



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA

“Simulación y Automatización Del Control De Potencia Reactiva Para
Mejoramiento del Factor de Potencia”

AUTORES

Diego René Obregón Holguín

Jonathan Alfredo Zeas Mora

DIRECTOR: MSc. Juan Carlos Lata García

GUAYAQUIL

2018

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Diego René Obregón Holguín y Jonathan Alfredo Zeas Mora autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, 6, 5, 2018

Diego René Obregón Holguín

0940006109

Jonathan Alfredo Zeas Mora

0940403025

CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Yo, **DIEGO RENÉ OBREGÓN HOLGUÍN**, con documento de identificación N° **0940006109**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**SIMULACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE POTENCIA REACTIVA PARA MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 6, 5, 2018

Diego René Obregón Holguín

0940006109

CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Yo, **JONATHAN ALFREDO ZEAS MORA**, con documento de identificación N° **0940403025**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**SIMULACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE POTENCIA REACTIVA PARA MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 6, 5, 2018

Jonathan Alfredo Zeas Mora

0940403025

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, **JUAN CARLOS LATA GARCIA**, director del proyecto de Titulación denominado “Simulación y Automatización Del Control De Potencia Reactiva Para Mejoramiento del Factor de Potencia” realizado por los estudiantes, Diego René Obregón Holguín y Jonathan Alfredo Zeas Mora, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, 6, 5, 2018

.....

Juan Carlos Lata García

MSc.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis primeramente a Dios por darme el regalo más grande de todos, la vida. A mi madre Alejandrina Maribel Holguín Mora quien es mi bendición y que a pesar de la distancia física, conté con su apoyo en todo momento para seguir adelante. A mi Padre René Alejandro Obregón Macías quien conjuntamente con mi madre, se sacrificó para darme educación. A mis hermanos Jean Carlos y Elkin para que sea de ejemplo y puedan lograr la meta que se propongan. A mi abuelita Teobalda Martina Macías Sellan quien es mi tesoro, que con su sabiduría siempre ha estado presente con sus consejos y enseñanzas. A mis profesores y amigos, quienes siempre me alentaron en la realización de este proyecto, a todos quienes confiaron en mí en todo momento les dedico este trabajo.

Estas palabras no son suficientes para expresar mi profundo agradecimiento, pero espero que con estas pocas palabras, se den a entender mis sentimientos de aprecio admiración y cariño.

Diego Obregón

Dedico este presente trabajo a mi madre Herlinda, mi padre Magno y mis hermanos, quienes son mis pilares fundamentales en el día a día y de quienes cuento con su infinito apoyo. A mi abuelita Elba, de quien me he separado estos últimos años pero la tengo presente en esta dedicatoria porque con ella fui creciendo y escuchando sus consejos. A mis amigas y amigos que estuvieron presente durante la elaboración de mi tesis demostrando que la amistad es verdadera y brindándome su ayuda en algunas situaciones.

Es un texto muy breve, pero espero demostrar el cariño que siento por todos los seres queridos que están en cada momento de mi vida.

Jonathan Zeas

AGRADECIMIENTOS

Agradecerle a Dios en todo momento, por todas sus bendiciones, a mi familia que siempre estuvo conmigo, brindándome todo su apoyo. A la Universidad Politécnica Salesiana por haberme acogido en sus aulas, a los ingenieros quienes nos impartieron enseñanzas a lo largo de la carrera universitaria.

Agradecerles a mis amigos y familiares por brindarme su apoyo incondicional para poder culminar mis estudios, para mí ustedes fueron una pieza importante para lograr esta meta. Un profundo agradecimiento al Ing. Juan Carlos Lata, tutor de mi tesis por darnos las pautas necesarias para el desarrollo del proyecto de titulación.

Diego Obregón

Agradezco profundamente a Dios por darme el valioso regalo de la vida y permitirme disfrutar de mis queridos padres. Agradezco a Herlinda y Magno, quienes fueron mi sustento desde la infancia y que me enseñaron que la vida no es sencilla pero que todo se puede lograr con esfuerzo. Así mismo agradezco a toda mi familia, por enseñarme valores como la unidad y la humildad, que el apoyo y el cariño de la familia es inmenso.

Agradezco mi tutor, el Ing. Juan Carlos Lata, que supo ser un amigo y guía durante la carrera y la elaboración del proyecto.

Agradezco a mis compañeros de trabajo, que en seis años de convivencia diaria, se han convertido como en otra familia.

Jonathan Zeas

RESUMEN

Tema: SIMULACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE POTENCIA REACTIVA PARA MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA.

Autores: Diego R. Obregón Holguín, Jonathan A. Zeas Mora

Director de Tesis: Juan Carlos Lata García, MSc.

Palabras clave: Módulo Didáctico, Factor de Potencia, Cableado, Banco de capacitores, Triángulo de Potencias, Pantalla virtual.

El presente proyecto se centra en el diseño y construcción de un módulo didáctico de fácil traslado, que permite el control de la potencia reactiva para mejorar el factor de potencia mediante el uso de un controlador lógico programable S7-1200, que realiza el arranque de un motor a través de las salidas relé, monitorea el sistema mediante el analizador y determina cuanta carga capacitiva es necesaria para obtener el factor de potencia deseado. La compensación del sistema puede ser manual o automática.

Los equipos se comunican mediante puertos Ethernet a través de un switch. El proyecto permitirá monitorear y ejecutar comandos en una pantalla virtual simulada en WINCC tal como una estación de control remoto.

ABSTRACT

Topic: SIMULATION AND AUTOMATION OF THE REACTIVE POWER CONTROL FOR IMPROVEMENT OF THE POWER FACTOR.

Authors: Diego R. Obregón Holguín, Jonathan A. Zeas Mora

Thesis Director: Juan Carlos Lata García, MSc.

Keywords: Didactic Module, Power Factor, Cabling, Capacitor Bank, Power Triangle, Virtual Screen.

The present project focuses on the design and construction of an easy-to-move didactic module, which allows the control of reactive power to improve the power factor through the use of a S7-1200 programmable logic controller, which performs the start-up of a motor through the relay outputs, monitors the system through the analyzer and determines how much capacitive load is necessary to obtain the desired power factor. The compensation of the system can be manual or automatic.

The equipment communicates through Ethernet ports through a switch. The project will allow to monitor and execute commands in a simulated virtual screen in WINCC such as a remote control station.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
PORTADA.....	i
CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS.....	iii
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS.....	iv
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	15
ÍNDICE DE TABLAS.....	19
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	20
ÍNDICE DE ANEXOS.....	21
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA.....	22
INTRODUCCIÓN.....	24
CAPÍTULO 1.....	25

1. EL PROBLEMA	25
1.1. Descripción del Problema.	25
1.2. Antecedentes	25
1.3. Importancia y Alcances.....	25
1.4. Delimitación.....	26
1.5. Objetivos	26
1.5.1. Objetivo General	26
1.5.2. Objetivo Específico.....	26
1.6. Marco Metodológico.....	27
1.6.1. Investigación cuantitativa	27
CAPÍTULO 2	28
2. MARCO TEÓRICO.....	28
2.1. Triángulo de potencias	28
2.2. Potencia Activa	29
2.3. Potencia Reactiva.....	29
2.4. Potencia Aparente	30
2.5. Factor de Potencia.....	31
2.6. Coseno Φ	32
2.7. Causas de un bajo factor de potencia	32
2.8. Consecuencias de un bajo factor de potencia.....	33
2.9. Penalización	34
2.10. Métodos para la corrección del factor de potencia.....	35
2.11. Corrección del factor de potencia	35
2.12. Impedancia	36
2.13. Desfase entre Voltaje e Intensidad.....	38
CAPÍTULO 3	40

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	40
3.1. Diseño Mecánico.....	40
3.1.1. Estructura del módulo	40
3.2. Diseño eléctrico.....	42
3.3. Descripción y característica técnicas de los equipos y elementos	43
3.3.1. PLC	43
3.3.2. Tarjeta de señales	44
3.3.3. Fuente de voltaje	45
3.3.4. Pulsadores	46
3.3.5. Selectores	47
3.3.6. Relés.....	47
3.3.7. Conector Banana	48
3.3.8. Placa reguladora de voltaje	48
3.3.9. Tarjetas porta fusibles	49
3.3.10. Borneras de conexión.....	50
3.3.11. Voltímetros.....	50
3.3.12. Luz piloto	51
3.4. Secuencia de construcción de la estructura del módulo didáctico	51
3.4.1. Corte de la plancha metálica	51
3.4.2. Punzonado de la plancha metálica	52
3.4.3. Doblado de la plancha metálica	52
3.4.4. Soldado de la plancha metálica	53
3.4.5. Limpieza de la plancha metálica	53
3.4.6. Pintada de la caja metálica	54
3.4.7. Grabado del acrílico	54
3.5. Secuencia de cableado y conexión del módulo didáctico	55
3.5.1. Instalación de elementos externos del módulo didáctico.....	55
3.5.2. Instalación de elementos internos del módulo didáctico.....	57
3.5.3. Cableado del módulo didáctico.....	59
3.5.4. Mantenimiento del módulo didáctico.....	62
CAPÍTULO 4	65

4. GUÍA DE PROGRAMACIÓN	65
CAPÍTULO 5	96
5. PRÁCTICAS DEL MÓDULO DIDÁCTICO	96
5.1. Práctica 1	96
5.1.1. Tema: Comunicación del PLC	96
5.1.2. Objetivos:	96
5.1.3. Recursos:	96
5.1.4. Tiempo estimado:	97
5.1.5. Procedimiento	97
5.1.6. Diagrama de conexión.....	98
5.1.7. Resultados	100
5.2. Práctica 2	101
5.2.1. Tema: Corrección Manual.....	101
5.2.2. Objetivos:	101
5.2.3. Recursos:	101
5.2.4. Tiempo estimado:	102
5.2.5. Procedimiento	102
5.2.6. Diagrama de conexión.....	102
5.2.7. Resultados	105
5.3. Práctica 3	107
5.3.1. Tema: Corrección Automática	107
5.3.2. Objetivos:	107
5.3.3. Recursos:	107
5.3.4. Tiempo estimado:	107
5.3.5. Procedimiento	108
5.3.6. Diagrama de conexión.....	109
5.3.7. Resultados	112
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	115
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	116

ANEXOS 117

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1: TRIÁNGULO DE POTENCIA.	28
FIGURA 2: RANGO DEL FACTOR DE POTENCIA.	31
FIGURA 3: CIRCUITO DE CORRIENTE ALTERNA.	32
FIGURA 4: ÁNGULOS DEL FACTOR DE POTENCIA.	33
FIGURA 5: CARACTERÍSTICA DE UNA CARGA RESISTIVA.	38
FIGURA 6: CARACTERÍSTICA DE UNA CARGA INDUCTIVA.	38
FIGURA 7: CARACTERÍSTICA DE UNA CARGA CAPACITIVA.	39
FIGURA 8: VISTA FRONTAL Y POSTERIOR DEL MÓDULO.	41
FIGURA 9: VISTA ISOMÉTRICA DEL MÓDULO.	41
FIGURA 10. CALADOS DE LA SOBRETAPA DEL MÓDULO.	42
FIGURA 11: CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE S7-1200.[11].....	43
FIGURA 12: SIGNAL BOARD.[12]	45
FIGURA 13: FUENTE DE VOLTAJE 120 VAC – 24 VDC.[13].....	46
FIGURA 14: PULSADORES CAMSCO.	46
FIGURA 15: SELECTORES CAMSCO.	47
FIGURA 16: RELÉS DE 8 PINES CAMSCO, BOBINA 24 VDC. [14].....	47
FIGURA 17: CONECTOR BANANA HEMBRA.	48
FIGURA 18: PLACA REGULADORA DE VOLTAJE.	48
FIGURA 19: TARJETA PORTA FUSIBLES.	49
FIGURA 20: BORNERAS DE CONEXIÓN.	50
FIGURA 21: VOLTÍMETRO 0 – 30 V.	50
FIGURA 22: LUZ PILOTO CAMSCO.	51
FIGURA 23: PROCESO DE CORTE.	51
FIGURA 24: PROCESO DE PUNZONADO.	52
FIGURA 25: PROCESO DE DOBLADO.	52
FIGURA 26: PROCESO DE SOLDADO.	53
FIGURA 27: PROCESO DE LIMPIEZA.	53
FIGURA 28: PROCESO DE PINTADO.	54
FIGURA 29: PROCESO DE GRABADO.	54
FIGURA 30: METALMECÁNICA DEL MÓDULO DIDACTICO.	55
FIGURA 31: COLOCACIÓN DE ELEMENTOS EN LA SOBRETAPA.	56

FIGURA 32: ELEMENTOS FINALES EN LA SOBRETAPA.	56
FIGURA 33: ELEMENTOS EXTERIORES DEL MÓDULO.	57
FIGURA 34: PORTACABLES DEL MÓDULO.	57
FIGURA 35: COLOCACIÓN DE CANALETA EN EL PLAFÓN.	58
FIGURA 36: UBICACIÓN DE CANALETAS FINALES EN EL PLAFÓN DEL MÓDULO.	58
FIGURA 37: UBICACIÓN DE EQUIPOS EN EL PLAFÓN.	59
FIGURA 38: CABLEADO DEL MÓDULO DIDÁCTICO.	60
FIGURA 39: MÓDULO DIDÁCTICO TOTALMENTE CABLEADO.	61
FIGURA 40: MÓDULO DIDÁCTICO TERMINADO.	61
FIGURA 41: PRUEBA DE CONTINUIDAD EN EL MÓDULO.	62
FIGURA 42: PUERTO DE ALIMENTACIÓN DEL MÓDULO.	63
FIGURA 43: PRUEBA DE AJUSTE EN EL MÓDULO.	64
FIGURA 44. CREAR NUEVO PROYECTO.	65
FIGURA 45. PANTALLA INICIAL DE TIA PORTAL.	65
FIGURA 46. PANTALLA DISPOSITIVOS CONECTADOS.	66
FIGURA 47. AGREGAR UN DISPOSITIVO.	66
FIGURA 48. CONEXIÓN FÍSICA PARA COMUNICACIÓN.	67
FIGURA 49. DIRECCIÓN IP DEL COMPUTADOR.	67
FIGURA 50. ASIGNACIÓN DE IP DEL PLC.	68
FIGURA 51. VISTA GENERAL DEL PROYECTO.	68
FIGURA 52. ASIGNACIÓN DE SIGNAL BOARD.	69
FIGURA 53. BLOQUE DE ORGANIZACIÓN PRINCIPAL (MAIN [OB1]).	69
FIGURA 54. AÑADIR BLOQUE DE DATOS.	70
FIGURA 55. INSTRUCCIÓN DE COMUNICACIÓN MB_CLIENT.	70
FIGURA 56. CONFIGURACIÓN DEL BLOQUE DE DATOS.	71
FIGURA 57. ASIGNACIÓN DE IP DEL SENTRON PAC 4200.	71
FIGURA 58. AJUSTE DE DIRECCIÓN IP DEL SENTRON PAC.	72
FIGURA 59. CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS.	72
FIGURA 60. ACTIVACIÓN DE MARCAS DE CICLO.	73
FIGURA 61. AGREGAR VARIABLES PLC.	73
FIGURA 62. CONFIGURACIÓN DE INSTRUCCIÓN MB_CLIENT.	74
FIGURA 63. CARGAR CONFIGURACIÓN EN DISPOSITIVO.	75
FIGURA 64. VISUALIZACIÓN DEL PROGRAMA EN LÍNEA.	76

FIGURA 65. AGREGAR DIRECCIONES REMOTAS.....	77
FIGURA 66. VISUALIZAR DATOS EN TABLA DE OBSERVACIÓN.....	77
FIGURA 67. VOLTAJES DE FASE EN EL SENTRON PAC.....	77
FIGURA 68. VARIABLES AGREGADAS A LA PROGRAMACIÓN.....	78
FIGURA 69. CARGAR EN DISPOSITIVOS (SÓLO CAMBIOS).....	78
FIGURA 70. VISUALIZACIÓN FINAL DE DATOS ADQUIRIDOS.....	79
FIGURA 71. AGREGAR PANTALLA HMI.....	80
FIGURA 72. AGREGAR TARJETA COMUNICACIÓN.....	80
FIGURA 73. DIRECCIÓN IP DE IE GENERAL.....	81
FIGURA 74. CONEXIÓN DEL PLC Y HMI VIRTUAL.....	81
FIGURA 75. ESPACIO DE TRABAJO DE LA PANTALLA HMI.....	82
FIGURA 76. AGREGAR TEXTO EN LA PANTALLA HMI.....	82
FIGURA 77. CONFIGURAR VARIABLE EN EL CAMPO E/S.....	83
FIGURA 78. AGREGAR BOTONES EN LA PANTALLA HMI.....	83
FIGURA 79. AGREGAR LÍNEAS EN LA PANTALLA HMI.....	84
FIGURA 80. CREAR BLOQUE PARA LÓGICA DE CONTROL.....	84
FIGURA 81. LÓGICA DE CONTROL.....	85
FIGURA 82. VISTA DE LA LÓGICA DE CONTROL.....	85
FIGURA 83. CONTROL DE BANCO DE CAPACITORES MANUAL.....	86
FIGURA 84. CONFIGURACIÓN MODO AUTOMÁTICO.....	86
FIGURA 85. CÁLCULO DE POTENCIA REACTIVA FALTANTE.....	87
FIGURA 86. CÁLCULO DEL ÁNGULO MEDIANTE TRIGONOMETRÍA.....	87
FIGURA 87. AGREGAR VARIABLE A LOS BOTONES DE LA PANTALLA HMI.....	88
FIGURA 88. AGREGAR EVENTOS AL BOTÓN DE EMERGENCIA.....	88
FIGURA 89. AGREGAR EVENTOS AL BOTÓN DE EMERGENCIA.....	89
FIGURA 90. AGREGAR VARIABLE A LA LUCES DE LA PANTALLA HMI.....	90
FIGURA 91. AGREGAR VARIABLE A LAS LÍNEAS DE LA PANTALLA HMI.....	90
FIGURA 92. ESCOGER SELECTORES.....	91
FIGURA 93. CONFIGURACIÓN DE SELECTORES.....	91
FIGURA 94. CONFIGURACIÓN CUADROS DE ENTRADA/SALIDA.....	92
FIGURA 95. MENSAJES DE ALARMA.....	92
FIGURA 96. ACTIVAR IMAGEN DE TENDENCIAS.....	93

FIGURA 97. VISOR DE TENDENCIAS.	93
FIGURA 98. BOTÓN ATRÁS.	94
FIGURA 99. CONFIGURAR TENDENCIAS.	94
FIGURA 100. PANTALLA TERMINADA.	95
FIGURA 101. DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL DEL MOTOR.	98
FIGURA 102. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRÁCTICA 1.	99
FIGURA 103. ESQUEMA DE CONEXIÓN FÍSICA DE LA PRÁCTICA 1.	99
FIGURA 104. DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL DE LA PRACTICA 2.	103
FIGURA 105. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRÁCTICA 2 PARTE 1.	103
FIGURA 106. ESQUEMA CONEXIÓN DE LA PRÁCTICA 2 PARTE 2.	104
FIGURA 107. ESQUEMA DE CONEXIÓN FÍSICA DE LA PRÁCTICA 2.	104
FIGURA 108. ESQUEMA DE CONEXIÓN FÍSICA DE LA PRÁCTICA 3.	109
FIGURA 109. DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL DE LA PRACTICA.	110
FIGURA 110. ESQUEMA CONEXIÓN DE LA PRÁCTICA 3 PARTE 1.	111
FIGURA 111. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRÁCTICA 3 PARTE 2.	111

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1: FACTOR DE POTENCIA VS ÁNGULO.	33
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PLC.	44
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA SIGNAL BOARD.	45
TABLA 4: ELEMENTOS DE LA PLACA REGULADORA DE VOLTAJE.	49
TABLA 5. VALORES LEIDOS Y CALCULADOS DE LA PRACTICA 1.	100
TABLA 6. VALORES LEIDOS DE LA PRACTICA 2.	105
TABLA 7. VALORES CALCULADOS DE LA PRACTICA 2.....	106
TABLA 8. VALORES LEIDOS DE LA PRACTICA 3.	112
TABLA 9. VALORES CALCULADOS DE LA PRACTICA 3.....	113

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
(1) ECUACIÓN COSENO DE FI	28
(2) ECUACIÓN POTENCIA ACTIVA.....	29
(3) ECUACIÓN POTENCIA ACTIVA POR TRIÁNGULO DE POTENCIA	29
(4) ECUACIÓN POTENCIA REACTIVA	30
(5) ECUACIÓN POTENCIA REACTIVA POR TRIÁNGULO DE POTENCIA ..	30
(6) ECUACIÓN POTENCIA APARENTE.....	30
(7) ECUACIÓN POTENCIA APARENTE POR TRIÁNGULO DE POTENCIA .	31
(8) ECUACIÓN FACTOR DE PENALIZACIÓN	34
(9) ECUACIÓN PENALIZACIÓN POR BAJO FACTOR DE POTENCIA	34
(10) ECUACIÓN POTENCIA REACTIVA NECESARIA PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA.....	36
(11) ECUACIÓN FI.....	36
(12) ECUACIÓN REACTANCIA INDUCTIVA	37
(13) ECUACIÓN FRECUENCIA ANGULAR.....	37
(14) ECUACIÓN REACTANCIA INDUCTIVA EN FUNCION DE LA FRECUENCIA ANGULAR.....	37
(15) ECUACIÓN REACTANCIA CAPACITIVA	37
(16) ECUACIÓN REACTANCIA CAPACITIVA EN FUNCION DE LA FRECUENCIA ANGULAR	37

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. SIMBOLOGÍA.....	117
ANEXO 2. DIAGRAMA ELÉCTRICO COMPLETO.	118
ANEXO 3. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 1.	119
ANEXO 4. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 2.	120
ANEXO 5. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 3.	121
ANEXO 6. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 4.	122
ANEXO 7. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 5.	123
ANEXO 8. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 6.	124
ANEXO 9. DIAGRAMA DE PLACA REDULADORA DE VOLTAJE.....	125
ANEXO 10. DIMENSIONES DEL MÓDULO DIDÁCTICO.	126
ANEXO 11. VISTA 3D DEL MÓDULO DIDÁCTICO.....	127
ANEXO 12. ELEMENTOS DEL MÓDULO DIDÁCTICO.....	128
ANEXO 13. CONEXIONES DEL PLC S7 1200.....	129
ANEXO 14. CONEXIONES DE LA FUENTE 24 VDC.....	130
ANEXO 15. CONEXIONES DE LOS BORNES DE CONEXIÓN.	131
ANEXO 16. CONEXIONES DE LA PLACA PORTA FUSIBLE.	132
ANEXO 17. CONEXIONES DE LOS RELÉS 24 VDC.....	133
ANEXO 18. VISTA DELANTERA DE LA SOBRETAPA DEL MÓDULO DIDÁCTICO.....	134
ANEXO 19. VISTA TRASERA DE LA SOBRETAPA DEL MÓDULO DIDÁCTICO.....	135
ANEXO 20. CONEXIONES DEL VOLTÍMETRO.	136
ANEXO 21. CONEXIONES DE LOS POTENCIOMETROS CON LA PLACA.	137
ANEXO 22. CONEXIONES DEL PANEL DE ALIMENTACIÓN 24 VDC.....	138
ANEXO 23. CONEXIONES DE LAS ENTRADAS DIGITALES.....	139
ANEXO 24. CONEXIONES DE LOS CONTACTOS ABIERTO DEL RELÉ.	140
ANEXO 25. CONEXIONES DE LAS SALIDAS DIGITALES.....	141
ANEXO 26. CONEXIONES DE LAS LUCES PILOTO.	142
ANEXO 27. CONEXIONES DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS.	143

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

kVA	KiloVoltaAmperios
kVAR	KiloVoltaAmperios Reactivos
kVAR	KiloVoltaAmperios Reactivos
kW	Kilo Vatio
VAC	Voltaje Corriente Alterna
VDC	Voltaje Corriente Continua
PLC	Controlador lógico programable
PC	Computadora personal
SB	Signal Board
V	Voltios
mA	Miliamperios
Cos	Coseno
Sen	Seno
Tan	Tangente
P	Potencia Activa
Q	Potencia Reactiva
S	Potencia Aparente
Φ	Fi
BFp	Factor de penalización
FP	Factor de potencia
W	Frecuencia angular
F	Frecuencia
L	Inductancia
C	Capacitancia
X _L	Reactancia Inductiva
X _C	Reactancia Capacitiva
FPr	Factor de potencia registrado
PBFP	Penalización por bajo factor de potencia
FSPEEi	Factura por servicio público de energía eléctrica inicial
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
Hz	Hertz
I	Intensidad

Z	Impedancia
R	Resistencia
X	Reactancia
NO	Normalmente abierto
NC	Normalmente cerrado
HMI	Interfaz Hombre-Máquina
IP	Protocolo de Internet
CPU	Unidad central de procesamiento
Φ	Fi

INTRODUCCIÓN

El proyecto se desarrolla por la necesidad de tener un módulo práctico para realizar la automatización de la corrección del factor de potencia mediante el aporte de energía reactiva al sistema, a la vez que se puede visualizar el comportamiento del sistema mediante la interfaz gráfica simulada en una computadora portátil. Para eso se utilizará un PLC S7 1200 de la línea Siemens con el que se realizará el proceso de control del factor de potencia de manera automática, una vez que detecte el exceso de reactivos inductivos ocasionado por la carga (motor), ingresa el banco de capacitores proporcionando reactivos capacitivos al sistema. Todo esto con la finalidad de dar soporte didáctico en el aprendizaje y educación de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana.

Una vez descrito el problema se sustenta la necesidad de un módulo para la práctica de automatización a la vez se profundiza el conocimiento sobre el factor de potencia, se explica brevemente la teoría relacionada al tema de investigación, la estructura del maletín didáctico con cada uno de sus componentes y las prácticas propuestas que servirán de guía para poner en funcionamiento el proyecto.

El tema de investigación es importante al lograr comunicar nuestro módulo didáctico con los bancos de pruebas existentes en los laboratorios de la universidad, el proyecto multifuncional, se tiene distintas aplicaciones durante el aprendizaje de los estudiantes y así poder desarrollar destrezas en la rama de la programación que no sería posible mejorarlas si no existiera el maletín didáctico.

Durante la elaboración del proyecto se presentaron inconvenientes y contratiempos que dificultaban el proceso de construcción del módulo y la etapa de comunicación de elementos, problemas que fueron superados con investigación y consultas a personas expertas en el tema.

Siguiendo una metodología aplicada se presenta el proyecto desarrollado, esperando sea de gran ayuda para los estudiantes de la universidad y así sean muchos los beneficiados.

CAPÍTULO 1

1. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema.

Actualmente la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil ha incrementado considerablemente el número de estudiantes, por lo que es necesario incrementar el número de módulos pedagógicos que ayudaran a complementar la teoría con la práctica, son necesarios para mejorar la calidad de enseñanza de las carreras técnicas. Teniendo este problema como premisa se decide implementar un módulo de automatización que complementará los laboratorios.

1.2. Antecedentes

El progresivo desarrollo tecnológico que se vive en el siglo XXI, ha generado cambios y mejoras en muchos ámbitos, las industrias conscientes de estos cambios, están implementando sistemas de automatización en sus procesos, mejorando su fluidez y así ser mucho más competitivas en el mercado.

Las nuevas tecnologías obligan a los centros educativos a implementar nuevos métodos de enseñanza que agiliten y complementen el aprendizaje de los estudiantes. La Universidad Politécnica Salesiana, a través de la implementación de nuevos laboratorios con maletines didácticos, mejora la calidad de enseñanza, aplicando los conocimientos teóricos de una manera práctica para así llegar a la resolución de casos y problemas específicos.

1.3. Importancia y Alcances

Con la implementación del módulo didáctico se beneficiarán los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana, mediante el cual pondrán en práctica los conocimientos adquiridos en la materia de Automatización. El módulo didáctico permitirá que la universidad tenga un plus entre las demás universidades, empezando a graduar personas formadas tanto teórica como prácticas.

1.4. Delimitación

El lugar escogido para la implementación del módulo didáctico es el bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, ubicada en General Francisco Robles 107 y Chambers la ciudad de Guayaquil.

El proyecto está destinado a ser un aporte para la comunidad estudiantil de la carrera de electricidad, la implementación del módulo didáctico durará alrededor de ocho meses.

El módulo didáctico se conectará al *Banco de pruebas para control de factor de potencia* para obtener datos del analizador de redes SENTRON PAC 4200 y mostrarlos a través de una interfaz gráfica virtual en WINCC ADVANCED, además permitirá el control manual y automático de la potencia reactiva para el control del factor de potencia.

La intención del proyecto es complementar el aprendizaje a lo largo de la vida estudiantil, debido a que el módulo permite que los estudiantes apliquen de manera práctica lo que imparte el docente en las aulas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Implementar un sistema de control que permita la automatización y simulación del control de potencia reactiva para mejoramiento del factor de potencia.

1.5.2. Objetivo Específico

- Aplicar sistemas de control y monitoreo para compensación reactiva.
- Diseñar un módulo de pruebas para el control automático.
- Dimensionar y seleccionar los equipos a utilizar.
- Construir el maletín didáctico.
- Realizar prácticas demostrativas para aplicar en el módulo.

1.6. Marco Metodológico

El objetivo de cualquier ciencia es adquirir nuevos conocimientos, ayuda a elegir un método adecuado que nos permita conocer la realidad de lo que se está investigando.

La Investigación Científica está encaminada a profundizar el conocimiento de un proceso ya sea teórico, práctico o teórico-práctico, parte del conocimiento científico y lo lleva a la solución de problemas de la sociedad. El **qué** de la Investigación Científica es el llamado objeto de la investigación, es aquella parte de la realidad objetiva sobre la cuál va a actuar el investigador desde el punto de vista, tanto práctico como teórico, para lograr la solución del problema.[1]

En el proyecto se utilizó la metodología científica, a través del enfoque cuantitativo, que es el que utiliza la observación del proceso en forma de recolección de datos para luego analizarlos y así poder responder preguntas necesarias para la investigación que se esté realizando.

1.6.1. Investigación cuantitativa

La investigación cuantitativa es aquella en la que se recogen y analizan datos cuantitativos sobre variables.[2]

La investigación cuantitativa manipula una variable externa no demostrada, con el fin de describir por qué causas o como se produce una situación o acontecimiento.

La investigación cuantitativa es el enfoque que utiliza el método científico para diagnosticar necesidades o problemas reales, con el fin de aplicar los conocimientos que se adquieran con fines prácticos.

Como lo hemos mencionado la metodología utilizada es la científica, la misma que estudia una problemática real existente, que se presenta en la Universidad Politécnica Salesiana, brindando una solución puntual y específica para complementar los conocimientos teóricos impartidos en clases.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Triángulo de potencias

El triángulo de potencias es la mejor manera de ver y comprender, de manera gráfica, qué es el factor de potencia o coseno Φ y su relación con las potencias presentes en un circuito eléctrico. Ver Fig 1.

Las potencias activa, reactiva y aparente suministradas a una carga se relacionan por medio del triángulo de potencia.[3]

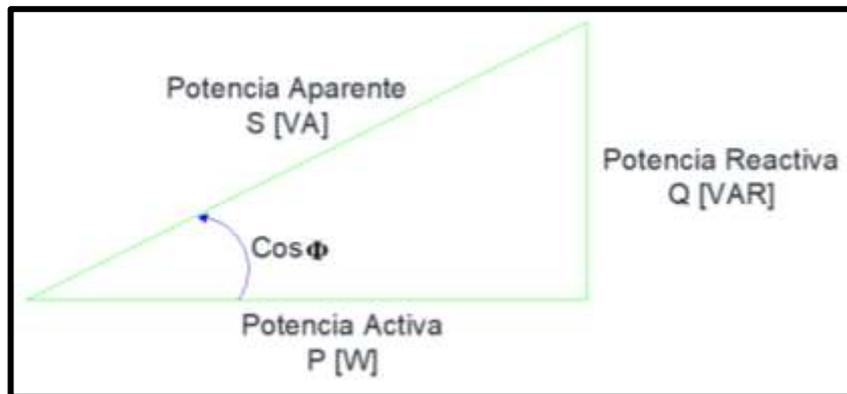


FIGURA 1: TRIÁNGULO DE POTENCIA.

El coseno Φ se define como la relación directa entre la potencia activa o potencia real de trabajo (P) y la potencia aparente o potencia consumida por la carga (S). Matemáticamente tendríamos la siguiente formula:

$$\text{Cos } \Phi = P/S \quad (1)$$

Donde:

Cos Φ : Valor del factor de potencia o coseno de Φ .

P: Potencia Activa

S: Potencia Aparente

2.2. Potencia Activa

Este tipo de potencia es absorbida por las cargas denominadas resistivas y se puede aprovechar como potencia útil. En las cargas resistivas la energía absorbida de la red se transforma íntegramente en energía mecánica, lumínica, térmica o cualquier otra forma de energía. La potencia activa se la representa con la letra P y se mide en vatios (W). Se calcula como:

$$P = V * I * \text{Cos } \Phi \quad (2)$$

Donde:

P: Potencia Activa

V: Tensión Nominal

I: Intensidad Nominal

Cos Φ : Valor del factor de potencia o coseno de ϕ .

También se lo puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$P = S \text{ Cos } \Phi \quad (3)$$

Donde:

P: Potencia Activa

S: Potencia Aparente

Cos Φ : Valor del factor de potencia o coseno de ϕ .

2.3. Potencia Reactiva

La potencia reactiva no es una potencia realmente consumida en la instalación eléctrica, sin embargo es la potencia que necesitan las bobinas y los capacitores para generar campos magnéticos o eléctricos para su funcionamiento, pero que no se transforma en trabajo útil. La potencia reactiva se la representa con la letra Q y se mide en voltamperios reactivos (VAR). Se calcula como:

$$Q = V * I * \text{Sen } \Phi \quad (4)$$

Donde:

Q: Potencia Reactiva

V: Tensión Nominal

I: Intensidad Nominal

Sen Φ : Seno de ϕ

También se lo puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (5)$$

Donde:

S: Potencia Aparente

P: Potencia Activa

Q: Potencia Reactiva

2.4. Potencia Aparente

También conocida como potencia total, es la cantidad de potencia consumida de la red eléctrica por la carga y es el producto de los valores eficaces de tensión e intensidad. Se obtiene como la suma vectorial de las potencias activa y reactiva. La potencia reactiva se la representa con la letra S y se mide en voltamperios (VA). Se calcula como:

$$S = V * I \quad (6)$$

Donde:

S: Potencia Aparente

V: Tensión Nominal

I: Intensidad Nominal

También se lo pude calcular mediante la siguiente ecuación a través del teorema de Pitágoras.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (7)$$

Donde:

S: Potencia Aparente

P: Potencia Activa

Q: Potencia Reactiva

2.5. Factor de Potencia

El factor de potencia se puede definir como la medición del rendimiento eléctrico de un receptor o un sistema eléctrico, en otras palabras, determina el porcentaje que se aprovecha entre la energía que se extrae de la red de alimentación y la energía útil que se obtiene con el funcionamiento del sistema eléctrico.[4]

El receptor transforma la energía eléctrica en cualquier otro tipo de energía como es el caso de la energía luminosa, calorífica, motriz o sonora, entonces el factor de potencia define cuanto porcentaje de esa energía se convierte en trabajo útil, siguiendo este concepto, al factor de potencia se lo puede ver como índice de eficiencia energética.

El factor de potencia es un tipo de medida adimensional, es decir solo se expresa de manera numérica. Si el valor fuera 1, quiere decir que el rendimiento de ese sistema es del 100% y que toda la energía absorbida de la red se convierte en energía útil. Ver Fig 2.



FIGURA 2: RANGO DEL FACTOR DE POTENCIA.

2.6. Coseno Φ

En los sistemas eléctricos difícilmente tendremos ángulos de 0° o 90° exactos de desfase entre las señales de voltaje y corriente, pues es casi utópico pensar en la existencia de circuitos netamente resistivos o inductivos, ya que se conforman de dos o tres componentes existentes, los cuales son resistivos, inductivos y capacitivos. Estos elementos conforman un circuito RLC, conocido así por la simbología de la resistencia (R), la bobina o inductancia (L) y el condensador o capacitancia (C). En la figura 3 se muestra un circuito RLC alimentado por una fuente de voltaje de corriente alterna.

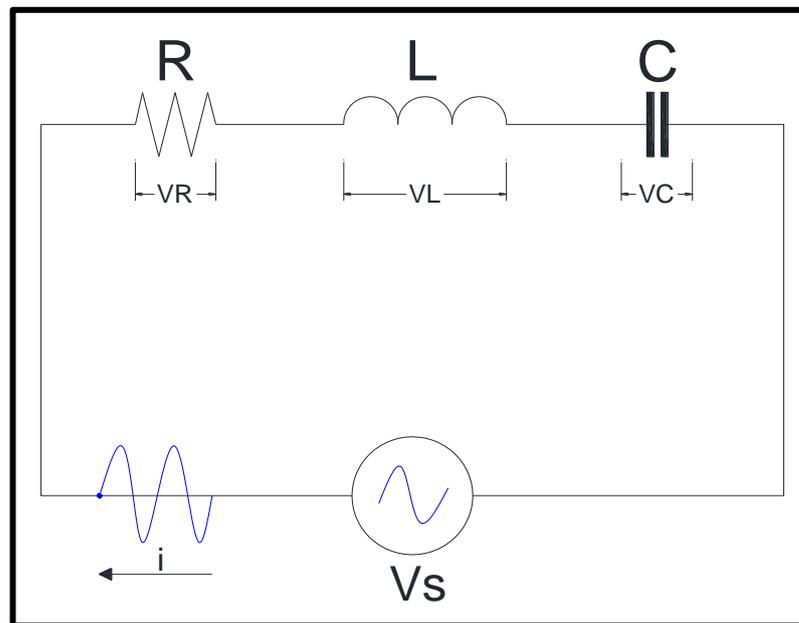


FIGURA 3: CIRCUITO DE CORRIENTE ALTERNA.

El ángulo de desfase (Φ) entre la corriente y la tensión es el que se utiliza para calcular el $\text{Cos } \Phi$, el cual se relaciona directamente con el factor de potencia.

2.7. Causas de un bajo factor de potencia

El factor de potencia describe la cantidad de energía eléctrica que ha permitido producir un trabajo útil, las cargas eléctricas para su buen funcionamiento requieren de un cierto consumo de energía. Cuando el consumo de las cargas eléctricas en su gran mayoría es energía reactiva, el valor del ángulo se incrementa y baja el factor de potencia.

A continuación, se muestra una gráfica Voltaje vs Intensidad, donde se aprecia distintos fasores de corriente, por lo tanto distintos ángulos. Recordemos que el ángulo entre V-I es el mismo ángulo que existe entre la P-S. Ver Fig 4.

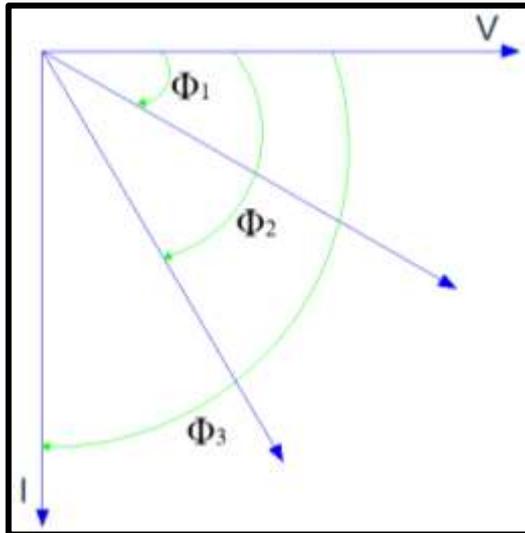


FIGURA 4: ÁNGULOS DEL FACTOR DE POTENCIA.

La tabla 1 que se adjunta a continuación, corresponde a los valores de factor de potencia según el ángulo de ϕ , referente a la imagen anterior.

TABLA 1: FACTOR DE POTENCIA VS ÁNGULO.

Factor de potencia VS ángulo	
Φ	$FP = \cos \Phi$
0	1
30	0.866
60	0.5
90	0

2.8. Consecuencias de un bajo factor de potencia

Entre más bajo sea el factor de potencia, es mayor potencia aparente y mayor intensidad que se debe proporcionar a la carga, para entregar una misma potencia activa, entonces la empresa suministradora del servicio eléctrico debe tener mayor capacidad de generación de potencia aparente (kVA). Por ende, se debe sobredimensionar las líneas de distribución y los transformadores.

Otra de las consecuencias es que provocan calentamiento excesivo en sus conductores, con consecuencias que se reflejarán en la vida útil de los aislantes y equipos.

Un bajo factor de potencia desencadena un incremento considerable en la planilla eléctrica por excesivo consumo de energía reactiva, se cobra un porcentaje de penalización en función de la tarifa contratada.

