



**Automatización y puesta en operación de los módulos MAS-201, MAS-203 y MAS-204
del sistema MAS-200 del laboratorio de CIM de la Universidad de las Fuerzas
Armadas, Campus Sangolquí.**

Cadena Patiño, Lid Paola y Flores Pineda, Darío Sebastián
Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control
Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica,
Automatización y Control
Ing. Tipán Condolo, Edgar Fernando MsC.
15 de marzo del 2021

Resultados URKUND



Document Information

Analyzed document	1615695049100_Tesis_Cadena_Flores_URKUND.pdf (D98246914)
Submitted	3/14/2021 5:15:00 AM
Submitted by	Tipan Condolo Edgar Fernando
Submitter email	eftipan@espe.edu.ec
Analysis address	eftipan.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W URL: [https://docplayer.es/144140459-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo-facultad ...](https://docplayer.es/144140459-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo-facultad...)
Fetched: 7/25/2020 9:56:22 PM



Firma:

Tipán Condolo, Edgar Fernando

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Automatización y puesta en operación de los módulos MAS-201, MAS-203 y MAS-204 del sistema MAS-200 del laboratorio de CIM de la Universidad de las Fuerzas Armadas, campus Sangolquí.**” fue realizado por la señorita **Cadena Patiño, Lid Paola**, y el señor **Flores Pineda, Darío Sebastián**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de marzo de 2021

Firma:

Ing. Tipán Condolo, Edgar Fernando MsC.

C. C. 1711391316



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Cadena Patiño, Lid Paola**, y **Flores Pineda, Darío Sebastián**, con cédulas de ciudadanía n° 1718984543 y 1725532152, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Automatización y puesta en operación de los módulos MAS-201, MAS-203 y MAS-204 del sistema MAS-200 del laboratorio de CIM de la Universidad de las Fuerzas Armadas, campus Sangolquí** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 15 de marzo de 2021

Firma

Cadena Patiño, Lid Paola

C.C.: 1718984543

Flores Pineda, Darío Sebastián

C.C.: 1725532152



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Cadena Patiño, Lid Paola, y Flores Pineda, Darío Sebastián**, con cédulas de ciudadanía n° 1718984543 y 1725532152, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Automatización y puesta en operación de los módulos MAS-201, MAS-203 y MAS-204 del sistema MAS-200 del laboratorio de CIM de la Universidad de las Fuerzas Armadas, campus Sangolquí** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 15 de marzo de 2021

Firma

Cadena Patiño, Lid Paola

C.C.: 1718984543

Flores Pineda, Darío Sebastián

C.C.: 1725532152

Dedicatoria

Dedico este proyecto de grado a mis padres, que han estado junto a mi durante este trayecto, dándome su apoyo y fuerza para seguir adelante. Por haber creído en mí y demostrarme siempre su amor, dándome ánimos y valor para continuar. A mis hermanos, quienes siempre serán mi mayor inspiración y mi mayor orgullo.

Lid Paola Cadena Patiño

Dedico mi esfuerzo y trabajo a mis padres, Cecilia y Leonardo, que este logro en mi vida lo acepten como una pequeña retribución de su sacrificio y dedicación hacia mí.

A mis hermanos, Andrés y Gabriela, nuestra unión y temple han sabido superar las dificultades en la vida.

A Laura, mi amor, tu sonrisa en días soleados y tu hombro en días grises fueron mi escudo y espada en mis batallas libradas.

A Gustavo, por inspirarme y ayudar a darme cuenta de lo que valgo y de lo que soy capaz.

Y finalmente a mí mismo, por enseñarme que, sin importar la magnitud de las adversidades, yo soy más grande que ellas.

Darío Sebastián Flores Pineda

Agradecimiento

A mis padres, Fernando y Clara, por su cariño y sacrificio, que me han llevado a convertirme en una persona de bien.

A mi hermano Galo, por ser siempre mi ejemplo a seguir y un apoyo incondicional en mi vida. A mi hermana Camily, por su compañía, consejo y comprensión.

A mis amigos y todas las personas que me acompañaron durante esta etapa y me brindaron sus palabras de aliento para alcanzar este logro.

A todos mis profesores, quienes aportaron significativamente en mi formación profesional como ingeniera.

Lid Paola Cadena Patiño

Agradezco en primer lugar a mis padres, el esfuerzo incesante de su trabajo con el fin de dar alas a su hijo para que vuele en busca de sus propios sueños, es una muestra del amor más sincero que existe.

Agradezco a Laura, por estar desde el primer día, saber que, en cualquier situación, alegre o triste, podía compartirla contigo me hacía saber que en este proceso nunca estuve solo.

Agradezco a mi familia, en especial a Gustavo, por su apoyo desinteresado en todos los sentidos, en momentos de duda y agotamiento, saber que detrás de mí, había personas esperando que no decaiga me sirvió para seguir adelante.

A mis amigos y compañeros, por las experiencias vividas de alegrías y triunfos, pero también derrotas y tristezas.

A mi universidad y maestros, por abrir el camino hacia la posesión más valiosa en un ser humano, su educación y el servicio de esta en mejorar la vida del prójimo.

Darío Sebastián Flores Pineda

Contenido

Resultados URKUND	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de Tablas.....	12
Índice de Figuras.....	14
Resumen.....	18
Abstract.....	19
Capítulo I Introducción.....	20
Antecedentes.....	20
Justificación	23
Alcance.....	24
Objetivos.....	24
Objetivo General.....	24
Objetivos Específicos.....	24
Capítulo II Estado del Arte.....	25
Automatización	25
Procesos de ensamblaje automatizados.....	26

Automatización en Ecuador	28
Control y automatización mediante PLC	30
PLC Allen Bradley.....	31
Sistemas de entrenamiento para automatización.....	33
Capítulo III Marco Teórico	37
Sistema de ensamblaje MAS-200	37
Módulos	40
Proceso	43
Equipos	45
Proceso	62
Equipos	64
Proceso	68
Equipos	70
PLC	73
Clasificación de los PLC	76
PLC ControlLogix.....	77
Software de programación	80
Capítulo IV Diseño y Programación	93
Programación de funcionamiento del módulo MAS-201	93
Lógica de programación	95
Asignación de variables	100

Conexiones.....	102
Programación de funcionamiento del módulo MAS-203.....	106
Lógica de programación	107
Asignación de variables	111
Conexiones.....	113
Programación de funcionamiento del módulo MAS-204.....	114
Lógica de programación	115
Asignación de variables	119
Conexiones.....	121
Diseño e implementación de HMI.	123
Software	123
Diseño de pantallas	128
Capítulo V Implementación, Pruebas y Resultados	139
Pruebas y modificaciones	139
Módulo MAS-201	139
Módulo MAS-203.....	142
Módulo MAS-204.....	143
Implementación del detector de piezas perdidas	145
Implementación de temporizadores en los grippers	146
Notificación de presión.....	147
Validación de piezas en posición suministro y posición final	147

Análisis de productividad	148
Relación tiempo-presión	148
Valores óptimos de funcionamiento	153
Disponibilidad de las estaciones	154
Estadísticas del sistema.....	154
Capítulo VI Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos futuros	156
Conclusiones	156
Recomendaciones	157
Trabajos Futuros.....	159
Referencias Bibliográficas	160
ANEXOS	166
ANEXO A Graficets	166
ANEXO B Programas en Studio 5000.....	166
ANEXO C Planos eléctricos y mecánicos	166
ANEXO D Registro de datos.....	166
ANEXO E Manual de usuario.....	166

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Características técnicas MAS-201</i>	44
Tabla 2	<i>Características técnicas de válvula</i>	46
Tabla 3	<i>Características técnicas filtro regulador</i>	48
Tabla 4	<i>Características técnicas cilindro ISO</i>	51
Tabla 5	<i>Características técnicas segundo cilindro ISO</i>	51
Tabla 6	<i>Características técnicas cilindro placa</i>	53
Tabla 7	<i>Características técnicas cilindro pin</i>	55
Tabla 8	<i>Características técnicas sistema remoto de entradas y salidas</i>	56
Tabla 9	<i>Descripción funciones botonera</i>	57
Tabla 10	<i>Características técnicas fuente de alimentación</i>	59
Tabla 11	<i>Características técnicas bloque de electroválvulas</i>	61
Tabla 12	<i>Características técnicas módulo MAS-203</i>	63
Tabla 13	<i>Características técnicas actuador giratorio neumático</i>	65
Tabla 14	<i>Características técnicas de gripper</i>	66
Tabla 15	<i>Características técnicas módulo MAS-204</i>	69
Tabla 16	<i>Características técnicas de cilindro neumático rotativo</i>	71
Tabla 17	<i>Características generales PLC ControlLogix</i>	79
Tabla 18	<i>Características técnicas módulo DeviceNet Allen Bradley</i>	84
Tabla 19	<i>Características técnicas módulo ControlNet Allen Bradley</i>	86
Tabla 20	<i>Indicadores de evaluación guía GEDIS</i>	91
Tabla 21	<i>Variables MAS-201</i>	101
Tabla 22	<i>Variables MAS-203</i>	112
Tabla 23	<i>Variables MAS-204</i>	120
Tabla 24	<i>Datos de tiempos con 0.2 MPa de presión</i>	149

Tabla 25 <i>Datos de tiempos con 0.4 MPa de presión.</i>	150
Tabla 26 <i>Datos de tiempos con 0.5 MPa de presión.</i>	151
Tabla 27 <i>Promedio tiempos de proceso.</i>	153
Tabla 28 <i>Porcentaje de reducción de tiempo en base a la presión más baja</i>	153
Tabla 29 <i>Disponibilidad de las estaciones.</i>	154
Tabla 30 <i>Tiempo con fallas MAS-201.</i>	155

Índice de Figuras

Figura 1 Partes fundamentales de un automatismo.....	26
Figura 2 Análisis del crecimiento del PIB del sector manufacturero.....	29
Figura 3 Diagrama de bloques de la estructura básica de un PLC.....	31
Figura 4 Sistema de ensamblaje MAS -200.....	37
Figura 5 Piezas manejadas en sistema MAS-200: (a) MAS-201, (b) MAS-203, (c) MAS-204, (d) MAS-202.....	38
Figura 6 Partes generales de cada módulo en MAS-200.....	42
Figura 7 Módulo MAS-201.....	43
Figura 8 Unidad de tratamiento de aire SMC.....	45
Figura 9 Diagrama válvula.....	46
Figura 10 Diagrama filtro regulador.....	47
Figura 11 Controlador Lógico Programable (PLC).....	48
Figura 12 Sistema neumático MAS-201.....	49
Figura 13 Cilindro ISO.....	50
Figura 14 Cilindro de placa.....	52
Figura 15 Dimensiones de cilindro de placa.....	53
Figura 16 Cilindro pin.....	54
Figura 17 Sistema remoto de entradas y salidas.....	56
Figura 18 Botonera.....	57
Figura 19 Fuente de alimentación.....	59
Figura 20 Bloque de electroválvulas.....	60
Figura 21 Módulo MAS-203.....	62
Figura 22 Sistema neumático MAS-203.....	64
Figura 23 Actuador giratorio neumático.....	65

Figura 24 <i>Gripper</i>	66
Figura 25 <i>Módulo MAS-204</i>	68
Figura 26 <i>Sistema neumático MAS-204</i>	70
Figura 27 <i>Cilindro rotativo neumático</i>	71
Figura 28 <i>Gripper externo</i>	72
Figura 29 <i>Lógica cableada</i>	74
Figura 30 <i>Programación Ladder</i>	75
Figura 31 <i>Estructura general PLC</i>	76
Figura 32 <i>PLC ControlLogix</i>	78
Figura 33 <i>Software Studio 5000 y RSLinx</i>	80
Figura 34 <i>Cable round-thick</i>	82
Figura 35 <i>Conector abierto fixed</i>	83
Figura 36 <i>Módulo DeviceNet Allen Bradley 1756-DNB</i>	84
Figura 37 <i>Módulo ControlNet Allen Bradley 1756-CND</i>	86
Figura 38 <i>Cables CAT5, CAT6 y fibra óptica</i>	87
Figura 39 <i>Conector RJ45</i>	87
Figura 40 <i>Módulo Ethernet Allen Bradley 1756-EN2T</i>	88
Figura 41 <i>HMI</i>	89
Figura 42 <i>Ciclo de vida de una HMI</i>	92
Figura 43 <i>Base</i>	94
Figura 44 <i>PLC disponible en el laboratorio</i>	95
Figura 45 <i>Funcionamiento MAS-201</i>	96
Figura 46 <i>Diagrama de flujo MAS-201</i>	97
Figura 47 <i>Botonera</i>	98
Figura 48 <i>Conexiones generales</i>	103

Figura 49 <i>Red Ethernet en RsLinx</i>	104
Figura 50 <i>Switch D- Link DES-3526</i>	104
Figura 51 <i>Módulo UR20-FBC-DN-1</i>	105
Figura 52 <i>Red DeviceNet MAS-201</i>	105
Figura 53 <i>Conexiones DeviceNet</i>	106
Figura 54 <i>Rodamiento</i>	106
Figura 55 <i>Funcionamiento MAS-203</i>	108
Figura 56 <i>Diagrama de flujo MAS-203</i>	109
Figura 57 <i>Red DeviceNet MAS-203</i>	113
Figura 58 <i>Eje</i>	114
Figura 59 <i>PLC módulo MAS-204</i>	115
Figura 60 <i>Funcionamiento MAS-204</i>	116
Figura 61 <i>Diagrama de flujo MAS-204</i>	117
Figura 62 <i>Red DeviceNet MAS-204</i>	122
Figura 63 <i>Software Factory Talk View Studio</i>	124
Figura 64 <i>Variables transmitidas entre PLC y HMI</i>	125
Figura 65 <i>Comunicación HMI con PLC</i>	126
Figura 66 <i>Panel de herramientas</i>	127
Figura 67 <i>Conexión objeto de HMI con variables de PLC</i>	128
Figura 68 <i>Jerarquía de HMI</i>	128
Figura 69 <i>Uso de colores en alarmas</i>	129
Figura 70 <i>Uso de colores en botones</i>	130
Figura 71 <i>Uso de colores tenues en HMI. (a) color apropiado de fondo, (b) color incorrecto de fondo</i>	130
Figura 72 <i>Información útil del proceso</i>	131

Figura 73 <i>Gráfico representativo del proceso</i>	132
Figura 74 <i>Botones de navegación</i>	133
Figura 75 <i>Esquema de información en HMI</i>	134
Figura 76 <i>HMI principal</i>	135
Figura 77 <i>HMI módulo MAS-201</i>	136
Figura 78 <i>HMI módulo MAS-203</i>	137
Figura 79 <i>HMI módulo MAS-204</i>	138
Figura 80 <i>Prueba MAS-201</i>	140
Figura 81 <i>Posición de ensamble</i>	141
Figura 82 <i>Sensor base disponible</i>	141
Figura 83 <i>Pruebas MAS-203</i>	142
Figura 84 <i>Sensor presencia del rodamiento</i>	143
Figura 85 <i>Pruebas MAS-204</i>	144
Figura 86 <i>Sensor presencia del eje</i>	145
Figura 87 <i>Algoritmo detección pieza perdida</i>	146
Figura 88 <i>Alarmas de piezas en posición</i>	148
Figura 89 <i>Base de datos generada de HMI</i>	149
Figura 90 <i>Presión de 0.2 MPa</i>	149
Figura 91 <i>Presión de 0.4 MPa</i>	150
Figura 92 <i>Presión de 0.5 MPa</i>	151

Resumen

El proyecto presentado tiene el objetivo de automatizar las estaciones MAS-201, MAS-203 y MAS-204 pertenecientes al sistema MAS-200 de la empresa SMC, presente en el laboratorio de Manufactura Integrada por Computador (CIM) del departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Este sistema sirve como un simulador didáctico sobre procesos industriales y automatización, específicamente sobre procesos de ensamblaje, por lo cual, su automatización se logró con la implementación de un Controlador Lógico Programable o PLC Allen Bradley y un conjunto de subsistemas detrás de este como programas de control, comunicación de este con el proceso a través de una red de comunicación industrial DeviceNet, una interfaz humano-máquina para el control, monitoreo, supervisión y operación del sistema por parte de un usuario basando su diseño bajo la normativa industrial ISA101 y la generación de toda la documentación técnica sobre el funcionamiento, características, operación y estudio del sistema para uso. Finalmente, luego de la implementación del sistema de automatización, se realizó un estudio sobre productividad, optimización y eficiencia de este con el objetivo de que no solo se cumpla con el funcionamiento y puesta en marcha sino también de una manera profesional, industrial y sincronizada para que los futuros Ingenieros en Automatización tengan herramientas al nivel de su formación académica y lograr una instrucción robusta y de calidad.

Palabras clave:

- **MAS-200.**
- **PLC.**
- **DEVICENET**
- **AUTOMATIZACIÓN.**

Abstract

The present work aims to automate modules MAS-201, MAS-203 y MAS-204, belonging to the MAS-200 system, from SMC Company. This system is located in the Computer Integrated Manufacturing (CIM) Laboratory at Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE and it is intended to serve as a didactic emulator of real industrial assembly processes. Its automation was achieved through the implementation of an Allen Bradley Programmable Logic Controller (PLC) and a set of subsystems such as control programs, a DeviceNet industrial communication network, a human-machine interface, designed under the industrial standard ISA101, for the control, management, supervision and operation of the system, and the technical documentation about the functionality, characteristics, operation and study of the system.

Finally, after implementing the automated modules, a productivity, optimization and efficiency analysis was developed with the objective of fulfilling the requirements of operation and performance in a professional, industrial and synchronized way, in order to provide the next generations of Automation Engineers with the corresponding tools keeping abreast their academic training to a quality and robust instruction.

Palabras clave:

- **MAS-200.**
- **PLC.**
- **DEVICENET**
- **AUTOMATION.**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

La automatización de procesos se puede llevar a cabo en diferentes áreas de producción, tanto en el sector industrial como el de servicios. Entre los principales aportes de la automatización de procesos siempre destaca la reducción de los tiempos de ejecución, el seguimiento de los resultados en tiempo real y la facilidad para establecer KPI's (indicadores de rendimiento) de los procesos. (Enriquez, 2018)

En la actualidad las industrias se encaminan hacia la cuarta revolución industrial o industria 4.0, es decir, plantas industriales que conforman un solo y complejo sistema trabajando todas sus partes simultáneamente con el intercambio de información y sistemas electrónicos complejos de control.

Refiere a un nuevo modelo de organización y de control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y a lo largo de los sistemas de fabricación apoyado y hecho posible por las tecnologías de la información (Informática, robótica, automatización, telecomunicaciones, redes informáticas, etc.). (Enriquez, 2018)

En la actualidad, debido a los avances en la automatización de procesos, las industrias se encuentran en constante evolución para lograr que su producción sea más eficiente, estos cambios han obligado a las instituciones de educación superior a transformar sus programas de asignaturas y tecnologías en los laboratorios donde realizan sus prácticas, con el objetivo de lograr la formación integral en los profesionales egresados de sus centros de estudio. El uso de plantas, módulos y prototipos de entrenamiento es un método de enseñanza-aprendizaje individual que han adoptado las instituciones de educación superior logrando que el estudiante mediante la práctica de

ejercicios de laboratorios se familiarice con la tecnología aplicada en el campo laboral.
(Zelaya, 2015)

El departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE, ha equipado los laboratorios de Manufactura Integrada por Computadora (CIM) con sistemas modulares de entrenamiento para la simulación de procesos de ensamblaje, como es el sistema MAS-200 para lograr afianzar los conocimientos de control y automatización, los cuales son imprescindibles para la formación profesional de un Ingeniero Electrónico en Ecuador, debido a que el país se encuentra en una etapa de modernización, en la cual se marca una gran importancia para la automatización de procesos con el uso de diferentes tecnologías, como son los PLC, redes industriales, instrumentación, entre otros.

MAS-200 es un sistema modular de capacitación que emula un proceso de ensamblaje industrial real, el cual puede ser visto en numerosas industrias a nivel nacional.

Incorporando las tecnologías demandadas por la industria automatizada actual, el sistema completo está constituido por cinco estaciones. En cuatro de ellas se alimentan las distintas piezas que conforman el producto final: base, rodamiento, eje y tapa. La quinta estación se sitúa entre las demás, y se ocupa del traslado y ensamblaje de las piezas.

Dentro de los elementos que conforman la Ingeniería en automatización industrial que cuenta el Sistema Modular de Ensamblaje (MAS-200) son:

- Tableros industriales.
- Sistemas neumáticos.
- Instrumentación y sensores.
- Robótica industrial.

- Sistemas SCADA/HMI.
- Controladores lógicos programables.
- Redes industriales.
- Sistemas de identificación.

Elementos que reproducen la simulación de una industria moderna a una menor escala para que el estudiante de Ingeniería pueda desarrollar sus destrezas sobre los elementos antes mencionados, sin embargo, los equipos fueron adquiridos sin incluir los respectivos PLC de cada estación, ni la lógica de funcionamiento, únicamente constan de los elementos neumáticos, fines de carrera, electroválvulas, componentes mecánicos y estructura en general y las respectivas conexiones de los elementos mencionados a módulos industriales para su conexión con los dispositivos de automatización.

Al ser un sistema modular, los módulos los cuales se diseñó e implementó en el presente trabajo son los siguientes:

- MAS-201: Alimentación de la base con detección y expulsión de pieza incorrecta. Esta estación realiza la alimentación de la base que sirve como soporte al mecanismo de giro ensamblado.
- MAS-203: Inserción del rodamiento.

La tercera estación que integra MAS-200 realiza la alimentación de un rodamiento.

- MAS-204: Colocación del eje.

En la estación MAS-204 se lleva a cabo la alimentación de un eje en el producto en proceso.

La serie adquirida consta de 5 módulos independientes, donde cada uno requiere de un PLC con la programación correspondiente, en la cual se realice la lectura de los sensores y el control de los actuadores de cada uno para su correcto

funcionamiento. Actualmente, estos módulos se encuentran inutilizados debido a que la adquisición realizada incluye los componentes neumáticos y electrónicos, pero no posee ningún elemento de control integrado. Adicionalmente, el Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones realizó la adquisición de 4 PLCs ControlLogix de Allen Bradley destinados a la integración con los módulos mencionados anteriormente. En el momento inicial, estos elementos de control no estaban instalados o implementados.

Justificación

Este proyecto plantea la integración a escala de todos los niveles de una pirámide de automatización integrando un bus de campo y bus de control permitiendo la visualización y manipulación de sistemas automatizados a gran escala que permitan a los estudiantes relacionar los conocimientos adquiridos durante su formación de Ingenieros Electrónicos incluyendo Instrumentación y Sensores, PLC, Electrofluidos y Redes Industriales.

En la actualidad gracias a la tecnología las industrias no son las mismas que hace diez, veinte o treinta años. La Ingeniería electrónica y campos de la ciencia derivadas de esta como la automatización, el control, las redes de información, etc. se han ido adentrando en cada industria mejorándola y optimizándola a niveles nunca antes vistos, de allí, nace la necesidad de tener profesionales especialistas que sean capaces de diseñar, implementar, reparar, modernizar y automatizar dichos sistemas que juegan un punto clave en la eficiencia y la competitividad laboral hoy en día.

Los estudiantes de Ingeniería en automatización actualmente deben saber diseñar y operar dichos sistemas interconectados y saber cómo mejorarlos, es por esto que los módulos del sistema MAS-200 deben ser acondicionados para que puedan ser utilizados y aprovechados en la formación de ingenieros electrónicos.

Alcance

El alcance del proyecto tiene tres propósitos fundamentales:

1. Conexión de los PLCs ControlLogix 5000 adquiridos a la instrumentación y actuadores de los 3 módulos del sistema de manipulación MAS-200.
Instalación y documentación necesaria.
2. Diseño e implementación de la lógica de programación y funcionamiento automático de los 3 módulos del sistema de manipulación MAS-200, permitiendo a futuro la integración mediante redes industriales de estos módulos con el resto del sistema en conjunto.
3. Desarrollo de una interfaz Humano-Máquina (HMI) básica para monitorización y visualización del funcionamiento del sistema.

Objetivos

Objetivo General

Automatizar con tecnología PLC el funcionamiento de los módulos MAS-201, MAS-203 y MAS 204 que conforman el sistema de entrenamiento de ensamblaje MAS-200.

Objetivos Específicos

- Realizar las conexiones necesarias del PLC ControlLogix 5000 a los sensores y actuadores de los módulos del sistema de ensamblaje.
- Diseñar e implementar la programación que permita el correcto funcionamiento de los módulos individuales del proceso de ensamblaje.
- Desarrollar la documentación necesaria para comprender la conexión y el funcionamiento de los módulos.

- Diseñar e integrar la interfaz humano – máquina para la monitorización del sistema.

Capítulo II

Estado del Arte

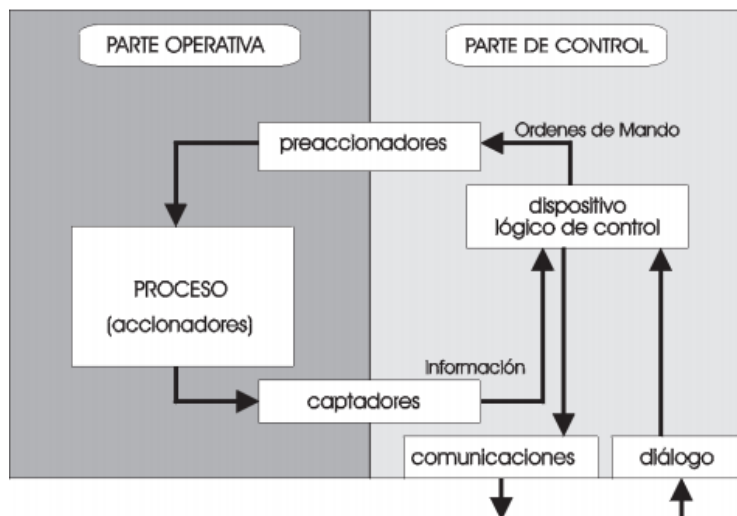
Automatización

La automatización de procesos industriales es uno de los principales objetivos de las empresas que buscan mantener un lugar en el entorno competitivo, con la inclusión de la tecnología en la creación de sus productos, logrando una reducción de costos y aumento de calidad. La automatización busca conseguir mayores volúmenes de producción con la utilización de tecnología aportando a la rentabilidad industrial y a la economía.

Un proceso automatizado consta de diferentes elementos incluyendo sensores, controladores lógicos, actuadores, sistemas de supervisión, que en conjunto siguen una secuencia de operaciones con dos partes fundamentales, que son la lógica de funcionamiento, descrita en un programa con el cual se va a poner en marcha los procesos, que se denomina el control del proceso y, por otro lado, se tiene la información de estado, que nos indica como los actuadores y los diferentes elementos que se involucran en los procesos, cambian su estado y actúan sobre el sistema, que constituye a la parte operativa. (García Moreno, 1999)

Figura 1

Partes fundamentales de un automatismo.



Nota: Recuperado de (García Moreno, 1999)

Los principales objetivos de la automatización son:

- Mejorar de productividad.
- Reducción de costos.
- Mejora de calidad de la misma.
- Mejora de las condiciones de trabajo de operadores
- Simplificar actividades difíciles para el ser humano.
- Ayuda a la gestión de la producción.

Procesos de ensamblaje automatizados

Un proceso de ensamblaje se refiere a una función básica de la unión o sujeción de partes para formar en conjunto un nuevo componente, este proceso suele ser de manera repetitiva en una línea de producción, es por esto que, actualmente, estos procesos de ensamblaje se realizan de manera automatizada con la utilización de tecnología empleada a través de diferentes métodos y técnicas. En las últimas décadas, se ha presenciado un desarrollo significativo en el avance de la tecnología y con énfasis

especial en la automatización industrial, destacando ciertas ramas de la ingeniería como la mecatrónica, electrónica y manufactura asistida por computador, para lograr que en este tipo de procesos exista menor intervención humana y mayor automatización, es decir, intervención de máquinas o robots.

