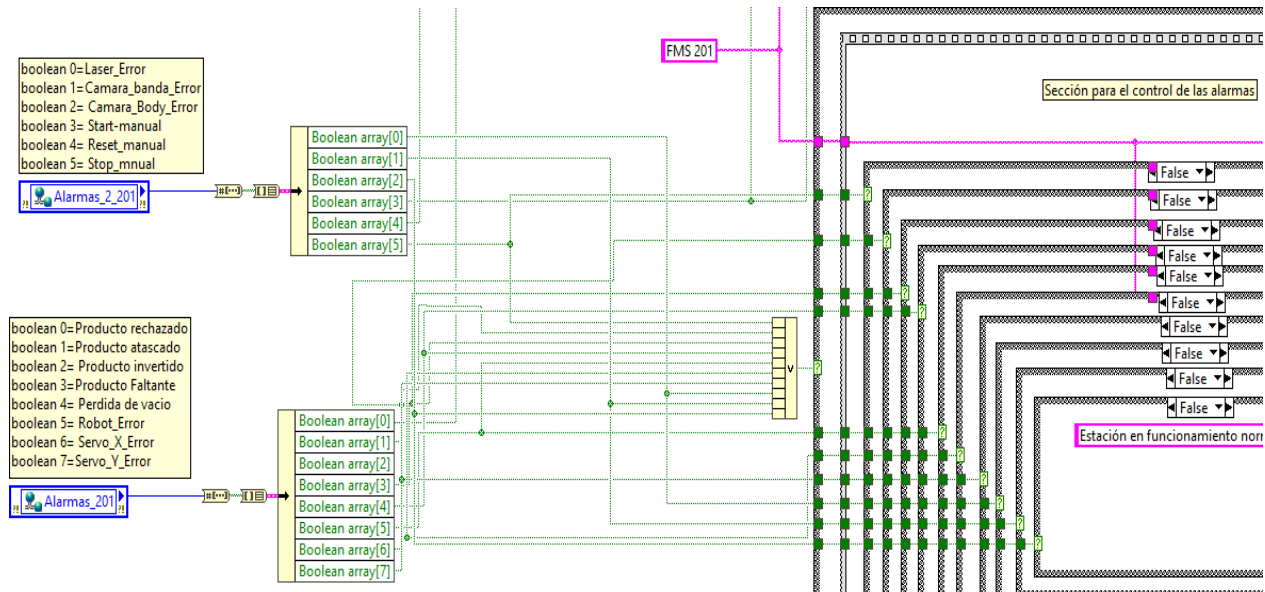
Figura 97. Mensaje de error en sección de monitoreo.



Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 98 se muestra un extracto de la programación realizada para el monitoreo de las alarmas, la información llega por medio de dos variables tipo byte y se decodifica para obtener cada bit por separado. Cuando algún bit se activa este muestra un mensaje de error en la pantalla de monitoreo y almacena la información en la base de datos.

Figura 98. Sección de programa para el monitoreo de las alarmas.



Fuente: Elaborado por el autor.