2.9. Penalización

La finalidad de corregir el factor de potencia es de evitar la penalización por parte de la empresa eléctrica a través de los entes reguladores.

La agencia de regulación y control de electricidad (ARCONEL) detalla en su PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA 2018 RESOLUCIÓN No. ARCONEL-005/18 del periodo Enero – Diciembre 2018, para aquellos consumidores de la categoría general, con medición de energía reactiva, clientes que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0.92, la empresa distribuidora aplicara lo establecido en el Art.27 de la codificación de reglamentos de tarifas: “Cargos por bajo factor de potencia”. [5]

Las fórmulas para el cálculo de la penalización por tener un bajo factor de potencia son las siguientes:

$$BFp = \frac{0.92}{FPr} - 1 \quad (8)$$

$$PBFP = BFp \times FSPEEi \quad (9)$$

Para lo cual se debe considerar lo siguiente:

$$FPr = \begin{cases} PBFP=0, & \& \text{ si } FPr \geq 0.92 \\ PBFP=BFp \times FSPEEi, & \text{ si } FPr < 0.92 \end{cases} \rightarrow BFp = \frac{0.92}{FPr} - 1$$

Donde:

FPr: Factor de potencia registrado

PBFP: Penalización por bajo factor de potencia

BFp: Factor de penalización

FSPEEi: Factura por servicio público de energía eléctrica inicial

Cualquiera sea el tipo de consumidor de la categoría general, con medición de energía reactiva, cuando el valor medio del factor de potencia sea inferior a 0.60, la distribuidora, previa notificación, podrá suspender el servicio público de energía eléctrica hasta que el consumidor adecue sus instalaciones a fin de superar dicho valor límite.[6]

2.10. Métodos para la corrección del factor de potencia

Los principales métodos para corregir el factor de potencia son los siguientes: Alternadores Sincrónicos, Compensadores Sincrónicos y Baterías de Condensadores Estáticos.

Los alternadores sincrónicos pueden actuar sobre la excitación del alternador para variar el valor de la tensión generada y, con ello, regular las aportaciones de potencia reactiva en la red, con objeto de mejorar los perfiles de tensión del sistema y reducir las pérdidas por efecto Joule en las líneas. [7]

Los compensadores sincrónicos funcionan en vacío, puestos en sincronismo con la red, cuya única función es absorber la potencia reactiva excedente (funcionamiento en subexcitación) o bien proporcionar la potencia que falta (funcionamiento en sobreexcitación). [7]

Las baterías de condensadores estáticos, debido a su capacidad de acumular y suministrar energía, el condensador se utiliza como elemento de base para la realización de las baterías de corrección del factor de potencia (en todos los niveles de tensión). [7]

El método más utilizado por las industrias para corregir el factor de potencia es a través de baterías de condensadores. El elemento que determina cuanta potencia reactiva se necesita para compensar el sistema es un módulo regulador de factor de potencia instalado en el banco de condensadores.

2.11. Corrección del factor de potencia

El problema más común en las industrias, es el cargo adicional en la planilla eléctrica debido al bajo factor de potencia producido por el exceso de energía reactiva, si bien es cierto la energía reactiva es la que provoca un bajo factor de potencia, la solución

no es eliminarla ya que existen equipos que necesitan consumir energía reactiva para funcionar correctamente.[8]

Para realizar la corrección del factor de potencia es necesario instalar capacitores en paralelo para compensar la energía reactiva y evitar las penalizaciones.

El cálculo de la capacidad en kVAR necesarios para corregir el factor de potencia se resume a la ecuación siguiente:

$$\text{kVAR} = \text{kW} [\tan (\text{Cos}^{-1} \text{fp}_0) - \tan (\text{Cos}^{-1} \text{fp}_1)] \quad (10)$$

Donde:

fp0: Factor de potencia actual

fp1: Factor de potencia nuevo

kVAR: Capacidad en capacitores

kW: Potencia activa actual

Para calcular ϕ tenemos la siguiente ecuación:

$$\Phi = \text{Cos}^{-1} \text{Fp} \quad (11)$$

Si no hay requisito especial del factor de potencia deseado, se utiliza 0.92 inductivo (-) que requiere la empresa eléctrica para no cobrar penalización.

2.12. Impedancia

Se la puede llamar también resistencia aparente y es la resultante de la relación entre el voltaje aplicado al circuito y la corriente que atraviesa al mismo. Cuando se trata de sistemas de corriente alterna, la impedancia (Z) se compone de dos partes: real e imaginaria. A la parte real se la conoce como Resistencia (R) mientras que la parte imaginaria se le llama Reactancia (X), teniendo ésta última dos tipos, las cuales son reactancia inductiva y reactancia capacitiva.[9]

La reactancia inductiva se determina por la inductancia del circuito y tiene la característica de retrasar la onda de corriente respecto a la onda de voltaje aplicado,

debido a que la inductancia es la propiedad eléctrica de almacenar corriente dentro de un campo eléctrico. La reactancia inductiva se expresa como:

$$X_L = \omega * L \quad (12)$$

$$\omega = (2 * \pi * f) \quad (13)$$

$$X_L = (2 * \pi * f) * L \quad (14)$$

Donde:

ω = Frecuencia angular

f = Frecuencia en Hz

L = Inductancia en Henrios

La reactancia capacitiva se determina por la capacitancia del circuito y tiene la característica de adelantar la onda de corriente respecto a la onda de voltaje aplicado, debido a que la capacitancia es la propiedad eléctrica de almacenar energía por medio de un campo electrostático y de liberar esta energía posteriormente. La reactancia capacitiva se expresa como:

$$X_C = \frac{1}{\omega * C} \quad (15)$$

$$X_C = \frac{1}{2 * \pi * f * C} \quad (16)$$

Donde:

ω = Frecuencia angular

f = Frecuencia en Hz

C = Capacitancia en faradios.

2.13. Desfase entre Voltaje e Intensidad

Las señales de tensión e intensidad son ondas senoidales, cuando se habla de corriente alterna. Cuando el periodo de ambas ondas empieza y termina igual, se dice que las señales están en fase.

En corriente alterna, tenemos tres tipos de receptores que se comportan de diferente manera, dependiendo si son cargas resistivas, inductivas o capacitivas.

Cuando la carga es una resistencia pura o un receptor resistivo, la onda de la intensidad está en fase con la onda de la tensión, Ver Fig 5.

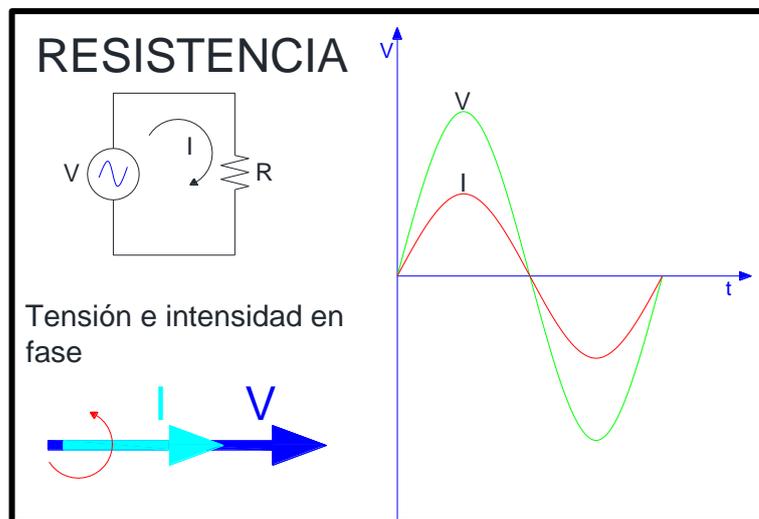


FIGURA 5: CARACTERÍSTICA DE UNA CARGA RESISTIVA.

Cuando la carga se trata de una bobina o un receptor inductivo, la onda de la intensidad está retrasada 90° con respecto a la de la tensión, Ver Fig 6.

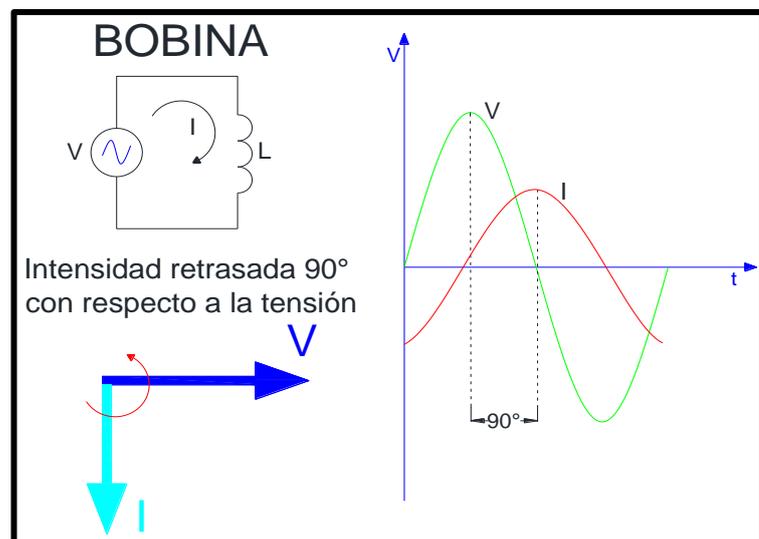


FIGURA 6: CARACTERÍSTICA DE UNA CARGA INDUCTIVA.

Cuando la carga se trata de un condensador o receptor capacitivo, la onda de la intensidad está adelantada 90° respecto a la de la tensión, Ver Fig 7.

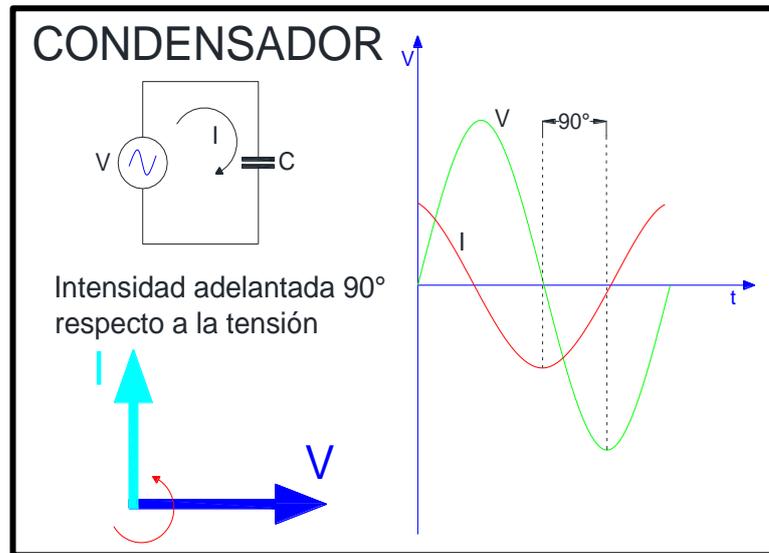


FIGURA 7: CARACTERÍSTICA DE UNA CARGA CAPACITIVA.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

En la construcción de cualquier proyecto se requiere de planos o bosquejos que permitirán dar una idea del producto final. Es de vital importancia los planos estructurales, los cuales van a permitir analizar el espacio necesario para la implementación del módulo didáctico. Los planos estructurales son muy importantes para planificar la ubicación del módulo de acuerdo con sus dimensiones. Otro de los planos necesarios para la implementación del proyecto, es el de conexionado eléctrico. Estos planos permitirán observar requerimientos del módulo.

El módulo didáctico permitirá adquirir nuevos conocimientos aplicando la automatización y a la vez complementar las clases teóricas.

3.1. Diseño Mecánico

Para el diseño estructural del módulo didáctico se utilizó el programa AutoCAD de la empresa Autodesk [10], este software de diseño fue muy útil para darnos un bosquejo en 2D y 3D del resultado final, en el mismo puede modificar y ajustar según sea la necesidad, dependiendo del tamaño de los elementos a utilizar, para obtener finalmente un resultado deseado.

3.1.1. Estructura del módulo

La estructura del módulo didáctico está construida en plancha de hierro negro de 1.4 mm de espesor.

Para el proceso de construcción se pasa por las siguientes etapas:

- Corte
- Punzonado
- Plegado
- Pintura
- Calidad
- Ensamble

En el desarrollo del documento se detalla el paso a paso de la construcción de módulo para obtener el producto final.

Las medidas de los planos que a continuación se presentaran están en centímetros, en donde se observa que tiene un alto 20 cm y un ancho de 50 cm. Las dimensiones del módulo didáctico están en centímetros, fueron diseñadas con el propósito de fácil traslado y ocupar poco espacio. Ver Fig 8, 9 y 10.

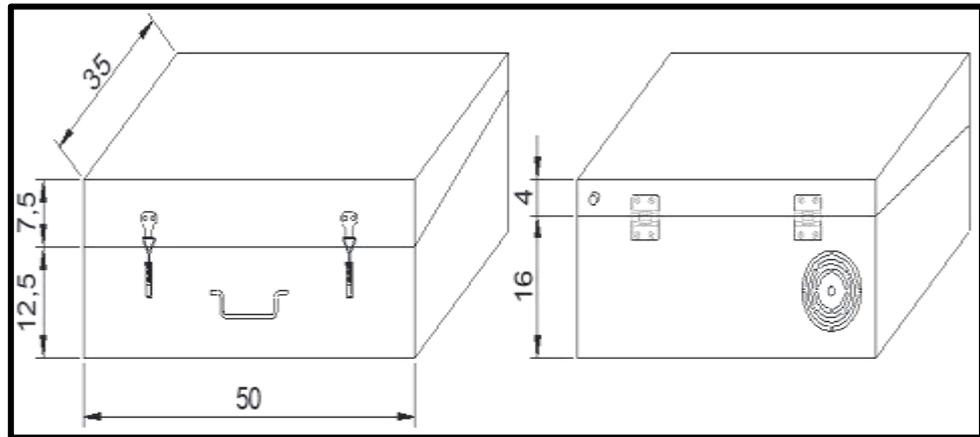


FIGURA 8: VISTA FRONTAL Y POSTERIOR DEL MÓDULO.

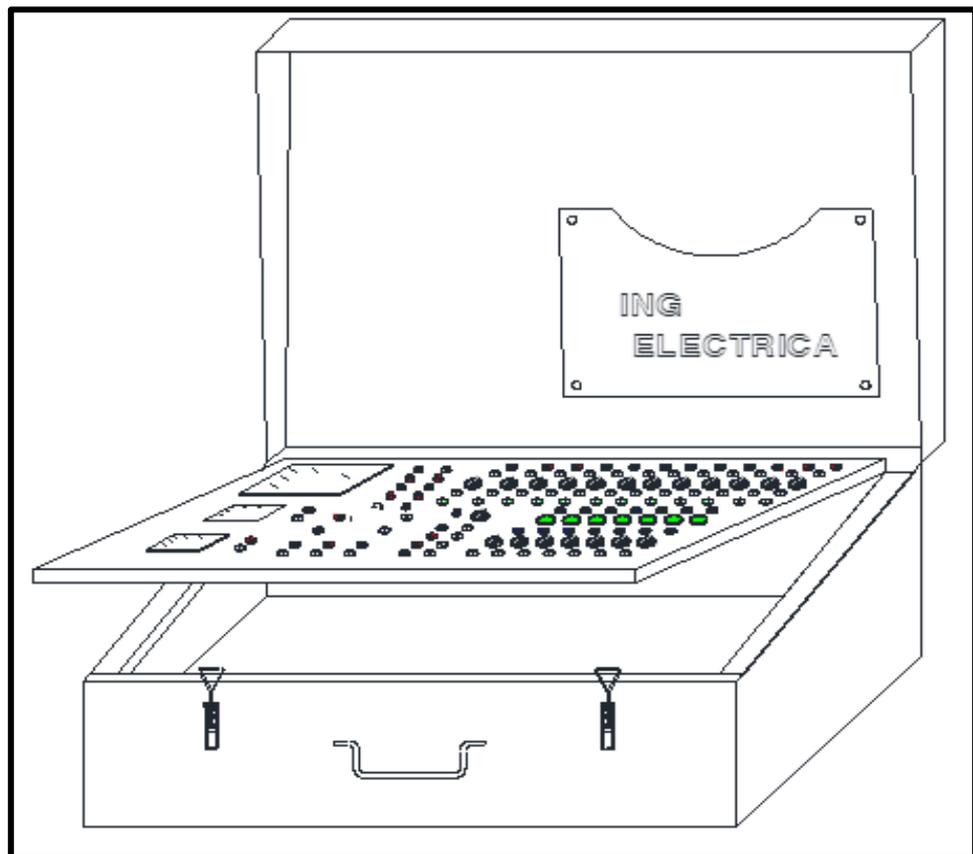


FIGURA 9: VISTA ISOMÉTRICA DEL MÓDULO.

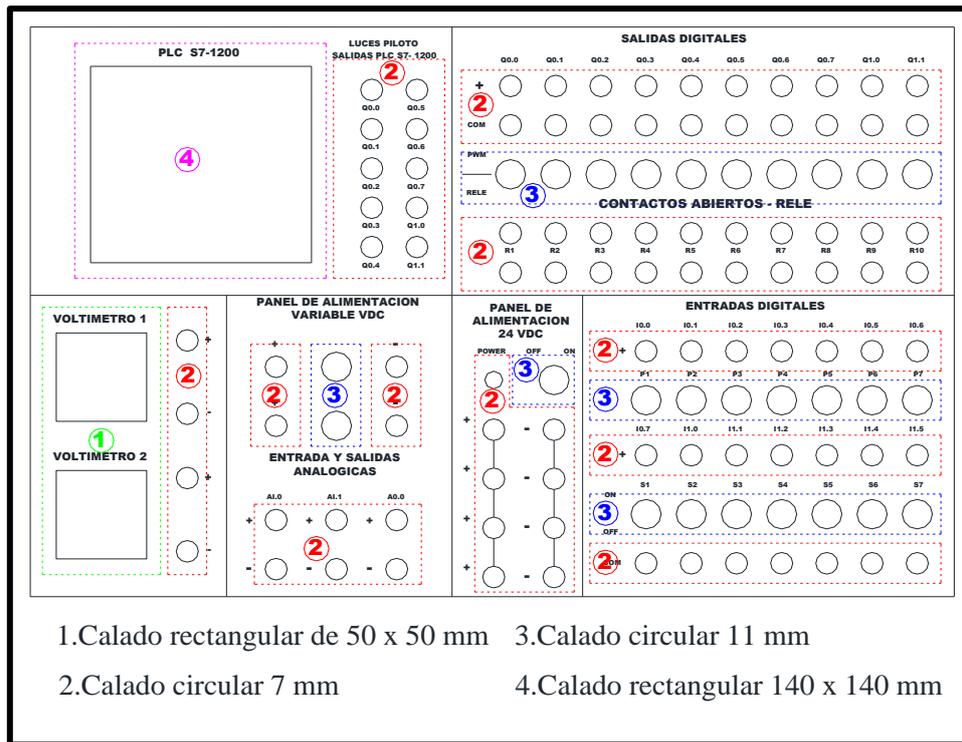


FIGURA 10. CALADOS DE LA SOBRETAPA DEL MÓDULO.

3.2. Diseño eléctrico

El diseño eléctrico del módulo didáctico se realizó en base a los elementos a utilizar y considerando la posición de los elementos, para así tomar la ruta más óptima para el cableado. Los planos eléctricos se pueden encontrar en el ANEXO 1.

El módulo didáctico cuenta con una entrada para alimentación de 120 - 240 VAC, que permite alimentar una fuente reguladora de voltaje para convertir el voltaje alterno recibido a voltaje continuo en este caso 24 VDC, para así alimentar los elementos del módulo.

El elemento más importante del módulo es el PLC S7 1200, el cual trabaja a 24 VDC y es alimentado por la fuente reguladora de voltaje para su puesta en marcha.

Cuenta con dos voltímetros analógicos que permitirán la medición de voltaje de 0 a 30 VDC, la medición no solo se podrá realizar dentro del módulo sino también fuera mediante las borneras bananas hembras.

El módulo cuenta también con relés replicadores de 8 pines con bobina de 24 VDC y contactos auxiliares, una vez que la bobina del relé reciba alimentación, los contactos auxiliares cambiarán de posición.

Las salidas relés permitirán la conexión de elementos externos del módulo didáctico mediante las borneras tipo banana.

El módulo didáctico cuenta con una sobretapa donde se encuentran debidamente distribuidos las borneras hembras tipo banana, las cuales permitirán el conexionado con otros elementos a través de los conectores banana macho permitiendo la realización de las diferentes prácticas.

3.3. Descripción y característica técnicas de los equipos y elementos

La descripción y característica técnicas de los equipos y elementos del módulo didáctico los detallamos a continuación:

3.3.1. PLC

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 es el modelo modular y compacto para sistemas de automatización que requieran funciones simples o avanzadas para lógica, HMI o redes, además ofrece flexibilidad, amplio juego de instrucciones y capacidad de controlar hardware para múltiples tareas de automatización. El S7-1200 es ideal para controlar una gran variedad de aplicaciones.[11]

El PLC utilizado en el módulo didáctico es el S7 - 1200 DC/DC/DC, el mismo que incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida. Ver Fig 11.



FIGURA 11: CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE S7-1200.[11]

El PLC S7 – 1200 DC/DC/DC se alimenta directamente de una fuente reguladora de voltaje que permitirá convertir de 120 – 240 VAC a 24 VDC. La ventaja del S7 – 1200 DC/DC/DC es que entre sus salidas se puede regular a distintos tipos de frecuencia, esta función se la llama salidas con tren de impulso.

El PLC tiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. Unas de las funciones del PLC es vigilar las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas, así como la integración con otros equipos inteligentes.

En la tabla 2 que se muestra a continuación se describen las características técnicas del controlador lógico programable S7-1200 DC/DC/DC.

TABLA 2: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PLC.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca	Siemens
Modelo	6ES7214-1AG40-0XB0
Serie	C-J8LW0300 2017
Tipo de alimentación	DC
Tensión de la fuente	24 VDC
Entradas digitales	14 – 24 VDC; 6mA/pt
Salidas digitales	10 – 24 VDC; 0.5A/pt
Entradas analógicas	2; 0-10VDC
Puerto de comunicación	Profinet / Ethernet RJ45

3.3.2. Tarjeta de señales

La tarjeta de señal también conocida como Signal Board (SB) permite agregar al PLC entradas y salidas pueden ser analógicas o digitales según se requiera. La Signal Board se conecta en la parte delantera del PLC, para ello es necesario extraer una tapa que viene ubicada en el orificio donde debe caber la SB. A continuación, se detalla los dos tipos de SB:

- SB con 4 E/S digitales (2 entradas DC y 2 salidas DC)
- SB con 1 entrada analógica

El modelo de la SB que utilizamos en el módulo didáctico es 6ES7 232-4HA30-0XB0 que contiene una salida digital configurable para V/mA. Ver Fig 12.



FIGURA 12: SIGNAL BOARD.[12]

En la tabla 3 que se muestra a continuación se describen las características técnicas de la tarjeta de señales.

TABLA 3: CARACTERÍSTICAS TECNICAS DE LA SIGNAL BOARD.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca	Siemens
Modelo	6ES7 232-4HA30-0XB0

3.3.3. Fuente de voltaje

La fuente de voltaje es un dispositivo que convierte la tensión alterna de la red a tensión continua, en este caso de 120 VAC a 24 VDC. La fuente de voltaje que se utiliza es la encargada de alimentar los distintos circuitos del módulo didáctico. Ver Fig 13.



FIGURA 13: FUENTE DE VOLTAJE 120 VAC – 24 VDC.[13]

3.3.4. Pulsadores

Los pulsadores son utilizados para ejecutar una acción mediante pulsos.

Los pulsadores que se utilizan en el módulo didáctico son de 16 mm, color verde, marca CamSCO, con la característica de poder utilizarse como contacto NO y NC. Los pulsadores utilizados pueden soportar un máximo de 5 A y 250 VAC. Ver Fig 14.



FIGURA 14: PULSADORES CAMSCO.

3.3.5. Selectores

Los selectores son utilizados para abrir o cerrar un contacto ya sea abierto o cerrado según sea su aplicación, el modulo didáctico utiliza de dos posiciones, 16 mm, marca Camsco. Tienen tres terminales: COM, NO y NC. Los selectores utilizados pueden soportar un máximo de 5 A y 250 VAC. Ver Fig 15.



FIGURA 15: SELECTORES CAMSCO.

3.3.6. Relés

Los relés constan de dos partes: bobina y contactos auxiliares, los contactos auxiliares se accionan cambiando de posición cuando la bobina del relé sea excitada por un paso de corriente eléctrica.

La bobina del relé utilizado es de 24VDC, marca Camsco, modelo LY2 de 8 pines.

El relé tiene dos juegos de contactos de tres terminales que son: COM, NO y NC. Ver Fig 16.



FIGURA 16: RELÉS DE 8 PINES CAMSCO, BOBINA 24 VDC. [14]

3.3.7. Conector Banana

Los conectores usados en el módulo didáctico son de tipo banana hembra de 4mm, pueden soportar una corriente máxima de 32A y hasta 600VAC. En el módulo didáctico se utilizaron los siguientes colores: rojo, negro, azul verde y blanco. Ver Fig 17.



FIGURA 17: CONECTOR BANANA HEMBRA.

3.3.8. Placa reguladora de voltaje

La placa reguladora de voltaje utiliza componentes electrónicos los cuales necesitan de corriente continua para su funcionamiento. Es por este motivo, la necesidad de utilizar una fuente de alimentación. Ver Fig 18.

El diagrama de conexión de los elementos de la placa reguladora de voltaje se lo puede observar en el ANEXO 9.



FIGURA 18: PLACA REGULADORA DE VOLTAJE.

Los elementos que conforman la placa reguladora de voltaje se detalla en la tabla 4 que se muestra a continuación:

TABLA 4: ELEMENTOS DE LA PLACA REGULADORA DE VOLTAJE.

ELEMENTOS DE LA PLACA REGULADORA DE VOLTAJE	
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>
Diodos rectificadores	3
Resistencia de 200 ohm	1
Resistencia de 1500 ohm	1
Integrado LM317T	1
Bornera de 2 terminales	1
Bornera de 3 terminales	1

3.3.9. Tarjetas porta fusibles

La tarjeta porta fusible fue diseñada y construida en una baquelita de 9 x 5 cm de dimensiones, con la finalidad de proteger las entradas y salidas del PLC. Para la construcción de la tarjeta se soldó bases porta fusible en la baquelita, para la ubicación de los respectivos fusibles. Ver Fig 19.

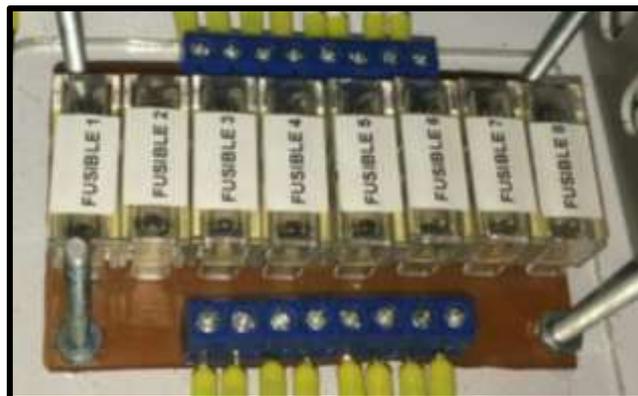


FIGURA 19: TARJETA PORTA FUSIBLES.

3.3.10. Borneras de conexión

Las borneras de conexión son contactos que se utilizan para unir dos cables así transmitir la energía o señales. Las borneras utilizadas en el módulo didáctico son de 4mm marca ABB, son de tamaño ideal, permitiendo distribuir las de manera adecuada sin ocupar demasiado espacio. Ver Fig 20.

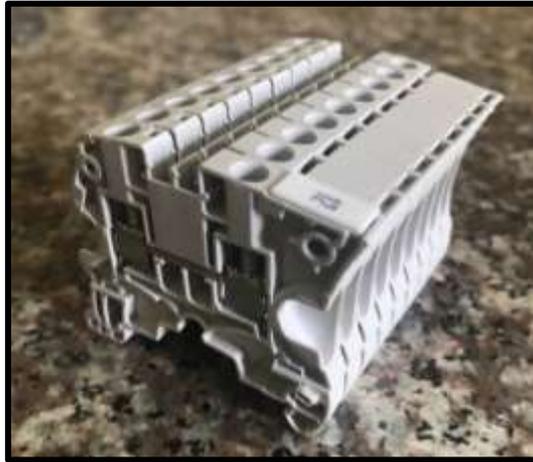


FIGURA 20: BORNERAS DE CONEXIÓN.

3.3.11. Voltímetros

El voltímetro es un instrumento capaz de medir el voltaje que existe entre dos puntos, puede medir en AC y DC dependiendo del modelo. Ver Fig 21.

Los voltímetros utilizados en el módulo didáctico son en DC y pueden medir de 0 a 30 VDC, los voltímetros instalados pueden medir la variación de voltaje que se realiza a través de la tarjeta reguladora de voltaje, así como también medir instrumentos externos que no excedan los 30 VDC. [4]



FIGURA 21: VOLTÍMETRO 0 – 30 V.

3.3.12. Luz piloto

Las luces piloto pueden funcionar hasta 120 VAC o 48 VDC según sea la necesidad y ayudan a visualizar la actividad o inactividad del sistema. Las luces piloto instaladas en el módulo didáctico son de color rojo marca Camasco. Ver Fig 22.

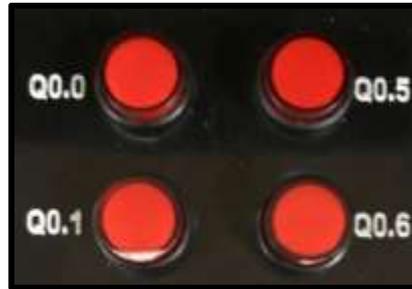


FIGURA 22: LUZ PILOTO CAMSCO.

3.4. Secuencia de construcción de la estructura del módulo didáctico

A continuación se nombra y se describe los procesos por los que pasó la estructura del módulo didáctico:

3.4.1. Corte de la plancha metálica

En este proceso se realiza los cortes necesarios para la construcción del módulo didáctico dependiendo del tipo que sea, pueden ser tipo estructura o tipo caja. En el caso del módulo didáctico se utilizó tipo caja por las medidas compactas que tiene.

El corte tiene medidas estratégicas para que, al ser terminado y pasado por los procesos siguientes, el módulo no presente deformación. Ver Fig 23.



FIGURA 23: PROCESO DE CORTE.

3.4.2. Punzonado de la plancha metálica

En este proceso se realiza los calados necesarios según el diseño, el módulo didáctico tiene los calados de los ventiladores, luces piloto, selectores, pulsadores, bornera banana, voltímetros y visor del PLC. El tamaño de los calados varía dependiendo de los elementos a utilizar para lo cual se los programa en la EUROMAR, que es la máquina encargada de la realización de este proceso. Ver Fig 24.



FIGURA 24: PROCESO DE PUNZONADO.

3.4.3. Doblado de la plancha metálica

El doblado de la plancha se lo realiza en la máquina dobladora CIMATIC, en la marca precisa que se deja de los procesos anteriores para así obtener el resultado esperado, dependiendo del material o dimensiones de la caja este proceso puede tardar algunos minutos. Ver Fig 25.

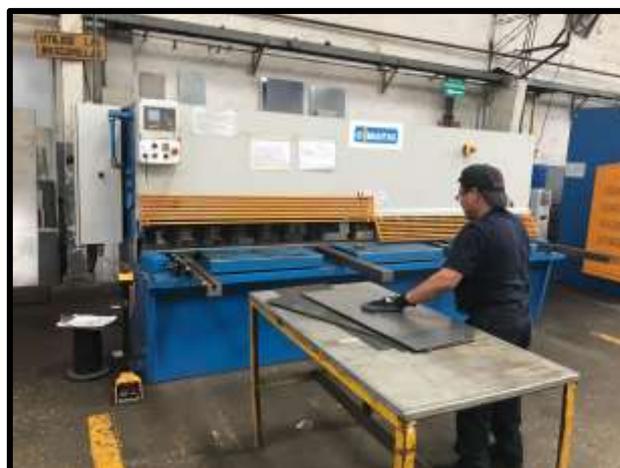


FIGURA 25: PROCESO DE DOBLADO.

3.4.4. Soldado de la plancha metálica

En el proceso de soldado de la plancha se unen las partes de la plancha de forma permanente según el diseño presentado. En esta parte del proceso, el módulo didáctico va cogiendo la forma deseada. Ver Fig 26.



FIGURA 26: PROCESO DE SOLDADO.

3.4.5. Limpieza de la plancha metálica

Una vez la plancha ha pasado por los procesos anteriores, sigue el proceso de limpieza, donde se limpia la escoria de soldadura, para ello, generalmente se utiliza una pulidora. Una vez que la caja se encuentre limpia, se le aplica los químicos necesarios para su conservación, esto es necesarios antes de enviarla al proceso de pintura. Ver Fig 27.



FIGURA 27: PROCESO DE LIMPIEZA.

3.4.6. Pintada de la caja metálica

Este es el último proceso necesario para que la caja este completamente terminada, la pintura que aplica en la caja es pintura en polvo, una vez que se aplica la pintura se la deja en reposo, para luego pasar al horno, esperando que seque de manera más eficiente. La caja en el horno puede tardar algunos minutos dependiendo el tamaño de construcción. Ver Fig 28.



FIGURA 28: PROCESO DE PINTADO.

3.4.7. Grabado del acrílico

El grabado de los nombres que están ubicados en la sobretapa del módulo didáctico se lo realizó en un acrílico, para lo cual se utilizó la máquina de grabado.

El grabado se lo hizo en acrílico pensando en la durabilidad y estética del material comparado con los adhesivos comunes. El color del acrílico utilizado es el negro con letras blancas. Ver Fig 29.



FIGURA 29: PROCESO DE GRABADO.

3.5. Secuencia de cableado y conexión del módulo didáctico

Una vez terminada la parte estructural del tablero se procede con el cableado y conexionado del módulo didáctico, pero antes de eso se distribuye los elementos en el interior de la caja colocándolos de tal manera que los elementos queden ubicados como se indica en los planos constructivos. Ver Fig 30.



FIGURA 30: METALMECÁNICA DEL MÓDULO DIDACTICO.

3.5.1. Instalación de elementos externos del módulo didáctico

Lo primero que se realizó antes de empezar el cableado y conexionado, es colocar todos los elementos externos del módulo didáctico, empezando por los elementos que van en la sobretapa del módulo didáctico, debido a que se dificulta la fijación de los mismos una vez la sobretapa se encuentre colocada con el acrílico. Un dato importante a considerar es que, al colocar el acrílico encima de la sobretapa, se debe observar que los calados queden en la misma posición, para facilitar la colocación al momento de poner los elementos y no exista obstrucción, ya sea de la sobretapa o el acrílico. Ver Fig 31.



FIGURA 31: COLOCACIÓN DE ELEMENTOS EN LA SOBRETAPA.

Una vez que exista seguridad que el acrílico esté en la misma posición que la sobretapa metálica, se procede a colocar todos los elementos y equipos. Para dejarlos fijos en la sobretapa se los atornilla o se le ajusta la tuerca dependiendo el sistema que tenga cada elemento. Para finalizar, se pone la sobretapa en el módulo didáctico. Ver Fig 32.



FIGURA 32: ELEMENTOS FINALES EN LA SOBRETAPA.

Una vez colocados todos los elementos que van en la sobretapa se procede a ubicar los elementos que van fijos en el módulo didáctico. Estos son el interruptor de encendido del módulo, el conector RJ45 (norma estándar T568A), la toma de corriente hembra y los ventiladores.

Los dos ventiladores instalados funcionan a 12 VDC por lo tanto se vio la necesidad de realizar su alimentación conexión en serie, debido a que la fuente es de 24 VDC. Los ventiladores cumplen misión de extraer aire del interior de módulo didáctico. Ver Fig 33.



FIGURA 33: ELEMENTOS EXTERIORES DEL MÓDULO.

También tenemos como elemento externo la bandeja portacables que sirve para es contener los cables de red y alimentación. La bandeja va ubicada en la parte interior de la tapa del módulo didáctico. Ver Fig 34.



FIGURA 34: PORTACABLES DEL MÓDULO.

3.5.2. Instalación de elementos internos del módulo didáctico

El siguiente paso fue la colocación de los elementos internos del maletín. Lo primero fue la colocación de las canaletas alrededor del plafón del módulo didáctico.

Las canaletas se deben cortar de medidas exactas de tal manera que no queden distantes y las tapas logren cerrar de manera compacta. Ver Fig 35.



FIGURA 35: COLOCACIÓN DE CANALETA EN EL PLAFÓN.

Una vez realizado este paso se procede a colocar los rieles donde se ubicarán los equipos.

Se eligió elementos con sistema de fijación para riel din, por la facilidad que tiene al extraerlos del plafón al momento de mantenimiento. Ver Fig 36.

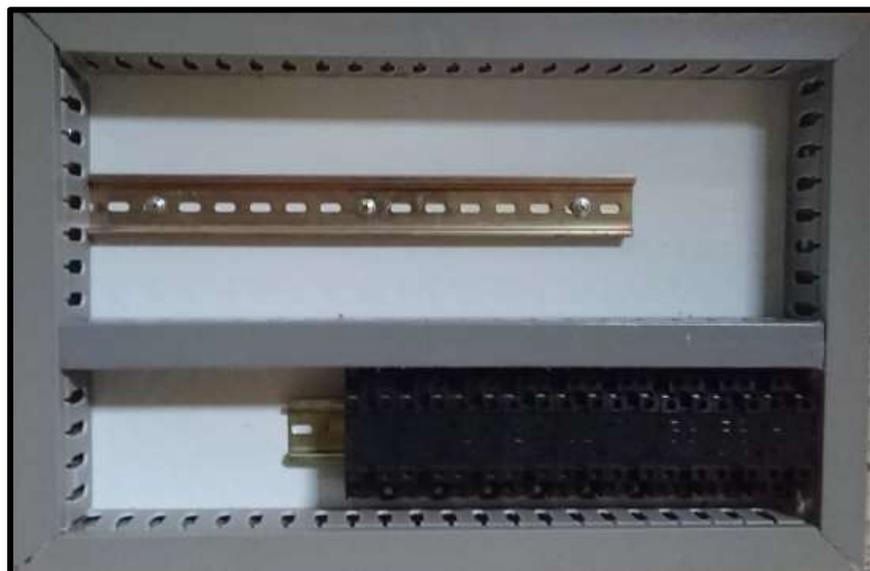


FIGURA 36: UBICACIÓN DE CANALETAS FINALES EN EL PLAFÓN DEL MÓDULO.

Para la colocación de la canaleta, la separación que se consideró es de 32 cm tomando en cuenta el tamaño del PLC (equipo más grande). En la parte de arriba también va ubicada la fuente de poder, borneras de conexión y unas de las dos placas porta fusibles.

Para la parte de abajo se consideró 28 cm donde caben los relés y otra de las placas porta fusibles. Ver Fig 37.



FIGURA 37: UBICACIÓN DE EQUIPOS EN EL PLAFÓN.

3.5.3. Cableado del módulo didáctico

Una vez estén colocados todos los equipos y elementos que conforman el módulo didáctico se procede con el cableado. Para empezar a conectar los elementos y equipos es necesario ver el diagrama eléctrico, el mismo lo podemos encontrar en el ANEXO 1. Como la mayor parte de los cables van a la sobretapa, lo más recomendable es empezar el cableado desde la misma para facilitar el recorrido de los cables.

Se elige la mejor trayectoria para pasar los cables, se los va ordenando con amarras plásticas y a la vez se los fija con adhesivos que ayudará mucho en la estética del cableado. Ver Fig 38.