En las tendencias actuales, se tiene la llegada de la cuarta revolución industrial o Industria 4.0, que forma parte importante en el mundo de la producción en masa y de los sistemas de ensamblaje priorizando la conectividad, manejo de información, aplicación del conocimiento y auto-adaptabilidad del sistema para llegar a los objetivos que propone esta revolución, que son la flexibilidad y personalización. (Cohen, Faccio, & Galizia, 2017) La adaptabilidad de la fabricación industrial a esta nueva tendencia se apoya en 3 ramas principales: sostenibilidad, aprovechando los recursos de manera eficiente; aplicación de la tecnología de vanguardia, logrando mayor efectividad; y la incorporación del big data, optimizando el análisis y manejo de información para mejorar los servicios y el acercamiento al cliente. (EAA , 2021)

Alrededor del mundo se pueden observar muchos ejemplos del uso de estas técnicas en diferentes fábricas o industrias, tal es la industria automotriz en el ensamble de vehículos donde el volumen de producción, los materiales y recursos son los elementos que definen el diseño de la automatización que se va a implementar para tener como resultado un aumento en la seguridad y competitividad. En este tipo de industria, es necesario un correcto diseño, que no siempre supone un sistema que actúe de manera completamente automática, para garantizar eficiencia, teniendo en cuenta aspectos de costo, calidad y flexibilidad. Existen varios tipos de sistemas, como robots, transporte o rieles automatizados que generan soluciones para el manejo de partes y el correcto ensamblaje de las mismas facilitando el trabajo de operadores y logrando mejoras en la producción. (Sánchez, 2014)

En el campo de la manufactura industrial, uno de los principales procesos que se llevan a cabo es el ensamblaje, tomando un 50% del total del tiempo utilizado en producción y un 20% de los costos generados. (ElMaraghy & ElMaraghy, 2016) Por esta razón es muy importante aplicar estrategias ágiles y a la altura de la tecnología actual para responder oportunamente a los requerimientos de los consumidores. Por esta razón, se tiene presente a la automatización como un componente significativo para lograr un impacto positivo en la seguridad operativa, estándares de calidad, estabilidad de procesos, entre otros factores. Según (Córdoba Nieto, 2006), para llevar a cabo un proyecto de automatización en procesos de manufactura, se realiza una inserción gradual por medio de 3 etapas, empezando con el ciclo de proceso, posteriormente con la automatización a nivel de máquinas, uniendo las distintas celdas o estaciones independientes creadas en la etapa anterior y por último, en la tercera etapa se tiene la incorporación del control con la logística, manejando toda la información de la empresa, proveniente de los procesos productivos y de la parte empresarial, en un solo sistema de gestión. Esto se conoce como un sistema integrado de manufactura o manufactura integrada por computador (CIM).

A nivel mundial, se encuentra un sinnúmero de industrias que optan por la automatización en los procesos de ensamblaje de partes y productos para lograr beneficios en el ámbito productivo.

Automatización en Ecuador

La situación en Ecuador no es diferente, a pesar de ser un país principalmente productor y exportador de bienes primarios, de acuerdo a cifras publicadas en (Maldonado & Proaño, 2015), el sector manufacturero tiene un gran impacto en la economía ecuatoriana, y desde el 2004 al 2015 este sector tuvo un crecimiento del PIB del 47.46%. En la figura, se observan los cambios a través de los años durante la

década mencionada. No obstante, estudio realizado en el 2010 acerca de la situación tecnológica del sector manufacturero en la región sierra del Ecuador, indica que un 15.18% del total de la muestra en cuestión dispone de algún sistema automatizado en su planta industrial. (Buenaño Acosta & Ponce Sevilla, 2010).

Figura 2

Análisis del crecimiento del PIB del sector manufacturero



Nota: Recuperado de (Maldonado & Proaño, 2015)

En ensamblaje también se encuentra presente en la industria ecuatoriana, de acuerdo con (Vistazo, 2017), en el país se realiza el ensamblaje de equipos como televisores, tarjetas de memoria, cocinas de inducción y computadoras. Entre estas empresas ensambladoras se encuentran Motsur, Prima Electronicorp, dedicadas a la producción de televisores. De manera similar, Tarpuq y CI Electrónica, dedicadas al ensamblaje de tarjetas electrónicas y mainboards. Asimismo, según un artículo publicado en El Universo, el 21,3% de los carros comercializados en Ecuador, son ensamblados en el país. En el año 2019 se realizó el ensamblaje de 7 marcas entre ellas Chevrolet, Kia, Hyundai y Jac. (El Universo, 2019)

Y cada vez existen más empresas e industrias que optan por la automatización de sus procesos para alcanzar los beneficios que esto trae. Tal es el caso de industrias de electrodomésticos como INDUGLOB, empresa ecuatoriana, que en (Lojan Bermeo,

2015), realiza la automatización de su maquinaria para lograr que sus procesos de ensamble de congeladores sean realizados de manera eficiente y automática.

Control y automatización mediante PLC

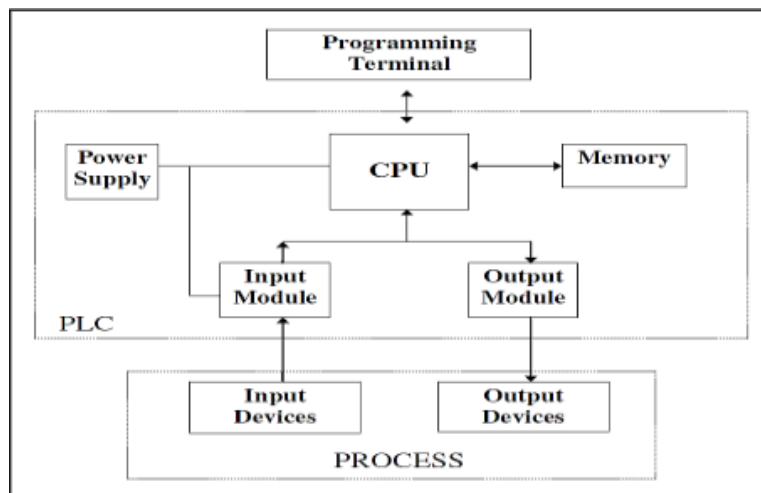
La automatización de procesos se logra gracias a la utilización de equipos que son capaces de procesar información recibida y entregar cambios en variables físicas de la manera que sea necesaria de acuerdo a la programación establecida. Existen diferentes técnicas de automatización y la que se utilice va a depender plenamente de los recursos existentes y las necesidades específicas de la aplicación.

Una de las maneras de automatizar es con el uso de Controladores Lógicos Programables (PLC). Gracias a los avances en programación y microelectrónica, estos autómatas programables son los dispositivos electrónicos más convenientes a la hora de automatizar procesos industriales, ya que permiten realizar distintas operaciones lógicas y seguir instrucciones determinadas con facilidad de programación y adaptabilidad. Además, estos equipos son considerados como soluciones a gran cantidad de aplicaciones industriales. Existe una amplia variedad de fabricantes de PLCs a nivel mundial como Allen Bradley, Siemens, ABB, Omron, Schneider, entre otros.

La estructura básica de un PLC consta de una unidad de procesamiento (CPU), entradas y salidas, y la memoria, como se puede observar en el diagrama de bloques.

Figura 3

Diagrama de bloques de la estructura básica de un PLC.



Nota: Recuperado de (Hudedmani, M, Kabberalli, & Hittalaman, 2017)

Al momento de implementar una actualización tecnológica, se utilizan autómatas programables para operaciones que anteriormente eran realizadas de manera manual o con técnicas obsoletas. En (Ríos Q & López, 2007), se presenta un ejemplo, donde se actualiza una máquina formadora de vidrio con el uso de un PLC modular Allen Bradley que permite retirar varios elementos y reemplazarlos por elementos neumáticos compatibles, generando un ahorro significativo en costos de mantenimiento, así como un aumento en la seguridad del personal.

PLC Allen Bradley.

La empresa Allen Bradley desde sus inicios de operaciones en 1903 y su primer PLC en 1970, ha sido una marca pionera en la historia de los controladores lógicos programables con un gran impacto en el mercado internacional, llegando a ser la compañía más grande dedicada a la automatización industrial, con una gran variedad de productos. (Rockwell Automation, s.f.)

Existe una extensa variedad de PLC que ofrece Allen Bradley, pueden ser compactos, modulares, de montaje, de programación básica, de control inteligente, entre otros, para que, de acuerdo a las capacidades, se pueda escoger un equipo que satisfaga los requerimientos de cada aplicación de manera óptima, con la capacidad de integrarse con los demás equipos que forman parte del sistema. Para escoger correctamente el PLC que se adapte a los requerimientos, se tienen en cuenta ciertas consideraciones como:

- Número de entradas y salidas
- Entradas y salidas digitales y analógicas
- Capacidad de memoria
- Velocidad de procesamiento
- Alimentación requerida
- Tipo de programación
- Disponibilidad de soporte técnico
- Módulos de comunicación y otras funcionalidades

Los controladores programables ControlLogix ofertados por Allen Bradley se ven involucrados en gran cantidad de proyectos en diferentes sectores industriales brindando solución a todo tipo de aplicaciones en control de procesos. Por mencionar algunos ejemplos, tenemos un PLC de esta categoría, con un procesador ControlLogix5561, utilizado en la industria del sector agrícola que, en (Molina, Ramos, & Berrocal, 2014), apoya al control y monitoreo de presión en tanques de amoniaco, logrando reducir costos de operación y mantenimiento e implementar un sistema que se anticipe a fallas esperadas.

Por otro lado, en la industria alimenticia, la cual demanda precisión y agilidad en sus procesos, se llevan a cabo técnicas de limpieza rigurosas para cumplir con las

normas de sanidad. En este caso, este tipo de PLC también se encuentra en el nivel tecnológico adecuado para satisfacer estos requerimientos. En la planta de Coca Cola Femsa ubicada en Torreón, México, se utiliza un sistema de control a base de un ControlLogix para el control operativo de unidades de saneamiento. (Ballinas Aguilar, 2016)

En Ecuador, se utilizan también estos dispositivos para los sistemas de producción en diferentes industrias, así como en la pedagogía para la formación de ingenieros. En el sector eléctrico, específicamente la Central Térmica Gonzalo Cevallos, cuenta con un sistema electro hidráulico para el control de turbinas apoyándose en su totalidad en un controlador Allen Bradley de la categoría mencionada, permitiendo mantener de manera automática la velocidad del turbogenerador. (Loor Jara, 2016)

En (Mañay Añarumba, 2019) se realiza la automatización en una línea de ensamblaje de automóviles logrando mejorar la capacidad de producción significativamente en un 60% gracias a un PLC ControlLogix 5000 que ayuda a la correcta integración de los elementos eléctricos y neumáticos que conforman el sistema.

Así mismo, en el caso de la empresa ecuatoriana CODANA, dedicada a la fabricación de alcohol etílico, utilizan también un autómata programable con procesador ControlLogix 5561 debido a su versatilidad y alta conectividad, para el control automático de su proceso de destilación logrando asegurar la eficiencia y garantizar la calidad del producto.

Sistemas de entrenamiento para automatización.

Para que la automatización en el área de la producción tenga un impacto beneficioso, es necesario que el personal esté preparado para adaptarse a los cambios y reformaciones que trae la automatización. Por consiguiente, se considera necesario

que la educación impartida esté al alcance, incluyendo la formación adecuada de docentes y la actualización constante del material utilizado para que apoye positivamente al desarrollo profesional de los estudiantes. Se propone entonces, la implementación nuevas tecnologías, desarrollando el uso interactivo y didáctico de las mismas y permitiendo el acercamiento a situaciones reales.

En los diferentes centros de educación superior, se tienen laboratorios especializados para la enseñanza y formación de estudiantes en carreras afines a la automatización industrial, como Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería Electrónica y otros, los cuales están equipados con sistemas que simulan las operaciones de la industria y que se encuentran en constante mejora para poder contribuir al desarrollo de las capacidades de acuerdo con la tecnología actual teniendo presente que, en la formación de profesionales, es imprescindible un alto nivel de preparación que se consigue con la experiencia práctica.

Existe una diversa variedad de empresas que ofrecen sistemas de entrenamiento, en recientes trabajos de investigación a escala nacional, se tiene en cuenta la importancia de la enseñanza de automatización de procesos industriales y se llevan a cabo actualizaciones y mejoras en los laboratorios para proveer a los estudiantes de los conocimientos necesarios para aplicarlos en la industria nacional. En (Abarca Camacho & Camacho Paucar, 2017) se realiza la inclusión de una estación automática de una línea de ensamblaje con la ayuda de un PLC Siemens con un modelo de robot industrial, diseñado para el laboratorio de automatización en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que, en conjunto, logran aportar significativamente al desarrollo integral de los estudiantes en diferentes disciplinas como robótica, control industrial, manejo de PLC y sistemas de control.

Para los mismos fines, se utilizan diferentes técnicas, maquinaria y herramientas, elementos eléctricos, neumáticos, mecánicos, que se acoplan al sistema. En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con el uso de PLC, se automatiza la estación de ensamblaje integrando ventosas neumáticas para el laboratorio de Control y Automatización Industrial. (Cayancela Valverde & Edison, 2015)

El sistema HAS-200, al ser un apoyo en el desarrollo de destrezas prácticas en el ámbito de la automatización, se encuentra presente también en Colombia, en la Universidad Libre de Bogotá y en la Universidad de Cundinamarca. Por el contrario, en la investigación realizada a nivel nacional, se encontraron varios proyectos que implementan módulos didácticos independientes para equipar los laboratorios de las instituciones educativas, pero no la adquisición de sistemas de entrenamiento completos que permitan la integración de diferentes disciplinas como es el sistema MAS-200, a excepción de la Universidad de las Fuerzas Armadas, que dispone del sistema HAS-200.

El Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas cuenta con 19 laboratorios que están estratégicamente diseñados para aportar a la enseñanza de las diferentes asignaturas, entre ellos se encuentra el laboratorio de Manufactura Integrada por Computador (CIM) que está enfocado en la integración de sistemas industriales. Actualmente se encuentra equipado con el sistema automatizado HAS-200 de la empresa SMC, el cual ayuda a poner en práctica conocimientos adquiridos referentes a Control de Procesos, Control Industrial, PLC, Electrofluidos.

El sistema fue adquirido e instalado en el laboratorio en el año 2015. Posteriormente, se realizó la integración de un sistema SCADA e interfaces HMI al mismo en el año 2016 para potenciar las competencias en la práctica de procesos

industriales de producción, dejando al sistema funcional y operativo para ser utilizado como herramienta de aprendizaje en el laboratorio. (Alvarez & Robles, 2016)

Cabe mencionar que, en toda la literatura revisada, no se encontraron entradas referentes al sistema MAS-200, es decir, el presente trabajo realizado es uno de los primeros que se desarrollan en base a este sistema didáctico de entrenamiento MAS-200.

Capítulo III

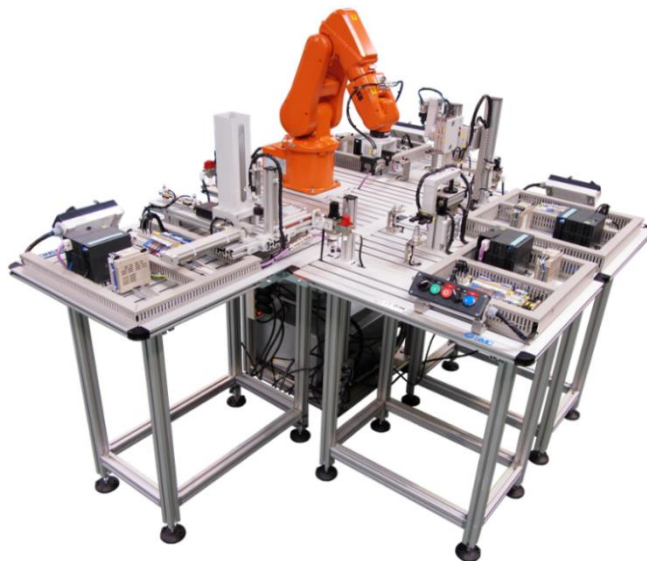
Marco Teórico

Sistema de ensamblaje MAS-200

Con el auge de la tecnología y su importancia en todos los aspectos del ser humano, incluido el campo laboral e industrial. Instituciones, organizaciones, universidades y empresas en todo el mundo han venido innovando y desarrollando cada vez más técnicas, métodos y conocimientos sobre esta. Una parte de esta tecnología enfocada en la industria es la automatización de procesos industriales que cada vez se hace más accesible en todo el mundo incluido países en vías de desarrollo, de allí surge la necesidad de contar con personal cualificado que sepa diseñar, manejar e implementar este tipo de sistemas en los lugares o países donde ya se ve una mayor acogida y aceptación por sus excelentes resultados.

Figura 4

Sistema de ensamblaje MAS -200



Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

Basados en esta necesidad, empresas de automatización como la japonesa SMC han trabajado en equipos educativos donde se puedan tener aplicaciones reales

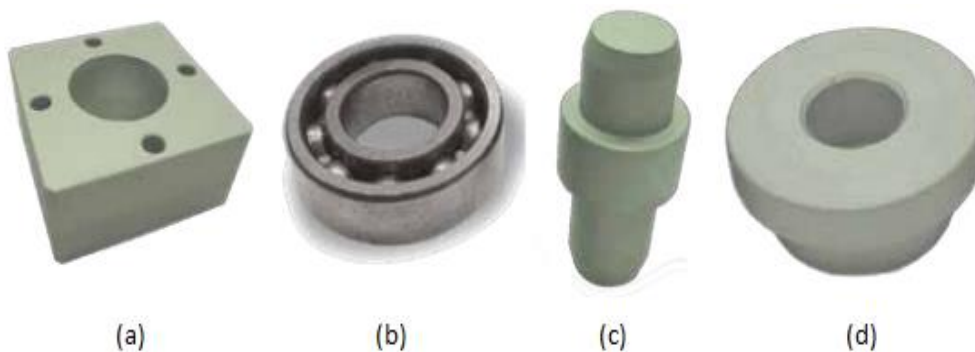
de la automatización en la industria en presentaciones pequeñas, económicas y simplificadas para que estudiantes de universidades o institutos técnicos se preparen para su rol dentro de sus campos laborales.

El sistema de ensamblaje MAS-200, creado por la empresa SMC, trata de un sistema modular donde se representa o simula un sistema de ensamblaje industrial real que puede ser visto en varios tipos de industrias como la automotriz, la manufacturera, de tecnología, farmacéutica, etc.

El objetivo del sistema es ensamblar una pieza conformada por cuatro piezas más pequeñas las cuales son una base, un rodamiento, un eje y al final la colocación de una tapa en ese orden, el sistema se conforma por cinco módulos, desde MAS-201 hasta MAS-205, los cuatro primeros se encargan de preparar cada pieza y el módulo restante consta de un brazo neumático (MAS-205 A) o robot manipulador (MAS-205 B) que desplaza las piezas entre módulos para ir ensamblando la pieza final.

Figura 5

Piezas manejadas en sistema MAS-200: (a) MAS-201, (b) MAS-203, (c) MAS-204, (d) MAS-202.



Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

Dentro de MAS-200 existe un subsistema de simulación de fallas llamado TROUB-200, el cual consiste en un conjunto de interruptores que activan o desactivan sensores y/o actuadores cerrados bajo llave para que el estudiante sea capaz de

diagnosticar que falla se está produciendo, en que equipo o módulo, como manejarla, repararla o reportarla para complementar su formación como recurso humano para el manejo de sistemas de automatización.

Dentro de este sistema se pueden ver aspectos de la automatización como:

- Sistemas neumáticos.
- Comunicaciones industriales.
- Controladores lógicos programables.
- Instrumentación industrial.
- Actuadores mecánicos.
- Robótica industrial.
- Electrónica industrial.
- Control industrial.
- Programación.
- Sistemas SCADA.
- Interfaces humano-máquina (HMI).

Dentro de las habilidades y capacidades que el estudiante puede aprender con el manejo del sistema MAS-200 están:

- Análisis de sistemas de automatización en conjunto.
- Simulación, detección y reparación de averías.
- Diseño de sistemas de automatización, rutinas, cableado, programación, etc.
- Elaboración y lectura de documentación técnica sobre sistemas de automatización industriales.
- Operación de equipos de automatización en procesos industriales.
- Programación de controladores lógicos programables.
- Diseño de módulos de automatización de trabajo autónomo y en conjunto.

- Gestión de comunicaciones industriales.
- Operación de sistemas neumáticos.

Módulos

De manera general, en cada módulo tiene la tarea de realizar las siguientes acciones:

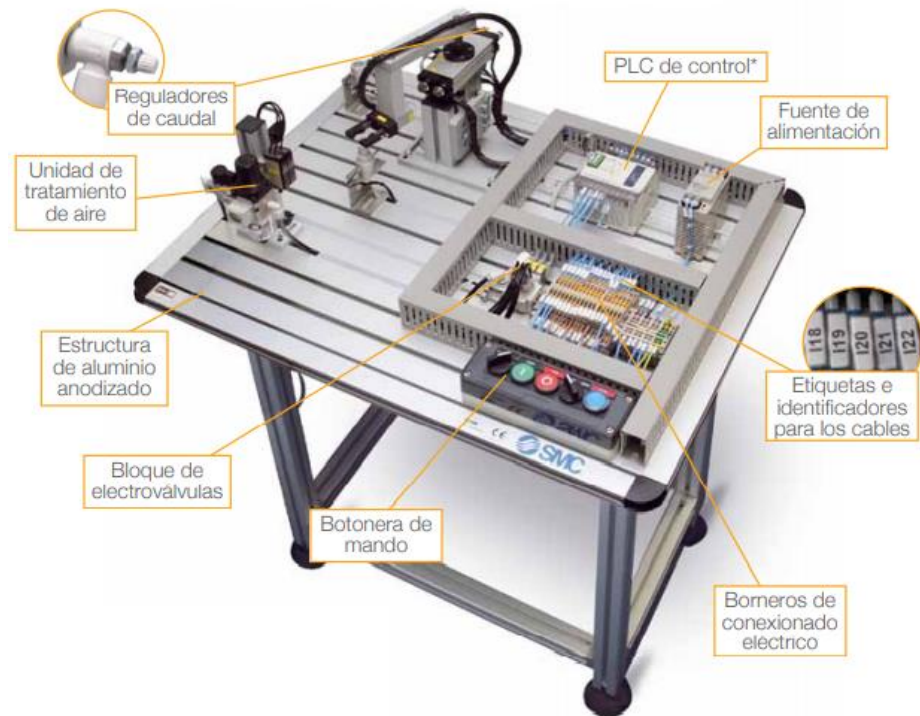
- MAS-201
 - Proveer al sistema la base para el montaje de las demás piezas sobre esta.
 - Detección de la correcta posición de la base.
 - Rechazo de bases mal colocadas de la línea de ensamblaje.
- MAS-202:
 - Un actuador neumático provee la pieza final, una tapa la cual es colocada sobre las demás.
- MAS-203:
 - Consta de un actuador neumático que provee de un rodamiento, la segunda pieza en ser colocada en la pieza final.
- MAS-204:
 - Consta de un actuador neumático que realiza la alimentación de un eje al sistema.
- MAS-205 A:
 - Consta de un brazo neumático que realiza el montaje y desmontaje de todas las piezas suministradas por las demás para el ensamblaje de la pieza final.

De manera general, las partes o equipos que se encuentran en todos los módulos son los siguientes:

- Controlador lógico programable: Cabe destacar que la empresa SMC pone a la disposición del cliente que adquiere el sistema, diferentes marcas de PLC para el control del mismo, entre las opciones a elegir es un PLC Siemens, Omron, Mitsubishi, Allen Bradley o sin este equipo, esta última opción es la que está presente en los laboratorios de CIM de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Fuente de alimentación 24 Vdc.
- Unidad de tratamiento de aire.
- Botonera de mando.
- Actuadores neumáticos con reguladores de caudal.
- Bloque de electroválvulas.
- Borneras de conexión eléctrica.
- Etiquetado de cableado.
- Canaletas para cableado.
- Estructura de aluminio para montaje.

Figura 6

Partes generales de cada módulo en MAS-200



Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

Módulo MAS-201

Figura 7

Módulo MAS-201



Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

Como su nombre lo indica, es el primer módulo del sistema MAS-200 y es en donde comienza todo el proceso de ensamble. Se encarga de proveer la primera pieza la cual es la base en donde se insertarán las demás piezas en este mismo módulo para luego ser despachada completamente ensamblada y dar por terminado el proceso.

Proceso

El proceso que realiza se detalla a continuación:

1. Un sensor detecta que el módulo cuenta con bases para poder llevar a cabo el suministro de la primera pieza.
2. Cuando el sensor confirma la existencia de base un pistón neumático lo empuja para la comprobación de su posición y que esta sea la correcta.

3. Una vez desplazada la base un pistón de verificación desciende, si la base está colocada correctamente el pistón podrá avanzar en su totalidad, caso contrario, el sensor de avance no se activará.
4. Luego de la verificación un tercer pistón vuelve desplazar la base a una posición en donde, si su posición es correcta, está lista para que sobre esta se vayan ensamblando las demás piezas y se logre el ensamblaje completo. Si la posición es incorrecta un cuarto y pequeño pistón rechaza la base mal colocada para que se suministre una nueva base.

Todo este proceso se logra gracias a actuadores neumáticos provistos por una fuente neumática externa a todo el sistema y toda la circuitería, eléctrica y neumática, para conformar estos circuitos que se detallan de mejor manera en la Tabla 1.

Sin embargo, todas las estaciones del sistema MAS-200 carecen de un equipo de control industrial o PLC, el cual, junto con una lógica de programación interna encargada del funcionamiento, un diseño previo, adaptación, instalación y conexión de este a sensores y actuadores a través de una red de comunicación, los procesos individuales y generales no pueden ser llevados a cabo, creando la necesidad de realizar las actividades ya mencionadas.

Tabla 1

Características técnicas MAS-201.

Características	Descripción
Medidas	843x580x1300 mm
Sensores	4 magnético reed 1 inductivo
Entradas	9 digitales

Características	Descripción
Salidas	5 digitales
Simulación de averías	TROUB-200
Salidas neumáticas	4 para 4 pistones.
Cilindros y pistones	3 de doble efecto 1 retorno resorte
Comunicación	Sistema remoto de entradas y salidas Weidmuller
Unidad de tratamiento de aire	SMC
Botonera	5 mandos Schneider
PLC	Allen Bradley (agregado al sistema)

Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

Equipos

Entre los equipos principales del módulo se encuentran:

- Unidad de tratamiento de aire SMC:

Figura 8

Unidad de tratamiento de aire SMC.

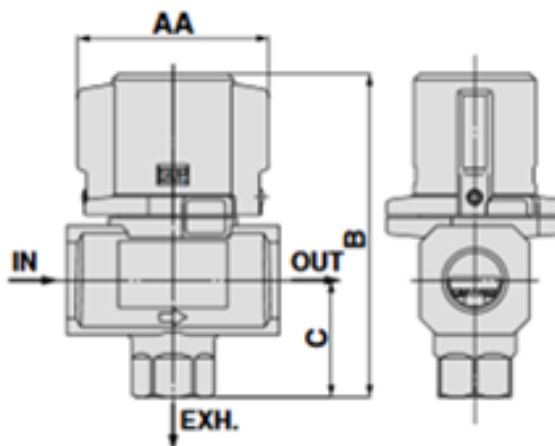


La unidad de tratamiento de aire está compuesta por dos partes principales: la válvula de alivio de presión y el filtro regulador:

- Válvula de alivio de presión

Figura 9

Diagrama válvula.



Nota: Recuperado de (SMC, s.f.)

La válvula de alivio de presión de 3 vías, como su nombre lo indica, es una válvula manual la cual al accionarse cierra completamente la alimentación neumática liberando de la presión al resto del circuito neumático. Se usa como una medida de protección puesto que al accionarse y cortar el suministro neumático los actuadores puede ser fácilmente desplazados a conveniencia, algunas características de la válvula son:

Tabla 2

Características técnicas de válvula.

Número	Característica	Descripción
1	Código	VHS20-F01B
2	Presión	De 0.1 a 1 MPa
3	Tipo de rosca	G

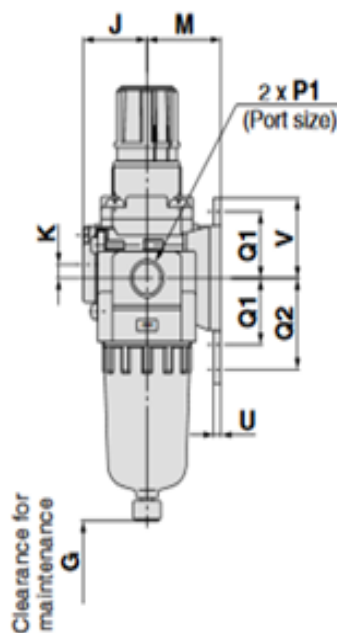
Número	Característica	Descripción
4	Tamaño del puerto	1/8"
5	Área efectiva	Entrada-salida: 10 m ² Salida-escape: 11 m ²
6	Unidad de presión	Mpa (mega pascal)
7	Fluido	Aire

Nota: Recuperado de (SMC, s.f.)