5.3.3 Sección de estadística.

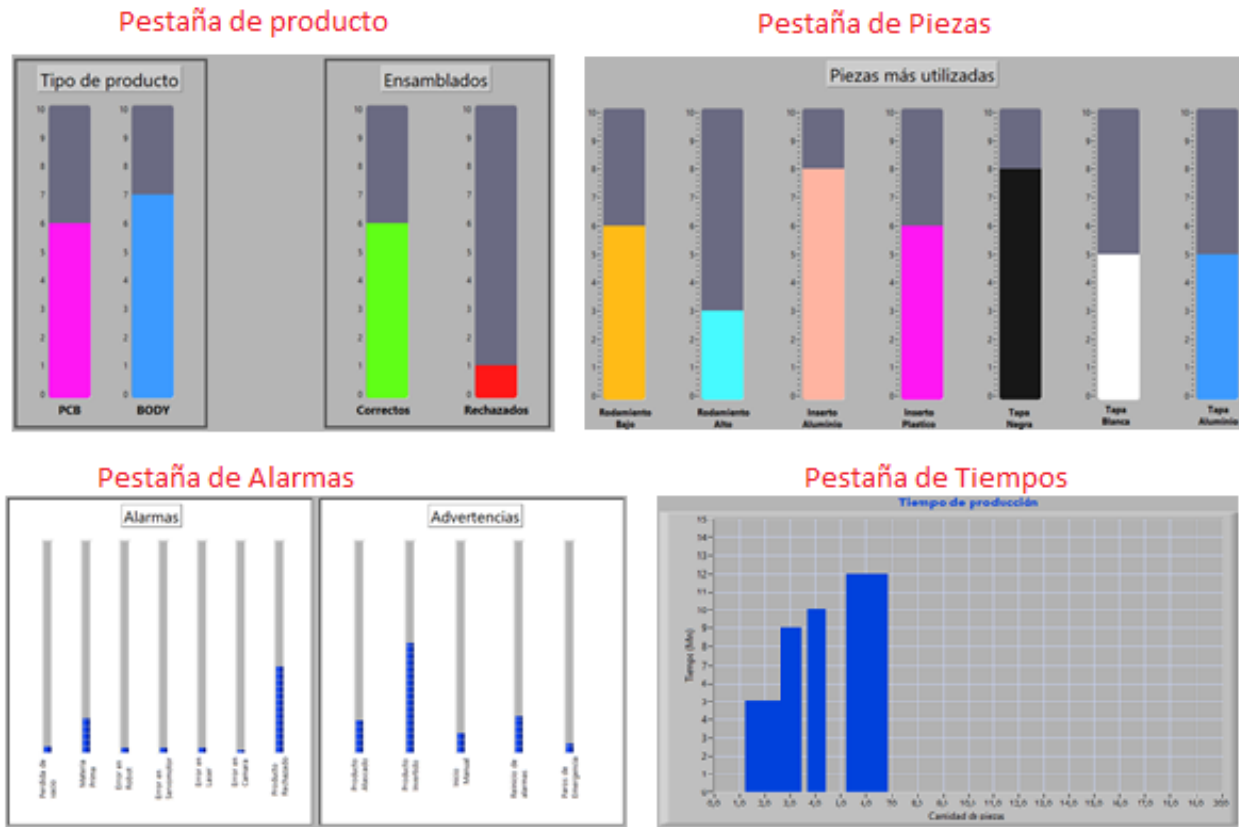
El sistema SCADA tiene la capacidad de adquirir información del proceso y almacenarlo en una base de datos, con esto se logra que el sistema pueda generar estadísticas en las cuales se muestran los productos que se están ensamblando, así como los tipos de piezas más utilizadas, históricos de alarmas y tiempos de producción.

Para que la información esté disponible en la pantalla principal del SCADA, se utiliza un control de tipo “Tap Control” que permite crear varias áreas de visualización en un mismo espacio físico y organizar la información por medio de pestañas como si fuera un folder.

En la primera pestaña se encuentra una sección que permite la visualización de dos barras verticales que muestran la cantidad total de los productos que se han ensamblado; en la segunda pestaña se muestran las cantidades totales de las piezas que se han utilizado en la fabricación del producto BODY.

En la tercera pestaña se muestra el histórico de las alarmas que se han activado en las estaciones de trabajo y en la cuarta pestaña se encuentra un gráfico que indica los tiempos totales que ha tardado el sistema para el ensamble de los diferentes productos.