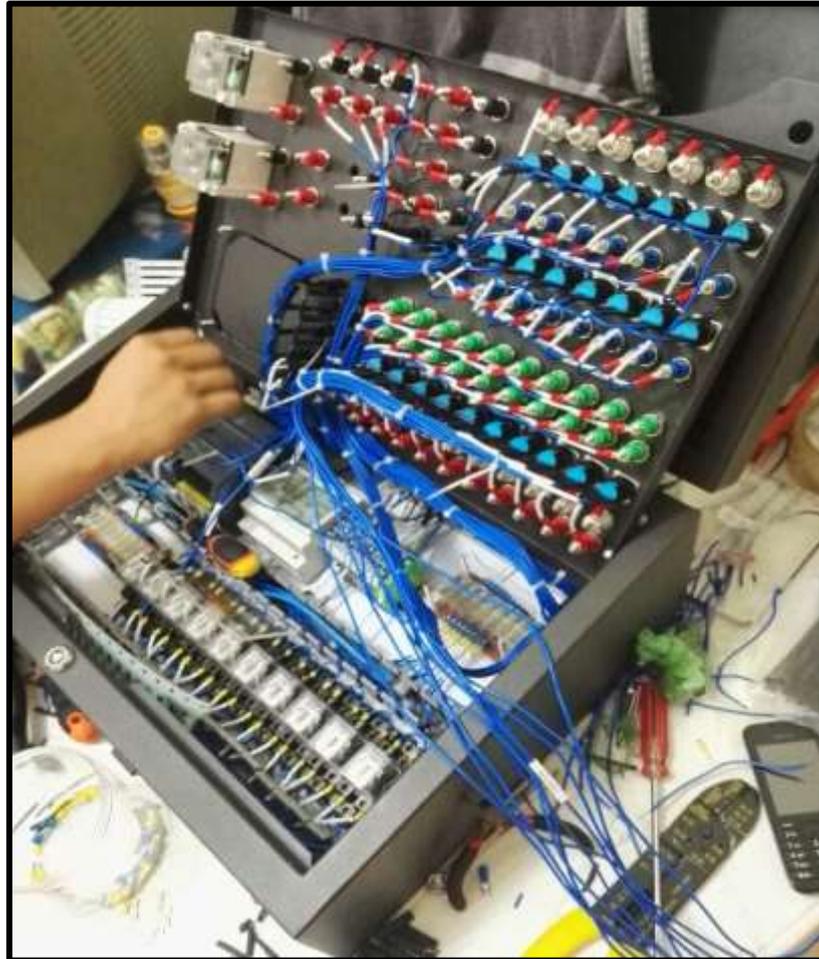


FIGURA 38: CABLEADO DEL MÓDULO DIDÁCTICO.

Teniendo completamente cableado los elementos de la sobretapa y elegido el recorrido de los conductores se procede a conectar el otro extremo en los equipos. Se corta los cables al tamaño necesario, se coloca la marquilla de identificación en ambos extremos del conductor y se coloca terminal puntera aislado, para un mejor manejo, facilitando el mantenimiento a futuro.

Una vez terminado el cableado del módulo didáctico, se coloca espiral transparente a los cables y se procede a realizar la prueba de continuidad respectiva para comprobar que no exista ninguna novedad. En el caso de existir algún error, corregirlo de inmediato. Ver Fig 39.



FIGURA 39: MÓDULO DIDÁCTICO TOTALMENTE CABLEADO.

Teniendo todo listo se procede a colocar los últimos detalles del módulo didáctico: se colocan las agarraderas, bisagras, esquineros, placa donde se indican los autores y placa donde se indica datos técnicos. Ver Fig 40.



FIGURA 40: MÓDULO DIDÁCTICO TERMINADO.

3.5.4. Mantenimiento del módulo didáctico

El mantenimiento del módulo didáctico se debe realizar con frecuencia semestral antes de dar por culminado el periodo de clases, así estar seguros que estará operativo para clases futuras, es decir, que al año se deberán hacer dos mantenimientos por lo menos.

Se pueden realizar dos tipos de mantenimiento preventivo y correctivo. El mantenimiento correctivo no tiene tiempo específico debido a que se tiene que realizar de manera inmediata y sin previo aviso una vez que se presenta una falla. Por lo contrario, el mantenimiento preventivo se lo puede planificar. En este caso se dará cada seis meses con el fin de conservar en buen estado todos los elementos que conforman el módulo.

El mantenimiento preventivo del módulo consiste básicamente en limpieza y ajuste de conexiones, utilizando la herramienta adecuada y equipo de medición que corresponda para verificar el correcto estado de las conexiones. Se recomienda el equipo de seguridad requerido. Ver Fig 41.



FIGURA 41: PRUEBA DE CONTINUIDAD EN EL MÓDULO.

Para empezar con el mantenimiento lo primero que se debe asegurar es que el módulo didáctico este apagado, esta información la podemos confirmar de

manera visual ya que el punto de conexión está a los lados en la parte exterior del módulo. Ver Fig 42.



FIGURA 42: PUERTO DE ALIMENTACIÓN DEL MÓDULO.

Otra de las actividades que se debe hacer para empezar con el mantenimiento es abrir la sobretapa del módulo, la cual, solo deberá ser abierta en casos de mantenimiento para evitar alguna mala maniobra por parte de las personas que lo estén utilizando.

Las actividades que se deben hacer en el mantenimiento del módulo didáctico son las siguientes:

- Abrir la sobretapa verificar que no presente daños visibles, tuercas flojas o sueltas y en el caso de existir alguna se debe proceder inmediatamente con el ajuste. Ver Fig 43.
- Eliminar el polvo con una brocha pequeña. Lo ideal sería con ayuda de una aspiradora pequeña debido al tamaño del módulo.
- Verificar que los álabes de los ventiladores giren con normalidad. En nuestro caso no tenemos ventilación natural al interior del módulo por lo que se utilizó ventilación forzada.
- Verificar continuidad en las conexiones del módulo siguiendo el plano proporcionado.
- Verificar continuidad en las tarjetas porta fusible. En ellas se pueden presentar dos problemas: que el fusible esté quemado o que el camino de cobre que une las patitas de la base porta fusible no tenga buen contacto.

- Energizar el módulo. Esta acción se la deberá hacer al terminar el mantenimiento. Éste funcionará normalmente debido a que no hemos hecho ninguna modificación en sus conexiones.
- Verificar que al mover la perilla del potenciómetro regule el voltaje. Esto se puede visualizar en los voltímetros analógicos que están en el módulo.
- Verificar que al presionar los pulsadores y girar los selectores encienden una luz en el PLC, este paso es para confirmar que todo se encuentre conectado en el módulo. La verificación es visual y de confirmación, ya que en la prueba de continuidad podremos identificar si existe alguna anomalía en las conexiones.



FIGURA 43: PRUEBA DE AJUSTE EN EL MÓDULO.

Una recomendación importante es no introducir algún objeto que pueda causar la obstrucción de las alabas del ventilador para evitar que sufra alguna avería. Mientras el módulo esté energizado, por ningún motivo se deben realizar puentes entre los bornes positivos y negativos, ya que esto podría causar un cortocircuito a su vez, que se quemen los fusibles de protección del módulo.

CAPÍTULO 4

4. GUÍA DE PROGRAMACIÓN

Abrir el programa Tia Portal y seleccionar el ícono *Crear Proyecto*. Llenar los campos de información y dar click en *Crear*. Ver Fig 44.

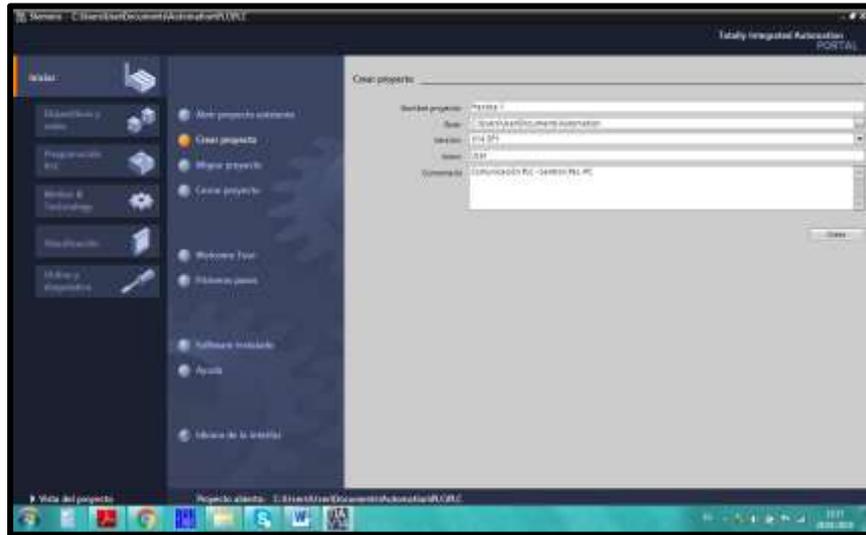


FIGURA 44. CREAR NUEVO PROYECTO.

Una vez que el proyecto esté creado se tiene distintas opciones como cambio de idioma, configurar dispositivos o empezar a escribir directamente el programa. Se recomienda empezar configurando el equipo con que se va a trabajar. Dar click en *Configurar un dispositivo*. Ver Fig 45.

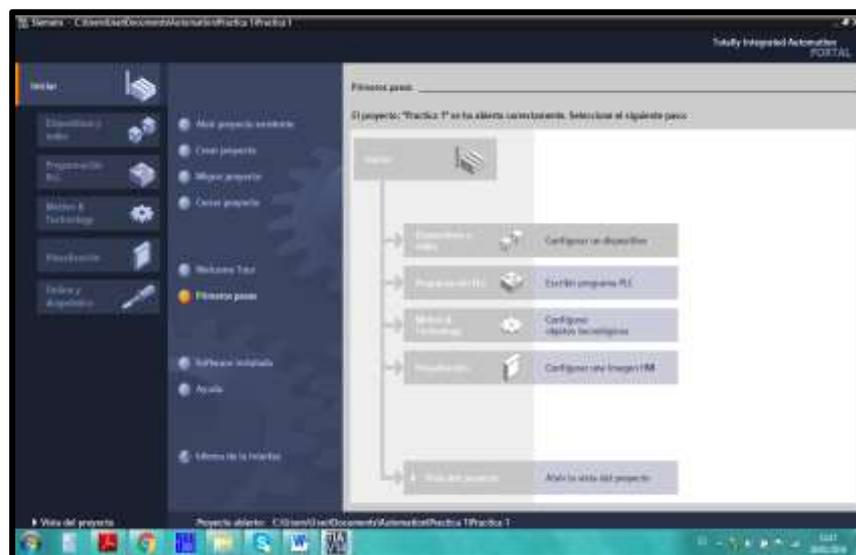


FIGURA 45. PANTALLA INICIAL DE TIA PORTAL.

En la siguiente pantalla se muestra todos los dispositivos configurados previamente. En nuestro caso no existen dispositivos vinculados, se configura el primer PLC. Ver Fig 46.

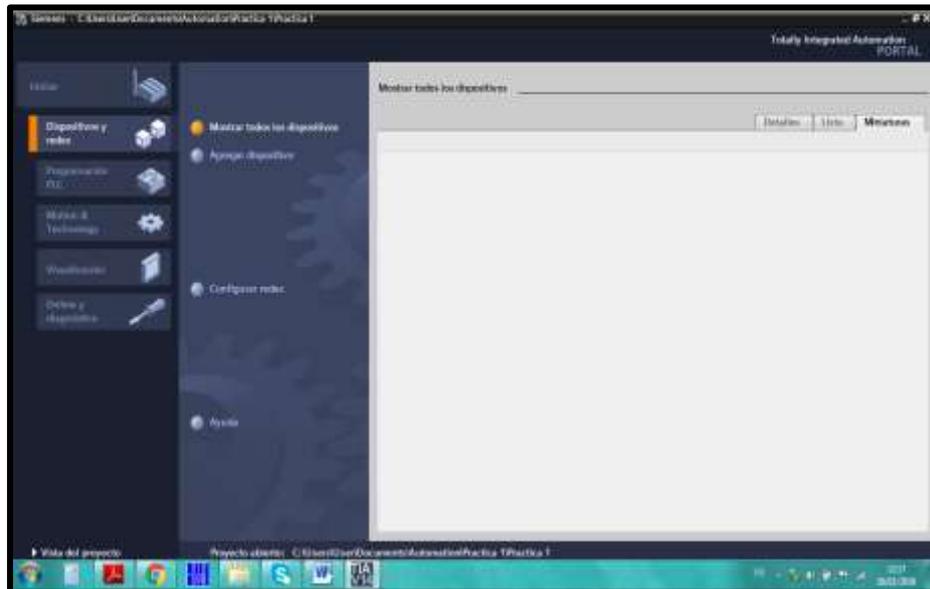


FIGURA 46. PANTALLA DISPOSITIVOS CONECTADOS.

Se selecciona la opción *Agregar dispositivo* y se mostrará una lista de dispositivos a configurar. En la sección de controladores, escoger el modelo de CPU. Nuestro PLC pertenece a la rama S7-1200, CPU 1214C DC/DC/DC, modelo 6ES7 214-1AG40-0XB0. Ver Fig 47.

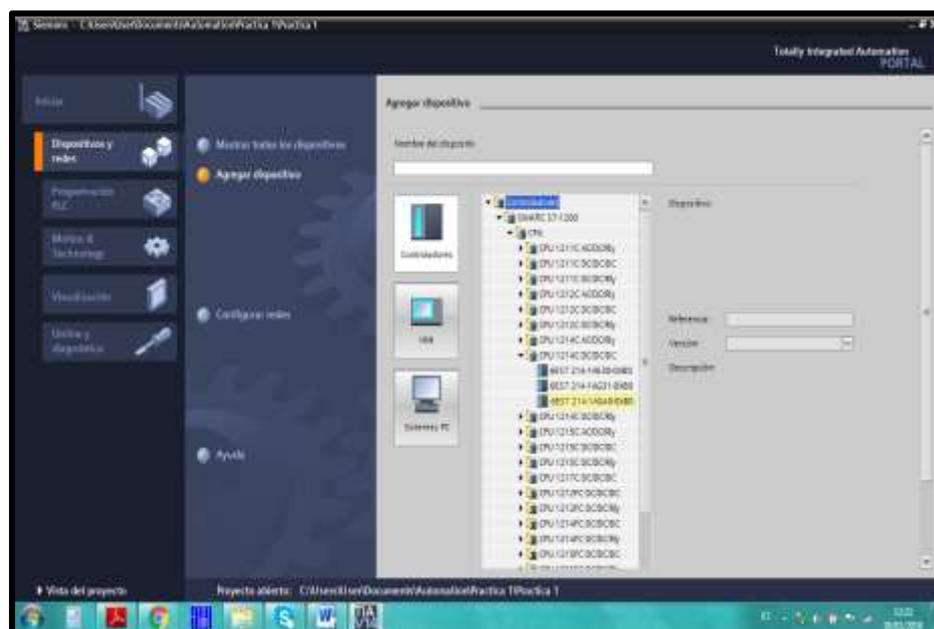


FIGURA 47. AGREGAR UN DISPOSITIVO.

En el caso de no conocer el modelo del CPU, no se selecciona ningún modelo de PLC, el programa se encarga de detectar y guardar la configuración del equipo.

Para la configuración física de la red Ethernet se debe utilizar un switch de comunicación, también llamado conmutador, este dispositivo permitirá la interconexión de los equipos necesarios para esta práctica: PC, Analizador de Redes y PLC. Ver Fig 48.



FIGURA 48. CONEXIÓN FÍSICA PARA COMUNICACIÓN.

Desde el centro de redes de la computadora, se coloca la dirección IP con la que se va a trabajar. Recordar que debe estar en el mismo rango que la dirección IP del PLC y del analizador de redes. Para el proyecto se escogió 192.168.50.210. Ver Fig 49.

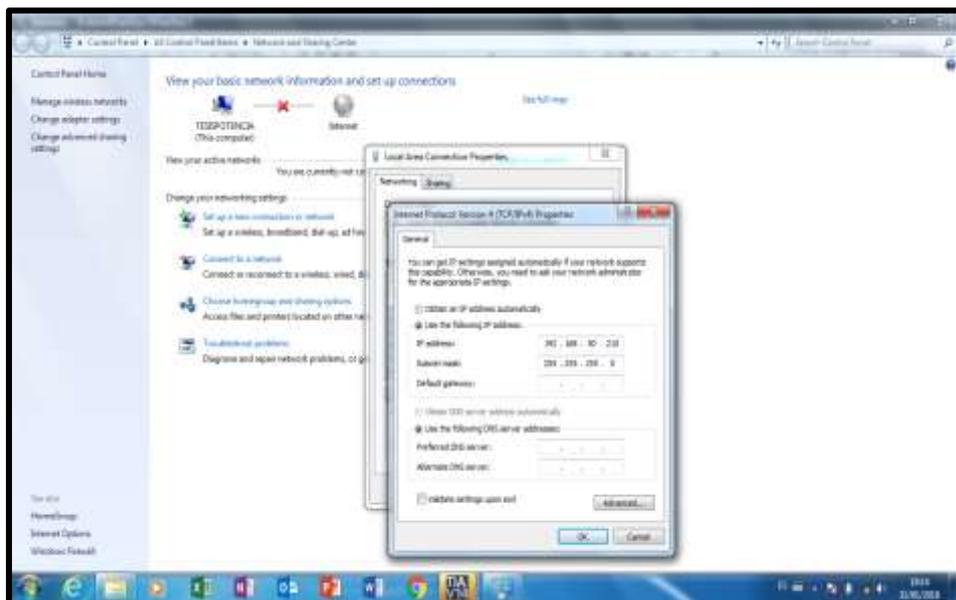


FIGURA 49. DIRECCIÓN IP DEL COMPUTADOR.

En el menú *Configuración de dispositivos*, se encuentra diversas opciones de configuración, buscar la opción Protocolo IP y asignar la dirección IP con la que va a trabajar el PLC. En este caso, se utiliza 192.168.50.203. Ver Fig 50.

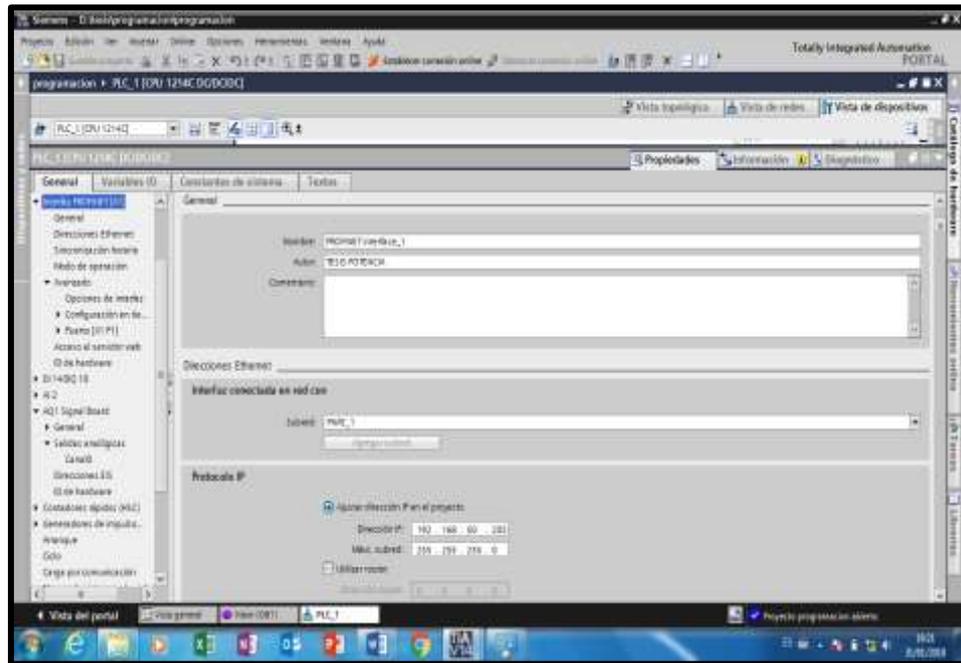


FIGURA 50. ASIGNACIÓN DE IP DEL PLC.

Volver a la vista de dispositivos y desplegar el catálogo que se encuentra del lado derecho de la pantalla. Ver Fig 51.

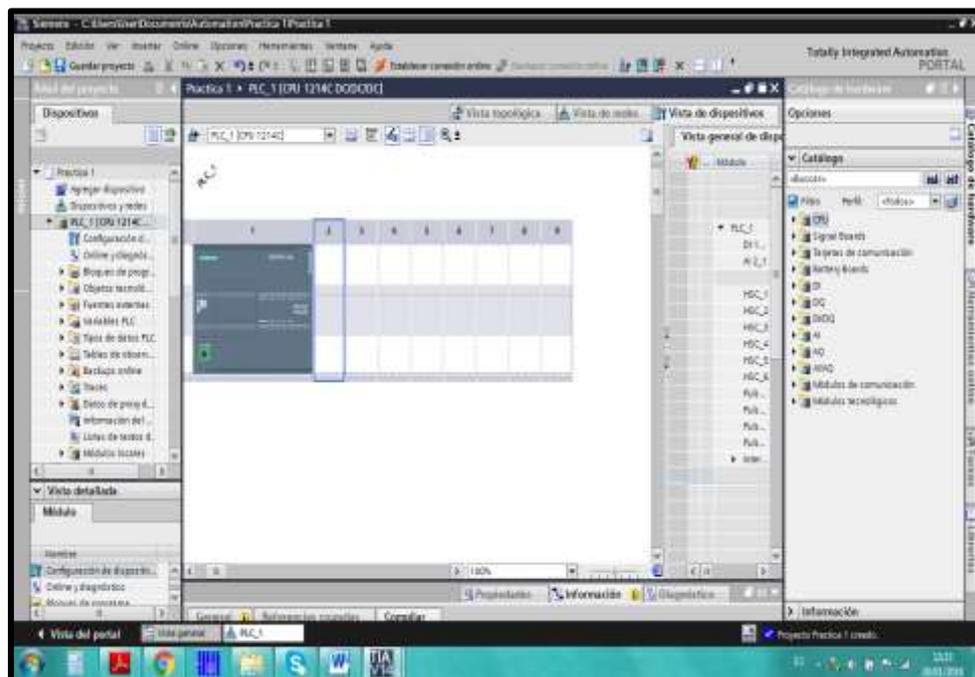


FIGURA 51. VISTA GENERAL DEL PROYECTO.

Se abre el menú *Signal Boards*, dar click AQ y seleccionar la signal board con señales analógicas. Ver Fig 52.

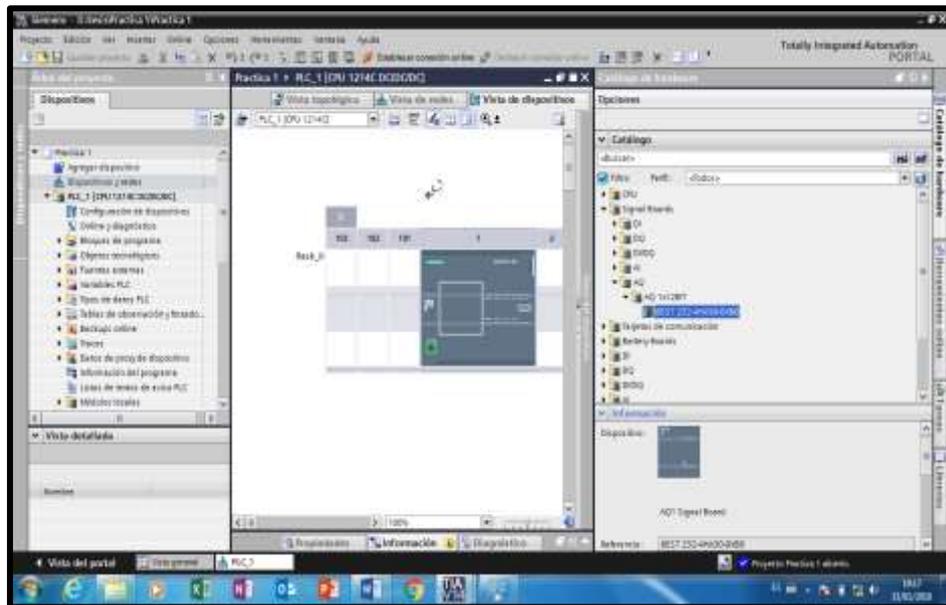


FIGURA 52. ASIGNACIÓN DE SIGNAL BOARD.

El siguiente paso es programar los bloques. Para ello dirigirse al lado izquierdo de la ventana, desplegar el menú *PLC_1*, abrir *Bloques de programas* y seleccionar *Main [OB1]*. Éste será el bloque de organización principal de nuestra programación, donde se colocará la instrucción de comunicación que se encuentran en el menú *Instrucciones*. Ver Fig 53.

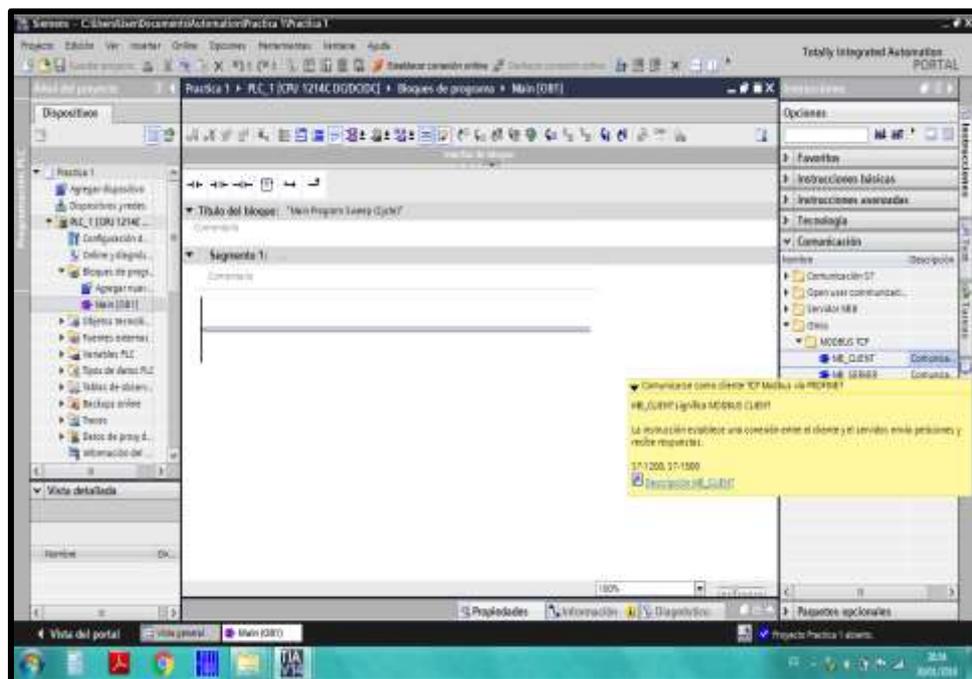


FIGURA 53. BLOQUE DE ORGANIZACIÓN PRINCIPAL (MAIN [OB1]).

Abrir el bloque de datos creado y escribir el comando Connect, allí se coloca la instrucción TCON_IP_v4, la cual contiene todos los parámetros de direccionamiento necesarios para establecer una conexión programada. Si se utiliza TCON_IP_v4, la conexión se establece al llamar la instrucción "MB_CLIENT". Ver Fig 56.

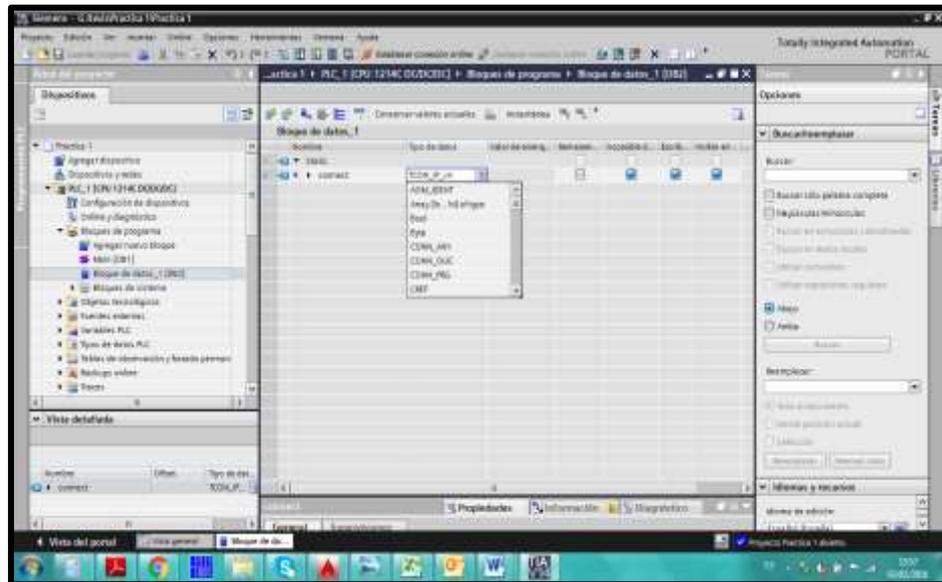


FIGURA 56. CONFIGURACIÓN DEL BLOQUE DE DATOS.

Después aparecerán varias filas más donde se completará la configuración y la dirección IP del equipo del que queremos leer datos. Para el analizador de redes se utilizará la IP 192.168.50.205. Recordar que el puerto local y remoto debe tener el mismo valor. Ver Fig 57.

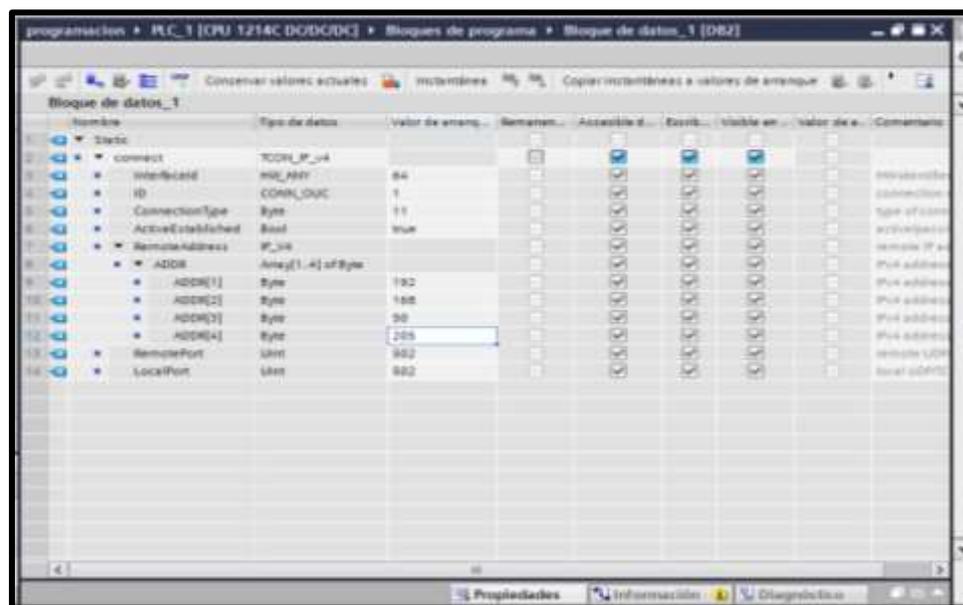


FIGURA 57. ASIGNACIÓN DE IP DEL SENTRON PAC 4200.

No olvidarse de configurar la dirección IP en el analizador de redes, debe ser la misma que se configuró en el paso anterior. Para introducir la IP se debe entrar a *Ajustes*, bajar hasta encontrar la opción *Comunicación*. Ver Fig 58.



FIGURA 58. AJUSTE DE DIRECCIÓN IP DEL SENTRON PAC.

El siguiente paso es activar las marcas de ciclo para las funciones de reloj del programa. Para eso dirigirse a *Propiedades*, entrar a la pestaña *General*, dar click en *Marcas de sistema y de ciclo*. Ver Fig 59.

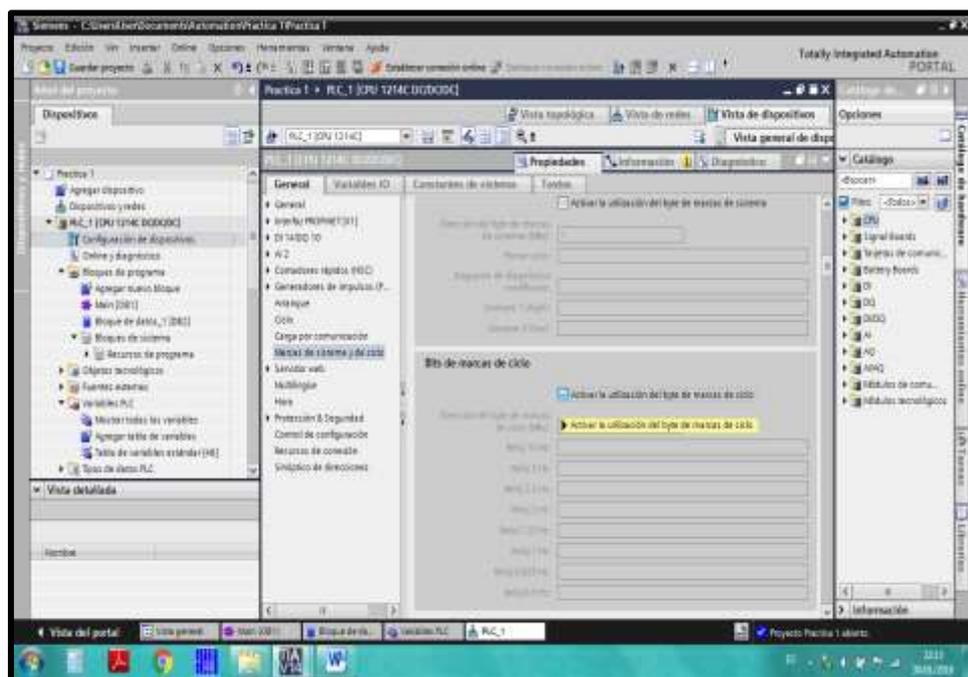


FIGURA 59. CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS.

Dar click en la opción *Activar la utilización del byte de marcas de ciclo* y quedarán asignadas automáticamente las marcas tipo Bool para cada reloj. Ver Fig 60.

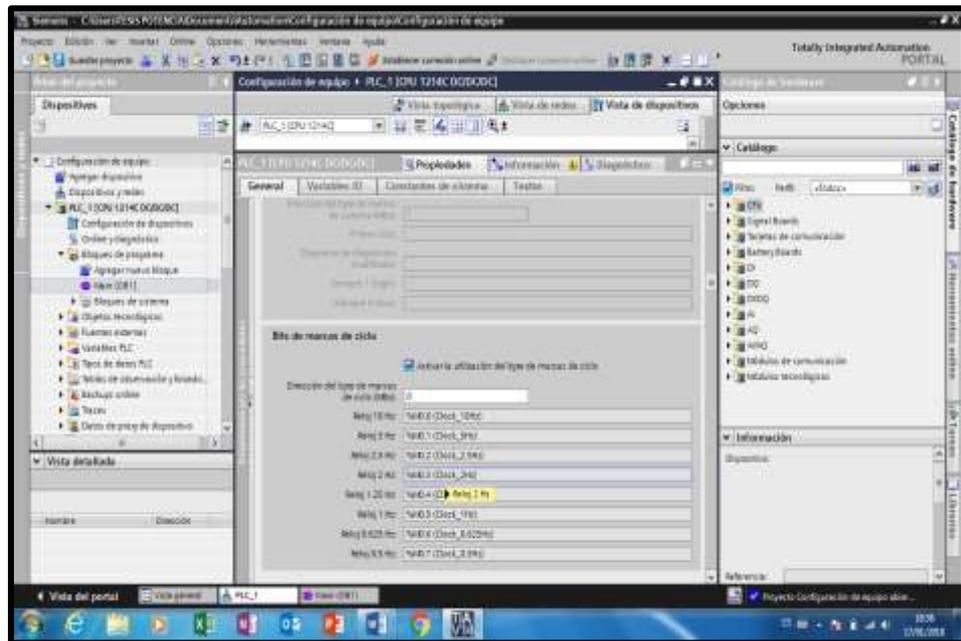


FIGURA 60. ACTIVACIÓN DE MARCAS DE CICLO.

Luego dirigirse a la carpeta *Variables PLC*, abrir la opción *Mostrar todas las variables* y agregar cada marca creada, especificando si son tipo Bool o tipo Word. Guardar todas las marcas de ciclo y aquellas que se van a utilizar en la instrucción de comunicación. Ver Fig 61.

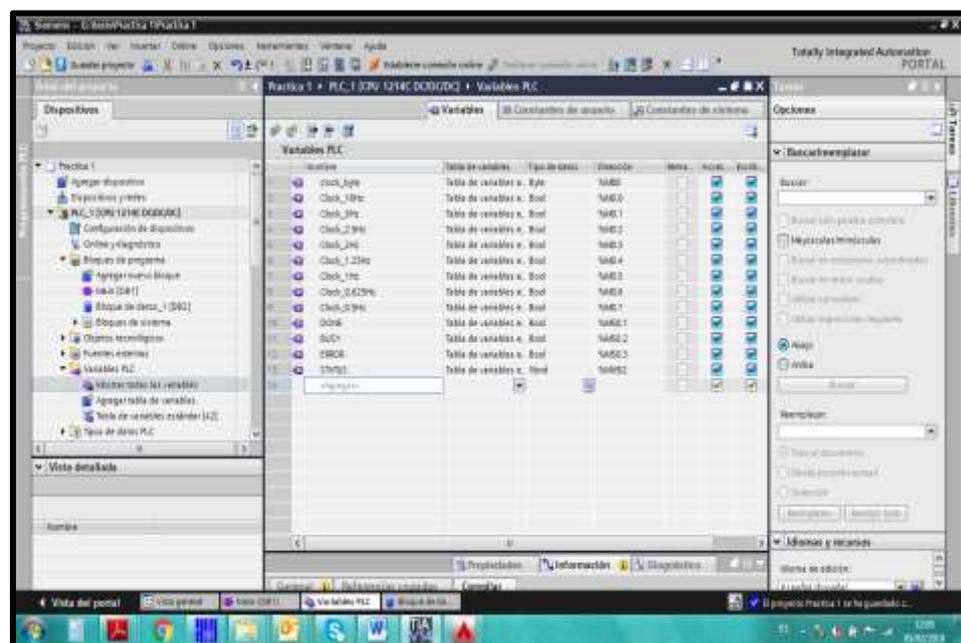


FIGURA 61. AGREGAR VARIABLES PLC.

Volver al Bloque de organización principal (MAIN) donde se encuentra la instrucción *MB_CLIENT* y agregar la marca de reloj de 1 Hz, considerando que es un periodo suficiente para leer los datos del analizador de redes. Ver Fig 62.

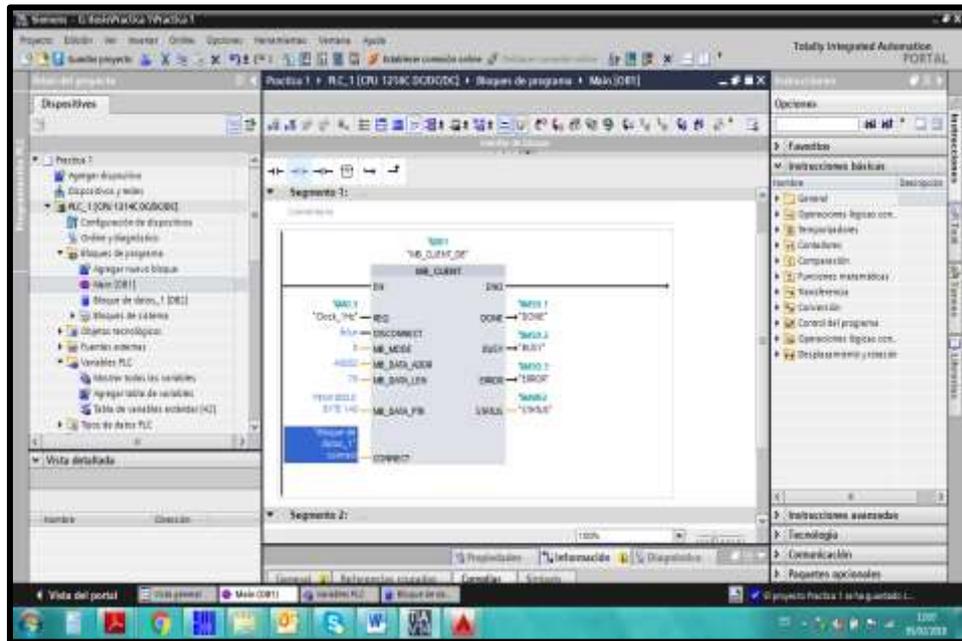


FIGURA 62. CONFIGURACIÓN DE INSTRUCCIÓN MB_CLIENT.

Luego se tiene el comando *Disconnect*, se controla el establecimiento de la conexión y la desconexión con el servidor Modbus. Se debe colocar *0* o *false* para establecer conexión de comunicación con el interlocutor configurado en el parámetro *CONNECT*.

MB_MODE contiene la información de si debe leerse o escribirse, en nuestro caso solo es lectura, por este motivo solo usaremos el valor *0* (si fuese escritura se usa *1*).

MB_DATA_ADDR contiene la información de lo que se lee y la dirección con la que la instrucción "*MB_CLIENT*" calcula la dirección remota, es decir a partir de qué dirección remota se empieza a leer. En nuestro caso se lee a partir de *40002*.

MB_DATA_LEN contiene el número de valores que se van a leer, en nuestro caso serán *70* bits.

En *MB_DATA_PTR* colocar desde la marca en que se guarda datos, para nuestra programación empezar desde *M1000*. Recordar que estas marcas son *DoubleWord* y ocupan *4* espacios cada una.

En el parámetro CONNECT, colocar la estructura de conexión TCON_IP_v4, la cual contiene todos los parámetros de direccionamiento necesarios para establecer una conexión programada. Si se utiliza TCON_IP_v4, la conexión se establece al llamar la instrucción "MB_CLIENT".

DONE, BUSY y ERROR se colocan marcas booleanas, y se las nombra con el mismo nombre de la salida de la instrucción MB_CLIENT.

STATUS muestra la información de estado detallada de la instrucción y es una salida de tipo Word.

