



Diseño e implementación de un tablero electroneumático modular para brindar asesorías técnicas en la empresa IANDCECONTROL S.A

Loor Pérez, Andrés Geovanny

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

01 de febrero del 2023

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Revisión Tesis

NOMBRE DEL ALUMNO

ANDRES GEOVANNY LOOR PEREZ

NOMBRE DEL ARCHIVO

ANDRES GEOVANNY LOOR PEREZ - Tesis Loor Andres

SE HA CREADO EL INFORME

30 ene 2023

Resumen

Fragmentos marcados	12	1 %
Fragmentos citados o entrecomillados	2	0,3 %

Coincidencias de la Web

isft196-mdp.edu.ar	1	0,3 %
passeidireto.com	1	0,3 %
ilabora.com	1	0,2 %
sicma21.com	3	0,2 %
docplayer.es	2	0,2 %
scribd.com	2	0,2 %
studocu.com	3	0,2 %
processcontrol.com.ve	1	0,1 %

Firma:



EDGAR FERNANDO
TIPAN CONDOLO

.....

Ing. 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: **“Diseño e implementación de un tablero electroneumático modular para brindar asesorías técnicas en la empresa IANDCECONTROL S.A”** fue realizado por el señor **Loor Pérez, Andres Geovanny**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 01 de febrero de 2023

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**EDGAR FERNANDO
TIPÁN CONDOLO**

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

Yo, **Loor Pérez, Andrés Geovanny**, con cédula de ciudadanía n°1725862286, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de un tablero electroneumático modular para brindar asesorías técnicas en la empresa IANDCECONTROL S.A"**, es de mi 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, 01 de febrero del 2022

Loor Pérez Andrés Geovanny

C.C.: 172586228-6



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Autorización de Publicación

Yo, **Loor Pérez, Andrés Geovanny**, con cédula de ciudadanía n°1725862286, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "**Diseño e implementación de un tablero electroneumático modular para brindar asesorías técnicas en la empresa IANDCECONTROL S.A**", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 01 de febrero del 2022

Loor Pérez Andrés Geovanny

C.C.: 172586228-6

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a todas las personas que me enseñaron algo en este camino de formación, desde mi educación primaria hasta mi educación universitaria, todo aquel que me ofreció algo para seguir creciendo, todo aquel que estuvo ahí cuando lo necesite y cuando no también, todo aquel que se preocupó por si de verdad estaba aprendiendo y me motivó cada día para ser mejor.

Andrés Geovanny Loor Pérez

“La educación es el pasaporte hacia el futuro,
el mañana pertenece a aquellos que se preparan

para él en el día de hoy”

Malcolm X.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a mis padres por el apoyo incondicional que siempre me ofrecieron desde que empecé mis estudios, a mi ñaña chula por su cariño y soporte, a mis dos abuelitas que cada vez que las visitaba me motivaban a seguir y en especial a mi abuelito paterno que ahora está en el cielo y presiento que se sentirá orgulloso desde allá.

Agradezco a todos los maestros que tuve en mi vida estudiantil, ya que cada uno de ellos me transmitió su conocimiento y lo importante que es aprender, no solo por una nota, sino para progresar y entender cómo funciona el mundo en el que vivimos, al Ing. Edgar Fernando Tipán Condolo por su tiempo y seguimiento en el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a mis tutores empresariales, mi papá que sin un título universitario me ha enseñado que lo más importante para aprender es que te motive hacer lo que te propongas, al Ing. Milton Moncayo por su apoyo tanto económico como personal para que este proyecto sea desarrollado y ayude en la capacitación de más personas en el país.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas "E.S.P.E." por permitirme ser parte de su noble institución, con aulas, talleres y espacios dignos de una universidad de clase A, donde le permite a sus estudiantes sentirse cómodos y con ganas de superarse, de ir más allá, de innovar para conseguir la excelencia.

Andrés Geovanny Loor Pérez

"Gracias totales"

Tabla de contenidos

Dedicatoria.....	5
Agradecimiento.....	7
Resumen.....	19
Abstract.....	20
Capítulo I.....	21
Antecedentes.....	21
Justificación e importancia.....	22
Alcance del proyecto.....	23
Objetivos.....	26
<i>Objetivo general.....</i>	<i>26</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>26</i>
Capítulo II.....	27
Estado del arte.....	27
Automatización.....	28
<i>Beneficios de la automatización.....</i>	<i>31</i>
<i>Opciones de la automatización.....</i>	<i>32</i>
Control de procesos.....	34
Electroneumática.....	35
Elementos de control industrial.....	37
Controlador lógico programable.....	39
<i>Estructura externa de un PLC.....</i>	<i>41</i>
<i>Lenguajes de programación en un PLC.....</i>	<i>43</i>
<i>Secuencia de funcionamiento de un PLC.....</i>	<i>44</i>

Capítulo III	46
Descripción de los requerimientos.....	46
Requisitos de diseño	47
Diseño del sistema eléctrico	48
<i>PLC</i>	49
<i>Fuentes Vdc</i>	50
<i>Conductores eléctricos</i>	53
<i>Interruptor diferencial</i>	55
<i>Portafusibles</i>	56
<i>Borneras</i>	56
<i>Canaletas</i>	59
Sistema neumático.....	61
<i>Compresor</i>	63
<i>Unidad de mantenimiento</i>	65
<i>Electroválvulas</i>	66
<i>Cilindros neumáticos</i>	69
<i>Cálculos de consumo de aire de cada cilindro</i>	70
<i>Tuberías</i>	74
<i>Conectores neumáticos</i>	75
Sistemas modulares	76
<i>Módulo fuente de control</i>	78
<i>Módulo elementos de mando</i>	79

	10
<i>Módulo sensores industriales</i>	79
<i>Módulo Entradas/Salidas PLC</i>	82
<i>Módulo relés y contactos</i>	83
<i>Módulo elementos de señalización</i>	85
<i>Módulo fuente de fuerza</i>	85
Capítulo IV	86
Adquisición de materiales para la implementación	86
Implementación de la estructura.....	88
Implementación del tablero de control	89
Implementación de los sistemas modulares	90
Implementación del sistema neumático	92
Capítulo V	94
Programación del PLC	94
<i>Control ON-OFF</i>	94
<i>Ladder</i>	95
<i>Grafcet</i>	98
<i>Implementación del Grafcet sobre el PLC</i>	100
Configuración de la herramienta de programación	101
Capítulo VI	109
Guía de Práctica N°0.....	109
<i>Tema:</i>	109
<i>Objetivos:</i>	109
<i>Materiales:</i>	109

	11
<i>Procedimiento:</i>	109
<i>Planteamiento:</i>	110
Guía de Práctica N°1.....	110
<i>Tema:</i>	110
<i>Objetivos:</i>	110
<i>Materiales:</i>	110
<i>Procedimiento:</i>	111
<i>Planteamiento:</i>	111
Guía de práctica N°2.....	112
<i>Tema:</i>	112
<i>Objetivos:</i>	112
<i>Materiales:</i>	112
<i>Procedimiento:</i>	112
<i>Planteamiento:</i>	112
Guía de práctica N°3.....	114
<i>Tema:</i>	114
<i>Objetivos:</i>	114
<i>Materiales:</i>	114
<i>Procedimiento:</i>	114
<i>Planteamiento:</i>	114
Capítulo VII.....	116
Pruebas de conexión de equipos.....	116

Pruebas de comunicación	118
Pruebas de funcionamiento de la práctica N°0	118
Pruebas de funcionamiento de la práctica N°1	122
Pruebas de funcionamiento de la práctica N°2	126
Pruebas de funcionamiento de la práctica N°3	130
Análisis de resultados.....	131
Conclusiones	133
Recomendaciones	134
Bibliografía.....	135
Apéndices	138

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Componentes del sistema eléctrico</i>	48
Tabla 2 <i>Características del cobre y del aluminio</i>	53
Tabla 3 <i>Calibre de conductor para circuitos de control</i>	54
Tabla 4 <i>Componentes del sistema neumático</i>	61
Tabla 5 <i>Conectores para los elementos neumáticos</i>	76
Tabla 6 <i>Sistemas modulares</i>	77
Tabla 7 <i>Sensores Industriales</i>	80
Tabla 8 <i>Lista de materiales</i>	86
Tabla 9 <i>Ejemplo de una tabla de asignación de recursos</i>	97
Tabla 10 <i>Tabla para las pruebas de funcionamiento de la Práctica N°0</i>	120
Tabla 11 <i>Asignación de recursos, Práctica N°1</i>	122
Tabla 12 <i>Asignación de recursos, Práctica N°2</i>	126
Tabla 13 <i>Asignación de recursos, Práctica N°3</i>	130

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Panel de trabajo.</i>	24
Figura 2 <i>Tablero didáctico de electroneumática.</i>	25
Figura 3 <i>Circuito de mando y de fuerza para el control de una puerta mecánica.</i>	32
Figura 4 <i>Circuito de mando y de fuerza para una máquina de producción automática.</i>	33
Figura 5 <i>Arquitectura de una automatización con PC.</i>	33
Figura 6 <i>Control de procesos en lazo abierto.</i>	35
Figura 7 <i>Control de procesos en lazo cerrado.</i>	35
Figura 8 <i>Estructura general de un automatismo electroneumático en lazo cerrado.</i>	36
Figura 9 <i>Diagrama electroneumático básico.</i>	37
Figura 10 <i>Elementos de maniobra.</i>	38
Figura 11 <i>Elementos de protección.</i>	38
Figura 12 <i>Elementos de señalización.</i>	39
Figura 13 <i>Diagrama de la estructura externa de un PLC.</i>	40
Figura 14 <i>Símbolo general de una fuente de alimentación.</i>	41
Figura 15 <i>Símbolo general de un microprocesador.</i>	42
Figura 16 <i>Bloques de interfaces E/S y tipos de entradas y salidas de un PLC.</i>	42
Figura 17 <i>Bloques de interfaces de comunicación.</i>	43
Figura 18 <i>Lenguajes de programación de un PLC.</i>	43
Figura 19 <i>Secuencia de funcionamiento de un PLC.</i>	44
Figura 20 <i>Estructura para el tablero electroneumático.</i>	47
Figura 21 <i>Características Fuente PLC VIPA M13C.</i>	49
Figura 22 <i>Fuente de control Mean Well.</i>	51
Figura 23 <i>Fuente de fuerza Carlo Gavazzi.</i>	52
Figura 24 <i>Características del interruptor diferencial.</i>	55
Figura 25 <i>Portafusibles sin led (izquierda) y fusible (derecha).</i>	56

Figura 26	<i>Bornera de conexión a tierra.</i>	57
Figura 27	<i>Bornera simple y bornera doble.</i>	57
Figura 28	<i>Separadores o bloque final.</i>	58
Figura 29	<i>Conectores de 3 pines y tierra.</i>	59
Figura 30	<i>Conectores de 16 pines.</i>	59
Figura 31	<i>Canaleta ranurada.</i>	60
Figura 32	<i>Circuito esquemático del tablero de control.</i>	60
Figura 33	<i>Diagrama de alambrado del tablero de control.</i>	61
Figura 34	<i>Panel tipo agujereado para montar elementos neumáticos.</i>	62
Figura 35	<i>Tipos de compresores.</i>	63
Figura 36	<i>Rendimiento del compresor en función del número de etapas.</i>	64
Figura 37	<i>Especificaciones técnicas del compresor.</i>	64
Figura 38	<i>Unidad de Mantenimiento Airtec.</i>	65
Figura 39	<i>Accesorios de montaje de la unidad de mantenimiento Airtec.</i>	66
Figura 40	<i>Tipos de válvulas según la DIN24300.</i>	66
Figura 41	<i>Válvulas 3/2 y válvulas 5/2.</i>	67
Figura 42	<i>Válvulas operadas eléctricamente Airtec.</i>	67
Figura 43	<i>Accesorios para válvulas Airtec.</i>	68
Figura 44	<i>Válvula reguladora de caudal Airtec.</i>	68
Figura 45	<i>Partes de un actuador neumático.</i>	69
Figura 46	<i>Cilindros de simple efecto (a) y de doble efecto (b).</i>	70
Figura 47	<i>Accesorios de montaje para los cilindros de Airtec.</i>	70
Figura 48	<i>Dimensiones de los cilindros de simple y doble efecto de Airtec.</i>	71
Figura 49	<i>Presión de Trabajo en función de la Temperatura.</i>	74
Figura 50	<i>Conectores neumáticos.</i>	75
Figura 51	<i>Diagrama del sistema neumático.</i>	76

Figura 52	<i>Conector jack banana hembra (izquierda) y adaptador para riel din (derecha).</i>	77
Figura 53	<i>Cajas de paso para los módulos y caja series ES Pizzato (derecha).</i>	78
Figura 54	<i>Módulo Fuente de Control.</i>	78
Figura 55	<i>Módulo Elementos de Mando.</i>	79
Figura 56	<i>Accesorio de montaje para sensores industriales de 15 y 18 mm.</i>	81
Figura 57	<i>Módulo Sensores Industriales.</i>	81
Figura 58	<i>Módulo Entradas/Salidas PLC.</i>	82
Figura 59	<i>Características del relé C10-A10.</i>	83
Figura 60	<i>Módulo Relés y contactos</i>	84
Figura 61	<i>Módulo Elementos de Señalización.</i>	85
Figura 62	<i>Implementación de la estructura.</i>	89
Figura 63	<i>Patrón del panel agujereado con zinc de 1.2 mm.</i>	89
Figura 64	<i>Implementación del tablero de control.</i>	90
Figura 65	<i>Tablero de Control implementado</i>	90
Figura 66	<i>Implementación de los sistemas modulares</i>	91
Figura 67	<i>Implementación de los adaptadores de riel din.</i>	91
Figura 68	<i>Sistemas modulares implementados.</i>	92
Figura 69	<i>Implementación de los componentes electroneumáticos.</i>	92
Figura 70	<i>Panel agujereado tipo ventana para componentes electroneumáticos</i>	93
Figura 71	<i>Tablero electroneumático implementado.</i>	93
Figura 72	<i>Control ON-OFF clásico</i>	94
Figura 73	<i>PLC en los procesos</i>	95
Figura 74	<i>Problemas del PLC en el proceso</i>	95
Figura 75	<i>Función AND.</i>	96
Figura 76	<i>Función OR.</i>	96
Figura 77	<i>Iteraciones y ciclo scan</i>	96

Figura 78	<i>Símbolos gráficos según la norma IEC.....</i>	<i>97</i>
Figura 79	<i>Grafcet general.....</i>	<i>98</i>
Figura 80	<i>Reglas para el uso del Grafcet</i>	<i>100</i>
Figura 81	<i>Implementación del Grafcet en Ladder.....</i>	<i>101</i>
Figura 82	<i>Paso 1 para la programación del PLC.....</i>	<i>102</i>
Figura 83	<i>Paso 2 para la programación del PLC.....</i>	<i>103</i>
Figura 84	<i>Paso 3 para la programación del PLC.....</i>	<i>103</i>
Figura 85	<i>Paso 4 para la programación del PLC.....</i>	<i>104</i>
Figura 86	<i>Paso 5 para la programación del PLC.....</i>	<i>104</i>
Figura 87	<i>Paso 6 para la programación del PLC.....</i>	<i>105</i>
Figura 88	<i>Paso 7 para la programación del PLC.....</i>	<i>105</i>
Figura 89	<i>Paso 8 para la programación del PLC.....</i>	<i>106</i>
Figura 90	<i>Paso 9 para la programación del PLC.....</i>	<i>106</i>
Figura 91	<i>Paso 10 para la programación del PLC.....</i>	<i>107</i>
Figura 92	<i>Paso 11 para la programación del PLC.....</i>	<i>107</i>
Figura 93	<i>Paso 12 para la programación del PLC.....</i>	<i>108</i>
Figura 94	<i>Paso 13 para la programación del PLC.....</i>	<i>108</i>
Figura 95	<i>Diagrama de Espacio-Fase, Práctica 1</i>	<i>111</i>
Figura 96	<i>Diagrama de Espacio-Fase, Práctica 2</i>	<i>113</i>
Figura 97	<i>Pruebas de funcionamiento, Práctica 3.....</i>	<i>115</i>
Figura 98	<i>Control de equipos y pruebas de conductividad.</i>	<i>116</i>
Figura 99	<i>Pruebas de conexión del sistema eléctrico.....</i>	<i>117</i>
Figura 100	<i>Pruebas de conexión del sistema neumático.....</i>	<i>117</i>
Figura 101	<i>Conexión ethernet del PLC con la PC</i>	<i>118</i>
Figura 102	<i>Reconocimiento del tablero electroneumático y sus elementos.....</i>	<i>119</i>
Figura 103	<i>Ladder general para la prueba de funcionamiento de la Práctica N°0.....</i>	<i>119</i>

Figura 104	<i>Resultado de las pruebas de funcionamiento de la Práctica N°0.</i>	120
Figura 105	<i>Diagrama electroneumático de la Práctica N°0.</i>	121
Figura 106	<i>Declaración de estados, variables tipo bool de memoria.</i>	122
Figura 107	<i>Diagrama eléctrico de control y de fuerza para la Práctica N°1</i>	123
Figura 108	<i>Diagrama neumático para la Práctica N°1</i>	123
Figura 109	<i>Grafcet y Ladder de solución para la Práctica N°1.</i>	124
Figura 110	<i>Estado 0 de la Práctica N°1.</i>	124
Figura 111	<i>Estado 1 de la Práctica N°1.</i>	125
Figura 112	<i>Estado 2 de la Práctica N°1.</i>	125
Figura 113	<i>Diagrama eléctrico de control y de fuerza para la Práctica N°2</i>	126
Figura 114	<i>Diagrama neumático para la Práctica N°2</i>	127
Figura 115	<i>Grafcet de solución para la Práctica N°2</i>	127
Figura 116	<i>Estado 0 de la Práctica N°2.</i>	128
Figura 117	<i>Estado 1 de la Práctica N°2.</i>	128
Figura 118	<i>Estado 2 de la Práctica N°2.</i>	129
Figura 119	<i>Estado 3 de la Práctica N°2.</i>	129
Figura 120	<i>Retorno al Estado 1 de la Práctica N°2.</i>	130
Figura 121	<i>Diagrama eléctrico de control y de fuerza para la Práctica N°3</i>	131
Figura 122	<i>Diagrama neumático para la Práctica N°3</i>	131
Figura 123	<i>Análisis de resultados de las prácticas</i>	132

Resumen

La empresa landcecontrol S.A. solicita exhibir a sus clientes el amplio stock de equipos de instrumentación y control que disponen en su empresa para el diseño, provisión y construcción de procesos eléctricos e industriales, en especial los de la marca Airtec, la cual ofrece una amplia gama de elementos neumáticos. La implementación de un tablero electroneumático presentará las ventajas y principales características de la automatización mediante actuadores neumáticos, enseñando el funcionamiento y la puesta en marcha de los mismos, para esto se requiere una combinación de fuentes de alimentación, sensores, elementos de mando, PLC, relés, luces piloto, entre otros. El diseño se basa en el uso de programas de simulación para el desarrollo de prácticas de laboratorio, por lo que esta implementado en tres etapas, el diseño, la implementación y las pruebas de funcionamiento. En el diseño se dimensionan los elementos que se van usar tanto para la estructura, el tablero de control, el sistema neumático y los sistemas modulares. Todo este conjunto se construye de tal forma que el tablero pueda ser montado y desmontado en cualquier parte para transportarlo y brindar capacitaciones técnicas. Por último, las pruebas de funcionamiento se realizan con lenguaje Ladder a través del entendimiento de un Grafcet, para representar procesos secuenciales básicos que permitan el entendimiento y desarrollo de varias aplicaciones con enfoque en el ámbito industrial nacional.

Palabras clave: instrumentación, electroneumático, PLC, Ladder, Grafcet

Abstract

The company landcecontrol S.A. requests to exhibit to its customers the wide stock of instrumentation and control equipment available in their company for the design, supply and construction of electrical and industrial processes, especially those of the Airtec brand, which offers a wide range of pneumatic elements. The implementation of an electro-pneumatic panel will present the advantages and main features of automation through pneumatic actuators, teaching the operation and commissioning of the same, for this a combination of power supplies, sensors, control elements, PLC, relays, pilot lights, among others, is required. The design is based on the use of simulation programs for the development of laboratory practices, so it is implemented in three stages: design, implementation and operation tests. In the design, the elements to be used for the structure, the control panel, the pneumatic system and the modular systems are dimensioned. The entire assembly is built in such a way that the panel can be assembled and disassembled anywhere for transportation and technical training. Finally, functional tests are performed with Ladder language through the understanding of a Grafcet, to represent basic sequential processes that allow the understanding and development of various applications with focus on the national industrial field.

Keywords: instrumentation, electropneumatic, PLC, Ladder, Grafcet

Capítulo I

Antecedentes

La automatización en la industria ha sido una parte fundamental en el desarrollo tecnológico a lo largo de la historia, esta se remonta en la década de 1960, cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional (Salas, 2017).

La neumática por su parte es usada a nivel industrial en herramientas como martillos o perforadoras en el siglo XIX y se transforma en un medio de automatización a mediados del siglo XX (z), en la actualidad se ocupa en maquinaria, junto con la automatización para procesos de producción en industrias de alimentos, embalaje, limpieza e higiene personal, farmacéuticas, entre otras, donde se requiere un control exhaustivo para la producción de los diferentes productos que se encuentran en el mercado.

En el Ecuador y en el mundo, las empresas tienen un objetivo particular y es el de hacer la mayor producción posible en el menor tiempo disponible, de tal forma que requieren soluciones eficientes cuando alguna de sus máquinas falla, por lo que es necesario que dispongan de varias alternativas de reemplazo para los sensores o actuadores que requieren de mantenimiento, del mismo modo la industria nacional está condicionada por limitaciones tecnológicas y grandes tiempos de espera para importar uno u otro elemento que reemplace el defectuoso, o simplemente que las personas responsables de dicho mantenimiento no conocen las alternativas que existen en el mercado local o no confían en otras marcas a las que ya están acostumbrados.

La empresa landcecontrol S.A. proporciona una gran cantidad de equipos en el área de instrumentación, control industrial y eléctrico, como son sensores, controladores,

instrumentación, relés, fuentes, PLCs, HMI, RTUs, accesorios de conexión, equipo variado para control eléctrico y neumático (landcencontrol, 2019), entre otros que solucionan algunas de las necesidades de automatización industrial en el país. Entre sus actividades busca exponer sus productos electroneumáticos como una opción eficiente para resolver los problemas tratados, la construcción de tableros demostrativos facilitan la inclusión de estos elementos para que puedan ser integrados en varios ejemplos demostrativos para comprobar su funcionamiento.

Justificación e importancia

Este proyecto plantea la implementación de un tablero electroneumático modular con PLC como elemento de control, integrando los dispositivos de mando o maniobra, dispositivos de protección y dispositivos de señalización necesarios para brindar asesorías técnicas en la empresa landcecontrol S.A. de tal manera que se pueda reconocer fácilmente los elementos y comprobar el funcionamiento de los mismos, considerando varios aspectos de seguridad y ergonomía.

La Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control para este proyecto se centra en el diseño y selección de los elementos necesarios para la realización de las demostraciones prácticas, en la representación de procesos que ayuden a promover la marca Airtec y resalten la instrumentación y sensores que dispone la empresa, en el dimensionamiento de los elementos como el de la fuente de aire comprimido a partir de dicho diseño, en la programación del PLC y en la generación de la documentación técnica del sistema.

El beneficio que involucra el desarrollo de este proyecto es el factor económico, se justifica el diseño e implementación de un tablero electroneumático modular capaz de brindar asesorías técnicas al personal de empresas que se interesen en la manipulación adecuada y el funcionamiento eficiente de los equipos que desean reemplazar, verificando por ellos mismos la calidad de las marcas como Airtec, Vipa, Microdetectors, Carlo Gavazzi, Fotek entre otras disponibles en la empresa landcecontrol S.A.

La necesidad principal surge de aumentar las ventas de la marca Airtec a nivel nacional, Airtec por su parte es una marca alemana que desarrolla tecnología de control neumático para las más altas exigencias en la industria, landcencontrol S.A. posee esta marca en el Ecuador por lo que requiere potenciar sus ventas para mantenerse como socio principal en el país, esto se pretende lograr con la capacitación, mediante el desarrollo de guías de prácticas, empezando por un nivel básico y conforme se vaya desarrollando el trabajo ir aumentando hasta un nivel intermedio según los requerimientos de cada cliente.

Adicionalmente, se pretende representar situaciones reales a partir de elementos de uso industrial involucrando criterios de selección y de diseño de sistemas de automatización, por otro lado, el PLC permite la proyección del módulo a la implementación futura de lazos de control de presión y caudal que permitan la visualización de sistemas neumáticos proporcionales, pero cabe recalcar que esto sería posible a futuro.

Para este proyecto tal y como se lo hacía en los laboratorios de ingeniería se requiere de una lista de materiales, el diagrama eléctrico, el diagrama neumático, el diagrama electroneumático, el BOM, el PIPING, los accesorios, la descripción del funcionamiento de cada práctica y el diagrama espacio-fase correspondientes, las cuales son buenas prácticas en el desarrollo de trabajos de ingeniería.

Alcance del proyecto

La construcción del tablero electroneumático deberá fundamentarse en la base teórica de Automatización y Control por lo que se contará con dos fases importantes para su desarrollo.

En la primera fase denominada de diseño se buscará información tanto técnica como científica actual para realizar un estado del arte que complemente el desarrollo del proyecto, se pretende realizar el estudio del diseño de un tablero electroneumático vertical para brindar asesorías técnicas en un panel de trabajo como el que se muestra en la Figura 1, con

ensamblaje y montaje de perfilera de aluminio, además del diseño de los diferentes módulos de soporte y sujeción de los dispositivos eléctricos (fuente, PLC, mando, señalización) y neumáticos (fuente, unidad de mantenimiento, actuadores, válvulas) que se van a utilizar, consiguiendo representar el accionamiento de los actuadores eléctricos (motores, contactores, relés) de un proceso en particular mediante el encendido o apagado de luces piloto, y del mismo modo montar los cilindros junto con sensores de posición digitales al final de carrera de cada vástago como lo que se presenta en los simuladores para realizar un control ON-OFF de las electroválvulas y los actuadores mediante la programación del controlador lógico programable.

Figura 1

Panel de trabajo.



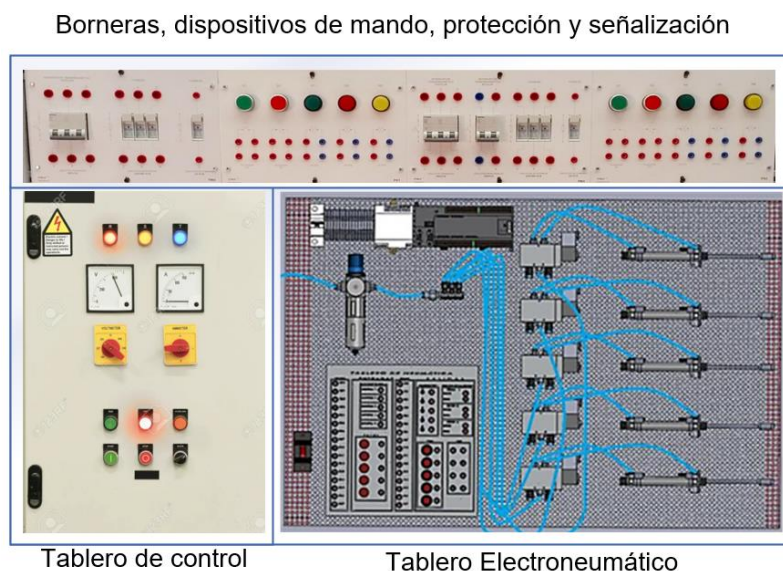
Nota. Adaptado de *Tablero de trabajo*, (p. 2), por Mosquera, s.f., Módulo didáctico de electroneumática, UTN.

Se plantea utilizar una metodología similar a la que se ha estudiado en el desarrollo de diagramas esquemáticos, donde se tiene por separado los diagramas de control, diagramas de fuerza y diagramas electroneumáticos, pero con un entorno parecido al de simuladores como Fluidsim, esto permitirá asimilar de una mejor manera la teoría con la práctica, en la Figura 2 se muestra un ejemplo de cómo se organizaría el tablero y sus módulos, tendrá unas dimensiones aproximadas de 2 [m] de ancho y 1 [m] de alto, aparte se dimensionará el tablero de control y el

tablero de borneras, dispositivos de mando, protección y señalización para una mejor organización o manejo de las señales eléctricas y neumáticas requeridas en la representación de situaciones reales en la industria como por ejemplo el etiquetado y tapado de recipientes, pudiendo mover los cilindros y la posición de los sensores de tal forma que representen dicho proceso de la mejor manera posible, del mismo modo usando las luces piloto y los relés simbolizando la activación de actuadores eléctricos.

Figura 2

Tablero didáctico de electroneumática.



Nota. En el grafico se tiene un tablero didáctico de electroneumática. Adaptado de Diseño y Construcción de un Tablero Didáctico de Neumática para la Capacitación en Automatización Industrial (2015).

La segunda fase o de implementación se empezará luego de dimensionar los elementos eléctricos y electroneumáticos necesarios y disponibles en la empresa que se encuentran en el *Apéndice A*, además se van a realizar varias pruebas de funcionamiento luego de haber montado el tablero, se verificarán los modos de marcha manual y automático teniendo la capacidad de realizar prácticas de nivel básico e intermedio de control y automatización sobre actuadores neumáticos, la finalidad por la cual se diseñará el tablero de control es tener

disponibles en bornes de conexión todas las señales de activación de los actuadores, poder conectar varios tipos de sensores y hasta montar o desmontar varios módulos para representar situaciones reales a partir de los elementos de uso industrial y verificar a través de la práctica el funcionamiento normal de los dispositivos implementados.

En resumen, el alcance se limita al diseño e implementación del tablero electroneumático para brindar asesorías técnicas mediante el desarrollo de prácticas de nivel básico e intermedio en un periodo de 6 meses, este tablero permitirá diseñar, seleccionar, dimensionar los elementos necesarios, representar ejemplos prácticos de la electroneumática en la industria, además de montar o desmontar ciertos módulos para la capacitación sobre el funcionamiento normal de los dispositivos que los clientes deseen adquirir.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un tablero electroneumático con PLC como elemento de control que facilite la capacitación técnica mediante un tablero demostrativo para la empresa landcecontrol S.A.

Objetivos específicos

- Diseñar un tablero electroneumático modular considerando aspectos ergonómicos y de seguridad industrial para la representación de procesos industriales.
- Facilitar la manipulación de elementos eléctricos, neumáticos y electroneumáticos para el desarrollo de prácticas de nivel básico e intermedio.
- Proveer un sistema de capacitación que permita brindar soluciones de automatización y control enfocadas a la electroneumática en la industria.

Capítulo II

Estado del arte

Durante varios años en la enseñanza técnica y de ingeniería se han utilizado bancos de pruebas o tableros didácticos con los módulos necesarios para el seguimiento de las prácticas que ayudan a comprobar lo que se está aprendiendo con la teoría, tal como lo describen (Durrani, Riaz, Ahmad, Durrani, & Ali, 2018) estos prototipos son útiles para que los profesionales de ingeniería adquieran experiencia práctica en equipos industriales. En promedio, los estudiantes obtienen un 53% de las calificaciones cuando usan los dispositivos electroneumáticos conectados manualmente en comparación con el 93% que emplean un entrenador electroneumático. Los datos expuestos anteriormente indican una mejora significativa de la enseñanza y el aprendizaje en general de los elementos que se pueden encontrar en una planta industrial.

En el ámbito industrial es muy importante conocer el principio de funcionamiento y las características básicas de los elementos eléctricos, electrónicos, neumáticos e hidráulicos que se están empleando en un proceso, y más aún cuando se trata de automatización y control. La enseñanza y el aprendizaje se aprenden mejor centrándose en simulaciones y experiencias prácticas con dispositivos reales, equipos dedicados o en un sistema automatizado, por lo que (Burhan, Othman, & Azman, 2016) han desarrollado un entrenador electroneumático para aplicaciones educativas involucrando un diseño de ingeniería explicado mediante diagramas de flujo y diagramas de bloques.

Por su parte (Francisco, Mendes, & Calado, 2019) han desarrollado un prototipo de laboratorio electroneumático industrial típico a escala para enseñar conceptos de la Industria 4.0 mediante un controlador lógico programable, el cual admite varios lenguajes de programación como el texto estructurado, el diagrama de bloques de funciones, el diagrama Ladder o de escalera, la lista de instrucciones y el gráfico de funciones secuenciales, sin

embargo, se empleó el lenguaje Ladder debido a su fácil comprensión, su similitud con la lógica de relés o circuitos eléctricos y su uso universal, logrando una respuesta positiva por parte del personal de ingeniería que lo maneja.

De la misma manera (Rivera & Bravo, 2015) diseñaron y construyeron un tablero didáctico de electroneumática con los elementos básicos de este tipo de sistemas como electroválvulas, cilindros neumáticos y sensores de posición. El equipo fue diseñado de forma tal que es posible controlar la operación del mismo mediante el empleo de diversos sistemas de control. Lo anterior permite que el sistema sirva de apoyo didáctico en temas como: control discreto, control secuencial, controladores lógicos programables, control por computadora, instrumentación virtual, electrónica de potencia y sistemas de interface humano máquina, entre otros.