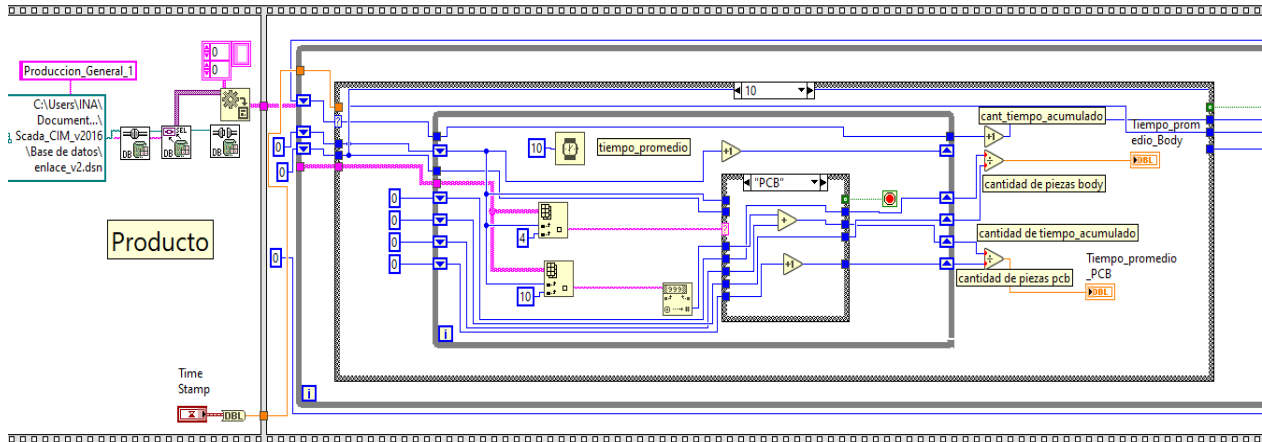
Figura 99. Sección de estadística



Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 100 se muestra una sección del programa encargado de extraer y procesar la información que se encuentra en la base de datos, este código se ejecuta de cada 10 segundos para que la información esté disponible de forma actualizada para el usuario.

Figura 100. Sección de código para mostrar los datos estadísticos.



Fuente: Elaborado por el autor

Como se mencionó anteriormente, para almacenar los datos de los tiempos de producción y las alarmas que se producen durante la operación del sistema, se desarrolló una base de datos en el programa Microsoft Access. Esta base de datos contempla varias tablas donde se almacena la información proveniente del SCADA y que será utilizada para generar los gráficos en la sección de estadística. En la tabla 14 se muestra un cuadro resumen de las tablas y el contenido de cada una de ellas.

Tabla 14. Contenido de la base de datos.

| Tabla | Contenido | Comentario |
|--------------|----------------------------|---|
| Advertencias | Alarma por inicio manual | Se almacena fecha, hora y número de estación donde ocurrió en evento. |
| | Alarma por reinicio manual | |
| | Producto atascado | |
| | Producto rechazado | |
| | Producto invertido | |

| Tabla | Contenido | Comentario |
|--------------------|---------------------|--|
| Alarmas | Perdida de Vacío | Se almacena fecha, número de estación, y duración de la alarma en estado activo. |
| | Materia prima | |
| | Error en robot | |
| | Error en servomotor | |
| | Error en láser | |
| | Error en cámara | |
| | Paro de emergencia | |
| Producción FMS 201 | Producto ensamblado | Se almacena la fecha, duración del ensamble por pieza y tipo de producto. |
| Producción FMS 202 | Producto ensamblado | |
| Producción FMS 204 | Producto ensamblado | |
| Producción FMS 205 | Producto ensamblado | |
| Producción FMS 207 | Producto ensamblado | |
| Producción FMS 208 | Producto ensamblado | |
| Producción FMS 211 | Producto ensamblado | |
| Producción FMS 214 | Producto ensamblado | |
| Producción FMS 215 | Producto ensamblado | |
| Producción FMS 216 | Producto ensamblado | |
| Producción general | Producto ensamblado | |

Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 101 se muestran las tablas de datos creadas en el programa Microsoft Access, en la cual se observa la estructura básica que tienen todas las tablas. La primera columna llamada "ID" es el campo llave de la tabla que posee un número identificador único. Los campos de fecha y hora almacenan la información correspondiente al momento en que se genera el evento y el campo de "Estación" almacena el nombre de la estación de trabajo donde se generó la información; las columnas posteriores almacenan la información de las alarmas, advertencias o productos ensamblados de acuerdo al tipo de tabla.