Todas las marcas se guardan automáticamente en la tabla de variables, especificando si son tipo bool o tipo Word.

Luego, se procede a *Compilar programa* para descartar errores y seleccionar *Cargar en dispositivo*. Ambas opciones se encuentran en la barra de herramientas. Aparecerá la siguiente pantalla, en la cual se selecciona *Iniciar búsqueda* y el software detecta el PLC estableciendo una línea verde que indica que existe conexión. Luego dar click en *Cargar* y la programación estará cargada en el CPU. Ver Fig 63.

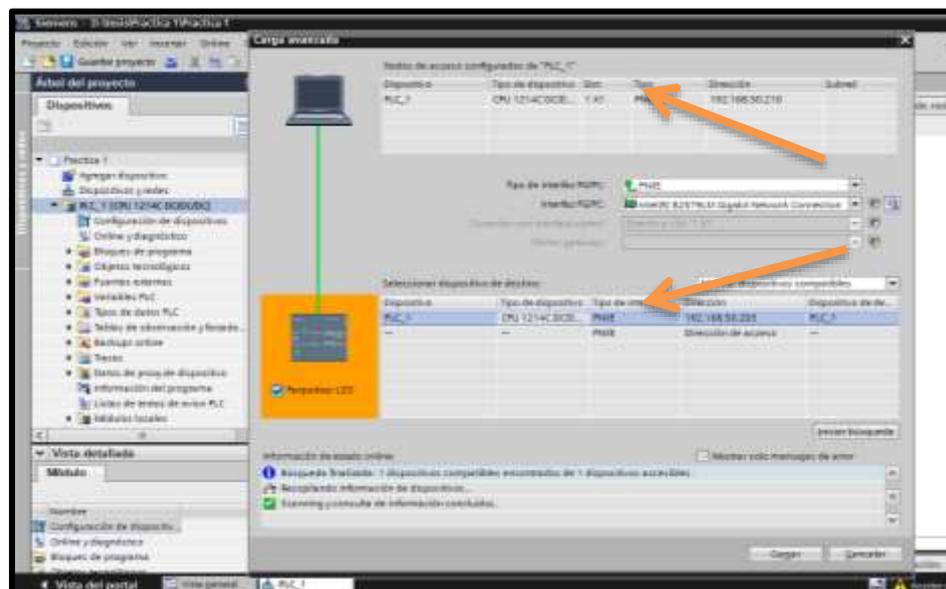


FIGURA 63. CARGAR CONFIGURACIÓN EN DISPOSITIVO.

Una vez cargada la programación, dar click en *Establecer conexión online* y comprobar que se esté adquiriendo información (las salidas deben oscilar entre True y False de manera cíclica). Ver Fig 64.

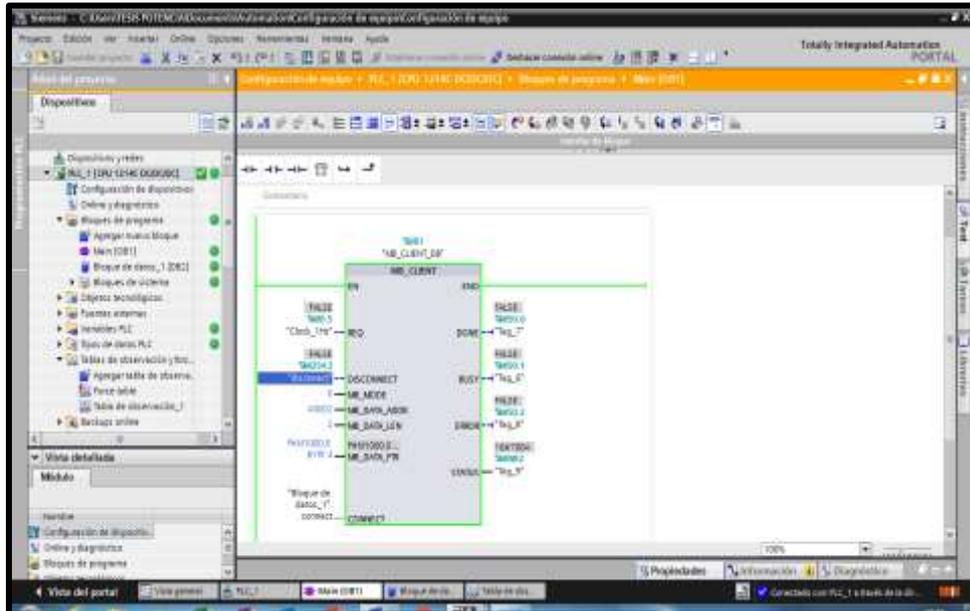


FIGURA 64. VISUALIZACIÓN DEL PROGRAMA EN LÍNEA.

Dar click en *Deshacer conexión online*, y dirigirse a la carpeta *Tablas de observación y forzado*, seleccionar la opción *Agregar tabla de observación* y se abrirá una ventana en la cual se coloca todas las direcciones de las que se va a obtener datos. Recordar que las señales adquiridas se guardarán en marcas DoubleWord y que ocuparán espacio de 4 bits y como se indicó anteriormente se empieza a grabar datos a partir de la marca MD1000, continuar en MD1004, MD1008 y así sucesivamente hasta completar los datos necesitados, entre los que tendremos potencias, voltajes, corrientes, frecuencia de la red, etc.

Luego, en formato de visualización, escoger la opción *Número en coma flotante*, sirve para poder observar los datos adquiridos en línea que envía el analizador de redes (el cliente). Ver Fig 65.

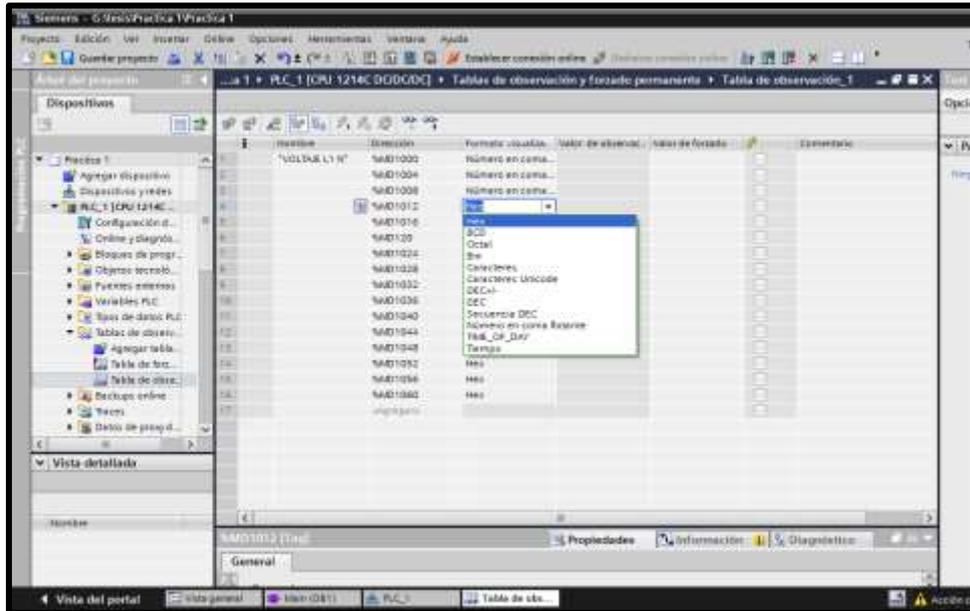


FIGURA 65. AGREGAR DIRECCIONES REMOTAS.

El siguiente paso es volver a establecer la conexión online, observar todos los datos que muestra el Sentron Pac y compararlos con los datos mostrados en la tabla de observación del programa. Ver Fig 66 y Fig 67.

%MD1000	Número en c...	123.5316
%MD1004	Número en coma...	125.627
%MD1008	Número en coma...	126.078
%MD1012	Número en coma...	215.171
%MD1016	Número en coma...	219.575
%MD1020	Número en coma...	215.1469
%MD1024	Número en coma...	0.0
%MD1028	Número en coma...	0.0
%MD1032	Número en coma...	0.0

FIGURA 66. VISUALIZAR DATOS EN TABLA DE OBSERVACIÓN.



FIGURA 67. VOLTAJES DE FASE EN EL SENTRON PAC.

El objeto de la comparación de valores es identificar cada marca tipo word con una señal física que viene del analizador de redes.

Una vez identificadas las marcas, dirigirse a la tabla de *Variables PLC* y renombrar cada una de las señales leídas del Sentron Pac, dando nombre de los voltajes, corrientes, potencias, etc. Se puede realizar en línea o sin conexión. Al final solo hay que compilar y cargar cambios. Ver Fig 68.

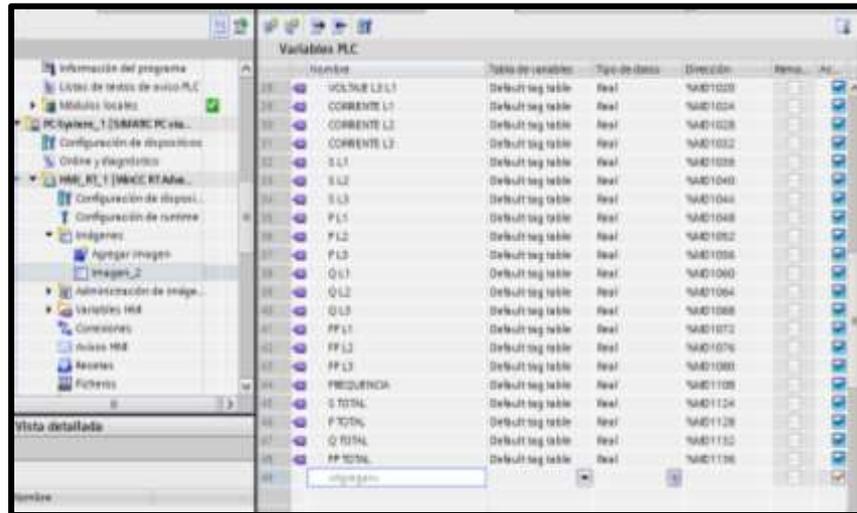


FIGURA 68. VARIABLES AGREGADAS A LA PROGRAMACIÓN.

Luego de terminar la tabla de variables se compila y se carga en el dispositivo los cambios realizados. Seleccionar la opción *Hardware y software (solo cambios)*. Ver Fig 69.

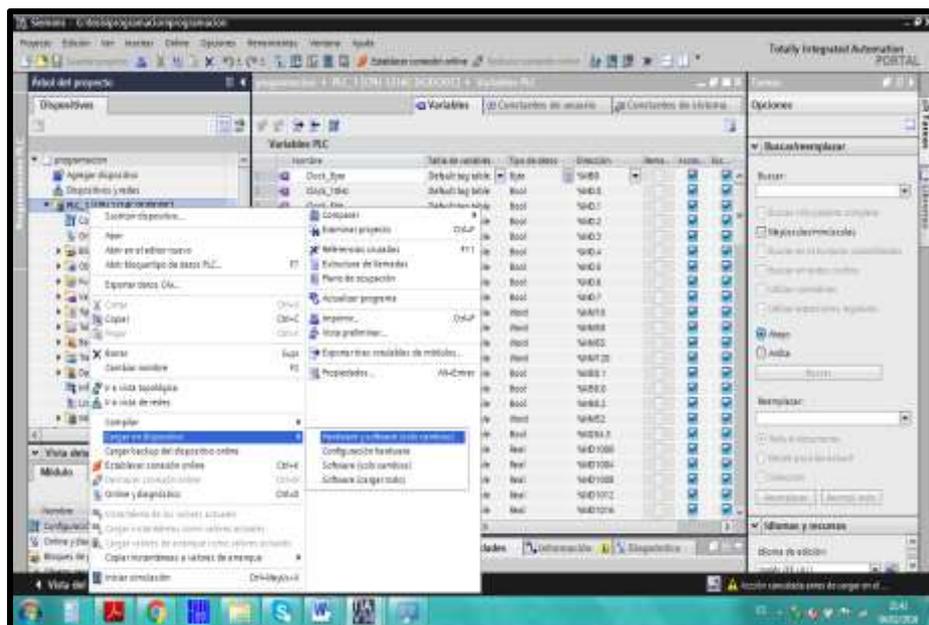


FIGURA 69. CARGAR EN DISPOSITIVOS (SÓLO CAMBIOS).

Volver a la tabla de observación y activar la visualización de datos en línea, se notará que las marcas ya tienen su nombre, por lo tanto, se tiene las señales físicas identificadas en nuestro programa.

Se tiene lectura de voltajes de fase, voltajes línea a línea, corrientes por fases, potencias activas por fase y total, potencias aparentes por fase y total, potencias reactivas por fase y total, factor de potencia por fase y total, además de la frecuencia de la red. Ver Fig 70.

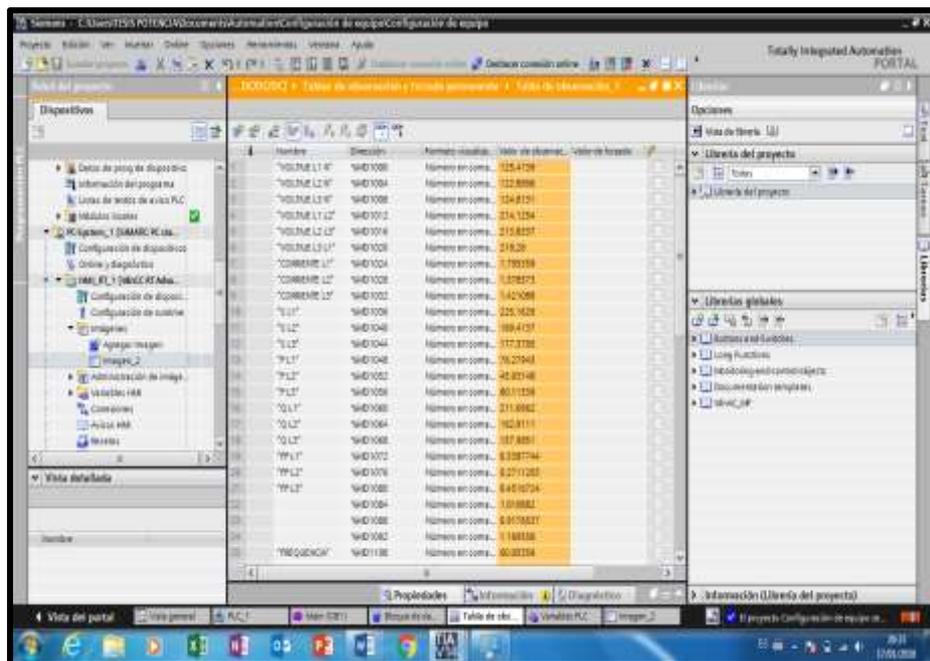


FIGURA 70. VISUALIZACIÓN FINAL DE DATOS ADQUIRIDOS.

Una vez que se tiene las mediciones en la pantalla, se hace más sencillo utilizarlas como se desea. Para mostrarlas se debe crear una pantalla HMI virtual donde vamos a exponer las señales en un entorno gráfico agradable para presentación.

Para insertar la pantalla HMI dirigirse a *Dispositivos y redes*, ubicarse en vista topológica, observar en el lado derecho la pestaña de catálogo, desplegar la pestaña *Sistemas PC*, luego *SIMATIC HMI Application* y escoger la opción *WinCC RT Advanced*. Ver Fig 71.

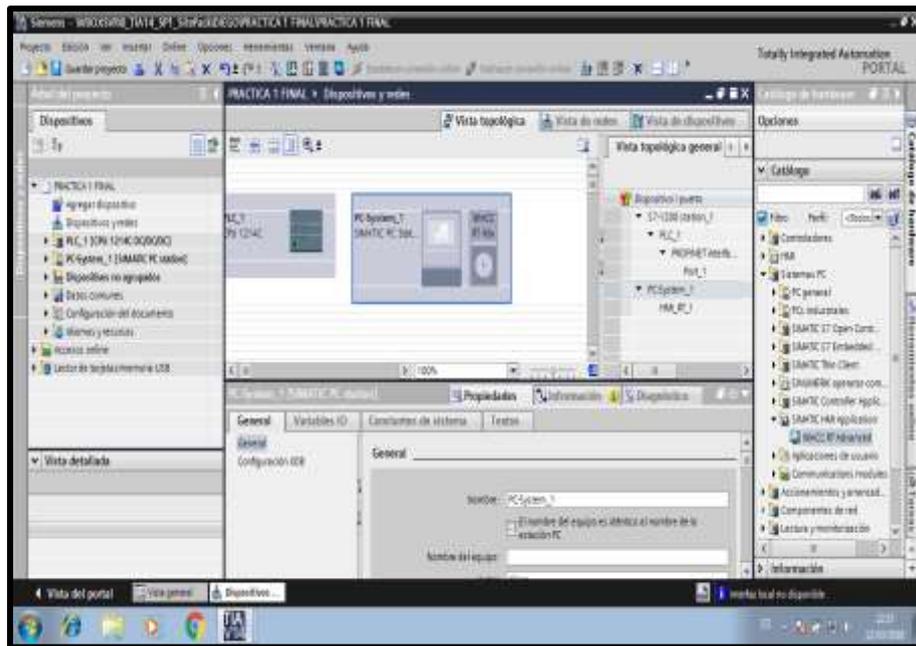


FIGURA 71. AGREGAR PANTALLA HMI.

Una vez que se tiene este paso es necesario agregarle un puerto de comunicación para conectar el PLC con el HMI virtual, para ello ubicarse a lado derecho en la pestaña *Sistemas PC*, luego en módulo de comunicación desplegar *PROFINET/Ethernet*, *PROFINET Driver* y escoger la opción *IE General*. Ver Fig 72.

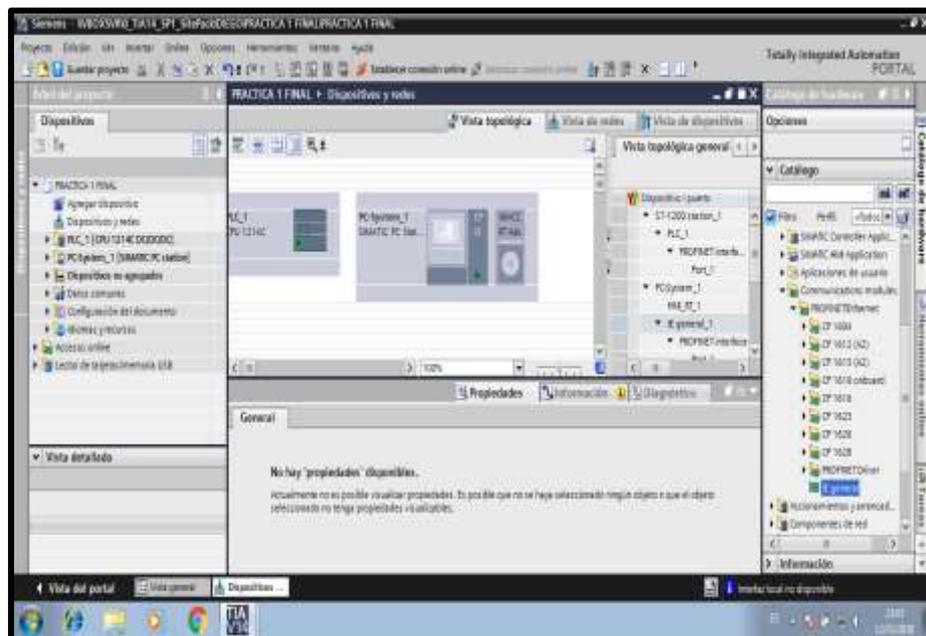


FIGURA 72. AGREGAR TARJETA COMUNICACIÓN.

Una vez insertada la IE general proceder a configurarla con la misma dirección IP asignada a la computadora, ya que se trata de una HMI virtual, es decir, comparte el mismo puerto de red de la PC. Ver Fig 73.

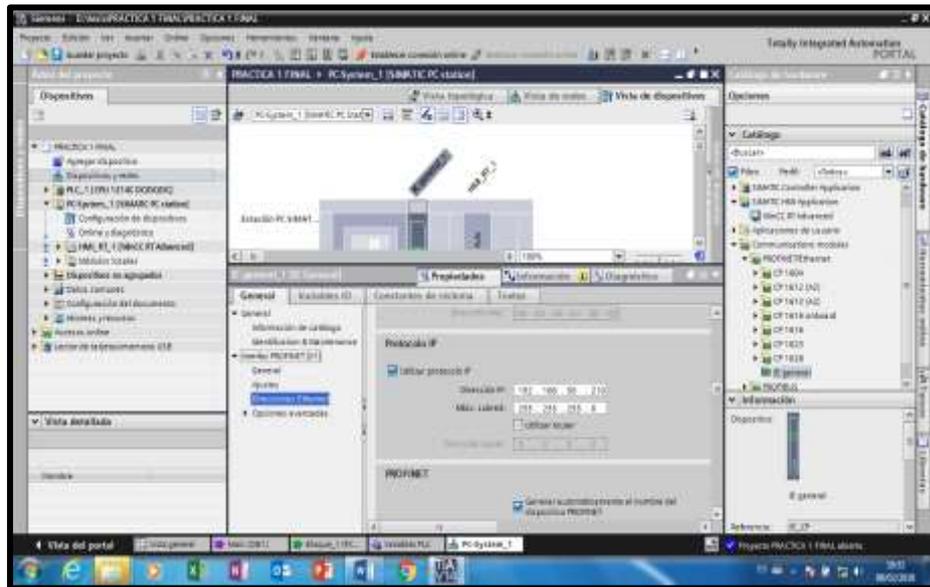


FIGURA 73. DIRECCIÓN IP DE IE GENERAL.

A continuación, se ubica en vista de redes y proceder a conectar los puertos tanto del PLC como de la pantalla HMI creada para lograr la comunicación entre ellas. Ver Fig 74.

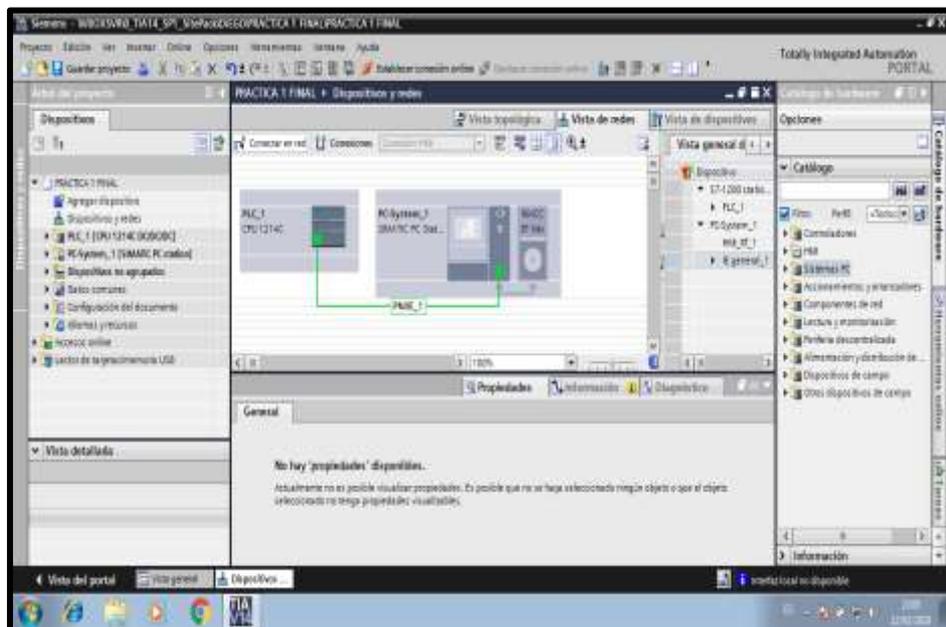


FIGURA 74. CONEXIÓN DEL PLC Y HMI VIRTUAL.

Luego proceder a configurar la pantalla HMI, para ello debe ubicarse a lado izquierdo de la pantalla en la opción PC-System_1, luego HMI_RT_1 y escoger la opción *Agregar imagen*, aparecerá una pantalla. Ver Fig 75.

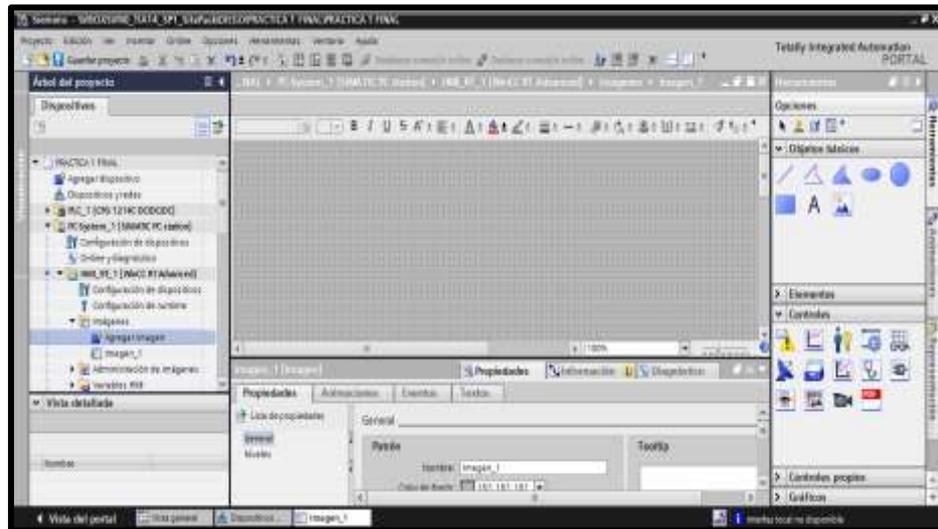


FIGURA 75. ESPACIO DE TRABAJO DE LA PANTALLA HMI.

Una vez que se tiene la pantalla creada, dirigirse a *Objetos Básicos*, escoger la opción *Campo de Texto* representado con la letra A, que permite agregar el texto que se necesite para mostrar los datos leídos. Es necesario insertar un campo E/S que se lo puede encontrar en la pestaña *Elementos*, dar click y arrastrar. Una vez colocado allí se puede moverlo, cambiarle de color, aumentar tamaño de texto, entre otros. Ver Fig 76.

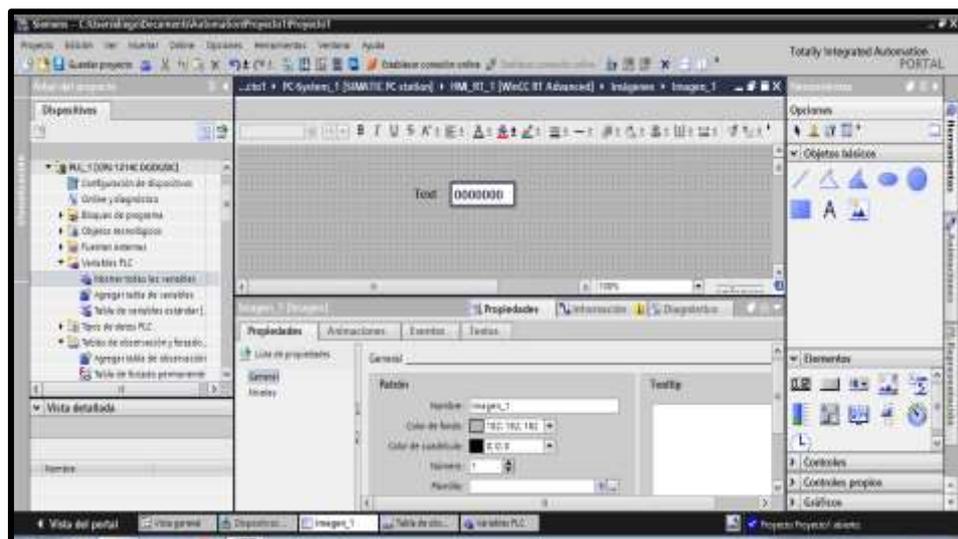


FIGURA 76. AGREGAR TEXTO EN LA PANTALLA HMI.

Para que aparezca el dato deseado, es necesario configurar el campo de E/S, para ello se debe seleccionar el elemento, ir a *Propiedades*, en variable buscar en variables PLC y escoger la que necesitamos leer. Ver Fig 77.

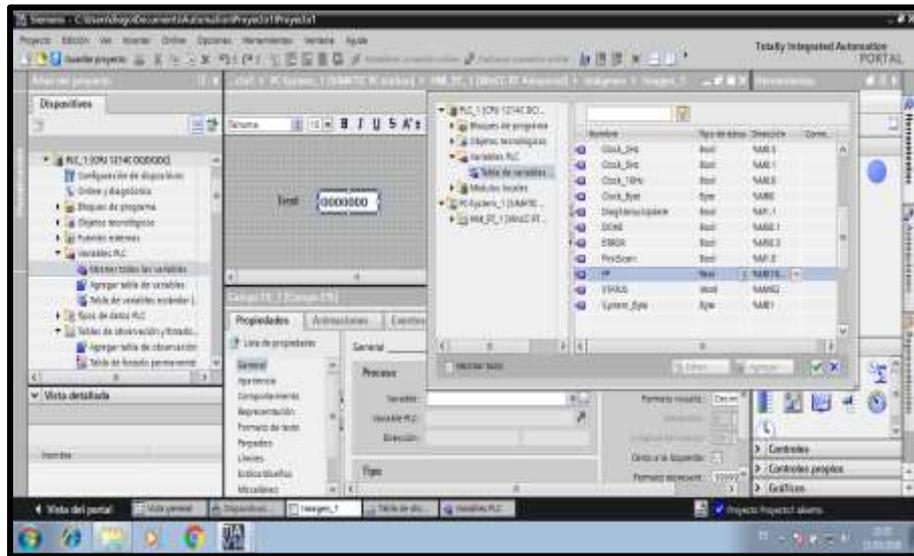


FIGURA 77. CONFIGURAR VARIABLE EN EL CAMPO E/S.

En el HMI virtual, insertar los botones de marcha, paro, luces piloto y parada de emergencia, para ello se debe ubicar en librería global a lado derecho de la pantalla, desplegar la pestaña *PilotLights* para escoger las luces indicadoras que se necesite. Para insertar botones de comandos se debe desplegar la pestaña *PushbuttonSwitches* donde se puede insertar pulsadores de marcha, paro, paro de emergencia entre otros. Ver Fig 78.

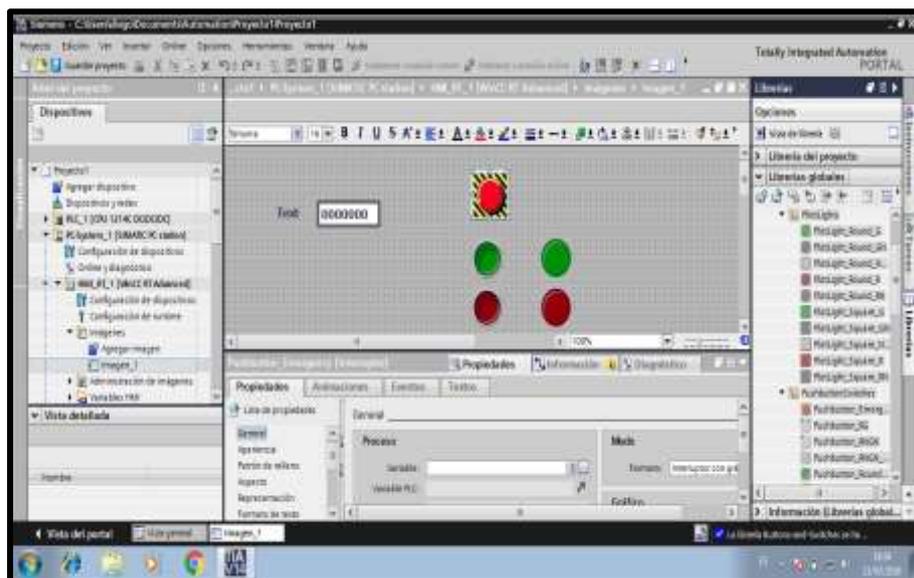


FIGURA 78. AGREGAR BOTONES EN LA PANTALLA HMI.

Adicionalmente la HMI virtual permite dibujar diagramas, para ello se debe ir a lado derecho en herramientas, desplegar la pestaña *Objetos Básicos* y con opción que permite dibujar líneas podemos dibujar algún diagrama que se necesite. Ver Fig 79.

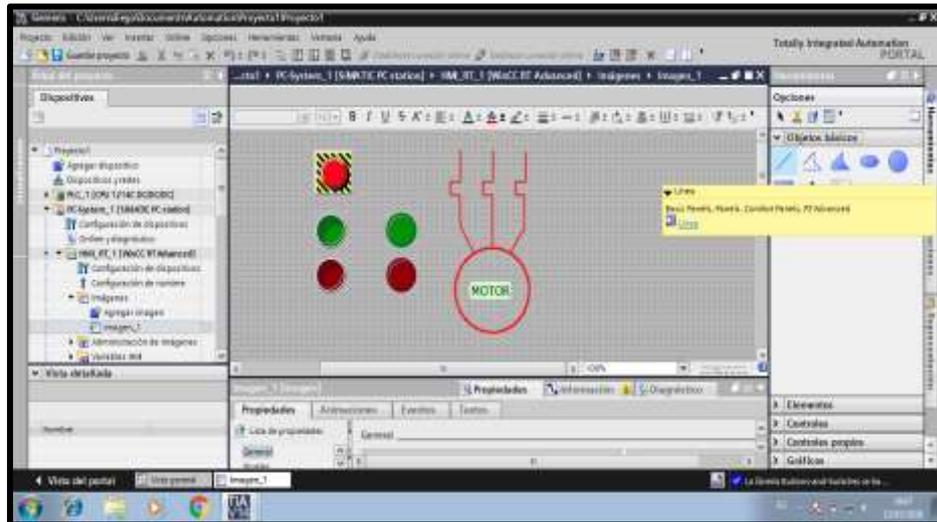


FIGURA 79. AGREGAR LÍNEAS EN LA PANTALLA HMI.

Creado los botones se debe crear una lógica de programación para controlar el arranque y parada de un motor trifásico, el cual servirá para simular carga en el sistema de potencia.

Añadimos un nuevo bloque de Función, desde la opción *Agregar nuevo bloque*, seleccionar la opción *Función*, y se creará un nuevo bloque donde realizaremos la lógica de control. Ver Fig 80.

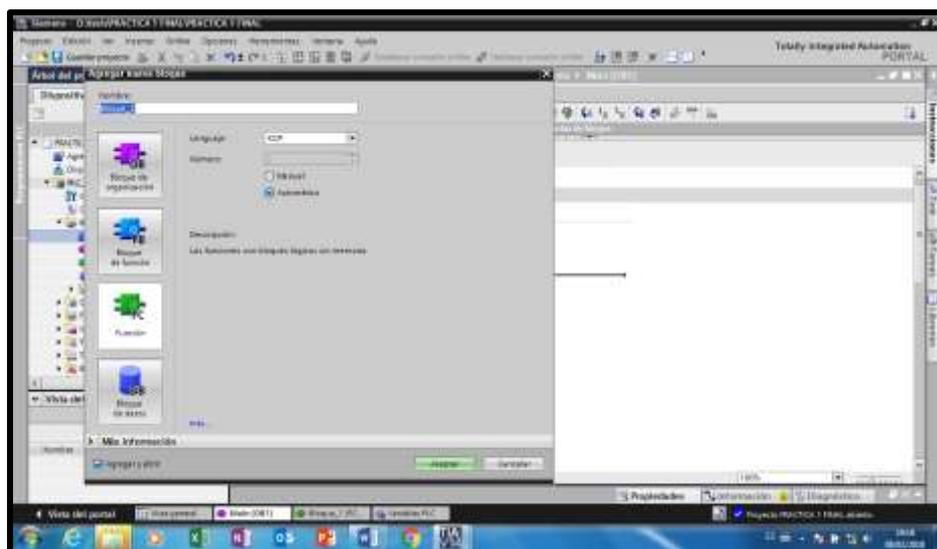


FIGURA 80. CREAR BLOQUE PARA LÓGICA DE CONTROL.

Se empieza seleccionando las instrucciones de lógica que se va a utilizar en la programación y arrastrándolas a la parte blanca, es recomendable organizar la lógica mediante varios segmentos, para llevar un programa estructurado, adicional se pueden agregar varios bloques que permitirán realizar los cálculos manuales y automáticos del módulo de pruebas.

Para crear un bloque de función se debe añadir la variable en la parte superior de cada contacto o marca. Luego dar click derecho sobre la misma y escoger la opción *Cambiar nombre de variable*. Ver Fig 81.

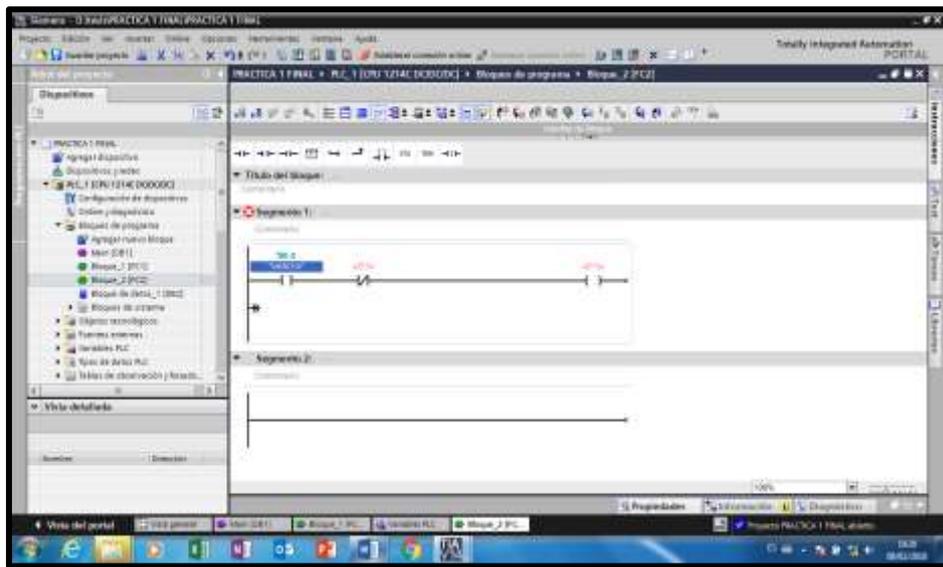


FIGURA 81. LÓGICA DE CONTROL.

A continuación, se muestra parte de la programación de la lógica de control para el arranque y parada del motor. Ver Fig 82.

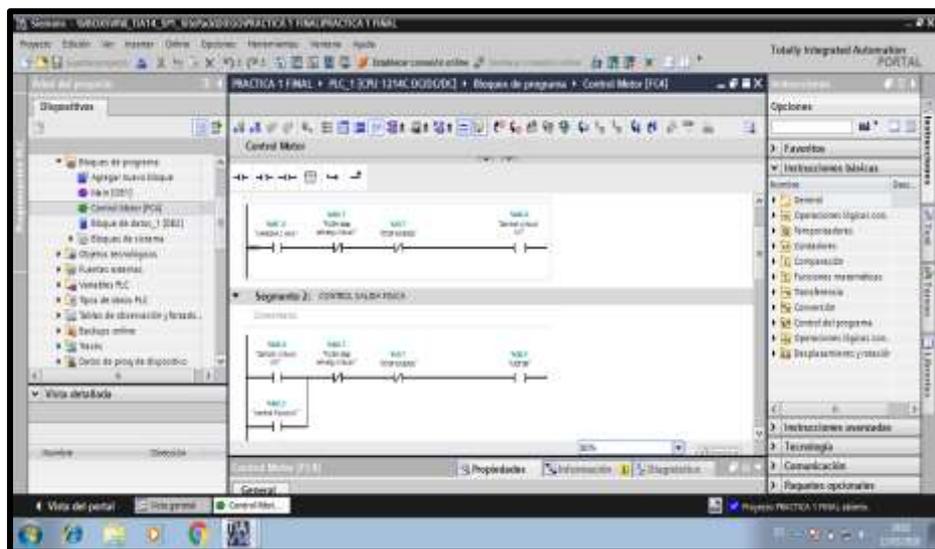


FIGURA 82. VISTA DE LA LÓGICA DE CONTROL.

En el siguiente bloque, se va a activar las salidas físicas que corresponden a los contactores que ingresan los bancos de capacitores a la red de manera manual. Como se muestra en la siguiente imagen, cada salida se puede activar mediante una entrada física digital (entrada del módulo) o por medio de un selector virtual presente en la HMI. Previo al control de las salidas, se colocó dos marcas que simularán alarmas que más adelante se explicarán. Ver Fig 83.