En definitiva, la automatización electroneumática es el medio por el cual los procesos industriales se simplifican y se hacen eficientes en la actualidad, transformando tareas normalmente ejecutadas por operarios en aquellas realizadas por dispositivos electromecánicos, quienes intervienen únicamente para monitorear el estado del proceso y operar estos mecanismos a distancia. Disponer de un banco de trabajo electroneumático junto con un software de simulación de procesos es fundamental para la enseñanza de la automatización industrial. Se puede controlar un sistema secuencial, en este caso, un circuito electroneumático controlado por un PLC. De acuerdo con Vicencio y Villa (2016) para ahorrar varias salidas del PLC, se recomienda utilizar válvulas de solenoide monoestable. (Vicencio & Villa, 2016)

Automatización

En todo el entorno industrial existe una serie de máquinas, simples o sofisticadas, que, tras un proceso y secuencia de transformación, consiguen convertir la materia prima en productos finales, de manera que, para mejorar dichos artículos, se han hecho esfuerzos para

automatizar los entornos industriales. Inicialmente, estas actividades eran plenamente manuales, pero con el tiempo, los ojos, las manos y el cerebro de los empleados han sido reemplazados por elementos eléctricos y electrónicos, como sensores, actuadores y controladores. El funcionamiento automático se basa en los tres componentes mencionados con anterioridad y el proceso se establece por medio de sensores, de los cuales se obtienen las señales y medidas necesarias tomadas del tratamiento, luego esta información es analizada por un controlador y, finalmente, se realiza una acción mediante un actuador. Como resultado, el desarrollo de múltiples tecnologías ha permitido mejorar procesos, descentralizar industrias y sincronizar múltiples procesos industriales. (Zapata, Topón, & Tipán, 2021)

Por lo tanto, la automatización es el conjunto de métodos asociados para el control y operación de la producción en la industria. Para que un sistema funcione de forma independiente, debe usar diferentes tecnologías para monitorear y controlar máquinas y equipos sin intervención humana. De este modo, la automatización puede reducir y optimizar el proceso productivo actuando directamente sobre la máquina mediante elementos de mando y control.

En los procesos industriales se requiere un control exhaustivo para la producción de los diferentes productos se encuentran en el mercado. Existen varios métodos y comprenden una enorme cantidad de productos como los derivados del petróleo, los alimenticios, los de limpieza e higiene personal, los farmacéuticos, entre otros como la manufactura de la porcelana, el papel, la tela o la fundición, en todo este ámbito es importante el control de variables físicas como:

- Temperatura
- Presión
- Nivel
- Velocidad

- Peso
- Entre otras como el PH, la humedad y la viscosidad.

La instrumentación y sensores ayudan en el control y mantenimiento de estas variables físicas mediante un acondicionamiento para que puedan ser interpretadas por los controladores y el mismo personal de mantenimiento, además es importante conocer características clave como:

- **Rango:** es el intervalo de valores de una variable que está dentro del límite más alto y el límite más bajo que puede interpretar un instrumento.
- **Resolución:** es la mínima diferencia del valor que un instrumento puede diferenciar.
- **Alcance:** también llamado span se refiere a la diferencia entre el límite máximo y el límite mínimo de la variable de entrada de un instrumento.
- **Error:** es la diferencia entre el valor medido por el instrumento y el valor teórico o ideal.
- **Incertidumbre:** desviación del rango de valores con respecto al verdadero valor de la variable medida, puede ser causada por condiciones ambientales o fallas en los instrumentos.
- **Exactitud:** cualidad de los instrumentos para dar valores cercanos al valor real de la variable medida.
- **Precisión:** cualidad de los instrumentos para dar valores repetitivos o muy próximos en su medición bajo diferentes condiciones.
- **Zona muerta:** también llamada dead-band es el rango de valores que no producen una respuesta a la salida del instrumento.
- **Histéresis:** es la diferencia que se tiene en la medida y depende del sentido (creciente o decreciente) en que se haya modificado el valor de entrada del instrumento.
- **Sensibilidad:** característica de los instrumentos para notar cambios mínimos en su estado de funcionamiento.

También se tienen características dinámicas como:

- **Velocidad de respuesta:** es la capacidad del sensor para responder a los cambios de la variable física detectada en un tiempo imperceptible.
- **Respuesta en frecuencia:** es la velocidad que tiene el sensor para responder a la cantidad de cambios por segundo.

Entre otros conceptos importantes:

- **El transmisor**

También es importante saber que algunos sensores requieren de transmisores para poder enviar sus señales de control, estos son instrumentos que capturan la magnitud del proceso a través del sensor o elemento primario y la envían en forma de señal útil por un medio hasta un controlador o indicador de la variable trabajada, estas señales pueden ser de tipo:

- Neumáticas: trabajan en los intervalos de 3 a 15 PSI
- Electrónicas: trabajan en los intervalos de 4-20 mA o 0-10 VDC
- Digitales: serie de pulsos o bits, 0 (apagado) y 1 (encendido)
- Hidráulicas: para presiones elevadas mayores a 15 PSI
- De radio: para transmisión a gran distancia o lugares hostiles, en Hz

Beneficios de la automatización

Cada vez son más las empresas que apuestan por mejorar los procesos mediante el uso de máquinas automatizadas para simplificar las tareas repetitivas, trayendo consigo ciertos beneficios como:

- Optimizar la productividad de la empresa, reducir los costos de producción y mejorar la calidad.
- Desarrollar un ambiente favorable de trabajo para los funcionarios, eliminar lesiones por el levantamiento de objetos pesados o la realización de tareas repetitivas.

- Optimizar el stock de los productos, facilitando la entrega de cantidades necesarias en el momento adecuado y con los mejores estándares de calidad.
- Operación simplificada para que los operarios no necesiten amplios conocimientos al momento de manejar el proceso productivo.

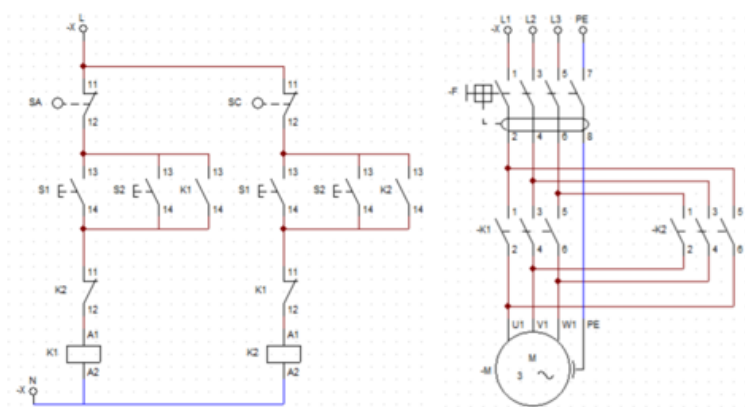
Opciones de la automatización

Se debe tener en cuenta que para automatizar existen varias tecnologías que permiten mantener un control y monitoreo de las diferentes máquinas o dispositivos industriales, se encuentran desde lo más básico del control que es la automatización con relés, hasta lo más sofisticado que es la automatización con PC, a continuación, se enlista cada una de ellas y se muestra una imagen referencial con los diagramas correspondientes.

Automatización con relés: también conocida como lógica cableada o lógica de contactos ya que se usa circuito, contactos y relés eléctricos conectados de tal forma que cumplen una tarea en específico. En la Figura 3, se muestra un ejemplo de este tipo de automatización.

Figura 3

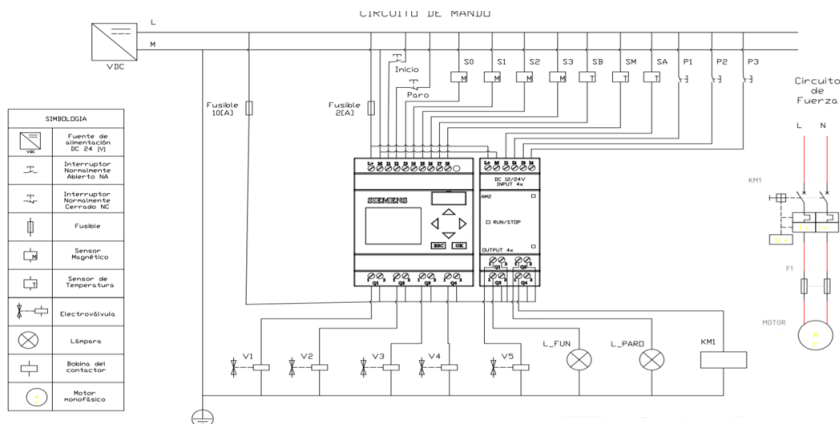
Circuito de mando y de fuerza para el control de una puerta mecánica.



- Automatización con PLC's: también conocida como lógica programada ya que sustituye los elementos de mando por un controlador lógico programable mediante el cual se tiene varias opciones de programación para los sistemas de control que se encuentran en la industria. En la Figura 4 se indica un ejemplo de este tipo de automatización.

Figura 4

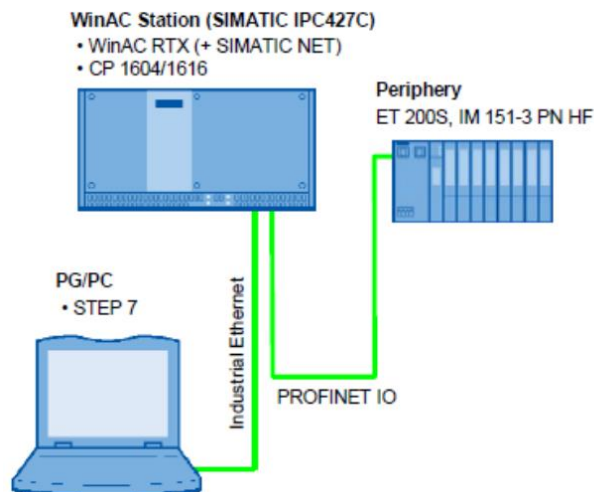
Circuito de mando y de fuerza para una máquina de producción automática.



- Automatización con PC: Los controladores de software instalados en equipos industriales se utilizan para integrar programación avanzada u otras funciones de PC con el control de automatización del sistema, ofreciendo nuevas posibilidades de aplicación en un entorno estandarizado y facilitando la integración de tales soluciones basadas en PC en entornos ofimáticos.

Figura 5

Arquitectura de una automatización con PC.



Nota. Adaptado de *PLC en los procesos*, (p. 28), por Sotomayor, 2020, *Automatización en la Industria*, Departamento de Eléctrica y Electrónica, ESPE.

Control de procesos

Es importante reconocer ciertos términos usados en el entorno industrial como los que se presentan a continuación, ya que se los tendrá presentes a lo largo de este documento.

- Mando: Acción realizada sobre el sistema de control para modificar el estado.
- Control: Un método para administrar el estado de un dispositivo, máquina o proceso.
- Contacto: Elemento que permite abrir o cerrar un circuito.
- Actuadores: Elementos que actúan directamente sobre el proceso.
- Sensores: Elementos que permiten la medida de diferentes señales, por ejemplo, presión, temperatura, nivel, presencia.
- Transmisor: Captura variables de proceso a través de sensores y transmite señales estandarizadas de forma remota.
- Variable controlada (CV): variable que se debe mantener o controlar dentro de un valor deseado.
- Set Point (SP): punto de control o valor que se desea tenga la variable controlada.
- Variable manipulada (MV): variable que se utiliza para mantener a la variable controlada en el punto de control.
- Perturbación: cualquier variable que ocasiona que la variable controlada se desvíe del punto de control.

En un control de procesos siempre se tienen señales de entrada, señales de salida y perturbaciones, de tal forma que pueden existir de dos tipos, como los que se presentan en las Figuras 6 y 7 respectivamente.

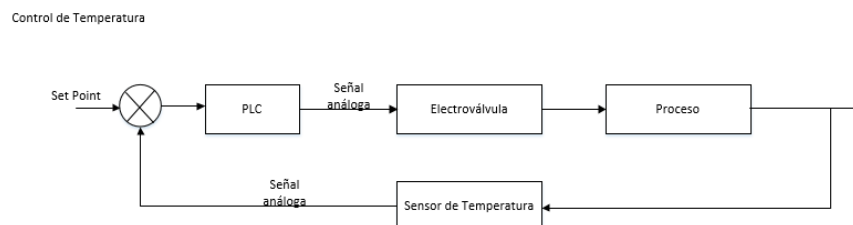
Figura 6

Control de procesos en lazo abierto.



Figura 7

Control de procesos en lazo cerrado.



Electroneumática

La tecnología neumática aplica elementos básicos de la naturaleza como el aire, que es un elemento económico que se puede obtener y comprimir fácilmente para mejorar la capacidad de trabajar en ambientes explosivos, húmedos, estrictamente higiénicos, de fácil almacenamiento, y especialmente se caracteriza por ser una energía renovable.

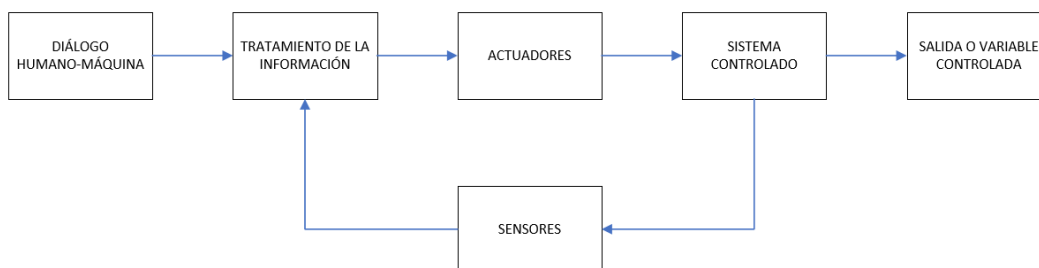
La electrónica utiliza semiconductores como base de operaciones, dispuestos de cierta manera para formar unidades electrónicas analógicas y digitales, dando como resultado microprocesadores, incluidos los PLC, a través de los cuales se implementa la lógica de control mediante la interconexión eléctrica de los diferentes dispositivos involucrados.

La tecnología electroneumática es una técnica aplicada en el campo de la automatización y el control, en donde la neumática y la electrónica juegan un papel importante.

La automatización mediante tecnología electroneumática ofrece otras alternativas viables y más posibilidades para el control de máquinas o sistemas industriales cuando la tecnología neumática convencional llega a sus límites de aplicación y requiere procedimientos complejos y económicos.

Figura 8

Estructura general de un automatismo electroneumático en lazo cerrado.



En la automatización electroneumática, hay módulos como se muestra en la Figura 8, que siguen la estructura del control de proceso de circuito cerrado y consisten en componentes electrónicos y neumáticos de la siguiente manera:

- **Diálogo Humano-Máquina:** Encuentra elementos de acción como botones, selectores, etc. que proporcionen señales o comandos para iniciar un proceso con la consigna deseada.
- **Procesamiento de la información:** A este bloque llegan referencias provenientes del diálogo humano-máquina y sensores, por lo que aquí las acciones individuales destinadas a controlar el sistema están determinadas por la lógica de programación.
- **Actuadores:** en este bloque se encuentran los dispositivos con la capacidad de generar una fuerza que ejerce un cambio de posición, velocidad o estado de algún tipo sobre un elemento mecánico a partir de la transformación de energía con la finalidad de generar un efecto sobre el proceso automatizado.
- **Sensores:** Este bloque se encarga de adquirir los datos que ingresan al sistema de automatización como información sobre el estado del sistema controlado. Dicho reporte puede provenir de varios sensores, contactos de relés, etc.
- **Sistema Controlado:** El módulo consta de cilindros que activan sus respectivas cargas mecánicas, controlados por electroválvulas que reciben señales de las unidades que

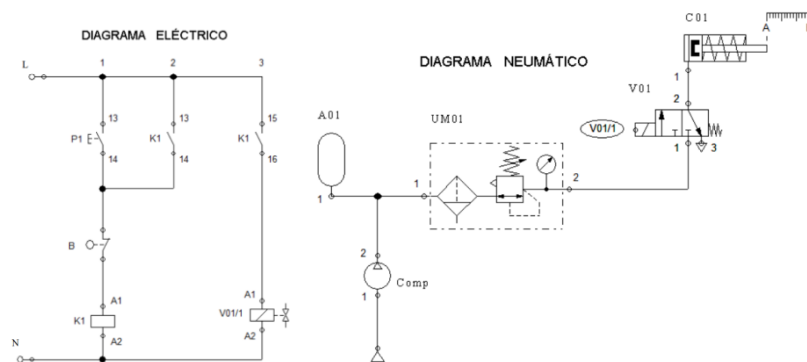
procesan la información. Los cilindros deben ajustarse a los desplazamientos programados en una secuencia preestablecida de movimientos o etapas.

El control eléctrico de los sistemas de fluidos de grado industrial, ya sean neumáticos o hidráulicos, facilita su ejecución, precisamente por los diferentes componentes eléctricos y electrónicos que intervienen. Su uso proporciona un mejor control durante la producción, así como una mejor respuesta ante posibles fallas. Desde una perspectiva de gestión de la producción, el empleo de esta tecnología permite que los sistemas de fluidos entren en la pirámide de automatización.

Por lo tanto, además de automatizar mejor el proceso, es importante implementar sistemas electrónicos para sistemas neumáticos e hidráulicos en términos de tiempo de respuesta (los sistemas eléctricos son más rápidos que los sistemas mecánicos).

Figura 9

Diagrama electroneumático básico.



Elementos de control industrial

Los elementos que se usan en el control industrial son varios, van desde los elementos de mando y control hasta los elementos de protección, señalización y seguridad, estos deben cumplir con ciertas normas y estándares establecidos en la ISA, ISO, IEC, NEMA, IEEE, API, entre otras, para poder usarlos en el ámbito industrial.

- Los elementos de mando y control son ejecutores, que pueden gestionar la instalación a su antojo sin cambiar las conexiones eléctricas. Son los que permiten el paso de corriente o interrumpen el circuito cuando es necesario. Pueden ser de dos tipos:
 - Manuales: requieren que el operador los active.
 - Automáticos: diseñados para abrir o cerrar un circuito en base a un valor obtenido en alguna magnitud física.

Figura 10

Elementos de maniobra



Nota. a) contactor, b) PLC, c) variador de frecuencia y d) pulsadores.

- Los elementos de protección son dispositivos capaces de detectar una situación anómala definida (sobrecarga, cortocircuito, corriente de defecto a tierra, etc.) e interrumpir la línea que alimenta la irregularidad y ordenar su interrupción a través de los elementos de maniobra acoplados a ella: fusibles, interruptores termomagnéticos, relés, interruptores, para evitar una mala puesta a tierra.

Figura 11

Elementos de protección.



Nota. a) disyuntor termomagnético, b) relé, c) disyuntor diferencial y d) guardamotor.

Elementos de señalización de seguridad y salud en el trabajo son aquellos elementos de señalización asociados a un determinado objeto, actividad o situación, señalados mediante color, señal luminosa, señal sonora y comunicación verbal o visual.

Figura 12

Elementos de señalización.



Nota. a) indicadores luminosos, b) indicadores digitales y c) señales visuales.

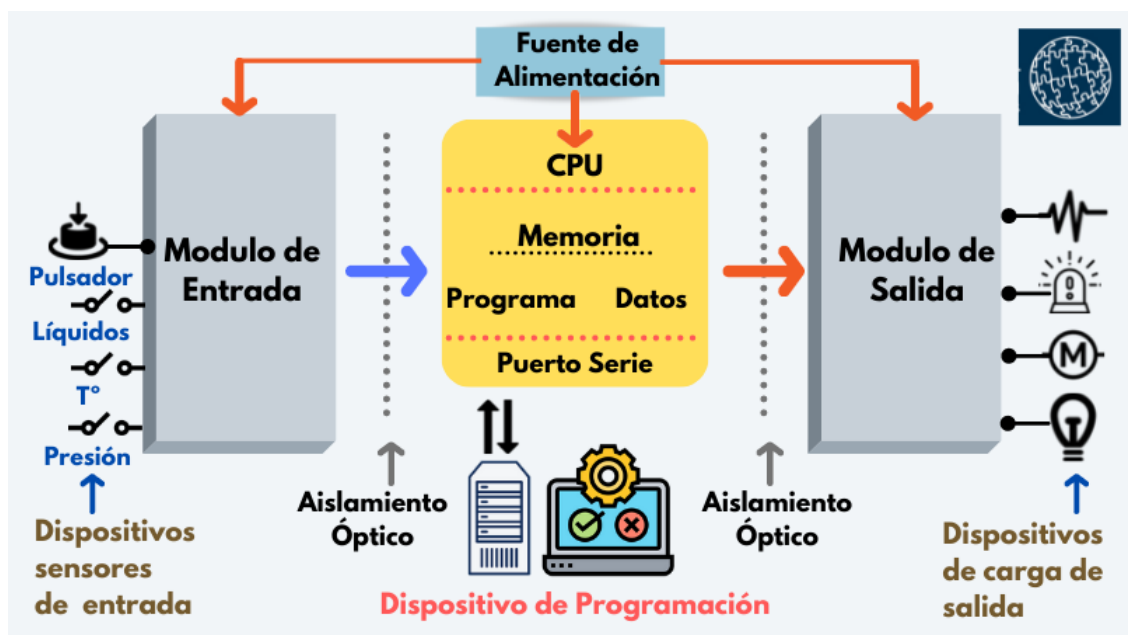
Controlador lógico programable

Los autómatas programables son dispositivos electrónicos utilizados en entornos industriales para controlar, monitorear y registrar procesos industriales, están en línea con los desarrollos tecnológicos, y pueden programarse en lenguajes no informáticos.

Su estructura interna es muy similar a una computadora, es decir, existe un cerebro central basado en un microprocesador o microcontrolador, una memoria de datos, una memoria de programa, puertos de entrada, puertos de salida y puertos de comunicación, todo lo cual puede estar dentro de un bloque que conforma la CPU (Unidad Central de Procesamiento), pero en algunos casos se pueden agregar salidas, entradas y otras funciones externamente a través de los llamados módulos de expansión, los cuales pueden ser de diferentes tipos como: digitales, analógicos y de comunicación, precisamente como los que se presentan en la Figura 13. (Zapata, Topón, & Tipán, 2021)

Figura 13

Diagrama de la estructura externa de un PLC.



Nota. El gráfico muestra el diagrama de la estructura externa de un PLC. Adaptado de *Diagrama de la estructura de un PLC*, por Sicma21, 2021, Sicma21 Soluciones Industriales para la Industria 4.0 (<https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/>)

Todos los sistemas PLC tienen un rack o chasis el cual actúa como su columna vertebral, dependiendo de las necesidades de cada empresa se puede encontrar en el mercado PLC's de diferentes formas y tamaños, su clasificación se da por su estructura, ya que existen PLC's compactos, modulares y semimodulares, y por sus características internas ya que así se tienen PLC's de gama alta, media y baja. Al ser un dispositivo de propósito general, se debe considerar que no todas las aplicaciones en la industria son las mismas, por lo que se deben definir ciertas consideraciones, como el número de entradas y salidas necesarias, la capacidad de memoria de datos o de programa, el tamaño de los procesos a manejar y la capacidad de comunicación con otros dispositivos, al momento de dimensionar este dispositivo.

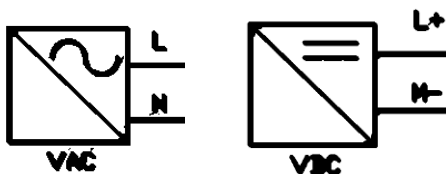
Estructura externa de un PLC

Al ser un similar a una computadora, cuenta con una arquitectura de la cual se deben identificar bloques como los que se describen a continuación:

- Fuente de alimentación: este módulo se utiliza para proporcionar la energía necesaria para todo el sistema PLC. Convierte la alimentación de CA disponible en alimentación de CC requerida por la CPU y los módulos de E/S. Los PLC suelen funcionar con alimentación de 24 V CC. Son pocos los PLC que utilizan fuentes de alimentación aisladas.

Figura 14

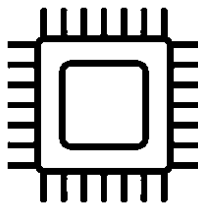
Símbolo general de una fuente de alimentación.



- Unidad central de procesamiento (CPU): el módulo de la CPU tiene una unidad central de procesamiento, memoria ROM y memoria RAM: la memoria ROM incluye el sistema operativo, los controladores y los programas de aplicación. La memoria RAM se utiliza para almacenar programas y datos. La CPU es el cerebro de un PLC con un microprocesador octogonal o hexagonal. Como CPU basada en microprocesador, reemplaza temporizadores, relés y contadores. Se pueden integrar dos tipos de procesadores en el PLC, como procesadores de un solo bit o procesadores de texto, el primero se utiliza para realizar funciones lógicas, mientras que los procesadores se manejan para procesar texto, datos numéricos, control y registro de datos. La CPU lee los datos de entrada de los sensores, los procesa y finalmente envía comandos al dispositivo de control.

Figura 15

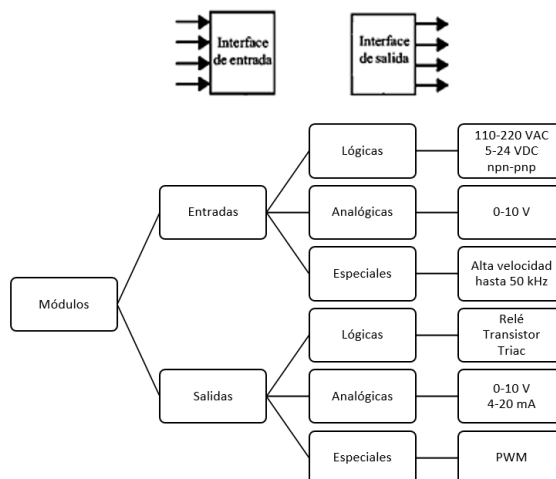
Símbolo general de un microprocesador.



- Módulo de entrada y salida: El PLC dispone de un módulo de interconexión de entradas y salidas dedicado, denominado módulo E/S. Los dispositivos de entrada pueden ser botones de inicio y parada, interruptores y similares. Las salidas pueden ser resistencias eléctricas, válvulas, relés, etc. Los módulos de E/S ayudan a conectar los dispositivos de entrada y salida a los microprocesadores. En la Figura 15 se puede observar la clasificación del tipo de entradas y salidas más comunes en las aplicaciones con PLC.

Figura 16

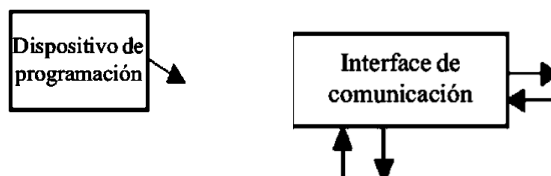
Bloques de interfaces E/S y tipos de entradas y salidas de un PLC.



- Módulo de interfaz de comunicación: para transferir información entre la CPU y las redes de comunicación industriales, estos utilizan módulos de E/S inteligentes. Los módulos de comunicación facilitan la interfaz con otros PLC y computadoras en ubicaciones remotas.

Figura 17

Bloques de interfaces de comunicación.

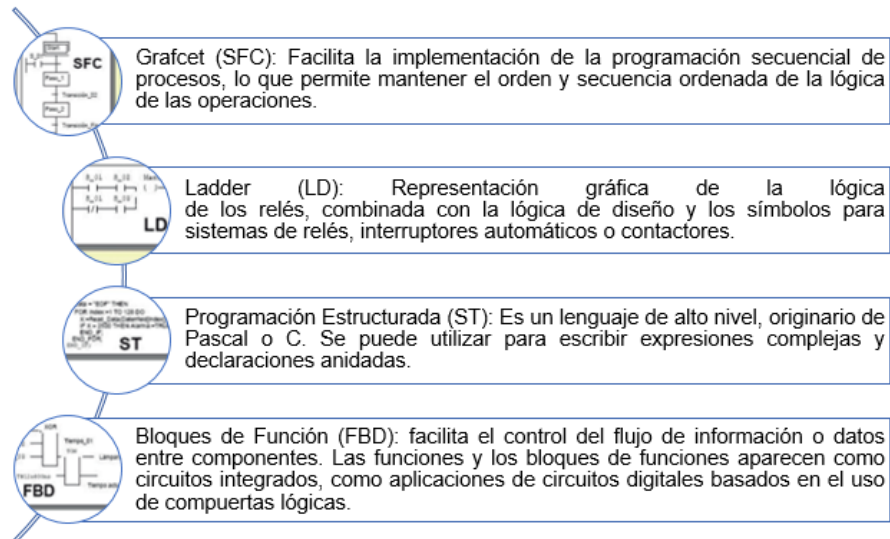


Lenguajes de programación en un PLC

Aunque los lenguajes de programación están definidos por el estándar IEC 61131-3, muchos fabricantes de PLC ofrecen entornos de programación cada vez más sofisticados para crear proyectos de automatización. Los programadores pueden elegir diferentes lenguajes de programación como se indica en la Figura 18.

Figura 18

Lenguajes de programación de un PLC.



Las características del entorno de programación de PLC actual incluyen la capacidad de crear proyectos, agregar módulos de expansión, diagnósticos de sistemas, diagnósticos de procesos, simulación de software, configurar recursos de comunicaciones,

documentar proyectos de automatización y conectarse a otros dispositivos como PLC y HMI. (Zapata, Topón, & Tipán, 2021)

Secuencia de funcionamiento de un PLC

Debido a la alta velocidad a la que opera el PLC, parece que todas estas funciones se realizan al mismo tiempo. En la práctica, las instrucciones se ejecutan secuencialmente (una a una), y finalmente, se repite el ciclo (mientras la máquina automatizada esté funcionando). Este ciclo se ilustra en la Figura 19.

Figura 19

Secuencia de funcionamiento de un PLC.



Nota. El gráfico representa la secuencia de funcionamiento de un PLC. Adaptado de *Funcionamiento del PLC* (p. 38), por Zapata, Topón, & Tipán, 2021, Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica.

La secuencia de funcionamiento del PLC se puede describir de la siguiente manera como lo definen (Zapata, Topón, & Tipán, 2021):

- I. Actualización de entradas: Consiste en leer los datos que se encuentran en las entradas del PLC y transferirlos a la memoria interna del PLC designada para tal fin.
- II. Ejecución de la lógica de funcionamiento: las instrucciones se ejecutan mediante instrucción programada donde se establece la lógica operacional determinada y se establecen nuevos valores a cargar en las salidas en base a cambios en las entradas leídas previamente.
- III. Diagnóstico del estado del PLC y comunicaciones: analiza el estado del PLC y procesa la información o las solicitudes de comando enviadas desde el puerto de comunicación al PLC. Esta fase es la base del sistema ya que permite la comunicación con el entorno de programación y la recepción de datos a través de la red o bus de campo o control.
- IV. Actualización de las salidas: Se escriben a través de registros de memoria establecidos en el estado de salida del PLC, convertidos a niveles y características de acuerdo al tipo de salida correspondiente.

Capítulo III

Descripción de los requerimientos

La empresa landcecontrol S.A. presentó la necesidad de desarrollar un tablero demostrativo modular usando los elementos eléctricos, electrónicos y neumáticos disponibles en su inventario con el objetivo de brindar cursos de capacitación y dar a conocer las marcas, la calidad y el funcionamiento de sus productos.

Para esto se realizaron varias reuniones en donde se definieron los siguientes requerimientos:

- Adquisición o construcción de una estructura metálica capaz de soportar el tablero y sus componentes, que sea fácil de transportar y permita trabajar de una manera ergonómica.
- Diseño y construcción de un tablero de control con PLC como elemento de control, con un mínimo de 8 entradas y 8 salidas digitales, comunicación ethernet, alimentación 24 [VDC] y permita programación en lenguaje Ladder.
- Diseño y construcción de un sistema con elementos neumáticos básicos como la unidad de mantenimiento (1), las electroválvulas (6) y los cilindros (4), permitiendo modificar su orientación y posición dentro de un panel, y que trabaje con una presión de 6 a 8 bar, con un compresor silencioso y portátil.
- Diseño y construcción de módulos didácticos con fuentes, sensores, actuadores, relés, entradas y salidas del PLC para conectarlos mediante cables con terminales banana-banana.
- Cableado e interconexión del tablero de control con los módulos didácticos de tal forma que se vea ordenado y sea de fácil interpretación para que no interfiera en el entendimiento y desarrollo de las prácticas.