Figura 101. Tablas en la base de datos.

| ID | Fecha | Hora | Estación | Advertencia |
|------------------|-----------|----------|----------|--------------------|
| 3695997097,08457 | 12/2/2021 | 11:51:00 | FMS 216 | Reset manual |
| 3695997103,0139 | 12/2/2021 | 11:51:00 | FMS 216 | Producto rechazado |
| 3695997253,41351 | 12/2/2021 | 11:54:00 | FMS 216 | Start manual |
| 3695997258,10177 | 12/2/2021 | 11:54:00 | FMS 214 | Start manual |
| 3695997265,39319 | 12/2/2021 | 11:54:00 | FMS 204 | Reset manual |
| 3695997395,33862 | 12/2/2021 | 11:56:00 | FMS 216 | Reset manual |
| 3695997400,36991 | 12/2/2021 | 11:56:00 | FMS 216 | Start manual |
| 3695997403,25808 | 12/2/2021 | 11:56:00 | FMS 216 | Start manual |
| 3695997405,10518 | 12/2/2021 | 11:56:00 | FMS 216 | Start manual |
| 3695997406,81128 | 12/2/2021 | 11:56:00 | FMS 216 | Start manual |
| 3695997410,89651 | 12/2/2021 | 11:56:00 | FMS 216 | Producto rechazado |
| 3695997415,13076 | 12/2/2021 | 11:56:00 | FMS 216 | Reset manual |
| 3695997416,42683 | 12/2/2021 | 11:56:00 | FMS 216 | Reset manual |
| 3695997419,92703 | 12/2/2021 | 11:56:00 | FMS 216 | Start manual |
| 3695997421,1361 | 12/2/2021 | 11:57:00 | FMS 216 | Start manual |
| 3695997423,13021 | 12/2/2021 | 11:57:00 | FMS 216 | Start manual |
| 3695997423,87726 | 12/2/2021 | 11:57:00 | FMS 216 | Start manual |
| 3695997424,5913 | 12/2/2021 | 11:57:00 | FMS 216 | Start manual |
| 3695997425,28334 | 12/2/2021 | 11:57:00 | FMS 216 | Start manual |