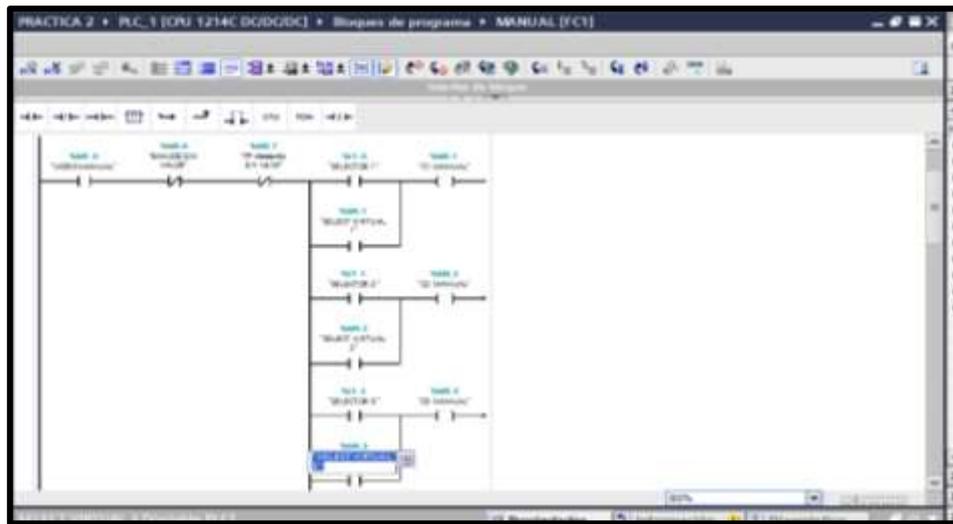


FIGURA 83. CONTROL DE BANCO DE CAPACITORES MANUAL.

Luego se procede a realizar la programación del modo automático. Se añade un contacto abierto de la variable que lleva el mismo nombre del modo, la cual se activa desde la pantalla virtual; también los contactos de las alarmas y el respectivo botón de bloqueo del modo manual. Al cumplir todas las condiciones se activará la corrección según sea el caso. Ver Fig 84.

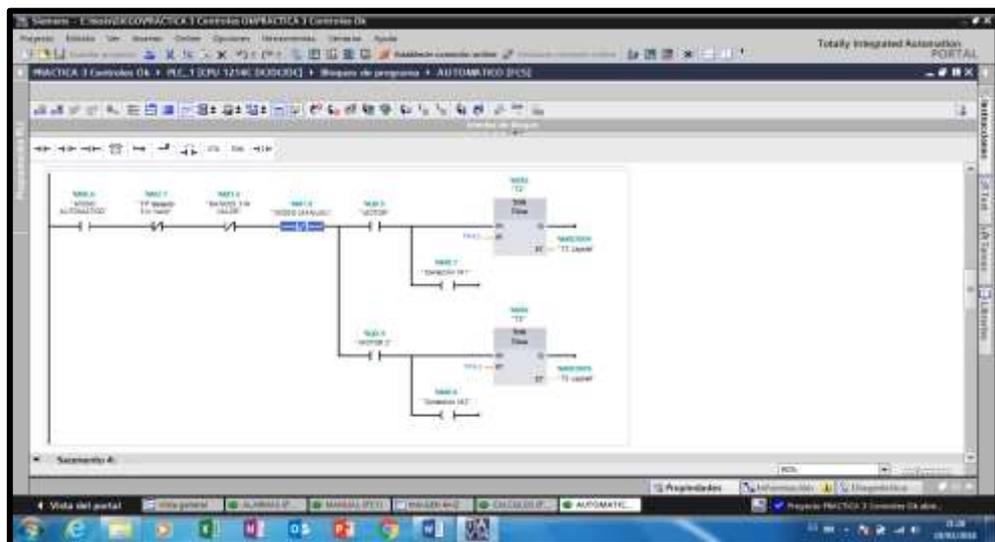


FIGURA 84. CONFIGURACIÓN MODO AUTOMÁTICO.

Luego agregar otro bloque de función, para configurar los cálculos que se utilizarán tanto en la práctica manual o automática. Se utilizan instrucciones matemáticas que se encuentran del lado derecho de la pantalla. La fórmula que necesitamos ingresar es la de cálculo de potencia reactiva faltante para corregir el factor de potencia. (Ecuación 10). Las variables utilizadas son tipo DoubleWord. Ver Fig 85.

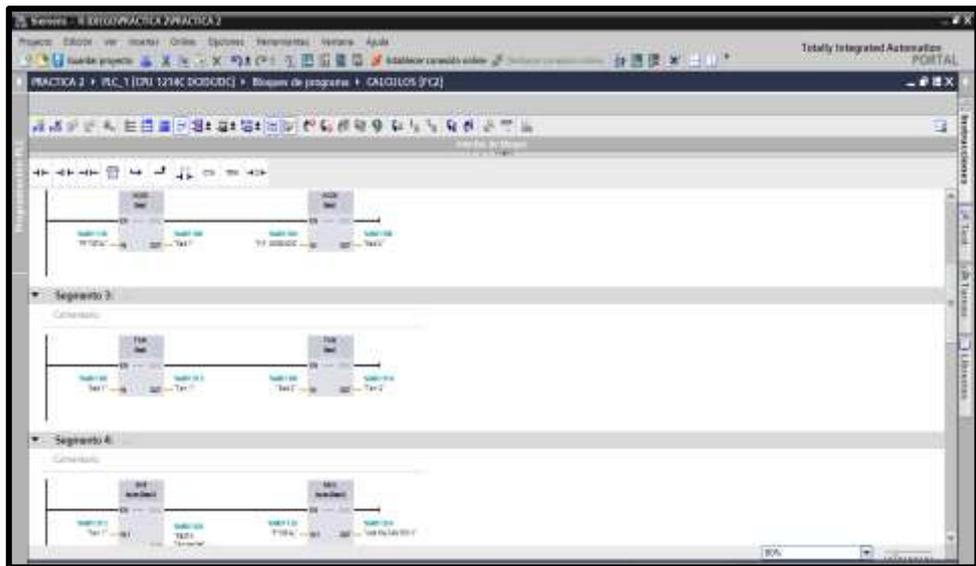


FIGURA 85. CÁLCULO DE POTENCIA REACTIVA FALTANTE.

También se va a configurar el cálculo del ángulo entre la potencia Activa y la potencia Reactiva. Para eso se va a utilizar las variables P y Q medidas por el Sentron Pac. El resto de cálculo se realiza por medio del teorema de Pitágoras y leyes trigonométricas. Ver Fig 86.

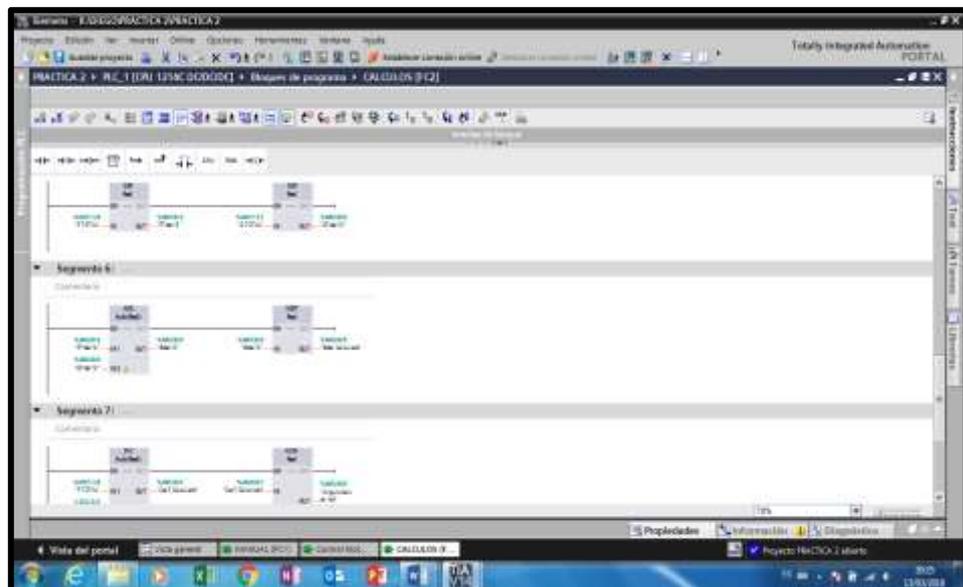


FIGURA 86. CÁLCULO DEL ÁNGULO MEDIANTE TRIGONOMETRÍA.

Una vez se tenga la lógica de programación, se debe configurar los botones con las variables que se utilizaron en la misma para dar órdenes a través de la pantalla HMI, para ello seleccionar el botón que se desea configurar, seleccionar *Propiedades, General, Variable* y escoger la variable que se utilizó en la lógica de la programación. Ver Fig 87.



FIGURA 87. AGREGAR VARIABLE A LOS BOTONES DE LA PANTALLA HMI.

A continuación, se debe configurar los eventos que vaya a comandar ese pulsador, para ello, se debe ubicar en *Eventos*, escoger la opción Conmutar ON y Conmutar OFF. Ver Fig 88.



FIGURA 88. AGREGAR EVENTOS AL BOTÓN DE EMERGENCIA.

Se escoge *Conmutar ON* y *Conmutar OFF* ya que el pulsador de emergencia tiene la función de detener totalmente el proceso y, mediante otro pulso (reset) volverlo a dejar operativo, esto quiere decir que se necesita doble accionamiento.

Para configurar los botones de marcha y paro aplica un proceso similar del pulsador de emergencia, se debe ir a *Propiedades, General, Variables* y se escoge la variable correspondiente. La diferencia es que en la pestaña *Eventos*, se debe agregar el comando *Cambio* en lugar de la opción *Conmutar*, esta diferencia respecto a la otra configuración se debe a que los pulsadores marcha y paro tiene sus funciones independientes definidas y solo necesitan un pulso. Ver Fig 89.

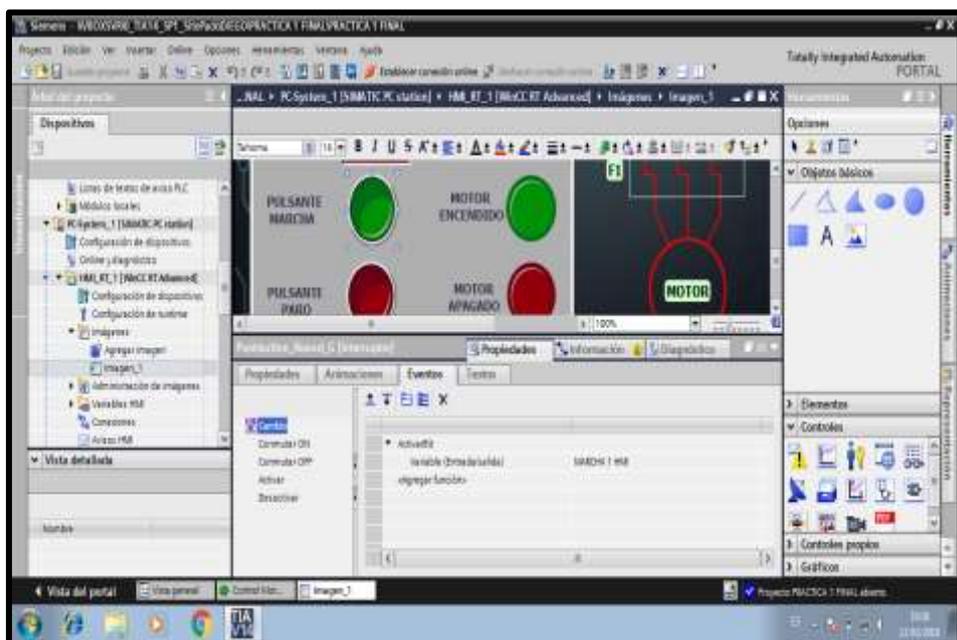


FIGURA 89. AGREGAR EVENTOS AL BOTÓN DE EMERGENCIA.

Para las luces pilotos solo se necesita agregar las variables correspondientes para lo cual se debe ubicar en el ícono agregado a la pantalla HMI, dirigirse a *Propiedades, General, Variable* y escoger la que corresponda. Ver Fig 90.



FIGURA 90. AGREGAR VARIABLE A LA LUCES DE LA PANTALLA HMI.

Finalmente se debe configurar los diagramas que se dibujaron en la pantalla HMI, este paso se debe hacer por cada línea que se encuentre en el esquema eléctrico. Nos dirigimos a *Propiedades, Animaciones, Visualización*, agregar una animación y escoger *Apariencia*, definimos la variable que va a permitir cambiar de estado la línea, en este caso cambiará de color dependiendo del estado de la marca asignada, puede ser 0 apagado o 1 encendido. Ver Fig 91.

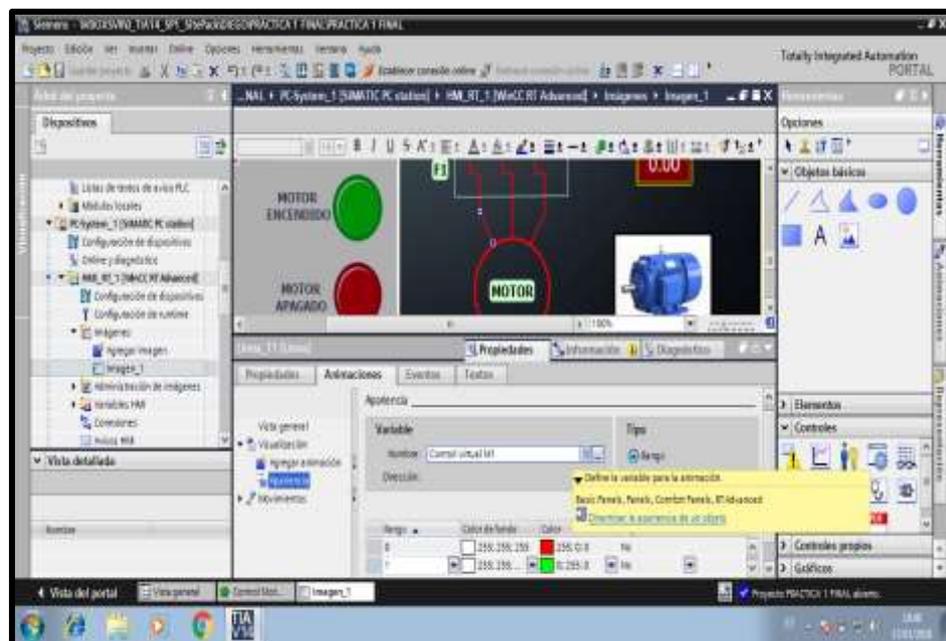


FIGURA 91. AGREGAR VARIABLE A LAS LÍNEAS DE LA PANTALLA HMI.

El siguiente paso es configurar los selectores para ingresar los bancos de capacitores de manera manual. Para eso volver a la librería y buscar en la sección *RotarySwitches* y arrastrar el elemento a la pantalla. Ver Fig 92.

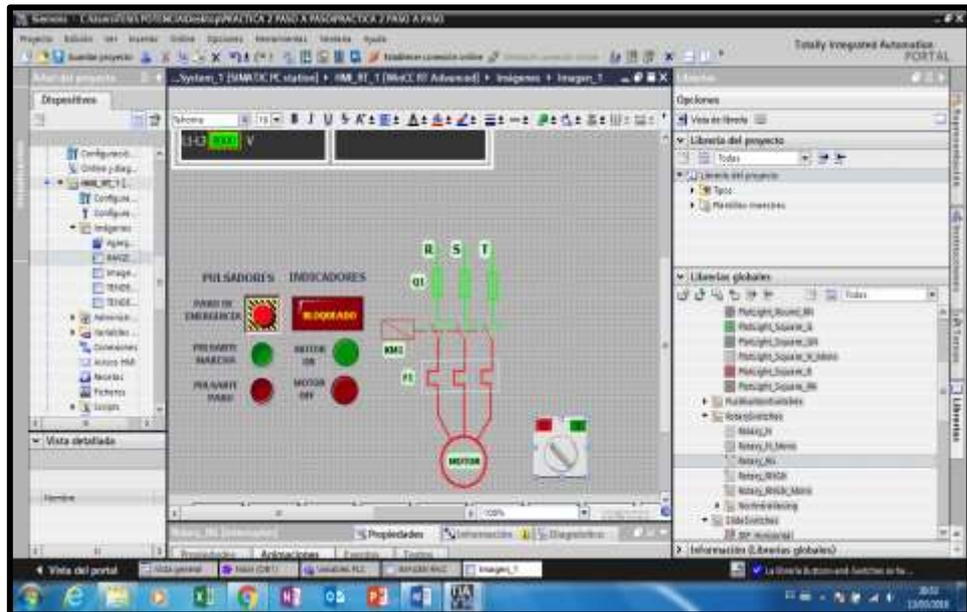


FIGURA 92. ESCOGER SELECTORES.

El selector también es un elemento que realiza dos funciones con dos accionamientos distintos. En la opción *Commutar ON*, activar una marca que se llamará “SELECT VIRTUAL 1”. El contacto de esta marca es utilizado en el Bloque de funciones llamado MANUAL para la activación de los bancos de capacitores. Ver Fig 93.

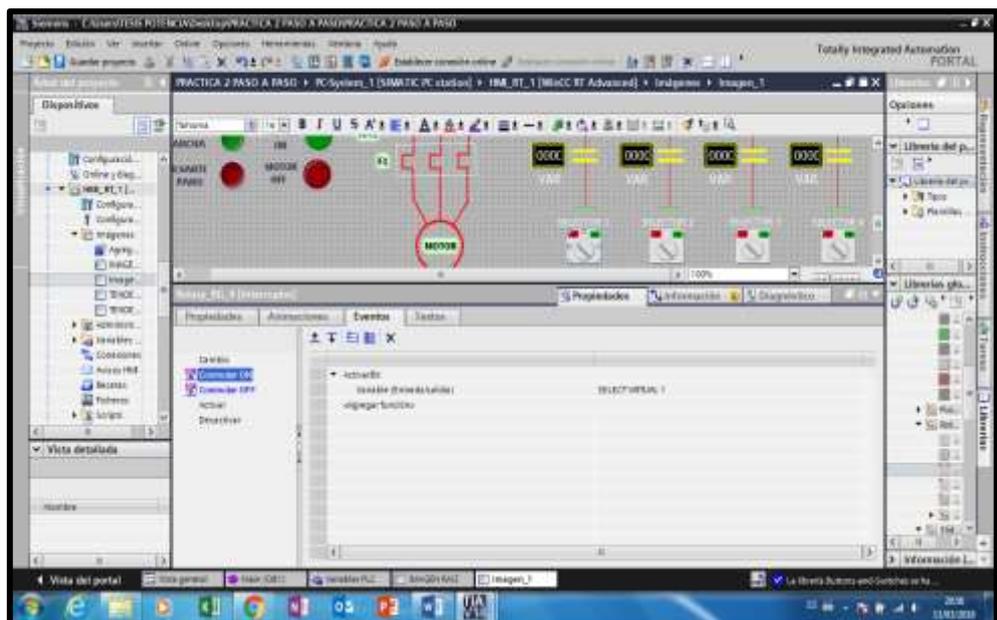


FIGURA 93. CONFIGURACIÓN DE SELECTORES.

Dibujar los bancos de capacitores y añadir un cuadro de texto, en el cual se ingresará el valor correspondiente a la potencia reactiva de cada banco. Realizar una configuración similar a los demás cuadros de texto de la pantalla, con la diferencia que ahora le pondremos Cuadro de Entrada/Salida. No olvidar asignar una variable de proceso (C1). Ver Fig. 94.

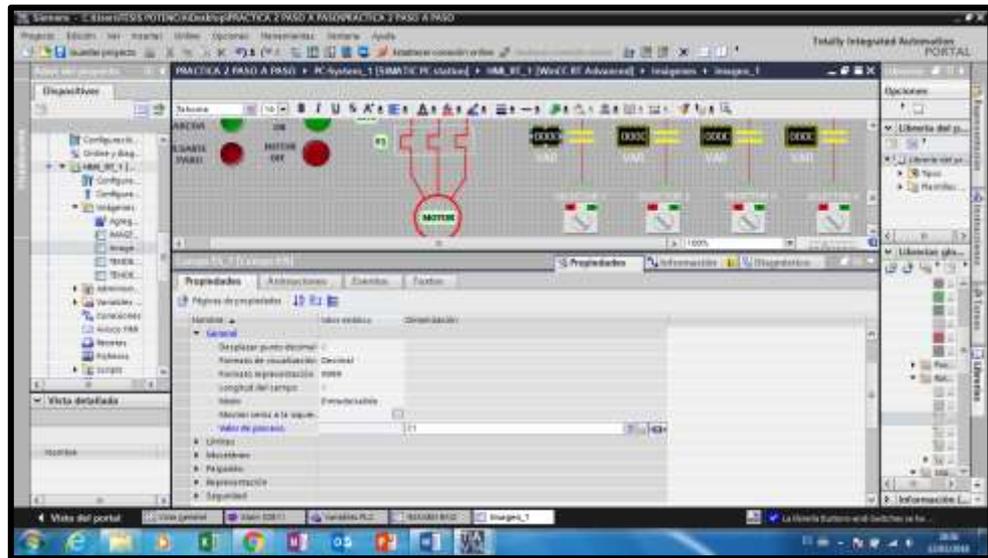


FIGURA 94. CONFIGURACIÓN CUADROS DE ENTRADA/SALIDA.

Luego se debe configurar los mensajes de alarma del programa, para eso dirigirse al comando *Visibilidad* y configurar la variable de proceso correspondiente. En rango colocar 1, para asegurarse que cuando la marca esté activa, se muestre el mensaje. En *Propiedades* se puede configurar colores, tipo de letra, parpadeo activado, entre otros. Ver Fig 95.

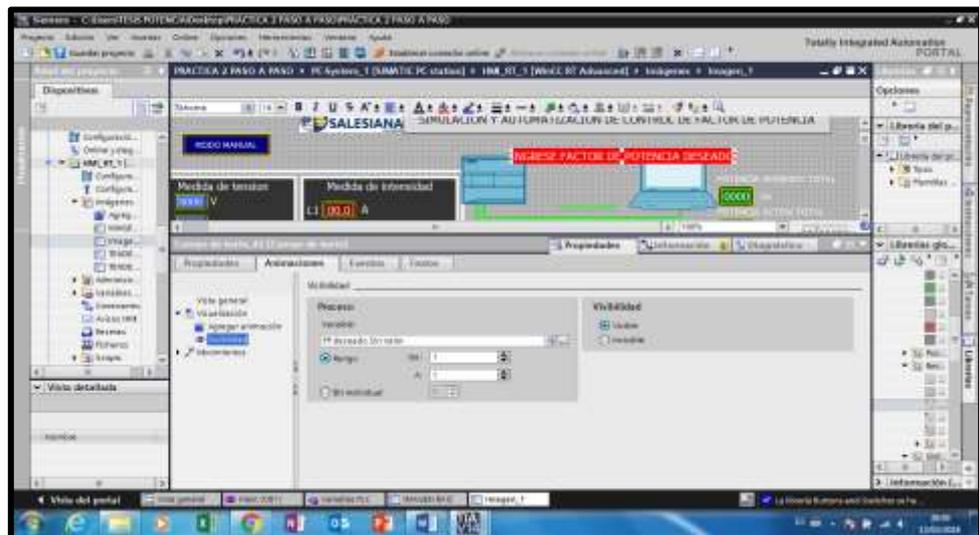


FIGURA 95. MENSAJES DE ALARMA.

A continuación se procede a crear las pantallas de tendencias, se añade botones del menú *Objetos Básicos* y agregar la función *Soltar* en la pestaña *Eventos*. Buscar la función *ActivarImagen* y nombrar una imagen previamente creada. Cuando se presione ese botón, se va a acceder a la nueva pantalla, que se llamará *TENDENCIA V*. Ver Fig 96.



FIGURA 96. ACTIVAR IMAGEN DE TENDENCIAS.

Dentro de la nueva imagen creada, dirigirse a la sección *Controles* y seleccionar el botón *Visor de curvas*. Arrastrar hacia la pantalla vacía y ajustar el tamaño que queremos nuestra pantalla de curvas. Ver Fig 97.

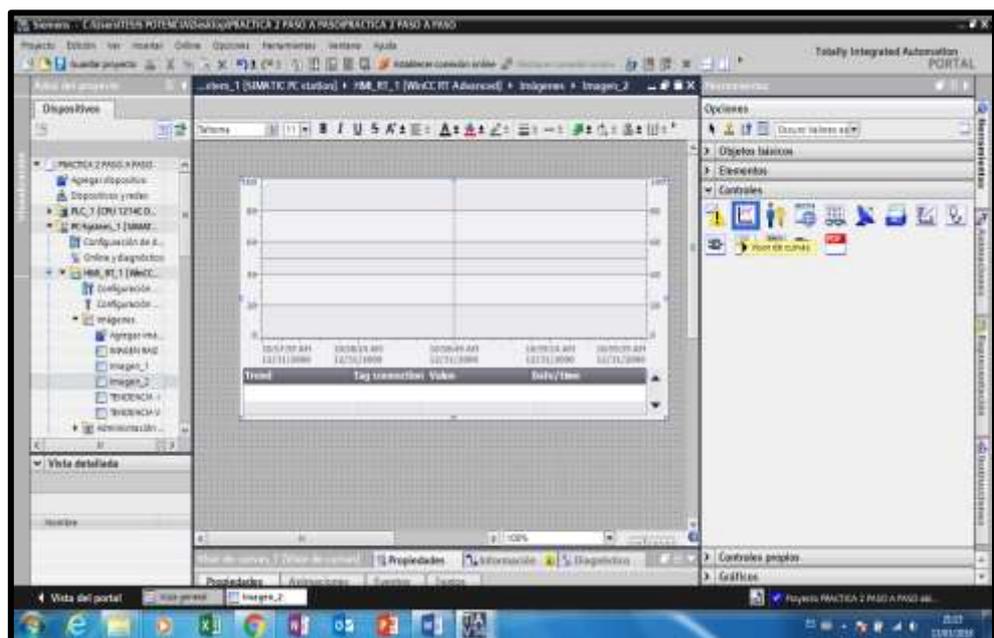


FIGURA 97. VISOR DE TENDENCIAS.

Debajo de la pantalla de curvas, colocar un botón para realizar el regreso a la pantalla principal. Dirigirse a la pestaña *Eventos*, en la opción *Soltar*, elegir la función *ActivarImagen*, y colocar el nombre de nuestra pantalla de inicio, a la cual hemos denominado como IMAGEN RAIZ. Ver Fig 98.

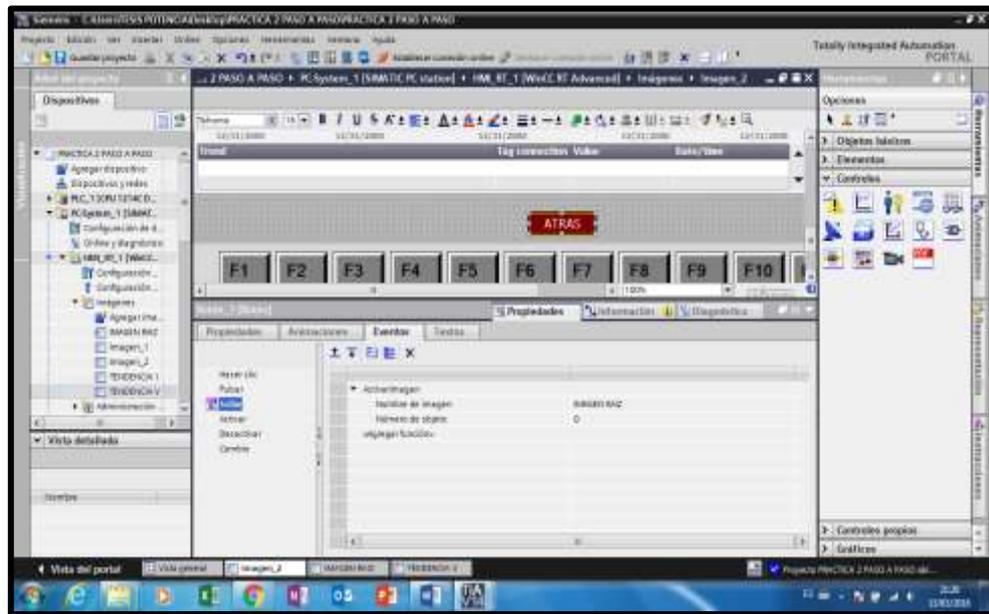


FIGURA 98. BOTÓN ATRÁS.

Se procede a configurar las curvas que se desea visualizar. Para realizar este paso, dirigirse a la pestaña *Propiedades, Curva*, abrir el menú y pedirá configurar nombre de la curva, color y variable HMI. Para aquello se busca la marca asignada y dar click en *Aceptar*. Ver Fig 99.

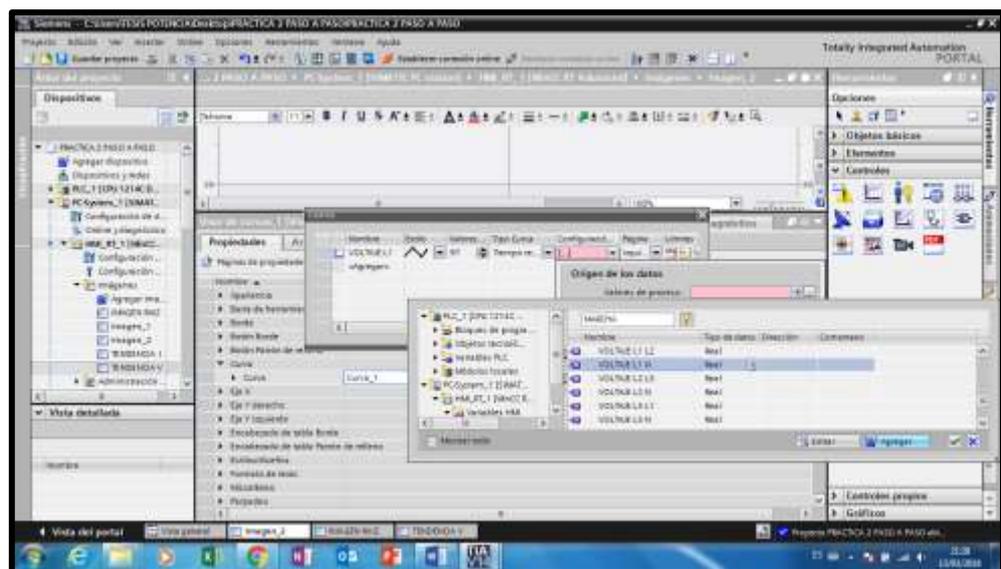


FIGURA 99. CONFIGURAR TENDENCIAS.

Volver a la pantalla IMAGEN RAIZ y dar la decoración que se desea para tener un entorno gráfico agradable. Se puede añadir un botón para salir de la HMI virtual. En la función del botón se le asigna *PararRuntime* para poder salir de la pantalla. Ver Fig 100.

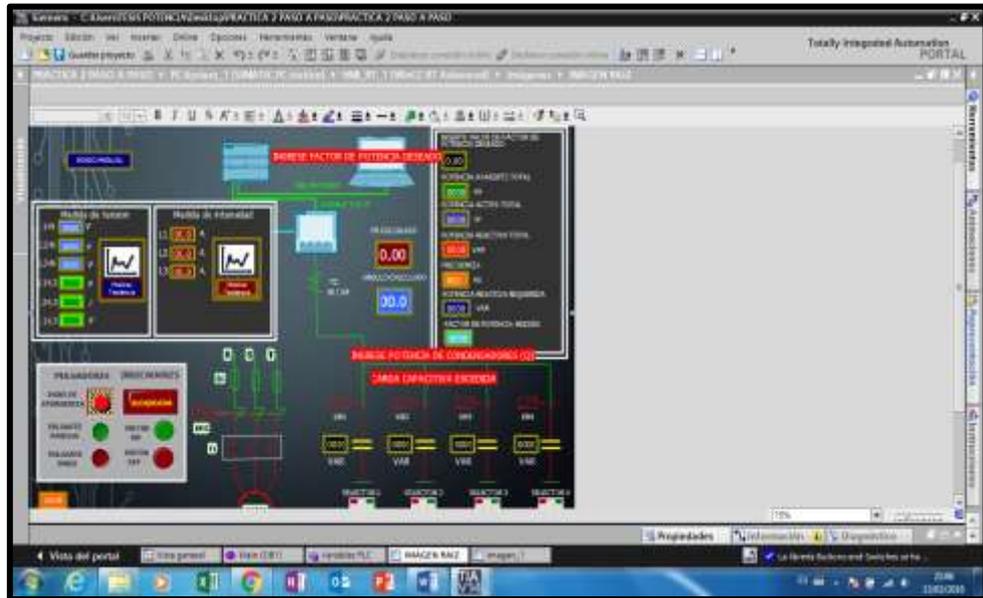


FIGURA 100. PANTALLA TERMINADA.

CAPÍTULO 5

PRACTICA #1	
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica
SEDE:	Guayaquil

5. PRÁCTICAS DEL MÓDULO DIDÁCTICO

5.1. Práctica 1

5.1.1. Tema: Comunicación del PLC

Comunicación del PLC con el analizador de redes. Lectura y adquisición de datos.

5.1.2. Objetivos:

Objetivo general:

- Lograr la comunicación PC – Sentron PAC – PLC y leer los datos obtenidos.

Objetivos específicos:

- Asignar direcciones IP a cada uno de los elementos a comunicar.
- Crear un programa para comunicar el PLC con el Sentron Pac.
- Crear la Tabla de forzado para la visualización de los datos adquiridos.
- Configurar HMI virtual que permita el arranque de motores.

5.1.3. Recursos:

- Laptop con programa Tia Portal V14 y plataforma WinCC Advanced.
- Módulo para simulación y automatización del control de potencia reactiva con el PLC S7-1200 DC/DC/DC.
- Banco de pruebas para la corrección del factor de potencia con el analizador de redes SENTRON PAC 4200.
- Switch y 3 cables de red.

- Motor trifásico.

5.1.4. Tiempo estimado:

- El tiempo estimado para la práctica es de 2 horas.

5.1.5. Procedimiento

A continuación se detalla los pasos necesarios para lograr la comunicación entre el SENTRON PAC 4200 y el PLC S7 – 1200, los detalles de la programación se los podrá revisar en el capítulo 4 (GUIA DE PROGRAMACIÓN).

1. Energizar el módulo.
2. Agregar el PLC que se va a utilizar en el Tia Portal.
3. Realizar la configuración física de la red Ethernet utilizando un switch de interconexión.
4. Asignar las direcciones IP a la laptop y el PLC. Ver Fig 49.
5. Programar el bloque donde se colocará la instrucción de comunicación MB_CLIENT. Ver Fig 62.
6. Asignar la dirección IP del analizador de redes.
7. Configurar la tabla de variables en el Tia Portal.
8. Cargar la programación en el CPU.
9. Establecer conexión online y comprobar que se esté adquiriendo información.
10. Configurar la tabla de observación y forzado. Ver Fig 66.
11. Renombrar las señales leídas del Sentron Pac en la tabla de *Variables PLC*.
12. Insertar y configurar la pantalla HMI del WinCC Advanced. Ver Fig 75.
13. Insertar y configurar campos E/S para leer los datos en la pantalla HMI.
14. Insertar y configurar los botones de accionamiento del motor e indicadores de la pantalla HMI.
15. Añadir bloque de Función para la lógica de control del motor trifásico.
16. Dar presentación a la pantalla HMI.
17. Compilar y cargar la programación.
18. Energizar el Banco de pruebas para el control del factor de potencia.
19. Realizar la conexión del motor siguiendo el diagrama de fuerza y control en la sección (5.1.6).
20. Comprobar el funcionamiento del control del motor y lectura de datos.

21. Registrar los datos obtenidos en el HMI en la tabla 5 y comprobar los resultados con el SENTRON PAC 4200.
22. Realizar al menos 5 pruebas con diferentes cargas de distintas potencias en la tabla 5.

5.1.6. Diagrama de conexión

A continuación, se muestra el esquema de conexión y diagramas necesarios en los módulos para empezar la práctica 1. Ver Fig 101,102 y 103.

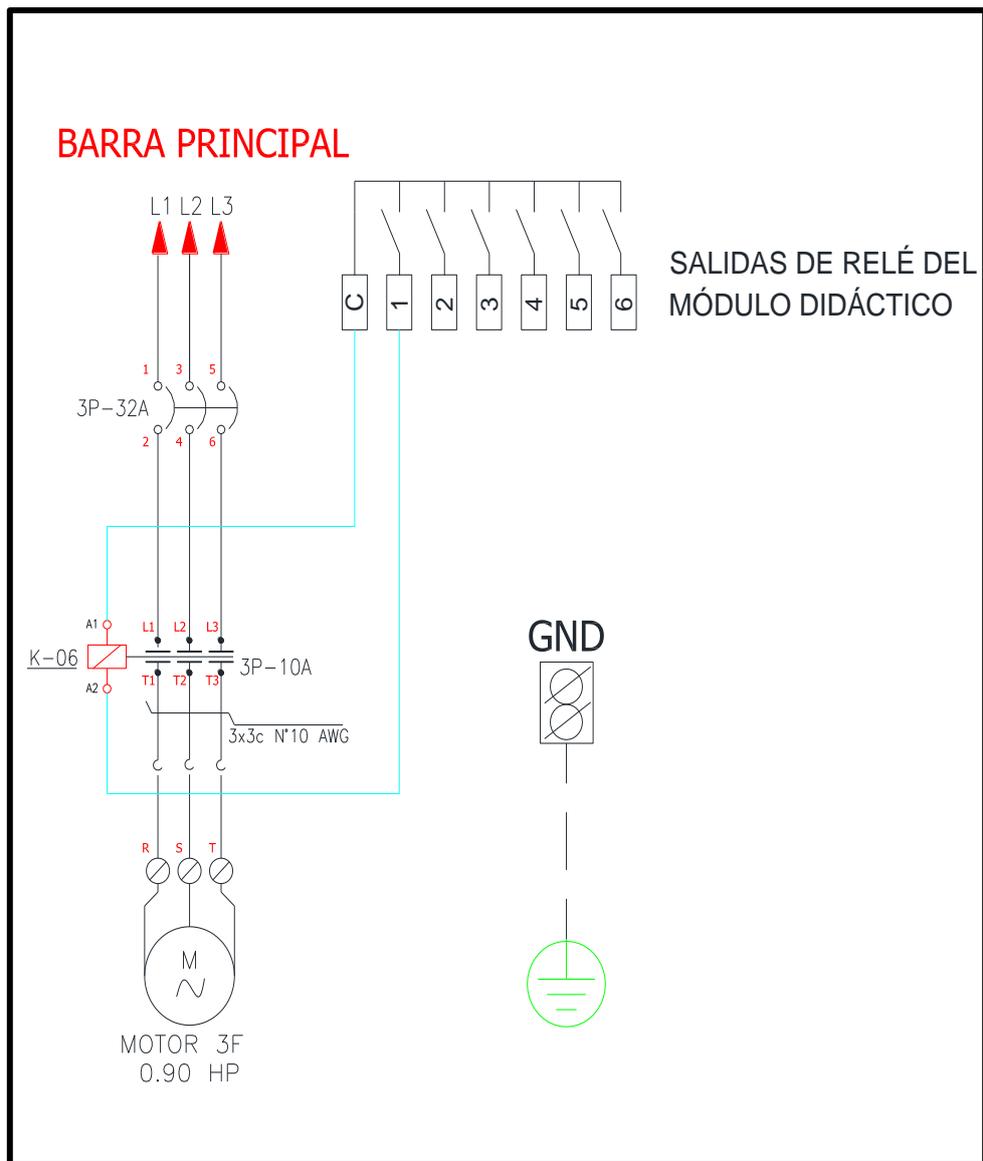


FIGURA 101. DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL DEL MOTOR

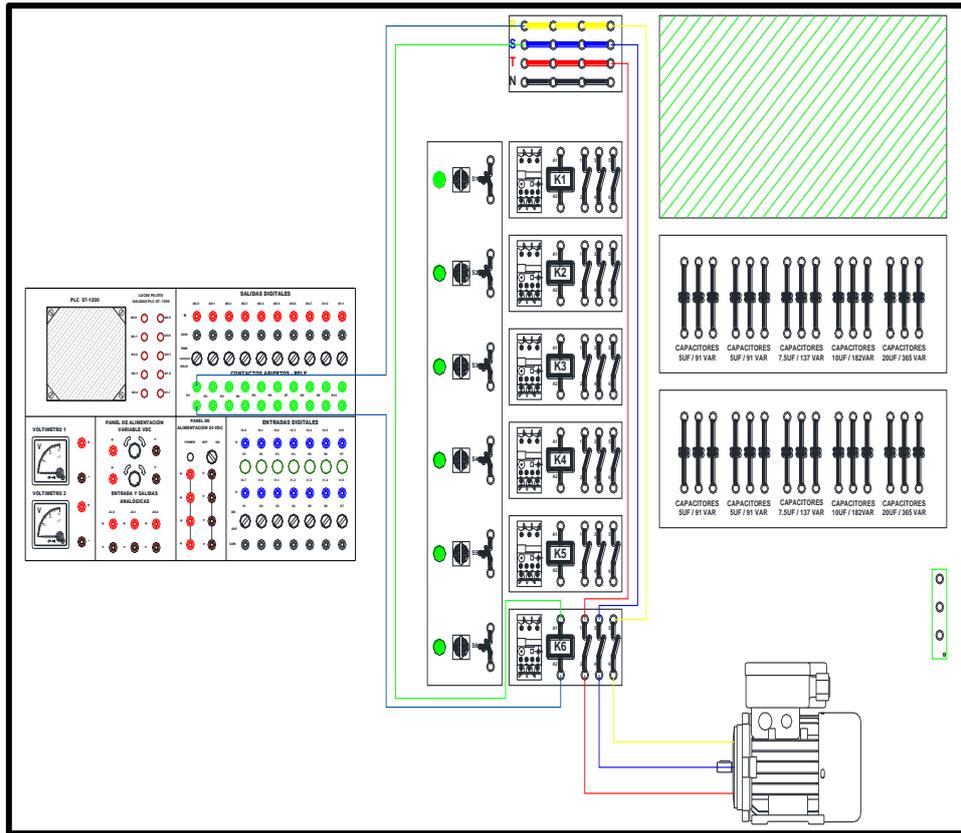


FIGURA 102. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRÁCTICA 1.