Requisitos de diseño

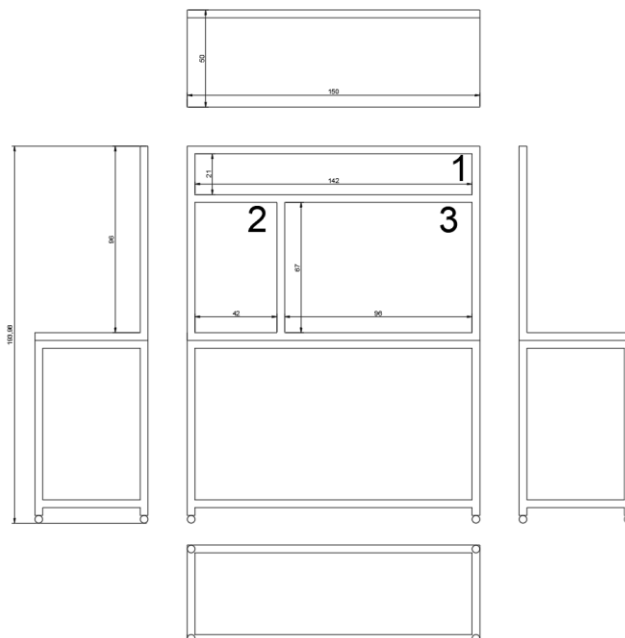
Tal como se define en la descripción de los requerimientos, el tablero electroneumático debe ser capaz de ser montado y desmontado de una manera sencilla, para esto se tiene que construir una estructura capaz de sostener y ordenar el tablero de control junto con sus módulos didácticos y permitir la interconexión eléctrica y neumática de los mismos.

La estructura debe ser metálica para que se mantenga firme y soporte un peso aproximado de 30 Kg, en la Figura 20 se muestra su diseño general, además está distribuida de tal manera que:

- En el espacio 1 se coloquen los módulos didácticos de conexiones eléctricas mediante un acople de riel din.
- En el espacio 2 se ubique el tablero de control y se distribuyan las conexiones a los módulos del espacio 1.
- En el espacio 3 se instale un panel agujereado tipo ventana donde se conecten y desconecten los elementos neumáticos.

Figura 20

Estructura para el tablero electroneumático.



Diseño del sistema eléctrico

Los componentes eléctricos son elementos de seguridad, mando, control y protección que son indispensables para que el tablero trabaje de manera óptima ya que de aquí se obtendrá la alimentación de energía eléctrica y las señales de control para el funcionamiento de las electroválvulas y los módulos didácticos que contienen fuentes, sensores y actuadores.

Por lo tanto, es importante establecer la función de los elementos que va a tener el tablero de control para la distribución de energía a los demás sistemas. A continuación, se presentará un resumen en la Tabla 1.

Tabla 1

Componentes del sistema eléctrico

Elemento	Función
PLC	Dispositivo de control que posibilita leer entradas y escribir salidas mediante programación.
Fuentes VDC	Proporcionan una señal de voltaje y corriente continuas.
Conductores eléctricos	Cable metálico que transmite electricidad.
Interruptor diferencial	Protege todos los elementos eléctricos del tablero de una sobrecarga de corriente.
Portafusibles	Preserva las entradas o la alimentación de los elementos de corriente continua.
Borneras eléctricas	Permite el paso de corriente hacia los distintos puntos de una manera ordenada.
Canaletas	Organiza el paso de los conductores eléctricos

De manera detallada se describirán las características de los elementos descritos para realizar un diseño correcto del tablero de control y su sistema eléctrico, para esto se necesita

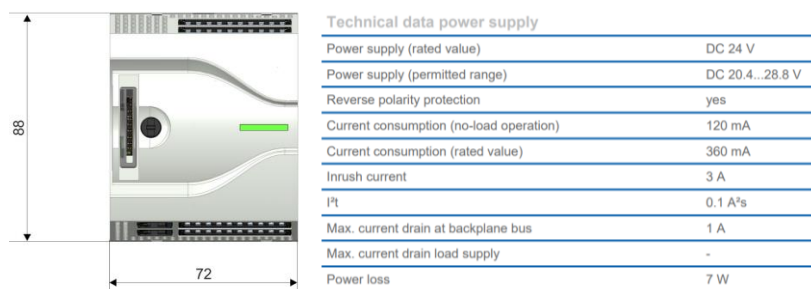
saber la capacidad de trabajo y el consumo eléctrico de cada uno de los componentes que se van a utilizar.

PLC

El elemento de control más apto para trabajar con los requerimientos planteados que está disponible en la empresa, es el VIPA M13C de la marca YASKAWA, es un micro PLC de tipo modular con montaje para riel din de 35 mm, tiene una complejidad de cableado baja, trabaja con un voltaje de 24 [VDC], la fuente, el CPU y los componentes de Entrada/Salida están integrados en una sola carcasa, la conexión y desconexión de cables conductores es a presión y este componente es desmontable, lo cual facilita el acceso y enlace del mismo. Tiene unas dimensiones de 72x71x88 mm, cuenta con 16 entradas digitales, 2 entradas analógicas y 12 salidas digitales, su comunicación es vía Ethernet o mediante una tarjeta SD de la marca y puede ser configurado mediante Speed7 Studio, Simatic Manager o Tia Portal. Su memoria de trabajo es de 128 KB y sus datos técnicos se puede observar en la Figura 21. (Yaskawa, 2021).

Figura 21

Características Fuente PLC VIPA M13C.



Nota. Adaptado de *Dimensions CPU M13C*, por Yaskawa, 2023, MicroPLC CPU M13C (https://www.yaskawa.eu.com/Global%20Assets/Downloads/Technical_Documentation/Controls/Micro/CPU/HB400E_CPU_M13-CCF0001_23-02.pdf)

La corriente total de consumo de la fuente del PLC es de 360 [mA] cuando está funcionando y de 165 [mA] cuando está en reposo, por lo que se realizarán los cálculos de potencia correspondientes:

$$P = VxI$$

$$P_{nominal} = 24x0.360 = 8.64 [W]$$

$$P_{reposito} = 24x0.165 = 3.96 [W]$$

Las entradas del PLC consumen un total de 25 [mA] cuando están en reposo, y de 3 [mA] cuando hay un uno lógico en la entrada, para considerar un cálculo correcto se considerará que todas las entradas están en ON por lo que consumiría un total de 48 [mA], en términos de potencia se tiene:

$$P = VxI$$

$$P_{nominal} = 24x0.048 = 1.15 [W]$$

$$P_{reposito} = 24x0.025 = 0.6 [W]$$

Las salidas del PLC consumen un total de 20 [mA] cuando están en reposo, y depende del tipo de carga que se conecte en las salidas por lo que se considera el consumo de la bobina del relé conectada a cada salida que es de 31 [mA] por el número de salidas, que son 12, y así, se tendría un consumo total de 372 [mA]. En términos de potencia:

$$P = VxI$$

$$P_{nominal} = 24x0.372 = 8.93 [W]$$

$$P_{reposito} = 24x0.02 = 0.48 [W]$$

Así pues, se deben considerar tanto la potencia nominal total del PLC con todas sus entradas y salidas activadas:

$$P_{nominal} = 8.64 + 1.15 + 8.93 = 18.73 [W]$$

Mientras que su potencia en reposo es de:

$$P_{reposito} = 3.96 + 0.6 + 0.48 = 5.04 [W]$$

Fuentes Vdc

En este apartado se definirá la fuente de alimentación a partir de la potencia nominal calculada que es de 18.73 [W] por lo tanto se necesita una corriente nominal de 0.78 [A] como

mínimo para que el circuito de control funcione sin inconvenientes, también se debe considerar que se va a trabajar con un tablero de aprendizaje por lo que se tiene que precautelar la seguridad de los operarios y el buen uso de los dispositivos electrónicos, que en su mayoría son sensores, actuadores que trabajan entre 10 y 30 [VDC] y el PLC escogido, de tal manera que se usará una fuente de 24 VDC.

La fuente ideal que está disponible en la empresa para el circuito de control es de 1.5 [A] de la marca Mean Well, sin embargo, se usará el modelo MDR-60-24 que se muestra en la Figura 22 con una corriente de 2.5 [A] considerando un margen de seguridad del 20% como lo sugiere el fabricante para que no se desgaste tempranamente por el calor que esta misma genera al estar funcionando. Además, de que dicha fuente también alimentará el módulo de elementos de mando y el módulo de sensores industriales que serán definidos en el apartado de sistemas modulares, estos tienen una corriente de operación de entre 100 y 200 [mA], por lo tanto, se estima un extra de 600 [mA] aproximadamente, dándonos como resultado lo siguiente:

$$I_{nominal} = 0.78 + 0.6 = 1.38 [A]$$

Considerando el margen de seguridad del 20%:

$$I_{total} = 1.38 + \frac{1.38 \times 20}{100} = 1.66 [A]$$

Figura 22

Fuente de control Mean Well.

MODEL	MDR-60-S	MDR-60-12	MDR-60-24
DC VOLTAGE	5V	12V	24V
RATED CURRENT	10A	5A	2.5A
CURRENT RANGE	0 ~ 10A	0 ~ 5A	0 ~ 2.5A
RATED POWER	50W	60W	60W
RIPPLE & NOISE (rms) (Max)	80mVpp	150mVpp	150mVpp
VOLTAGE ADJ. RANGE	5 ~ 6V	12 ~ 15V	24 ~ 30V
VOLTAGE TOLERANCE (Max)	±2.0%	±1.0%	±1.0%
LINE REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%
LOAD REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%
SETUP RISE TIME	Min: 500ns, 50mA/20VAC	500ns, 50mA/15VAC at full load	
HOLD UP TIME (Typ.)	50ms/20VAC	20ms/15VAC at full load	
VOLTAGE RANGE	85 ~ 264VAC	120 ~ 370VDC	
FREQUENCY RANGE	47 ~ 60Hz		
EFFICIENCY (Typ.)	78%	86%	88%
IAC CURRENT (Typ.)	1.8A/115VAC	1A/230VAC	
INrush CURRENT (Typ.)	COOL START: 20A/115VAC	80A/230VAC	
LEAKAGE CURRENT	<10A/240VAC		

Nota. Adaptado de *Mechanical Specification*, por Meanwell, 2023, DRA-60 Series

(<https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=DRA-60>)

Para la fuente que alimentará el circuito de fuerza se estima un circuito aparte considerando buenas prácticas de laboratorio y precautelando la seguridad de los elementos de control y las interferencias por corrientes de fuga o perturbaciones hacia el circuito de control.

Se define una fuente de 24 [VDC] y 4.2 [A] de la marca Carlo Gavazzi. Tomando en cuenta que se va a trabajar con todas las electroválvulas (6) y sus bobinas se energizan con una corriente de 100 [mA] c/u, también se activarán todas las luces indicadoras (4) y su consumo, que es de 20 [mA] cada una, se tendría un consumo total de 680 [mA] por parte de los actuadores, además se considera conectar un motor de 24 [VDC] a futuro para una mejor representación de los procesos, este tipo de motores consumen una corriente nominal de 2.5 [A], razón por la cual la fuente está sobredimensionada para trabajar con este tipo de aplicaciones extra.

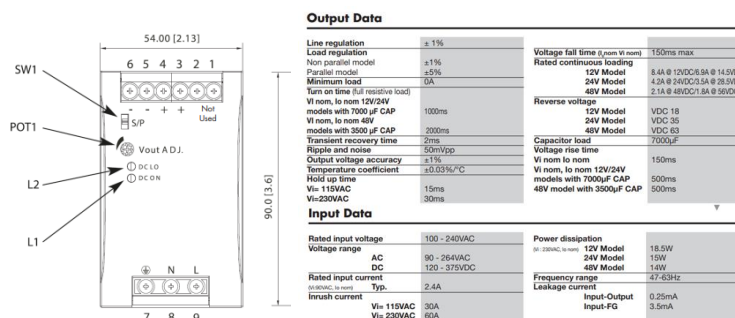
$$I_{nominal} = 0.68 + 2.5 = 3.18 [A]$$

Considerando el margen de seguridad del 20%:

$$I_{total} = 3.18 + \frac{3.18 \times 20}{100} = 3.81 [A]$$

Figura 23

Fuente de fuerza Carlo Gavazzi.



Nota. Adaptado de *Mechanical Drawings*, por Carlo Gavazzi, 2019, Switching Power Supply (https://www.gavazziautomation.com/images/PIM/DATASHEET/ENG/SPD_100W_ENG_26031_9.pdf)

Conductores eléctricos

Para el cálculo del calibre de los conductores del circuito de control se debe tomar en cuenta que se tiene un solo tablero de control y de este se distribuyen las señales a todos los módulos del tablero electroneumático, la carga conectada es de 18.73 [W] y se trabaja con un voltaje de 24 [VDC].

Tabla 2

Características del cobre y del aluminio.

COBRE	ALUMINIO
• Elemento químico monovalente	• Elemento químico trivalente
• Su símbolo químico es Cu	• Su símbolo químico es AL
• Metal sumamente dúctil y maleable	• Metal dúctil y maleable
• De color rojizo pardo-brillante	• De color plateado
• Uno de los mejores conductores de color y electricidad	• Buen conductor de calor y electricidad

Tomando en cuenta las características de cobre y del aluminio mostrados en la Tabla 2, se considera que la mejor alternativa para instalaciones eléctricas es el cobre por su costo y su conductividad, además su tipo de aislante será de cloruro de polivinilo ya que es resistente a la humedad y no propaga la llama, lo cual es indispensable para precautelar la seguridad.

El diseño para un circuito monofásico de dos conductores es el siguiente:

$$I_{nominal} = 1.38 [A]$$

Según (Ludeña, 2021) se deberá dejar una reserva en espacio y capacidad de 15 a 20% del total del tablero, por lo tanto:

$$I_{total} = 1.38 + \frac{1.38 \times 20}{100} = \mathbf{1.66 [A]}$$

Usando la capacidad de conducción en el catálogo de Cablec, se escoge el cable tipo TFN número 18 AWG, sin embargo, la empresa tiene en stock rollos de cable de cobre tipo THW número 16 AWG, el cual es recomendado para aplicaciones generales de instalaciones

industriales y justamente para tableros de control, por lo que será el conductor eléctrico con el que se va a trabajar, las especificaciones se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3

Calibre de conductor para circuitos de control.

Línea de circuito	Tipo de cable recomendado	Tipo de cable opcional
Fase o positivo	Cable de cobre tipo THW número 18 AWG, no más de 10 metros, color rojo	Cable de cobre tipo THW número 16 AWG, no más de 10 metros, color rojo
Neutro o negativo	Cable de cobre tipo THW número 18 AWG, no más de 10 metros, color negro	Cable de cobre tipo THW número 18 AWG, no más de 10 metros, color negro
Masa o tierra	Cable de cobre tipo THW número 18 AWG, no más de 10 metros, color amarillo	Cable de cobre tipo THW número 18 AWG, no más de 10 metros, color amarillo
Señales de control	Cable de cobre tipo THW número 18 AWG, no más de 20 metros, color azul	Cable de cobre tipo THW número 18 AWG, no más de 20 metros, color azul

El cálculo del calibre de los conductores del circuito de fuerza se realiza con las mismas consideraciones ya que se está trabajando con un voltaje de 24 [VDC], pero con una corriente nominal de:

$$I_{nominal} = 0.68 + 2.5 = 3.18 [A]$$

Según (Ludeña, 2021) se deberá dejar una reserva en espacio y capacidad de 15 a 20% del total del tablero, así:

$$I_{total} = 3.18 + \frac{3.18 \times 20}{100} = \mathbf{3.81 [A]}$$

Tal como en la evaluación para el conductor del circuito de control, se usará el mismo calibre para el circuito de fuerza, con las especificaciones de color de la Tabla 3, es importante

tener en cuenta los distintos criterios de ingeniería para el diseño de cada circuito de control y de fuerza, teniendo siempre en cuenta la carga y la distancia que conecta estos circuitos para calcular la corriente nominal (considerando el porcentaje de reserva) que debe soportar el conductor y con esto poder elegir según el catálogo y productos disponibles la opción más adecuada.

Interruptor diferencial

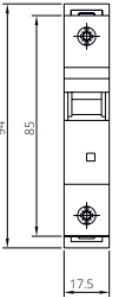
Se instalará una protección general para todo el sistema eléctrico con el fin de proteger contra sobrecargas o cortocircuitos y poder conectar/desconectar todo el circuito en caso de requerirlo. Se valoró una corriente de consumo nominal de 4.56 [A], y según la (NEC, 2022) la clasificación del dispositivo de sobrecorriente debe ser del 125% de la corriente de carga calculada, de modo que:

$$I_{breaker} = 4.56 + \frac{4.56 \times 25}{100} = 5.7 \text{ [A]}$$

De esta manera usando el catálogo de Iskra se escoge el interruptor diferencial RI61 C6 6 [A] 230 [V] 50/60 [Hz] 10kA que se muestra en la Figura 24, sin embargo, se usará el modelo RI62 C10 que está disponible en la empresa.

Figura 24

Características del interruptor diferencial.



Type	Symbol	Unit	PKJ	2PKJ	PKJ + 5KJ
Standards				IEC/EN 60947-5-1	
Number of contacts			1 change-over *	2 change-over *	1 change-over 1 signal **
Rated operational voltage	U_n	V		230	
Rated insulation voltage	U_i	V		400	
Rated frequency	f	Hz		50/60	
Rated thermal current	I_t	A		16	
Rated operational current	I_n	A		AC-15: 230 V / 4 A DC-13: 110 V / 0.5	
Rated oconditional short-circuit current		A		800	
Fuse gG		A		16	
Mounting				on left side of device	
Degree of protection				IP 20	
Terminal capacity	S	mm ²		0.5 ... 2.5 (Cu wire)	
Screw type				800	
Screw head				800	
Tightening torque				800	

* Change-over contacts indicate the position of main contacts of circuit breaker
** Signal contact indicates opening of MCB due to overload or short-circuit

Nota. Adaptado de *RI61J Dimensions*, por Iskra, s.f., Miniature circuit breakers

(<https://www.iskra.eu/f/docs/41873/miniature-circuit-breakers-01.pdf>)

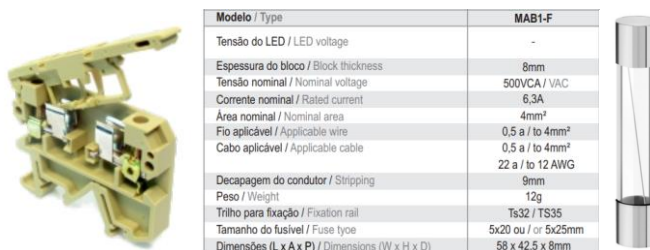
Portafusibles

Además del interruptor diferencial, se instalarán portafusibles encargados de proteger las fuentes del tablero y la alimentación del PLC, preservando la seguridad de los elementos de corriente continua y salvaguardándolos de sobrecorrientes.

Son conocidos por estar fabricados con un material conductor con un punto de fusión muy bajo, por lo general de estaño ya que este se funde cuando la corriente excesiva lo calienta. La corriente de arranque del PLC es de 3 [A], mientras que la corriente de salida de las fuentes es de 2.5 [A], por lo que se debería usar fusibles de 3 [A] para evitar desperfectos en los dispositivos electrónicos mencionados, que son de los más costosos que tiene el tablero de control. En la Figura 25 se muestran los componentes mencionados.

Figura 25

Portafusibles sin led (izquierda) y fusible (derecha).



Nota. Adaptado de *MAB1F fuse holder*, por Metaltex, s.f., Screw type terminal blocks (<https://datasheet.zonaindustrial.cl/pdf/Metaltex/ficha/Bornes-M.pdf>)

Borneras

Para mantener ordenado el cableado y las conexiones sean fáciles de seguir por si ocurre algún fallo eléctrico, se usarán borneras simples y dobles para derivar los distintos puntos de conexión donde se necesite más de un solo conductor, como la alimentación del PLC, sus salidas y entradas, y la tierra común de todos los dispositivos electrónicos, incluido el panel del tablero de control.

De este modo el cableado es sencillo y permite conducir la electricidad de manera eficiente ya que están diseñados para trabajar con corrientes altas y con un gran rango de calibre de conductores, en la Figura 26 y en la Figura 27 se muestran los diferentes tipos de borneras con las que se va a trabajar.

Figura 26

Bornera de conexión a tierra.



Modelo / Type	MGB4/35
Espessura do bloco / Block thickness	6,5mm
Área nominal / Nominal area	4mm ²
Fio aplicável / Applicable wire	0,5 a / to 6mm ²
Cabo aplicável / Applicable cable	0,5 a / to 4mm ² 22 a / to 10 AWG
Decapagem do condutor / Stripping	12mm
Peso / Weight	10g
Trilho para fixação / Fixation rail	
Dimensões (L x A x P) / Dimensions (W x H x D)*	57,5 x 41 x 7mm

Nota. Adaptado de *MGB4/34 ground terminal blocks*, por Metaltex, s.f., Screw type terminal blocks (<https://datasheet.zonaindustrial.cl/pdf/Metaltex/ficha/Bornes-M.pdf>)

Figura 27

Bornera simple y bornera doble.

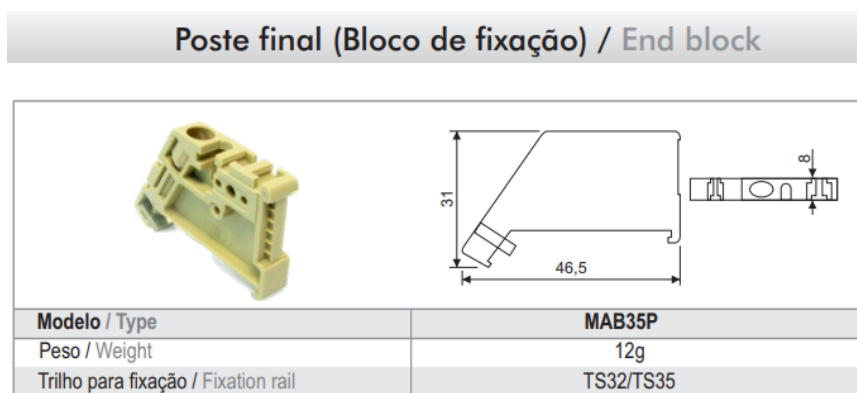
		SIMPLES / ONE LEVEL		DUPLO / TWO LEVELS
MODELO / TYPE	COR / COLOR	Bege / Beige	MTB4EN	MDB4-4/2
		Azul / Blue	MTB4EN-AZ	-
Espessura do bloco / Block thickness		6,5mm		6,1mm
Tensão nominal / Nominal voltage		750VCA / VAC		600VCA / VAC
Corrente nominal / Rated current		34A		34A
Área nominal / Nominal area		4mm ²		4mm ²
Fio aplicável / Applicable wire		0,5 a / to 6mm ²		0,5-6mm ²
Cabo aplicável / Applicable cable		0,5 a / to 4mm ² 22 a / to 10 AWG		0,5-4mm ² 22-10AWG
Decapagem do condutor / Stripping		12mm		12mm
Peso / Weight		10g		12,6g
Trilho para fixação / Fixation rail		TS32 / TS35		TS35
Dimensões (L x A x P) / Dimensions (W x H x D)		40 x 45,6 x 6,5mm		60 x 54 x 6,1mm

Nota. Adaptado de *MTB4EN one level*, por Metaltex, s.f., Screw type terminal blocks (<https://datasheet.zonaindustrial.cl/pdf/Metaltex/ficha/Bornes-M.pdf>)

Además de esto, existen separadores o bloques finales para mantener a las borneras y los portafusibles ajustados en su lugar, estos también forman una parte importante a la hora de armar un tablero de control.

Figura 28

Separadores o bloque final.



Nota. Adaptado de *MAB35P end block*, por Metaltex, s.f., Screw type terminal blocks (<https://datasheet.zonaindustrial.cl/pdf/Metaltex/ficha/Bornes-M.pdf>)

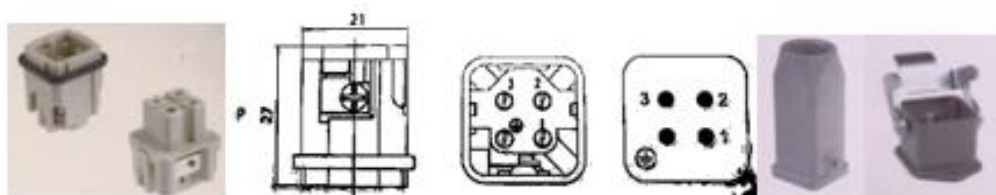
Finalmente se tiene a disponibilidad conectores de la marca Hualun, de 3, 4, 6, 10, 16, 24, 32 hasta 64 pines que permitirán enlazar el tablero de control con los módulos didácticos de la siguiente manera:

- Un bloque de 16 conexiones (8 entradas y 8 salidas digitales)
- Un bloque de 14 conexiones (8 entradas digitales, 2 entradas análogas y 4 salidas digitales)
- Tres bloques de alimentación (1 entrada 120 VAC, 2 salidas 24 VDC)

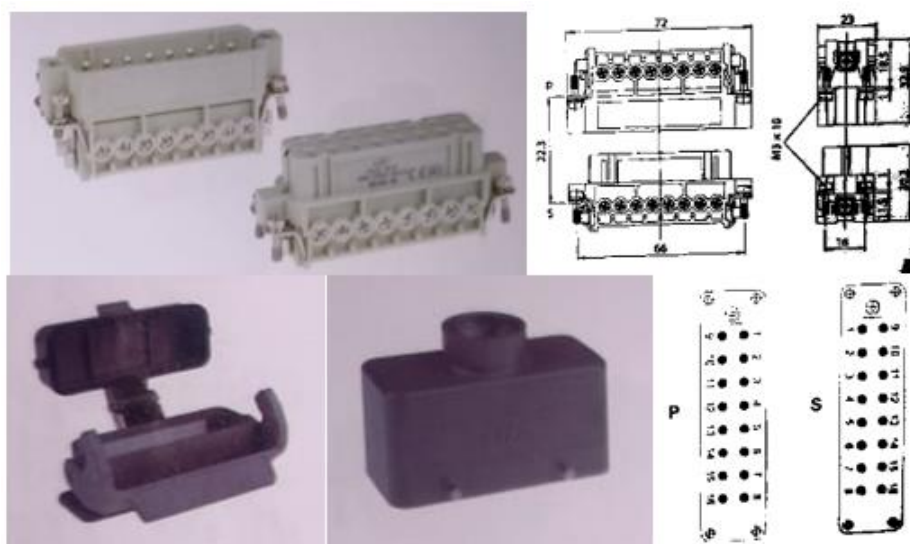
En las siguientes Figuras se muestran los conectores que se van a utilizar para ordenar los bloques de entradas y salidas.

Figura 29

Conectores de 3 pines y tierra.

**Figura 30**

Conectores de 16 pines.



Canaletas

La zona más congestionada será por donde pasen los cables de entradas/salidas del PLC, ya que con 18 y 12 respectivamente, por ende, se debe considerar el tamaño de la canaleta a partir de esta consideración, como el tipo de cable con el que se va a trabajar es el numero 16 AWG, se conoce que su sección aproximada es de 1.31 mm^2 , por lo tanto:

$$\text{Area} = 30 \times 1.3 = 39.3 \text{ mm}^2 \approx \mathbf{40 \text{ mm}^2}$$

Entonces se deberá usar una canaleta con un área útil de 40 mm^2 , para no tener inconvenientes de temperatura ni trabajar con el espacio justo se seleccionará una canaleta

ranurada gris de 40 mm de ancho y 60 mm de alto, color gris de cloruro de polivinilo o PVC como la que se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Canaleta ranurada



Nota. Adaptado de *Canaleta Ranurada 40x60*, por Inselec, 2023, Industria de Sistemas Eléctricos (<https://inselec.com.ec/store/inicio/2405-canaleta-ranurada-40x60-ref-p-0068-.html>).

De esta forma se han seleccionado los elementos necesarios para realizar el diseño del sistema eléctrico del tablero electroneumático, por tanto, se ha trazado el circuito esquemático y el esquema de alambrado que se muestran en la Figura 32 y en la Figura 33 respectivamente.

Figura 32

Circuito esquemático del tablero de control.

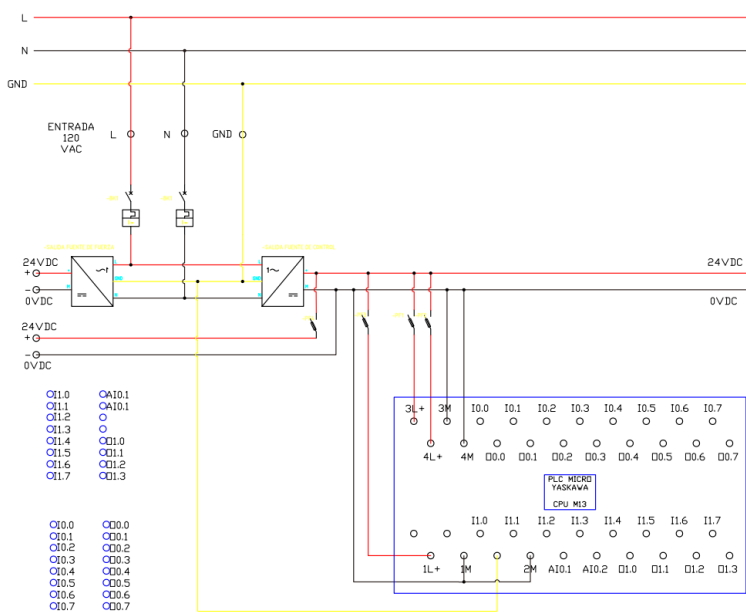
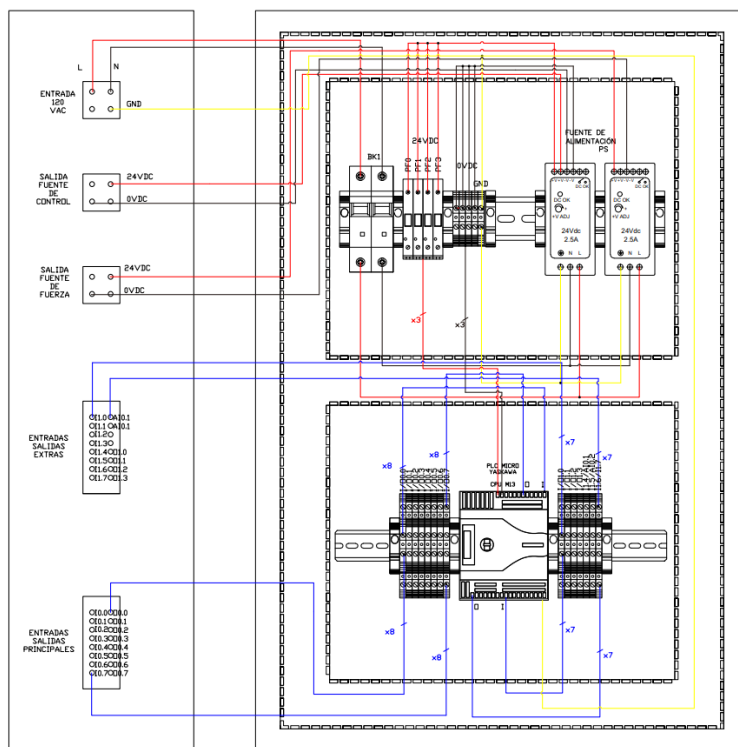


Figura 33

Diagrama de alambrado del tablero de control.



Sistema neumático

En el capítulo 1, se definió trabajar con un tablero ranurado para los elementos neumáticos, sin embargo, se consideró cambiarlo por un tablero con diseño agujereado debido al tipo de montaje de las partes de la marca Airtec dado que de esta manera se facilita la orientación de los componentes que se necesitan para cada tipo de práctica, además este tablero será montado con bisagras en la estructura para que sea un tipo ventana con el objetivo de acceder fácilmente a los componentes que se van a exponer en la Tabla 4.

Tabla 4

Componentes del sistema neumático.

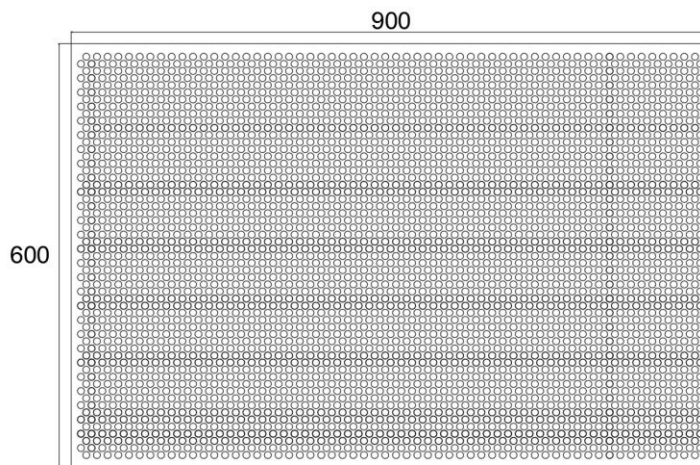
Elemento	Función
Compresor	Compacta, almacena y proporciona el aire comprimido.

Elemento	Función
Unidad de mantenimiento	Obtiene aire limpio a través de la regulación de presión, filtración de aire y lubricación del mismo.
Electroválvulas	Concede, obstruye y desvía el paso del aire a los actuadores neumáticos.
Cilindros neumáticos	Convierte la energía potencial del aire comprimido en energía cinética.
Tuberías neumáticas	Conduce el aire comprimido entre las partes neumáticas.
Conectores neumáticos	Une los elementos neumáticos utilizados en el circuito.