- Filtro regulador.

Figura 10

Diagrama filtro regulador.



Nota: Recuperado de (SMC)

La otra parte de la unidad de tratamiento de aire es el filtro regulador, el cual tiene dos funciones principales, funciona como filtro para que no ingresen objetos extraños a través de los conductos de aire hacia el circuito neumático y pueda causar daños en actuadores, conductos o válvulas y su segunda función es la de regulación de

presión hacia el circuito neumático a través de un actuador rotacional manual junto con un medidor de presión en donde el operador puede modificar la presión con la que funciona el sistema. Algunas de las características del filtro regulador son:

Tabla 3

Características técnicas filtro regulador.

Número	Característica	Descripción
1	Código	AW20-F01E-B
2	Presión	De 0.05 a 0.85 Mpa
3	Tamaño de puerto	1/8"
4	Fluido	Aire
5	Temperatura de trabajo	-5 a 60 °C
6	Máxima presión operación	1 Mpa
7	Material	Policarbonato
8	Peso	0.57 Kg

Nota: Recuperado de (SMC)

- Controlador lógico programable:

Figura 11

Controlador Lógico Programable (PLC).



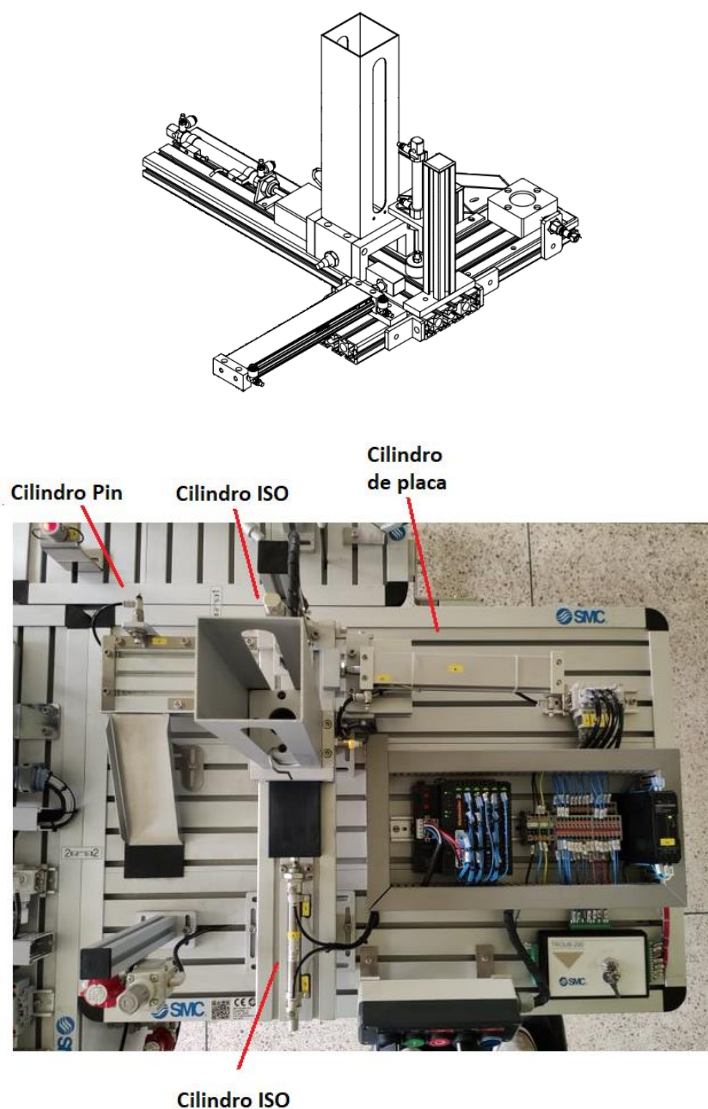
Este equipo de control es el que se va a implementar en el proceso, el controlador lógico programable o PLC podría considerarse el elemento más importante

del proceso al ser el encargado de controlar los actuadores en base a información entregada por sensores y llevar a cabo el proceso, por lo cual tiene su propio apartado con una explicación minuciosa posterior.

- Sistema neumático:

Figura 12

Sistema neumático MAS-201.



Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

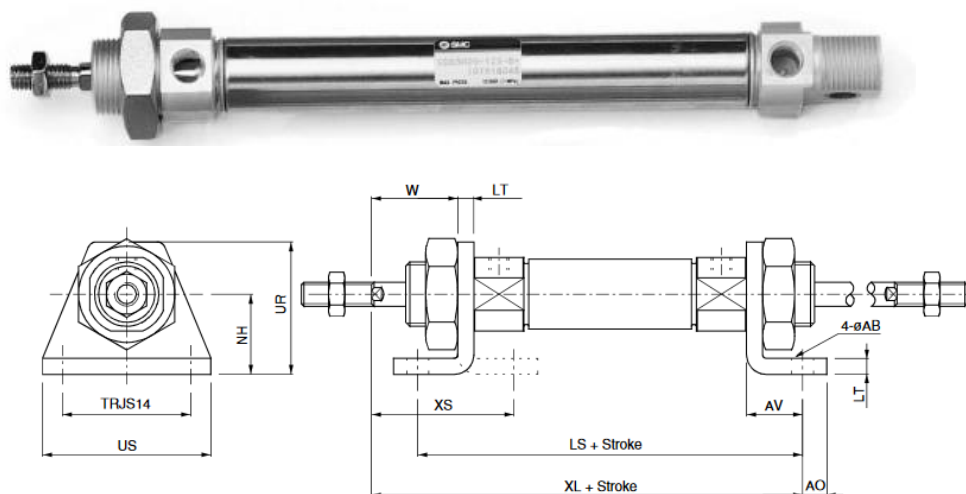
El sistema neumático se entiende como el conjunto de actuadores neumáticos o pistones que realizan los movimientos necesarios gracias a una fuente neumática externa al sistema.

Para el módulo MAS-201 se tiene cuatro pistones cada uno con una funcionalidad específica con características acordes a dichas funcionalidades, las cuales se explican a continuación:

- Cilindro ISO

Figura 13

Cilindro ISO



Nota: Recuperado de (SMC)

Dentro de la estación MAS-201 se cuenta con dos cilindros tipo ISO, uno es usado para desplazar la pieza base de su lugar inicial hacia el lugar en donde se realiza la comprobación de su posición, el segundo cilindro es el que se encarga de la comprobación insertándose en el orificio de la pieza esperando poder llegar a su avance completo.

Las características de los cilindros son:

Tabla 4*Características técnicas cilindro ISO.*

Número	Característica	Descripción
1	Marca	SMC
2	Código	CD85N16-100-B
3	Imán incorporado	Si
4	Montaje	Horquilla integrada básica
5	Tamaño de orificio	16 mm
6	Carrera	100 mm
7	Montaje detector magnético	Montaje en banda
8	Efecto	Doble
9	Varilla	Simple
10	Fluido	Aire
11	Máxima presión	1 Mpa
12	Mínima presión	0.05 Mpa

Nota: Recuperado de (SMC)

Tabla 5*Características técnicas segundo cilindro ISO*

Número	Característica	Descripción
1	Marca	SMC
2	Código	CD85N12-50-A
3	Imán incorporado	Si
4	Montaje	Horquilla integrada básica
5	Tamaño de orificio	12 mm

Número	Característica	Descripción
6	Carrera	50 mm
7	Montaje detector magnético	Montaje en riel
8	Efecto	Doble
9	Varilla	Simple
10	Fluido	Aire
11	Máxima presión	1 Mpa
12	Mínima presión	0.08 Mpa

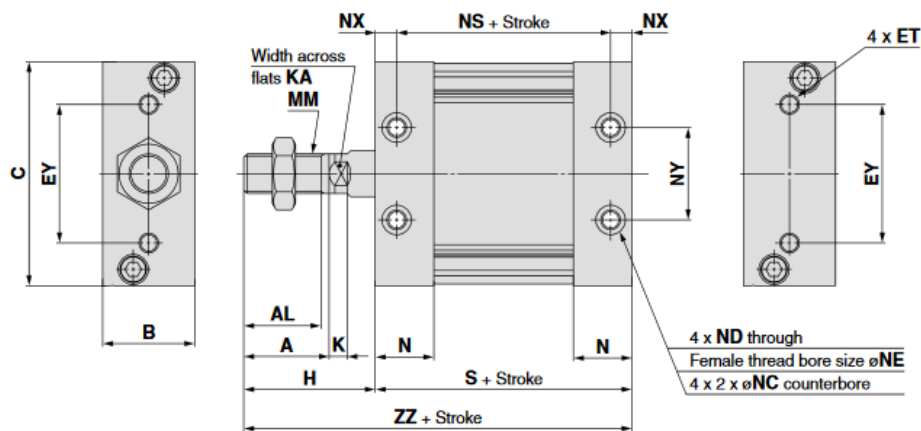
Nota: Recuperado de (SMC)

- Cilindro de placa o plato

Figura 14

Cilindro de placa



Figura 15*Dimensiones de cilindro de placa*

Nota: Recuperado de (SMC)

Dentro de la estación, se encuentra un solo cilindro de este tipo, su función es la de trasladar la base una vez hecha la comprobación hacia la zona de ensamblaje para poder montar sobre esta las demás piezas. Algunas características técnicas de este cilindro son:

Tabla 6*Características técnicas cilindro placa*

Número	Característica	Descripción
1	Marca	SMC
2	Código	MDUB25-200DM
3	Detector magnético	Si
4	Montaje	Básico
5	Dimensión	Área del pistón 25 mm
6	Carrera cilindro	200 mm
7	Efecto	Doble
8	Configuración del extremo del pistón	Rosca macho

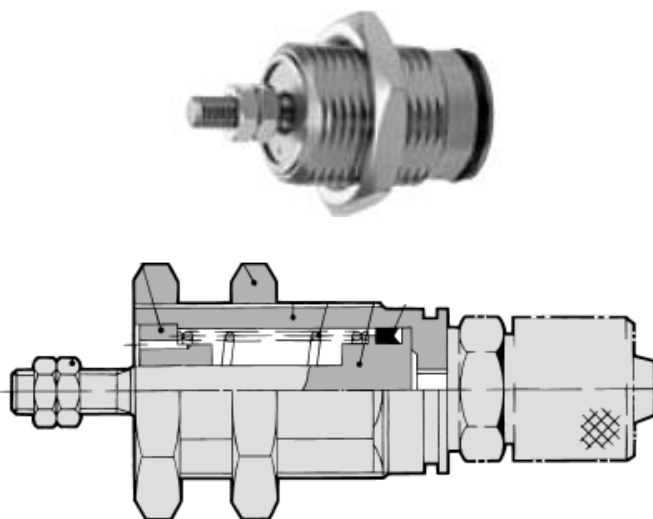
Número	Característica	Descripción
9	Lubricación	No requerida
10	Fluido	Aire
11	Máxima presión	0.7 Mpa
12	Mínima presión	0.05 Mpa

Nota: Recuperado de (SMC)

- Cilindro pin

Figura 16

Cilindro pin



Nota: Recuperado de (SMC)

Se trata de un pequeño cilindro el cual, dentro del módulo, se usa para desechar una base mal colocada o para despachar la pieza completamente ensamblada al final del proceso, en la estación se cuenta con uno solo de estos y algunas características técnicas del mismo son:

Tabla 7*Características técnicas cilindro pin*

Número	Característica	Descripción
1	Marca	SMC
2	Código	CJPB10-15H6
3	Detector magnético	No
4	Montaje	Sobre panel
5	Diámetro orificio	10 mm
6	Carrera	50 mm
7	Efecto	Simple (retorno resorte)
8	Boquilla de manguera	Tipo H6 (6 mm)
9	Fluido	Aire
10	Máxima presión	0.7 Mpa
11	Mínima presión	0.15 Mpa

Nota: Recuperado de (SMC)

- Sistema remoto de entradas y salidas:

Figura 17

Sistema remoto de entradas y salidas.



El módulo de unidad remota de entradas y salidas Weidmuller es un dispositivo que permite la conexión de los elementos como entradas y salidas (sensores, actuadores y dispositivos de mando) de un proceso a un controlador programable (PLC), en otras palabras, este dispositivo otorga un bus de campo a los diferentes equipos de carácter industrial para conectarlos en una red DeviceNet (este tipo de red se explica en una sección posterior), las características generales de este equipo son:

Tabla 8

Características técnicas sistema remoto de entradas y salidas

N°	Característica	Descripción
1	Marca	Weidmuller
2	Código	UR20-FBC-DN 1334900000
3	Dimensiones	120x52x76 mm
4	Temperatura	-20 a 60 °C
5	Tensión de alimentación	24 VDC

N°	Característica	Descripción
6	Corriente máxima	4 A
7	Puerto	Fixed DeviceNet
8	Velocidad de transmisión	48 Mbps
9	Nodos máximos	64

Nota: Recuperado de (Weidmuller)

- Botonera:

Figura 18

Botonera.



Constituyen, junto con la interfaz humano-maquina (HMI), la forma de interacción del operario con la maquinaria y el proceso. Es un conjunto de dos interruptores y tres pulsadores conectados al sistema remoto y este al controlador para generar la ordenes por parte del humano hacia el sistema, las funciones y características de cada elemento se encuentran a continuación:

Tabla 9

Descripción funciones botonera

Posición	Nombre	Característica	Función
1	0 1	Interruptor	Se encarga de la energización del módulo completo

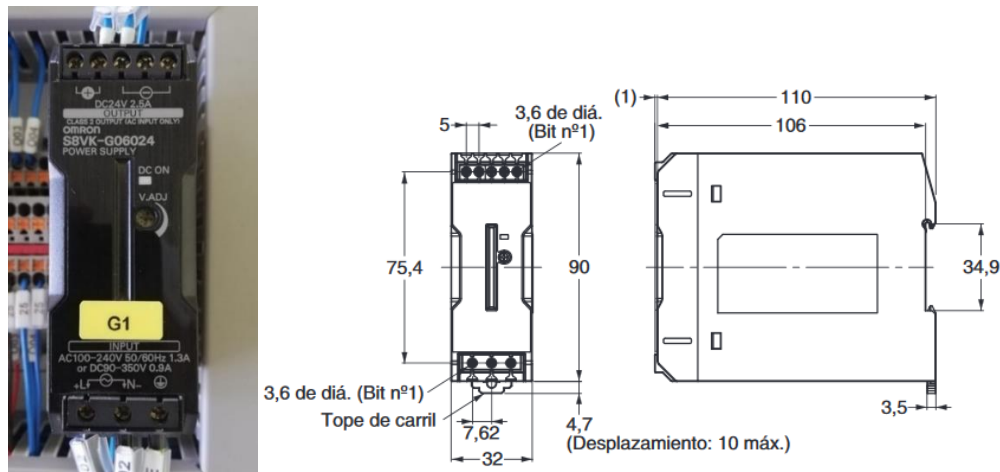
Posición	Nombre	Característica	Función
2	START	Pulsador normalmente abierto	Pulsador el cual da la orden de inicio de proceso al controlador para que arranque el sistema.
3	STOP	Pulsador normalmente cerrado	Pulsador el cual da la orden de paro o pausa de proceso al controlador para que detenga el sistema.
4	AUTO MAN	Interruptor	Interruptor el cual es capaz de seleccionar un modo de operación del sistema: automático o manual.
5	RESET	Pulsador normalmente abierto	Pulsador que da la orden de reiniciar el proceso desde el estado que sea que se encuentre operando el sistema.
5	Luz	Señal luminosa	Luz de color azul que se encuentra dentro de botón RESET, se utiliza para alertar que el proceso se encuentra detenido.

Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

- Fuente de alimentación:

Figura 19

Fuente de alimentación.



Nota: Recuperado de (OMRON)

Se trata de una fuente de alimentación para suministrar la energía eléctrica necesaria a todo el módulo y pueda funcionar correctamente, esta fuente abastece de energía a la unidad remota de entradas y salidas, al bloque de electroválvulas y a sensores propios del sistema, el PLC cuenta con su propia fuente de voltaje por lo que esta fuente de energía con el controlador son sistemas independientes. Algunas características técnicas de la fuente de voltaje son:

Tabla 10

Características técnicas fuente de alimentación

Número	Característica	Descripción
1	Código	S8VK-G06024
2	Tipo	Tipo libro
3	Método de montaje	Riel DIN
4	Fase	Simple

Número	Característica	Descripción
5	Potencia de salida	60 W
6	Eficiencia	80%
7	Voltaje de salida	24 V DC
8	Corriente de salida nominal	2.5 A
9	Rango de temperatura	-40 a 70 °C
10	Terminal	Bornera con tornillo
11	Voltaje de entrada	100 a 240 V AC
12	Frecuencia de entrada	50 Hz
13	Dimensiones	32x90x110 mm

Nota: Recuperado de (OMRON)

- Bloque de electroválvulas:

Figura 20

Bloque de electroválvulas.



El bloque de electroválvulas SMC SS5Y3-60 es de tipo cassette, permite la activación de una bobina magnética a través de una salida del PLC para abrir o cerrar las distintas válvulas y dar paso o no al aire hacia los actuadores neumáticos.

Algunas características generales de este equipo son:

Tabla 11*Características técnicas bloque de electroválvulas.*

N°	Característica	Descripción
1	Marca	SMC
2	Código	SS5Y3-60(E-D0020)
3	Serie	SY3000
4	Efecto	Simple
5	Montaje	Riel
6	Estaciones	De 2 a 20
7	Fluido	Aire
8	Voltaje de activación	12 o 24 VDC

Nota: Recuperado de (SMC)

Módulo MAS-203**Figura 21**

Módulo MAS-203



Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

El módulo MAS-203 también forma parte del sistema MAS-200, este módulo tiene la función de suministrar una pieza más para el proceso de ensamble de la pieza final, la pieza que se trabaja en este módulo conste de un rodamiento y es la segunda pieza en orden de ensamble por el actuador central.

Proceso

El proceso a detalle que se realiza en este módulo es:

1. Un sensor detecta si se tiene un rodamiento en la posición inicial para poder ser trasladado y preparado hacia la posición final en el proceso.

2. Cuando el sensor confirma haber detectado a la pieza, activa el actuador neumático que desciende para poder tomar la pieza con la activación de una pinza que sujeta internamente al rodamiento.
3. Una vez sujeta la pieza, el actuador procede a realizar un movimiento de rotación para colocar la pieza en la posición de traslado.
4. Al llegar a la posición final, la pinza del actuador se desactiva para dejar caer el rodamiento y dejar la pieza lista para poder ser ensamblada.

Algunas características técnicas sobre el módulo MAS-203 son:

Tabla 12

Características técnicas módulo MAS-203

Características	Descripción
Medidas	743x580x1200 mm
Sensores	3 magnético reed 2 fotoceldas de barrera
Entradas	9 digitales
Salidas	4 digitales
Simulación de averías	TROUB-200
Salidas neumáticas	2: 1 actuador giratorio. 1 pinza neumática.
Comunicación	Sistema remoto de entradas y salidas Weidmuller
PLC	Allen Bradley
Unidad de tratamiento de aire	SMC
Botonera	5 mandos Schneider

Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

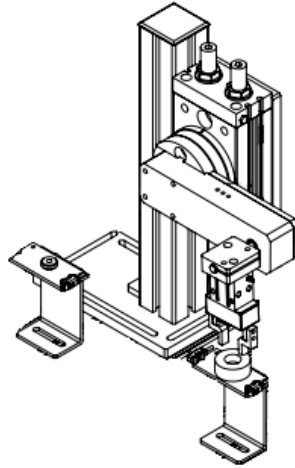
Equipos

Entre los equipos principales del módulo se encuentran:

- Sistema neumático.

Figura 22

Sistema neumático MAS-203



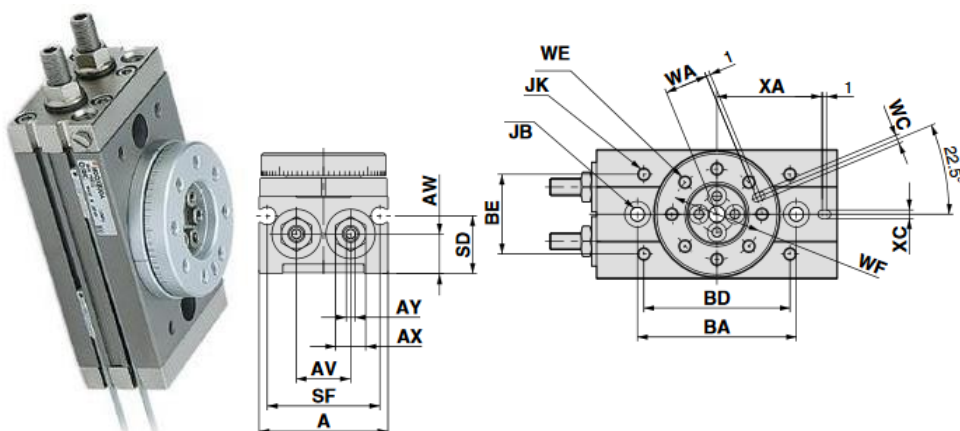
Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

Se conforma de dos dispositivos principalmente, un actuador giratorio encargado del desplazamiento de la pieza y de una pinza o gripper interno para sujetar y soltar la pieza.

- Actuador giratorio neumático

Figura 23

Actuador giratorio neumático



Nota: Recuperado de (SMC)

Este dispositivo es el encargado de desplazar la pieza o rodamiento de su posición inicial a la posición final lista para ser llevada a la zona de ensamble. Consiste en un actuador rotatorio impulsado por aire, las características técnicas de este son:

Tabla 13

Características técnicas actuador giratorio neumático.

Número	Característica	Descripción
1	Marca	SMC
2	Código	MSQB50A
3	Tipo	Básico (baja precisión)
4	Dimensión	50 mm
5	Ajuste	Si, tipo perno

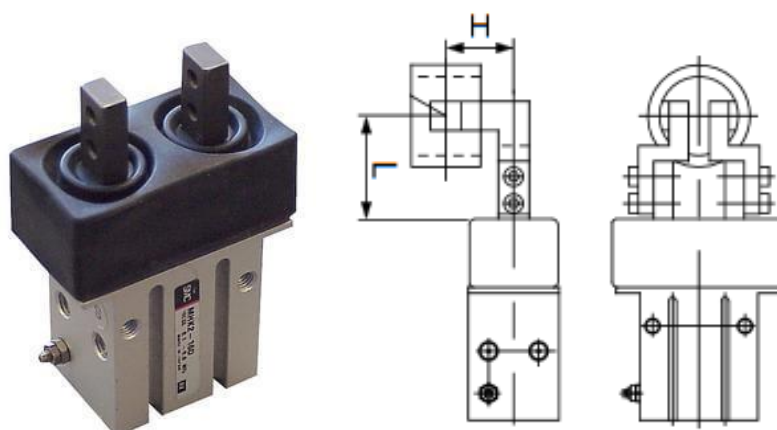
Número	Característica	Descripción
6	Presión máxima	1 Mpa
7	Presión mínima	0.1 Mpa
8	Fluido	Aire
9	Máxima rotación	270°
10	Efecto	Doble

Nota: Recuperado de (SMC)

- Gripper o pinza neumática

Figura 24

Gripper



Nota: Recuperado de (SMC)

Se trata de un dispositivo semejante a una pinza o garra neumática usada para sujetar y soltar objetos a través de una activación y desactivación neumática proveniente de una electroválvula. El tipo de agarre de esta pinza es interna, el objeto a sujetar debe tener un tipo de abertura interna para poder ser sujeta. Sus características son:

Tabla 14

Características técnicas de gripper.

Número	Característica	Descripción
1	Marca	SMC
2	Código	MHK2-16D
3	Tipo	Estándar
4	Número de dedos	2
5	Diámetro orificio	16 mm
6	Efecto	Doble
7	Presión mínima	0.25 MPa
8	Presión máxima	0.6 MPa
9	Fluido	Aire
10	Distancia abierto	20.6 mm
11	Distancia cerrado	14.6 mm

Nota: Recuperado de (SMC)

- Unidad de tratamiento de aire SMC.
- Controlador lógico programable.
- Sistema remoto de entradas y salidas.
- Botonera.
- Fuente de alimentación
- Bloque de electroválvulas

Información general y técnica sobre estos equipos se pueden encontrar en información sobre MAS-201 ya que cuentan con los mismos equipos.

Módulo MAS-204**Figura 25**

Módulo MAS-204



Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

Este módulo, de la misma manera, se encarga de preparar otra pieza para ensamblar la pieza final, la pieza que se trabaja en este módulo se trata de un eje y es la tercera pieza en ser ensamblada por el actuador neumático del módulo MAS-205 A.

Proceso

El proceso que se lleva a cabo en el módulo MAS-204 es el siguiente:

1. Un sensor colocado en la posición inicial hace saber al controlador si existe o no disponibilidad de la pieza en esta posición para poder iniciar con el proceso.
2. Una vez que el sensor haya confirmado la existencia de la pieza, el actuador neumático llamado rotador lineal neumático desciende y, al igual que otros

actuadores neumáticos de las otras estaciones, sujeta la pieza con una pinza neumática.

3. Este actuador rotacional asciende y gira 90 grados para llevar la pieza a la posición final.
4. Finalmente, el actuador desciende y desactiva la pinza neumática para posicionar la pieza en su posición final lista para ser tomada por la estación MAS-205 y llevada al lugar de ensamble.

Características técnicas sobre la estación MAS-204 se pueden encontrar a continuación:

Tabla 15

Características técnicas módulo MAS-204

Características	Descripción
Medidas	8 mm
Sensores	4 magnético reed 2 fotoceldas de fibra óptica 1 sensor de estado sólido
Entradas	12 digitales
Salidas	4 digitales
Simulación de averías	TROUB-200
Salidas neumáticas	2: 1 actuador rotacional lineal 1 pinza neumática
Comunicación	Sistema remoto de entradas y salidas Weidmuller
Unidad de tratamiento de aire	SMC
Botonera	5 mandos Schneider

Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

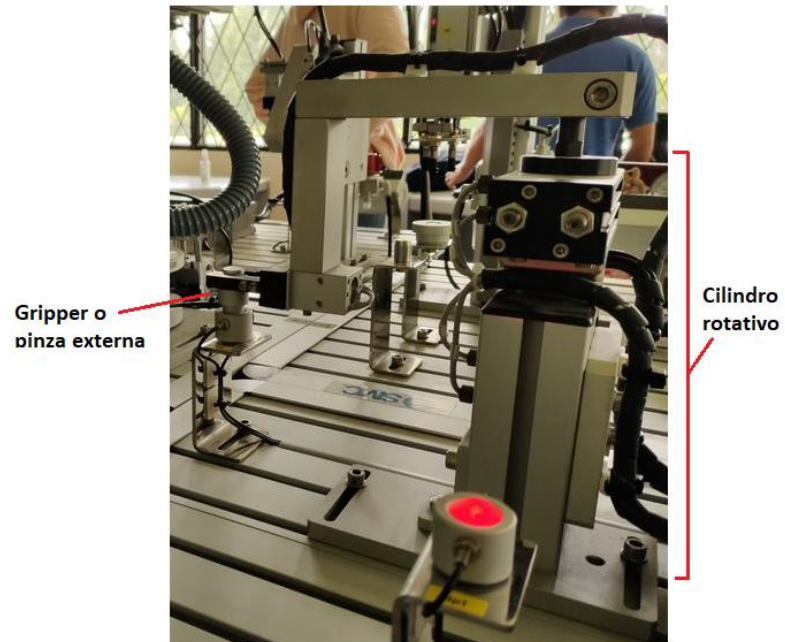
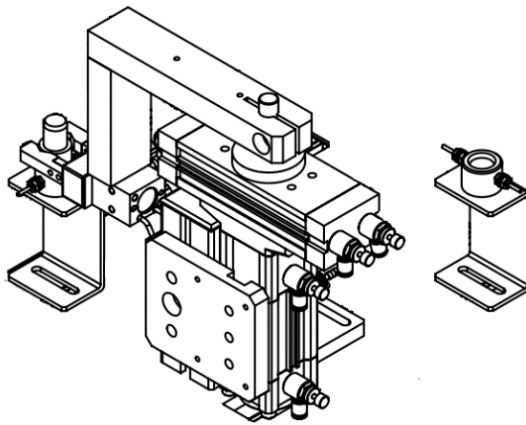
Equipos

Entre los equipos principales que conforman la estación están:

- Sistema neumático

Figura 26

Sistema neumático MAS-204



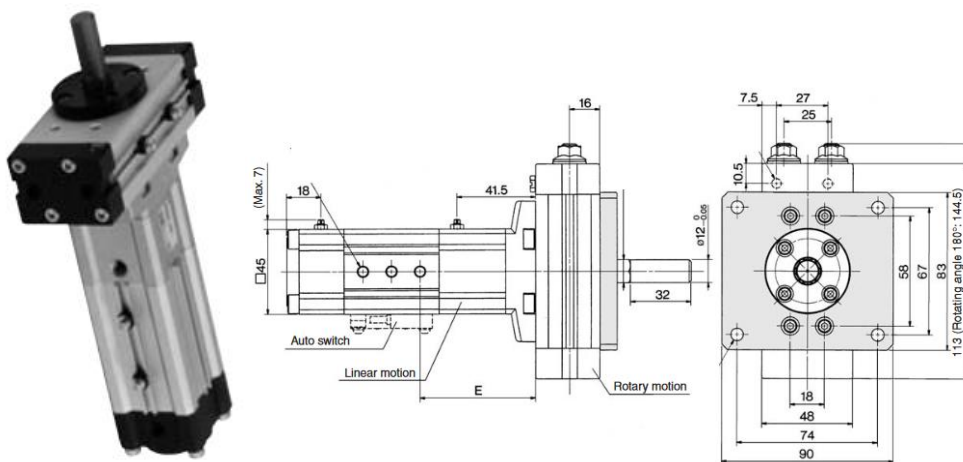
Nota: Recuperado de (SMC International Training, s.f.)