FIGURA 103. ESQUEMA DE CONEXIÓN FÍSICA DE LA PRÁCTICA 1.

5.1.7. Resultados

TABLA 5. VALORES LEIDOS Y CALCULADOS DE LA PRACTICA 1.

											
VALORES LEIDOS											
ITEM	TENSIONES [V]			INTENSIDADES [A]			POTENCIA ACTIVA [W]	POTENCIA REACTIVA [VAR]	POTENCIA APARENTE [VA]	FACTOR DE POTENCIA	FRECUENCIA [HZ]
	Vrs	Vst	Vtr	I1	I2	I3					

PRACTICA #2	
	MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica
SEDE:	Guayaquil

5.2. Práctica 2

5.2.1. Tema: Corrección Manual

Control de potencia reactiva para mejoramiento del factor de potencia de manera manual.

5.2.2. Objetivos:

Objetivo general:

- Disminuir la potencia reactiva inductiva, mediante bancos de capacitores, para la corrección del factor de potencia de forma manual.

Objetivos específicos:

- Crear una lógica de programación para ingresar banco de capacitores de manera virtual.
- Calcular potencia reactiva necesaria mediante instrucciones de operaciones básicas.
- Mostrar el proceso en un entorno gráfico.

5.2.3. Recursos:

- Laptop con programa Tia Portal V14 y plataforma WinCC Advanced.
- Módulo para simulación y automatización del control de potencia reactiva con el PLC S7-1200 DC/DC/DC.
- Banco de pruebas para la corrección del factor de potencia con el analizador de redes SENTRON PAC 4200.
- Switch y 3 cables de red.
- Motor trifásico

5.2.4. Tiempo estimado:

- El tiempo estimado para la práctica es de 2 horas.

5.2.5. Procedimiento

A continuación se detalla los pasos necesarios para lograr la corrección del factor de potencia de manera manual utilizando el SENTRON PAC 4200 y el PLC S7 – 1200, los detalles de la programación se los podrá revisar en el capítulo 4 (GUIA DE PROGRAMACIÓN).

1. Realizar todos los pasos de la practica 1.
2. Añadir bloque de Función para la lógica de control de los mensajes de alarmas.
3. Añadir bloque de Función para la corrección manual. Ver Fig 83.
4. Añadir bloque de función para operaciones para cálculos de corrección del factor de potencia. Ver Fig 85.
5. Agregar y configurar mensajes de alarma en la pantalla HMI.
6. Agregar y configurar los selectores de accionamiento de los capacitores.
7. Dar presentación a la pantalla HMI. Ver Fig 100.
8. Compilar y cargar la programación.
9. Energizar el Banco de pruebas para el control del factor de potencia.
10. Realizar la conexión del motor siguiendo el diagrama de fuerza y control en la sección (5.2.6).
11. Comprobar el funcionamiento del control del motor y lectura de datos.
12. Ingresar banco de capacitores y tomar los datos.
13. Registrar los datos obtenidos en el HMI en la tabla 6 y comprobar los resultados con el SENTRON PAC 4200.
14. Registrar los cálculos manuales de potencias, factor de potencia, entre otros en la tabla 7.

5.2.6. Diagrama de conexión

A continuación se muestra el esquema de conexión necesario en los módulos para empezar la práctica 2, las botellas de capacitores se encuentran conectadas en estrella o delta según la necesidad. Ver Fig 104, 105, 106 y 107.

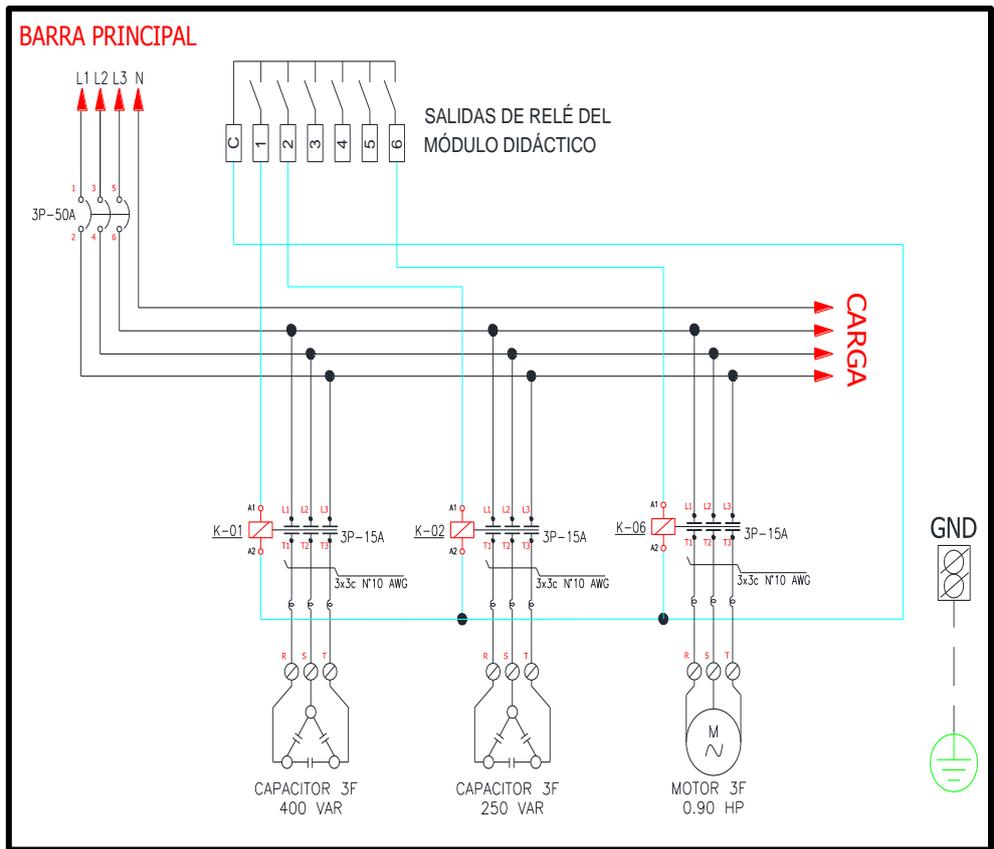


FIGURA 104. DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL DE LA PRACTICA 2.

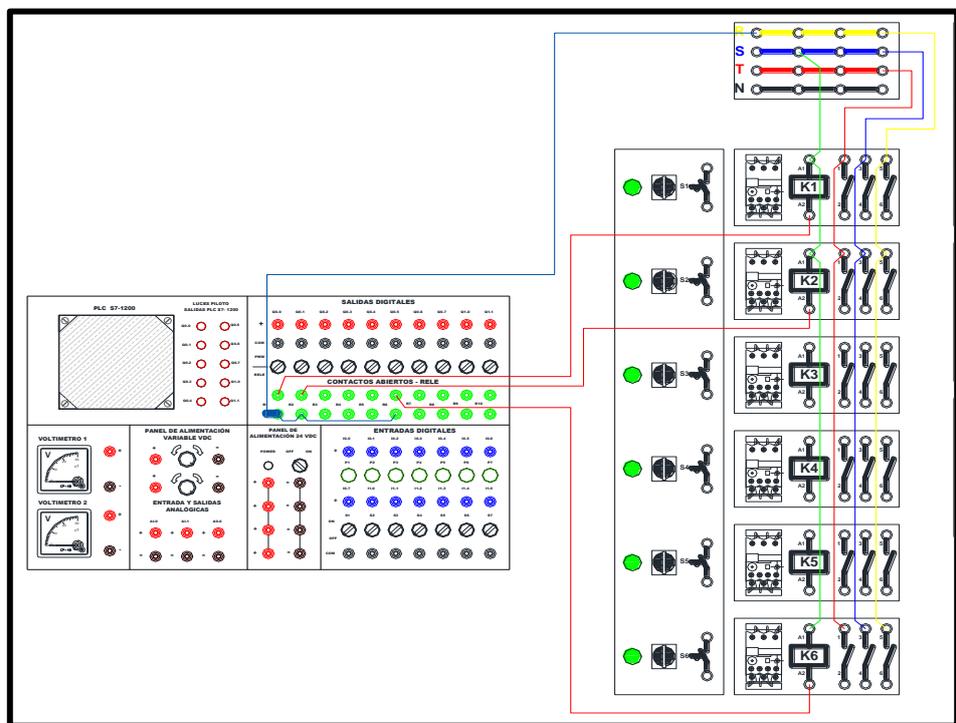


FIGURA 105. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRACTICA 2 PARTE 1.

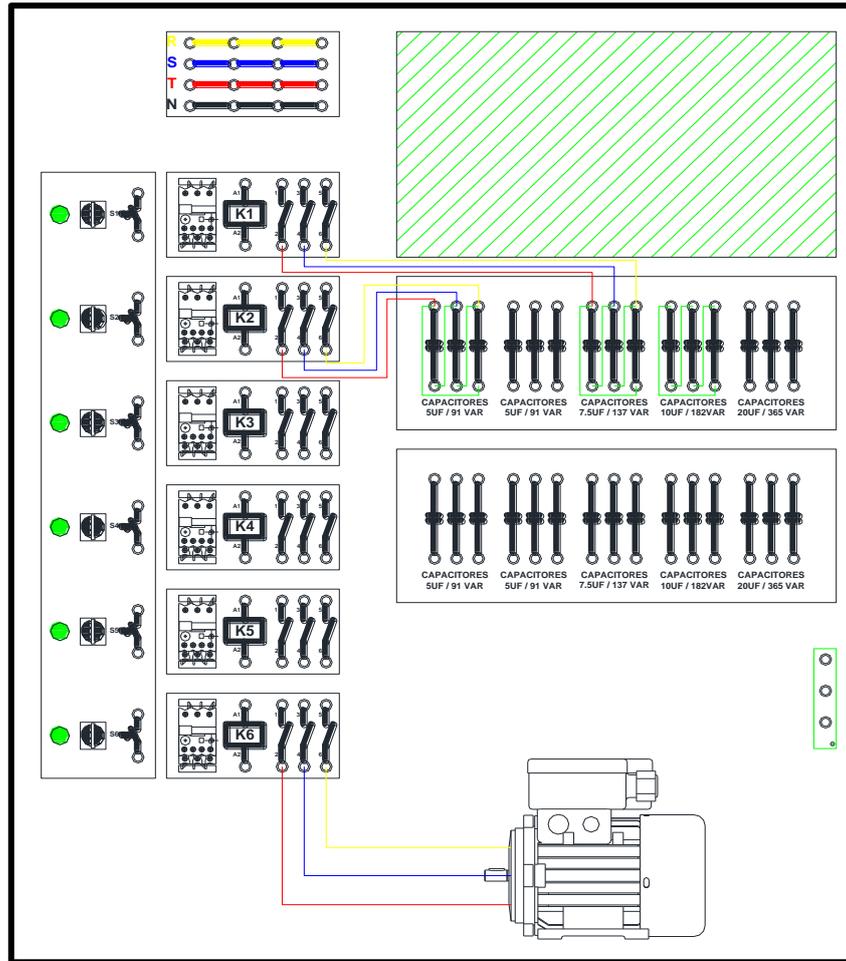


FIGURA 106. ESQUEMA CONEXIÓN DE LA PRÁCTICA 2 PARTE 2.

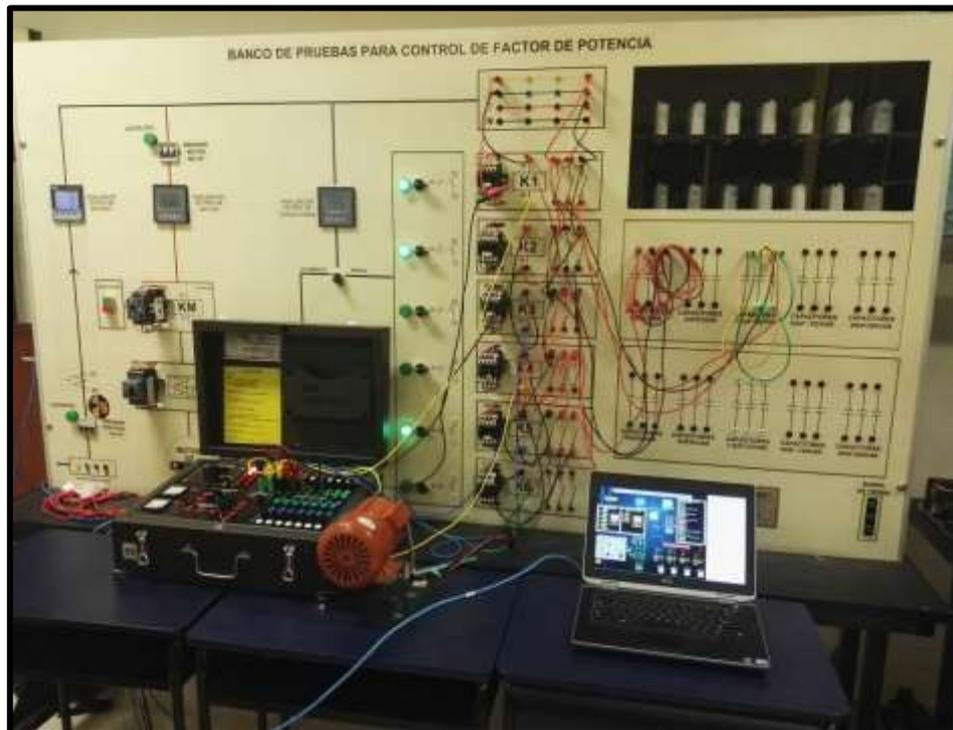


FIGURA 107. ESQUEMA DE CONEXIÓN FÍSICA DE LA PRÁCTICA 2.

5.2.7. Resultados

TABLA 6. VALORES LEIDOS DE LA PRACTICA 2.

											
VALORES LEIDOS											
ITEM	TENSIONES [V]			INTENSIDADES [A]			POTENCIA ACTIVA [W]	POTENCIA REACTIVA [VAR]	POTENCIA APARENTE [VA]	FACTOR DE POTENCIA	FRECUENCIA [HZ]
	Vrs	Vst	Vtr	I1	I2	I3					
Motor											
Banco1											
Banco2											
Sist. Total											
FORMULAS:											
$P = V * I * \cos \Phi \qquad \Phi = \cos^{-1} F_p \qquad \cos \Phi = P/S \qquad Q = \sqrt{S^2 - P^2} \qquad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ $kVAR = kW [\tan (\cos^{-1} fp_0) - \tan (\cos^{-1} fp_1)] \qquad S = V * I \qquad P = S \cos \Phi \qquad Q = V * I * \sin \Phi$											

PRACTICA #3	
	MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica
SEDE:	Guayaquil

5.3. Práctica 3

5.3.1. Tema: Corrección Automática

Control de potencia reactiva para mejoramiento del factor de potencia de manera automática.

5.3.2. Objetivos:

Objetivo general:

- Disminuir la potencia reactiva inductiva, mediante bancos de capacitores, para la corrección del factor de potencia de forma automática.

Objetivos específicos:

- Automatizar el ingreso banco de capacitores.
- Calcular potencia reactiva necesaria mediante instrucciones de operaciones básicas.
- Mostrar el proceso en un entorno gráfico.

5.3.3. Recursos:

- Laptop con programa Tia Portal V14 y plataforma WinCC Advanced.
- Módulo para simulación y automatización del control de potencia reactiva con el PLC S7-1200 DC/DC/DC.
- Banco de pruebas para la corrección del factor de potencia con el analizador de redes SENTRON PAC 4200.
- Switch y 3 cables de red.
- 2 motores trifásicos

5.3.4. Tiempo estimado:

- El tiempo estimado para la práctica es 2 horas.

5.3.5. Procedimiento

A continuación se detalla los pasos necesarios para lograr la corrección del factor de potencia de manera automática utilizando el SENTRON PAC 4200 y el PLC S7 – 1200, los detalles de la programación se los podrá revisar en el capítulo 4 (GUIA DE PROGRAMACIÓN).

1. Realizar todos los pasos de la practica 1.
2. Añadir bloque de Función para la lógica de control del motor trifásico 1.
3. Añadir bloque de Función para la lógica de control del motor trifásico 2.
4. Añadir bloque de Función para la lógica de los mensajes de alarmas.
5. Añadir bloque de Función para la corrección automática. Ver Fig 84.
6. Añadir bloque de función para operaciones para cálculos de corrección del factor de potencia. Ver Fig 85.
7. Agregar y configurar mensajes de alarma en la pantalla HMI.
8. Agregar y configurar los selectores de accionamiento de los capacitores.
9. Dar presentación a la pantalla HMI. Ver Fig 100.
10. Compilar y cargar la programación.
11. Energizar el Banco de pruebas para el control del factor de potencia.
12. Realizar la conexión del motor (5.3.6).
13. Comprobar el funcionamiento del control de los dos motores y lectura de datos.
14. Ingresar motores y comprobar funcionamiento de la corrección automática del factor de potencia.
15. Registrar los datos obtenidos en el HMI en la tabla 8 y comprobar los resultados con el SENTRON PAC 4200.
16. Registrar los cálculos manuales de potencias, factor de potencia, entre otros datos en la tabla 9.

Los pasos de programación son similares a los realizados en la práctica 2, la diferencia es la corrección del factor de potencia, donde el programa lo hace de manera automática.

La práctica 3 utiliza dos motores de tal manera que si sale un motor el programa calcule cuanta carga reactiva tiene que censar del sistema, de la misma manera si el motor vuelve a ingresar al sistema el programa debe censar esta carga e

ingresar los pasos de capacitores que se requieran. El botón automático, se lo encuentra en la parte superior del lado izquierdo.

5.3.6. Diagrama de conexión

A continuación se muestra el esquema de conexión necesario en los módulos para empezar la práctica 3, a diferencia de la práctica 2, en ésta se utiliza dos motores. Las botellas de capacitores se encuentran conectadas en estrella o delta según la necesidad. Ver Fig 108, 109, 110 y 111.



FIGURA 108. ESQUEMA DE CONEXIÓN FÍSICA DE LA PRÁCTICA 3.

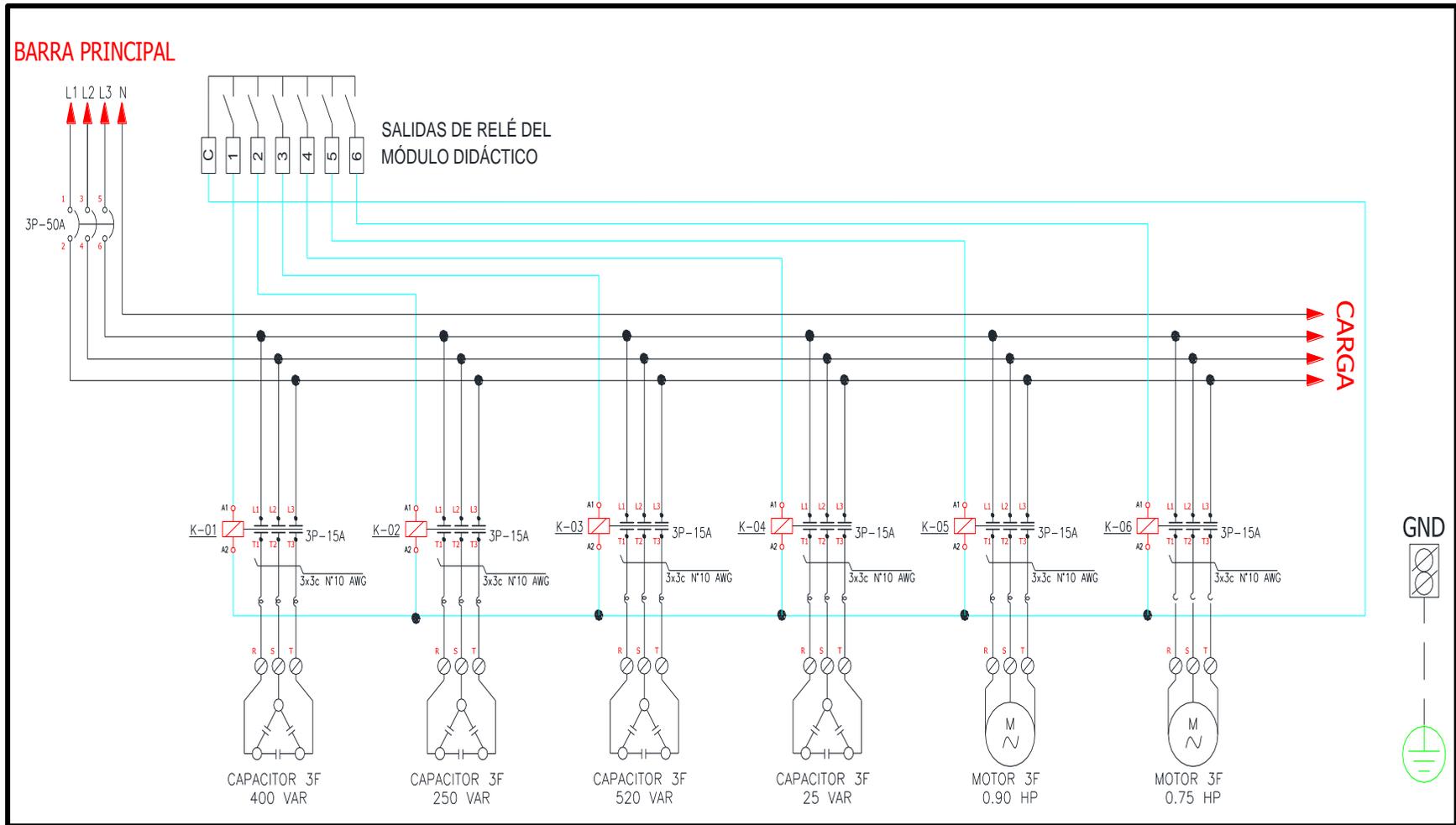


FIGURA 109. DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL DE LA PRACTICA.

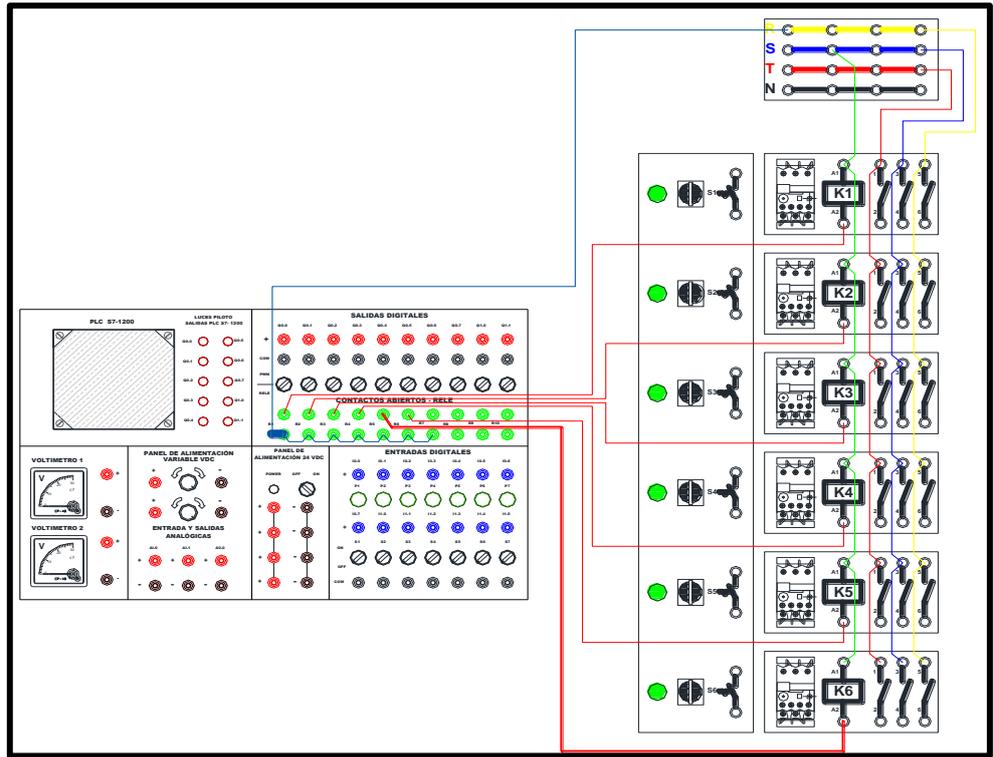


FIGURA 110. ESQUEMA CONEXIÓN DE LA PRÁCTICA 3 PARTE 1.

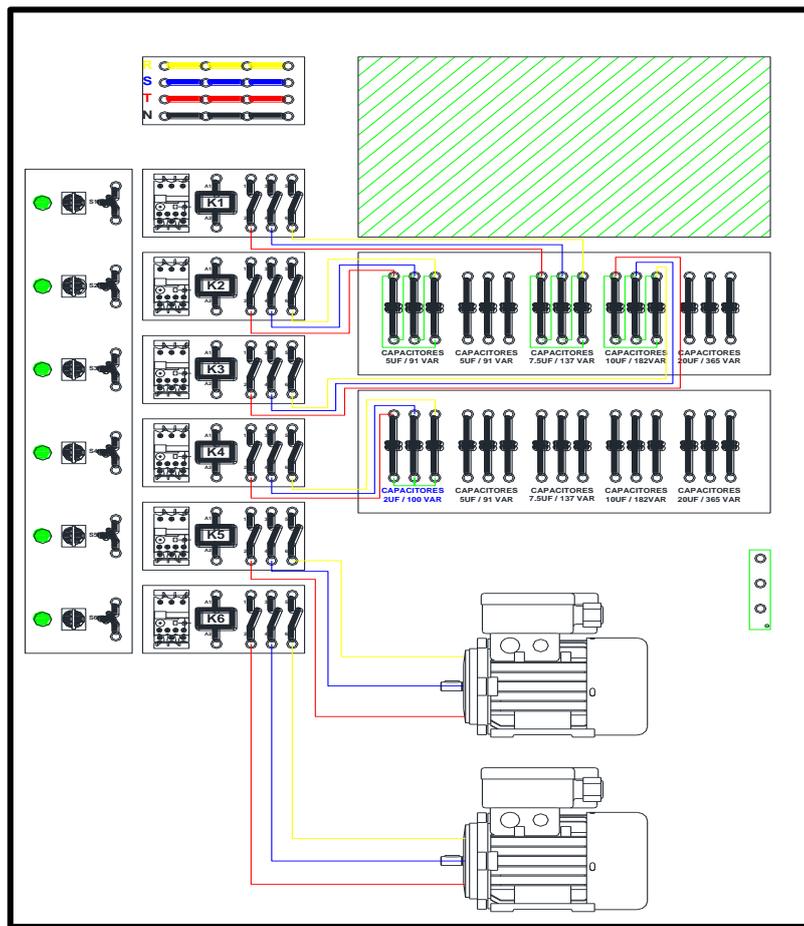


FIGURA 111. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRÁCTICA 3 PARTE 2.

5.3.7. Resultados

TABLA 8. VALORES LEIDOS DE LA PRACTICA 3.

											
VALORES LEIDOS											
ITEM	TENSIONES [V]			INTENSIDADES [A]			POTENCIA	POTENCIA	POTENCIA	FACTOR DE	FRECUENCIA
	Vrs	Vst	Vtr	I1	I2	I3	ACTIVA [W]	REACTIVA [VAR]	APARENTE [VA]	POTENCIA	[HZ]
Motor 1											
Banco1											
Banco2											
Motor 2											
Banco3											
Banco4											
M1+B1+B2											
M2+B3+B4											
Sist. Total											

FORMULAS:

$$P = V * I * \cos \Phi \quad \Phi = \cos^{-1} F_p \quad \cos \Phi = P/S \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$kVAR = kW [\tan (\cos^{-1} fp_0) - \tan (\cos^{-1} fp_1)] \quad S = V * I \quad P = S \cos \Phi \quad Q = V * I * \sin \Phi$$

TABLA 9. VALORES CALCULADOS DE LA PRACTICA 3.

						
VALORES CALCULADOS						
ITEM	POTENCIA ACTIVA [W]	POTENCIA REACTIVA [VAR]	POTENCIA APARENTE [VA]	FACTOR DE POTENCIA	ANGULO	POTENCIA PARA CORREGUIR EL FP [VAR]
Motor 1						
Banco1						
Banco2						
Motor 2						
Banco3						
Banco4						
M1+B1+B2						
M2+B3+B4						
Sist. Total						

FORMULAS:

$$kVAR = kW [\tan (\text{Cos}^{-1} fp_0) - \tan (\text{Cos}^{-1} fp_1)] \quad \Phi = \text{Cos}^{-1} Fp \quad S = \sqrt{P^2+Q^2} \quad Q = V * I * \text{Sen } \Phi$$

$$P = V * I * \text{Cos } \Phi \quad \text{Cos } \Phi = P/S \quad S = V * I \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad P = S \text{ Cos } \Phi$$

CONCLUSIONES

Se demostró de manera práctica que los pasos del banco de capacitores pueden conectarse en estrella o delta según se requiera, en conexión delta aportan más potencia que en estrella por lo que se podría combinar los dos tipos de conexiones para llegar a una potencia más fina. Además se observó que los datos leídos en el HMI son cercanos a los calculados teóricamente.

Se observó que los bancos de capacitores instalados en el módulo de pruebas, no son condensadores ideales, es decir, tiene componente activa y reactiva, por lo que hubo inconvenientes en un principio al ignorar este concepto, dado que la potencia activa varía en función del resto de cargas conectadas a la red.

Se demostró con las prácticas la funcionalidad del módulo, realizando la corrección del factor de potencia tanto de manera manual como automática mediante el PLC S7 – 1200.

Se observó que las fases con que se alimenta el módulo de práctica están desbalanceadas, esto nos indica que el sistema en el que trabajamos no es ideal y al tomar los datos el analizar de redes, en este caso el SENTRON PAC 4200 trabaja con el promedio de las fases que mide, éstas al estar desbalanceadas presentan ángulos distintos entre los fasores de voltaje y corriente, por lo tanto los factores de potencia por fase no son iguales. Se puede verificar que el resultado obtenido no es igual a los cálculos teóricos.

RECOMENDACIONES

Se debe de tener en consideración el balanceo de las cargas en las líneas donde se vaya a realizar las pruebas para así asegurarnos de no tener un problema en la compensación reactiva.

Se recomienda realizar la mayor cantidad de combinaciones posibles de bancos de capacitores, ya sea en serie paralelo, conexiones estrella, delta para obtener bancos con potencias menores y poder obtener diferentes maneras de realizar la corrección del FP.

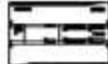
Se recomienda, antes de empezar la práctica, realizar los cálculos de manera manual para mejor comprensión del tema.

Para realizar pruebas de corrección de factor de potencia se recomienda buscar una fuente de alimentación externa a la red pública, dado a que las pruebas realizadas en esta investigación, se pudo constatar que la red es más inestable en horario nocturno debido a que la mayoría de las cargas instaladas en la Universidad entra en operación después de las 6:00pm.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

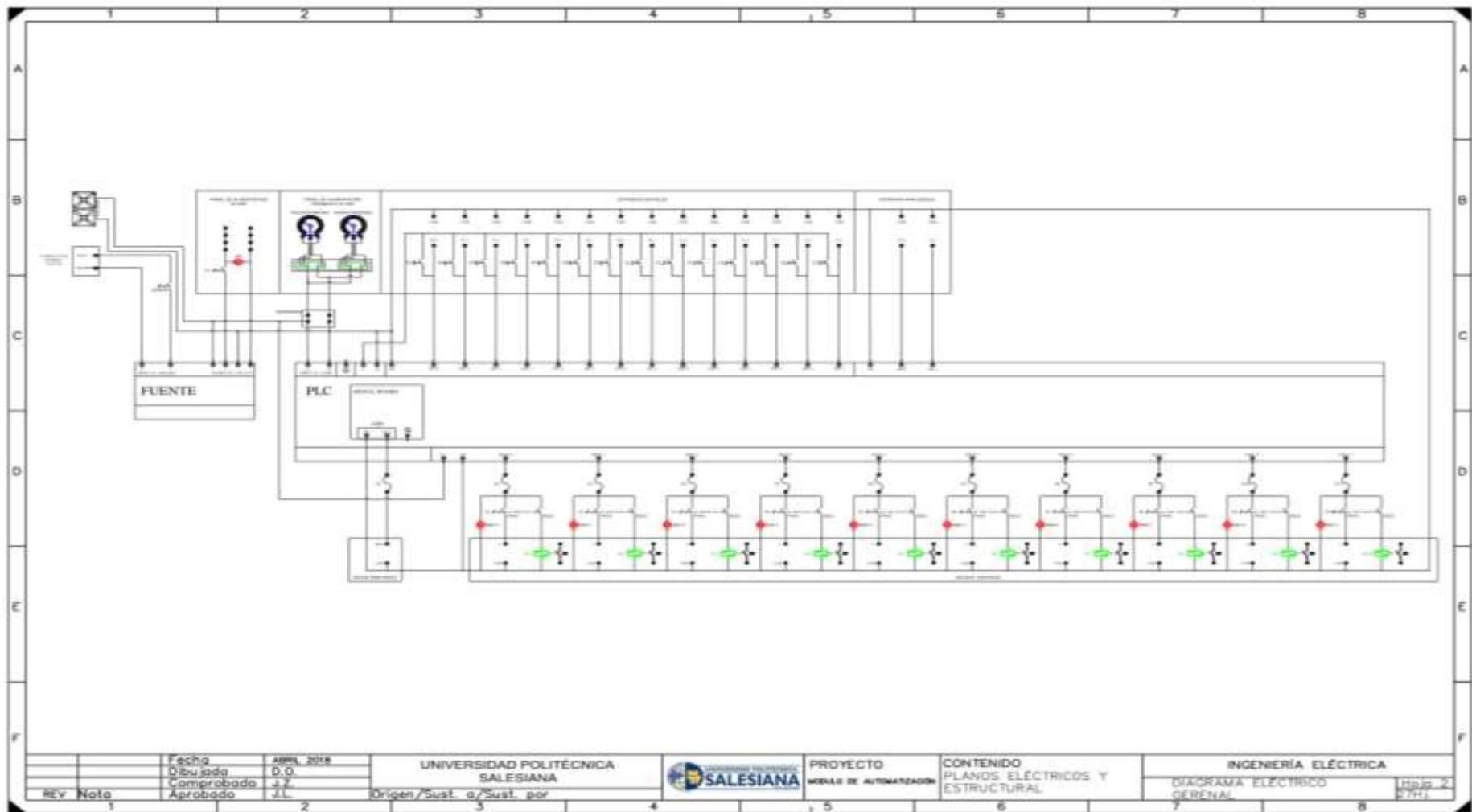
- [1] M. E. Cortés, C. Miriam, and I. León, “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARMEN Colección Material Didáctico 10 Generalidades sobre Metodología de la Investigación.”
- [2] P. Fernández and P. Díaz, “Investigación: Investigación cuantitativa y cualitativa Investigación cuantitativa y cualitativa.”
- [3] S. J. Chapman, *Máquinas eléctricas*. McGraw-Hill, 2012.
- [4] M. A. Renzetti, “¿QUE ES EL FACTOR DE POTENCIA? ¿EN QUE AFECTA? ¿COMO SE CORRIGE? ¿COMO SE CALCULA? ¿Qué es el Factor de Potencia? (Parte I),” 2008.
- [5] ARCONEL, “RESOLUCION No. ARCONEL-005/18,” pp. 1–40, 2018.
- [6] G. Noboa, B. Presidente, C. De, and L. Republica, “Página 1 de 17.”
- [7] ABB, “Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas,” vol. 1, pp. 1–58, 2017.
- [8] ENRIQUE GOMEZ MORALES, “COMPENSACION DE POTENCIA REACTIVA,” vol. 1, pp. 1–94, 2009.
- [9] R. L. Boylestad, *www.FreeLibros.org*, 12th ed. México: PEARSON, 2011.
- [10] “Autodesk | Software de diseño 3D, ingeniería y entretenimiento.” [Online]. Available: <https://latinoamerica.autodesk.com/>. [Accessed: 23-Mar-2018].
- [11] SIEMENS, “SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU COMPACTA, DC/DC/DC, E/S,” *Copyr. Siemens AG*, vol. 1, pp. 1–8, 2015.
- [12] SIEMENS, “SIMATIC S7-1200, ANALOG OUTPUT SB 1232, 1 AO, +/- 10VDC,” *Copyr. Siemens AG*, vol. 1, pp. 1–3, 2015.
- [13] GRUPO QWIFM, “POWER SUPPLY IDR-60-24,” *IDR-60-24*. [Online]. Available: <http://en.qwifm.com/Products/45WSinglegroupairtype.html>. [Accessed: 13-Feb-2018].
- [14] CAMSCO, “CAMSCO,” vol. 1, no. 1, pp. 1–384, 2018.