El panel agujereado con el que se va a trabajar se muestra en la Figura 34, está diseñado de esta forma con el fin de que los elementos neumáticos se ajusten a este mediante pernos y tuercas, es de tol reforzado de 1.2 mm de espesor para que el metal no se debilite al momento de ser perforado y la plancha se mantenga firme y tiene dimensiones de 90 cm de ancho por 60 cm de alto, aquí se van a distribuir todos los componentes neumáticos conforme se desarrollen las prácticas.

Figura 34

Panel tipo agujereado para montar elementos neumáticos.



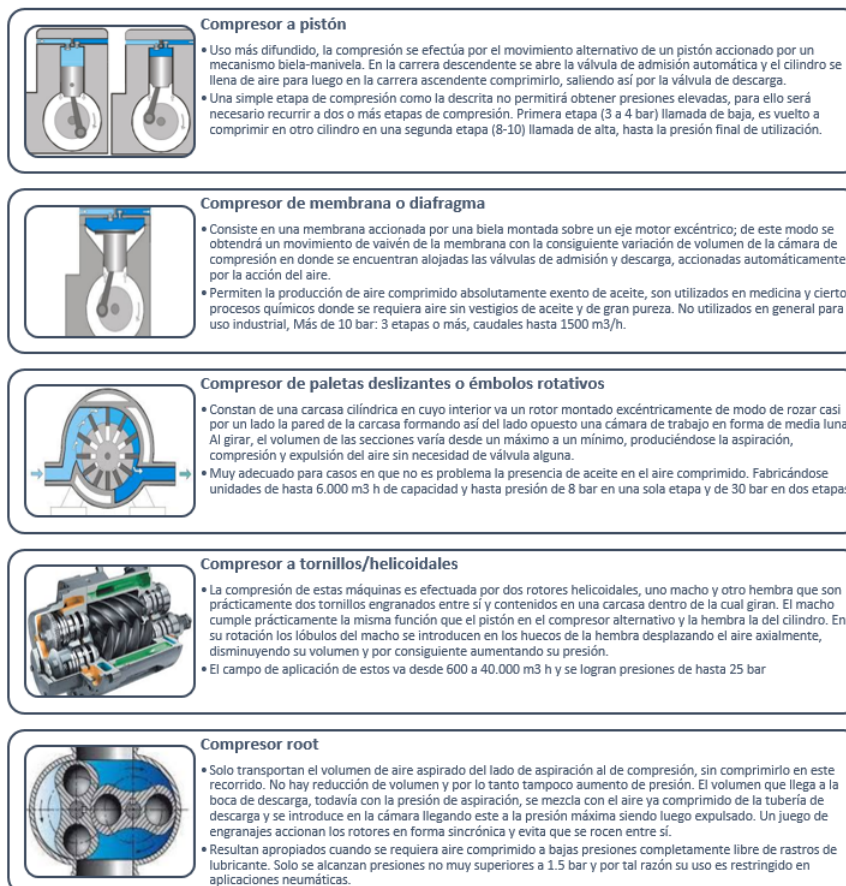
Compresor

El abastecimiento de energía, en este caso aire a presión o energía potencial, es la base para el funcionamiento del sistema neumático, además, la mayoría de sus elementos son fabricados para trabajar con presiones de 8 a 10 bar, sin embargo, por razones financieras la empresa decidió trabajar con presiones de entre 6 y 8 bar. El compresor deberá abastecer presiones de 6.5 a 7 bar para recompensar posibles fugas que existan en el sistema de distribución.

Para esto se definirán los tipos de compresores más usados y se decidirá cuál es el más apto según los requerimientos planteados, en la Figura 35 se muestra la clasificación de los tipos de compresores más comunes en la neumática.

Figura 35

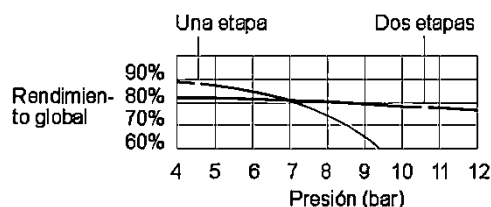
Tipos de compresores.



La opción más adecuada, económica y asequible en el mercado nacional es la de un compresor a pistón de dos etapas, considerando el rendimiento que se muestra en la Figura 36, el cual trabaja de una manera estable en el rango de presión para la que se lo necesita.

Figura 36

Rendimiento del compresor en función del número de etapas.



Nota. Adaptado de *Rendimiento del compresor en función del número de etapas.*

(p. 46), por Ayala, 2020, Departamento de Eléctrica y Electrónica, ESPE.

Además, tomando en cuenta el tipo de aplicación de cada compresor tratado, y siguiendo el gráfico para seleccionar un compresor de la Figura 36, se confirma que el compresor a pistón o de embolo es el adecuado para el tablero electroneumático, ya que trabaja con caudales desde 100 hasta $10\,000 \frac{m^3}{h}$, su ventilación estará dada por aletas de refrigeración para dispersar el calor y será de tipo silencioso con el tanque vertical y ruedas para poder trasladarlo de una manera sencilla a cualquier lugar donde se requiera asesorías, sus especificaciones se muestran en la Figura 37.

Figura 37

Especificaciones técnicas del compresor.



MODELO	PCO-1550VS
Potencia (Hp)	1.5
Voltaje (V)	110-120
Frecuencia (Hz)	60
Presión máxima (Psi)	116 (8 bar)
Capacidad del tanque (L)	50
Reducción de ruido (dB)	56
Peso (Kg)	48

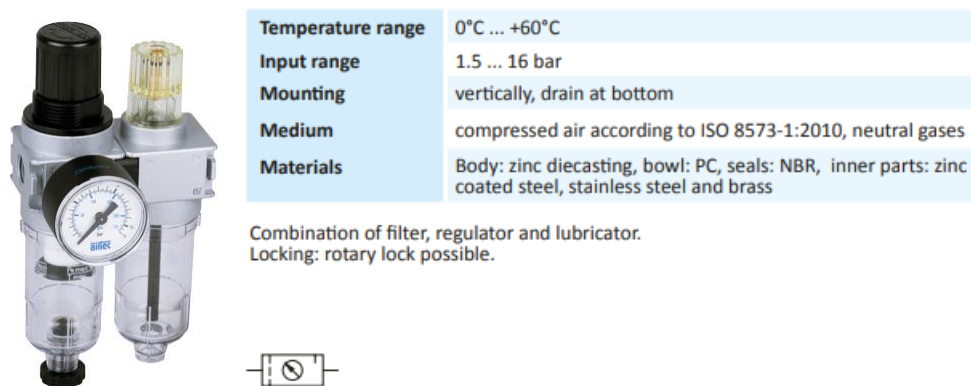
Unidad de mantenimiento

Después de que el aire sale del compresor, puede o no estar a una presión adecuada para accionamientos y equipos neumáticos. También puede contener agua e impurezas que pueden dañar el sistema, por lo que el tratamiento del aire es necesario para su uso en sistemas neumáticos.

Esta preparación se hace mediante un filtro para limpiar las impurezas, un regulador de presión para mantener constante la presión de servicio y un lubricador. El conjunto de elementos conforma la unidad de mantenimiento junto con un manómetro para indicar la presión con la que el aire está entrando al sistema, la aplicación para lo que se necesita es básica, por ende, se usará una unidad de mantenimiento pequeña como la que se muestra en la Figura 38 para conexión de 1/8.

Figura 38

Unidad de Mantenimiento Airtec.



Nota. Adaptado de *Two piece air service unit*, por Airtec, 2023, Air preparation units series k (https://www.airtecusa.com/Content/documents/cms/product_subcategory_pdf/two%20piece%20air%20service%20unit%20frok.pdf).

Este elemento está disponible en la empresa y cumple con los requerimientos de presión establecidos, cuenta con los accesorios que se muestran en la Figura 39 para que pueda ser colocada con facilidad en el tablero agujereado.

Figura 39

Accesorios de montaje de la unidad de mantenimiento Airtec.



Nota. Adaptado de *Accessories*, por Airtec, 2023, Air preparation units series k

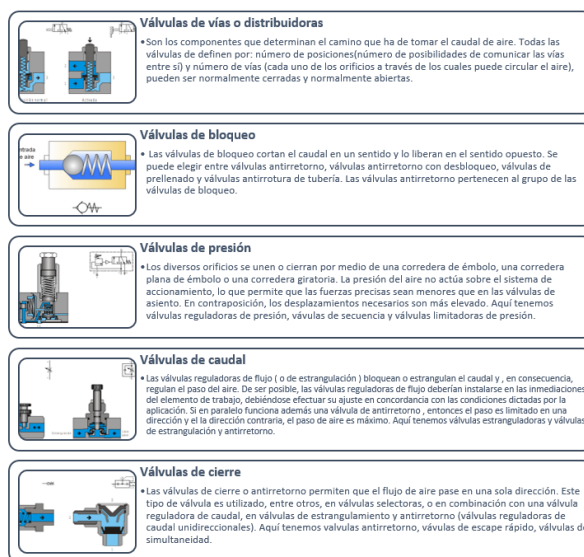
(https://www.airtecusa.com/Content/documents/cms/product_subcategory_pdf/two%20piece%20air%20service%20unit%20frok.pdf).

Electroválvulas

El siguiente elemento a donde se dirige el aire comprimido son las válvulas, que tienen la tarea de controlar su presión y caudal, para la puesta en marcha, paro y trayectoria de los actuadores neumáticos, según la norma DIN 24300, estas válvulas se pueden clasificar en 5 clases como las que se muestran en la Figura 40.

Figura 40

Tipos de válvulas según la DIN24300.



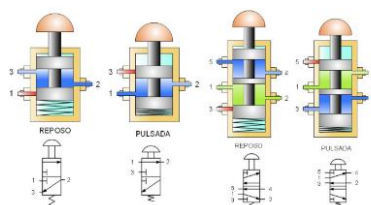
Se va a trabajar con válvulas de vías o distribuidoras a las cuales se les va a agregar bobinas eléctricas para su control mediante las señales de salida del PLC, como se especificó

en los requerimientos se usarán 6 válvulas, tres serán de 3 vías y dos posiciones para accionar los cilindros de simple efecto, y las otras tres serán de 5 vías y dos posiciones para accionar los cilindros de doble efecto.

Las válvulas serán normalmente cerradas y su funcionamiento se observa en la Figura 41, donde se puede apreciar su estado en reposo y cuando están activadas respectivamente.

Figura 41

Válvulas 3/2 y válvulas 5/2.



Nota. El gráfico presenta el estado en reposo y pulsado de válvulas. Adaptado de *Válvula 3/2*, por Cruz, 2020, Neumática (<https://makinandovelez.wordpress.com/tag/neumatica/page/3/>).

En la Figura 42 se pueden encontrar las especificaciones técnicas de las válvulas con las que se va a trabajar, como los módulos de alimentación eléctrica son de 24 [VDC] y trabajan con una presión máxima de 8 bar.

Figura 42

Válvulas operadas eléctricamente Airtec.

Technical details		Electrical options	
Connection	G1/8	Nominal voltage	4.2 W
Nominal size	4 mm	12 V DC	2.2 W
Temperature range	-10°C ... +70°C	24 V DC	4.2 W
Medium	Filtered, oil-free and dried compressed air according to ISO 8573-3:2010, Class 3:4; instrument air; free of aggressive additives. Alternatively the pressure slow must be at least 10°C below lowest occurring ambient temperature.	24 V DC	4.8 W
Materials	Body: Al (anodized), plastic; seals: NBR; inner parts: Al, steel and plastic.	24 V DC	2.2 W
Protection	IP 65 according to EN 60529 Valves in accordance with 2014/34/EU (ATEX) available, ex-hw-13	24 V DC	2.5 W
Electrically operated spool valve. The manual override is detent and is operated by screwdriver.		24 V AC	7/8 VA
		115 V AC	7/8 VA
		230 V AC	7/8 VA
		Model-no.:	M-04-511
		Operating pressure* (bar)	3 ... 10
		Pilot pressure* (bar)	3 ... 10
		Flow rate (Nl/min)	360
		Response time (ms) at 6 bar	on: 13 off: 16
		Weight (kg)	0.220
3/2-way valves <ul style="list-style-type: none"> M-04-510-HN-xxx 3/2-way, single solenoid, air spring return, NC MO-04-510-HN-xxx 3/2-way, single solenoid, air spring return, NO M-04-520-HN-xxx 3/2-way, double solenoid 		5/2- and 5/3-way valves <ul style="list-style-type: none"> M-04-510-HN-xxx 5/2-way, single solenoid, air spring return M-04-511-HN-xxx 5/2-way, single solenoid, mechanical spring return M-04-520-HN-xxx 5/2-way, double solenoid M-04-530-HN-xxx 5/3-way, center position closed M-04-533-HN-xxx 5/3-way, center position exhausted 	
Please complete: xxx = electrical option			

Nota. Adaptado de *Valves Series M04*, por Airtec, 2023, Electrically Operated Valves (https://www.airtec-usa.com/Content/documents/cms/product_subcategory_pdf/Series-M-04.pdf).

Estos elementos están disponibles en la empresa y cumplen con los requerimientos de presión establecidos, cuenta con los accesorios que se muestran en la Figura 43 para que puedan ser colocados con facilidad en el tablero agujereado.

Figura 43

Accesorios para válvulas Airtec



Nota. Adaptado de *Accessories*, por Airtec, 2023, Electrically Operated Valves


(https://www.airtec-usa.com/Content/documents/cms/product_subcategory_pdf/Series-M-04.pdf).

También se usarán válvulas estranguladoras para controlar la velocidad de salida del vástago a conveniencia del practicante o como lo especifique cada práctica más adelante, estas estarán colocadas en la entrada y salida de cada actuador neumático, regulando la velocidad del aire con la ecuación que se muestra en la Figura 44 junto con las características de dicha válvula.

Figura 44

Válvula reguladora de caudal Airtec.

Technical details	
Temperature range	-10°C ... +70°C
Medium	Filtered, oil-free and dried compressed air according to ISO 8573-1:2010, Class 7-2-4, instrument air, free of aggressive additives. Alternatively the pressure dew point must be at least 10°C below lowest occurring ambient temperature.
Materials	Body: Al (anodized), seals: NBR



Technical data	
Model-no.:	DR-18
Connection	G1/8
Nominal size 1-2 (mm)	0.5 ... 2
Nominal size 2-1 (mm)	4.5
Flow rate 1-2 (NI/min)	5 ... 90
Flow rate 2-1 (NI/min)	480
Operating pressure (bar)	0.5 ... 10
Weight (kg)	0.040

$$Q = A \times v$$

$$Q_{out} = Q_{in} \times \%_{reg}$$

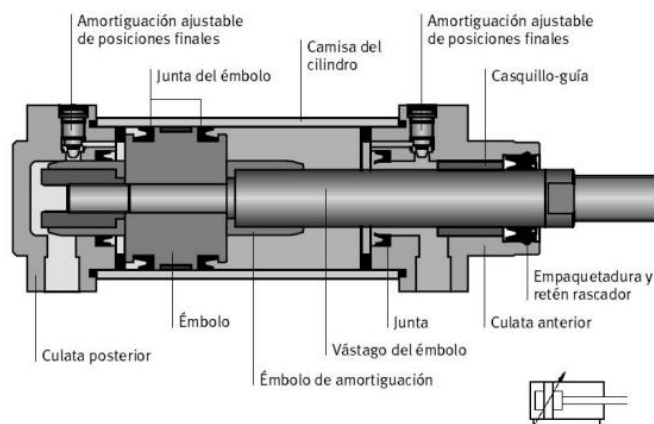
Nota. Adaptado de *Valves Series DR*, por Airtec, 2023, Flow Control Valves (https://www.airtec-usa.com/Content/documents/cms/product_subcategory_pdf/Series-DR.pdf).

Cilindros neumáticos

El elemento actuador de los sistemas neumáticos son unidades que convierten la energía potencial del aire comprimido en energía dinámica, fundamentalmente están compuestos por una base cilíndrica y un embolo o pistón. Existen de varios tipos para distintas aplicaciones en la industria, sin embargo, para esta aplicación se usarán de dos tipos, los de simple efecto y los de doble efecto, en la Figura 45 se muestra más a detalle las partes de un actuador neumático.

Figura 45

Partes de un actuador neumático.



Nota. Adaptado de *Cilindros* (p. 88), por Ayala, 2020, Neumática, Departamento de Eléctrica y Electrónica, ESPE.

No se van a mover cargas ni fuerzas opuestas al movimiento de los actuadores, su uso será para mostrar el movimiento de estos mediante la activación de las señales de control del PLC, de tal manera que se controle la velocidad de desplazamiento, se ocuparán válvulas estranguladoras, su consumo de aire será calculado asumiendo valores prácticos y su fijación será con placas traseras.

Existen solamente dos cilindros de simple efecto disponibles en la empresa, razón por la cual se va a trabajar con los datos conocidos para calcular su consumo de aire, y en cuanto a

los cilindros de doble efecto se tiene más opciones, sin embargo, para tener simetría y orden en el tablero, se trabajará con cilindros del diámetro y carrera similares a los de simple efecto, como los que se muestran en la Figura 46.

Figura 46

Cilindros de simple efecto (a) y de doble efecto (b)



Nota. Adaptado de *Cylinders*, por Airtec, 2023, Piston rod cylinders (https://www.airtec-usa.com/Content/documents/cms/product_subcategory_pdf/Series-HE.pdf).

Los dos pueden ser montados al panel agujereado con los accesorios que se muestran en la Figura 47, también cuentan con accesorios de montaje para el final del vástago dependiendo de la aplicación para la que se lo necesite.

Figura 47

Accesorios de montaje para los cilindros de Airtec.



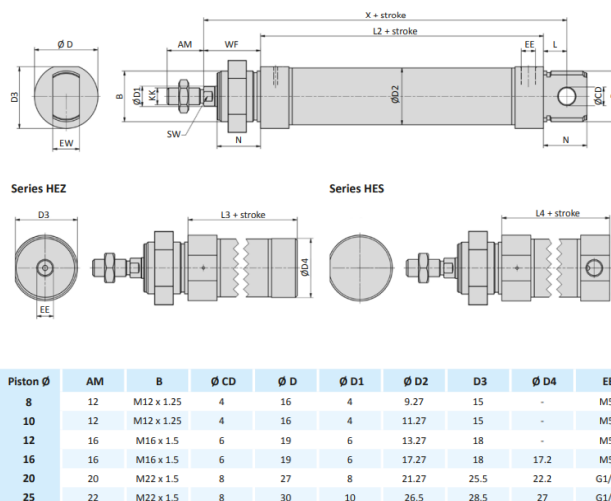
Nota. Adaptado de *Mounting Accessories*, por Airtec, 2023, Piston rod cylinders (https://www.airtec-usa.com/Content/documents/cms/product_subcategory_pdf/Series-HE.pdf).

Cálculos de consumo de aire de cada cilindro

En la Figura 48 se muestran las dimensiones que tienen los mini cilindros estándar que maneja la marca Airtec, de aquí se obtendrán los datos para realizar los cálculos correspondientes.

Figura 48

Dimensiones de los cilindros de simple y doble efecto de Airtec



Nota. Adaptado de *Dimension Series HE*, por Airtec, 2023, Piston rod cylinders

(https://www.airtec-usa.com/Content/documents/cms/product_subcategory_pdf/Series-HE.pdf).

1. Cálculo de consumo de aire de un cilindro de simple efecto (HE-12-010) de 19 mm de diámetro (diámetro del vástago de 6 mm) y 10 mm de longitud de carrera, el cilindro trabajará con un máximo de 12 ciclos por minuto y su presión de trabajo será de 6 bar (600 kPa).

Desarrollo

$$\text{Relación de compresión: } \frac{101.3 + P_{\text{trabajo}}}{101.3} = \frac{101.3 \text{ kPa} + 600 \text{ kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = \frac{701.3 \text{ kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = 6.9$$

$$\text{Consumo de aire: } V = \left[s * \frac{D * \pi}{4} + s * \frac{(D^2 - d^2) * \pi}{4} \right] * n * \text{Relacion de compresion}$$

$$V = \left[1 \text{ cm} * \frac{3.61 \text{ cm}^2 * \pi}{4} + 1 \text{ cm} * \frac{(3.61 \text{ cm}^2 - 0.36 \text{ cm}^2) * \pi}{4} \right] * 12 \text{ min}^{-1} * 6.9$$

$$V = [2.83 \text{ cm}^2 + 2.55 \text{ cm}^2] * 12 \text{ min}^{-1} * 6.9 = 5.38 \text{ cm}^3 * 82.8 \text{ min}^{-1} = 445.46 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

El consumo de aire del primer cilindro es de **0.45 [l/min]**.

2. Cálculo de consumo de aire de un cilindro de simple efecto (HE-12-030) de 19 mm de diámetro (diámetro del vástago de 6 mm) y 30 mm de longitud de carrera. El

cilindro trabajará con un máximo de 12 ciclos por minuto y su presión de trabajo será de 6 bar (600 kPa).

Desarrollo

$$\text{Relación de compresión: } \frac{101.3+P_{trabajo}}{101.3} = \frac{101.3 \text{ kPa}+600\text{kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = \frac{701.3 \text{ kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = 6.9$$

$$\text{Consumo de aire: } V = \left[s * \frac{D*\pi}{4} + s * \frac{(D^2-d^2)*\pi}{4} \right] * n * \text{Relacion de compresion}$$

$$V = \left[3\text{cm} * \frac{3.61\text{cm}^2 * \pi}{4} + 3\text{cm} * \frac{(3.61\text{cm}^2 - 0.36\text{cm}^2) * \pi}{4} \right] * 12\text{min}^{-1} * 6.9$$

$$V = [8.51\text{cm}^2 + 7.66\text{cm}^2] * 12\text{min}^{-1} * 6.9$$

$$V = 16.17\text{cm}^3 * 82.8\text{min}^{-1} = 1338.87 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

El consumo de aire del segundo cilindro es de **1.34 [l/min]**.

3. Cálculo de consumo de aire de un cilindro de doble efecto (HM-12-010) de 19 mm de diámetro (diámetro del vástago de 6 mm) y 10 mm de longitud de carrera, el cilindro trabajará con un máximo de 12 ciclos por minuto y su presión de trabajo será de 6 bar (600 kPa).

Desarrollo

$$\text{Relación de compresión: } \frac{101.3+P_{trabajo}}{101.3} = \frac{101.3 \text{ kPa}+600\text{kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = \frac{701.3 \text{ kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = 6.9$$

$$\text{Consumo de aire: } V = 2 * \left[s * \frac{D*\pi}{4} + s * \frac{(D^2-d^2)*\pi}{4} \right] * n * \text{Relacion de compresion}$$

$$V = 2 * \left[1\text{cm} * \frac{3.61\text{cm}^2 * \pi}{4} + 1\text{cm} * \frac{(3.61\text{cm}^2 - 0.36\text{cm}^2) * \pi}{4} \right] * 12\text{min}^{-1} * 6.9$$

$$V = 2 * [2.83\text{cm}^2 + 2.55\text{cm}^2] * 12\text{min}^{-1} * 6.9$$

$$V = 10.86\text{cm}^3 * 82.8\text{min}^{-1} = 899.21 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

El consumo de aire del tercer cilindro es de **0.9 [l/min]**.

4. Cálculo de consumo de aire de un cilindro de doble efecto (HE-12-025) de 19 mm de diámetro (diámetro del vástago de 6 mm) y 25 mm de longitud de carrera, el cilindro

trabaja con un máximo de 12 ciclos por minuto y su presión de trabajo será de 6 bar (600 kPa).

Desarrollo

$$\text{Relación de compresión: } \frac{101.3 + P_{\text{trabajo}}}{101.3} = \frac{101.3 \text{ kPa} + 600 \text{ kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = \frac{701.3 \text{ kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = 6.9$$

$$\text{Consumo de aire: } V = 2 * \left[s * \frac{D * \pi}{4} + s * \frac{(D^2 - d^2) * \pi}{4} \right] * n * \text{Relacion de compresion}$$

$$V = 2 * \left[2.5 \text{ cm} * \frac{3.61 \text{ cm}^2 * \pi}{4} + 2.5 \text{ cm} * \frac{(3.61 \text{ cm}^2 - 0.36 \text{ cm}^2) * \pi}{4} \right] * 12 \text{ min}^{-1} * 6.9$$

$$V = 2 * [7.08 \text{ cm}^2 + 6.38 \text{ cm}^2] * 12 \text{ min}^{-1} * 6.9$$

$$V = 26.92 \text{ cm}^3 * 82.8 \text{ min}^{-1} = 2228.97 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

El consumo de aire del cuarto cilindro es de **2.23 [l/min]**.

Se tiene como extra dos cilindros de mayor tamaño para representar prensas o ascensores, de la misma manera solo de una manera representativa ya que no moverán ninguna carga, por ende, no hay fuerzas que se opongan al movimiento normal del mismo.

5. Cálculo de consumo de aire de un cilindro de doble efecto (HM-25-025) de 30 mm de diámetro (diámetro del vástago de 10 mm) y 25 mm de longitud de carrera, el cilindro trabajará con un máximo de 12 ciclos por minuto y su presión de trabajo será de 6 bar (600 kPa).

Desarrollo

$$\text{Relación de compresión: } \frac{101.3 + P_{\text{trabajo}}}{101.3} = \frac{101.3 \text{ kPa} + 600 \text{ kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = \frac{701.3 \text{ kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = 6.9$$

$$\text{Consumo de aire: } V = 2 * \left[s * \frac{D * \pi}{4} + s * \frac{(D^2 - d^2) * \pi}{4} \right] * n * \text{Relacion de compresion}$$

$$V = 2 * \left[2.5 \text{ cm} * \frac{9 \text{ cm}^2 * \pi}{4} + 2.5 \text{ cm} * \frac{(9 \text{ cm}^2 - 1 \text{ cm}^2) * \pi}{4} \right] * 12 \text{ min}^{-1} * 6.9$$

$$V = 2 * [17.67 \text{ cm}^2 + 15.71 \text{ cm}^2] * 12 \text{ min}^{-1} * 6.9$$

$$V = 66.76 \text{ cm}^3 * 82.8 \text{ min}^{-1} = 5527.73 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

El consumo de aire del quinto y sexto cilindro es de **5.53 [l/min]** c/u.

Por lo tanto, se tiene un consumo de aire total sumando el de todos los actuadores neumáticos de:

$$V_{total} = V_{c1} + V_{c2} + \dots + V_{cn} = 0.45 + 1.34 + 0.9 + 2.23 + 5.53 + 5.53 = \mathbf{15.98 \frac{l}{min}}$$

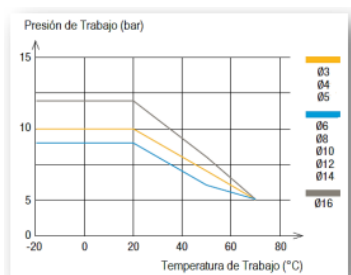
Tuberías

No se va a hacer ninguna instalación neumática, ya que el compresor estará ubicado al pie del tablero, y desde aquí se obtendrá la alimentación con una manguera de PU (poliuretano) ya que es uno de los materiales más usados para sistemas neumáticos, lubricación y líneas neumáticas de baja presión. Dichas mangueras son usadas en varias aplicaciones de equipos médicos, dentales y de laboratorio.

En la Figura 49 se muestra la presión de trabajo en función de la temperatura de una manguera de PU estándar, a partir de esta se elige las de diámetro 6 ya que trabajan de forma estable hasta los 20°C que es la temperatura ambiente donde se ubicará el tablero electroneumático con sus componentes y su presión coincide con la presión de servicio requerida, además de que la disponibilidad de conectores de 6 mm es la más amplia en la empresa.

Figura 49

Presión de Trabajo en función de la Temperatura.



Nota. Adaptado de *Presión de trabajo en función de la temperatura*, por Painpe, 2023, Ficha técnica (<https://painpe.com/wp-content/uploads/2020/03/01-FICHA-TEC-802.999-Manguera-Neumatica-PU.pdf>).

Conectores neumáticos

Son los acoples que lleva cada elemento neumático para interconectarse el uno con el otro mediante la manguera o tubería que se vaya a usar, existen de varios tipos con los diámetros estándar de los elementos tratados tales como la unidad de mantenimiento, las electroválvulas y los cilindros, en la Figura 50 se muestran algunos de los conectores que se pueden encontrar en el mercado nacional.

Figura 50

Conectores neumáticos



Nota. Adaptado de *Tipos de conectores neumáticos*, por Sicytel, 2020, Facebook (<https://www.facebook.com/SicytelPeru/photos/-tipos-deconectores-neum%C3%A1ticos/123669899301131>)

Se usarán conectores de tipo macho rectos para manguera de 6 mm, con la cantidad y su tamaño especificado en la Tabla 5, estos trabajan en condiciones normales a una presión de 10 bar, por lo que son adecuados para la aplicación para la que se los necesita.

Tabla 5

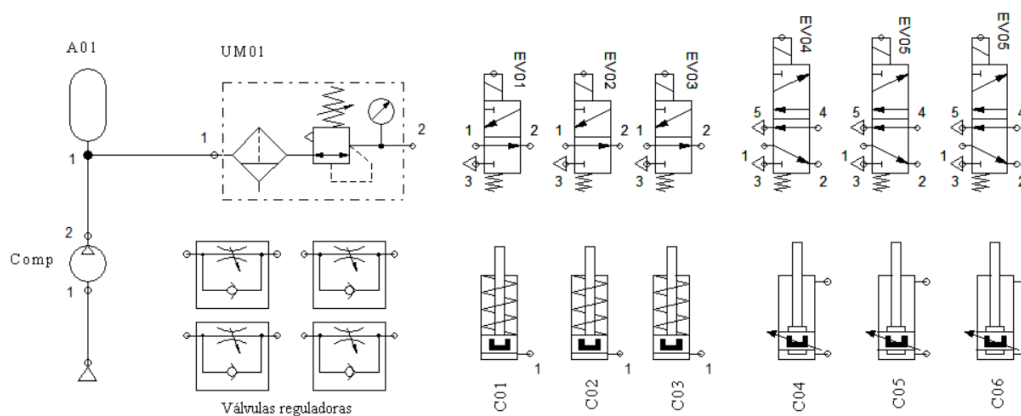
Conectores para los elementos neumáticos.

Elemento	Diámetro	Cantidad	Tapones	Silenciador
Unidad de mantenimiento	1/8	2	-	-
Válvulas 3/2	1/8	4	4	3
Válvulas 5/2	1/8	7	8	6
Válvula reguladora	1/8	8	-	-
Cilindros pequeños	M5	6	-	-
Cilindros grandes	1/8	4	-	-

De esta manera se completa el sistema neumático con los elementos básicos para realizar prácticas de laboratorio y brindar cursos de asesoría o capacitación técnica a los clientes de la empresa. A continuación, en la Figura 51 se muestra el diagrama neumático.

Figura 51

Diagrama del sistema neumático.



Sistemas modulares

Son aquellos que se encargan de la unión del sistema eléctrico con el sistema neumático y se encuentran diseñados de tal forma que las conexiones se hagan de manera organizada. Contiene distintos módulos que se presentarán en la Tabla 6.

Tabla 6

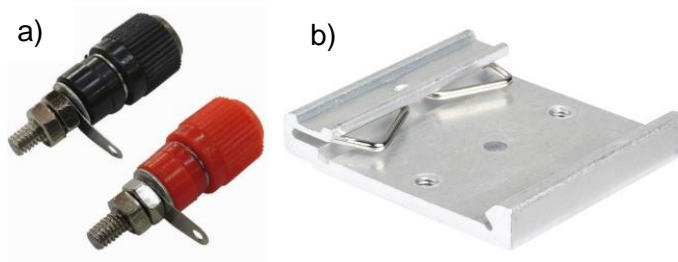
Sistemas modulares

Módulos	Función
Fuente de control	Proporciona una señal de voltaje de 24VDC para alimentar los elementos de control (interruptores, pulsadores, sensores, etc...)
Elementos de mando	Permiten e interrumpen el paso de corriente para brindar control a los circuitos de forma manual
Sensores industriales	Detectan y responden ante variables físicas como detectar la posición de los cilindros
Entradas y salidas PLC	Facilita la comunicación entre las entradas y salidas del PLC, además preserva y aísla al microcontrolador
Relés y contactos	Permiten e interrumpen el paso de corriente para brindar control a los circuitos de forma electromagnética
Elementos de señalización	Indican de forma luminosa las salidas del PLC, representando la activación de actuadores eléctricos
Fuente de fuerza	Proporciona una señal de voltaje de 24VDC para alimentar los actuadores eléctricos (electroválvulas, motores, luces piloto, etc...)

Todos los módulos tendrán conectores jack banana hembra como los que se indican en la Figura 52, con el objetivo de obtener las señales de entrada o salida según se requiera en cada práctica y también se usaran clips adaptadores para fijar los módulos.

Figura 52

Conector jack banana hembra (a) y adaptador para riel din (b).



Las cajas donde se armarán los módulos deben ser livianas y fáciles de perforar para ubicar los jacks banana y los adaptadores para riel din de 35 mm con los que se van a sostener

en el espacio 1 de la estructura, por tal razón, se ha decidido usar cajas de paso como las de la Figura 53 con dimensiones de 22x17x9 mm.