Este sistema neumático también se conforma por dos dispositivos principales, un cilindro rotativo para el desplazamiento de la pieza y un gripper o pinza neumática externa para la sujeción de la pieza.

- Cilindro rotativo neumático

Figura 27

Cilindro rotativo neumático.



Nota: Recuperado de (SMC)

Podría definirse a este actuador neumático como la unión de dos cilindros, uno de avance y retorno y otro de tipo giratorio, por ende, este dispositivo puede realizar cuatro movimientos, dos lineales y dos rotativos para desplazar la pieza de su posición inicial a la posición lista para traslado a la zona de ensamble. Las características técnicas son:

Tabla 16

Características técnicas de cilindro neumático rotativo.

Número	Característica	Descripción
1	Marca	SMC
2	Código	EMRQBS32-25CB
3	Montaje	Básico

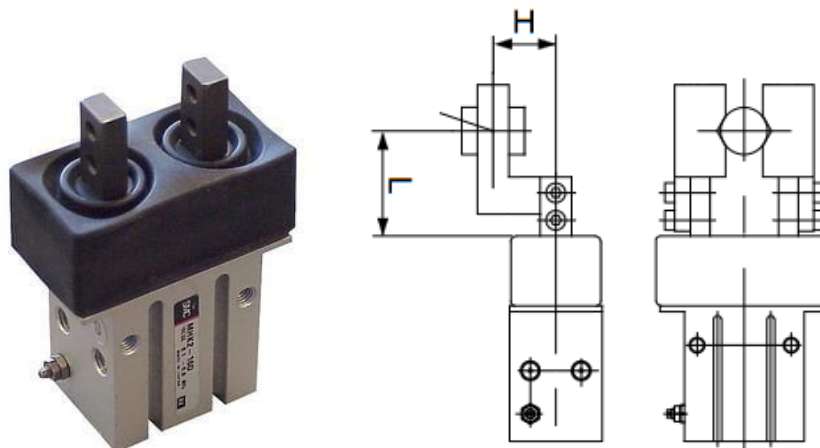
Número	Característica	Descripción
4	Carrera	50 mm
5	Amortiguador	De aire
6	Ángulo de rotación	hasta 190°
7	Fluido	Aire
8	Máxima presión	0.7 MPa
9	Mínima presión	0.15 MPa
10	Temperatura	0 °C a 60 °C
11	Efecto	Ambos doble

Nota: Recuperado de (SMC)

- Gripper o pinza neumática

Figura 28

Gripper externo.



Nota: Recuperado de (SMC)

El gripper o pinza neumática usada en esta estación es de tipo externa, sujeta a la pieza o eje por sus lados exteriores, es la única diferencia de la pinza neumática usada en la estación MAS-203 cuyas características técnicas se encuentran detalladas allí.

- Unidad de tratamiento de aire SMC.
- Controlador lógico programable.
- Sistema remoto de entradas y salidas.
- Botonera.
- Fuente de alimentación
- Bloque de electroválvulas

Información general y técnica sobre estos equipos se pueden encontrar en información sobre MAS-201 ya que cuentan con los mismos equipos.

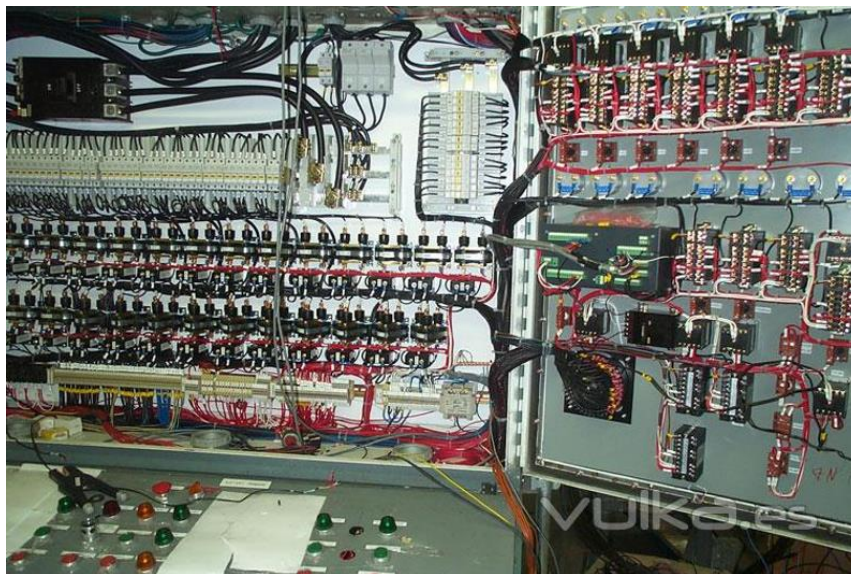
Controlador ControlLogix 5000

PLC

Debido al desarrollo de diferentes tecnologías en diferentes ámbitos (eléctrica, mecánica, informática, etc.) a lo largo de la primera mitad del siglo XX, se produjo una elevación de la complejidad de dichos sistemas encontrados en la industria conocidos como “lógica cableada”, elevando el número de variables físicas a manejar, controlar y monitorear.

Figura 29

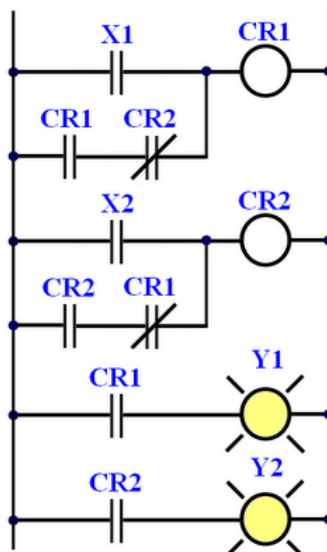
Lógica cableada.



Nota: Recuperado de (Mandado, Marcos, Fernández, & Armesto, 2009)

Llegando a ser sistemas demasiados complejos para el control del ser humano por sus limitaciones sensoriales y velocidad de respuesta. Por lo cual, se planteó el desarrollo de equipos que puedan manejar esta magnitud de variables y el desarrollo de la electrónica lo permitió, creando los controladores lógicos programables (PLC) que son equipos electrónicos e informáticos robustos de entorno industrial para el control de procesos industriales automatizados. (Mandado, Marcos, Fernández, & Armesto, 2009)

El primer PLC nace en 1968 bajo el nombre de MODICON (Modular Digital Controller) diseñado para reemplazar a los grandes circuitos de lógica cableada y está basado en los microcontroladores de la época, por lo cual, su programación se basa en una lista de instrucciones similar a lenguaje ensamblador. Para hacer al PLC más accesible a técnicos e ingenieros que manejaban la lógica cableada se diseñó un lenguaje de programación visual llamado "Ladder" o escalera por su particular forma en donde las instrucciones imitan a la forma de conexión de circuitos eléctricos. (Bollaín, 2018)

Figura 30*Programación Ladder.*

Nota: Recuperado de (Mandado, Marcos, Fernández, & Armesto, 2009)

En donde las entradas físicas o variables de memoria se representan como interruptores o accionadores y las salidas físicas o variables de memoria se representan como cargas eléctricas (lámparas o bobinas magnéticas de activación), las cuales se activan cuando se cumplen condiciones de los interruptores de entrada llevando la lógica cableada a un software de grandes capacidades.

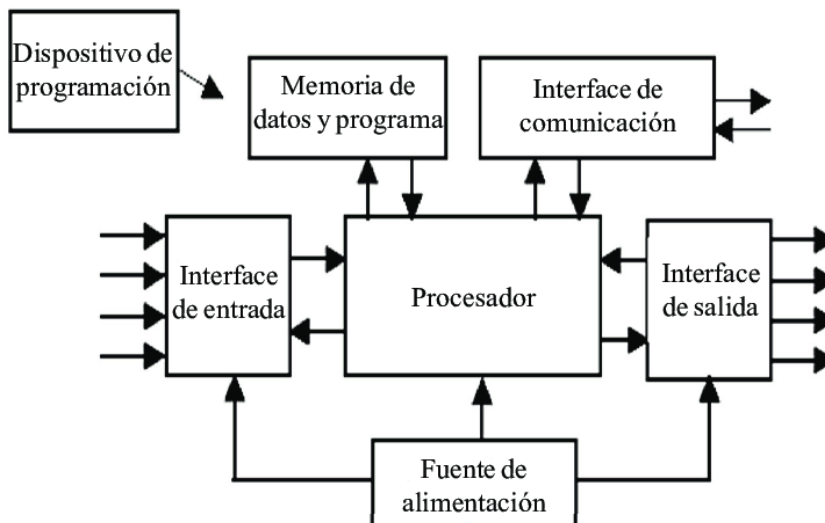
Al día de hoy, con la expansión de los microprocesadores, los PLC's cuentan con muchas más herramientas como:

- Contadores
- Temporizadores
- Bloques de control PID
- Bloques de conectividad inalámbrica
- Entradas y salidas analógicas
- Módulos de comunicaciones
- Bloques de programación de alto nivel, etc.

Estructura general:

Figura 31

Estructura general PLC.



Nota: Recuperado de (Bollaín, 2018)

Clasificación de los PLC

Debido a su uso masivo dentro de la industria, el PLC se ha venido desarrollando, transformándose para cada necesidad teniendo una clasificación general:

- PLC Soft: Un PLC dentro de un computador, en este caso el PLC es solo un software que puede interactuar con el proceso a través del PC en donde se aloja.
- PLC Nano: PLC usado en aplicaciones y procesos pequeños o sencillos donde no se necesite grandes capacidades para un control eficiente y económico.
- PLC compacto: PLC que guarda toda su estructura en un solo hardware, normalmente tiene capacidades considerables y usado en aplicativos generales por su estructura.

- PLC modular: PLC donde su estructura se puede modificar, usado para aplicaciones específicas donde se necesiten módulos específicos que den ciertas herramientas al PLC para el control del proceso. (Bollaín, 2018)

Actualmente el PLC se ha convertido en el equipo principal dentro de los procesos industriales y la automatización, en donde este mismo equipo se puede encargar de controlar el proceso, procesar la información, informar sobre el proceso a un usuario, comunicarse con otros PLC's de procesos siguientes o anteriores, generar históricos y trazar líneas de comportamiento del proceso, interactuar con el usuario a través de una interfaz (HMI), etc. Debido a todas estas ventajas es que su uso se ha masificado en todo el mundo.

PLC ControlLogix

Rockwell Automation, empresa estadounidense fundada en 1904, se dedica a la fabricación y distribución de equipos y material para la industria, específicamente en áreas como la automatización y las comunicaciones. Sus equipos son usados en todo el mundo por sus altos estándares de calidad, robustez y facilidad de uso posicionándolos entre los mejores de sus campos.

Allen Bradley, marca de PLC creada por Rockwell Automation, consta de una serie de modelos de controladores, cada uno con características específicas para diferentes aplicaciones como se mencionó en la clasificación de los mismos. Los modelos son:

- Micrologix: Es el único modelo de PLC compacto de Allen Bradley, usados generalmente para aplicaciones pequeñas o sencillas donde se requiera un equipo de bajo costo. Este tipo de controlador cuenta con un puerto ethernet y RS232 para comunicación, número reducido de entradas y salidas y una memoria de trabajo pequeña.

- SLC 500: Este tipo de controlador es modular, con módulos específicos montados sobre un chasis de 4, 7, 10 o 13 slots, los módulos comunes en este controlador son: fuente de alimentación, CPU, entradas y salidas y de comunicación. Este controlador está destinado para aplicaciones de mediana y alta magnitud.
- CompactLogix: Otra serie de controladores de PLC Allen Bradley destinados a aplicaciones de mediana y alta magnitud, es un PLC modular de hasta 16 módulos, conector ethernet y RS232, mayor memoria de trabajo.
- ControlLogix: Es el modelo de controlador más potente que puede ofrecer Allen Bradley, un PLC modular de 4, 10, 13 o 17 ranuras o slots destinados a aplicaciones de alta magnitud con grandes capacidades de entradas y salidas, memoria de trabajo, distintos protocolos de comunicación, etc. Aunque con el mayor costo de todos los modelos.

Figura 32

PLC ControlLogix



Nota: Recuperado de (Allen Bradley)

El controlador usado es el modelo 1756-L71 y algunas de sus características generales son:

Tabla 17*Características generales PLC ControlLogix*

N°	Característica	Descripción
1	Tareas de controlador	32
2	Programas/ tarea	1000
3	Puerto de comunicación	1 puerto USB 2.0
4	Tipos de comunicación	EtherNet/IP ControlNet DeviceNet Data Highway Plus SynchLink E/S remotas
5	Conexiones del controlador aceptadas	500 máximas
6	Memoria de datos y lógica	2 MB
7	Memoria de entradas y salidas	0.98 MB
8	Slots	4, 5, 7, 10, 13, 17
9	Software de programación	Studio 5000
10	Software de comunicación	RS Linx

Nota: Recuperado de (Allen Bradley)

Entre los módulos que cuenta el PLC utilizado están:

- Fuente de alimentación 1756-PA75
- Controlador logix5571 1756-71
- 2 módulos EtherNet 1756-EN2T.
- Módulo ControlNet 1756-CN2
- Módulo DeviceNet 1756-DNB.

- Módulo de entradas DC (16 entradas) 1756-IB16/A.
- Módulo de salidas Relay (16 salidas) 1756-OW16I/A.
- Módulo de entradas y salidas analógicas (36 puertos) 1756-IF4FXOF2F/B

Software de programación

El software de programación para los PLC de la familia ControlLogix lleva como nombre Studio5000 V30.0, un software completo donde se especifican sus capacidades a continuación y se ha desarrollado por años para ser de las pocas herramientas que el PLC necesita para implementarlo en un proceso industrial. Junto con el software RS-Linx V3.90 encargado de la comunicación del PC con el PLC son, generalmente, los dos programas mínimos necesarios para la creación de proyectos.

Figura 33

Software Studio 5000 y RSLinx



Nota: Recuperado de (Allen Bradley)

Entre las acciones que se puede sobre el PLC con el software Studio5000 están:

- Crear pantallas Interfaces Humano-Máquina (HMI) para terminales gráficos PanelView.
- Reutilización de sistemas y transformación rápida de tipos formatos de proyectos.
- Simulación virtual de equipos.
- Configurar, programas y dar mantenimiento a controladores Logix5000.

- Crear sistemas SCADA de control, visualización, información y redes de los sistemas industriales.

Módulos de comunicación

Los módulos de comunicación son circuitos que, conectados al chasis, da herramientas de conexión a redes al PLC, dependiendo del protocolo de comunicación, se necesita un módulo con la debida configuración y conector entre otros aspectos.

Red de comunicación

Una red de comunicación se entiende como el conjunto de dispositivos o nodos conectados entre sí por enlaces de medios físicos. El dispositivo en cuestión puede ser un computador, una impresora o un PLC en el ámbito industrial y el objetivo es poder compartir información de distintos tipos entre los equipos. (Campués & Nacimba, 2010)

Buses de campo

Buses de campo es el nombre común dado a las redes de comunicación en el ámbito industrial, este término es independiente de las topologías que se usa en las redes, un bus de campo puede estar formado por varias topologías ya que bus de campo se nombra en general a la comunicación de los equipos que conforman la red (PLC, DSC, sensores, etc.). (Campués & Nacimba, 2010)

Módulo DeviceNet

DeviceNet es un protocolo de comunicación industrial, pensado para niveles de automatización medios y bajos, fue creado por Rockwell Automation en 1994 pero ahora es un protocolo libre donde más empresas crean sus equipos compatibles con este. DeviceNet tiene en su estructura a los protocolos CAN (Controller Area Network) y CIP (Common Industrial Protocol) (Campués & Nacimba, 2010)

Como su nombre lo indica, es una red pensada para dispositivos o el nivel de planta en la pirámide de automatización, es decir, para la conexión de sensores y actuadores con controladores como PLC's.

Algunas características generales de este protocolo son:

- Puede soportar un máximo de 64 nodos en la red.
- Su distancia de comunicación es de hasta 500m.
- Las velocidades de transmisión pueden ser de 125, 250, 500 Kbps.
- La impedancia en la terminación de la comunicación es de 120 Ω .
- El tamaño máximo de mensaje es de 8 bytes por cada nodo.
- Tiene una fiabilidad alta y un costo de instalación bajo.

El tipo de cableado para DeviceNet es de tres tipos:

- Round-Thick: Usado mayormente en la línea troncal de la red, de 5 hilos y un diámetro de 12.2 mm.

Figura 34

Cable round-thick



Nota: Recuperado de (Campués & Nacimba, 2010)

- Round-Thin: Usado mayormente en las derivaciones de la línea troncal, de 5 hilos y un diámetro de 6.9 mm.

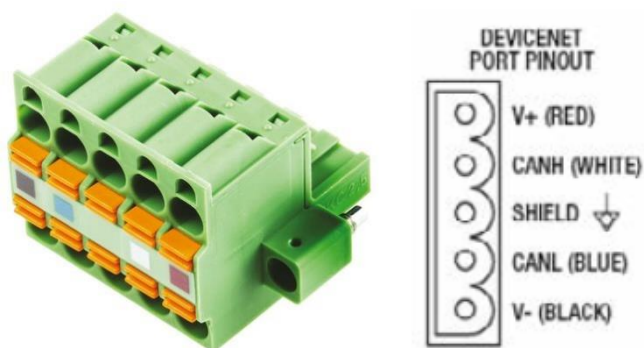
- Flat: Cable de 4 hilos usado exclusivamente para la línea troncal, de dos tipos clase 1 (8A) y clase 2 (4A).

Los tipos de conectores para DeviceNet son:

- Conectores sellados: Los conductores en este tipo de conectores van sellados en una carcasa, se puede encontrar de dos tipos: Mini-Style (conector para taps, cable round-thick y round-thin) y Micro-Style (conectores usados solo en conductores round-thin).
- Conectores abiertos: Los conductores se encuentran expuestos y hay dos tipos: Plug-in (conector removible y puede ser de 5 o 10 pines) y Fixed (conector de los conductores a un terminal fijo con tornillos). (Campués & Nacimba, 2010)

Figura 35

Conector abierto fixed.



Nota: Recuperado de (Campués & Nacimba, 2010)

Allen Bradley ofrece su módulo de comunicación DeviceNet 1756-DNB el cual permite conectar al PLC ControlLogix a través de este protocolo.

Figura 36

Módulo DeviceNet Allen Bradley 1756-DNB.



Nota: Recuperado de (Allen Bradley)

Algunas de sus características son:

Tabla 18

Características técnicas módulo DeviceNet Allen Bradley

N°	Característica	Descripción
1	Tasa de comunicación	125 Kbps (500 m)
		250 Kbps (250 m)
		500 Kbps (100 m)
2	Nodos	64
3	Voltaje	11 a 25 VDC
4	Puertos	1 puerto USB 2.0
		1 puerto DeviceNet
5	Corriente	60 mA

Nota: Recuperado de (Allen Bradley)

Módulo ControlNet

Como su nombre lo indica, ControlNet es una red de comunicación para el control de procesos industriales en tiempo real, se puede encontrar en industrias comunicando equipos de automatización como PLC, DSC, sensores, etc. Creada por Rockwell Automation en 1995 pero en la actualidad es una red abierta donde distintas empresas la usan en sus equipos. Este tipo de red se basa en una estructura de productor-consumidor, en donde el intercambio de información lleva esta etiqueta para saber de dónde llego y hacia dónde se dirige dentro de la red industrial. (Cortés, López, & Yerbafría, 2013).

Algunas características de la red son:

- Posee una alta velocidad de comunicación de hasta 5 Mbps y alto rendimiento.
- Puede usar hasta un máximo de 99 nodos.
- La distancia máxima de comunicación es de hasta 1 Km.
- La cantidad de información es de máximo 510 bytes.
- El tipo de cableado usado es coaxial o fibra óptica.
- Posee una impedancia de terminación de 75 Ω .

Allen Bradley ofrece el módulo 1756-CND para conectarlo al chasis de un PLC ControlLogix y dar la opción de conexión a una red ControlNet.

Figura 37

Módulo ControlNet Allen Bradley 1756-CND



Nota: Recuperado de (Allen Bradley)

Algunas características de este módulo son:

Tabla 19

Características técnicas módulo ControlNet Allen Bradley

Nº	Característica	Descripción
1	Conectores	1 conector BNC 1 conector USB 2.0
2	Nodos máximos de conexión	99
3	Velocidad de transmisión	5 MB
4	Potencia máxima	6.6 W
5	Conexiones soportadas máximas	131

Nota: Recuperado de (Allen Bradley)

Módulo EthernetIP

Ethernet es el tipo de red más usada en el mundo puesto que es en esta como se conectan los computadores de casa, oficina, industria, etc. Esta es el tipo de red de

área local (LAN) más común y nació en 1970 como la necesidad de conectar computadores sin conectarse a internet. Un tipo de red que ha predominado sobre otras por su simplicidad y universalidad, bajo costo y desarrollo de la misma logrando velocidades inigualables para otros tipos de redes. (Córdova & García, 2009)

Algunas características de este tipo de red son:

- Velocidades de hasta 1 Gbps.
- Cable común CAT5 y CAT6 o fibra óptica actualmente.

Figura 38

Cables CAT5, CAT6 y fibra óptica



Nota: Recuperado de (Córdova & García, 2009)

- El tipo de conector usado es el conector RJ45

Figura 39

Conector RJ45



Nota: Recuperado de (Córdova & García, 2009)

- Distancia máxima de comunicación de hasta 2 Km.

Allen Bradley ofrece el módulo de comunicación EtherNet 1756-EN2T.

Figura 40

Módulo Ethernet Allen Bradley 1756-EN2T.



Nota: Recuperado de (Allen Bradley)

Sus características son:

- Velocidad de comunicación de 100 Mbps.
- Potencia de disipación máxima de 5.1 W.
- Un puerto Ethernet (RJ45) y un puerto USB 2.0.
- Fuente de alimentación: 1756-PAXT, 17556-PBXT.
- Conexiones de comunicación TCP/IP: 128.
- Conexiones de comunicación Logix: 128.

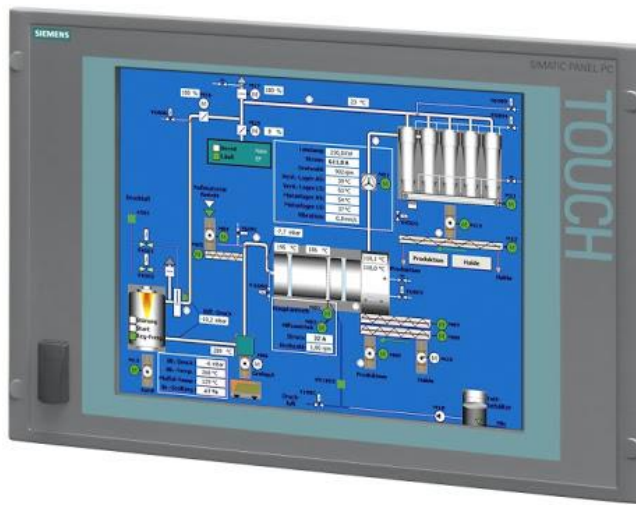
Interfaz Humano-Máquina (HMI)

La interfaz humano-máquina (Human Machine Interface en inglés) ha llegado a convertirse en el medio de comunicación e interacción más usado en procesos industriales entre un ser humano llamado normalmente como usuario y una máquina. Se trata de un software representado como una interfaz visual que representa un proceso controlado por un equipo y el objetivo de su existencia es dar una herramienta de fácil intercambio de información entre las dos partes antes mencionadas.

Entre las opciones generales que una HMI actualmente ofrece están las de control, monitorización, diagnóstico, supervisión, gestión y operación de maquinarias y procesos dentro de la industria. (Barrios & Galeano, 2014)

Figura 41

HMI



Nota: Recuperado de (Rosado, 2013)

Estas interfaces pueden ser ejecutadas en paneles dedicados exclusivamente a esta función, paneles táctiles, PC, monitores, proyectores, etc. Son desarrolladas en software de automatización, generalmente por la misma empresa que provee el PLC.

Normativas y guías

Al llegar a convertirse en un equipo infaltable en procesos industriales; múltiples organizaciones, instituciones de ingeniería, empresas y universidades e institutos técnicos y tecnológicos han creado guías que contienen normativas para el correcto diseño y creación de las interfaces, basándose en las necesidades y características de un ambiente industrial en donde estas destinadas a llevar a cabo sus operaciones.

Entre las características que las normativas sugieren como se deben diseñar están:

- Símbolos: Hace referencia a los gráficos usados para representar objetos, equipos, acciones, etc. Para que la persona identifique con mayor rapidez el gráfico en lugar de leer un texto.
 - Cifras: Son los valores extraídos del proceso, normalmente por sensores, y presentados al usuario y como deben ser presentados.
 - Colores: Un tema importante dentro de las guías ya que se designa colores específicos para informar sucesos de precaución, peligro, correcto funcionamiento, culminación de algo, etc. También sobre manejo de estos para mayor confort y entendimiento del usuario.
 - Alfabeto: Menciona el tipo de letra usado para dar información, su caligrafía y estructura.
 - Centelleo: Hace mención al uso de luz para lograr una correcta visualización del usuario.
 - Dimensiones: Habla sobre los tamaños de los objetos que conforman la interfaz.
 - Estructura: Se entiende por la forma de interacción y navegación del usuario a través de las distintas interfaces.
 - Seguridad: Habla de los mecanismos a implementar sobre acciones que garanticen la seguridad del proceso, sistema de alarmas, el acceso a él, etc.
- (Rosado, 2013)

Existen algunas guías que explican las formas de diseños de HMI en el ámbito de la ingeniería, entre las principales se tiene:

Guía GEDIS

GEDIS o Guía Ergonómica de Diseño de Interfaz de Supervisión, es un método de diseño de pantallas y contenidos para sistemas de control, el método consta de dos partes, la primera muestra el conjunto de indicadores a seguir para el diseño de la interfaz y la segunda una evaluación de estos bajo obtención de medidas cuantitativas para tener una percepción del cumplimiento de los indicadores y poder hacer mejoras. (Ponsa, Díaz, & Catalá, 2014)

Los indicadores que conforman la guía GEDIS son:

Tabla 20

Indicadores de evaluación guía GEDIS

Nº	Indicador	Descripción
1	Arquitectura	Organización jerárquica de las pantallas
2	Distribución de pantallas	Plantillas de los diferentes tipos de pantalla
3	Navegación	Modos de navegación entre pantallas
4	Uso de color	Asociación de funcionalidades en el ámbito del control de procesos
5	Uso de fuentes de información	Listado de fuentes y asociación de funcionalidades
6	Estatus de los equipos	Símbolos e íconos gráficos para representar el estado de la planta
7	Información de proceso	Presentación de los datos en gráficos
8	Gráficos de tendencias	Presentación y agrupación de valores en gráficos de tendencias

N°	Indicador	Descripción
9	Comandos y entradas de datos	Modo de entrada de datos a la interfaz
10	Alarmas	Características principales del subsistema de alarmas

Nota: Recuperado de (Ponsa, Díaz, & Catalá, 2014)

Cada indicador puede dividirse en subindicadores para una mejor puntuación de manera global.