ANEXOS

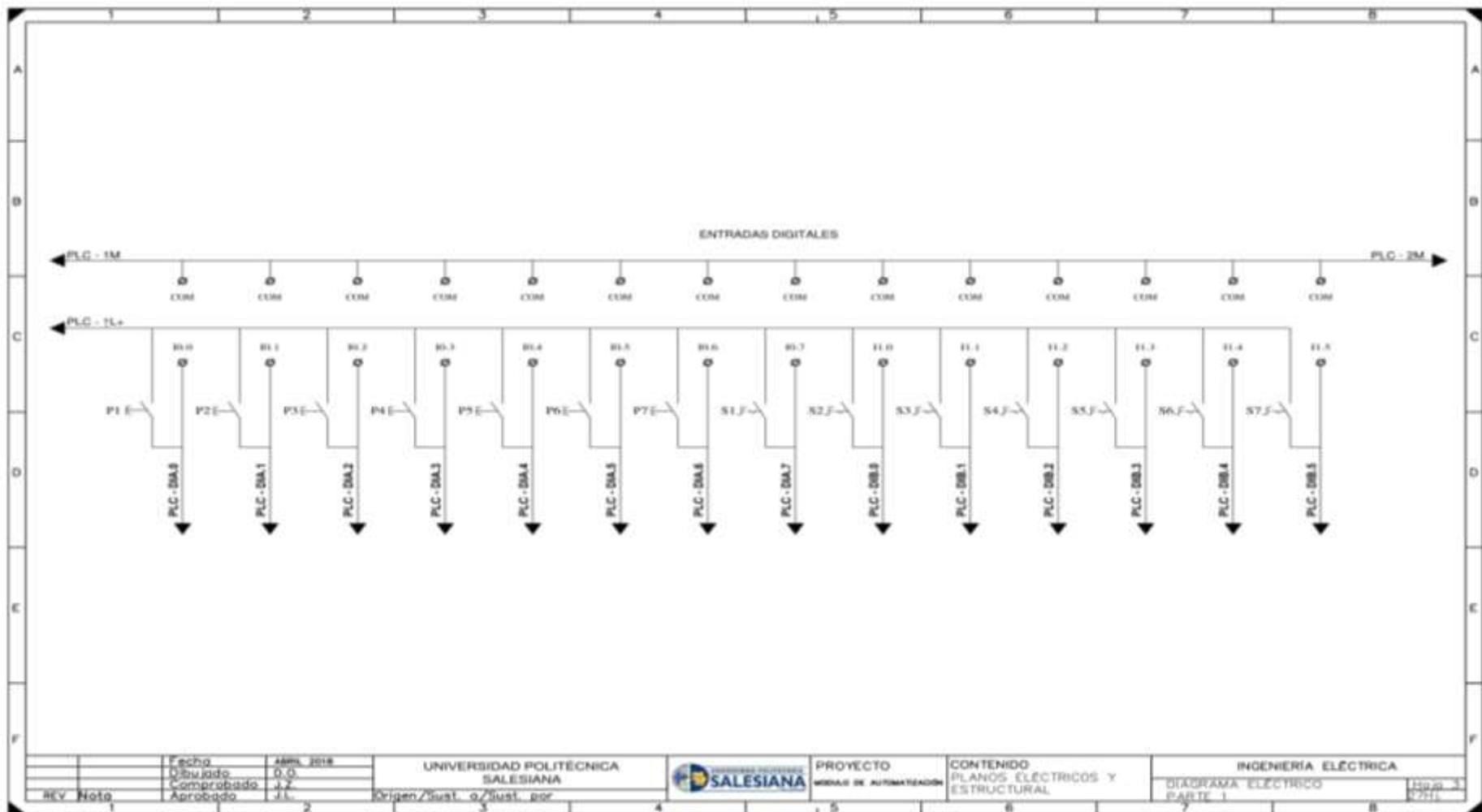
SIMBOLOGÍA PLANOS UNIFILARES		SIMBOLOGÍA PLANOS DE IMPLEMENTACIÓN	
	FUSIBLE		PLACA PORTA FUSIBLES
	SELECTOR		RELÉ Y BASE
	PULSADOR		PLC
	BORNERAS		FUENTE DE VOLTAJE
	LUZ PILOTO		BORNERA
	RELE		VOLTIMETRO
	POTENCIOMETRO		SELECTOR
	VENTILADOR		LUZ PILOTO
	TIERRA		BORNE HEMBRA

	Fecha	ABRIL 2016	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		PROYECTO	CONTENIDO	INGENIERÍA ELÉCTRICA
	Dibujado	D.O.			MODULO DE AUTOMATIZACIÓN	PLANOS ELÉCTRICOS Y ESTRUCTURAL	
	Comprobado	J.Z					
REV	Nota	Aprobado	J.L	Origen/Sust. o/Sust. por			Hoja 1 2/71

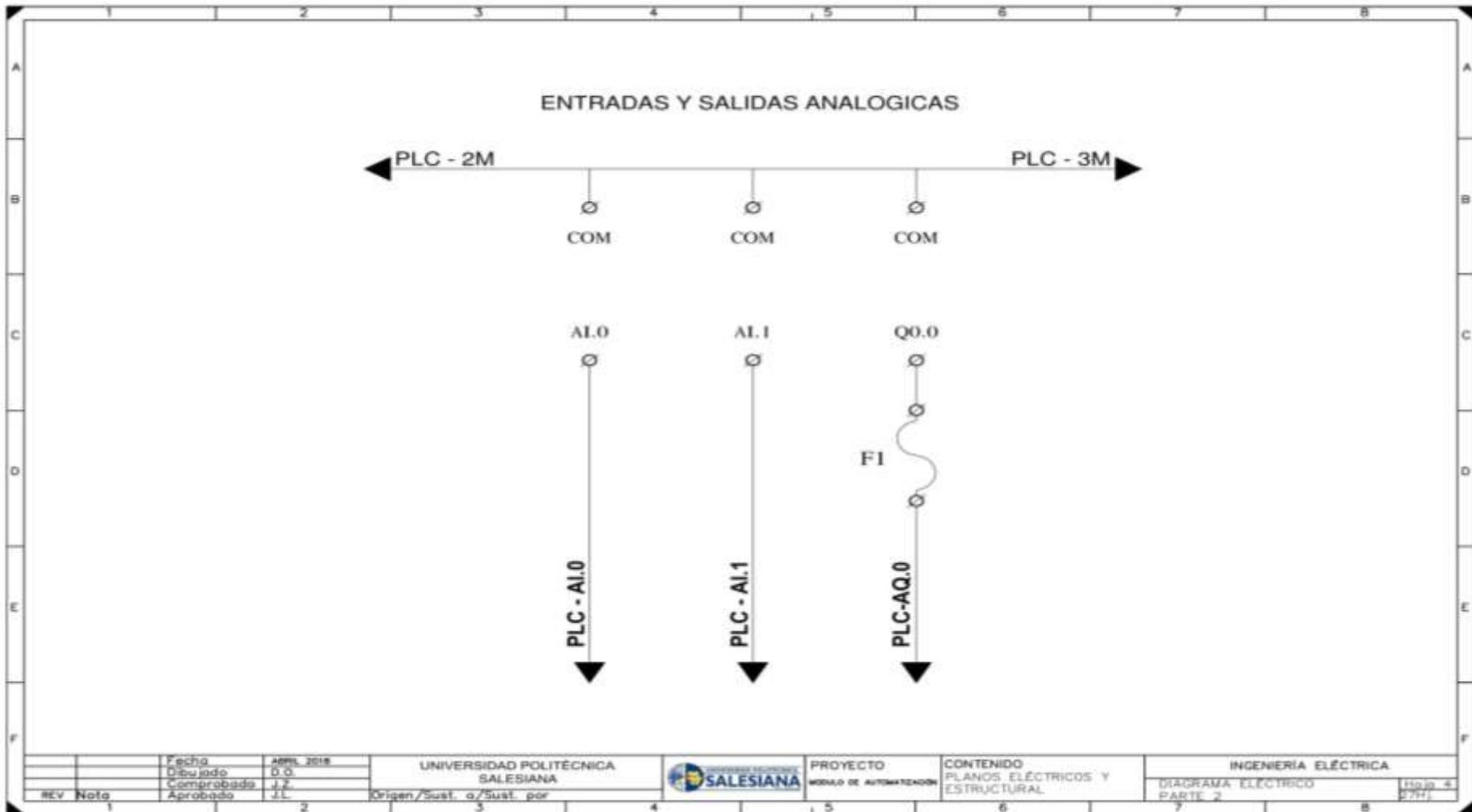
ANEXO 1. SIMBOLOGÍA.



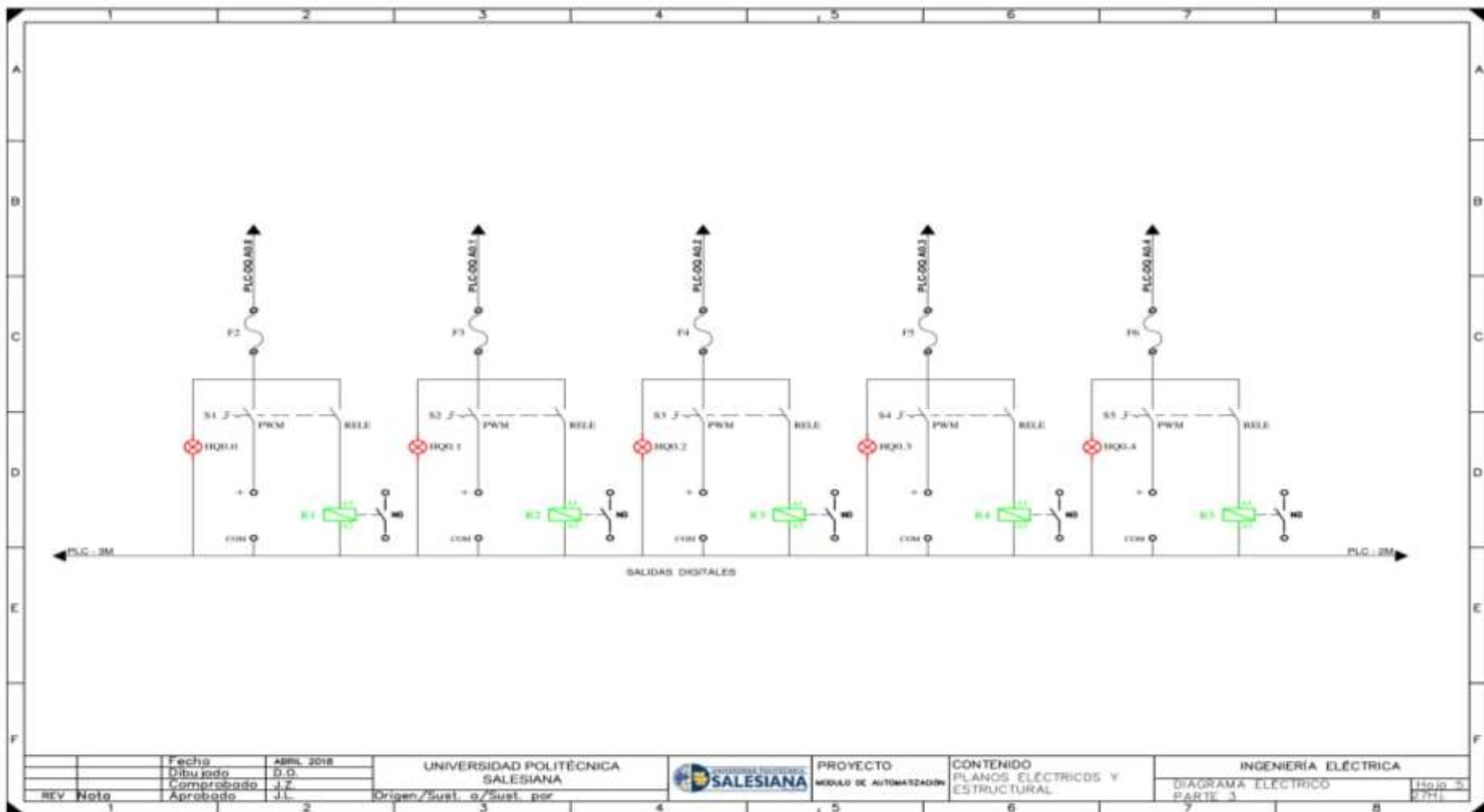
ANEXO 2. DIAGRAMA ELÉCTRICO COMPLETO.



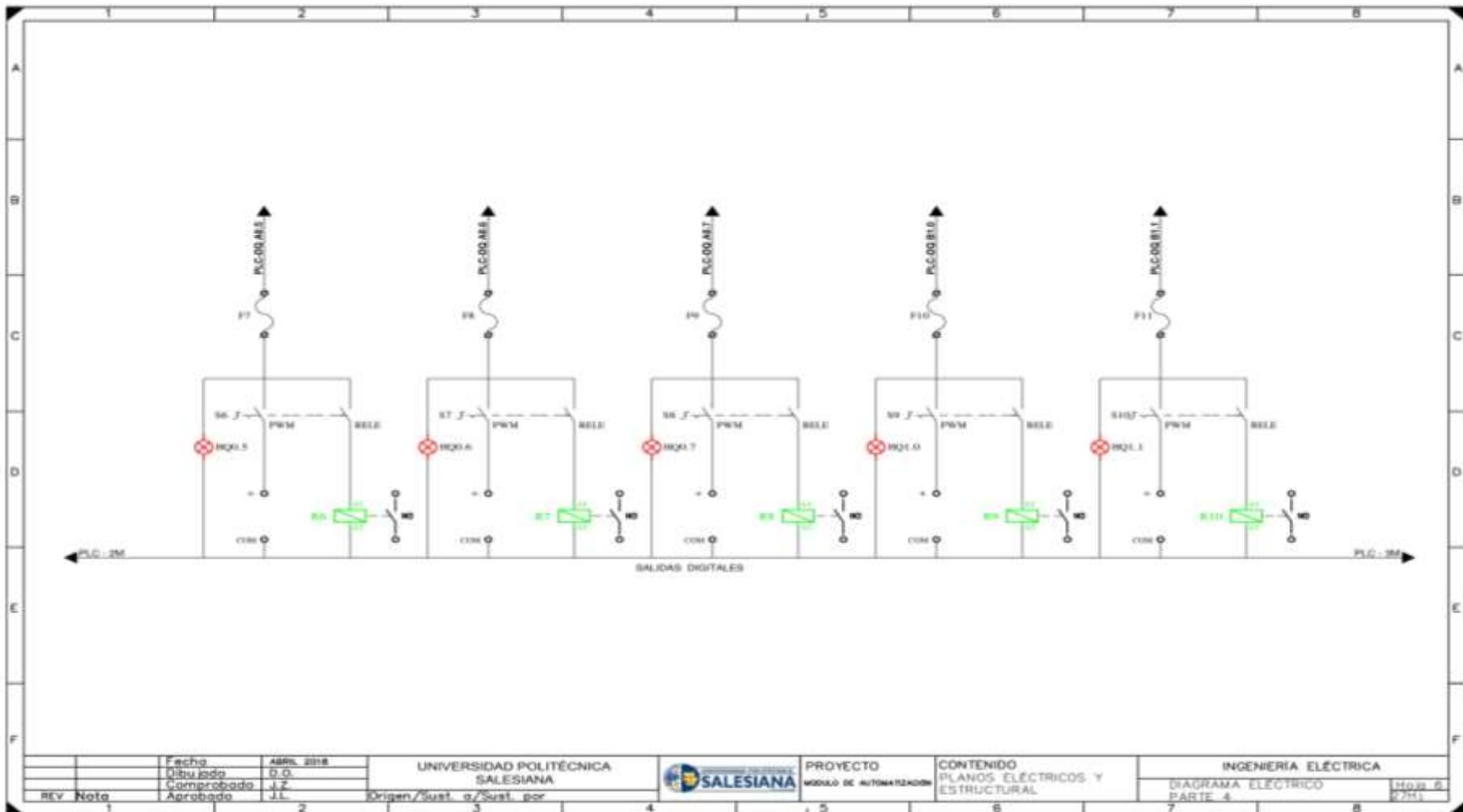
ANEXO 3. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 1.



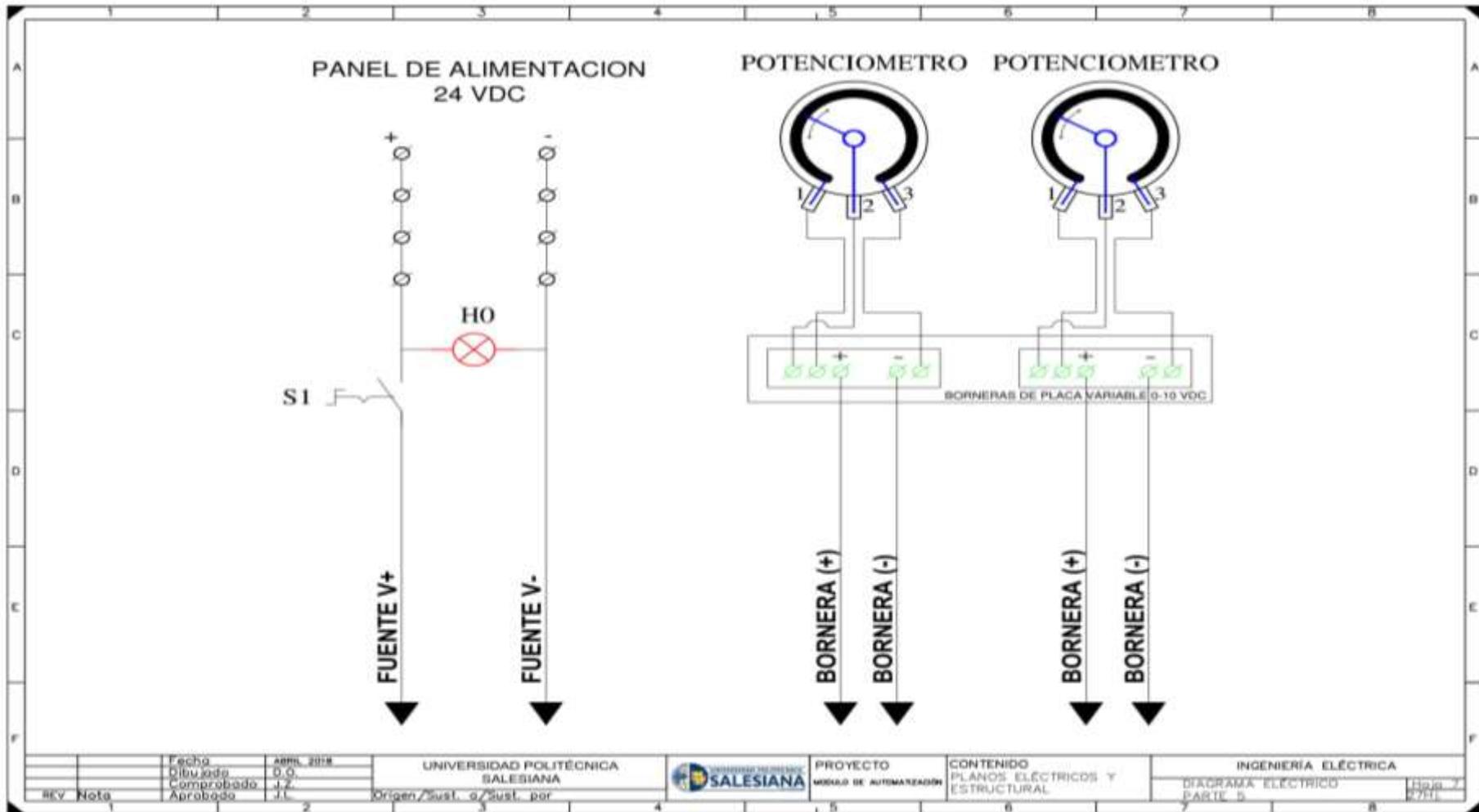
ANEXO 4. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 2.



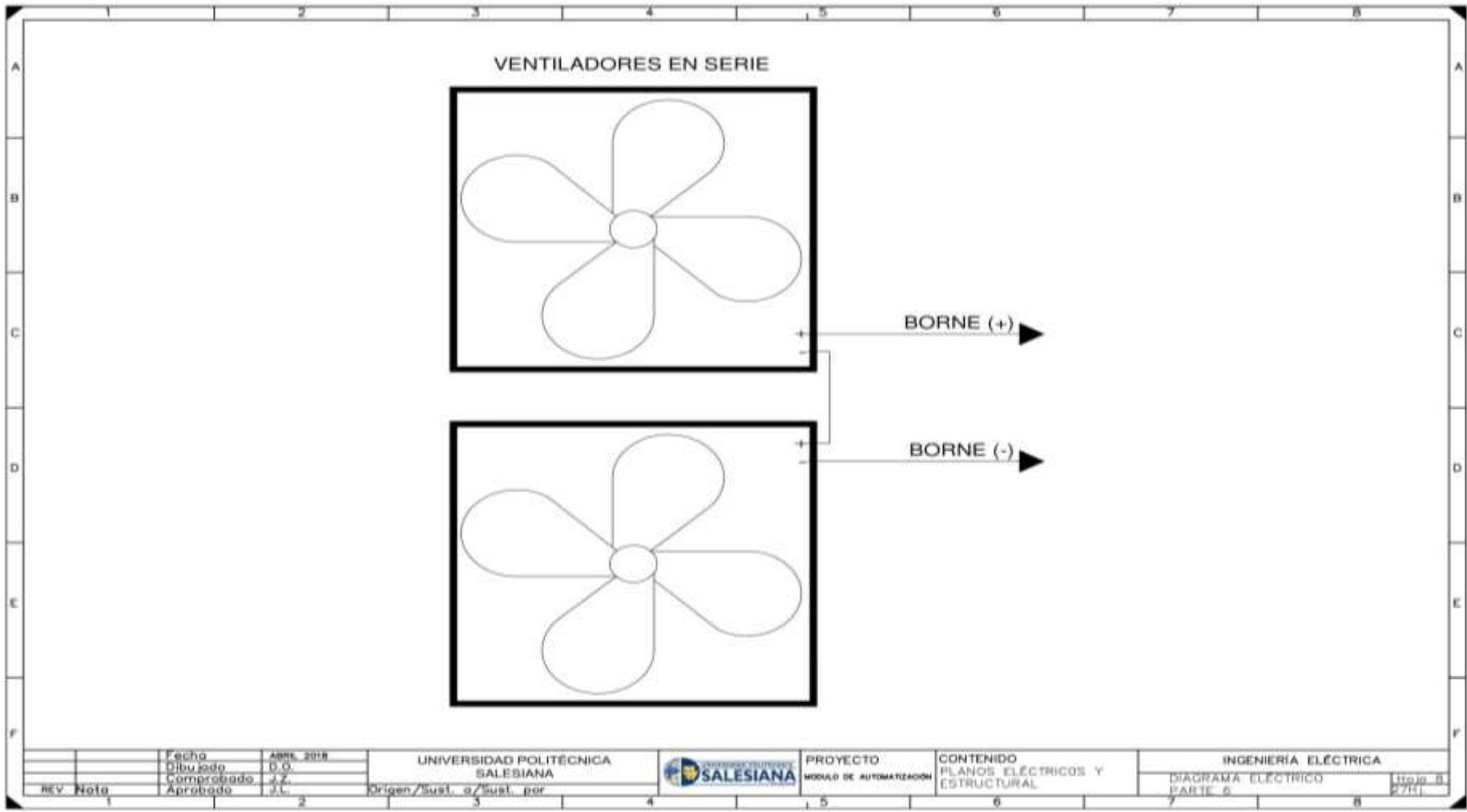
ANEXO 5. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 3.



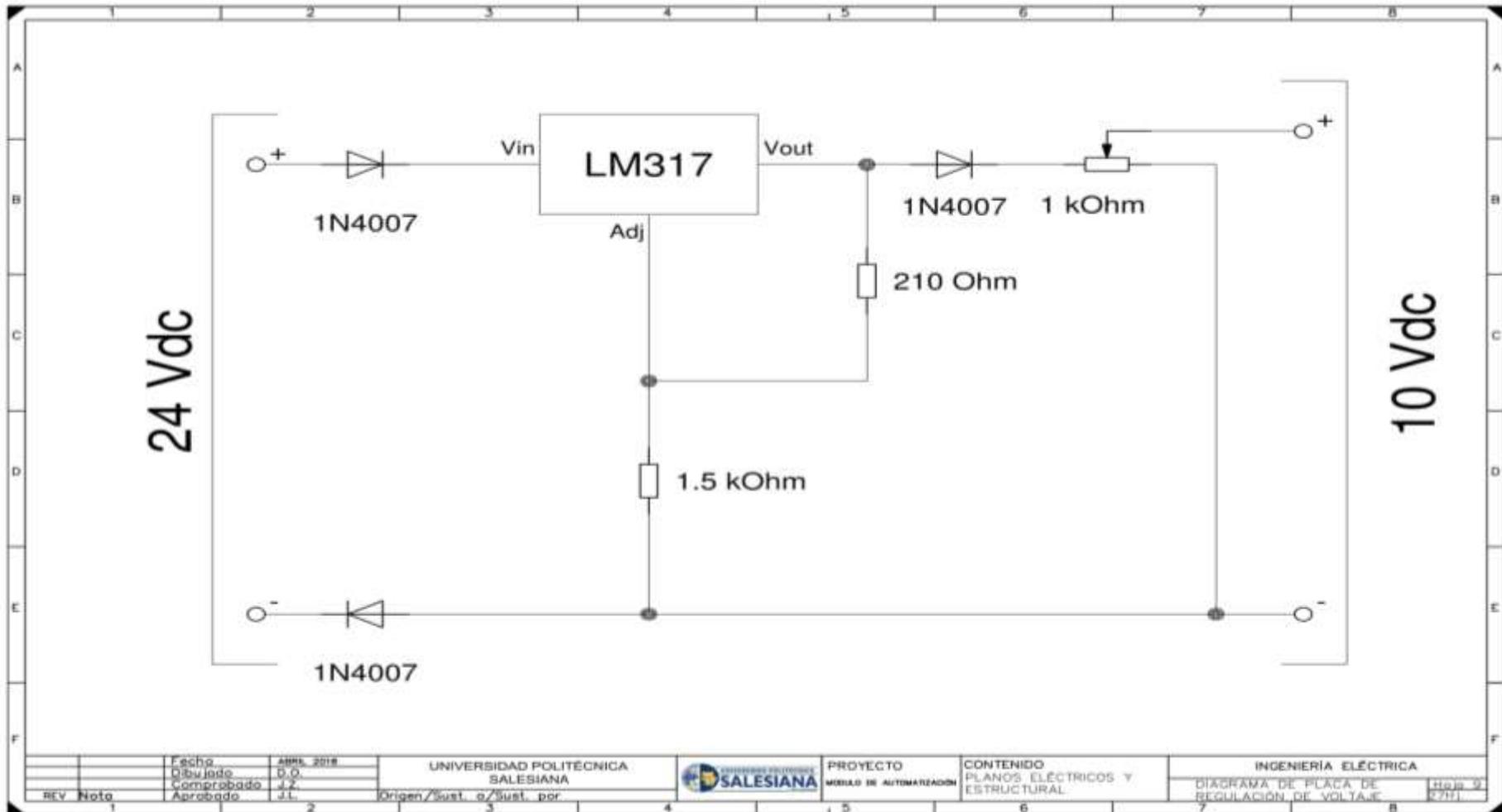
ANEXO 6. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 4.



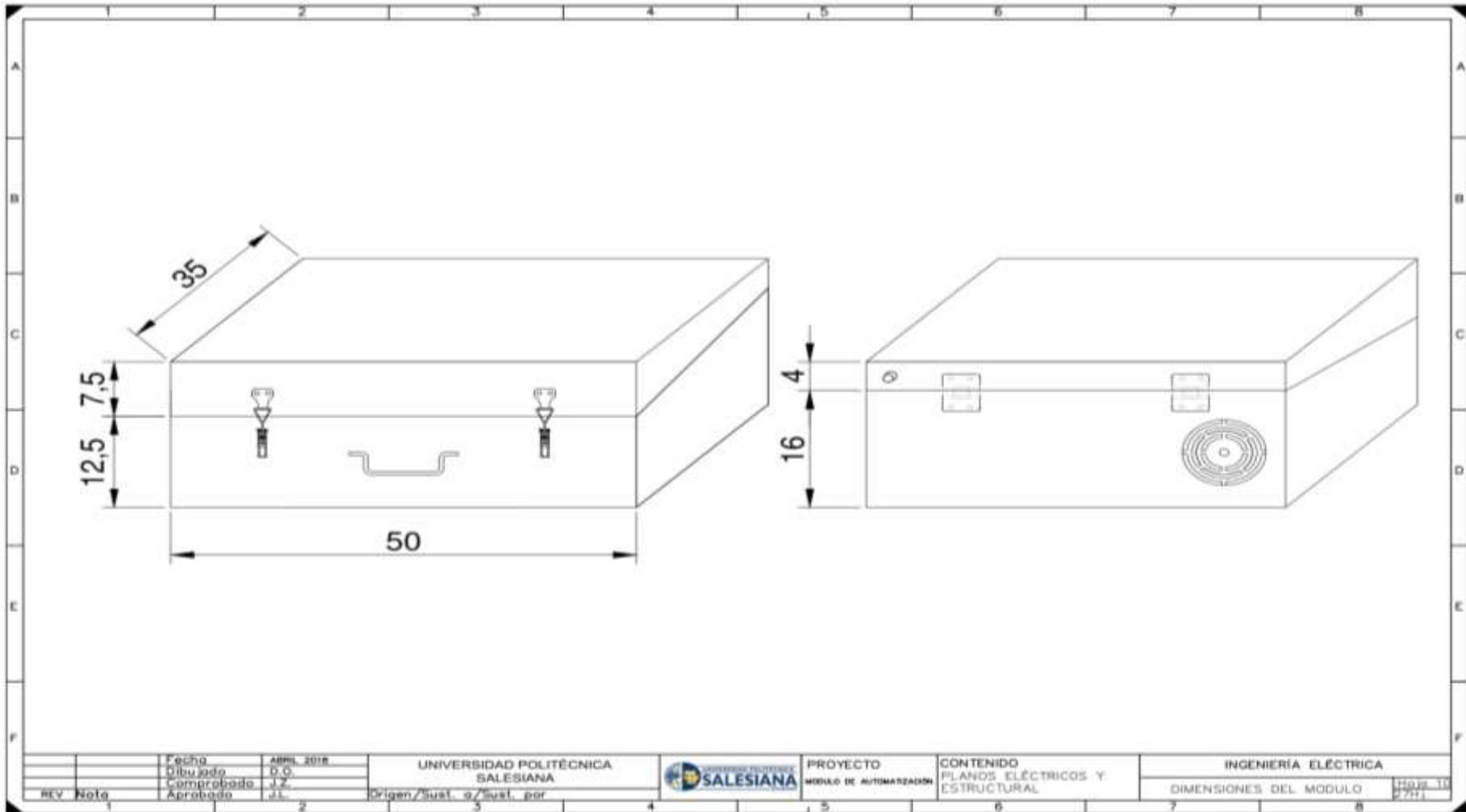
ANEXO 7. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 5.



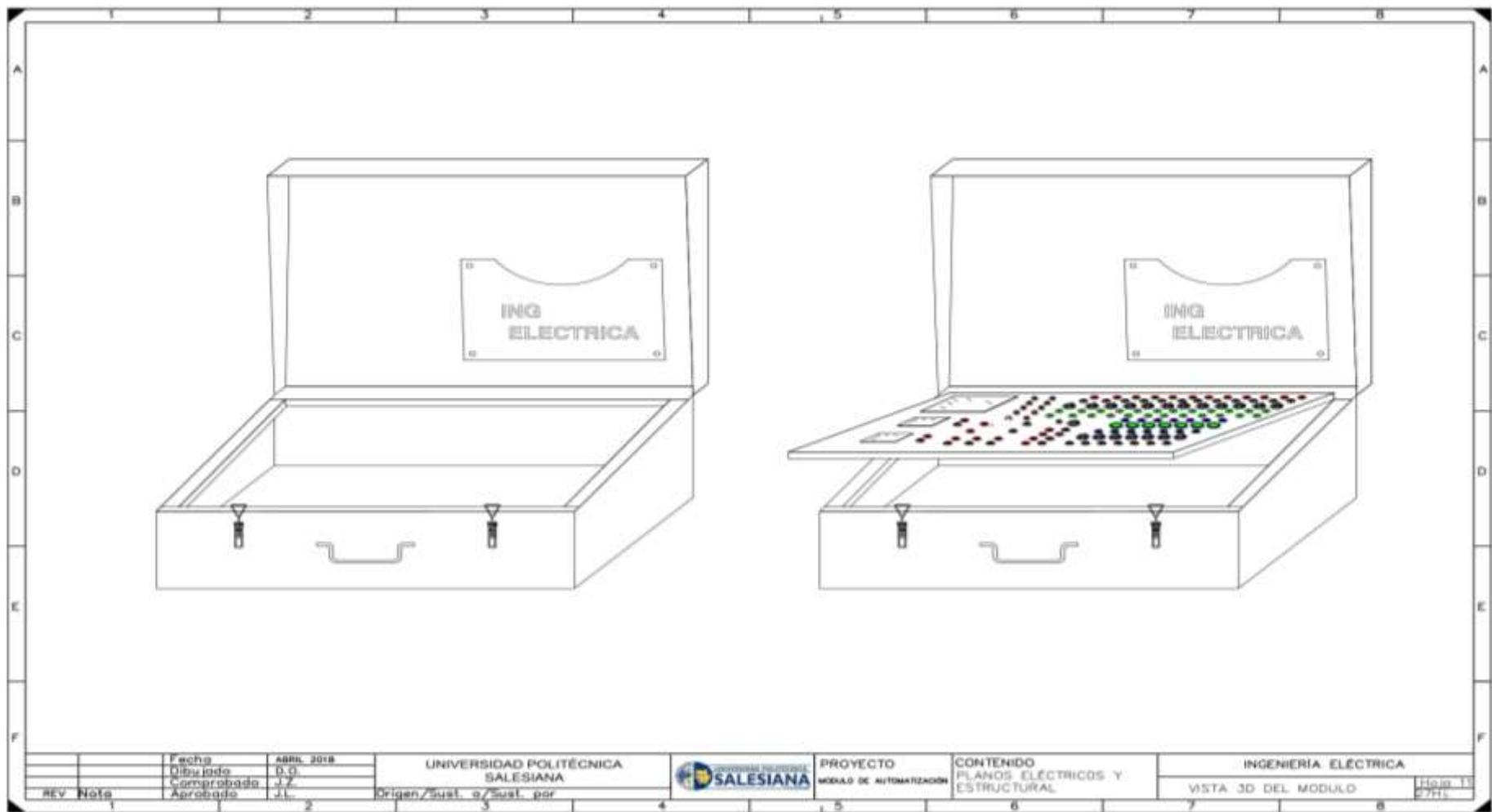
ANEXO 8. DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 6.



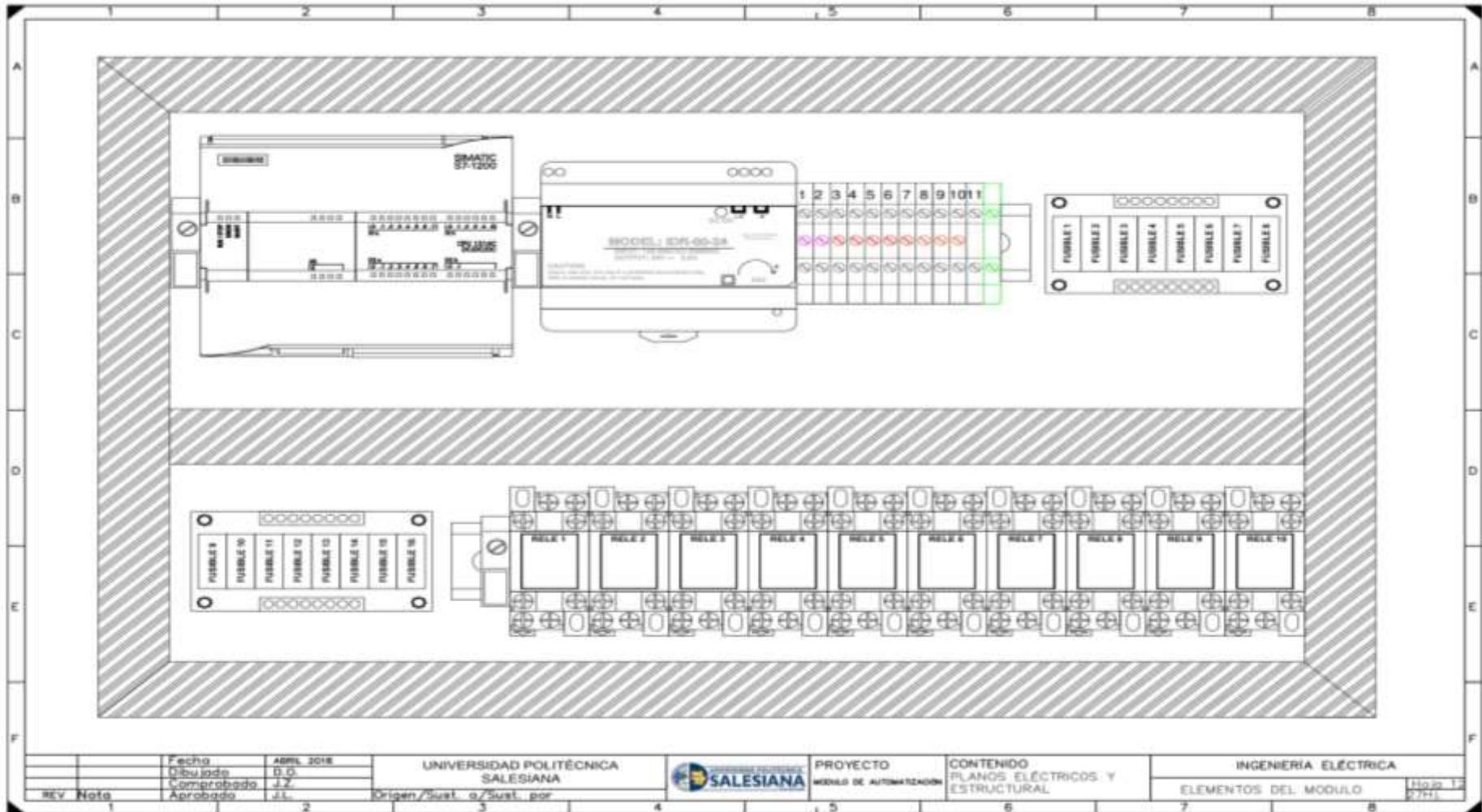
ANEXO 9. DIAGRAMA DE PLACA REDULADORA DE VOLTAJE.



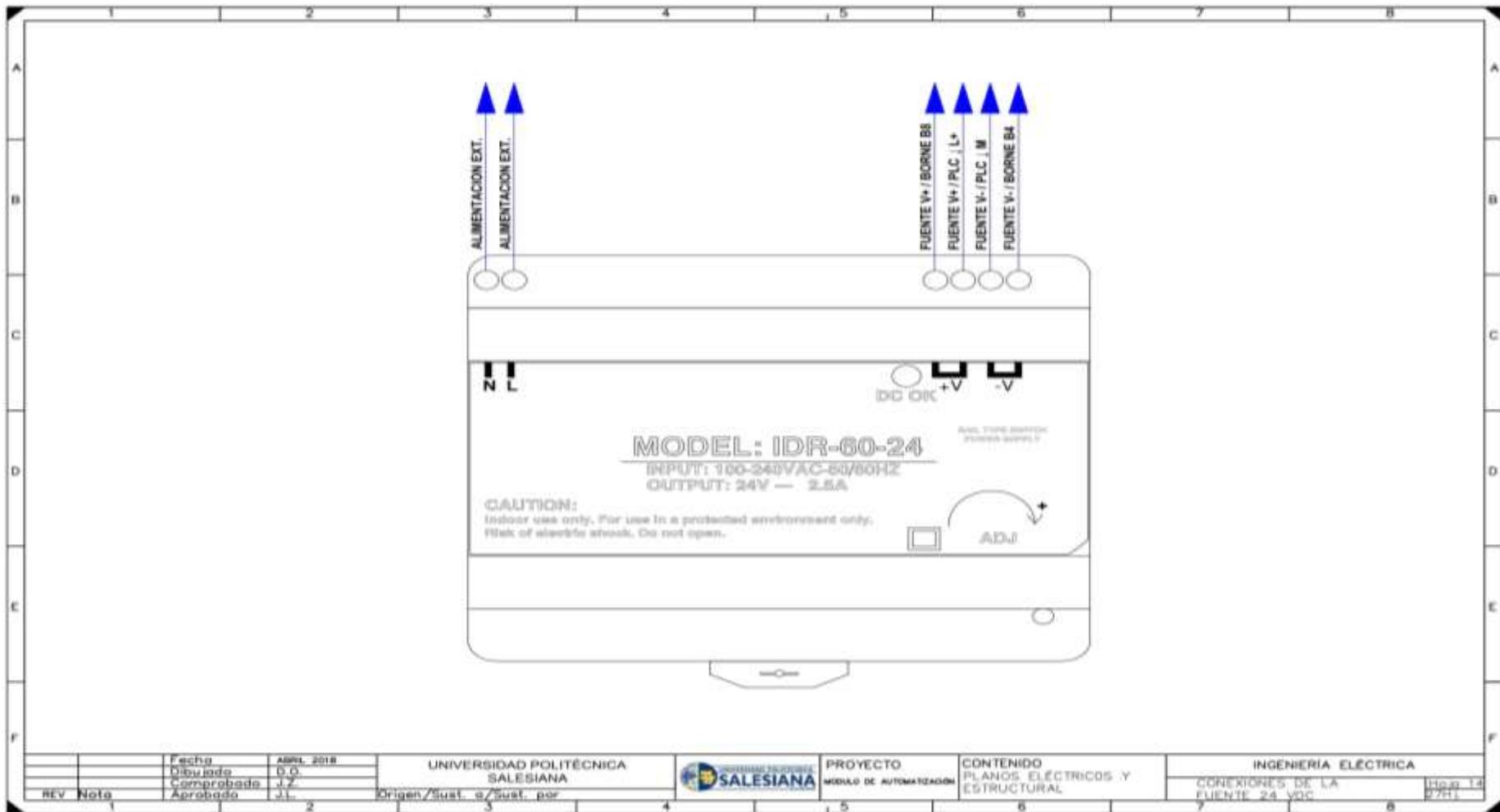
ANEXO 10. DIMENSIONES DEL MÓDULO DIDÁCTICO.