Figura 53

Cajas de paso para los módulos (a) y caja series ES Pizzato (b)



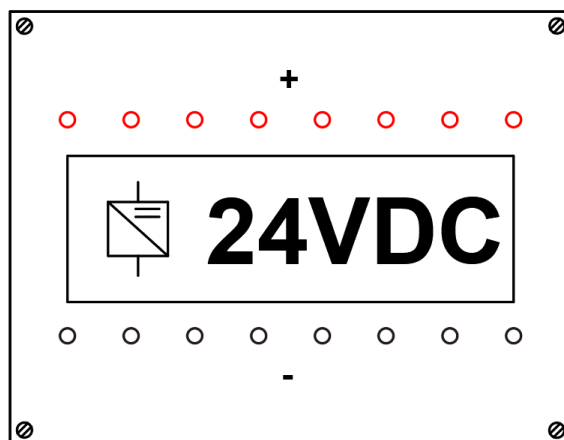
Para los elementos de mando y las luces piloto existen cajas de la marca Pizzato disponibles en la empresa donde se adaptan los interruptores, pulsadores o luces de 22 mm de diámetro y se instalarán con los clips de 35 mm para riel din.

Módulo fuente de control

Tomando en cuenta que el módulo principal es el del PLC y este cuenta con 8 entradas y 8 salidas, se seguirá el mismo patrón para el diseño del módulo para la fuente de los elementos de control, se tendrán 8 nodos positivos y 8 nodos negativos desde los cuales se podrán alimentar los módulos de mando, los sensores industriales y las salidas del PLC. El diseño de este se muestra en la Figura 54 y las señales serán tomadas de la fuente de 2.5 [A].

Figura 54

Módulo Fuente de Control

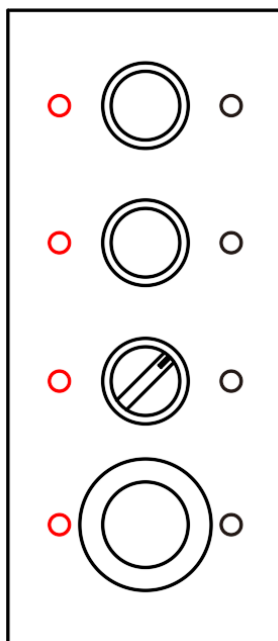


Módulo elementos de mando

Estos elementos permiten controlar el circuito de forma manual, por lo que son muy importantes para el desarrollo de prácticas electroneumáticas, se tendrá a disposición un pulsador de inicio (NA), un pulsador de paro (NA), un selector de dos posiciones y un botón de paro de emergencia (NA), como se muestra en la Figura 55, estarán montados en una caja de la marca Pizzato para 4 elementos.

Figura 55

Módulo Elementos de Mando.







Módulo sensores industriales

En este apartado se definirán los sensores con los que se va a trabajar y por ende el módulo diseñado para conectarlos, por requerimientos de la empresa se solicitó trabajar con sensores de posición ya que solamente se necesita registrar el recorrido o fin de los cilindros o actuadores neumáticos con los que se está trabajando, para esto se determinó usar 2 finales de carrera, 1 sensor inductivo, 1 sensor capacitivo y 1 sensor fotoeléctrico. En la Tabla 7 se

muestran las especificaciones de los mismos y se justifica el uso de una fuente de control de 2.5 [A] definida en el apartado del sistema eléctrico.

Tabla 7

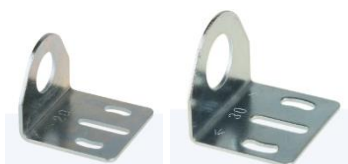
Sensores Industriales.

SENSOR	MARCA	CARACTERÍSTICAS
<p>Final de carrera (1 y 2)</p>	<p>Pizzato</p> 	<p>IP67, carcasa metálica, tipo cable M12 de 5 polos integrado, NA y NC, tensión de alimentación de 24 [VDC] y corriente máxima de 2 [A].</p>
<p>Inductivo (3)</p>	<p>Micro Detectors</p> 	<p>IP67, tipo conector M12 de 3 polos, Lógica PNP, salida NA, tensión de alimentación de 10-30 [VDC] y corriente de carga <400 [mA], alcance nominal de 12 mm y operativo de 0 a 9.7 mm.</p>
<p>Fotoeléctrico (4)</p>	<p>Micro Detectors</p> 	<p>IP67, tipo conector M12 de 3 polos, Lógica PNP, salida NA, tensión de alimentación de 10-30 [VDC] y corriente de carga <100 [mA], alcance nominal de 100 mm con ajuste de sensibilidad.</p>
<p>Capacitivo (5)</p>	<p>Carlo Gavazzi</p> 	<p>IP67, tipo conector M12 de 3 polos, Lógica PNP, salida NA o NC, tensión de alimentación de 20-250 [V] y corriente de carga <500 [mA], alcance nominal de 3 a 12 mm con ajuste de sensibilidad.</p>

Estos elementos también serán fijados en el panel agujereado del sistema mediante accesorios de montaje similares a los de la marca Airtec, como los que se muestra en la Figura 56, se ajustarán de la misma manera con pernos y tuercas.

Figura 56

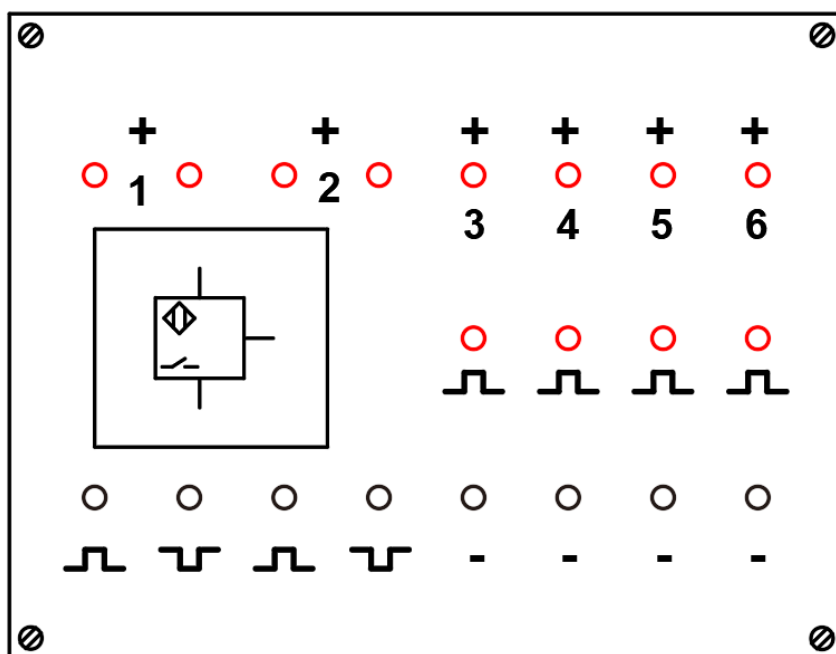
Accesorio de montaje para sensores industriales de 15 y 18 mm.



Una vez definidos los sensores con los que se va a trabajar, se diseña el módulo donde serán conectados, para obtener de esta forma la alimentación desde la fuente y la salida de cada uno de ellos, este módulo se muestra en la Figura 57 y esta numerado de acuerdo al sensor que se debe conectar en cada nodo, en el nodo 6 se encuentra un conector M12 de 3 hilos para usar cualquier otro sensor requerido en alguna práctica extra.

Figura 57

Módulo Sensores Industriales.

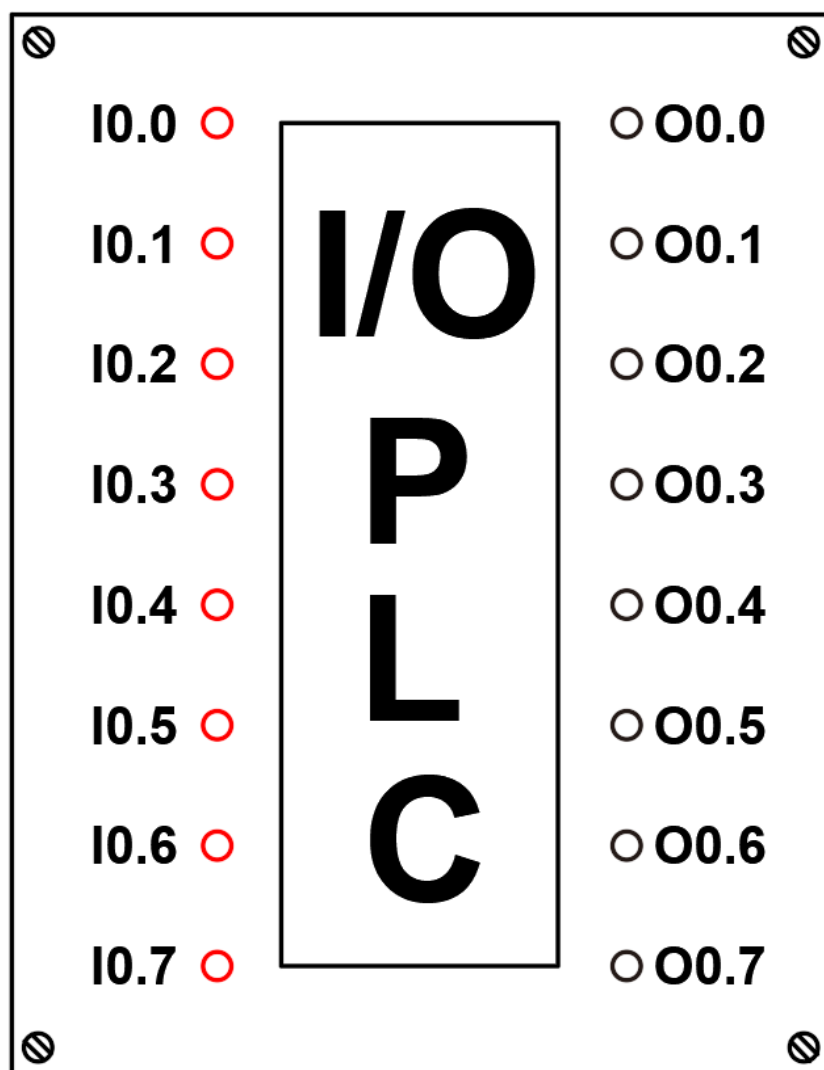


Módulo Entradas/Salidas PLC

A diferencia del sistema eléctrico, en este módulo solo se encontrarán los nodos de conexión para 8 entradas y 8 salidas digitales del PLC, donde solo se tendrán que conectar los elementos de mando o los sensores industriales según demande cada práctica; para cada salida se debe enlazar un relé en el siguiente módulo teniendo que retornar la bobina al negativo de la fuente de control para cerrar el circuito. Este módulo se encuentra en la Figura 58.

Figura 58

Módulo Entradas/Salidas PLC.



Aquí también se usan los conectores de 16 pines que facilitan la obtención de todas las señales desde el tablero de control, esto ayuda a las conexiones y mantiene un orden tanto en el tablero como en los módulos, ya que los cables van por canaletas ubicadas detrás de la estructura.

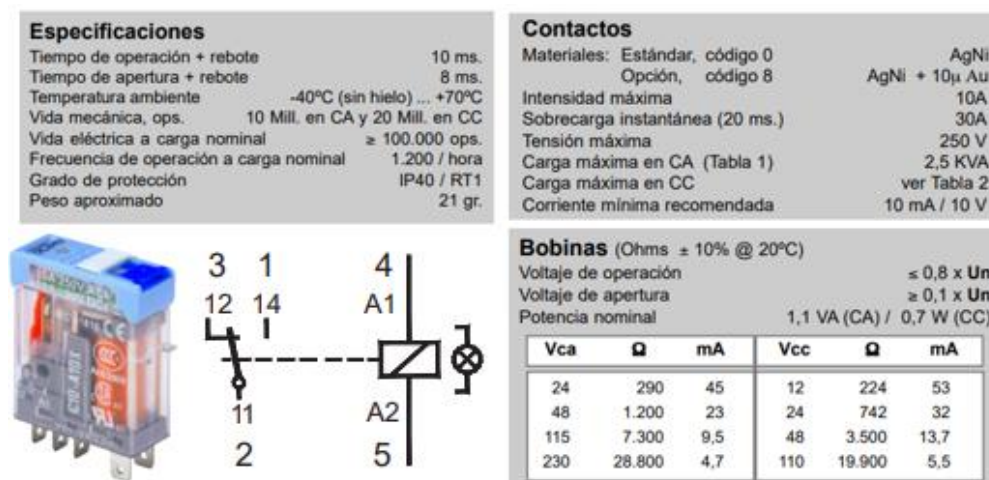
Módulo relés y contactos

En este apartado se diseñará dos módulos para intentar dividir las bobinas de los relés de los contactos tal como sucede en los simuladores, donde se conectan las bobinas a la salida del PLC y los contactos energizan los actuadores o elementos de fuerza como las electroválvulas o las luces indicadoras que trabajan a 24 [VDC].

Los relés que se van a utilizar son los que están disponibles en la empresa de la marca Releco, sus especificaciones se encuentran en la Figura 59, se fijan a un riel din de 35 mm gracias a sus bases desde las cuales se pueden obtener la conexión a la bobina (4 y 5) y a los contactos, en este caso el contacto NA (1 y 2).

Figura 59

Características del relé C10-A10.

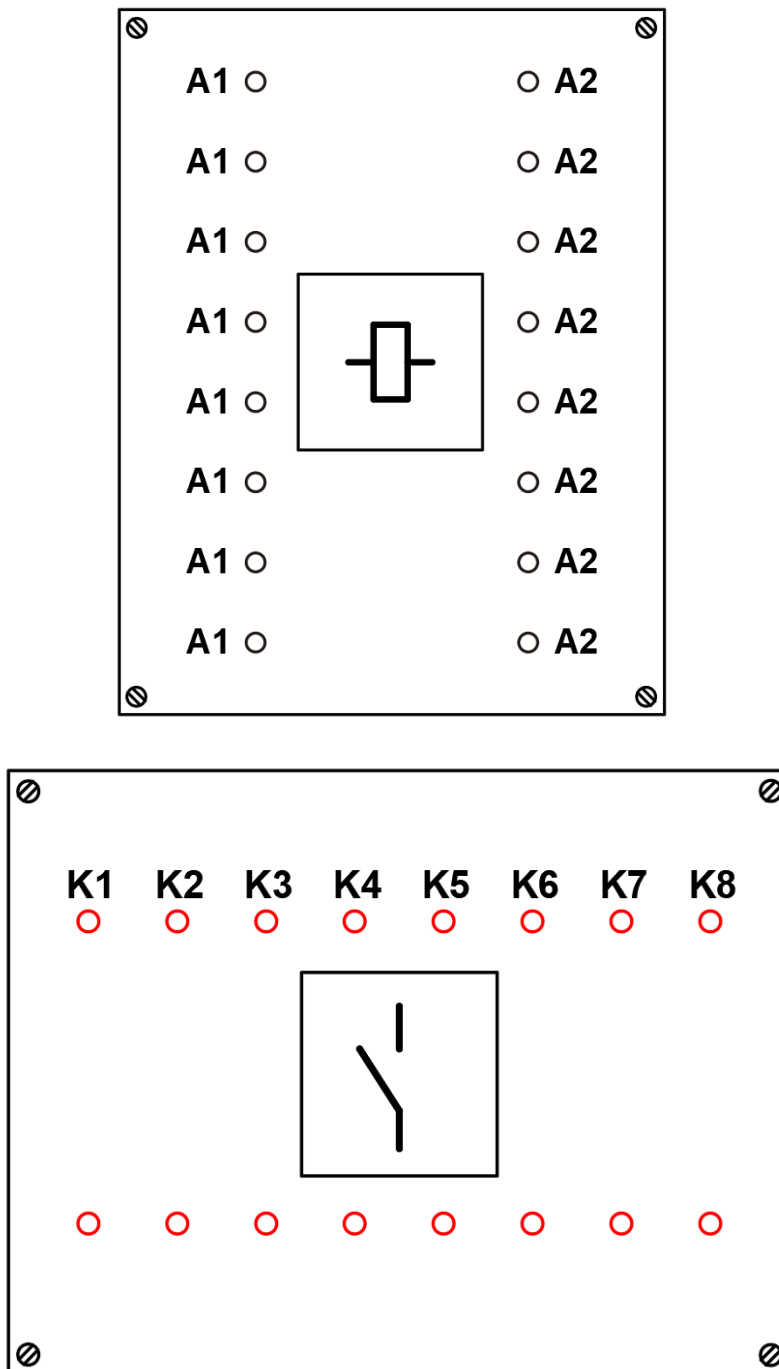


Nota. Adaptado de *Relé 1 polo contacto inversor IRC C10*, por Releco, 2022, Releco Serie IRC (https://www.releco.de/es/Reles-IRC/C10-A1x_es.pdf).

Se dispone de 8 relés, uno por cada salida digital del PLC, numerados de arriba hacia abajo (bobinas) y de izquierda a derecha (contactos), como se muestran en la Figura 60.

Figura 60

Módulo Relés y contactos

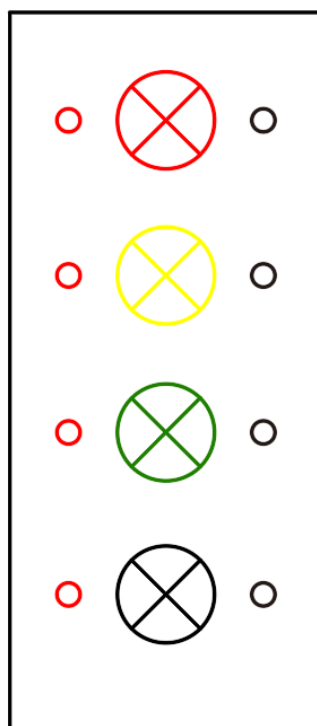


Módulo elementos de señalización

Son elementos indicadores para representar la activación de cualquier actuador eléctrico y sirven como señalización del estado en el que se encuentra el PLC; si está en funcionamiento, paro determinado o paro de emergencia, por eso se ha decidido usar colores estándar como el rojo, amarillo, verde y blanco como se muestra en la Figura 61, de la misma manera se instalarán jacks bananas hembra para conectarlos de una manera sencilla.

Figura 61

Módulo Elementos de Señalización.



Módulo fuente de fuerza

Este módulo es igual al módulo de la fuente de control que se muestra en la Figura 54, con la diferencia de que su alimentación viene dada por la fuente de 4.2 [A] definida en el diseño del sistema eléctrico, se decidió usar esta fuente para separar el circuito de control del circuito de fuerza y porque permite tener más cerca los nodos para conectar las electroválvulas y las luces piloto mencionadas en las secciones anteriores.

Capítulo IV

Adquisición de materiales para la implementación

Con el fin de tener una perspectiva más amplia de los componentes del tablero electroneumático se presenta en la Tabla 8 un resumen de la lista de materiales para la estructura, los elementos eléctricos y electrónicos para el tablero de control, los dispositivos neumáticos y los sistemas modulares que lo conforman, con su respectivo costo y determinación del valor total que se requiere para desarrollar este proyecto.

Tabla 8

Lista de materiales

Componente	Cantidad	Costo
<i>Estructura</i>		
Hierro negro 40x20x1.2 mm	3	37.30
Hierro negro 25x12x1.2 mm	1	6.80
Tabla MDF150x50 cm	1	35.99
Ruedas para 40 Kg	4	10.00
Electrodos	1 kg	17.50
Discos de corte	2	5.00
Bisagras 2 1/2	4	1.20
Riel din 35 mm	150 cm	3.73
Pintura	4	9.15
Panel tipo agujereado 90x60 cm	1	80.00
<i>Tablero de control</i>		
PLC Vipa M13C	1	555.00
Fuente Mean Well 2.5 [A]	1	80.00
Fuente Carlo Gavazzi 4.2 [A]	1	130.00
Conductores eléctricos 18 AWG	50 m	7.50
Interruptor diferencial Iskra 6 [A]	1	15.00
Portafusible	4	15.40
Bornera de conexión a tierra	1	3.50
Bornera simple	4	3.80

Componente	Cantidad	Costo
Bornera doble	15	39.17
Separadores	11	8.80
Conector de 3 pines y tierra	6	156.00
Conector de 16 pines	4	286.00
Canaleta ranurada 40x60 mm	2	18.50
Pernos y tuercas	100	20.00
Enchufe industrial	1	2.50
Riel din 35 mm	50 cm	1.00
Gabinete metálico 60x40x20 cm	1	104.12
Brocas y herramientas varias	1	0.00
Componentes neumáticos		
Compresor Porten 1.5 Hp	1	224.44
Unidad de mantenimiento Airtec	1	115.00
Accesorio de montaje UM	1	4.75
Válvula neumática 3/2	3	255.00
Válvula neumática 5/2	3	270.00
Enchufes para válvula	6	19.50
Bobinas para válvula	6	48.00
Accesorio colector 3 válvulas	2	56.00
Válvula reguladora de caudal	4	112.00
Accesorios de montaje válvulas	8	13.00
Cilindros simple efecto	2	100.00
Cilindros doble efecto	4	194.00
Accesorios de montaje de cilindros	6	19.10
Manguera de PU 6 mm	4 m	6.20
Manguera de PU 8 mm	1 m	2.15
Conectores rápidos 1/8	25	52.50
Conectores rápidos M5	6	15.00
Tapones neumáticos 1/8	12	11.40
Silenciadores neumáticos 1/8	9	16.65
Sistemas modulares		
Cajas de paso 22x17x9 mm	6	66.18

Componente	Cantidad	Costo
Cajas series ES Pizzato	2	50.00
Conectores banana hembra	125	31.25
Conectores banana macho	100	25.00
Conductor eléctrico 16 AWG	25 m	5.75
Relé de 1 polo 24 VDC	8	88.00
Base para relé de 1 polo	8	33.60
Fin de carrera Pizzato	2	130.00
Sensor inductivo Microdetectors	1	65.00
Sensor fotoeléctrico Microdetectors	1	115.00
Sensor capacitivo Carlo Gavazzi	1	131.00
Conectores M12 de 3 polos	6	63.00
Accesorios de montaje 12 mm	4	12.00
Accesorios de montaje 18 mm	1	5.00
Pulsadores NA	2	22.00
Selector dos posiciones	1	16.50
Pulsador paro de emergencia	1	20.50
Luces piloto 24 VDC	4	40.00
Conector de 3 pines y tierra	4	104.00
Conector de 16 pines	2	143.00
Riel din 35 mm	25 cm	0.50
COSTO TOTAL DE MATERIALES + 12%iva		4877.52

Implementación de la estructura

En primera instancia se empezó con la construcción de la estructura metálica, de tal manera que se adquirieron todos los materiales necesarios para su desarrollo y con la ayuda de un técnico mecánico eléctrico y las herramientas elementales como; una soldadora de arco para electrodo, una amoladora, un flexómetro, entre otras, se sigue el diseño expuesto en el capítulo III obteniendo como resultado la estructura mostrada en la Figura 62. Este proceso tardó alrededor de dos semanas para completarlo.

Figura 62

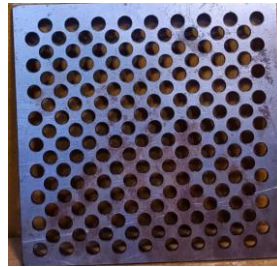
Implementación de la estructura



Luego de esto se liman todos los excesos de suelda y se pinta completamente la estructura para evitar que se oxide antes de colocar la tabla y ajustar el panel agujereado con las bisagras. En la Figura 63 se muestra el patrón del panel.

Figura 63

Patrón del panel agujereado con zinc de 1.2 mm



Implementación del tablero de control

Mientras se espera el tiempo de entrega del panel agujereado, se adquiere el gabinete metálico auto soportado donde se arma el tablero de control como se muestra en la Figura 64, dicho procedimiento duró una semana aproximadamente, con varios pros y contras; uno de los problemas que causó demora del trabajo fue conseguir brocas para perforar el acero inoxidable del doble fondo que trae el SBox, sin embargo se facilitó la labor y tiempos de espera al momento de que todos los demás materiales se encontraron disponibles en la empresa.

Figura 64

Implementación del tablero de control



Con la ayuda de los planos mostrados en el diseño se termina el tablero según lo establecido, se tienen todos los puntos de conexión como se muestra en la Figura 65, además de que los cables cumplen con el código de colores establecido manteniendo un orden y siguiendo las conexiones por si algo falla en determinado momento.

Figura 65

Tablero de Control implementado



Implementación de los sistemas modulares

Luego se procede a implementar los sistemas modulares con las cajas de paso como se estableció en el diseño, este proceso se muestra en la Figura 66, para ello se requiere de herramientas como las ponchadoras, peladoras y un flexómetro. Dicha implementación se realizó en un lapso de dos semanas, por la cantidad de módulos y el proceso que conlleva armar cada uno de ellos.

Figura 66

Implementación de los sistemas modulares



También se colocaron los conectores descritos y el clip adaptador para que los módulos se fijen al riel din de 35 mm, como está expuesto en la Figura 67.

Figura 67

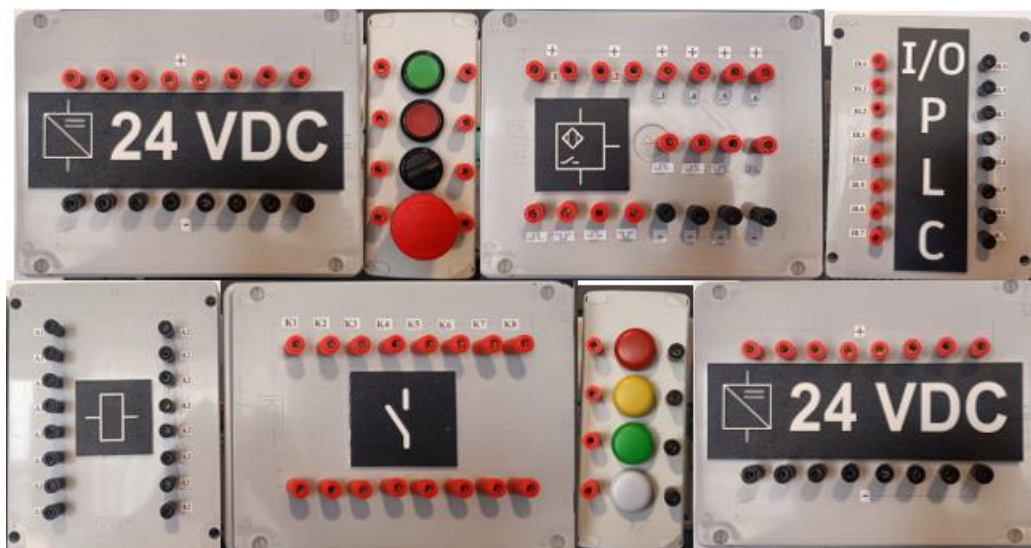
Implementación de los adaptadores de riel din



A continuación, se tienen los módulos completados, tal como se muestra en la Figura 68, estos son fijados en un riel din de tal manera que se pueda montarlos y desmontarlos para usar el orden que se requiera en las prácticas de laboratorio o las asesorías técnicas de la empresa.

Figura 68

Sistemas modulares implementados



Implementación del sistema neumático

Una vez fijados los módulos se pudo completar la implementación del tablero colocando los elementos neumáticos al panel agujereado, para esto se usaron pernos y tuercas con el fin de ajustarlos y orientarlos a la posición deseada, como se observa en la Figura 69.

Figura 69

Implementación de los componentes electroneumáticos



El panel tipo ventana facilita el montaje de los elementos electroneumáticos, lo que permite orientar estos componentes a conveniencia del usuario, además se mantiene un orden y es de fácil acceso para que no exista inconvenientes al momento de interconectar la parte eléctrica con la parte neumática, conforme se visualiza en la Figura 70.

Figura 70

Panel agujereado tipo ventana para componentes electroneumáticos



Finalmente se muestra la implementación total del tablero electroneumático en la Figura 71, donde se encuentran los 3 sistemas diseñados (eléctrico, neumático y modulares).

Figura 71

Tablero electroneumático implementado



Capítulo V

Programación del PLC

Para programar un PLC es necesario conocer ciertos aspectos como los que se va a tratar en este capítulo, es importante conocer el sistema de control del tablero electroneumático para poder manipularlo y realizar las prácticas.

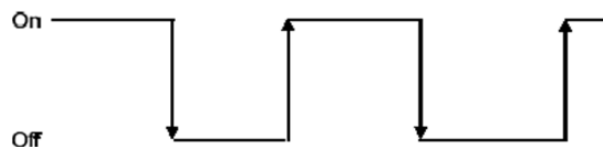
El elemento de control como ya se ha descrito en capítulos anteriores es un PLC Vipa M13C de la marca Yaskawa, tiene varios lenguajes de programación, sin embargo, se lo dispondrá en lenguaje Ladder a partir de la lógica del Grafcet para sistemas secuenciales de control ON-OFF.

Control ON-OFF

Un sistema de control es un conjunto de elementos que interactúan entre sí para garantizar que la salida de un proceso se comporte según lo previsto a través de acciones de control. El control ON-OFF, también llamado control de todo o nada, se caracteriza porque la acción tiene dos posiciones, las cuales son fijas de acuerdo al tamaño de la señal, normalmente estas posiciones serán de encendido o apagado, y más del 70% de las aplicaciones industriales se resuelven aplicando este control, su comportamiento se muestra en la Figura 72.

Figura 72

Control ON-OFF clásico

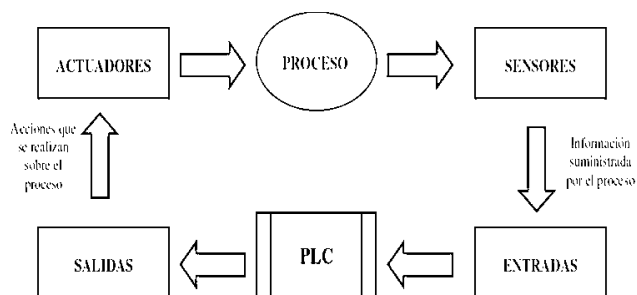


Al tratarse de un tablero electroneumático para realizar prácticas de laboratorio de dificultad básica e intermedia, donde se requiere observar el movimiento de los cilindros representando algún proceso, este control es el apropiado para el proyecto, ya que se requiere encender o apagar las electroválvulas para que los cilindros realicen su recorrido hasta la

posición final y con esto completar una secuencia establecida, para esto se debe tener en cuenta el PLC en los procesos como se muestra en la Figura 73.

Figura 73

PLC en los procesos

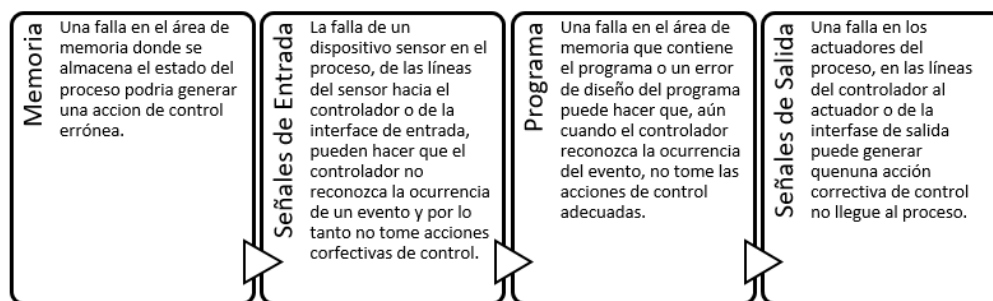


Nota. Adaptado de *PLC en los procesos*, (p. 17), por Sotomayor, 2020, Conceptos de PLC, Departamento de Eléctrica y Electrónica, ESPE.

Por lo tanto, se pueden presentar problemas del PLC en el proceso como los que se muestran en la Figura 74.

Figura 74

Problemas del PLC en el proceso



Ladder

También nombrado lenguaje de escalera es un tipo de lenguaje específico para programar PLC ya que ocupa la lógica de relés y contactos de los esquemas de control, en este apartado se revisarán las definiciones básicas para empezar a programar.

Como primer punto se tiene la lógica digital, donde se representa una función AND en la Figura 75 y representa un circuito en serie donde si uno de los elementos no está activado no

se activa la salida y una función OR en la Figura 76 que representa un circuito en paralelo donde si uno de los elementos esta activado la salida se activa.

Figura 75

Función AND

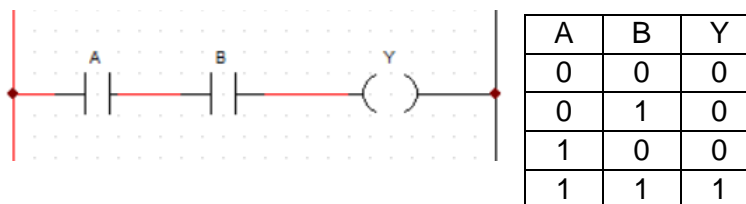
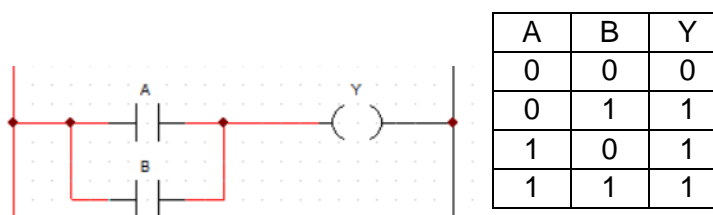


Figura 76

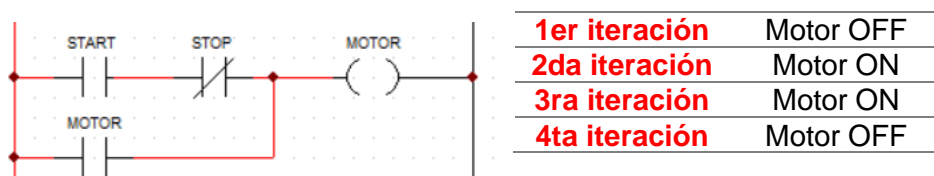
Función OR



A continuación, se debe entender las iteraciones en donde juega un papel muy importante el **ciclo scan** que es el tiempo de exploración del PLC (lee, ejecuta y escribe), para esto se presenta un ejemplo en la Figura 77 que representa un enclavamiento o también llamado circuito master set, muy utilizado en este tipo de programación para enclavar el estado de las salidas.