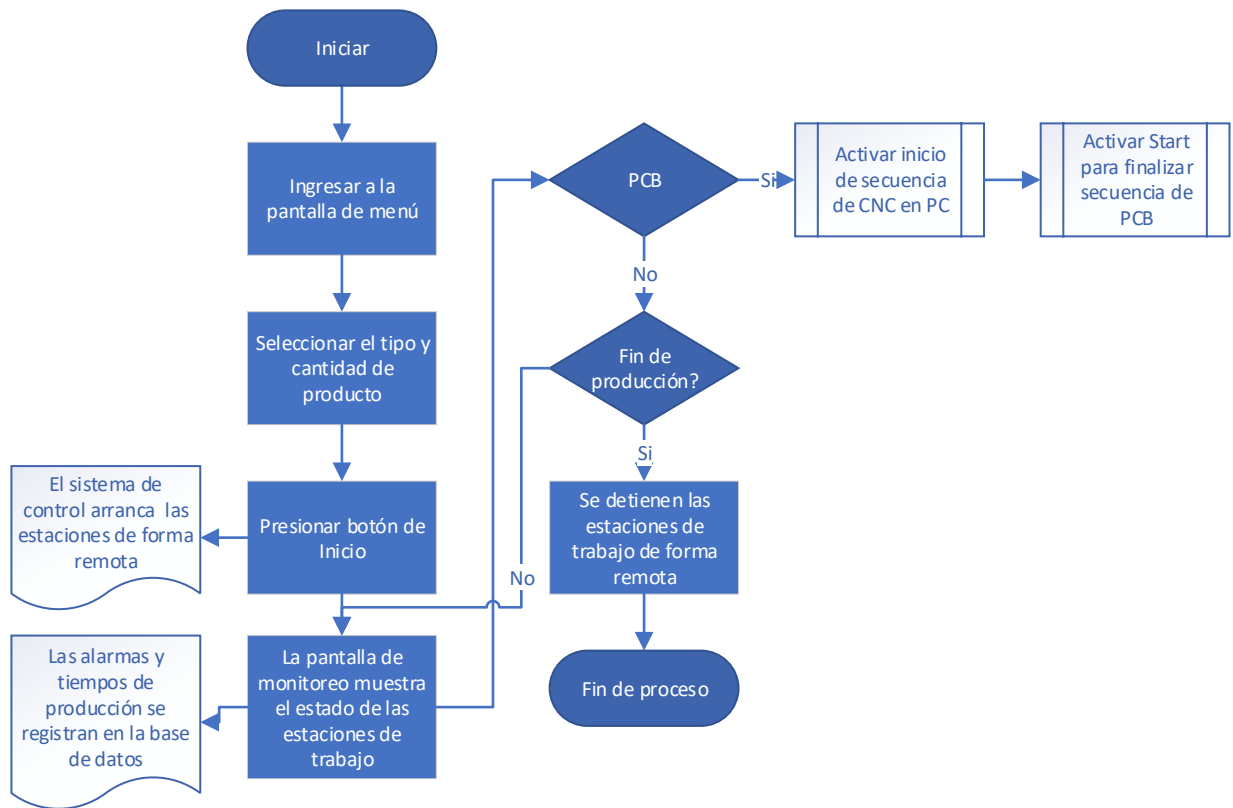
Fuente: Elaborado por el autor

5.4 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

El proceso de programación del sistema de control, monitoreo y almacenamiento de datos se realizó según se planteó en la *figura 30. Diagrama de flujo de la propuesta de diseño*, donde se expuso que el sistema se basa en las etapas de: sensores y actuadores, equipo original, comunicación y sistema de control; que permite una integración de todas las estaciones de trabajo para que funcionen como una sola célula de producción, totalmente automática y que almacena la información del proceso en una base de datos.

Con base en los resultados obtenidos de la implementación del proyecto, se elabora el diagrama de flujo expuesto en la *figura 102* donde se muestra el proceso que se debe seguir para que el sistema ensamble los productos solicitados por el usuario.

Figura 102. Diagrama de flujo del sistema de producción.



Fuente: Elaborado por el autor

Una vez que la interfaz de usuario está activa, el operador puede ingresar a la pantalla de selección de producto presionando el botón de “Menú”, en dicha pantalla puede seleccionar el tipo de dispositivo que desea ensamblar por medio de un selector que proporciona la imagen del producto y su respectivo nombre.

Para evitar que el usuario se confunda con las piezas adicionales que pueden ser seleccionadas en cada tipo de producto, cuando se elige la opción de ensamblar un BODY la interfaz gráfica muestra las opciones que corresponden al tipo de rodamiento, inserto y tapa, las cuales no están disponibles para un PCB.

Si el usuario selecciona un BODY debe completar todas las opciones de las piezas adicionales para este producto, en caso contrario el sistema muestra un aviso de forma emergente indicando que debe seleccionar un tipo de rodamiento, un tipo de inserto y una tapa; ya que no se puede ensamblar un producto incompleto.

De igual manera el sistema verifica que para cualquiera de los dos productos el usuario debe ingresar una cantidad mínima de una pieza, si por error no se selecciona una cantidad de piezas, la interfaz muestra un aviso emergente indicando que se debe ingresar la cantidad de piezas a ensamblar.

Una vez que se ha realizado la selección del producto, el usuario deberá presionar el botón de iniciar para que el sistema de control envíe los datos hacia los PLC que se encuentran en las estaciones de trabajo, en ese momento se inicia el ensamble y el sistema de monitoreo se encarga de mostrar el estado de cada una de las estaciones y de almacenar en la base de datos cualquier evento de alarma que se presente, así como también se registran los tiempos de ensamble.

Para determinar si el sistema de supervisión, monitoreo y almacenamiento de datos cumple con todos los parámetros establecidos en el diseño, se retoman los datos mostrados en la *tabla 4. Tabla de características del proyecto*, para realizar un control que permita mostrar que todos los requisitos se han cumplido en la solución proporcionada.

Tabla 15. Control de características incorporadas en la solución.

| Característica definida | Incorporada en la solución |
|---|-----------------------------------|
| Interfaz de menú de receta | Si |
| Interfaz de monitoreo | Si |
| Interfaz de estadística | Si |
| Automatización de estación "201 Base" | Si |
| Automatización de estación "202 Rodamiento" | Si |
| Automatización de estación "204 EJE" | Si |
| Automatización de estación "205 Rodamiento" | Si |
| Automatización de estación "207 Robot" | Si |
| Automatización de estación "214 PCB" | Si |
| Automatización de estación "215 CNC" | Si |
| Automatización de estación "216 Laser-SCARA" | Si |
| Automatización de estación "211 Visión" | Si |
| Automatización de estación "208 Almacén" | Si |
| Adquisición y almacenamiento de datos | Si |
| Establecer comunicación OPC entre PLC y SCADA | Si |

Fuente: Elaborado por el autor

5.5 ANÁLISIS DE COSTOS

La implementación de un proyecto de esta magnitud conlleva distintas etapas, como lo son el diseño inicial del sistema, análisis de todas las tecnologías incorporadas hardware ya existente, programación de cada dispositivo electrónico, integración de todos los programas y pruebas del sistema final, entre otras. Todo lo anteriormente mencionado se contempla en la Tabla 16, donde se describen la cantidad total de horas invertidas en cada etapa y el respectivo costo monetario por hora.