Guía ISA 101

El nombre completo del estándar es ANSI/ISA-101.01-2015, que habla de las Interfaces Humano-Máquina para sistemas de automatización de procesos. Este estándar surge por la necesidad de crear una ayuda a técnicos e Ingenieros sobre el diseño e implementación de HMI en procesos industriales y evitar accidentes e incidentes ocasionados por el mal diseño de las mismas. El estándar propone un ciclo de vida de la HMI que debe ser seguido para tener una calidad constante en el uso de esta.

Figura 42

Ciclo de vida de una HMI.



Nota: Recuperado de (Hawrylo, 2017)

El estándar ISA también propone 9 puntos a tener en cuenta en la elaboración de la interfaz, 3 introductorios, 1 ciclo de vida la HMI y 5 con detalles a respaldar el ciclo de vida. (Morales, 2019)

1. Antes de iniciar una HMI definir la filosofía, estilo y herramientas.
2. Mejora continua: El diseño debe separarse en usuarios e implementadores.
3. Implementación en HMI existente: Pequeños cambios que aumenten la efectividad.
4. Uso del color: Fondos grises, colores brillantes en alarmas y colores exclusivos usados en alarmas.
5. Navegación: Usar técnicas que faciliten la navegación.
6. Animación de objetos: Para resaltar situaciones anormales.
7. Actualizaciones: Mejorar el funcionamiento de la HMI con cambios imperceptibles.
8. Herramientas nuevas: Añadir nuevas herramientas que complementen la HMI.
9. Más información: Añadir características cualitativas a las cuantitativas. (Hawrylo, 2017)

Capítulo IV

Diseño y Programación

Programación de funcionamiento del módulo MAS-201

El módulo MAS-201 es la primera estación del sistema de entrenamiento. Ésta se encarga de entregar la primera pieza que corresponde a la base del mecanismo final, la pieza es metálica en forma cuadrada como se muestra en la Figura 43.

Figura 43

Base



Para la programación de las acciones que debe efectuar este sistema, se utilizó el PLC ControlLogix 5571 junto con el lenguaje de programación ladder en el software Studio 5000, el cuál es perteneciente a la familia de controladores Allen Bradley.

Los PLCs que se encuentran en el laboratorio son de tipo modular y están formados por:

- 2 módulos EtherNet/IP
- 1 módulo DeviceNet
- 1 módulo ControlNet
- 1 módulo de entradas digitales
- 1 módulo de salidas tipo relé
- 1 módulo de entradas y salidas analógicas

Se hizo uso de un controlador lógico independiente para cada una de las estaciones que forman el sistema, el PLC utilizado se observa en la Figura 44.

Figura 44

PLC disponible en el laboratorio



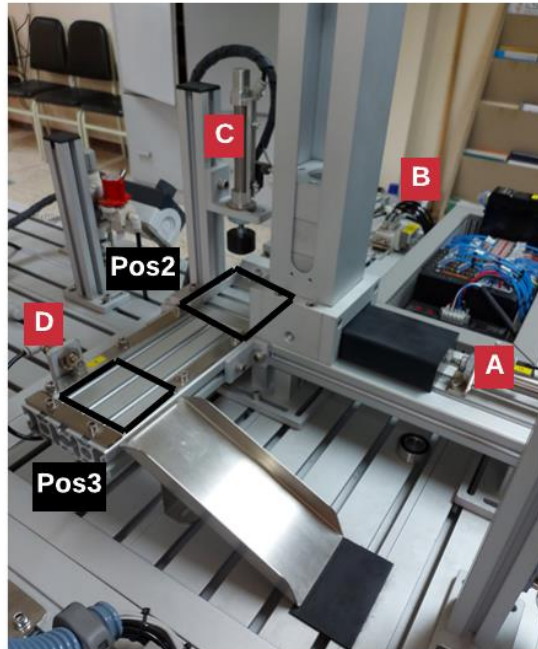
Las entradas y salidas de esta estación están conectadas al controlador por medio del módulo de interfaz DeviceNet (1756-DNB) conectado a un sistema remoto de entradas y salidas digitales del bus de marca Weidmüller, el cual permite las conexiones con los sensores y actuadores de la estación, así también con los botones de control.

Lógica de programación

Debido a que las estaciones están diseñadas para trabajar en conjunto, la programación está hecha en concordancia con las señales que se van a recibir de la estación principal (MAS-205). Una vez que se da la señal de inicio general para todo el sistema, la pila de alimentación de bases tiene un sensor que nos indica si la pieza se encuentra disponible para iniciar el proceso, si no es así, espera hasta que se provea del material necesario. Cuando está listo, el cilindro “A”, mostrado en la figura, se encarga de empujar la base y entregarla a la siguiente etapa (Pos2) donde se comprueba a través del cilindro “B” que esté en la posición correcta.

Figura 45

Funcionamiento MAS-201

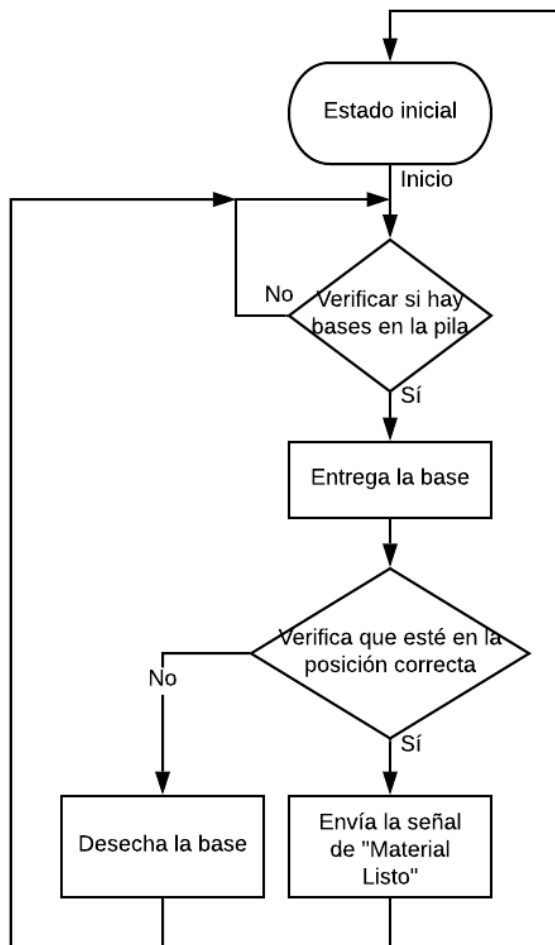


Al llegar a este punto, existe la posibilidad de que la pieza haya estado mal ubicada, en este caso se guarda esa información en una marca dentro de la memoria del PLC para saber que esa base debe ser desechada. Continúa el proceso con la activación del cilindro C, el cual lleva la base a la siguiente etapa (Pos3).

Posteriormente, si la pieza estuvo bien posicionada, se envía la marca correspondiente a la estación central avisando que se encuentra listo el material.

Al contrario, si la pieza tiene que ser desechada, se activa el cilindro D, retira la base y comienza nuevamente el proceso. Esta sucesión de pasos se va a repetir hasta que la pieza sea correcta y se pueda seguir con el ensamble.

Para comprender de mejor manera la implementación de algoritmos para el funcionamiento de los equipos, se realizó un diagrama de flujo que describe de manera simplificada los pasos a seguir para realizar el proceso. La representación correspondiente a las acciones de la estación MAS - 201, se encuentra en la Figura 46.

Figura 46*Diagrama de flujo MAS-201*

Debido a que el proceso de la estación MAS-201 está organizada en pasos consecutivos y secuenciales, la programación ladder o "escalera" del controlador se basó en un diagrama GRAFCET, que son los diagramas de procesos preferidos en el campo de la automatización. Para la organización del programa, se dividió el funcionamiento en 2 graficets: de seguridad y de funcionamiento (ANEXO 1).

El graficet de seguridad está constituido por las acciones principales de operación, es decir, los estados de funcionamiento, paro o reset. Y en el graficet de

funcionamiento se detallan todas las etapas y pasos de la lógica con la cual trabaja la estación.

Consideraciones de funcionamiento

El sistema de entrega de la base empieza su operación una vez haya llegado la señal del “start” general de todo el sistema, exista material en la pila y todos sus cilindros se encuentren contraídos en un estado de reposo inicial. Si este no es el caso, es necesario presionar el botón de paro, seguido del botón de reset para que los actuadores vuelvan a su posición inicial y se pueda proceder correctamente.

El botón de paro es un pulsador normalmente cerrado, que al ser presionado pone a la estación en pausa en el estado que esté. Para poder salir de este estado y continuar con el proceso, es necesario presionar el botón de inicio y así la estación continúa operando desde donde se quedó.

Figura 47

Botonera



El sistema funciona en modo automático o en modo manual, que es escogido por medio del selector ubicado en la botonera, que se visualiza en la Figura 47.

Utilizando el modo automático, no es necesaria la intervención de ningún operador excepto en la alimentación del material en la pila de bases, ya que el módulo iniciará y terminará con el mando desde la estación central. Por otro lado, durante el modo de marcha manual, la estación realizará su proceso paso a paso cada que sea

activado con el botón de inicio, teniendo una doble verificación, ya que es necesario empezar y terminar sincrónicamente con todo el sistema de entrenamiento.

El MAS-201 es de gran importancia ya que el ensamblaje completo de las piezas se va a realizar en esta estación, específicamente en la posición 3 (pos3) de la Figura 45 y, una vez que las piezas de las 4 estaciones sean colocadas, ésta misma se encarga de entregar el producto final hacia la rampa.

Para poder detectar si existe un error en la colocación de la base, se utiliza un cilindro (D) con las medidas exactas para encajar en la parte superior de esta pieza. Y el procedimiento para reconocer si existe la falla consiste en la implementación de un temporizador y la detección de la llegada de este cilindro a su sensor de fin de carrera, ya que, si no está bien ubicado, no va a ser posible su activación.

En esta estación, se tienen 4 actuadores lineales neumáticos de simple efecto y sólo se cuenta con sensores de fin de carrera para 3 de ellos y sólo uno tiene en sus dos posiciones principales, es por eso que para el correcto funcionamiento se han agregado también ciertos temporizadores durante el programa que nos ayudan a que se espere los tiempos necesarios de retorno y que no exista colisión durante el movimiento de los mismos.

Entre las señales que provienen de la estación central, se tiene aquella que nos indica que no existe alimentación neumática en el sistema, ésta es una entrada por Ethernet denominada "Presostato".

Registro de información

Con el objetivo de contabilizar y poder tener métricas para el análisis de la productividad y eficiencia de todo el sistema, es necesario tener un buen manejo de información. Se realiza el conteo de piezas mal ubicadas, de piezas entregadas correctamente y el conteo del total de procedimientos realizados desde el inicio de la

producción. Adicionalmente, se registran los tiempos de entrega del material desde que ha sido solicitado desde la estación central.

Asignación de variables

Los sensores que dispone la estación, que corresponden a las entradas, son:

- Sensores magnéticos reed para fin de carrera de cilindro A (avance y retorno)
- Sensor magnético reed para fin de carrera cilindro B (avance)
- Sensor magnético reed para fin de carrera cilindro C (avance)
- Sensor inductivo de presencia de pieza al final de la pila.

Los dispositivos que se van a controlar en esta estación, que corresponden a las salidas, son:

- Cilindro neumático lineal simple efecto A
- Cilindro neumático lineal simple efecto B
- Cilindro neumático lineal simple efecto C
- Cilindro neumático lineal simple efecto D

En la botonera se tiene lo siguiente:

- Botón INICIO
- Botón PARO
- Botón RESET con Luz
- Selector de modo de marcha (Manual/Automático)

Adicionalmente, se envían las señales a la estación principal y a la interfaz gráfica que nos permite conocer el estado del proceso.

Teniendo en consideración todas estas entradas y salidas, la tabla de asignación de variables con las que se realizó la programación en el PLC se muestra a continuación.

Tabla 21

Variables MAS-201

Variable	Descripción	Tipo
A	Cilindro A	BOOL
B	Cilindro B	BOOL
C	Cilindro C	BOOL
D	Cilindro D	BOOL
a0	Fin de carrera avance Cilindro A	BOOL
a1	Fin de carrera retorno Cilindro A	BOOL
b1	Fin de carrera avance Cilindro B	BOOL
c1	Fin de carrera avance Cilindro C	BOOL
Alimentar	Señal de falta de alimentación de material	BOOL
C_Fallas	Contador de fallas	COUNTER
C_Piezas	Contador de piezas entregadas	TIMER
C_Total	Contador de procesos realizados	COUNTER
INICIO	Botón de Inicio	BOOL
Luz_Reset	Luz del botón de Reset	BOOL
M_Finalizado	Señal de proceso finalizado	BOOL
M_Funcionamiento	Señal de proceso en funcionamiento	BOOL
M_Inicio	Señal de inicio general	BOOL
M_ListoMaterial	Señal de "Material Listo"	BOOL

Variable	Descripción	Tipo
M_Reposo	Señal de estado de reposo inicial	BOOL
MM	Modo de marcha (Automático/Manual)	BOOL
pb	Sensor de disponibilidad de material	BOOL
Presostato	Señal de falta de presión neumática	BOOL
RESET	Botón de Reset	BOOL
STOP	Botón de Paro	BOOL
T_Ciclo	Temporizador Tiempo de Ciclo	TIMER

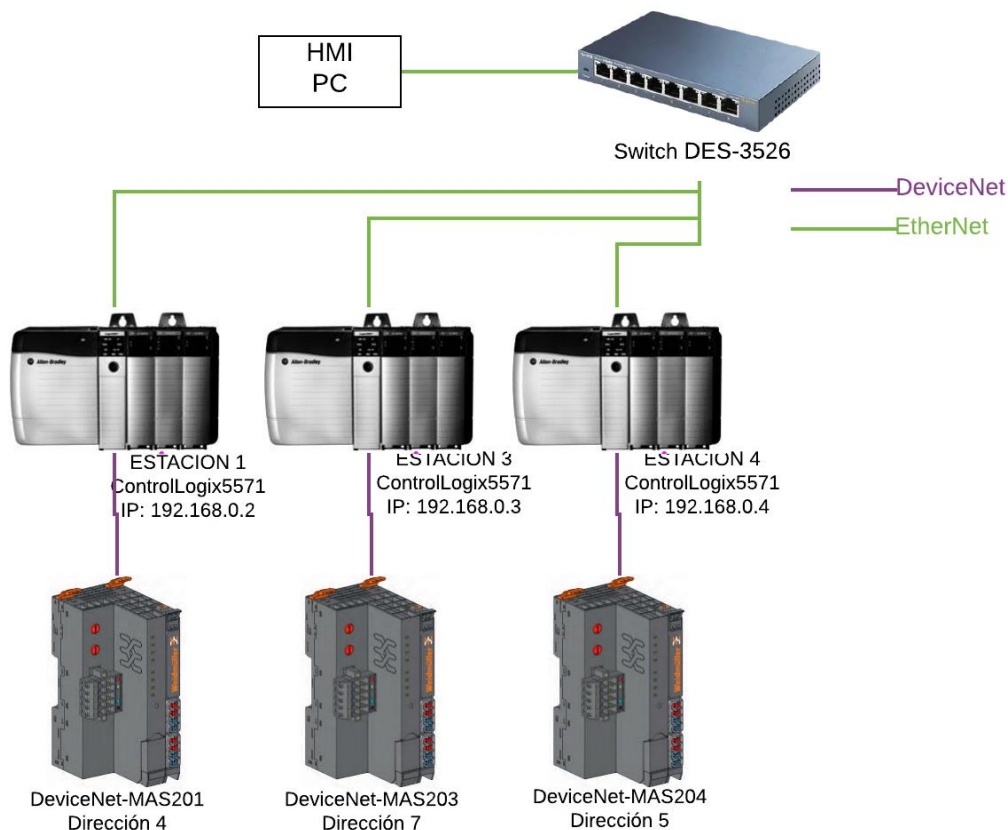
Conexiones

Para las conexiones realizadas se utilizaron los siguientes materiales:

- Cable Ethernet con conectores RJ45
- Cable DeviceNet con conector PCB de 5 polos

Red Ethernet

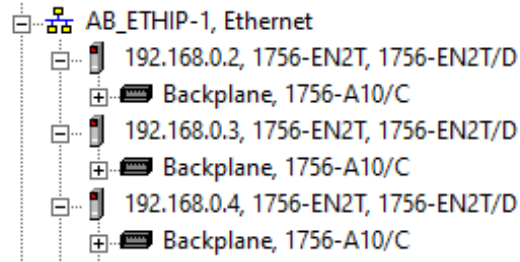
Para facilidad de programación y de conexión directa con todos los PLC de las 3 estaciones, se utilizó el Switch D-Link DES-3526 instalado en el sistema que permitió la conexión por medio de Ethernet con la computadora para la programación y aquella que contiene la HMI, como se muestra en la Figura 48.

Figura 48*Conexiones generales*

Para lograr la conexión por Ethernet y de este modo realizar la programación se utilizó el software especializado de Allen Bradley RsLinx, el cual nos permite visualizar todos los PLC que están conectados a la red, una vez que hayan sido asignados con una IP específica. La red que se ha creado en RsLinx con las 3 estaciones se muestra en la Figura 49. De la misma manera, se tiene la conexión por Ethernet hacia la computadora que contiene la HMI física, donde se va a poder visualizar y controlar su estado.

Figura 49

Red Ethernet en RsLinx



El switch utilizado se muestra en la siguiente Figura 50.

Figura 50

Switch D- Link DES-3526

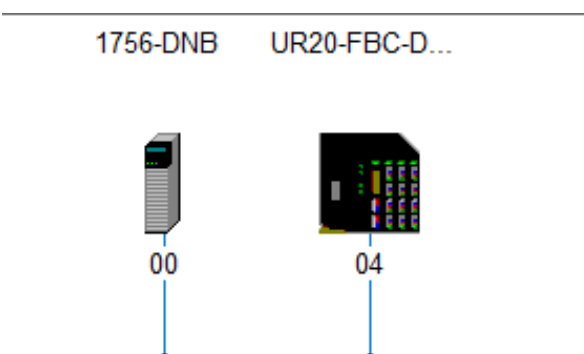


Red DeviceNet

Para la creación de la red DeviceNet, se utilizó el programa “RsNetworx for DeviceNet” V21.00 de Rockwell Automation, donde se realizó la detección de los dispositivos conectados para poder usar la red en la programación en el Studio 5000, en este caso se asignó la dirección 4 al módulo de comunicaciones I/O (UR20-FBC-DN-1), esta se asigna de manera física, como se puede visualizar en la Figura 51.

Figura 51*Módulo UR20-FBC-DN-1*

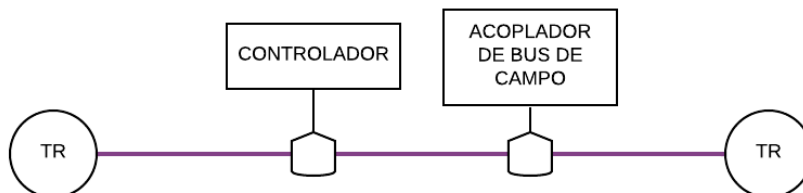
Una vez asignada la dirección, se observa en la Figura 52 la red creada en el software y se realizan las configuraciones de DeviceNet en el Studio 5000 para poder hacer uso de estas entradas y salidas en la programación en ladder.

Figura 52*Red DeviceNet MAS-201*

Para que la red DeviceNet opere correctamente, hay que tener en cuenta la instalación de las resistencias terminales en cada extremo del cable troncal, como se ilustra en el diagrama de la Figura 53.

Figura 53

Conexiones DeviceNet

**Programación de funcionamiento del módulo MAS-203**

El módulo MAS-203 consiste en la entrega del rodamiento, una pieza circular que se muestra en la Figura 54, el cual va a ser llevado a la estación 1 para su ensamblaje con las demás piezas. Este proceso entrega la pieza desde una posición inicial a una posición final, donde debe ser recogido, pero no consta de un sistema de almacenamiento, es decir, este sistema siempre va a tener que ser asistido por un operador para poder alimentar en la posición inicial con el material necesario.

Figura 54

Rodamiento



Una ventaja que tiene esta estación, es que consta de los sensores necesarios en las 2 ubicaciones, para saber en qué lugar se encuentra la pieza. Este también

posee un cilindro giratorio de doble efecto con 3 sensores de posición para poder conocer su estado.

La programación se realizó al igual que las demás estaciones con ladder en el software de Studio 5000.

Lógica de programación

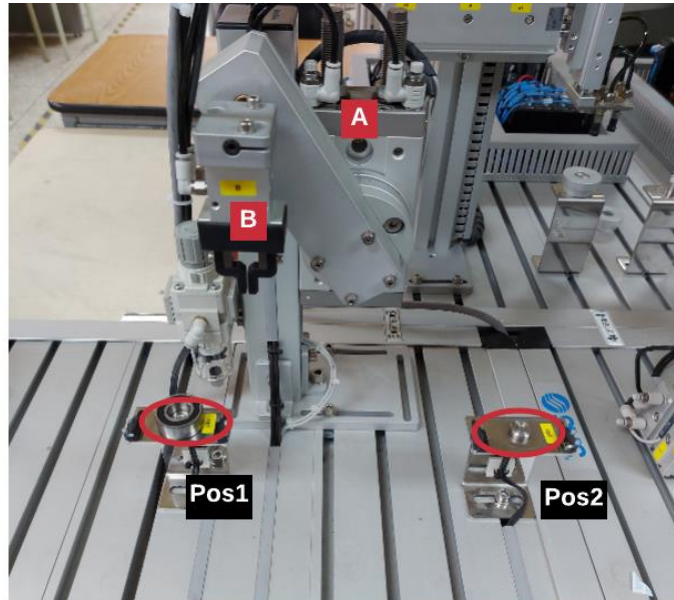
Cuando la estación se encuentra en la posición inicial y recibe la señal de inicio del sistema, se realizará la verificación para saber si ya existe una pieza en la posición final, de ser el caso, no es necesario que se realice el procedimiento de ubicación y sencillamente, envía la señal de que el material ha sido entregado y espera nuevamente a que se retire la pieza y se termine el proceso.

Este módulo presenta una gran ventaja con respecto al MAS-201, ya que se puede conocer si es que, por alguna razón, ya existe una pieza entregada. En la entrega de la base, no se dispone de este sensor, entonces es probable que se dé una doble entrega de material generando pérdidas y colisiones.

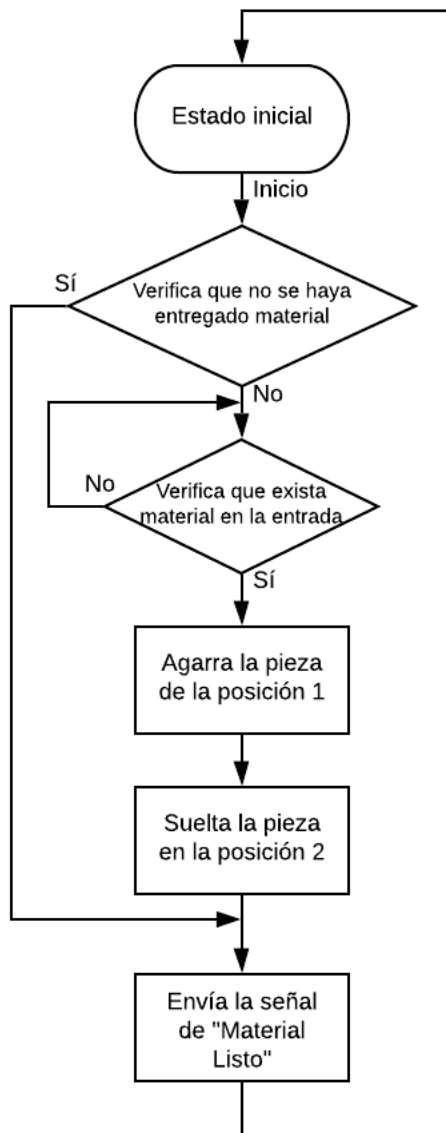
En el caso de que no exista material en la ubicación final, se realiza el proceso que consiste en el giro anti horario del actuador para llegar a la posición (pos1) y poder tomar el rodamiento con la activación del efector final. Para lograr que no exista errores de sujeción, en el programa se han tomado en cuenta temporizadores para que la operación sea más lenta y pueda agarrar la pieza con facilidad. Una vez tomada, se desplaza hacia la posición 2 (pos2) con un giro horario para poder soltar el gripper y dejar la pieza en el punto de entrega, como se puede observar en la Figura 55.

Figura 55

Funcionamiento MAS-203



Para entender fácilmente el funcionamiento y la lógica de operación con la que se lleva a cabo este proceso en el módulo MAS 203, se muestran los pasos simplificados en un diagrama de flujo ilustrado en la Figura 56.

Figura 56*Diagrama de flujo MAS-203*

Para la automatización de este proceso se diseñaron y programaron, bajo lenguaje de programación ladder y siguiendo una diagrama grafcet, las condiciones necesarias para que la estación funcione correctamente. Estos se encuentran en el ANEXO 1.

Consideraciones de funcionamiento

El módulo MAS-203, al igual que los demás inicia sus operaciones con la llegada de la señal desde el módulo MAS-205, para esto, es necesario también que se encuentre en la posición inicial, que es la posición central y que exista el material en la alimentación. Si este no es el caso, es necesario presionar el botón de paro, seguido del botón de “reset” para que los actuadores vuelvan a su posición inicial y se pueda proceder.

Al presionar el botón de paro, se pone a la estación en pausa en el estado que se encuentre. Para poder salir de este estado y continuar con el proceso, es necesario presionar el botón de inicio y así la estación continúa sus operaciones.

El modo automático de la estación de entrega del rodamiento funciona de manera autónoma sin la necesidad de intervención humana, sólo con las señales de la estación central que indican el inicio y fin del proceso. En modo manual, el proceso es realizado por partes y cada una de ellas se activa con el botón de inicio, es decir se debe presionar de manera consecutiva para poder completar el proceso.

Gracias a los sensores incluidos en este módulo, se facilita la obtención de información respecto al estado actual del proceso. Si existe algún fallo en medio del trayecto de la pieza y esta se suelta y no llega a su destino final una vez que ha empezado el proceso, se registra como pieza perdida. Con este objetivo, se implementó un temporizador que nos permite conocer que la pieza salió de la posición inicial pero no logró ser entregada.

Registro de información

Como se mencionó anteriormente, existe la posibilidad de que, por alguna falla neumática u operacional, el rodamiento se pierda durante el trayecto, entonces se tiene el registro de la cantidad de piezas perdidas y de igual manera, esta información se

muestra en la interfaz gráfica y se lleva la cuenta de la cantidad de piezas que han sido extraviadas durante la producción.

Para el análisis de datos, se añadió un temporizador para conocer el tiempo total del proceso y poder realizar estudios de eficiencia de la producción.

Asignación de variables

Los sensores o entradas que dispone la estación son:

- Sensores magnéticos reed para fines de carrera de cilindro A (avance, retorno y central)
- Sensor fotocélula de barrera para presencia de pieza en la ubicación inicial.
- Sensor fotocélula de barrera para presencia de pieza en la ubicación final.

Los dispositivos que se van a controlar en esta estación son:

- Cilindro neumático giratorio de doble efecto A
- Gripper o pinza neumática B

En la botonera tenemos lo siguiente:

- Botón INICIO
- Botón PARO
- Botón RESET con Luz
- Selector de modo de marcha (Manual/Automático)

Al igual que en el módulo anterior, se envían las señales a la estación principal y a la interfaz gráfica que nos permite conocer el estado del proceso y entregar ciertas señales de mando.

La tabla de asignación de variables con las que se realizó la programación en el PLC se muestra a continuación.