Figura 77

Iteraciones y ciclo scan



Una vez entendidos estos conceptos se empieza con el primer paso para programar un PLC; el cual es la tabla de asignación de recursos, donde se nombra y se direccionan todas las

entradas y salidas que se van a utilizar para cada práctica, en la Tabla 9 se tiene un ejemplo general de cómo debería realizarse esta tabla, además de que en cada software para programación de PLC existe una interfaz dedicada para esto.

Tabla 9

Ejemplo de una tabla de asignación de recursos

Tipo	Término	Símbolo	Dirección
Entradas	E1	Vehículo	I 0.0
	E2	Cerrada	I 0.1
	E3	Abierta	I 0.2
Salidas	S1	Cerrar	Q 0.0
	S2	Abrir	Q0.1
	LED1	Luz piloto	Q0.2
Temporizador	T1	Tiempo	T5

Luego se realizan los circuitos esquemáticos, tanto de control como de fuerza, para entender mejor el proceso que se va a automatizar, estos deben basarse en normativas o estándares establecidos según lo requiera cada empresa, a continuación, en la Figura 78 se muestran los símbolos de la norma IEC60617, una de los más usados en el ámbito de la ingeniería.

Figura 78

Símbolos gráficos según la norma IEC

Código y Símbolo	Símbolo	Definición	Código y Símbolo	Símbolo	Definición	Código y Símbolo	Símbolo	Definición
03-00-01		Tipo de Contacto y Tensión	07-71-01		-Contactos con dos o tres posiciones	03-01-01		Conexión
03-00-02		La acción puede volverse a la derecha del símbolo y a la izquierda en el espacio	07-71-01		Forma 1	03-01-02		Conexión con línea horizontal de propagación de
03-00-03		El valor nominal de la tensión y del rango de temperatura para utilizarlos debe estar en el símbolo	07-71-01		Forma 2	03-01-03		Conexión con línea horizontal de propagación y línea vertical
03-00-04		Controlo automático de flujo	07-71-02		Contacto de corte	03-01-04		Conexión con línea horizontal de propagación y línea vertical
03-00-05		Controlo manual de flujo	07-71-02		Contacto de corte	03-01-05		Conexión con línea horizontal de propagación y línea vertical
03-00-06		Controlo de flujo	07-72-01		-Secundario de un solo polo	03-01-06		Conexión con línea horizontal de propagación y línea vertical
03-00-07		Controlo de flujo	07-72-01		Contacto operado manualmente, símbolo general	03-01-07		Conexión con línea horizontal de propagación y línea vertical
03-00-08		Controlo de flujo	07-72-02		Interruptor con botón pulsador para hacer contacto de corte y restablecer automáticamente	03-01-08		Conexión con línea horizontal de propagación y línea vertical
03-00-09		Controlo de flujo	07-74-01		-Sensores y Deflecciones	03-01-09		Conexión con línea horizontal de propagación y línea vertical
03-00-10		Controlo de flujo	07-74-01		Sensor de proximidad	03-01-10		Conexión con línea horizontal de propagación y línea vertical
03-00-11		Controlo de flujo	07-74-02		Dispositivo sensible a la proximidad, símbolo de bloque	03-01-11		Conexión con línea horizontal de propagación y línea vertical
03-00-12		Controlo de flujo	07-74-03		Dispositivo sensible a la proximidad que funciona como de un material sólido	03-01-12		Conexión con línea horizontal de propagación y línea vertical

Finalmente, después de establecer la documentación necesaria del proceso, se puede empezar con la programación del PLC, tomando en cuenta dos de los bloques más usados en los procesos, los temporizadores y los contadores.

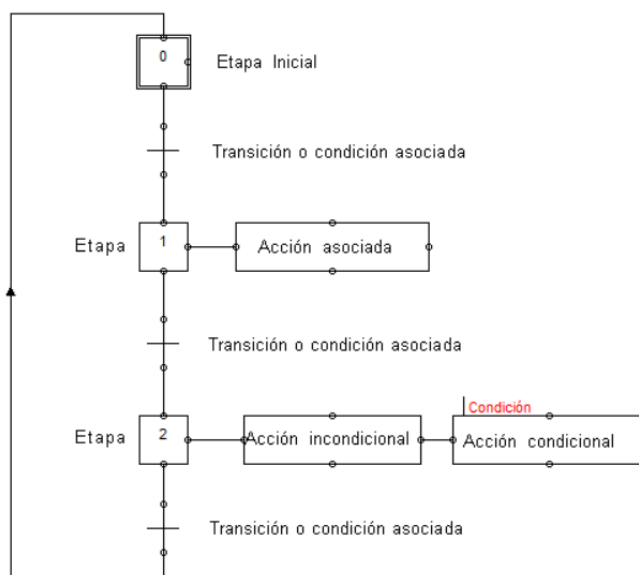
- Los temporizadores son variables de tipo word (palabra) que ocupan un espacio de memoria en el PLC de 16 bits, este registro cuenta con variables, entre las que siempre se deben configurar están el preset (tiempo meta), el acum (tiempo transcurrido) y el timer base (base de la unidad de tiempo).
- Los contadores también son registros de 16 bits, y sus dos variables más importantes a configurar son el preset (N.º de eventos al que se quiere llegar), el acum (N.º actual de eventos dados) y el CV (control de conteo).

Grafcet

El gráfico de orden etapa transición es una herramienta para representar automatismos secuenciales, normalizado por la IEC848, en la Figura 79 se muestra un ejemplo general de este tipo de lenguaje de programación.

Figura 79

Grafcet general



Del mismo modo que en Ladder, primeramente, se deben establecer los identificadores de área, los cuales son los recursos del PLC como los contadores, temporizadores, entradas y salidas, luego se definen las variables que intervienen y se asignan las direcciones de memoria para que finalmente se comience con el Grafcet, el cual consta de las siguientes partes o símbolos normalizados:

- Etapas: representan cada estado que conforma el Grafcet, llevando cada una varias acciones a realizar sobre el proceso, se representan con un cuadro y un número o símbolo. Las acciones iniciales siempre se representan por un cuadro doble. (ISA-UMH, 2012)
- Acción asociada: son una o varias acciones a realizar sobre el proceso, depende solamente de las etapas, mas no de las transiciones. Pueden ser de dos tipos, las incondicionales que se ejecutan con solo quedar activada la etapa correspondiente y las condicionales que necesitan del cumplimiento de una condición además de la etapa. (ISA-UMH, 2012)
- Transición o condición asociada: están asociadas a las entradas del sistema, el paso de una etapa a otra tiene que cumplir las condiciones de transición. Para poder validar la transición, la etapa anterior debe estar activada, cuando ya se cumple y se activa la etapa actual, la etapa anterior se desactiva. (ISA-UMH, 2012)

Para una correcta utilización de esta herramienta se deben cumplir varias reglas como las que se muestran en la Figura 80.

Figura 80

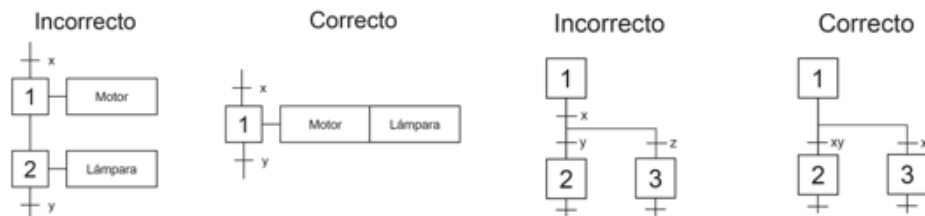
Reglas para el uso del Grafcet

Regla 1

- La etapa inicial de un Grafcet se activan de forma incondicional. Esta situación inicial se corresponde en general con una situación de reposo.

Regla 2

- No pueden existir 2 etapas seguidas sin transiciones de por medio, así como tampoco transiciones seguidas.



Regla 3

- Una etapa puede tener asociada más de una acción

Regla 4

- El proceso se descompone en una sucesión de etapas que se activan una a continuación de otra dependiendo de la validación de las transiciones.

Regla 5

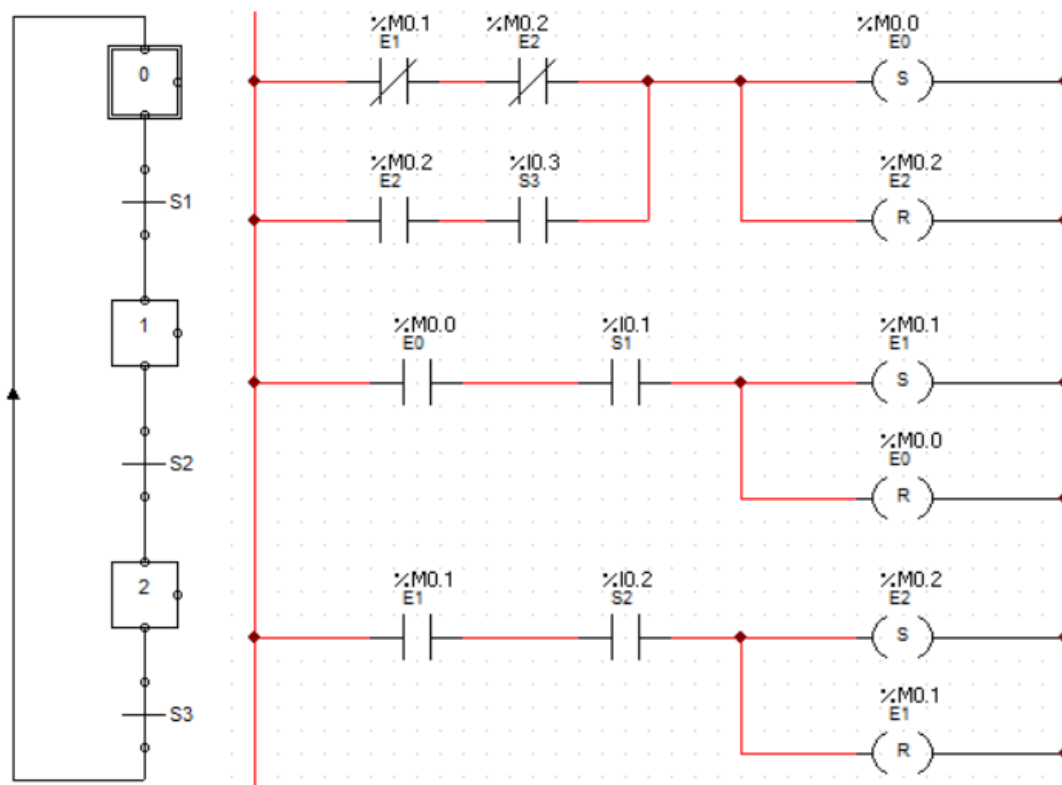
- La validación de una transición implica la activación de la etapa siguiente y la desactivación de todas las anteriores simultáneamente

Regla 6

- Si existe un lazo cerrado en una etapa, al evaluarse la transición, la etapa debe activarse y desactivarse al mismo tiempo. Se debe cumplir con el criterio de prioridad que determina la etapa que debe permanecer activa.

Implementación del Grafcet sobre el PLC

Se puede trasladar la lógica usada para realizar el Grafcet a lenguaje Ladder que es con el que se va a programar el PLC, para esto cada una de las etapas que se haya creado tiene que relacionarse a una variable interna o marca de memoria. Luego, las condiciones de transición son las que activaran o se desactivaran las etapas anteriores con la ayuda de las instrucciones Set y Reset que se encuentran en el software de programación, en la Figura 81 se muestra un ejemplo de esta implementación.

Figura 81*Implementación del Grafset en Ladder*

A lo largo de la programación de varias secuencias se presentarán estructuras lógicas, entre las más usadas la divergencia y convergencia tanto AND como OR, para la toma de decisiones o sincronismo de secuencias, también se tendrán saltos condicionales entre etapas y la activación de las acciones asociadas para activar los actuadores en cada etapa del proceso, esto se usará conforme se vaya avanzando en las prácticas.

Configuración de la herramienta de programación

La herramienta de programación que se usará es el SPEED7 Studio, que mapea el proceso de automatización completo, desde la configuración del hardware, la comunicación y la programación hasta la visualización, tiene un entorno parecido al Tia Portal de Siemens ya que sus interfaces de usuario son intuitivas y permiten el acceso inmediato a los diferentes módulos.

Se deben tener en cuenta los requisitos mínimos del sistema para poder usar el programa sin ningún inconveniente y son los siguientes:

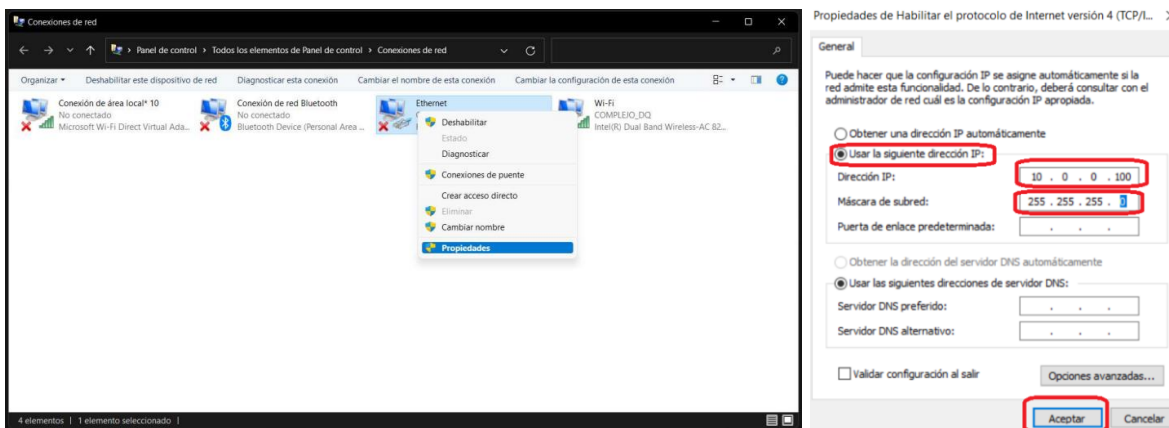
- Procesador: Intel Pentium 4 o AMD Athlon 64
- Sistema operativo: Microsoft Windows 7, 8 o 10.
- Memoria de trabajo: 2 GB de RAM.
- Espacio en el disco duro: al menos 12 GB
- Tarjeta gráfica: 256 MB de VRAM

El programa tiene una versión gratuita que se puede descargar directamente desde la página de Vipa, una vez instalado siguiendo los pasos del ejecutable se debe realizar la comunicación del PLC con el software como se muestra a continuación:

- I. Como primer paso se debe realizar la configuración de red e internet del puerto correspondiente >> Ethernet >> Ethernet 2 >> propiedades >> habilitar el protocolo de internet versión 4 (TCP/IPv4), se coloca la dirección IP por defecto (10.0.0.100) correspondiente, su máscara de subred (255.255.255.0) y aceptar como se muestra en la Figura 82.

Figura 82

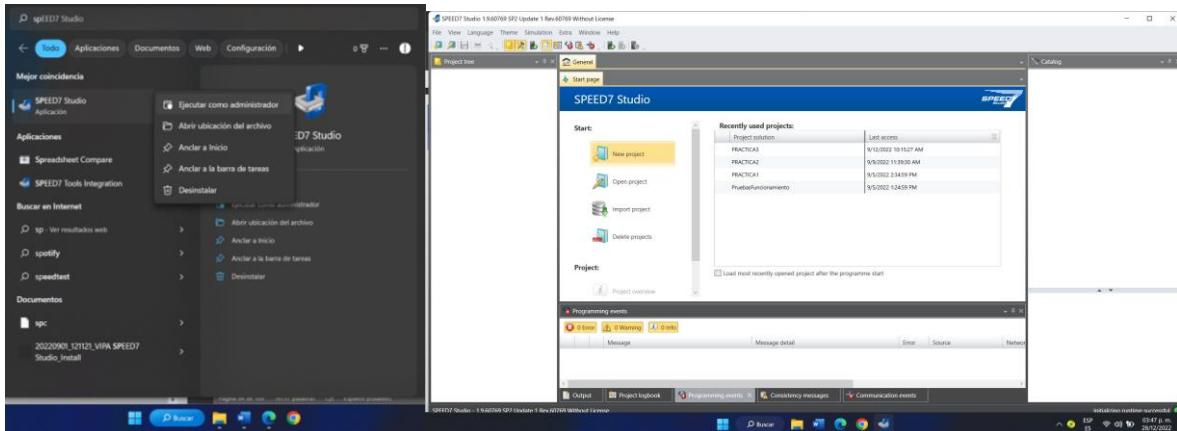
Paso 1 para la programación del PLC



- II. Ejecutar Speed7 Studio como administrador y dar clic en New Project como se muestra en la Figura 83.

Figura 83

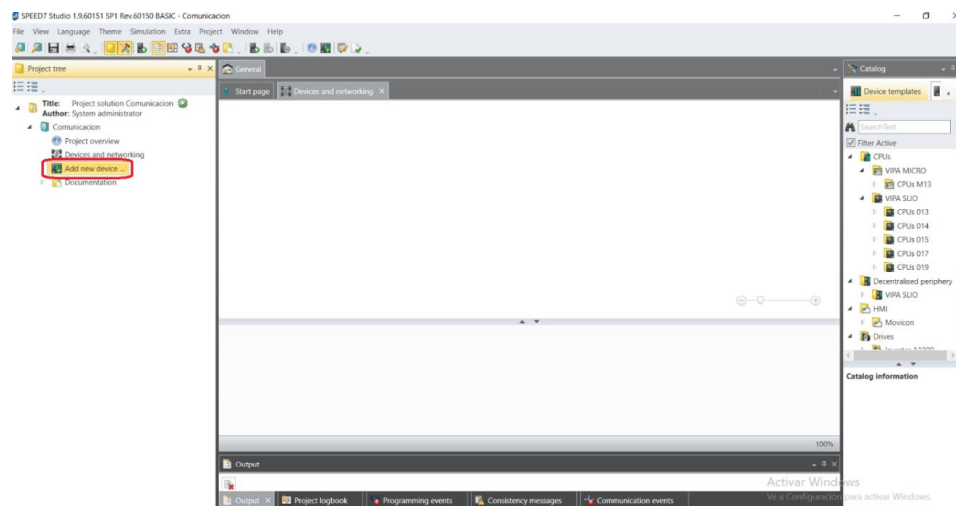
Paso 2 para la programación del PLC



- III. Colocar un nombre al proyecto y añadir un nuevo dispositivo como se muestra en la Figura 84.

Figura 84

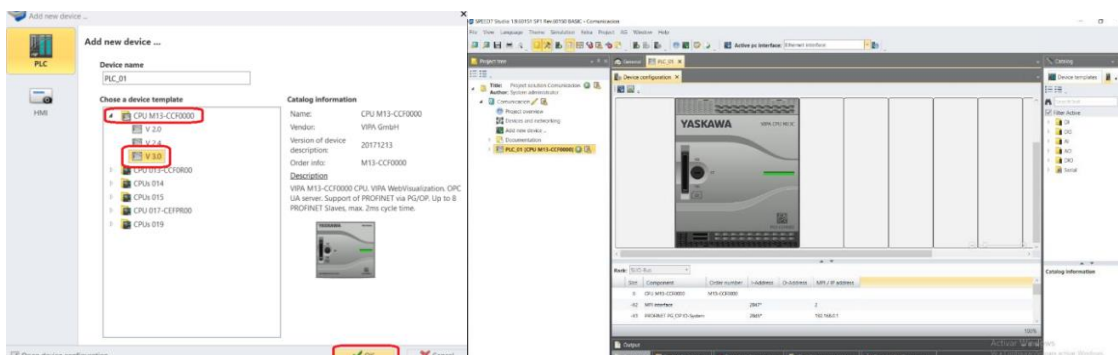
Paso 3 para la programación del PLC



- IV. Escoger la CPU que se desea programar con su versión más actual como se muestra en la Figura 85 y finalmente aceptar.

Figura 85

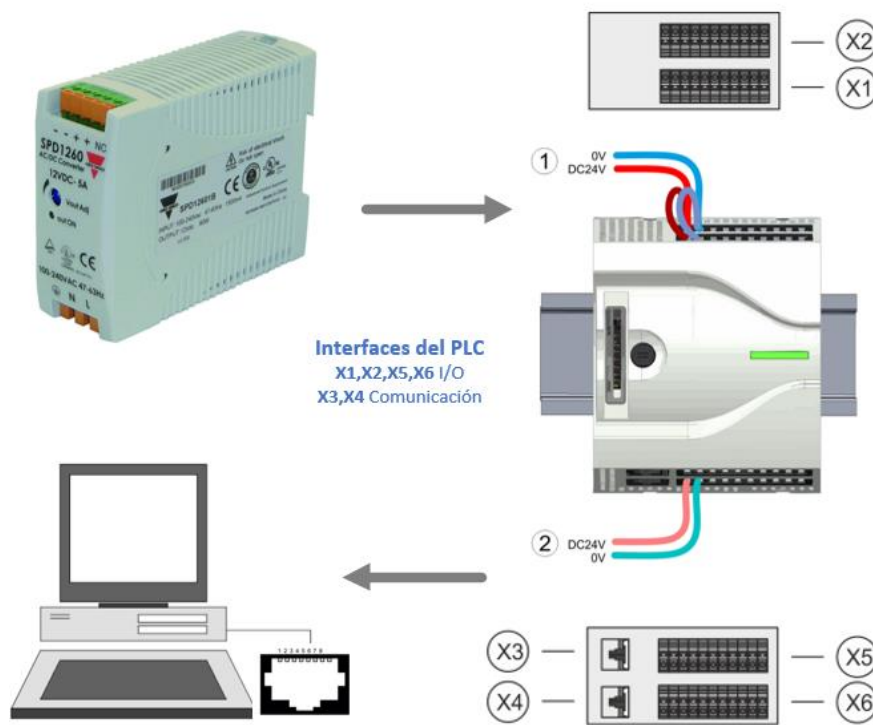
Paso 4 para la programación del PLC



- V. Posteriormente se procede a conectar la fuente de 24 VDC hacia la alimentación del PLC (X1, X2, X5 y X6) y por medio de un cable ethernet conectamos la interfaz de comunicación del PLC (X3 o X4) hacia algún puerto Ethernet libre de la PC como se muestra en la Figura 86.

Figura 86

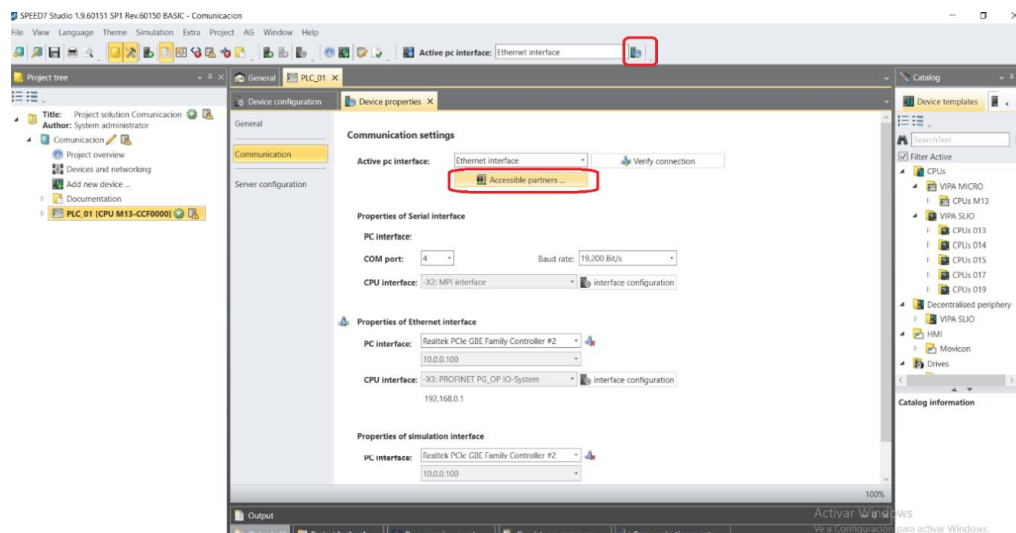
Paso 5 para la programación del PLC



- VI. Dentro del Speed7 Studio se elige en la parte superior el ícono que dice propiedades de dispositivo >> Accessible partners como se muestra en la Figura 87.

Figura 87

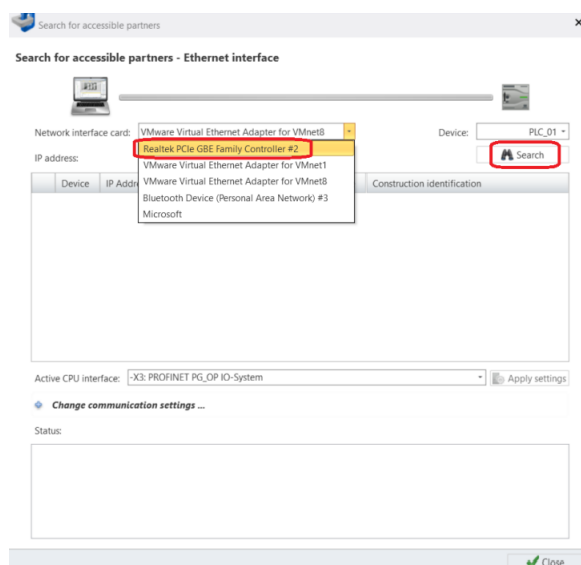
Paso 6 para la programación del PLC



- VII. Se escoge el puerto ethernet (tarjeta de red donde se conecta el PLC) seleccionado y clic en Search como se muestra en la Figura 88.

Figura 88

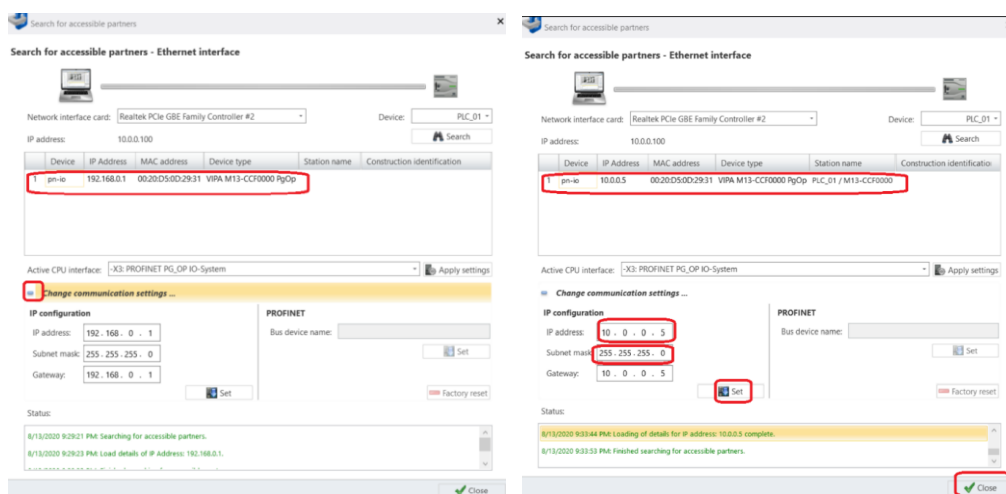
Paso 7 para la programación del PLC



- VIII. Se despliega la dirección IP del equipo. Dar clic en cambiar la configuración de comunicación, Seguidamente colocar la dirección IP y máscara deseada por el usuario. Luego dar clic en Set, se cargará el PLC con la nueva dirección IP como se muestra en las siguientes imágenes respectivamente. Finalmente dar clic en close como se muestra en la Figura 89.

Figura 89

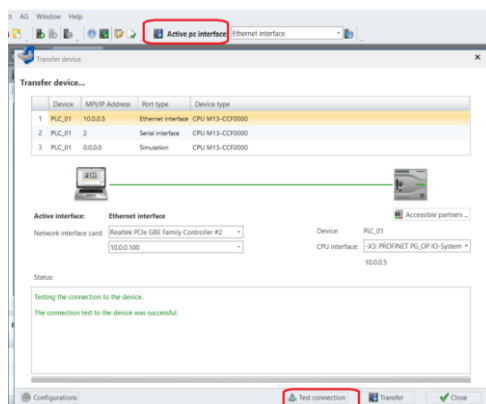
Paso 8 para la programación del PLC



- IX. Para verificar dar clic en interfaz de pc activa >> prueba de conexión, si no existe ningún problema se tiene los mensajes de conexión correcta como se muestra en la Figura 90.

Figura 90

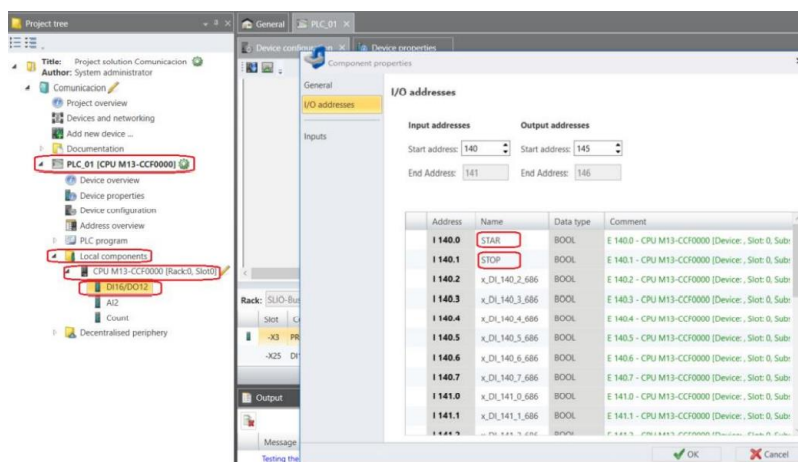
Paso 9 para la programación del PLC



- X. Dar clic en PLC_01 >> Local components >> CPU M13 >> DI16/DO12, seguidamente se eligen dos entradas digitales como START y STOP, además de una salida digital llamada MOTOR y finalmente clic en ok como se muestra en la Figura 91.

Figura 91

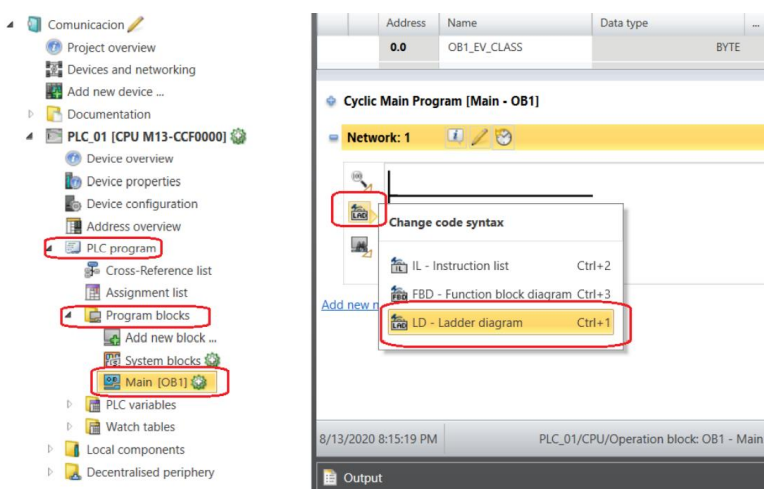
Paso 10 para la programación del PLC



- XI. Se escoge el lenguaje de programación dando clic en PLC program >> Program blocks >> Main >> change code syntax >> Ladder diagram como se muestra en la Figura 92.

Figura 92

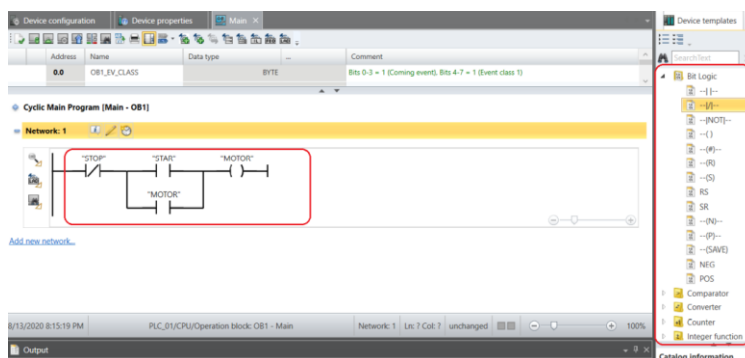
Paso 11 para la programación del PLC



- XII. Una vez escogido el lenguaje de programación se despliega las herramientas de programación, seguidamente se realiza un programa de verificación como se muestra en la Figura 93.