Según la lista de salarios mínimos por ocupación del sector privado para el año 2021, emitida por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS) de Costa Rica (disponible en el anexo 06 de este documento), se hace el cálculo del costo por hora, utilizando como referencia la ocupación de Bachiller Universitario, el salario mensual asciende a los ₡568.819,86. Conociendo este monto de salario mensual, se multiplica por los 12 meses del año, se divide entre las 52 semanas anuales y a su vez entre las 48 horas máximas de trabajo semanal; obteniendo finalmente un salario de ₡2.734,71 por hora.

Tabla 16. Costos de implementación del sistema

| Descripción de la actividad | Cantidad de horas | Costo por hora | Costo total |
|--|-------------------|----------------|----------------------|
| Análisis de tecnologías en el hardware y estudio de planos eléctricos. | 40 | ₡2734,71 | ₡109.388,4 |
| Programación de los PLC | 240 | ₡2734,71 | ₡656.330,4 |
| Programación de los Robots | 30 | ₡2734,71 | ₡82.041,3 |
| Programación del servidor OPC | 8 | ₡2734,71 | ₡21.877,68 |
| Diseño de las etiquetas para el grabado láser | 4 | ₡2734,71 | ₡10.938,84 |
| Programación de la interfaz de usuario | 50 | ₡2734,71 | ₡136.735,5 |
| Creación de la base de datos | 8 | ₡2734,71 | ₡21.877,68 |
| Pruebas de funcionamiento | 30 | ₡2734,71 | ₡82.041,3 |
| Subtotal | 410 | - | ₡1.121.231,1 |
| Ganancia (30%) | - | - | ₡336.369,33 |
| Impuesto al valor agregado (IVA 13%) | - | - | ₡189.488,05 |
| TOTAL | - | - | ₡1.647.088,48 |

Fuente: Elaborado por el autor

El monto de la ganancia correspondiente a la elaboración del proyecto fue establecido en una relación del 30% contemplando todos aquellos costos que debe cubrir la empresa para que el proyecto se pueda lograr de la forma más eficiente. También se determina que la inversión necesaria para poder llevar a cabo dicho proyecto será de un monto aproximado de ¢0 ya que el INA cuenta con las licencias de los programas que se utilizaron para la implementación de este proyecto.

Es de suma importancia crear un balance costo-beneficio que permita justificar la implementación de este proyecto y le permita al Centro Nacional Especializado en Electrónica conocer el tiempo de recuperación de la inversión. El INA al ser una institución pública no lucrativa debe calcular los costos de operación por medio de la inversión que se realiza al capacitar a las personas estudiantes, este cálculo se realiza tomando en cuenta el costo de los equipos, su costo de depreciación anual y la cantidad de personas que se capacitan anualmente.

Para este cálculo se debe tomar como referencia el precio de adquisición del laboratorio que fue de ¢405.000.000 en el año 2017, tomando en cuenta que el periodo de vida útil de los equipos es de 10 años, se determina que el costo anual del laboratorio es de ¢40.500.000. Como se indicó anteriormente, para determinar los montos de inversión en la capacitación de los estudiantes se debe dividir el costo anual del laboratorio entre la cantidad de estudiantes que fueron capacitados, lo cual para el año 2019 fue de 45 personas (el año 2020 no se toma como referencia debido a que los equipos no se utilizaron por la emergencia sanitaria causada por el Covid-19 que suspendió las clases presenciales), con estos datos se puede realizar el siguiente calculo:

$$\text{Costo de capacitación por persona: } \text{¢}40500000 \div 45 = \text{¢}900.000$$