Tabla 22

Variables MAS-203

Variable	Descripción	Tipo
A+	Actuador giratorio A sentido horario	BOOL
A-	Actuador giratorio A sentido horario	BOOL
B	Gripper	BOOL
a0	Sensor en avance actuador A	BOOL
a1	Sensor en estado central actuador A	BOOL
a2	Sensor en retorno actuador A	BOOL
dp1	Sensor posición 1 (inicial)	BOOL
dp2	Sensor posición 2 (final)	BOOL
Alimentar	Señal de falta de alimentación de material	BOOL
C_Fallas	Contador de fallas	COUNTER
C_Piezas	Contador de piezas entregadas	TIMER
C_Total	Contador de procesos realizados	COUNTER
INICIO	Botón de Inicio	BOOL
Luz_Reset	Luz del botón de Reset	BOOL
M_Finalizado	Señal de proceso finalizado	BOOL
M_Funcionamiento	Señal de proceso en funcionamiento	BOOL
M_Inicio	Señal de inicio general	BOOL
M_ListoMaterial	Señal de "Material Listo"	BOOL
M_Reposo	Señal de estado de reposo inicial	BOOL
MM	Modo de marcha (Automático/Manual)	BOOL

Variable	Descripción	Tipo
Presostato	Señal de falta de presión neumática	BOOL
RESET	Botón de Reset	BOOL
STOP	Botón de Paro	BOOL
T_Ciclo	Temporizador Tiempo de Ciclo	TIMER
PiezaPerdida	Marca de pieza que no llega a su destino final	BOOL

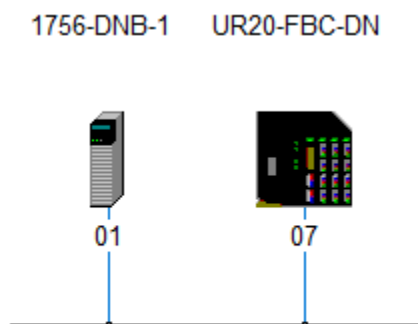
Conexiones

Similar a la estación MAS-201, la programación se realizó mediante Ethernet, de acuerdo al diagrama en la Figura 48.

Y la red DeviceNet, se configuró con las resistencias terminales, al igual que se muestra en la Figura 53 para el módulo 1. En este caso, la red está formada por el controlador con la dirección 1 y con el acoplador para bus de campo con la dirección 7, se observa en la Figura 57.

Figura 57

Red DeviceNet MAS-203



Programación de funcionamiento del módulo MAS-204

El módulo MAS-204 es el tercer módulo en tomar acción dentro del proceso de ensamblaje del sistema MAS-200, la pieza que en este se trabaja es la de un eje en donde se alinean las demás, consta de un eje metálico en forma de cilindro como se muestra en la Figura 58.

Figura 58

Eje



Para implementar la automatización del módulo MAS-204, de igual forma, se hizo uso de un PLC de marca Allen Bradley, desarrollado por Rockwell Automation. El modelo del PLC es ControlLogix el cual es un tipo de PLC modular con una CPU 5571 sobre el software de programación Studio 5000 y en lenguaje de escalera o “ladder”.

Los módulos con los que cuenta el PLC usado en esta estación son:

- 2 módulos EtherNet/IP
- Módulo DeviceNet.
- Módulo ControlNet.
- Módulo de entradas digitales.
- Módulo de salidas relé.
- Módulo de entradas y salidas analógicas.

El PLC mencionado encargado del control de la estación se muestra en la Figura 59.

Figura 59

PLC módulo MAS-204



Las entradas y salidas del PLC no se encuentran conectadas directamente con las variables de la estación, estas variables están conectadas a una unidad remota de entradas y salidas cuyo protocolo de comunicación es DeviceNet y por medio de este se conecta al módulo de comunicación del PLC para lograr el intercambio de información y ordenes entre el controlador y el sistema.

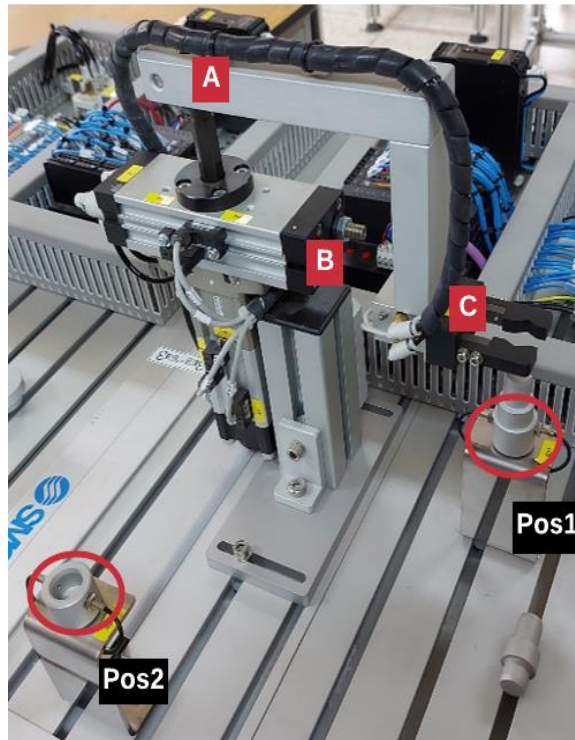
Lógica de programación

En el sistema MAS-200, cada estación que lo conforma tiene el objetivo de realizar una tarea específica para lograr un objetivo general, el cual es el ensamblaje de una pieza. Por lo que, el trabajo de las estaciones debe ser en conjunto y sincronizado con un PLC master (MAS-205) el cual se encarga del proceso a nivel general y un PLC que bajo instrucciones del master ejecute sus operaciones en su respectiva estación, por lo que, para dar inicio al proceso en la estación MAS-204 se necesita la orden del PLC master junto con otras condiciones como la activación de sensores sobre la existencia de una pieza para abastecer el ensamblaje y la no activación de órdenes de paro del sistema.

Si no existe una pieza en la posición de inicio el sistema esperará a que esto suceda para iniciar el proceso automáticamente luego de la orden del PLC master. El cilindro neumático giratorio entrará en funcionamiento llevando activando del cilindro A para hacer descender la pinza C la cual tomará la pieza en su activación, luego de esto el cilindro A volverá a ascender para que el actuador B realice el giro y traslado de la pieza hacia la posición (Pos2), descienda al cilindro A y la pinza se desactiva colocando la pieza en la posición final.

Figura 60

Funcionamiento MAS-204

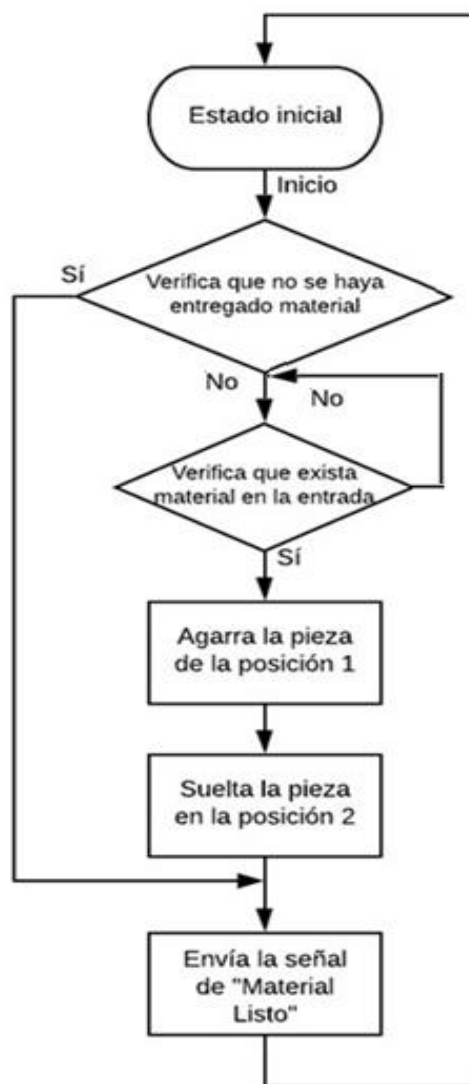


Una vez colocada de manera correcta el eje en la posición Pos2, el actuador rotativo regresará a su posición inicial y el proceso en la estación ha terminado, lo siguiente es aguardar que el actuador de la estación MAS-205 tome la pieza preparada y la ensamble.

Plasmando lo mencionado anteriormente a un esquema de fácil comprensión y diseño secuencial que facilite la creación e implementación del algoritmo de control, se realizó un diagrama de flujo explicando el proceso basado en estados y condiciones para avanzar entre ellos.

Figura 61

Diagrama de flujo MAS-204



De igual forma, se usa un diagrama GRAFCET para un mejor entendimiento del proceso de la estación MAS-204 y que facilite la programación ladder del código de

control en el controlador lógico programable de esta estación. Los diagramas GRAFCET de funcionamiento y seguridad del proceso de la estación MAS-204 está disponible en el ANEXO.

Consideraciones de funcionamiento

A parte del funcionamiento ya explicado la estación MAS-204 cuenta con otras características que refuerzan su correcto funcionamiento y seguridad, estas características son:

- El proceso iniciará solamente si se generó la orden de inicio desde el PLC master, no exista pieza en la posición final, exista una pieza en la posición inicial y el actuador neumático este en su posición inicial.
- Se puede realizar un paro al proceso en cualquier estado del mismo pulsado el botón de PARO en la botonera del sistema o la HMI del mismo. También se puede realizar un reinicio al sistema luego de haber hecho un paro con el botón RESET desde la botonera o la HMI que hace que el sistema interrumpa su proceso y regrese a su posición inicial.
- Luego de haber realizado un paro el proceso puede seguir con su desarrollo si se pulsa el botón INICIO de la botonera o de la HMI.
- La estación cuenta también con dos formas de funcionamiento, un modo manual y un modo automático, este tipo de modo se selecciona con un selector ubicado en la botonera. El modo manual se trata de que el sistema avanzará de paso en paso si el usuario lo permite mediante el pulso del botón INICIO.
- El actuador neumático puede dividirse en tres actuadores que funcionan por separado: una pinza o gripper que es el encargado de sujetar la pieza para poder transportarla, no cuenta con sensores de su activación, un cilindro lineal que eleva o desciende la pinza o gripper para un mejor traslado de la pieza,

cuenta con sensores de avance y retorno de su pistón y un actuador rotatorio que gira 90° grados en su propio eje y ejecuta el traslado de la pieza, también cuenta con sensores de posición.

- El tipo de información que comparte la estación con el exterior es la de dar inicio al proceso, señal de falta de presión en el circuito neumático y señal de que el sistema se completó satisfactoriamente.

Registro de información

Con el fin de realizar estudios sobre la productividad y eficiencia del sistema, se hace la recolección de información de variables del mismo. Entre la información importante que se puede extraer del proceso de la estación MAS-204 es el tiempo de duración del proceso, la cantidad de veces que el proceso se realizó correctamente, el tiempo demorado en fallas o demoras ajenas al sistema y cantidad de veces que la pieza no llegó a la posición final.

Asignación de variables

Los sensores que se encuentran en la estación que se toman como entradas de información son:

- Sensores magnéticos reed para fin de carrera de cilindro lineal A (avance y retorno).
- Sensores magnéticos reed para fin de carrera de actuador rotativo B (Pos1 y Pos2).
- Sensor inductivo de presencia de pieza en la posición inicial.
- Sensor inductivo de presencia de pieza en la posición final.

En la botonera de mando se tiene:

- Botón INICIO (entrada).

- Botón PARO (entrada).
- Botón RESET (entrada).
- Selector modo de marcha manual-automático (entrada).
- Luz de RESET (salida).

Por otro lado, las variables o salidas que controla el PLC son:

- Cilindro neumático lineal doble efecto A.
- Actuador rotativo doble efecto B.
- Activación de gripper C simple efecto.

Teniendo en consideración todas estas entradas y salidas, la tabla de asignación de variables con las que se realizó la programación en el PLC se muestra a continuación.

Tabla 23

Variables MAS-204

Variable	Descripción	Tipo
A	Actuador lineal A	BOOL
B	Actuador giratorio B	BOOL
C	Gripper	BOOL
a0	Sensor en avance actuador A	BOOL
a1	Sensor en retroceso actuador A	BOOL
b0	Sensor en avance actuador B	BOOL
b1	Sensor en retroceso actuador B	BOOL
dp1	Sensor posición 1 (inicial)	BOOL
dp2	Sensor posición 2 (final)	BOOL

Variable	Descripción	Tipo
Alimentar	Señal de falta de alimentación de material	BOOL
C_Fallas	Contador de fallas	COUNTER
C_Piezas	Contador de piezas entregadas	TIMER
C_Total	Contador de procesos realizados	COUNTER
INICIO	Botón de Inicio	BOOL
Luz_Reset	Luz del botón de Reset	BOOL
M_Finalizado	Señal de proceso finalizado	BOOL
M_Funcionamiento	Señal de proceso en funcionamiento	BOOL
M_Inicio	Señal de inicio general	BOOL
M_ListoMaterial	Señal de "Material Listo"	BOOL
M_Reposo	Señal de estado de reposo inicial	BOOL
MM	Modo de marcha (Automático/Manual)	BOOL
Presostato	Señal de falta de presión neumática	BOOL
RESET	Botón de Reset	BOOL
STOP	Botón de Paro	BOOL
T_Ciclo	Temporizador Tiempo de Ciclo	TIMER
PiezaPerdida	Marca de pieza que no llega a su destino final	BOOL

Conexiones

Entre las conexiones necesarias para la comunicación del PLC con el proceso en sí, se tiene:

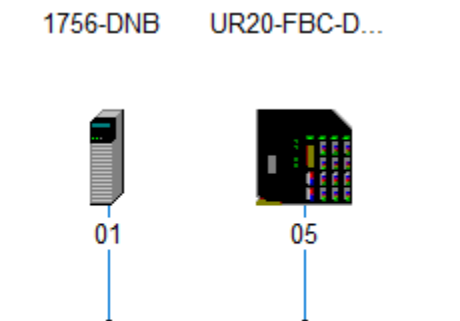
Red DeviceNet

Como en una aplicación real de sistemas de automatización en la industria, MAS-204 tiene una red para el intercambio de información entre el PLC y el proceso. Específicamente se habla de una red tipo DeviceNet, una red de carácter industrial dedicada a, como su nombre lo indica, comunicar dispositivos industriales entre sí, sean estos controladores, sensores, actuadores, etc. En el caso de MAS-204 la comunicación que se realiza es entre el PLC y una unidad remota de entradas y salidas de la marca Weidmuller la cual está conectada a todas las variables del sistema, a través del único cable que unen a estos dos equipos sucede el envío de información como los estados de los sensores y botones de acción desde la unidad de E/S al PLC y el envío de órdenes de acción en forma inversa.

Para el caso de PLC Allen Bradley ControlLogix esto se logra gracias al software RSNetworx for DeviceNet V21.00 de Rockwell Automation, para la comunicación bajo este protocolo de comunicación el módulo DeviceNet del controlador con código 1756-DNB y el código de la unidad con código UR20-FBC-DN-1 con direcciones 01 y 05 respectivamente.

Figura 62

Red DeviceNet MAS-204



De esta manera existirá la comunicación entre ambos dispositivos permitiendo que la red industrial cumpla su objetivo dentro del proceso.

Diseño e implementación de HMI.

Las interfaces humano-maquina (HMI) que se ha desarrollado tienen el objetivo de ser un medio de comunicación entre el operador o usuario y el proceso o PLC en tiempo real. Sin estas interfaces la única forma de comunicación entre las dos partes sería a través de la programación, convirtiendo a la comunicación en una tarea difícil, tediosa y extensa.

La guía de diseño escogida para la creación de las HMI es la ISA 201 y su concepto de ciclo de vida de la interfaz, analizándolas desde su filosofía y diseño hasta su implementación, operación y mantenimiento.

Software

Al trabajar con controladores (PLC) Allen Bradley, un software provisto por la misma Rockwell Automation es Factory Talk Studio V11.0, que permite todo tipo de proyectos relacionados con interfaces gráficas aplicadas a PLC Allen Bradley en sistemas industriales.

Figura 63

Software Factory Talk View Studio



Nota: Recuperado de (Allen Bradley)

Previo al desarrollo de las interfaces y la información que van a manejar, es necesario crear en el PLC las variables que serán enviadas a la HMI para poder trabajar con ellas y de igual manera, las variables que albergarán ordenes enviadas desde la interfaz.

Figura 64

Variables transmitidas entre PLC y HMI.

Name	Usage	Value	Force Mask	Style	Data Type
C	Local	0		Decimal	BOOL
+ C_Fallas	Local	{...}	{...}		COUNTER
+ C_Piezas	Local	{...}	{...}		COUNTER
+ C_Total	Local	{...}	{...}		COUNTER
c1	Local	0		Decimal	BOOL
D	Local	0		Decimal	BOOL
E99	Local	0		Decimal	BOOL
INICIO	Local	0		Decimal	BOOL
iniciohmi1	Local	0		Decimal	BOOL
Luz_Reset	Local	0		Decimal	BOOL
M_Finalizado	Local	0		Decimal	BOOL
M_Funcionamiento	Local	1		Decimal	BOOL
M_Inicio	Local	0		Decimal	BOOL
M_ListoMaterial	Local	0		Decimal	BOOL
M_Reposo	Local	1		Decimal	BOOL
MM	Local	0		Decimal	BOOL
+ Num_Fallas	Local	7		Decimal	DINT
parohmi1	Local	0		Decimal	BOOL
pb	Local	1		Decimal	BOOL
Presostato	Local	1		Decimal	BOOL
RESET	Local	0		Decimal	BOOL
resethmi1	Local	0		Decimal	BOOL

Variables de PLC a HMI

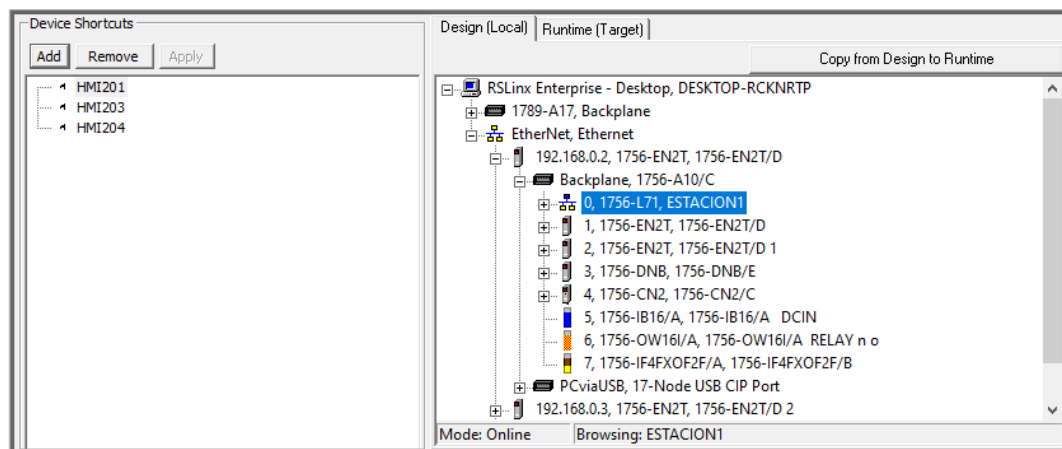
Variables de HMI a PLC

Posteriormente a esto las variables creadas deben ir asignadas correctamente en la programación del PLC.

El computador en donde se desarrolla la interfaz se conecta con el controlador para poder leer las variables creadas y poder tenerlas en cuenta en el software donde se realiza el reconocimiento de las mismas a través de la CPU del controlador.

Figura 65

Comunicación HMI con PLC.

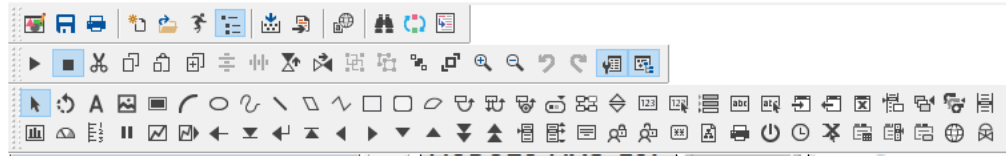


Luego de reconocer las variables procedentes del PLC en forma local en Factory Talk View se deben asignar al Runtime para que puedan ser usadas posteriormente en la forma ejecutable de las HMI. Una vez enlazadas las variables del PLC con el software de interfaces se puede dar inicio al desarrollo de la HMI.

Para el desarrollo de las interfaces, el software otorga una serie de objetos cada uno con funcionalidades específicas y diversas características que interactúen con el usuario facilitando el entendimiento del proceso.

Entre los objetos más comunes se pueden encontrar:

- Cuadros de texto.
- Cuadros de imagen.
- Pulsadores
- Interruptores
- Botones de navegación
- Tablas
- Gráficas cartesianas.
- Símbolos y gráficos, etc.

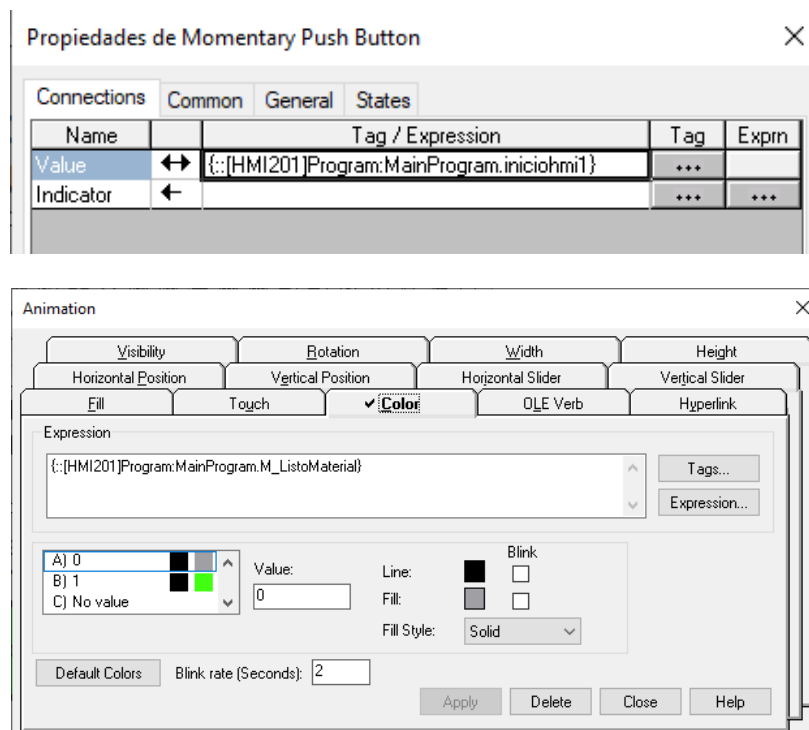
Figura 66*Panel de herramientas*

Entre las capacidades generales que la HMI puede hacer están:

- Creación de pantallas.
- Manejo de variables globales entre pantallas.
- Librerías de símbolos y gráficos para representación de equipos.
- Manejo de alarmas.
- Manejo de base de datos
- Manejo de recetas.
- Herramientas de procesamiento lógico y de control.
- Herramientas de comunicación local, en red y a internet.

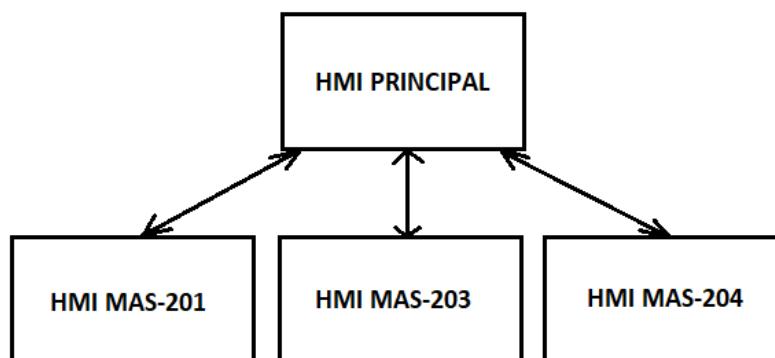
Se debe enlazar cada uno de los objetos con las variables antes creadas ingresando a sus propiedades y asignándolas en el tag como en la Figura 67. Dentro de las propiedades que posee cada objeto, existe un gran número de ellas, cada una puede interactuar con el usuario y el sistema de manera diferente.

Figura 67

Conexión objeto de HMI con variables de PLC.**Diseño de pantallas**

Para el diseño de pantallas se implementó una estructura de navegación entre ellas y como se conectan unas con otras, la estructura mencionada es la siguiente:

Figura 68

Jerarquía de HMI

Otro aspecto importante es la arquitectura de la interfaz, es decir, las partes y elementos que la componen con su función dentro del proceso. Para el desarrollo de cada uno de los elementos de la HMI se hizo en función de la guía ISA 101, guía común dentro de la industria.

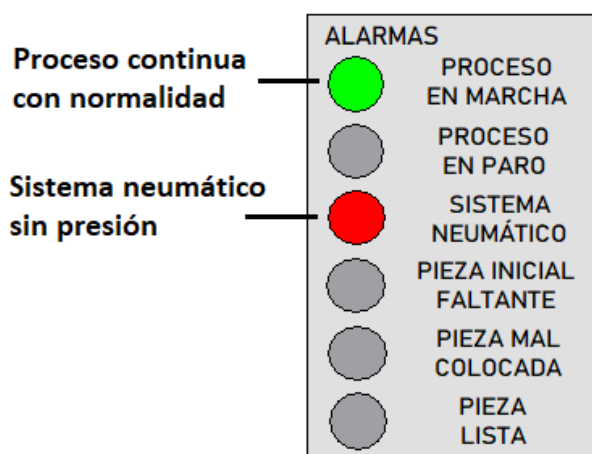
Entre las normas y sugerencias que da la ISA 101 están:

Apropiado uso de color.

Como en múltiples sistemas creados por el hombre, los colores tienden a representar acciones o situaciones que suceden o se deben hacer. Por norma general se tiende a usar colores como el verde para una representación de algo positivo, correcto, o de un suceso normal nada fuera de lo común. Por otro lado, para representar algo negativo se suele usar el color rojo y amarillo para representar precaución o instancias antes del peligro.

Figura 69

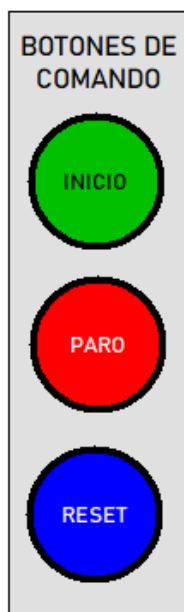
Uso de colores en alarmas.



De igual forma, esta forma de uso de color puede ser usado para acciones en donde indiquen que, al hacer uso de estos, se realizará una acción positiva o negativa, como también, usar colores alternos para representar situaciones neutras.

Figura 70

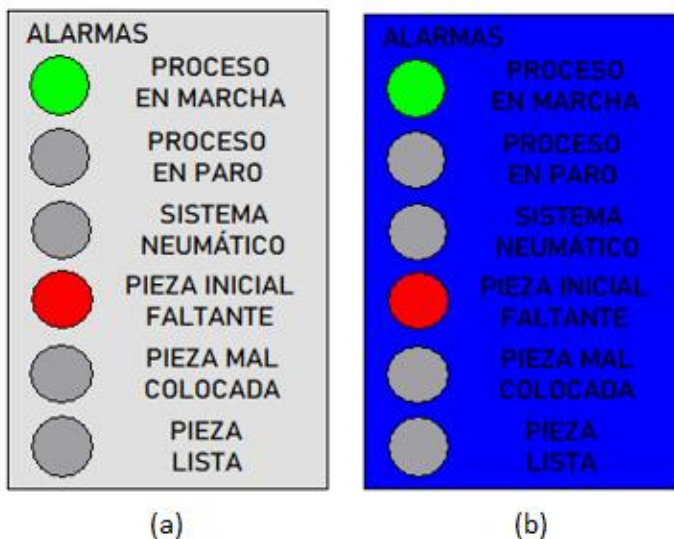
Uso de colores en botones.



Al tener en consideración el uso de colores fuertes como representación de situaciones que necesitan de atención, no se debe usar en exceso estos o usarlos sin una razón necesaria puesto que crearía confusiones en los usuarios.