Figura 93

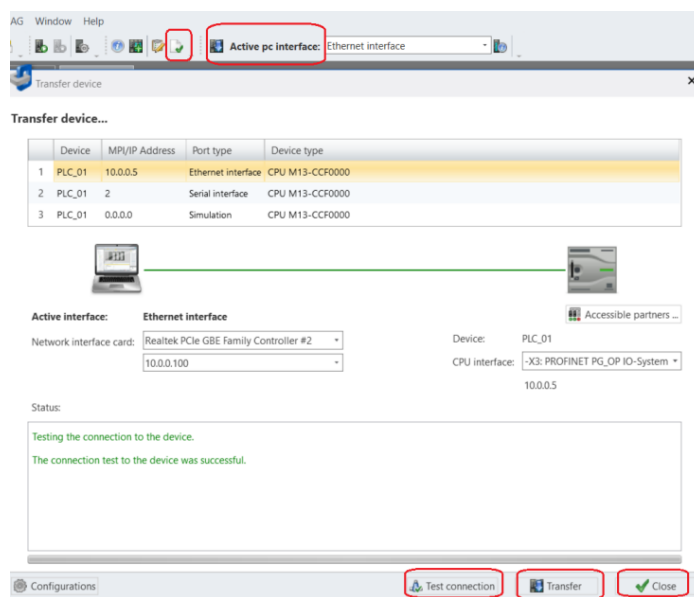
Paso 12 para la programación del PLC



- XIII. Una vez realizado el programa se procede a compilar >> interfaz de pc activa >> test connection >> transfer >> close como se muestra en la Figura 94, para comprobar que la comunicación entre el PLC y la PC es correcta y el programa realizada compila

Figura 94

Paso 13 para la programación del PLC



Capítulo VI

Antes de iniciar con las pruebas de funcionamiento se plantearán las guías prácticas con las cuales se van a analizar los resultados, esto con el fin de probar el tablero de una manera dinámica y como inicio a las actividades que se desean desarrollar posteriormente en la empresa para brindar capacitaciones técnicas.

Guía de Práctica N°0

Tema:

Reconocimiento del tablero electroneumático y primer programa

Objetivos:

- Identificar los elementos del sistema eléctrico, neumático y los sistemas modulares
- Implementar un programa básico para comprobar la comunicación del PLC con la PC mediante ethernet
- Comprobar el funcionamiento correcto de todo el sistema electroneumático

Materiales:

- Tablero electroneumático
- PC con instalación de Speed7 Studio
- Cable de red ethernet
- Cables de conexión tipo banana-banana macho
- Tubería PU de 6 mm

Procedimiento:

- Analizar e identificar que los diagramas esquemáticos del tablero electroneumático coincidan con la distribución física del mismo
- Realizar las conexiones necesarias para energizar el tablero electroneumático y sus componentes

- Implementar un programa básico en Ladder que active una salida mediante la activación de una entrada del PLC

Planteamiento:

Comprobar que todas las entradas, salidas, nodos y puntos de conexión tanto eléctrica como neumática se encuentran funcionando con normalidad, para esto se realiza un programa en Ladder básico que con la activación de cualquier entrada de las 8 que se tiene en un módulo del PLC se desplace un cilindro neumático o se encienda una luz piloto en el tablero por la activación de sus respectivas bobinas, esto se realiza en reiteradas ocasiones para comprobar que todos los elementos instalados se encuentran en óptimas condiciones para trabajar y como reconocimiento del software y del hardware con los que se van a trabajar.

Guía de Práctica N°1**Tema:**

Diseño, simulación e implementación de un sistema electroneumático básico

Objetivos:

- Diseñar un sistema electroneumático que dé solución a una secuencia básica con dos electroválvulas y dos cilindros neumáticos
- Simular el funcionamiento de un sistema electroneumático, acorde a los requerimientos establecidos
- Implementar los elementos que constituyen al sistema neumático en base a los requerimientos establecidos

Materiales:

- 1 computador personal, con instalación de FluidSim Neumático
- Tablero electroneumático
- Cables banana-banana tipo macho
- Manguera PU de 6 mm

- Cable de red ethernet
- Pernos, tuercas y herramientas de ajuste

Procedimiento:

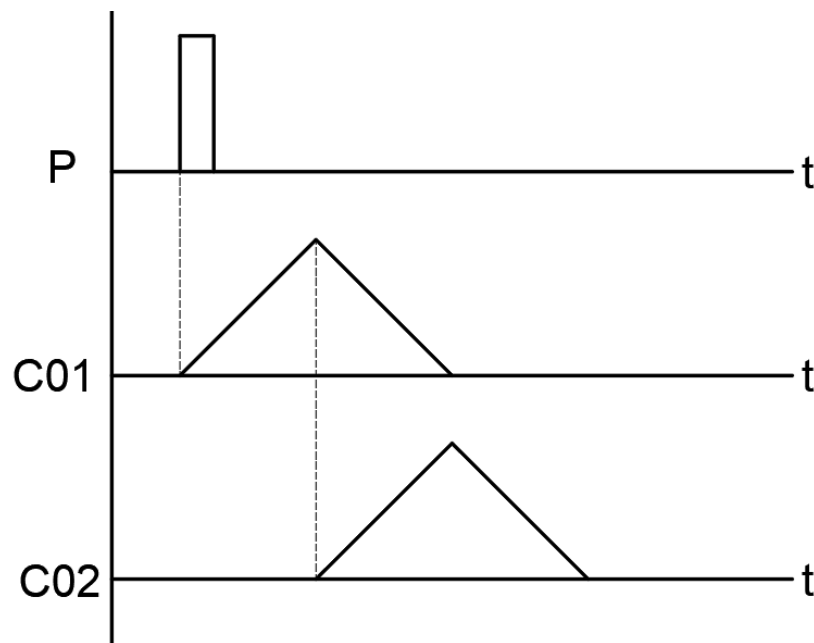
- Establecer el diseño del circuito electroneumático
- Realizar el diagrama en el software de simulación
- Comprobar el funcionamiento del mismo en el tablero electroneumático

Planteamiento:

Realizar una secuencia básica de electroneumática con dos cilindros de simple efecto, siguiendo el diagrama de espacio fase de la Figura 95, consiste en activar un cilindro hasta su posición final mediante un pulsador, una vez que este se desplaza totalmente, activa el sensor que permite el desplazamiento del segundo cilindro, concluyendo con el movimiento de ambos hasta que se vuelva a presionar el pulsador.

Figura 95

Diagrama de Espacio-Fase, Práctica 1



Guía de práctica N°2

Tema:

Diseño, simulación e implementación de un montacargas usando los elementos disponibles del tablero electroneumático

Objetivos:

- Diseñar un sistema electroneumático que dé solución a un montacargas industrial con dos cilindros y un sensor de proximidad
- Simular el funcionamiento de un sistema electroneumático, acorde a los requerimientos establecidos
- Implementar los elementos que constituyen al sistema neumático en base a los requerimientos establecidos

Materiales:

- 1 computador personal, con instalación de FluidSim Neumático
- Tablero electroneumático
- Cables banana-banana tipo macho
- Manguera PU de 6 mm
- Cable de red ethernet

Procedimiento:

- Establecer el diseño del circuito electroneumático
- Realizar el diagrama en el software de simulación
- Comprobar el funcionamiento del mismo en el tablero electroneumático

Planteamiento:

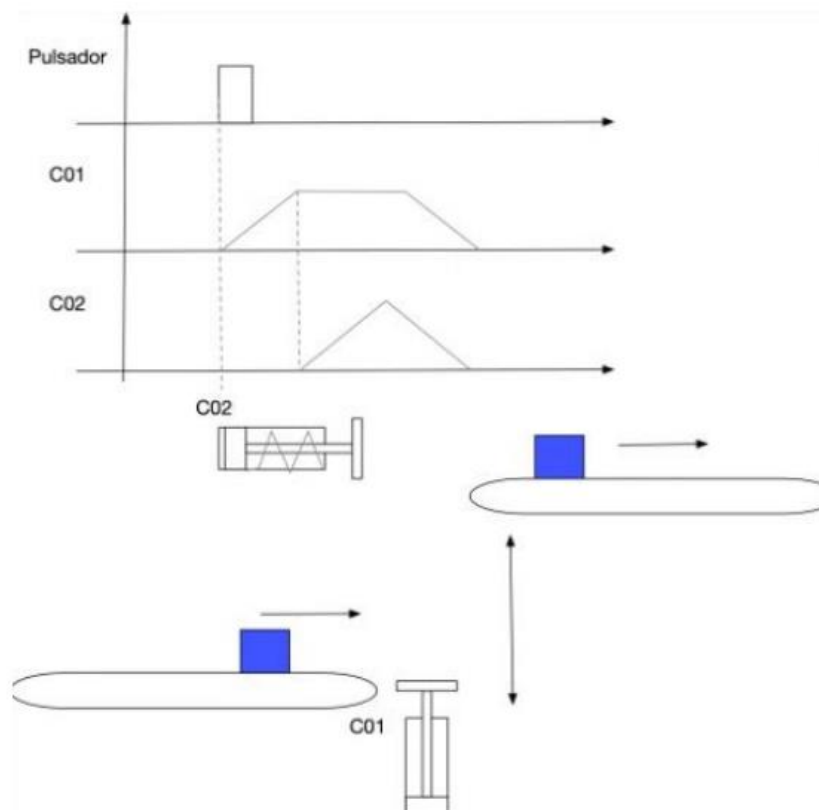
Representar el funcionamiento de un montacargas que recibe una caja desde una banda transportadora ubicada en el piso inferior y la transporta hacia el piso superior donde es enviada hacia otra banda transportadora para cumplir el proceso, esto se ve ilustrado en la

Figura 96, y permite realizar una práctica más orientada a los procesos con los que uno se puede encontrar en la industria. Se debe considerar un cilindro de doble efecto para el montacargas y un cilindro de simple efecto para empujar la caja al piso superior, además de un botón de paro para reiniciar el sistema.

Las bandas transportadoras estarán encendidas una vez que se presione el botón de Inicio hasta que se detecte una caja en la posición del C01, el cual se activará hasta llegar a la posición del C02, una vez que llegue al C02 este se activará para entregar la caja a la banda transportadora 2, una vez entregada la caja, entonces el cilindro 1 puede retornar y la banda transportadora 2 se puede apagar, este proceso se repetirá cada vez que se detecte una caja en la banda transportadora 1.

Figura 96

Diagrama de Espacio-Fase, Práctica 2



Guía de práctica N°3

Tema:

Diseño, simulación e implementación de una báscula industrial de precisión usando los elementos disponibles del tablero electroneumático

Objetivos:

- Diseñar un sistema electroneumático que dé solución a una báscula de precisión industrial
- Simular el funcionamiento de un sistema electroneumático, acorde a los requerimientos establecidos
- Implementar los elementos que constituyen al sistema neumático en base a los requerimientos establecidos

Materiales:

- 1 computador personal, con instalación de FluidSim Neumático
- Tablero electroneumático
- Cables banana-banana tipo macho
- Manguera PU de 6 mm
- Cable de red ethernet

Procedimiento:

- Establecer el diseño del circuito electroneumático
- Realizar el diagrama en el software de simulación
- Comprobar el funcionamiento del mismo en el tablero electroneumático

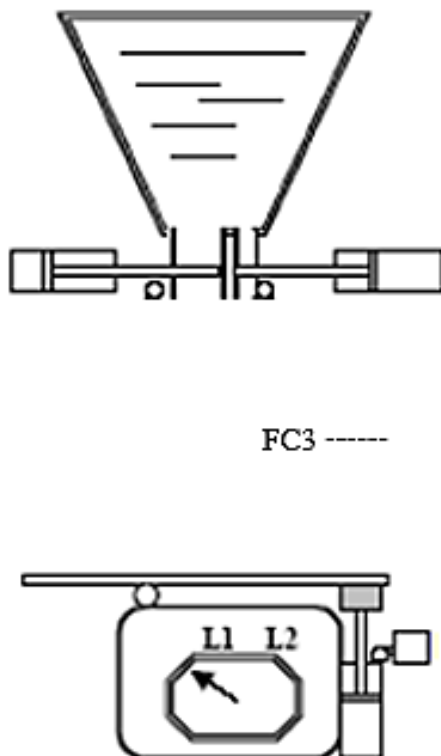
Planteamiento:

El proceso comienza cuando se presiona el botón de inicio, luego el sistema abre ambas puertas (cilindros C1 y C2), el cilindro C1 permanece abierto hasta que la marca de la escala indica L1 (selector de dos posiciones que representa la medición L1). Cuando la marca

de la escala lee L1, la puerta C1 se cierra, mientras que C2 permanece abierta hasta que la marca de la escala lee L2 (botón con enclavamiento que representa la medición L2), cuando la marca de la escala lee L2, la puerta C2 se cierra. El vaciado de producto se realiza una vez que se encuentra en la báscula la cantidad requerida de producto y ambas puertas están cerradas, esto consiste en realizar tres ciclos de subida/bajada de báscula, correspondiendo cada ciclo a la activación del pistón (C3) para vaciar la báscula, a la posición FC3, espere 5 segundos y luego regrese a la posición original. El sistema también dispone de un pulsador Stop que debe mantener la puerta cerrada y la báscula en posición horizontal. Esta representación del proceso se muestra en la Figura 97.

Figura 97

Pruebas de funcionamiento, Práctica 3



Nota. Adaptado de *Báscula Industrial de Precisión*, por Hernández, s.f., Automatización Industrial (https://www.releco.de/es/Reles-IRC/C10-A1x_es.pdf).

Capítulo VII

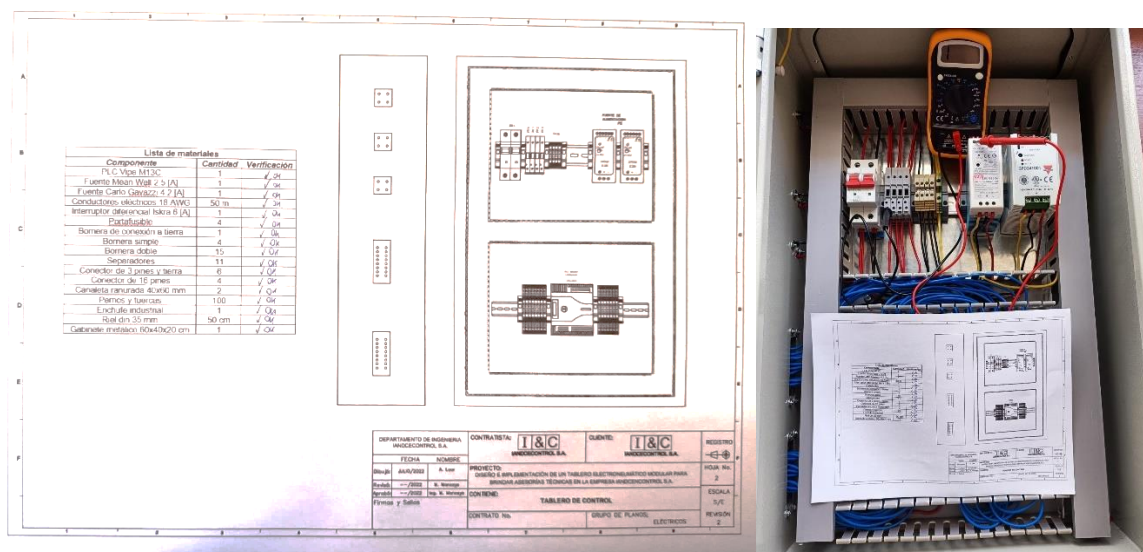
En este capítulo se muestran las pruebas y resultados alcanzados con cada una de las prácticas planteadas para evidenciar el funcionamiento correcto del tablero electroneumático y poder evaluar el desenvolvimiento del mismo, pero antes se muestran las pruebas de conexión y de comunicación con el PLC.

Pruebas de conexión de equipos

Las pruebas de conexión de equipos se realizaron en el sitio durante la construcción de los mismos con la ayuda del personal de la empresa, se verifica que todos los equipos colocados y conectados sean los documentados en cada diagrama esquemático entregado, las pruebas de conductividad sin energizar el tablero se muestran en la Figura 98, las entradas y salidas del PLC y su módulo correspondientes fueron la prioridad al momento de realizar las pruebas, dando un 100% de conductividad en todas sus conexiones.

Figura 98

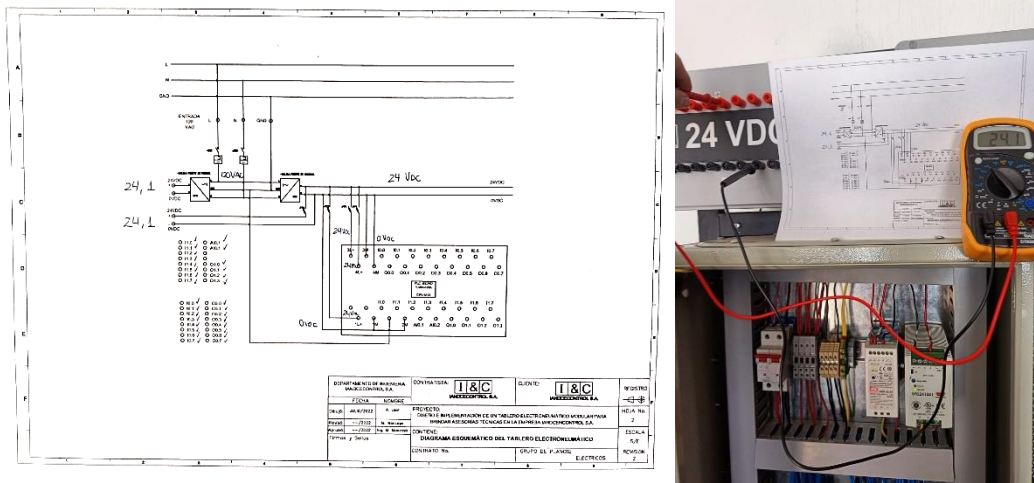
Control de equipos y pruebas de conductividad.



Las pruebas con el tablero energizando del sistema eléctrico se realizaron con la ayuda de un multímetro como se muestra en la Figura 99, se comprobó el voltaje de alimentación de 120 VAC y el de los módulos de fuente de 24 VDC.

Figura 99

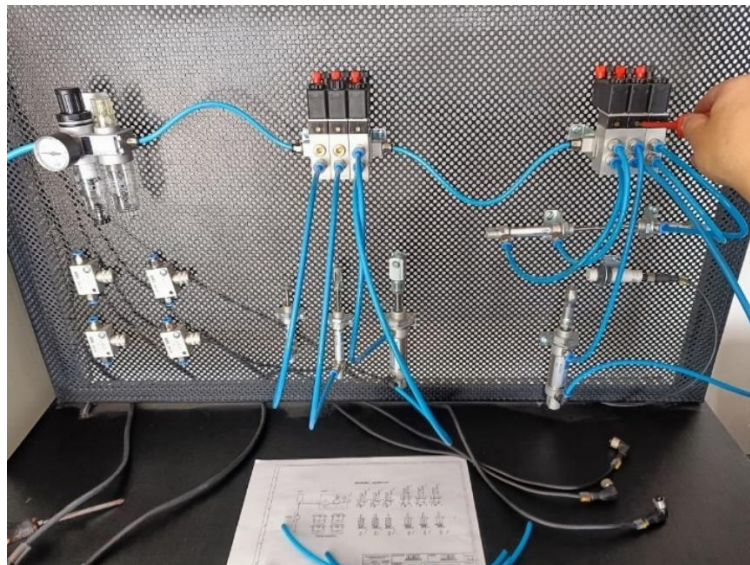
Pruebas de conexión del sistema eléctrico.



Para el sistema neumático se conectaron los 6 actuadores disponibles, con una presión de alimentación de 6 bar, se comprobó que el aire comprimido llegue hasta el último elemento conectado accionando manualmente las válvulas con un desarmador y con esto accionando cada cilindro.

Figura 100

Pruebas de conexión del sistema neumático

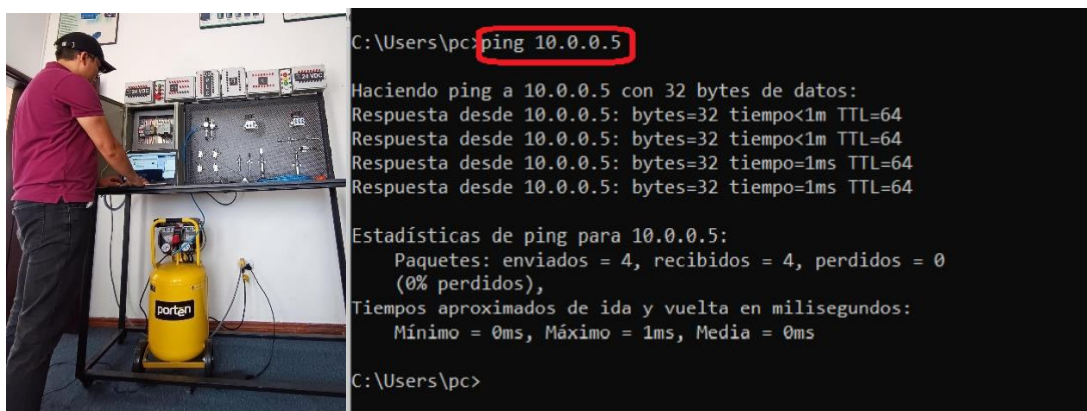


Pruebas de comunicación

Las pruebas de comunicación se explicaron en el capítulo V, siguiendo los pasos mostrados en este se verifica una comunicación exitosa entre el PLC y la PC mediante el cmd o símbolo del sistema como se muestra en la Figura 101.

Figura 101

Conexión ethernet del PLC con la PC

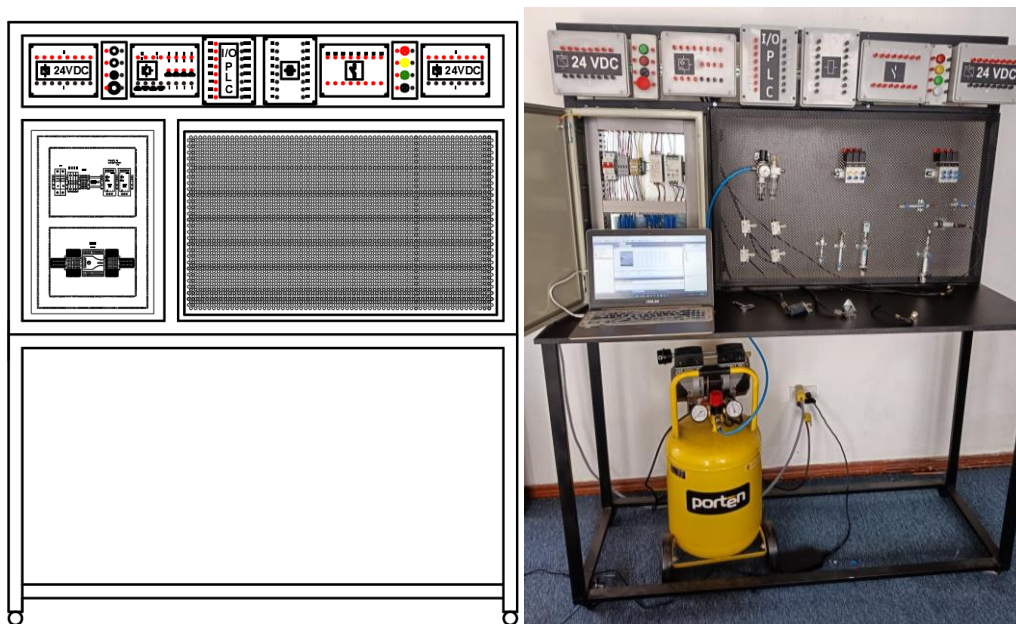


Pruebas de funcionamiento de la práctica N°0

El reconocimiento del tablero electroneumático y cada uno de sus módulos es lo más importante antes de empezar a desarrollar las prácticas, por esta razón esta práctica se denomina como N°0, tal como se plantearon los requerimientos en el Capítulo III se cumple con lo establecido, brindando un tablero electroneumático modular funcional con un PLC como elemento de control donde se deben reconocer los 3 sistemas importantes, el sistema eléctrico (tablero de control alimentado por la red eléctrica de 120 VAC), el sistema neumático (panel agujereado con elementos neumáticos alimentados por el compresor) y los sistemas modulares (cajas plásticas alimentadas por las fuentes DC del sistema eléctrico), cada usuario debe identificar estos en la Figura 102, su principio de funcionamiento y su método de conexión y desconexión según sea el caso.

Figura 102

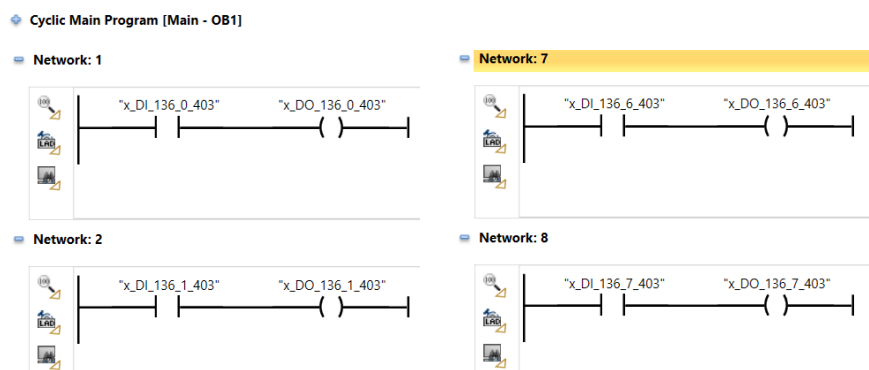
Reconocimiento del tablero electroneumático y sus elementos.



Se realiza el programa que se muestra en la Figura 103 donde por cada entrada activada se deberá activar su salida correspondiente, con el fin de que todo lo que se conecte de por medio para esto sea probado de manera implícita.

Figura 103

Ladder general para la prueba de funcionamiento de la Práctica N°0



Una vez compilado el programa, se lo carga al PLC y se verifican los estados de cada entrada y salida programadas, estos resultados se pueden observar en la Tabla 10.

Tabla 10


Tabla para las pruebas de funcionamiento de la Práctica N°0

Tipo de Entrada	Puerto	Estado	Tipo de Salida	Puerto	Estado
Pulsador verde	I 136.0	OFF	Luz piloto roja	Q 136.0	OFF
		ON			ON
Pulsador rojo	I 136.1	OFF	Luz piloto amarilla	Q 136.1	OFF
		ON			ON
Selector	I 136.2	OFF	Luz piloto verde	Q 136.2	OFF
		ON			ON
Pulsador emergencia	I 136.3	OFF	Luz piloto blanca	Q 136.3	OFF
		ON			ON
Fin de carrera (Z1)	I 136.4	OFF	Electroválvula del cilindro 1	Q 136.4	OFF
		ON			ON
Fin de carrera (Z2)	I 136.5	OFF	Electroválvula del cilindro 2	Q 136.5	OFF
		ON			ON
Sensor fotoeléctrico (Z4)	I 136.6	OFF	Electroválvula del cilindro 3	Q 136.6	OFF
		ON			ON
Sensor capacitivo (Z5)	I 136.7	OFF	Electroválvula del cilindro 4	Q 136.7	OFF
		ON			ON

Los resultados de esta prueba se pueden comprobar con la tabla de variables y el programa en modo online en la Figura 104.

Figura 104

Resultado de las pruebas de funcionamiento de la Práctica N°0.

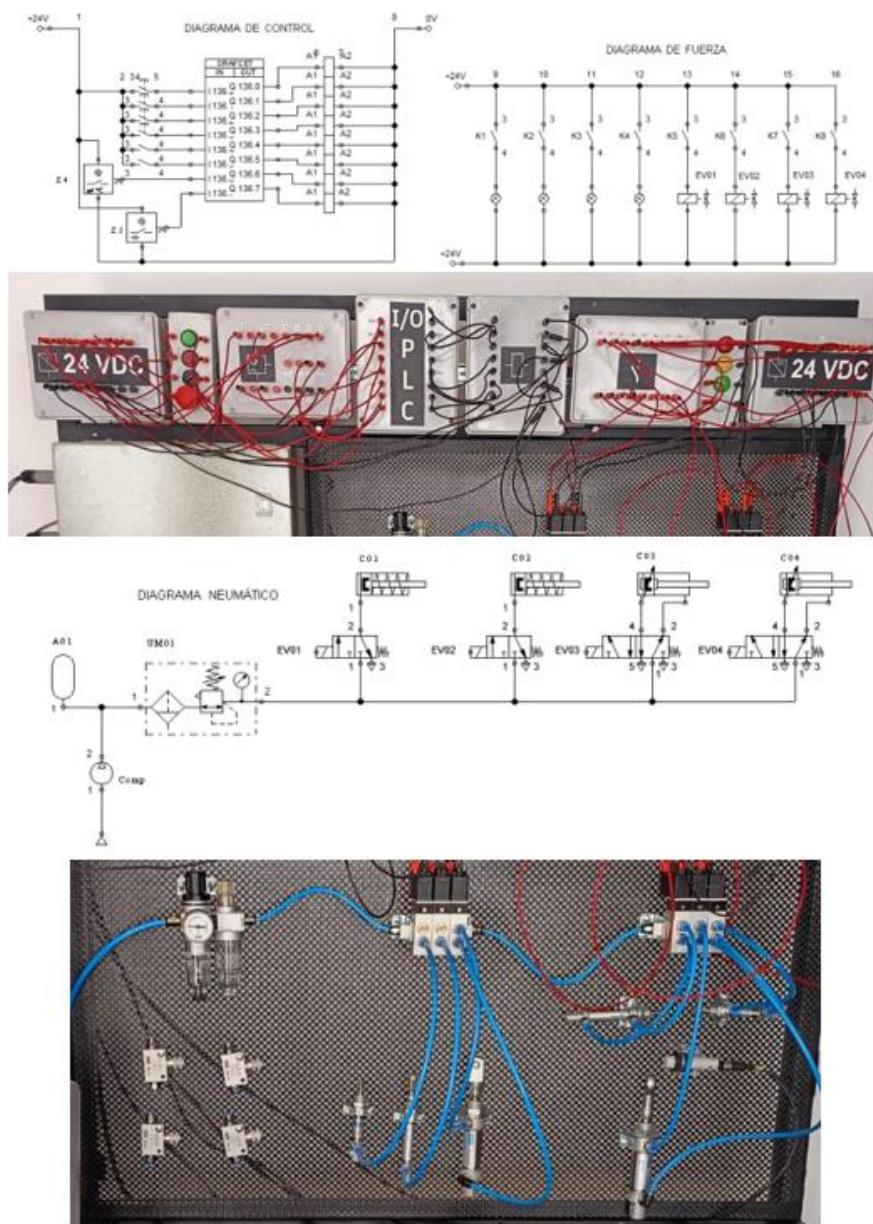


Name	Operand	Format	Watch	Control Value
x_DI_136_0_403	I 136.0	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DO_136_0_403	Q 136.0	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DI_136_1_403	I 136.1	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DO_136_1_403	Q 136.1	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DI_136_2_403	I 136.2	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DO_136_2_403	Q 136.2	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DI_136_3_403	I 136.3	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DO_136_3_403	Q 136.3	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DI_136_4_403	I 136.4	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DO_136_4_403	Q 136.4	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DI_136_5_403	I 136.5	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DO_136_5_403	Q 136.5	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DI_136_6_403	I 136.6	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DO_136_6_403	Q 136.6	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DI_136_7_403	I 136.7	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE
x_DO_136_7_403	Q 136.7	Boolean	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE

Con esta práctica se puso a prueba el 100% de los componentes del tablero electropneumático, conectando y probando cada elemento a una de las entradas y salidas disponibles como se muestra en la Figura 105, donde todos los elementos respondieron ante sus debidas señales, tanto eléctricas como neumáticas.

Figura 105

Diagrama electropneumático de la Práctica N°0



Pruebas de funcionamiento de la práctica N°1

Se empieza con la tabla de asignación de recursos, donde se definen las entradas y salidas que se requieren en cada proceso, en la Tabla 11 se muestra la asignación de recursos para la práctica 1.

Tabla 11

Asignación de recursos, Práctica N°1

Tipo	Símbolo	Descripción	Puerto
ENTRADAS	P	Botón o pulsador	I 0.0
	B	Fin de carrera	I 0.1
SALIDAS	O1	Electroválvula del Cilindro 1	Q 0.0
	O2	Electroválvula del Cilindro 2	Q 0.1

También se deben crear las marcas de memoria donde se guardarán los estados necesarios en el Grafcet, en la Figura 106, se muestra esta declaración de variables como tipo bool ya que solo permanecen en dos estados, "0" o "1".