Con la puesta en marcha del proyecto se estima que los grupos de la especialidad de telecomunicaciones y de la carrera de técnico en producción también puedan hacer uso del laboratorio para trabajar con las bases de datos y los tiempos de producción que genera el proceso productivo cuando el laboratorio está en funcionamiento, esto permite realizar un nuevo cálculo de las personas que pueden ser capacitadas con estos equipos, ya que según estimaciones de la administración del CENATE podrá ser de hasta 120 personas. Tomando en cuenta este nuevo dato, se procede a realizar el cálculo del costo de inversión para la capacitación de los estudiantes:

$$\text{Nuevo costo de capacitación por persona: } \text{C}\$40500000 \div 120 = \text{C}\$337.500$$

Con base en el costo de capacitación antes y después de la implementación del proyecto, se puede determinar que el monto de inversión por estudiante disminuye en $\text{C}\$562.500$ por persona, lo cual representa una reducción del 62.5% en el costo de capacitación por estudiante.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Una vez finalizado este proyecto de implementar un sistema de supervisión, control, adquisición y almacenamiento de datos para el laboratorio de manufactura integrado para el Instituto Nacional de Aprendizaje, se concluye lo siguiente:

1. Mediante la técnica de la observación y por medio de la entrevista a los docentes y administrador de los servicios de red, se logró identificar los dispositivos electrónicos, eléctricos, neumáticos y software con los que cuenta el CENATE. Lo cual permitió realizar un estudio de las características de cada uno de ellos y la forma en que se podían implementar para lograr el desarrollo correcto del proyecto.
2. Se identificaron las necesidades que tenía el Centro Nacional Especializado en Electrónica para mejorar el aprovechamiento del laboratorio de manufactura mediante la técnica de la entrevista al personal docente y administrativo, lo cual permitió identificar las carencias que tenía el laboratorio para que pudiera ser utilizado en los actuales cursos que se imparten en este centro educativo.
3. Los requerimientos para el hardware de control y automatización se definieron por medio del estudio detallado de los planos eléctricos y de los manuales técnicos de cada uno de los equipos que se encuentran en las estaciones de trabajo, esto permitió reconocer los tipos de sensores, actuadores y dispositivos de automatización con que se contaba en cada subproceso.
4. Mediante el estudio de los diferentes manuales técnicos de los PLC, Robots industriales, laser industrial y sistemas de visión artificial, se logró determinar las condiciones de funcionamiento del software que se debía utilizar para lograr

implementar el sistema de supervisión y control, así como los requerimientos que se necesitaban en el software que se encarga de la administración de la base de datos.

5. Para el diseño de la interfaz de usuario encargado de la supervisión y control de las estaciones trabajo, se tomó en cuenta los requerimientos que los docentes hicieron durante la entrevista, esto permitió que el software implementado sea útil para brindar los servicios de capacitación que no se habían podido impartir por deficiencias en el laboratorio.
6. Las rutinas de trabajo de los controladores lógicos se programaron de forma individual en cada una de las estaciones, ya que cada una realiza un proceso específico y cuenta con elementos de sensado y actuadores diferentes, esto dificultó la labor de programación ya que se debió estudiar cada uno de los planos eléctricos por separado.
7. La comunicación se trabajó en dos etapas, la primera entre los controladores lógicos que se programó desde el software de TIA portal por medio de comunicación PROFINET en la red, y la segunda etapa fue la comunicación entre los PLC y el SCADA, la cual se logró mediante la programación de un servidor OPC UA el cual aprovecha un lenguaje estándar en la industrial para actuar como un traductor entre los diferentes dispositivos.
8. Se debió realizar un cambio en la forma en que se transmitía la información desde los PLC hasta el SCADA, ya que la gran cantidad de variables generaba errores en el servidor interno de LabVIEW, debido a esto se optó por enviar las variables en paquetes con un tamaño de un byte cada una lo cual redujo significativamente la cantidad de errores que se presentaban.