Figura 71

Uso de colores tenues en HMI. (a) color apropiado de fondo, (b) color incorrecto de fondo



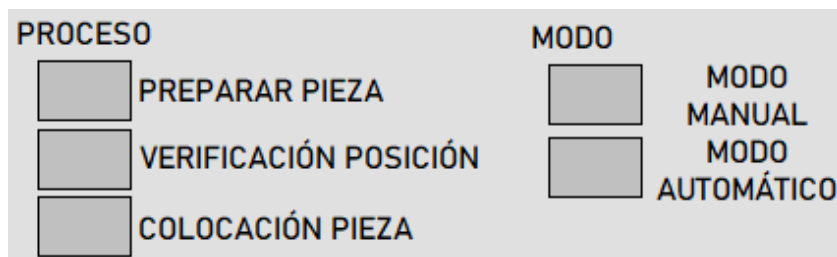
Cada alarma junto con su color debe representar una sola situación, no se debe colocar una alarma que represente más de una situación con varios colores, usuarios pueden confundirlos o presentar daltonismo.

Información, no solo datos.

De un proceso industrial se puede sacar una gran cantidad de información, parte de esta puede ser lo suficientemente útil para estar en la HMI y otra parte no. Es necesario saber reconocer el tipo de información útil que se debe mostrar y no saturar de información no útil.

Figura 72

Información útil del proceso



Se debe dar un tipo de conclusión a los datos mostrados, adicional a los datos se puede agregar un tipo de alarma en color o texto que represente si los datos mostrados significan algo positivo, negativo o normal.

Representación de alarmas.

Siendo las alarmas una parte importante de la HMI puesto que son las que notifican al usuario de posibles eventos riesgosos, para evitarlos deben estar presentes en todas las pantallas y en una posición donde puedan ser muy bien vistas, si se trabaja en sistemas riesgosos como por ejemplos manejo de fluidos combustibles,

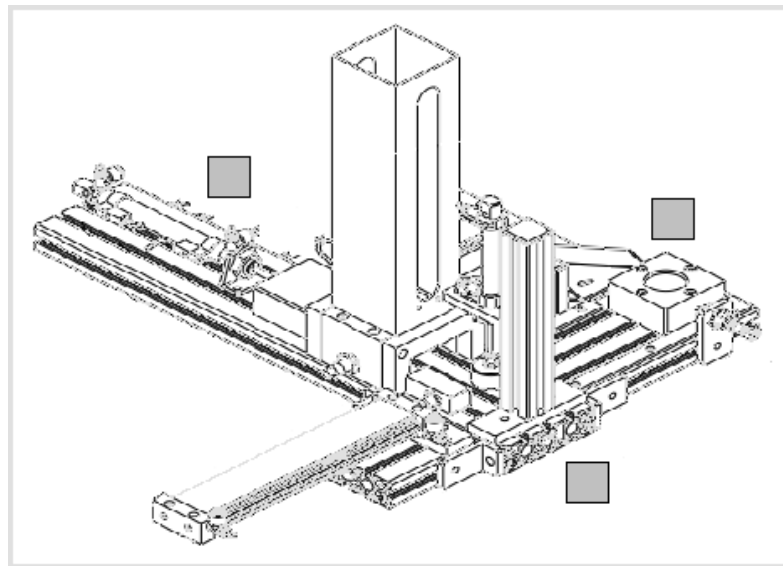
temperaturas o presiones altas se puede establecer prioridad de alarmas y tener preferencia por las más peligrosas.

Gráficos.

El uso de gráficos o símbolos en las HMI es útil para dar una idea rápida en que consiste el proceso y sus partes al usuario, pero no distraerlo de la información plasmada sobre el mismo, por lo cual es recomendable usar gráficos sencillos que sean solo una representación del tipo de maquinaria que forma el proceso.

Figura 73

Gráfico representativo del proceso



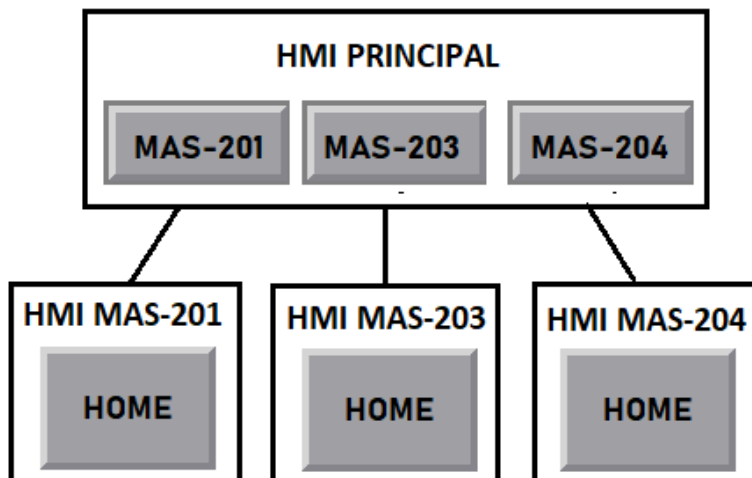
También se pueden utilizar animaciones, pero es recomendable en situaciones de peligro o advertencia para especificar en qué parte del proceso sucede la situación riesgosa.

Navegación y jerarquía de pantallas.

Con la jerarquía de pantallas ya establecida, se debe implementar la forma de navegación de una a otra y bajo qué objeto, normalmente se suele usar botones que abren o cierran las diferentes pantallas para la navegación de las mismas.

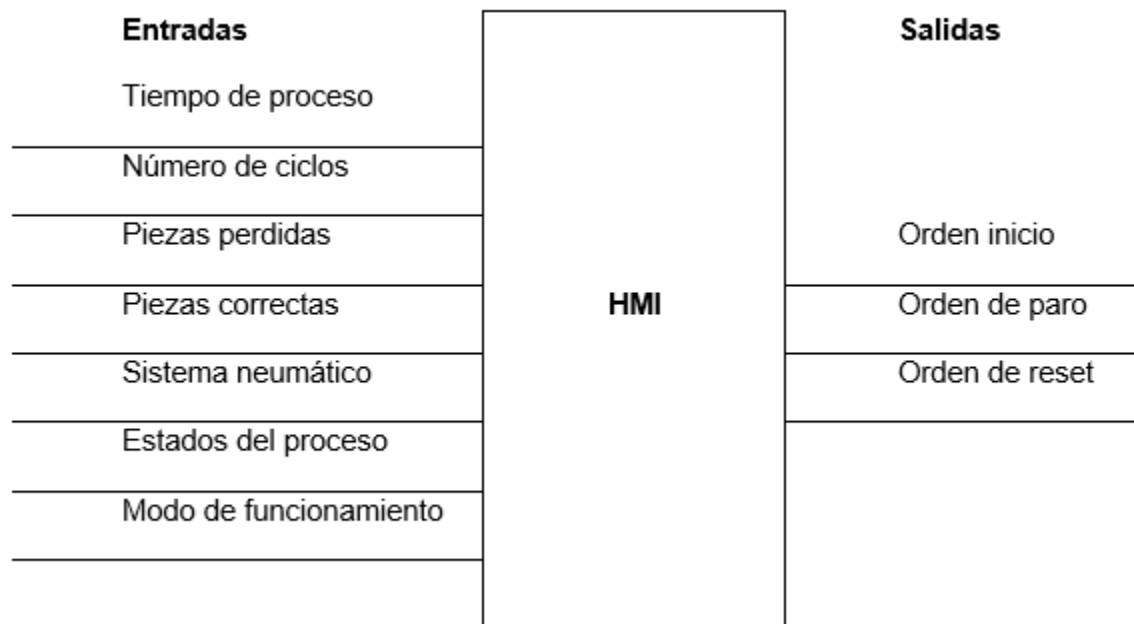
Figura 74

Botones de navegación

**Estandarización.**

Se recomienda que, dentro de la HMI, los elementos de las diferentes pantallas tengan un mismo estilo en lo que respecta a forma de alarmas, botones de mando, datos y gráficos de los procesos al igual que tratar de ubicarlos en la misma posición para que el usuario pueda manejar los objetos con mayor rapidez, fluidez y sepa identificarlas rápidamente sin importar la pantalla en la que se encuentre.

El tipo de información que se maneja en las HMI, tanto de entrada como salida se presenta en el siguiente esquema:

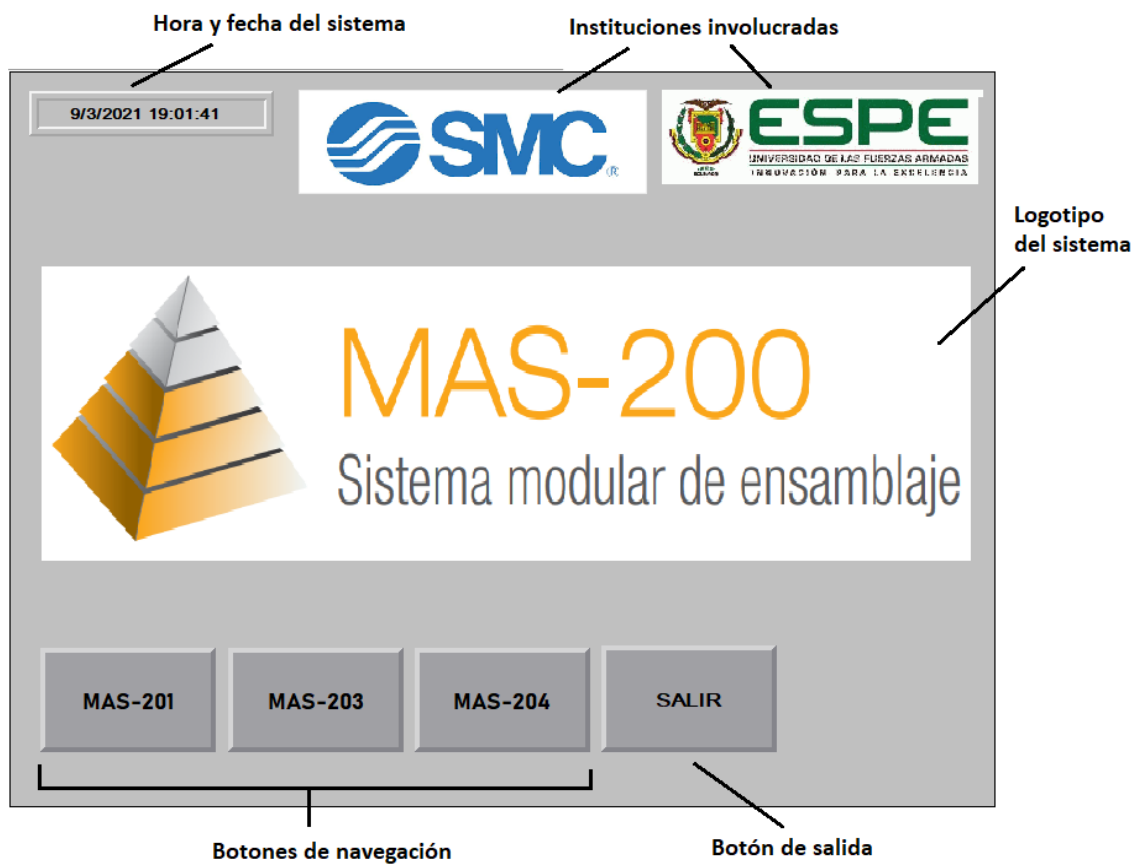
Figura 75*Esquema de información en HMI*

Siguiendo las sugerencias ya mencionadas se implementó las siguientes interfaces:

Interfaz principal:

Figura 76

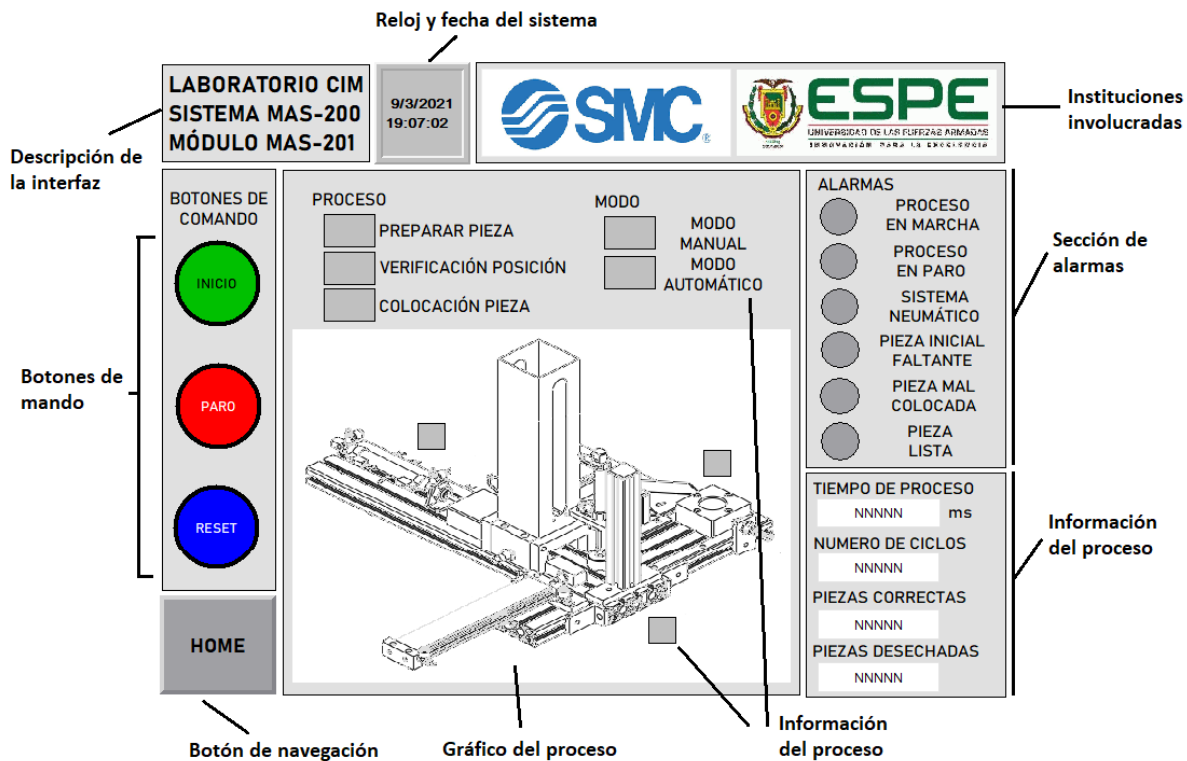
HMI principal.



Interfaz MAS-201:

Figura 77

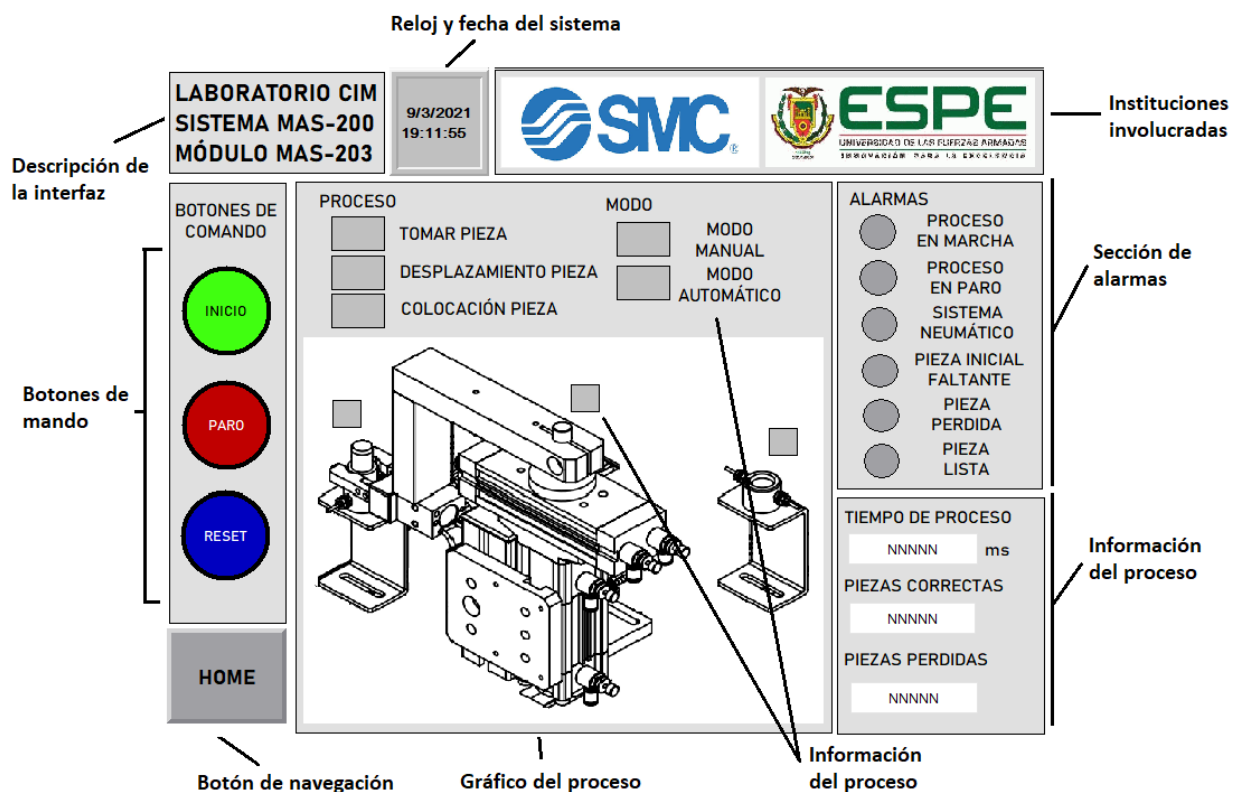
HMI módulo MAS-201



Interfaz MAS-203:

Figura 78

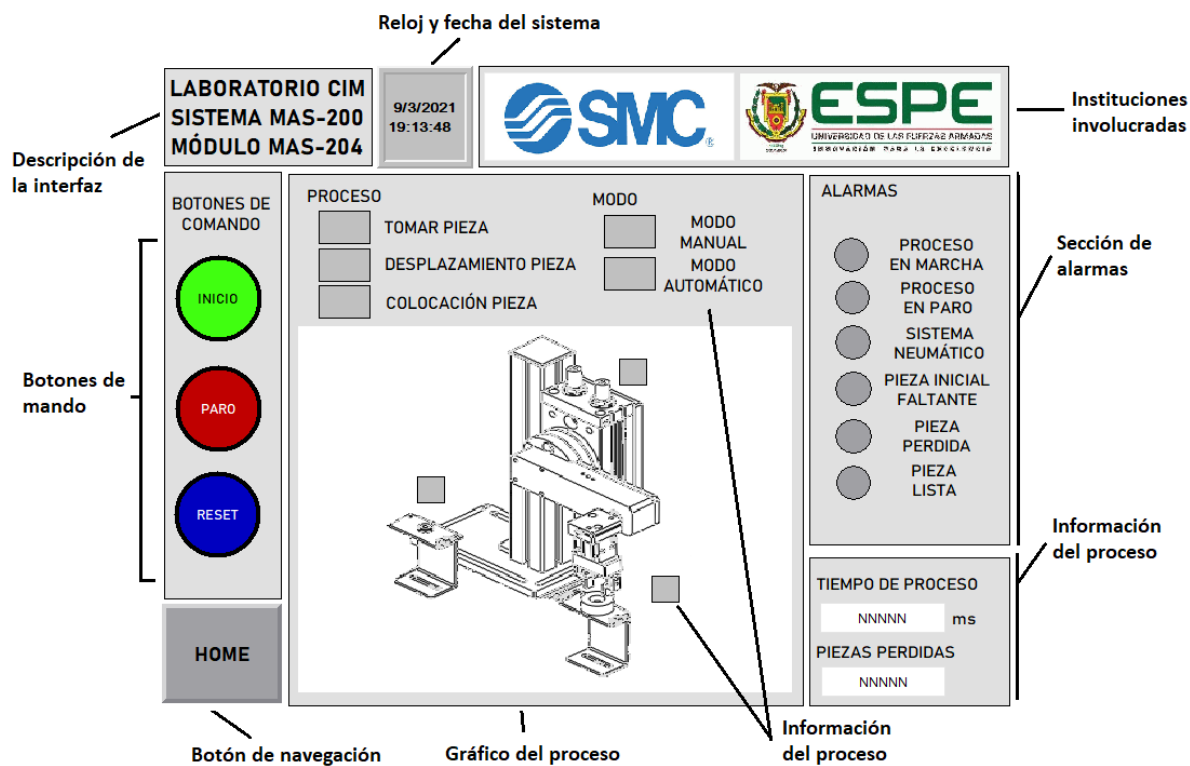
HMI módulo MAS-203



Interfaz MAS-204:

Figura 79

HMI módulo MAS-204



Capítulo V

Implementación, Pruebas y Resultados

Una vez que se han cargado todos los programas en los 3 PLC, se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento con el objetivo de que cada estación pueda funcionar de manera independiente y en conjunto, ya sea en modo automático o modo manual. Así también se espera que su operación sea fácil e intuitiva con la manipulación de los botones de mando que se muestran en la HMI y que se encuentran en la botonera; y que, la interfaz gráfica nos pueda ayudar con toda la información necesaria para conocer el estado y el funcionamiento de cada uno de los módulos que han sido implementados.

A continuación, se exponen los detalles que se encontraron y se resolvieron durante las pruebas de funcionamiento de los módulos.

Pruebas y modificaciones

En esta etapa de verificación, se realizaron varias pruebas individuales y colectivas en diferentes condiciones de operación como:

- Activación de paro de emergencia
- Desconexión del suministro neumático
- Errores básicos de operarios
 - Falta de suministro de piezas
 - Colocación de piezas en posición final
 - Intervención durante el proceso automático

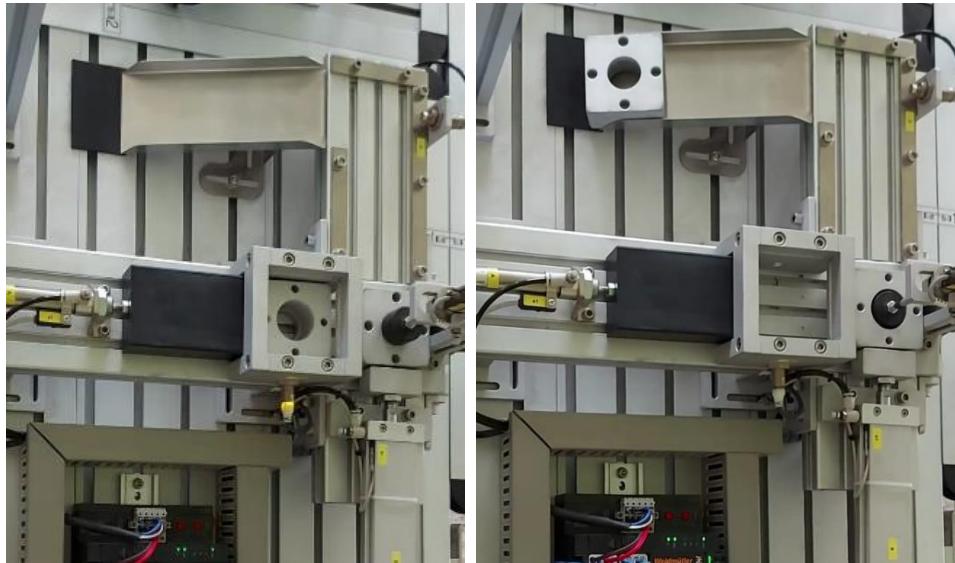
Módulo MAS-201

Las pruebas en esta estación se realizaron en modo automático y modo manual. Como se puede observar en la Figura 80, cuando la pieza no se encuentra correctamente colocada (a), el actuador no se extiende completamente hasta encajar

como en (b) y no logra activar su fin de carrera. Aquí puede existir un error, es por esto que, se implementó un temporizador de 1 segundo para poder detectar si se encuentra en la posición correcta o no.

Figura 80

Prueba MAS-201



(a)

(b)

El sistema cuenta con otro inconveniente y es que no se dispone de un sensor en la posición final de la estación, la cual se muestra en la Figura 81, por lo cual, no es posible para el PLC saber si se encuentra allí una base o está el espacio libre para posicionar una nueva. Luego de haber detectado el problema y realizar pruebas sobre esto, se decidió que la alarma de base posicionada se activaría apenas el actuador de verificación de posición llegará a su posición de avance comunicando que una base ya se encuentra en esa posición hasta terminar el proceso general y despachar la pieza lista.

Figura 81

Posición de ensamble



Pero sí cuenta con sensor en el lugar de suministro de bases (figura), que nos ayuda a saber si es necesario ingresar más bases a la pila, el cual se vio la necesidad de mostrar su estado en la HMI.

Figura 82

Sensor base disponible



Módulo MAS-203

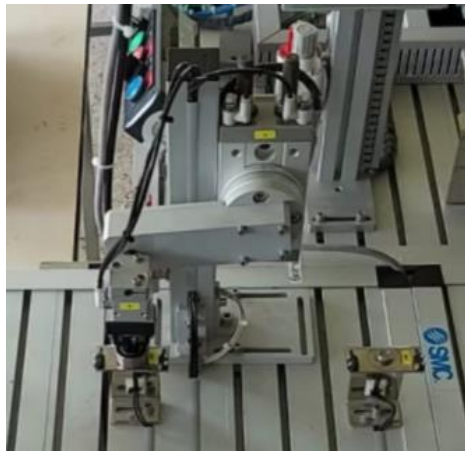
En el funcionamiento de este módulo que se visualiza en la Figura 83, se pudo observar que existe un tramo del trayecto (b), durante el cual, la pieza puede ser soltada por el gripper y no estaría en ninguna ubicación conocida, esto puede suceder por falta de suministro de aire o por intervención humana.

Durante las pruebas de operación realizadas se encontró un error al desenergizar todo el sistema mediante el paro de emergencia, en el cuál la pinza neumática era desactivada y soltaba el rodamiento.

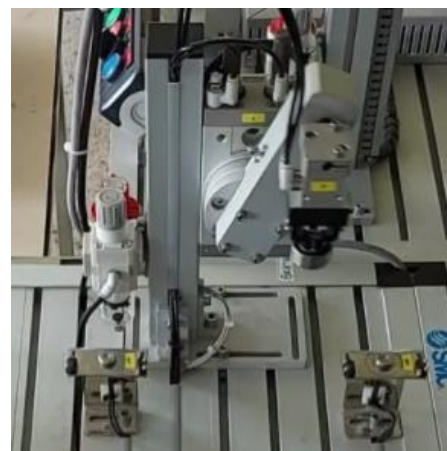
Para dar solución a estos inconvenientes, se realizó la implementación del detector de pieza perdida que se detalla más adelante, que permite conocer si se presentó el error para poder llevar un registro y entregar nuevamente la pieza de manera satisfactoria.

Figura 83

Pruebas MAS-203



(a)



(b)



(c)

En el MAS-203, se cuenta con los sensores necesarios para saber si existe suministro y si la pieza ya ha sido desplazada. Entonces, se vio la necesidad de enviar estas notificaciones a la interfaz gráfica del operador, para tener presente esta información.

Figura 84

Sensor presencia del rodamiento



Módulo MAS-204

En el módulo de la entrega del eje, se encontró el mismo inconveniente del MAS-203, debido a que la pieza es sujeta y transportada con el gripper neumático que puede, por motivos ajenos a la producción normal, ser soltada durante el trayecto

Figura 85 (b), entonces el proceso se estancaba en la posición final de la pieza, donde ésta no había sido entregada.

El algoritmo de detección de piezas perdidas también fue implementado en este módulo para dar solución a este error encontrado, y así el proceso fue optimizado, eliminando paradas inesperadas y ayudando a la entrega de información sobre errores y alarmas.

Figura 85

Pruebas MAS-204



(a)



(b)

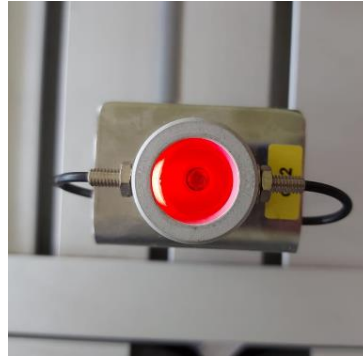


(c)

Finalmente, en esta estación disponemos también de 2 sensores de presencia.