Figura 106

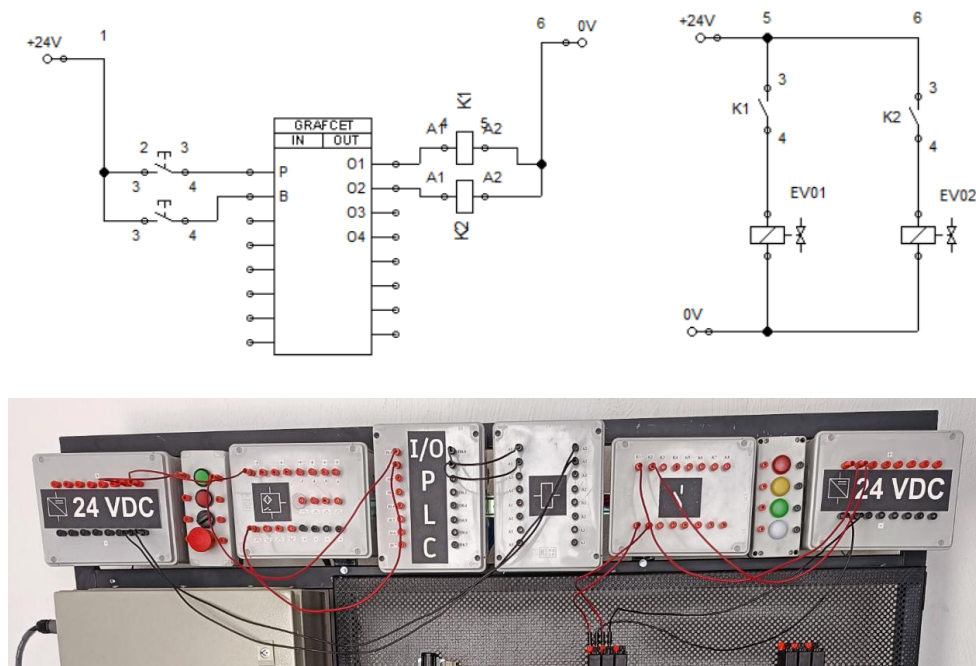
Declaración de estados, variables tipo bool de memoria.

MARCAS									
Group	Operand	Name	Data type	Area of validity	Visu <input type="checkbox"/>	OPC UA <input type="checkbox"/>	Comment	Type	
			BOOL	Global				Unknown	
General	M 0.0	E0	BOOL	Global	<input checked="" type="checkbox"/>		None	Memory	
General	M 0.1	E1	BOOL	Global	<input checked="" type="checkbox"/>		None	Memory	
General	M 0.2	E2	BOOL	Global	<input checked="" type="checkbox"/>		None	Memory	

Luego se establecen los diagramas esquemáticos de control y de fuerza que muestran las conexiones que se deben realizar, tanto de los sensores y los actuadores que van a incursionar en el proceso, en la Figura 107 se muestran los diagramas descritos.

Figura 107

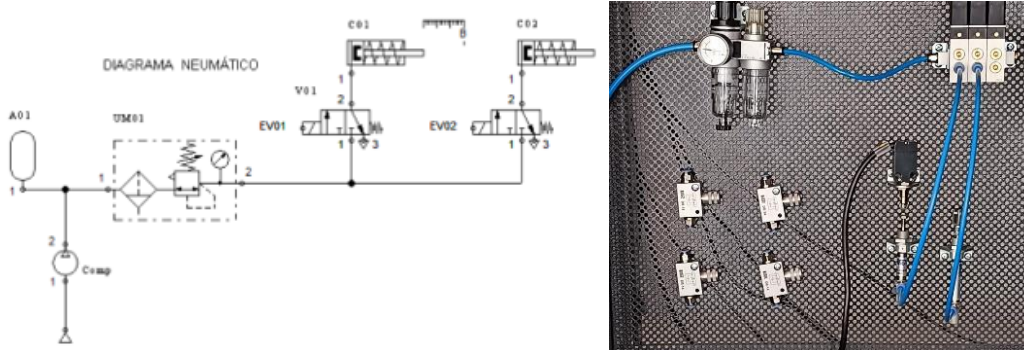
Diagrama eléctrico de control y de fuerza para la Práctica N°1



También se tiene el diagrama neumático mostrado en la Figura 108, donde se muestra la conexión de los elementos neumáticos requeridos en la práctica 1.

Figura 108

Diagrama neumático para la Práctica N°1

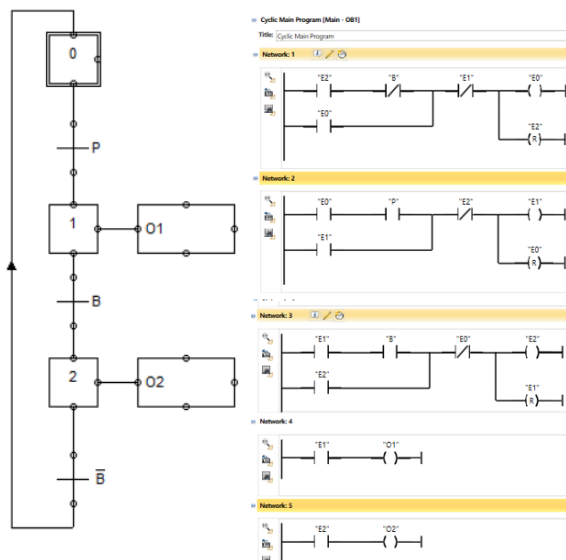


El Grafcet que soluciona esta práctica se muestra en la Figura 109, y este representa el proceso que se desea realizar, activando el primer cilindro cuando se pulsa el botón P, seguidamente cuando este cilindro alcanza su posición final, activa el fin de carrera B con el

que se activa el segundo cilindro, concluyendo con el proceso hasta que se vuelva a presionar el pulsador.

Figura 109

Graficet y Ladder de solución para la Práctica N°1



Estado 0

En el estado 0 todos los elementos se encuentran desactivados a la espera de que el proceso secuencial comience, esto se muestra en la Figura 110.

Figura 110

Estado 0 de la Práctica N°1

VAT1				
Name	Operand	Format	Status value	
E1	M 0.1	Boolean	FALSE	
E0	M 0.0	Boolean	TRUE	
E2	M 0.2	Boolean	FALSE	
P	I 136.0	Boolean	FALSE	
O1	Q 136.0	Boolean	FALSE	
O2	Q 136.1	Boolean	FALSE	
B	I 136.1	Boolean	FALSE	


Estado 1

Del estado 0 se pasa al estado 1 mediante la activación del pulsador P, esto activa la salida O1, por ende, la bobina de la electroválvula que controla el cilindro 1, como se muestra en la Figura 111.

Figura 111

Estado 1 de la Práctica N°1

Name	Operand	Format	Status value
E1	M 0.1	Boolean	TRUE
E0	M 0.0	Boolean	FALSE
E2	M 0.2	Boolean	FALSE
P	I 136.0	Boolean	FALSE
O1	Q 136.0	Boolean	TRUE
O2	Q 136.1	Boolean	FALSE
B	I 136.1	Boolean	FALSE




Estado 2

Del estado 1 se pasa al estado 2 mediante la activación del fin de carrera B, esto activa la salida O2, por ende, la bobina de la electroválvula que controla el cilindro 2 como se muestra en la Figura 112, concluyendo con el proceso secuencial requerido.

Figura 112

Estado 2 de la Práctica N°1

Name	Operand	Format	Status value
E1	M 0.1	Boolean	FALSE
E0	M 0.0	Boolean	FALSE
E2	M 0.2	Boolean	TRUE
P	I 136.0	Boolean	FALSE
O1	Q 136.0	Boolean	FALSE
O2	Q 136.1	Boolean	TRUE
B	I 136.1	Boolean	TRUE



El sistema vuelve a sus condiciones iniciales en el Estado 0 hasta que se vuelva a activar el pulsador P.

Pruebas de funcionamiento de la práctica N°2

Considerando las buenas prácticas para el desarrollo de proyectos de automatización, se empieza con la Tabla 12 de asignación de recursos que se muestra a continuación.

Tabla 12

Asignación de recursos, Práctica N°2

Tipo	Símbolo	Descripción	Puerto
ENTRADAS	P	Pulsador de Inicio	I 0.0
	Z1	Sensor piso inferior	I 0.1
	Z6	Sensor piso superior	I 0.2
	PARO	Pulsador de paro	I 0.3
SALIDAS	O1	Electroválvula del Cilindro 1	Q 0.0
	O2	Electroválvula del Cilindro 2	Q 0.1
	O3	Banda transportadora 1 (luz blanca)	Q 0.2
	O4	Banda transportadora 2 (luz verde)	Q 0.3

También se presentan los diagramas esquemáticos de control y fuerza en la Figura 113, mientras que en la Figura 114 se muestra el respectivo diagrama neumático.

Figura 113

Diagrama eléctrico de control y de fuerza para la Práctica N°2

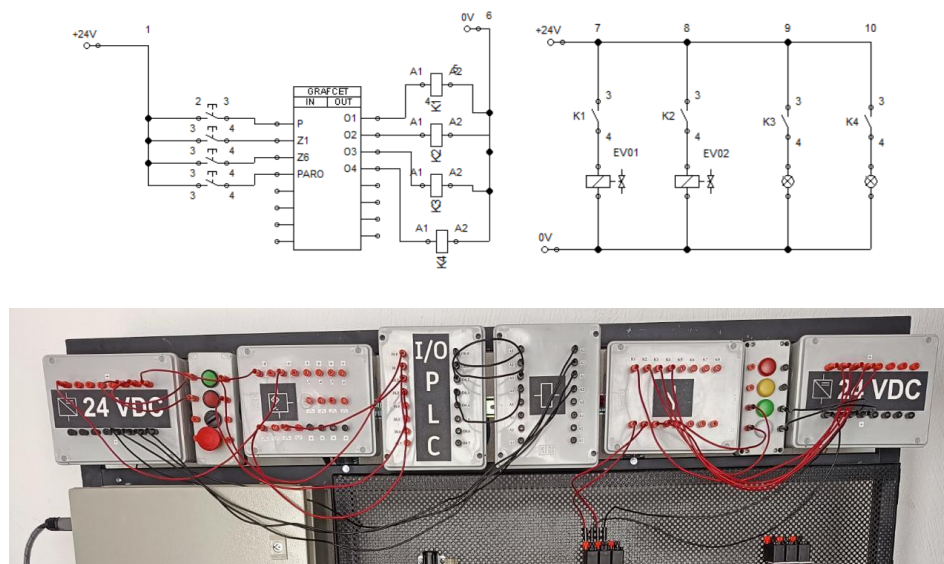
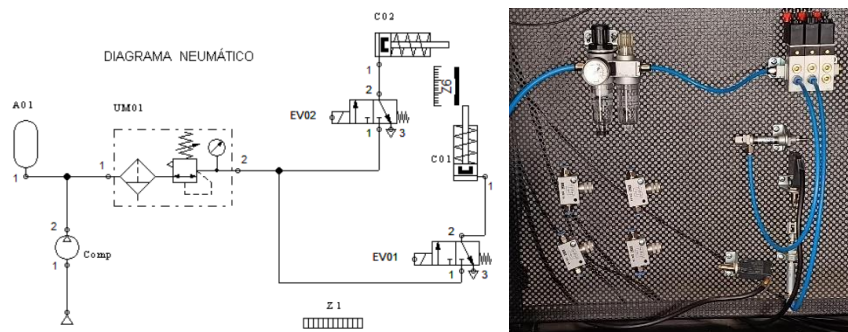


Figura 114

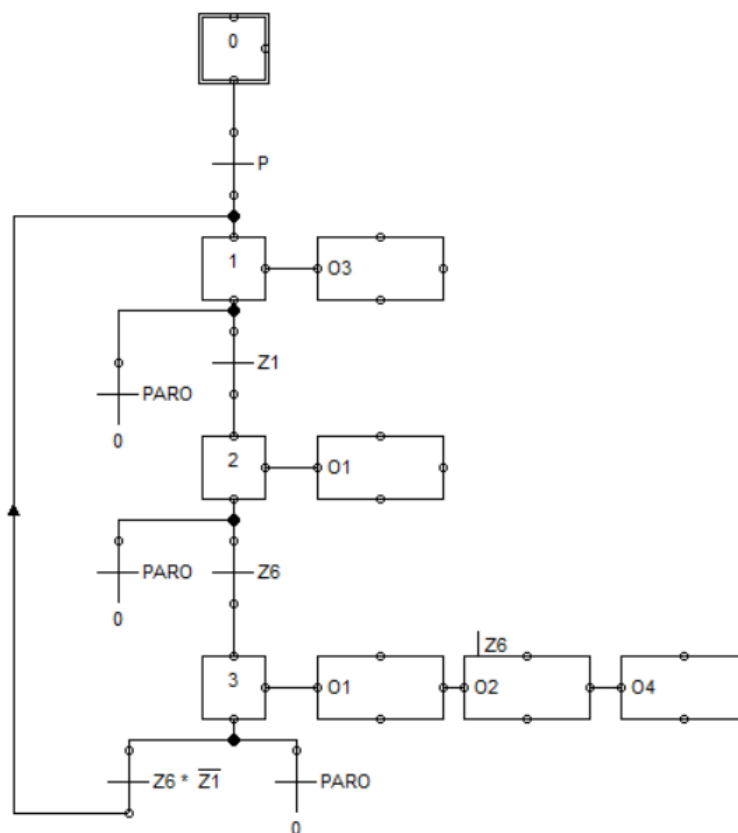
Diagrama neumático para la Práctica N°2



En la Figura 115 se muestra el Grafcet con la solución para implementar la práctica 2, donde se tiene un proceso secuencial de 3 estados con su respectivo paro en estado determinado, ayudando a entender mejor cómo funciona este sistema.

Figura 115

Grafcet de solución para la Práctica N°2

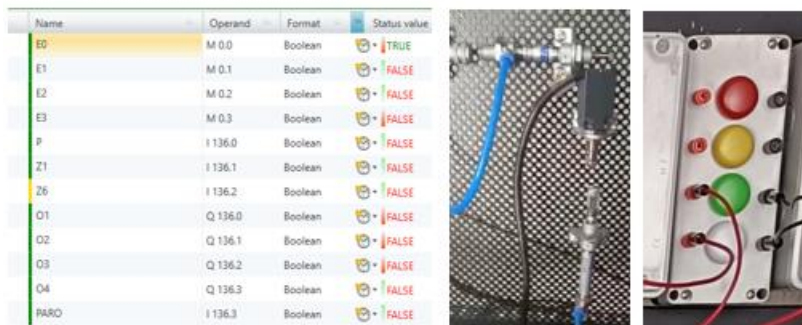


Estado 0

En el estado 0 todos los elementos se encuentran en reposo a la espera que el proceso secuencial comience, esto se muestra en la Figura 116.

Figura 116

Estado 0 de la Práctica N°2



Estado 1

Del estado 0 se pasa al estado 1 mediante la activación del pulsador P, esto activa la salida O3 que representa la banda transportadora 1 como se muestra en la Figura 117.

Figura 117

Estado 1 de la Práctica N°2




Estado 2

Una vez activada la banda transportadora se detecta una caja mediante el sensor de piso inferior (Z1) indicando que hay una caja para subir, activando el Estado 2 y O1 que es el cilindro que sube la caja como se muestra en la Figura 118.

Figura 118*Estado 2 de la Práctica N°2*



Name	Operand	Format	Status value
E0	M 0.0	Boolean	FALSE
E1	M 0.1	Boolean	FALSE
E2	M 0.2	Boolean	TRUE
E3	M 0.3	Boolean	FALSE
P	I 136.0	Boolean	FALSE
Z1	I 136.1	Boolean	TRUE
Z6	I 136.2	Boolean	FALSE
O1	Q 136.0	Boolean	TRUE
O2	Q 136.1	Boolean	FALSE
O3	Q 136.2	Boolean	FALSE
O4	Q 136.3	Boolean	FALSE
PARO	I 136.3	Boolean	FALSE


Estado 3

Una vez entregada la caja se activa el sensor del piso superior (Z6), pasando al Estado 3, que activa la banda transportadora 2 (O4) y la salida O2 de la electroválvula que empuja la caja como se muestra en la Figura 119.

Figura 119*Estado 3 de la Práctica N°2*

Name	Operand	Format	Status value
E0	M 0.0	Boolean	FALSE
E1	M 0.1	Boolean	FALSE
E2	M 0.2	Boolean	FALSE
E3	M 0.3	Boolean	TRUE
P	I 136.0	Boolean	FALSE
Z1	I 136.1	Boolean	TRUE
Z6	I 136.2	Boolean	TRUE
O1	Q 136.0	Boolean	TRUE
O2	Q 136.1	Boolean	TRUE
O3	Q 136.2	Boolean	FALSE
O4	Q 136.3	Boolean	TRUE
PARO	I 136.3	Boolean	FALSE





Una vez terminado este proceso se retorna al Estado 1 hasta detectar una nueva caja en el sensor de piso inferior como se muestra en la Figura 120, si se desea retornar al Estado 0 se debe presionar el botón de paro e independientemente del estado en el que se encuentre el proceso este volverá a sus condiciones iniciales o estado en reposo, su implementación en Ladder se muestra en el Apéndice E.

Figura 120

Retorno al Estado 1 de la Práctica N°2

Name	Operand	Format	Status value
E0	M 0.0	Boolean	FALSE
E1	M 0.1	Boolean	TRUE
E2	M 0.2	Boolean	FALSE
E3	M 0.3	Boolean	FALSE
P	I 136.0	Boolean	FALSE
Z1	I 136.1	Boolean	FALSE
Z6	I 136.2	Boolean	FALSE
O1	Q 136.0	Boolean	FALSE
O2	Q 136.1	Boolean	FALSE
O3	Q 136.2	Boolean	TRUE
O4	Q 136.3	Boolean	FALSE
PARO	I 136.3	Boolean	FALSE



Pruebas de funcionamiento de la práctica N°3

Se inicia nuevamente con la tabla de asignación de recursos que se muestra a continuación en la Tabla 13.

Tabla 13

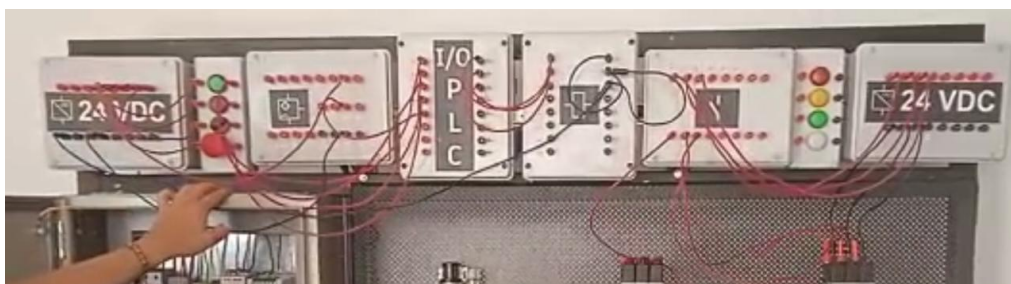
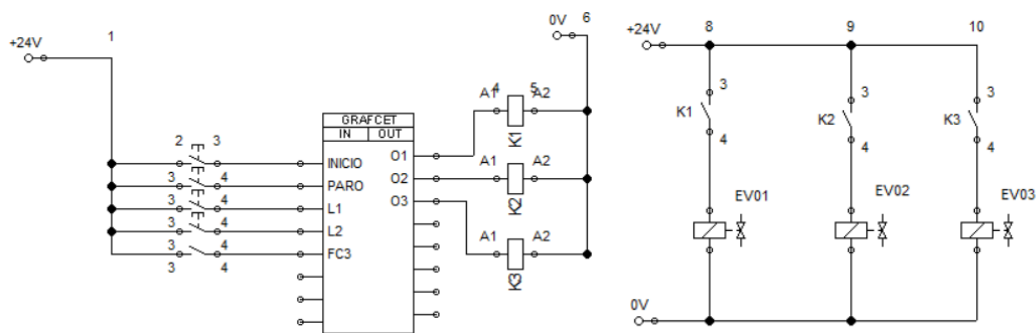
Asignación de recursos, Práctica N°3

Tipo	Símbolo	Descripción	Puerto
ENTRADAS	Inicio	Pulsador de Inicio	I 0.0
	Paro	Sensor piso inferior	I 0.1
	L1	Selector de dos posiciones	I 0.2
	L2	Botón con enclavamiento	I 0.3
	FC3	Sensor capacitivo	I 0.4
SALIDAS	O1	Electroválvula del Cilindro 1	Q 0.0
	O2	Electroválvula del Cilindro 2	Q 0.1
	O3	Electroválvula del Cilindro 3	Q 0.2
TEMPORIZADOR	Tiempo	Bloque temporizador	T0
CONTADOR	Cont	Bloque contador ascendente	C0

También se presentan los diagramas esquemáticos de control y fuerza en la Figura 121, donde se tiene las 5 entradas digitales que se describieron, y las 3 salidas que activarán las bobinas de las electroválvulas de cada cilindro o compuerta.

Figura 121

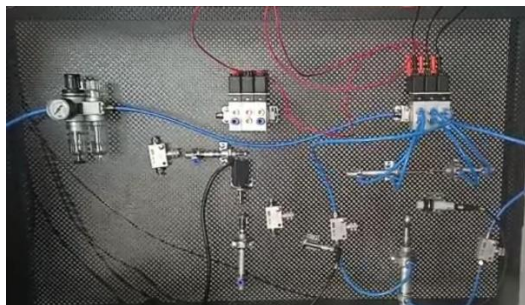
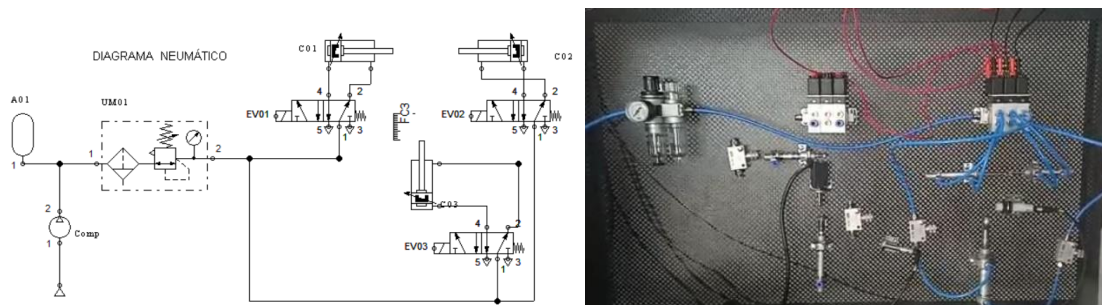
Diagrama eléctrico de control y de fuerza para la Práctica N°3



En la Figura 122 se muestra el diagrama neumático donde se tiene todos los elementos con los que se va a trabajar en la posición y orientación requerida para representar de una mejor manera la báscula de precisión industrial.

Figura 122

Diagrama neumático para la Práctica N°3



En el Apéndice F se muestra el Grafset y el Ladder que solucionan esta práctica.

Análisis de resultados

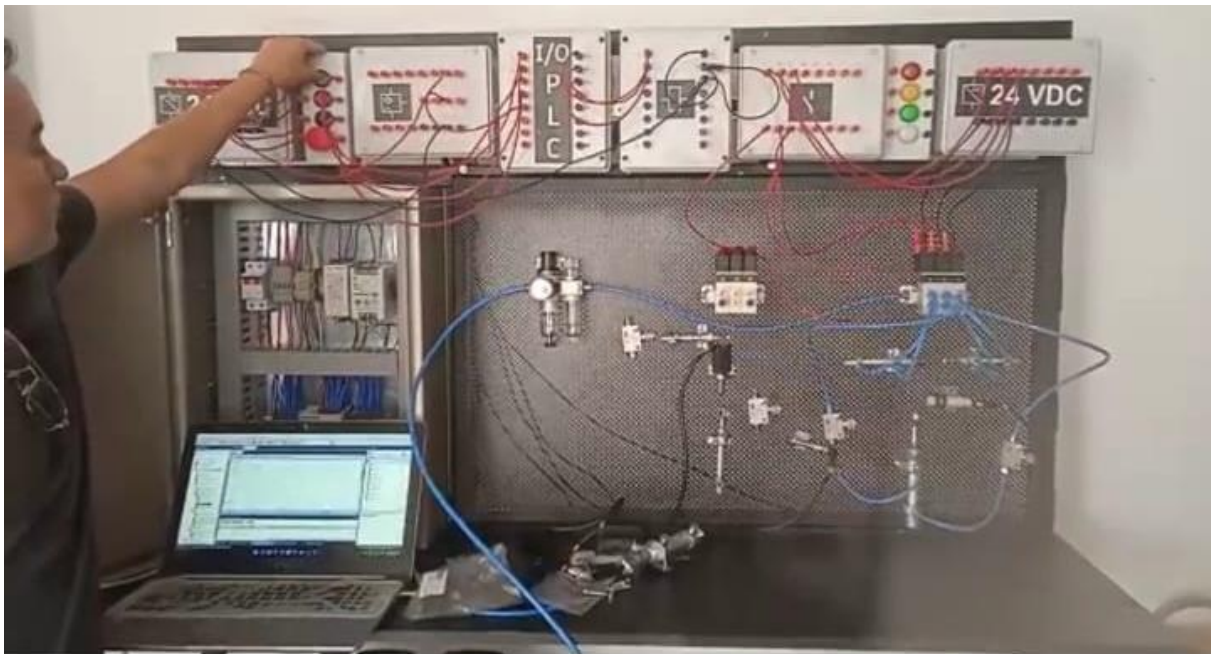
Las pruebas de funcionamiento son un éxito ya que permiten verificar con facilidad el funcionamiento correcto de todo el tablero de control de una forma sencilla debido a la forma en

la que está construido, permite un reconocimiento fácil de cada elemento y su rápida conexión, junto con la programación en SPEED 7 Studio siguiendo los pasos mostrados en el capítulo 5 funciona de manera correcta, comprobando así que las direcciones con las que viene dada cada entrada y salida del PLC se activan o se desactivan según se requiere, del mismo modo se verifica el correcto funcionamiento de los sensores y actuadores instalados en cada módulo realizado y completa un lazo de control cerrado con el que se puede realizar varias prácticas para seguir aprendiendo.

En la Figura 123 se muestra la Práctica N°3 implementada donde se puede observar la conexión eléctrica entre los módulos con cables banana-banana macho hasta completar el diagrama esquemático de control (modulo relés) y fuerza (módulo contactos de relé), del mismo modo se tiene la conexión de la parte neumática con la tubería PU de color azul desde el compresor hasta los cilindros requeridos.

Figura 123

Análisis de resultados de las prácticas



Conclusiones

- El tablero electroneumático implementado es 100% funcional, permite el desarrollo de prácticas de nivel básico e intermedio que ocupen hasta 6 actuadores neumáticos de simple o doble efecto accionados mediante electroválvulas, el sistema eléctrico, el sistema neumático y los sistemas modulares forman un conjunto robusto para el desarrollo de prácticas de laboratorio que permitan entender cómo funcionan los procesos industriales.
- El diseño del tablero permite al usuario trabajar de pie, siendo una posición cómoda para interconectar los elementos que conforman al tablero, el cual está basado en el desarrollo de prácticas a través de simuladores donde se consigue observar el principio de funcionamiento eléctrico y neumático de las prácticas realizadas, manteniendo un orden y permitiendo entender el modo de conexión de cada elemento en su respectivo diagrama (control, fuerza y neumático).
- El sistema de control basado en el PLC como elemento de control permite una introducción básica a la programación en Grafcet y Ladder mediante el software SPEED7 Studio de la marca Vipa, donde se pueden encontrar todas las instrucciones y bloques requeridos para la programación de un lazo cerrado con control ON-OFF para sistemas secuenciales.
- Los conectores de 3 y 16 pines permiten organizar el tablero de tal forma que este tenga una construcción modular, se puede desarmar y volver armar cada parte del mismo para poder transportarlo a distintos lugares donde se requieran capacitaciones técnicas, promoviendo las marcas y los elementos que se disponen en la empresa, en especial los dispositivos neumáticos de Airtec que es por lo que el auspiciante planteó el desarrollo de este proyecto.

Recomendaciones

- Revisar los diagramas esquemáticos para conocer la distribución del tablero electroneumático, su modo de conexión, su voltaje de alimentación y la presión de trabajo requerida para realizar las prácticas necesarias, identificando el sistema eléctrico, el sistema neumático y los sistemas modulares.
- Antes de cada práctica, desconectar todos los conductores tanto eléctricos (conectores banana-banana macho) como neumáticos (tubería PU azul), vaciar el tanque del compresor, verificar el funcionamiento correcto del PLC y asegurarse de que todos los pernos, tuercas y adaptadores de riel estén bien ajustados.
- Para trabajos futuros, se debe observar el apartado de dimensionamiento, se ha dejado una fuente de alimentación sobredimensionada con el objetivo de conectar un motor de 24 VDC para representar procesos más complejos en las prácticas de laboratorio que se realicen.

Bibliografía

- Airtec. (2022). *Productos de Neumática*. Airtec-usa: <https://www.airtec-usa.com/products>
- Ayala, P. (2020). *Neumática*. Departamento de Eléctrica y Electrónica. ESPE.
- Burhan, I., Othman, R., & Azman, A. A. (2016). Development of Electro Pneumatic Trainer Embedded with Programmable Integrated Circuit (PIC) and Graphical User Interface (GUI) for Educational Applications. *IEEE*, 5.
- CarloGavazzi. (2019). *Fuentes de Alimentación*. Gavazzionline: <https://www.gavazzionline.com/CGNA/Home>
- Cortés, J. C. (2016). *Automatización Electroneumática*. ISBN.
- Durrani, F., Riaz, M., Ahmad, M. H., Durrani, S., & Ali, H. (2018). SCADA & PLC based fully automated pneumatic cutting machine:A test bench for industry and laboratory. *IEEE*, 1.
- Francisco, M., Mendes, M., & Calado, J. (2019). An Electro-pneumatic Prototype to Support the Teaching of Industry 4.0 Concepts. *IEEE*, 428-433.
- HuaLunConnector. (2009). *HL Series Rectangular Heavy-duty Connector*. Qianyang Rd271.
- landcencontrol. (2019). *Diseño, Provisión, y construcción para procesos eléctricos e industriales*. landcencontrol: <http://www.iandcecontrol.net/>
- Inselec. (2022). *Caja de derivación 221714*. Inselec: <https://inselec.com.ec/store/inicio/1674-caja-derivacion-221714-ref-p-0377-.html>
- ISA-UMH. (2012). *Programación de autómatas: Introducción al Grafcet*. Wordpress: <https://electronicavm.files.wordpress.com/2012/02/introduccion3b3n-a-autc3b3matas-grafcet.pdf>
- Ludeña, F. (2021). *Instalaciones Industriales*. Departamento de Eléctrica y Electrónica, ESPE.
- MeanWell. (2022). *Fuentes de alimentación*. Meanwell-web: <https://www.meanwell-web.com/content/files/pdfs/productPdfs/MW/Mdr-60/MDR-60-spec.pdf>
- Metaltex. (2022). *Screw type terminal blocks*. Metaltex: <https://datasheet.zonaindustrial.cl/pdf/Metaltex/ficha/Bornes-M.pdf>

- NEC. (2022). *Proteccion de sobrecorriente, breaker-ramal-nec*. NEC:
<https://necfacil.com/proteccion-sobrecorriente-breaker-ramal-nec/>
- Painpe. (2022). *Manguera Neumática de PU*. Painpe: <https://painpe.com/wp-content/uploads/2020/03/01-FICHA-TEC-802.999-Manguera-Neumatica-PU.pdf>
- Pereira, D. A. (2014). *Simbología IEC60617*. Slideshare:
<https://es.slideshare.net/DiegoAvalosPereira/simbologia-iec-60617completa>
- Pérez, & Mosquera. (s.f.). *Módulo didáctico de electroneumática*. Ibarra, 2.
- Pizzato. (2022). *Catálogo general HMI: Cajas series ES*. Pizzato:
<https://www.pizzato.com/es/descargar/documentacion-de-productos/>
- Releco. (2022). *Relé subminiatura, 1 contacto inversor*. Releco: https://www.releco.de/es/Reles-IRC/C10-A1x_es.pdf
- Rivera, M., & Bravo, R. (2015). *Diseño y Construcción de un Tablero Didáctico de Neumática para la Capacitación en Automatización Industrial*. AMCA, 254.
- Salas, G. (2017). *Historia del PLC*. Academia:
https://www.academia.edu/34381291/historia_del_plc
- Sicma21. (2021). *¿Qué es un PLC y cuándo se usa?* Sicma21: <https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/>
- Sicytel. (2020). *Tipos de conectores neumáticos*. Facebook:
<https://www.facebook.com/SicytelPeru/photos/-tipos-de-conectores-neum%C3%A1ticos/123669899301131>
- Sotomayor, D. (2020). *Automatización en la Industria*. Departamento de Eléctrica y Electrónica , ESPE.
- Sotomayor, D. (2020). *Programadores lógicos controlables*. Departamento de Eléctrica y Electrónica , ESPE.
- Vicencio, F. T., & Villa, J. P. (2016). *Kit de neumática y electro-neumática en un mismo banco para la enseñanza en la ingeniería*. IEEE, 1-6.

Yaskawa. (2021). *Vipa System Micro*. Herzogenaurach. Yaskawa.

https://www.yaskawa.eu.com/products/plc-control-systems/productdetail/product/cpu-m13c---m13-ccf0001_964

Zapata, M., Topón, L., & Tipán, E. (2021). *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*. Quito, Ecuador: Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica.

Apéndices