9. Las imágenes tomadas por medio de los sensores de visión artificial se ven afectadas por los cambios en la iluminación natural ya que esta afecta los colores y genera sombras que pueden provocar falsos positivos en los juicios de control de calidad.
10. Se evaluó el funcionamiento del sistema con pruebas de ensamble de todos los productos según las especificaciones de los docentes, que no tuviera problemas de productos dañados, mal ensamblados o almacenados; además se comprobó que la base de datos estaba recibiendo y procesando la información de forma correcta.
11. La utilización de instrucciones de espera de 50 milisegundos o más, en todos los ciclos de ejecución de programa permite que el SCADA no consuma una gran cantidad de recursos de la memoria y del procesador de la computadora.
12. Se analizó el costo-beneficio del proyecto para el INA, donde si bien es cierto que la inversión en términos monetarios fue baja ya que se utilizaron todos los recursos que posee la institución, esa inversión será recuperada en términos de aprovechamiento de los equipos para la capacitación de los estudiantes.

6.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda tener acceso a internet dentro del laboratorio de manufactura para que los equipos puedan ser utilizados desde fuentes externas al INA, de esta forma se puede aprovechar para capacitaciones en empresas o para clases virtuales.

En caso de una actualización de los equipos se recomienda la utilización de sensores RFID en los palets que transportan el producto, ya que el sistema de codificación que utiliza actualmente solo permite diferenciar entre 8 palets como máximo y esto limita el funcionamiento del sistema.

El enfoque de este proyecto contempla exclusivamente el laboratorio de manufactura integrado, sin embargo, en el CENATE cuentan con una segunda célula de producción más antigua y que actualmente no utilizan, se recomienda que a este hardware también se le implemente un sistema SCADA para aprovechar todos los equipos existentes y que los estudiantes se puedan beneficiar con la práctica en equipos y sistemas variados.

Para un mejor funcionamiento de la estación de visión artificial se recomienda que la ventana que se encuentra al frente sea cubierta para evitar que la luz natural incida directamente sobre esta estación, ya que los cambios en los niveles de iluminación pueden provocar falsos positivos en las inspecciones de control de calidad.

Se recomienda que a la base de datos se le realice mantenimiento cada tres meses, en los cuales se pueda realizar un respaldo de la información para evitar posibles problemas por pérdida de información en caso de que la computadora o el disco duro puedan llegar a fallar.

Realizar mantenimiento preventivo a los equipos mecánicos al menos cada tres meses, debido a que el laboratorio es muy húmedo y algunos de los componentes se pueden oxidar. De la misma forma se debe realizar un ajuste de los cilindros giratorios ya que con el uso constante tienen a perder la calibración correcta con los sensores.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta. Edición (6ta ed.). Caracas: Editorial Episteme.
- Del Cid, A., Méndez, R., & Sandoval, F. (2011). Investigación. Fundamentos y Metodología (2da ed.). México: Pearson Educación de México, S.A de C.V.
- GRAVOTECH. (2016). Operation and maintenance manual integration. France.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Kaufman, R. (2004). Herramientas prácticas para el éxito organizacional. España: Universitat Jaume I.
- Kepware. (mayo 8, 2019). Qué es OPC y qué es un OPC Server. Recuperado el 28 de julio de 2020 de <https://www.kepserverexopc.com/que-es-opc-y-que-es-un-opc-server/>
- Muñoz Razo, C. (2011). Cómo Elaborar y Asesorar una Investigación de Tesis (2da ed). México: Pearson Educación de México, S.A de C.V.
- Niño, V. M. (2011). Metodología de la Investigación Diseño y ejecución. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- SIEMENS. (s.f.). PROFINET en la industria manufacturera. Recuperado el 28 de julio de 2020 de <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/industrial-communication/profinet/manufacturing-industry.html>
- SMC International. (2019). Stroke Reading cylinder and counter. España.

SMC International. (2020). Manual de servicio. España.

Tamayo y Tamayo, M. (2003). El proceso de la Investigación Científica. México: Limusa
S.A de C.V.

ANEXO

Lista de anexos

Adjunto a este documento se encuentra una carpeta llamada “Anexos” en la cual pueden ser localizados los documentos de apoyo utilizados para el desarrollo de esta investigación.

01. Cronograma del proyecto
02. Instrumento de observación
03. Entrevista
04. Diagrama de flujo de la propuesta de diseño
05. Programa del robot antropomórfico.
06. Lista de salarios mínimos por ocupación del sector privado
07. Manual de usuario.