Figura 86

Sensor presencia del eje

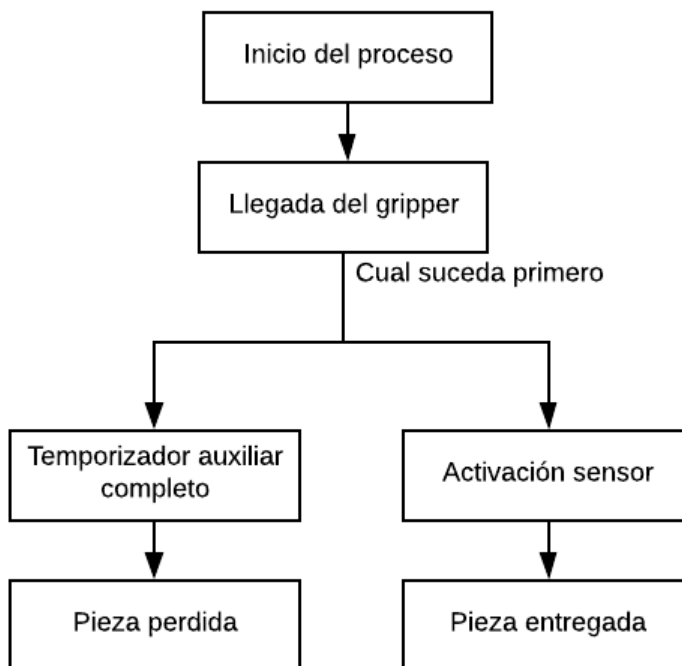
**Implementación del detector de piezas perdidas**

Como se mencionó anteriormente, en las estaciones MAS-203 y MAS-204, es necesario conocer si es que la pieza fue tomada por el gripper pero no llega al punto de entrega. Para este fin, se implementó un detector de piezas perdidas que nos ayuda a conocer este problema y poder realizar nuevamente el proceso y entregar una pieza para el ensamble.

Este algoritmo de detección utiliza un temporizador para conocer que, si en el momento de llegar el actuador a la posición final, el sensor de posición no ha sido activado, entonces la pieza no se entregó. Para una mayor explicación, se tiene el diagrama en la figura.

Figura 87

Algoritmo detección pieza perdida



El algoritmo fue implementado con un temporizador auxiliar de 1 segundo en la programación de los 2 módulos mencionados para un mejor control del proceso.

Implementación de temporizadores en los grippers

Al realizar las pruebas de funcionamiento, se encontró que, en ciertas ocasiones, la pieza no era entregada correctamente y caía. Esta pieza era registrada como perdida, pero el problema corresponde a fallos de coordinación entre los actuadores debido a la velocidad con la que se realiza el proceso.

Para la solución de este problema, se implementó temporizadores auxiliares en la programación definidos a 500 ms, lo cual fue suficiente para evitar los inconvenientes en el agarre de las piezas, específicamente en la posición final de entrega.

Esta solución fue aplicada a los módulos MAS-203 y MAS-204.

Notificación de presión

En un sistema electro-neumático es de suma importancia conocer si existe suministro de aire. El sistema dispone de un presostato conectado a la estación principal (MAS-205) que entrega una señal digital de acuerdo a la presión de aire disponible.

Para poder incluir esta información en la HMI diseñada, se añadió una variable proveniente de la red Ethernet, por la cual va a tener conexión con el módulo central. El MAS-205, de acuerdo a la información que dispone, enviará esta señal para poder utilizarla en la programación.

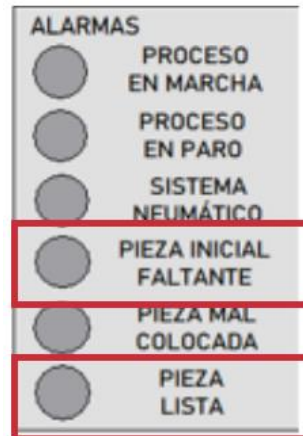
Validación de piezas en posición suministro y posición final

Inicialmente, en la pantalla de la interfaz de usuario mostraba la notificación al finalizar los procesos de cada estación, es decir, cuando supuestamente la pieza ya fue entregada. Pero una vez realizadas las pruebas pertinentes mencionadas anteriormente, se realizan mejoras en el sistema de alarmas tomando en cuenta las diferentes posibilidades que se pueden dar y logrando que el operador pueda tener información más acertada acerca del proceso. Es por esto que, las alarmas se muestran de manera descriptiva para conocer a detalle la causa de las mismas.

Se toma a consideración también la disponibilidad de sensores que aportan información esencial acerca del proceso. Por lo tanto, se realizan las modificaciones respectivas en la sección de alarmas de cada una de las pantallas correspondientes a los módulos, para que se muestre la notificación de “Pieza inicial faltante” o “Pieza lista”, como se indica en la Figura 88 con la definición previa de las variables en el programa de acuerdo a las piezas disponibles, ya sea en el suministro (posiciones iniciales) o en la entrega (posiciones finales).

Figura 88

Alarmas de piezas en posición

**Análisis de productividad**

El sistema MAS-200 al tratarse de la simulación de un proceso industrial sobre ensamblaje de piezas, puede ser sujeto de análisis y estudios sobre su proceso como en los sistemas reales. Entre los análisis comunes están análisis mecánicos, eléctricos, neumáticos, de productividad o mantenimiento. Con los datos obtenidos del sistema se realizó un análisis sobre la productividad, es decir, los tiempos tomados para llevar a cabo el proceso, la presión neumática usada en el circuito neumático y la calidad y eficacia del proceso de ensamblaje.

Relación tiempo-presión

Gracias a la implementación de temporizadores, contadores y demás herramientas en el PLC se puede obtener información importante del proceso y guardarlo en un archivo Excel generando una base datos para poder analizarlos.

Figura 89

Base de datos generada de HMI.

	A	B	C	D	E	F	G
1	LocalDate	LocalTime	{{[Red]Consu	::[Red]Progi	{{[Red]Consu	{{[Red]Consu	::[Red]Progi
2	2/4/2021	11:43:57	11752	12684	10755	11996	17040
3	2/4/2021	11:46:35	9752	10684	10005	9996	16100
4	2/4/2021	11:50:58	4140	5400	3932	6082	101667
5	2/4/2021	11:54:25	4140	5230	3741	5956	77180
6	2/4/2021	11:56:45	4100	5058	3523	5834	76690
7	2/4/2021	12:00:45	4084	4895	24060	5735	81159
8							

Entre los datos obtenidos sobre los tiempos del proceso están:

Presión usada 0.2 MPa, tiempos medidos en milisegundos:

Figura 90

Presión de 0.2 MPa.



Tabla 24

Datos de tiempos con 0.2 MPa de presión.

Ciclo	Tiempo MAS-201	Tiempo MAS-203	Tiempo MAS-204	Tiempo total
1	5833	5326	7748	77214
2	5784	5345	7752	77558

Ciclo	Tiempo MAS-201	Tiempo MAS-203	Tiempo MAS-204	Tiempo total
3	5862	5285	7718	77417
4	5863	5378	7748	77485
5	5849	5331	7769	77268

Presión usada 0.4 MPa, tiempos medidos en milisegundos:

Figura 91

Presión de 0.4 MPa.



Tabla 25

Datos de tiempos con 0.4 MPa de presión.

Ciclo	Tiempo MAS-201	Tiempo MAS-203	Tiempo MAS-204	Tiempo total
1	4924	4526	6945	72125
2	4956	4489	6870	72096
3	4916	4512	6922	72144
4	4937	4478	6915	72136
5	5025	4496	6894	72111

Presión usada 0.5 MPa, tiempos medidos en milisegundos:

Figura 92

Presión de 0.5 MPa.



Tabla 26

Datos de tiempos con 0.5 MPa de presión.

Ciclo	Tiempo MAS-201	Tiempo MAS-203	Tiempo MAS-204	Tiempo total
1	4143	3540	6025	66370
2	4109	3553	5976	66341
3	4111	3501	5972	66255
4	4105	3537	5984	66296
5	4098	3533	5969	66302

Los valores promedio de tiempos de proceso por presión son:

Presión: 0.2 [MPa]:

$$t_{PMAS201} = \frac{5833 + 5784 + 5862 + 5863 + 5849}{5} = 5838.2 \text{ ms} \quad (5.1)$$

$$t_{PMAS203} = \frac{5326 + 5345 + 5285 + 5378 + 5331}{5} = 5333 \text{ ms} \quad (5.2)$$

$$t_{PMAS204} = \frac{7748 + 7752 + 7718 + 7748 + 7769}{5} = 7747 \text{ ms} \quad (5.3)$$

$$t_{PTOTAL} = \frac{77214 + 77558 + 77417 + 77485 + 77268}{5} = 77388.4 \text{ ms} \quad (5.4)$$

Presión: 0.4 [MPa]:

$$t_{PMAS201} = \frac{4924 + 4956 + 4916 + 4937 + 5025}{5} = 4951.6 \text{ ms} \quad (5.5)$$

$$t_{PMAS203} = \frac{4526 + 4489 + 4512 + 4478 + 4496}{5} = 4500.2 \text{ ms} \quad (5.6)$$

$$t_{PMAS204} = \frac{6945 + 6870 + 6922 + 6915 + 6894}{5} = 6909.2 \text{ ms} \quad (5.7)$$

$$t_{PTOTAL} = \frac{72125 + 72096 + 72144 + 72136 + 72111}{5} = 72122.4 \text{ ms} \quad (5.8)$$

Presión: 0.5 [MPa]:

$$t_{PMAS201} = \frac{4143 + 4109 + 4111 + 4105 + 4098}{5} = 4118.2 \text{ ms} \quad (5.9)$$

$$t_{PMAS203} = \frac{3540 + 3553 + 3501 + 3537 + 3533}{5} = 3532.8 \text{ ms} \quad (5.10)$$

$$t_{PMAS204} = \frac{6025 + 5976 + 5972 + 5984 + 5969}{5} = 5985.2 \text{ ms} \quad (5.11)$$

$$t_{PTOTAL} = \frac{66370 + 66341 + 66255 + 66296 + 66302}{5} = 66384.8 \text{ ms} \quad (5.12)$$

Los valores promedio son:

Tabla 27

Promedio tiempos de proceso.

	MAS-201	MAS-203	MAS-204	Tiempo total
P=0.2 MPa	5838.2 ms	5333 ms	7747 ms	77388.4 ms
P=0.4 MPa	4951.6 ms	4500.2 ms	6909.2 ms	72122.4 ms
P=0.5 MPa	4118.2 ms	3532.8 ms	5985.2 ms	66384.8 ms

Tabla 28

Porcentaje de reducción de tiempo en base a la presión más baja

	MAS-201	MAS-203	MAS-204	Tiempo total
P=0.2 MPa	-	-	-	-
P=0.4 MPa	15.18%	15.61%	10.81%	6.80%
P=0.5 MPa	29.46%	33.75%	22.74%	14.22%

Valores óptimos de funcionamiento

Se puede notar como con una presión mayor (0.5 MPa) los tiempos de los procesos disminuyen alrededor de un 23% a un 34% respecto con la presión más baja, convirtiéndose en la presión ideal para reducir tiempos de proceso y aumentar la eficiencia, pero presenta un inconveniente ya que a esa presión muchos de los actuadores neumáticos se desplazan con una alta velocidad causando un choque brusco en su avance y retorno lo que disminuiría la vida útil de estos. Para mantener un equilibrio entre eficiencia del sistema y mantenimiento del mismo se escogió una presión ideal de funcionamiento de 0.4 MPa. Con este valor los actuadores presentan

un choque de avance o retorno mucho menor y el tiempo logrado es el menor que en presiones menores.

Disponibilidad de las estaciones

Se define como el tiempo en que la maquinaria está siendo utilizada o está haciendo alguna operación comparada con el tiempo total de un ciclo del proceso, de esta forma entendemos que porcentaje del tiempo total donde el sistema se encuentra en reposo.

$$disp = \frac{tiemp\ operativo}{tiemp\ proceso} * 100\% \quad (5.13)$$

Tabla 29

Disponibilidad de las estaciones

	MAS-201	MAS-203	MAS-204
P=0.2 MPa	7.54%	6.89%	10.01%
P=0.4 MPa	6.86%	6.24%	9.58%
P=0.5 MPa	6.20%	5.32%	9.02%

Las piezas como los actuadores, son hechos generalmente de metal y aleaciones del mismo, sin embargo, no quita la posibilidad de que el propio sistema pueda dañar las piezas o materia prima por el manejo brusco del mismo arriesgando calidad por eficiencia teniendo piezas mal ensambladas o dañadas dando como proceso perdido aumentando los costos de producción.

Estadísticas del sistema

Como ya se describió, se implementó sistemas de detección de piezas perdidas en los módulos MAS-203 y MAS-204, al igual que el detector de posición de la base en el módulo MAS-201 que viene integrado.

Estos sistemas fueron implementados en el caso de que, por una u otra razón, en el traslado de las piezas estas se suelten de la pinza neumática y no lleguen a la posición final de ensamble. Por lo que en base a los sensores se asegura de la llegada exitosa de la pieza en el módulo respectivo, caso contrario da la debida notificación y registro del acontecimiento.

Debido a que el usuario es el encargado de proveer las piezas en el módulo MAS-201, la capacidad de suministrar las bases en la forma correcta es responsabilidad de este y no del sistema, se puede analizar los efectos que causan en el sistema la mala ubicación de las piezas y estas son:

Tabla 30

Tiempo con fallas MAS-201

Ciclo	Pieza	T1 ms	T2 ms	T3 ms	Promedio	Porcentaje de demora adicional
1	0	4932	4956	4923	4937	-
2	1	9256	9145	9243	9214.6	86.64%
3	2	13845	13647	13475	13655.6	176.59%
4	3	19042	18985	19087	19038	285.61%

Como se puede observar, los tiempos de retardo van desde el 86% hasta el 285% del tiempo normal, algo que afecta en gran medida la productividad y eficacia del sistema ya que es en esta base donde se ensambla toda la pieza final y el ensamble no puede iniciar hasta que esta pieza este colocada correctamente.

Una posible solución a este problema es la implementación de un sistema que valide la posición de la base antes de ser suministrada y la pueda rechazar antes de entrar al sistema y evitar estos tiempos muertos por fallas.

Capítulo VI

Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos futuros

Conclusiones

Se automatizó los módulos MAS-201, MAS-203 y MAS-204 de forma independiente con un equipo de carácter industrial como un controlador lógico programable (PLC) como se haría en un proceso industrial real.

Con la automatización de las estaciones en cuestión, estas están listas para ser acopladas al sistema MAS-200 el cual funcionará de manera sincronizada y en conjunto con una red industrial entre los demás controladores.

No solo se logró automatizar el sistema en cuestión, si no también se le dió un enfoque administrativo y operacional. Aparte del entrenamiento sobre PLC, redes industriales, sensores y actuadores neumáticos que puede realizar el estudiante en el sistema, podrá aprender con práctica sobre términos presentes en la cúspide de la pirámide de automatización como productividad, eficiencia, eficacia, manejo de fallas, etc. Campos de la Ingeniería vistos en la materia de Manufactura Integrada por Computador (CIM) siendo el MAS-200 una herramienta valiosa en el laboratorio.

Se desarrolló la interfaz Humano-Máquina (HMI) bajo normas industriales como se haría en una aplicación industrial real y esta permite al estudiante observar información del sistema. Entre la información que el estudiante puede acceder es manejo de alarmas, secuencia de proceso, datos informativos del sistema y generar ordenes desde esta. El estudiante, a través de la HMI, puede realizar el control, monitorización, diagnóstico, supervisión, gestión y operación del proceso.

Se logró intercomunicar al PLC con el proceso (entradas y salidas) en cada estación, a través de la aplicación de una red DeviceNet en una unidad remota de entradas y salidas con el mismo protocolo, facilitando aspectos de hardware en la

instalación de los equipos. Añadiendo otra característica y parte importante de la automatización a la simulación de una aplicación industrial como lo son las redes industriales.

Se diseñó e implementó un código de programación dentro de los PLC's con resultados satisfactorios sobre el funcionamiento final. Entre las herramientas usadas en el algoritmo están temporizadores, contadores, módulos de comunicación, lógica Ladder, subsistemas de seguridad y funcionamiento. El algoritmo también sigue normas industriales sobre su implementación para facilitar su entendimiento y estandarización al estudiante.

Como en el desarrollo de un proyecto industrial real, se diseñó y creó toda la documentación que respalde al sistema sobre su diseño, implementación, posibles fallos, manejo y recomendaciones de uso. Toda la información contenida fue basada en bibliografía original de la empresa fabricante del sistema, los controladores y equipos de comunicación. Además de agregar la información sobre los estudios realizados de optimización y eficiencia del sistema.

Finalmente, se concluye que los módulos MAS-201, MAS-203 y MAS-204, pertenecientes al sistema MAS-200, se encuentran completamente operativos, funcionales y optimizados para su uso en el Laboratorio de CIM de la universidad aportando en el aprendizaje integral sobre campos de la automatización industrial para los estudiantes de Ingeniería Electrónica.

Recomendaciones

Se debe tener en cuenta que dentro de las comunicaciones y redes de información se tiene una impedancia característica que se encuentra relacionada con la línea de transmisión o el cable por donde se transmite la información. Se debe agregar una impedancia o resistencia en el conector del cable de comunicación para reducir

interferencias del exterior sobre el cable de comunicación por su impedancia característica y así tener una mejor transmisión de datos de un nodo al otro.

Se debe tener precaución y crear un área de trabajo del sistema el cual no se debe invadir si no hay una necesidad de hacerlo. Los movimientos de los actuadores en su modo de funcionamiento por defecto son automáticos y pueden llegar a golpear a un estudiante pudiendo causar un daño físico al mismo.

Todos los actuadores neumáticos tienen reguladores de caudal los cuales puede variar la velocidad con la que pistones avanzan o retroceden, para mantener en buen estado y la vida útil de los equipos se recomienda mantenerlos en un caudal normal o bajo y evitar golpes o choques de los equipos por su activación en altas velocidades.

Mantener una constante supervisión del sistema en funcionamiento para parar y prevenir cualquier situación riesgosa que ponga en peligro la integridad de las personas o equipos presentes en el proceso. En caso de cualquier acontecimiento accidental con un equipo o talento humano, se debe presionar el botón de emergencia el cual desenergiza todo el sistema, apagando las electroválvulas y desactivando los actuadores neumáticos.

En el caso del no funcionamiento de algún actuador o sensor de cualquier estación del sistema, revisar si el responsable de dicha inhabilitación es el sistema de simulación de averías el cual puede estar activado generando estos problemas.

No modificar aspectos de hardware de los equipos como la dirección colocada en la unidad remota de entradas y salidas, el nivel de voltaje en la fuente de alimentación o direcciones en módulos de comunicación en el PLC.

Previo a la manipulación y operación del sistema, leer toda la documentación propia del fabricante, tanto de los actuadores, sensores, PLC y módulos en general

como también la documentación que describe el programa de control, la red implementada y la interfaz humano-maquina.

Previo a la modificación en la configuración y programación del PLC, se recomienda generar copias de seguridad de todos los programas presentes en todos los controladores, los programas usados actuales generan resultados satisfactorios sobre el funcionamiento del sistema.

Trabajos Futuros

Integración de los dos sistemas de entrenamiento disponibles en el laboratorio, MAS-200 y HAS-200, en un solo sistema de gestión de la información para la simulación de líneas de producción con procesos independientes.

Implementación de redes ControlNet con los módulos disponibles en cada PLC para lograr una red industrial conformada por diversos protocolos de comunicación y entrenar al estudiante en todos ellos.

Incorporación de sensores adicionales, como en el módulo MAS-201 para conocer si la base se encuentra en posición, con el uso de las entradas y salidas digitales que dispone cada PLC.

Referencias Bibliográficas

- Abarca Camacho, R. F., & Camacho Paucar, E. R. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN PARA SIMULACIÓN DE PROCESOS DE ENSAMBLAJE CON MESA INDEXADORA Y ROBOT INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6924/1/25T00307.pdf>
- Allen Bradley. (s.f.). *Manual módulo ControlNet Allen Bradley*. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1756-in634_-es-p.pdf
- Allen Bradley. (s.f.). *Manual módulo DeviceNet Allen Bradley*. Obtenido de <https://lvmcc-pubs.rockwellautomation.com/pubs/1756-IN566D-EN-P.pdf>
- Allen Bradley. (s.f.). *Manual módulo EtherNet/ IP Allen Bradley*. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td003_-en-e.pdf
- Allen Bradley. (s.f.). *Manual Sistema ControlLogix*. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um001_-es-p.pdf
- Alvarez, M., & Robles, R. (2016). *Diseño e implementación de las interfaces humano máquina y SCADA para el sistema HAS-200 V1.0 del laboratorio de manufactura integrada por computador*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11710/1/T-ESPE-053124.pdf>
- Ballinas Aguilar, E. R. (15 de Diciembre de 2016). *Automatización de sistema de electroválvulas, de sistema de saneamiento utilizando PLC Control Logix en la planta de Torreon de la empresa Coca Cola Femsa*. Obtenido de

<http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/1253/MDRPIECA2016021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Barrios, L., & Galeano, I. (2014). *Interfaces Hombre- Máquina*. Asunción: Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción.

Bollaín, M. (2018). *Ingeniería de Instrumentación de plantas de proceso*. Madrid: Diaz de Santos.

Buenaño Acosta, D., & Ponce Sevilla, J. (2010). Obtenido de ESTUDIO DE SITUACIÓN TECNOLÓGICA EN EL ÁMBITO DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL EN EL SECTOR MANUFACTURERO DE LA REGIÓN SIERRA SECTOR CENTRO-NORTE DEL ECUADOR:

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/245/6/T-ESPE-027502.pdf>

Campués, W., & Nacimba, J. (2010). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para una red Devicenet*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Cayancela Valverde, J., & Edison, C. C. (2015). *Diseño y construcción de un módulo de automatización del proceso de ensamblaje usando ventosa neumática, controlado por PLC y pantalla táctil para la facultad de mecánica de la ESPOCH*.

Obtenido de

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4485/1/15T00594.pdf>

Cohen, Y., Faccio, M., & Galizia, F. G. (18 de Octubre de 2017). *ScienceDirect*.

Obtenido de Assembly system configuration through Industry 4.0 principles: the expected change in the actual paradigms:

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2550>

Córdoba Nieto, E. (2006). Manufactura y automatización. *Ingeniería e Investigación*, 120-128.

- Córdova, J., & García, F. (2009). *Diseño e implementación de una red industrial ethernet, profibus y profinet para la adquisición de datos de 18 máquinas de inyección en la planta Lona de la empresa Plasticaucho S.A.* Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército.
- Cortés, J., López, L., & Yerbafría, H. (2013). *Diseño de una red ControlNet y EtherNet en una línea de producción de frituras.* México D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- EAA . (11 de Febrero de 2021). *EAE Business School*. Obtenido de Proceso de producción: en qué consiste y cómo se desarrolla: https://retos-operaciones-logistica.eae.es/proceso-de-produccion-en-que-consiste-y-como-se-desarrolla/#Tendencias_aplicables_a_todo_proceso_de_produccion
- El Universo. (7 de Noviembre de 2019). *El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/11/06/nota/7591049/autos-producen-ensamblan-ecuador/>
- ElMaraghy, H., & ElMaraghy, W. (2016). Smart Adaptable Assembly Systems. *Procedia CIRP*, 4-13. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.107>
- Enriquez, I. (2018). *La automatización de procesos: clave para competir en mercados globales*. Obtenido de ComputerWorld: <https://red.computerworld.es/actualidad/la-automatizacion-de-procesos-clave-para-competir-en-mercados-globales>
- García Moreno, E. (1999). *AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS IINDUSTRIALES*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Hawrylo, M. (2017). *ISA101, Human Machina Interfaces*. Delaware: ISA.

- Hudedmani, M. G., M. U. R., Kabberalli, S., & Hittalaman, R. (2017). Programmable Logic Controller (PLC) in Automation. *Advanced Journal of Graduate Research*, 37-45.
- Lojan Bermeo, E. F. (2015). Obtenido de AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE CONGELADORES E INGRESO DE PRODUCTO TERMINADO EN LA EMPRESA INDUGLOB S.A.:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7851/1/UPS-CT004688.pdf>
- Loor Jara, N. R. (8 de Septiembre de 2016). *Diseño, Instalación y Operación del Sistema de Control de Velocidad para las Unidades a Vapor Tv-2 y Tv-3 de la Central Térmica Ing. Gonzalo Zevallos*. Obtenido de
<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/43702>
- Maldonado, F., & Proaño, G. (2015). La Industria en Ecuador. *EKOS*, 46-52. Obtenido de <https://issuu.com/ekosnegocios/docs/257>
- Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C., & Armesto, J. (2009). *Automatas programables y sistemas de autoamtización*. Barcelona: Marcombo.
- Mañay Añarumba, W. (2019). *AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA ELECTRO NEUMÁTICO DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL MOLDE PRINCIPAL DE LA LÍNEA DE ENSAMBLAJE DE AUTOMÓVILES*. Obtenido de UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL:
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2116/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2019-052.pdf>
- Molina, D. J., Ramos, R. D., & Berrocal, A. N. (2014). *AUTOMATIZACIÓN DE COMPRESORES PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE PRESIÓN EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO*. Obtenido de
<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0067121.pdf>

- Morales, A. (12 de 02 de 2019). *ISA MEXICO*. Obtenido de InTech México:
<https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/02/12/caracteristicas-del-estandar-ansi-isa-101-01-2015-interfaces-humano-maquina-para-sistemas-de-automatizacion-de-procesos/>
- OMRON. (s.f.). *Manual fuente de alimentación OMRON*. Obtenido de
https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/es/v8/t056_s8vk-g_switch_mode_power_supply_datasheet_es.pdf
- Ponsa, P., Díaz, M., & Catalá, A. (2014). *Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ríos Q, L. C., & López, J. (2007). Aplicación de PLC en modernización tecnológica para una máquina formadora de vidrio. *Scientia Et Technica, XIII(37)*, 217-222.
- Rockwell Automation. (s.f.). *History - Allen Bradley*. Obtenido de
<https://www.rockwellautomation.com/es-ar/company/about-us/our-history.html>
- Rosado, A. (2013). *Diseño de Interfaces Hombre-Máquina*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Sánchez, C. (2014). AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ: CONCEPTOS Y PROCESOS. *DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL*.
- SMC. (s.f.). *Cómo probar un relé*. Obtenido de <https://smcint.com/es/como-probar-un-rele/>
- SMC International Training. (s.f.). *Pneutrainer 200*. Obtenido de
<https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/220>
- SMC. (s.f.). *Manual actuador neumático rotatorio SMC*. Obtenido de
<https://www.smc-pneumatics.com/pdfs/MSQ.pdf>

- SMC. (s.f.). *Manual cilincros Pin SMC*. Obtenido de
https://www.smc Pneumatics.com/pdfs/CJP2_CJP.pdf
- SMC. (s.f.). *Manual cilindro rotativo neumático SMC*. Obtenido de
<https://www.smc Pneumatics.com/pdfs/MRQ.pdf>
- SMC. (s.f.). *Manual cilindros de placa SMC*. Obtenido de
https://www.smc Pneumatics.com/smc digitalcat3/docs/actuator/compact/mu_mdu.pdf#page=4
- SMC. (s.f.). *Manual cilindros ISO SMC*. Obtenido de
<https://www.smc Pneumatics.com/pdfs/C85.pdf>
- SMC. (s.f.). *Manual electroválvulas SMC*. Obtenido de
https://static.smc.eu/pdf/SY_ES.pdf
- SMC. (s.f.). *Manual filtro regulador SMC*. Obtenido de
https://www.smc Pneumatics.com/pdfs/ac_series.pdf
- SMC. (s.f.). *Manual gripper neumático SMC*. Obtenido de
<https://www.smc Pneumatics.com/pdfs/MHK.pdf>
- Vistazo. (2017). Ensamblaje, "Made in Ecuador". *Vistazo*. Obtenido de
<https://www.vistazo.com/seccion/enfoque/ensamblaje-made-ecuador>
- Weidmuller. (s.f.). *Manual unidad remota de E/S Weidmuller*. Obtenido de
file:///C:/Users/sebas/AppData/Local/Temp/1334900000_UR20-FBC-DN_es.pdf
- Zelaya, C. (2015). *Diseño de un módulo de entrenamiento en sistemas*. Obtenido de
Universidad Nacional de Ingeniería: <https://ribuni.uni.edu.ni/1291/1/60218.pdf>

ANEXOS

ANEXO A Graficets

ANEXO B Programas en Studio 5000

ANEXO C Planos eléctricos y mecánicos

ANEXO D Registro de datos

ANEXO E Manual de usuario