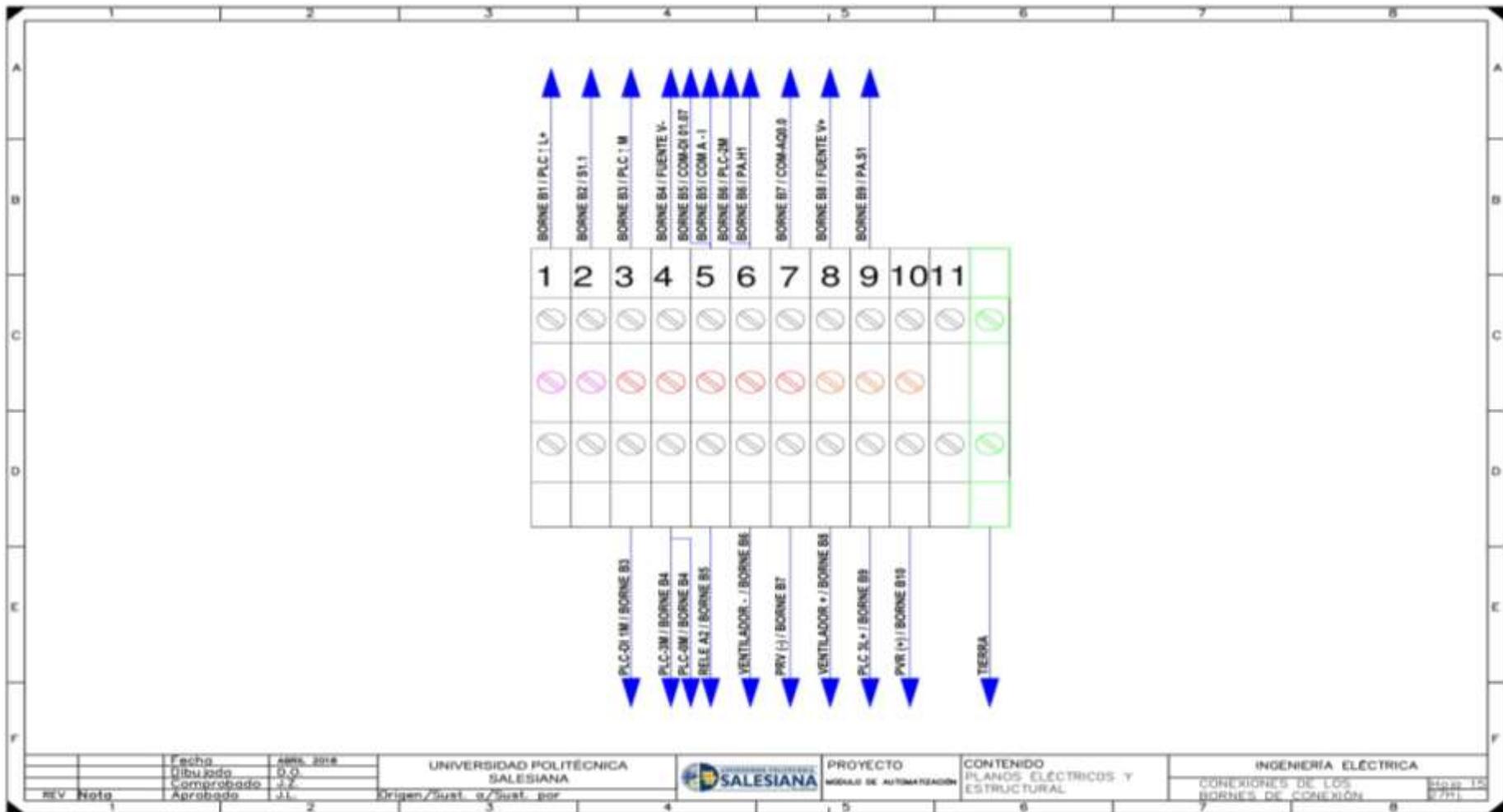
ANEXO 11. VISTA 3D DEL MÓDULO DIDÁCTICO.



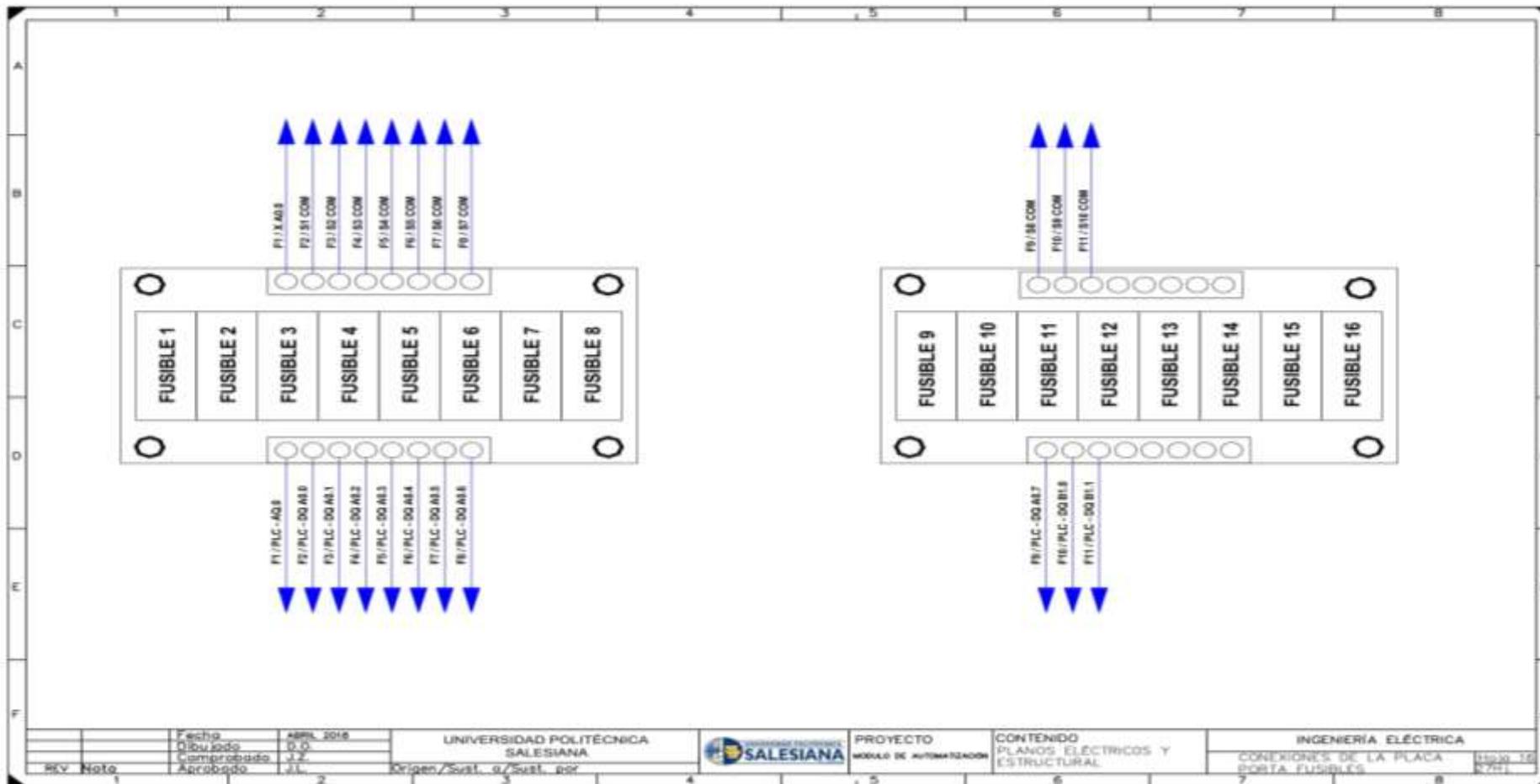
ANEXO 12. ELEMENTOS DEL MÓDULO DIDÁCTICO.



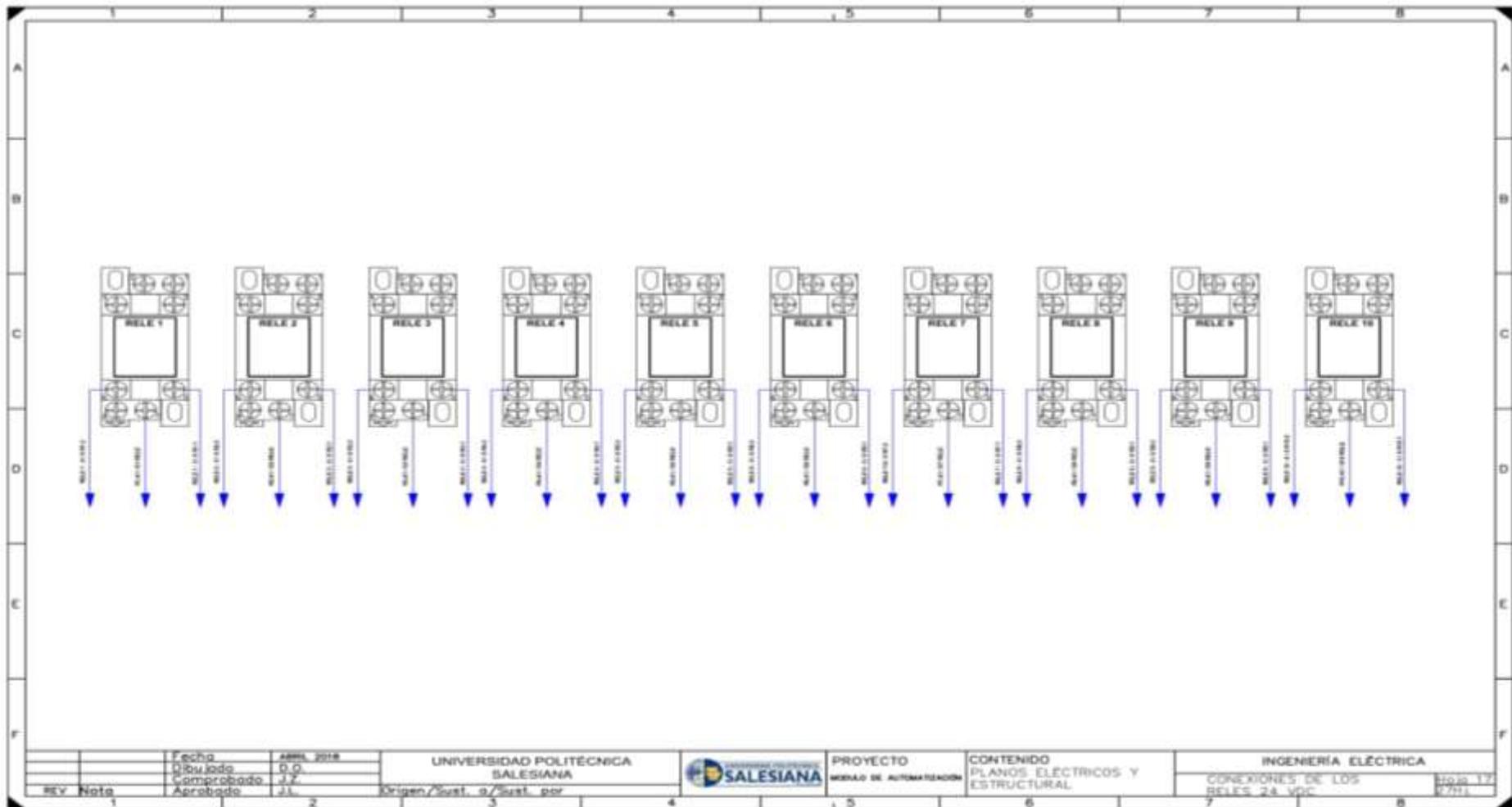
ANEXO 14. CONEXIONES DE LA FUENTE 24 VDC.



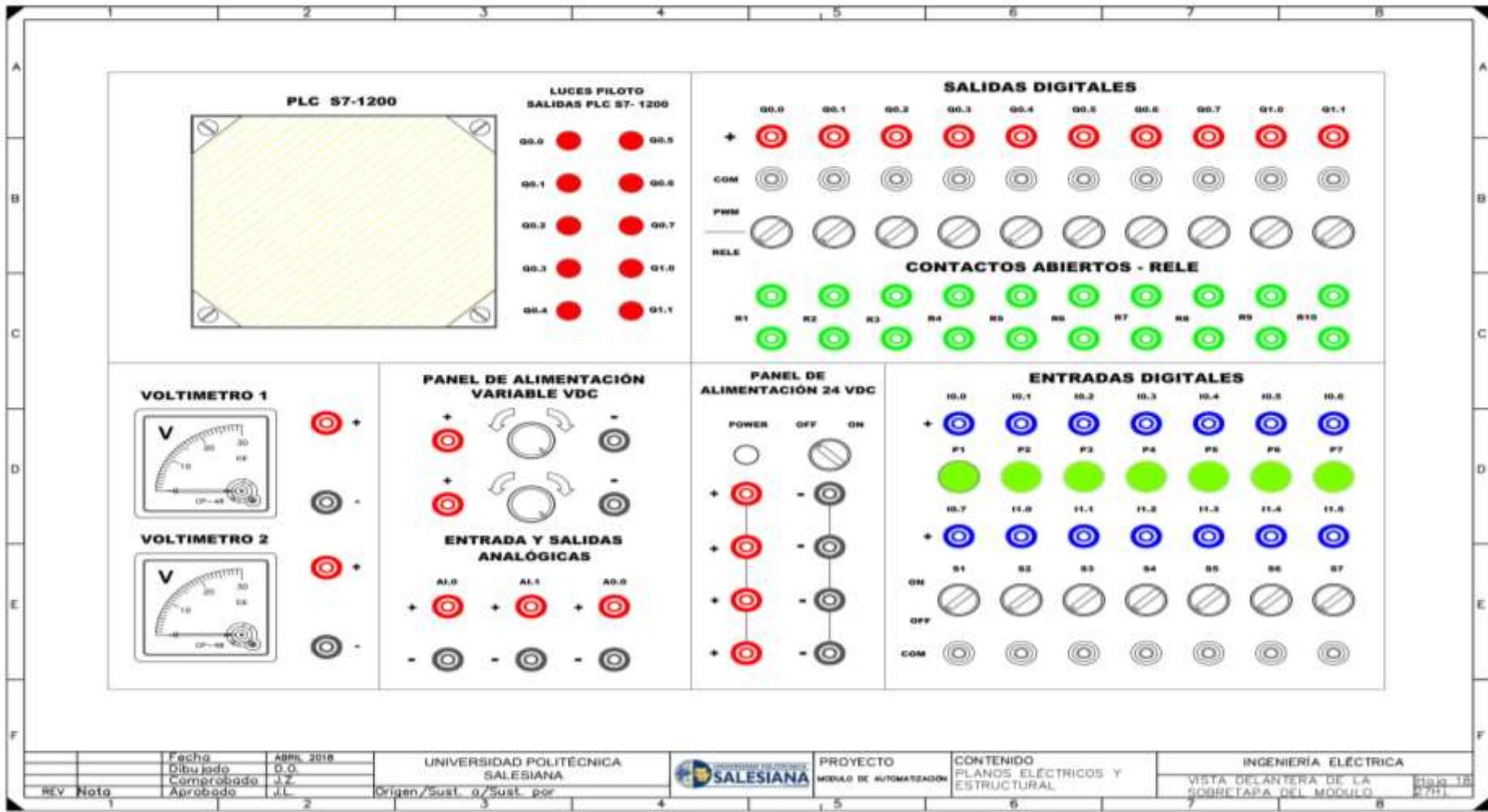
ANEXO 15. CONEXIONES DE LOS BORNES DE CONEXIÓN.



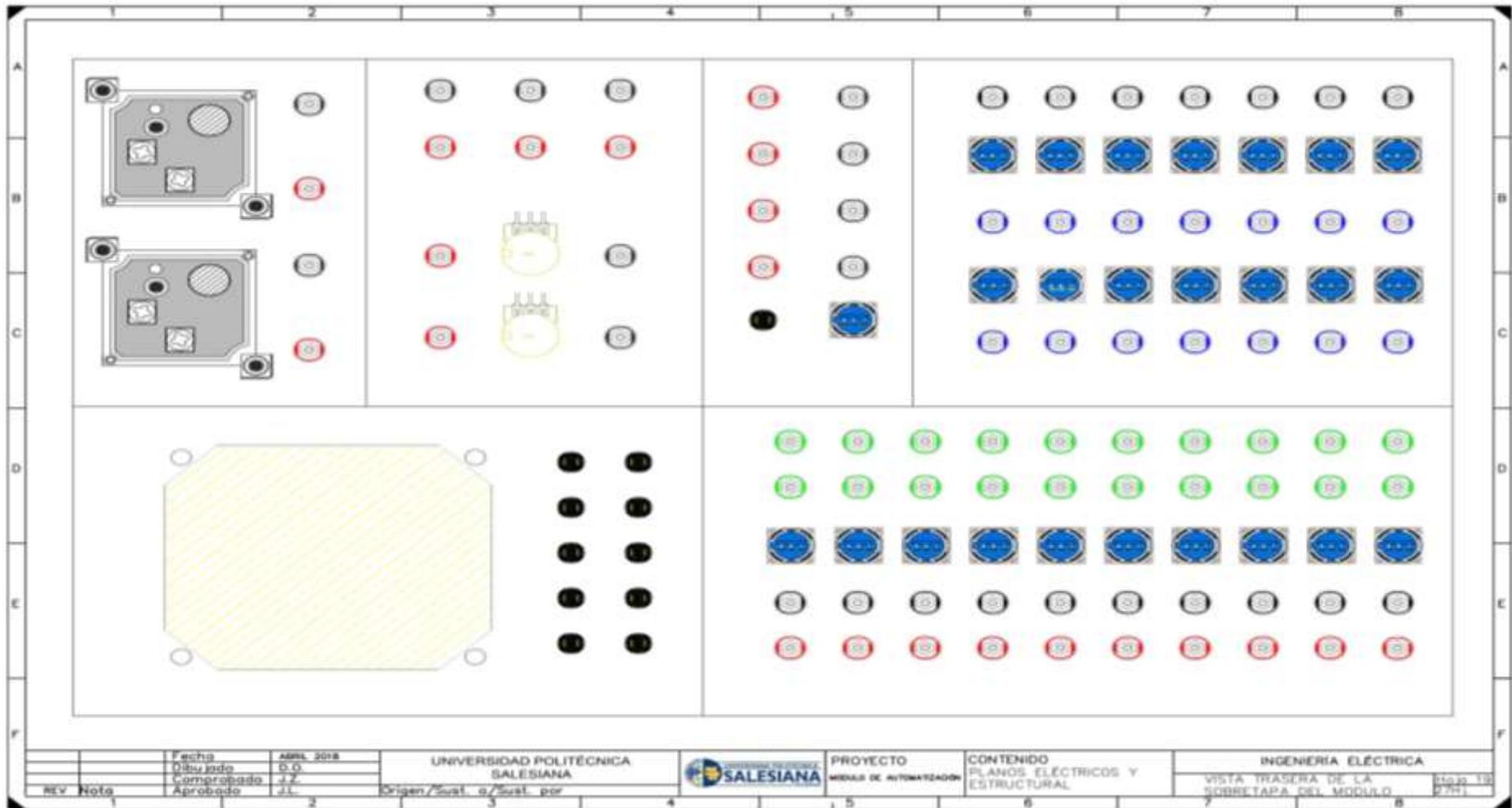
ANEXO 16. CONEXIONES DE LA PLACA PORTA FUSIBLE.



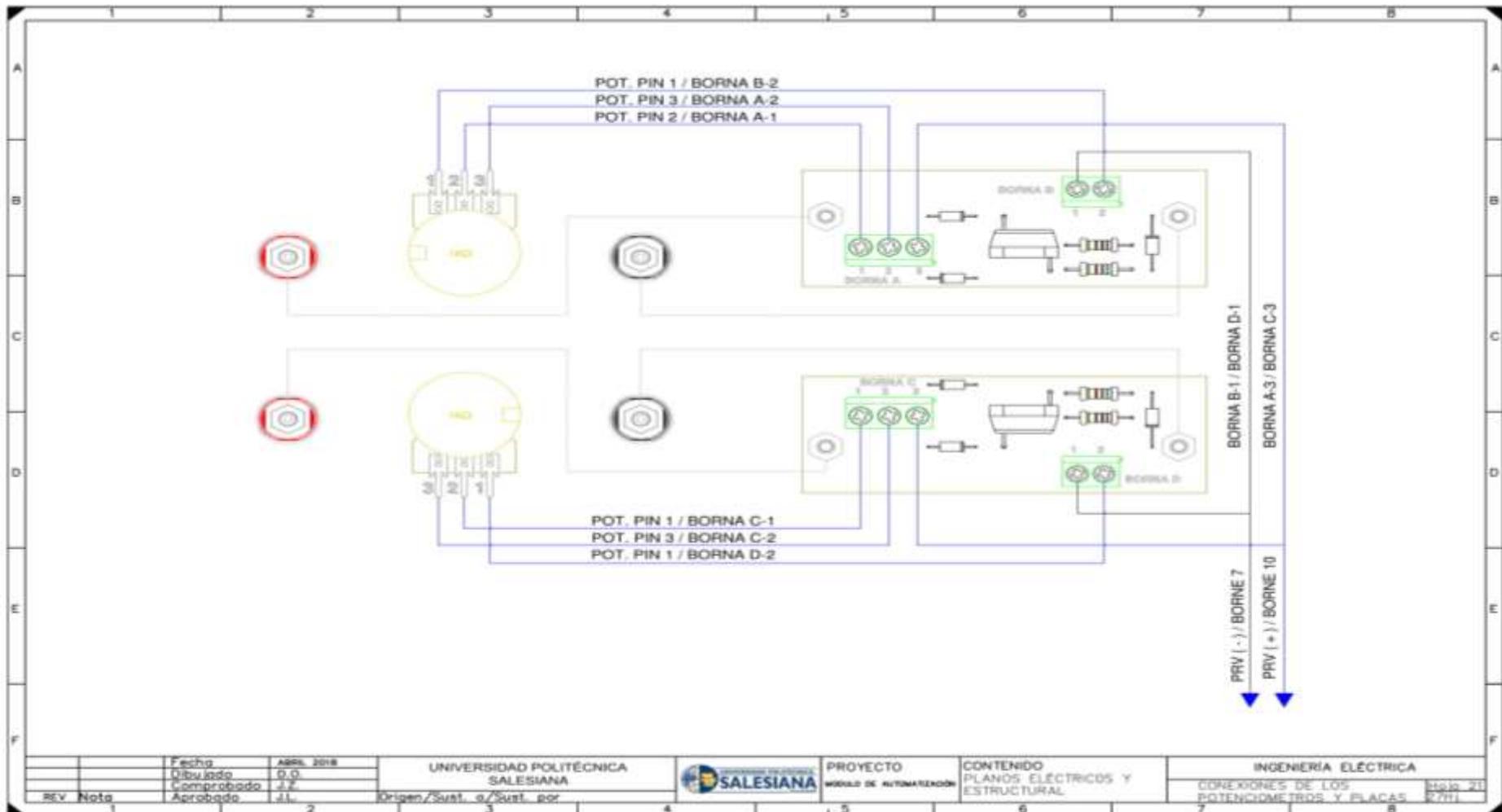
ANEXO 17. CONEXIONES DE LOS RELÉS 24 VDC.



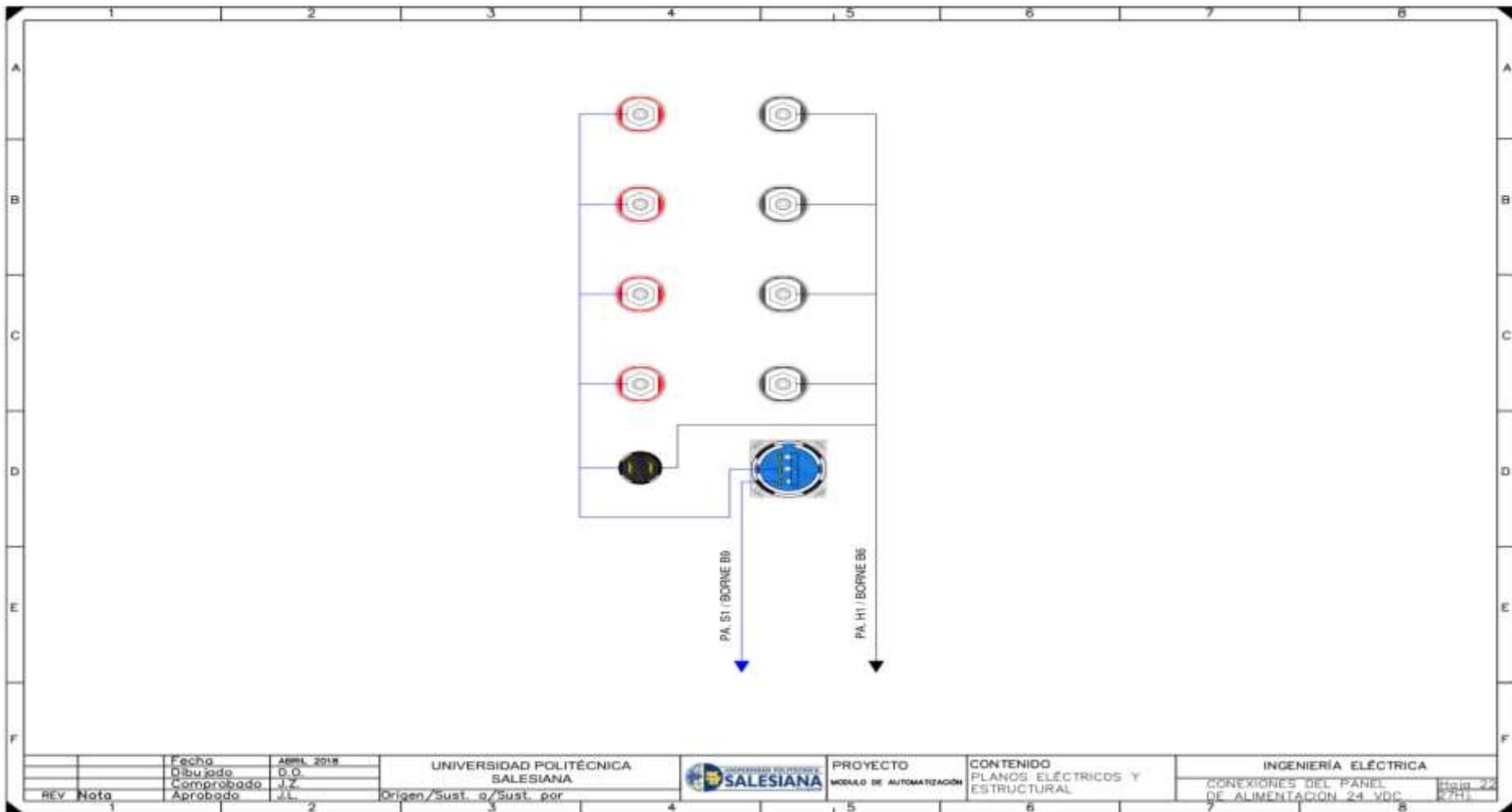
ANEXO 18. VISTA DELANTERA DE LA SOBRETAPA DEL MÓDULO DIDÁCTICO.



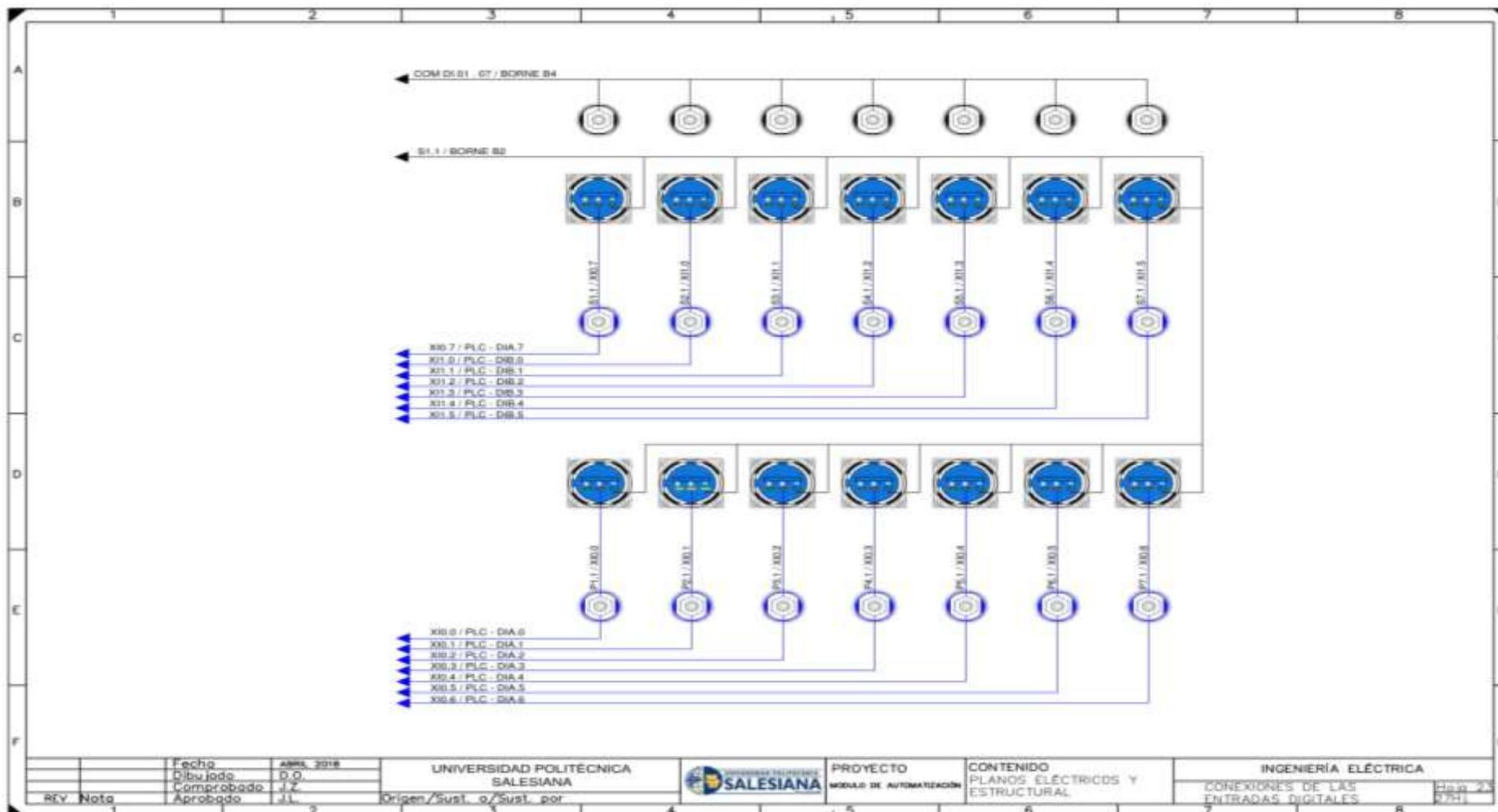
ANEXO 19. VISTA TRASERA DE LA SOBRETAPA DEL MÓDULO DIDÁCTICO.



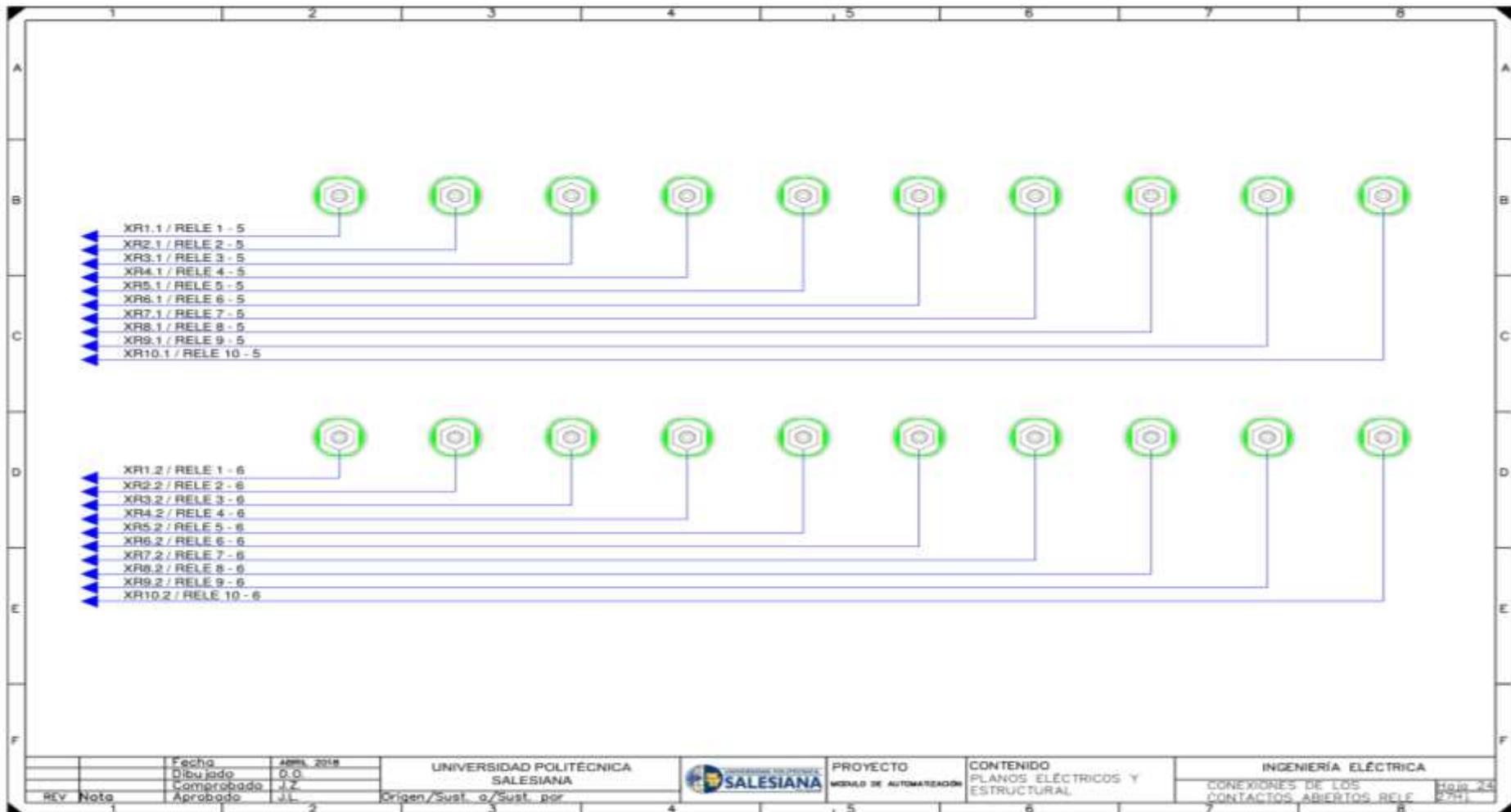
ANEXO 21. CONEXIONES DE LOS POTENCIOMETROS CON LA PLACA.



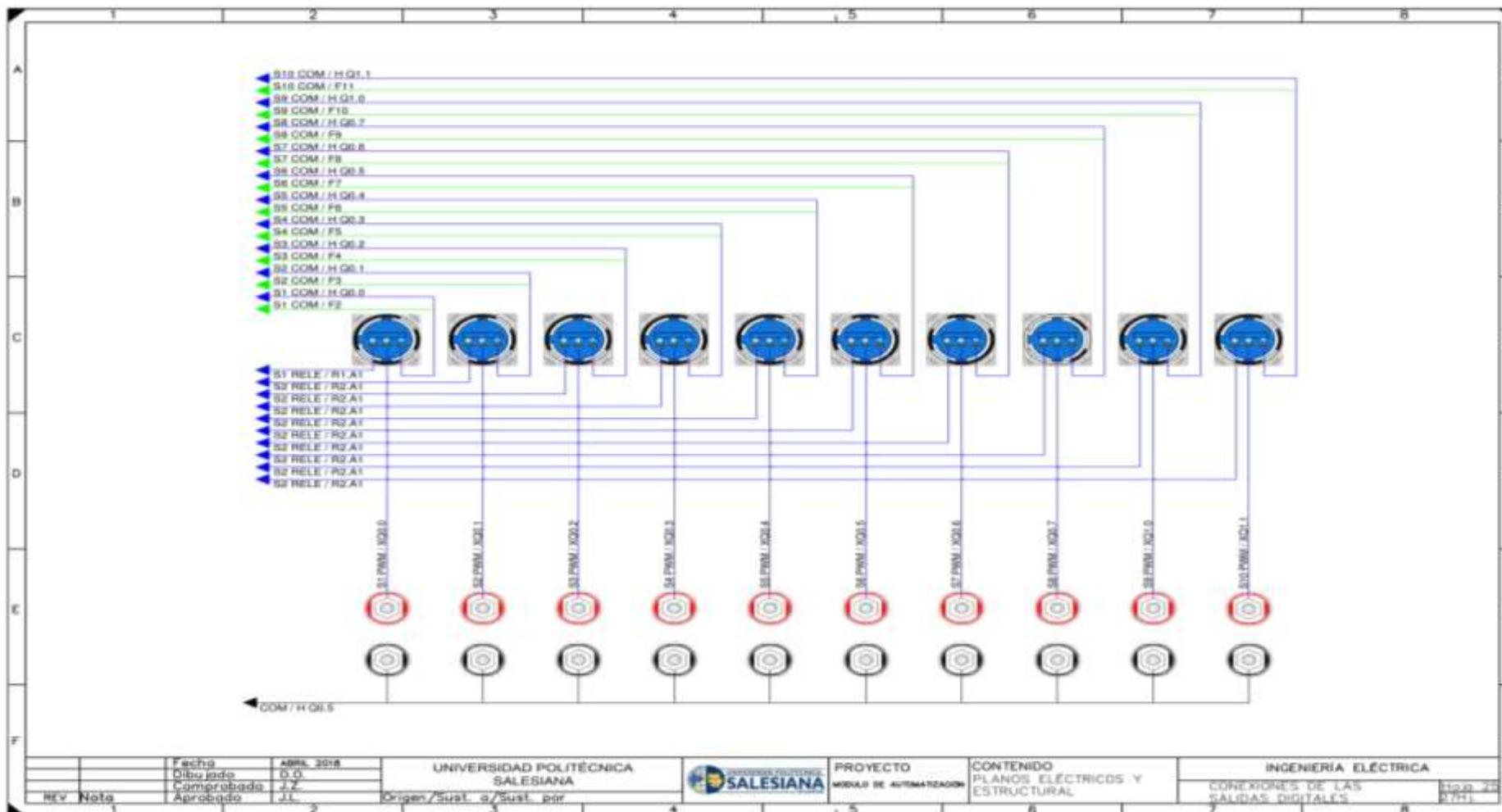
ANEXO 22. CONEXIONES DEL PANEL DE ALIMENTACIÓN 24 VDC.



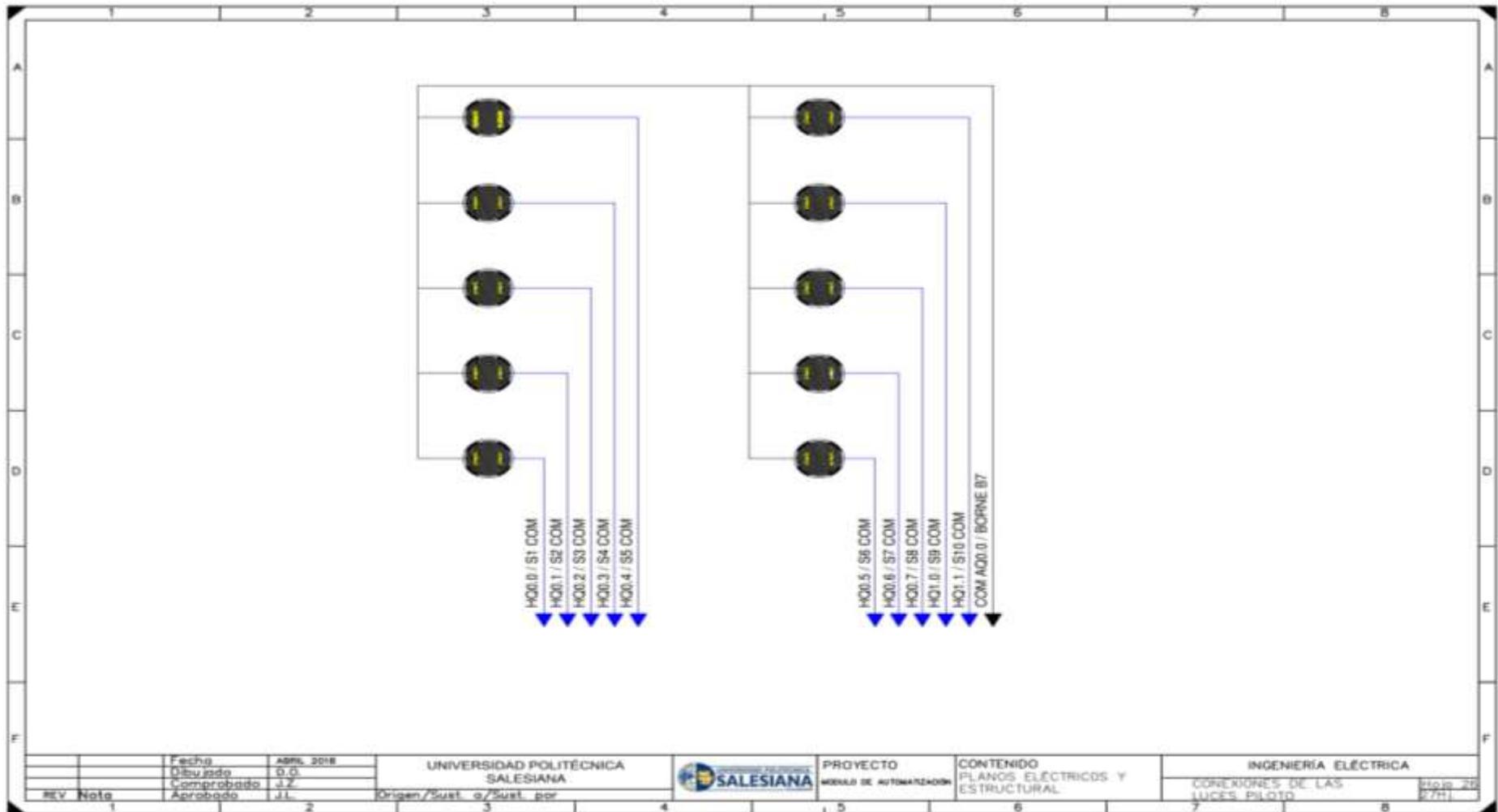
ANEXO 23. CONEXIONES DE LAS ENTRADAS DIGITALES.



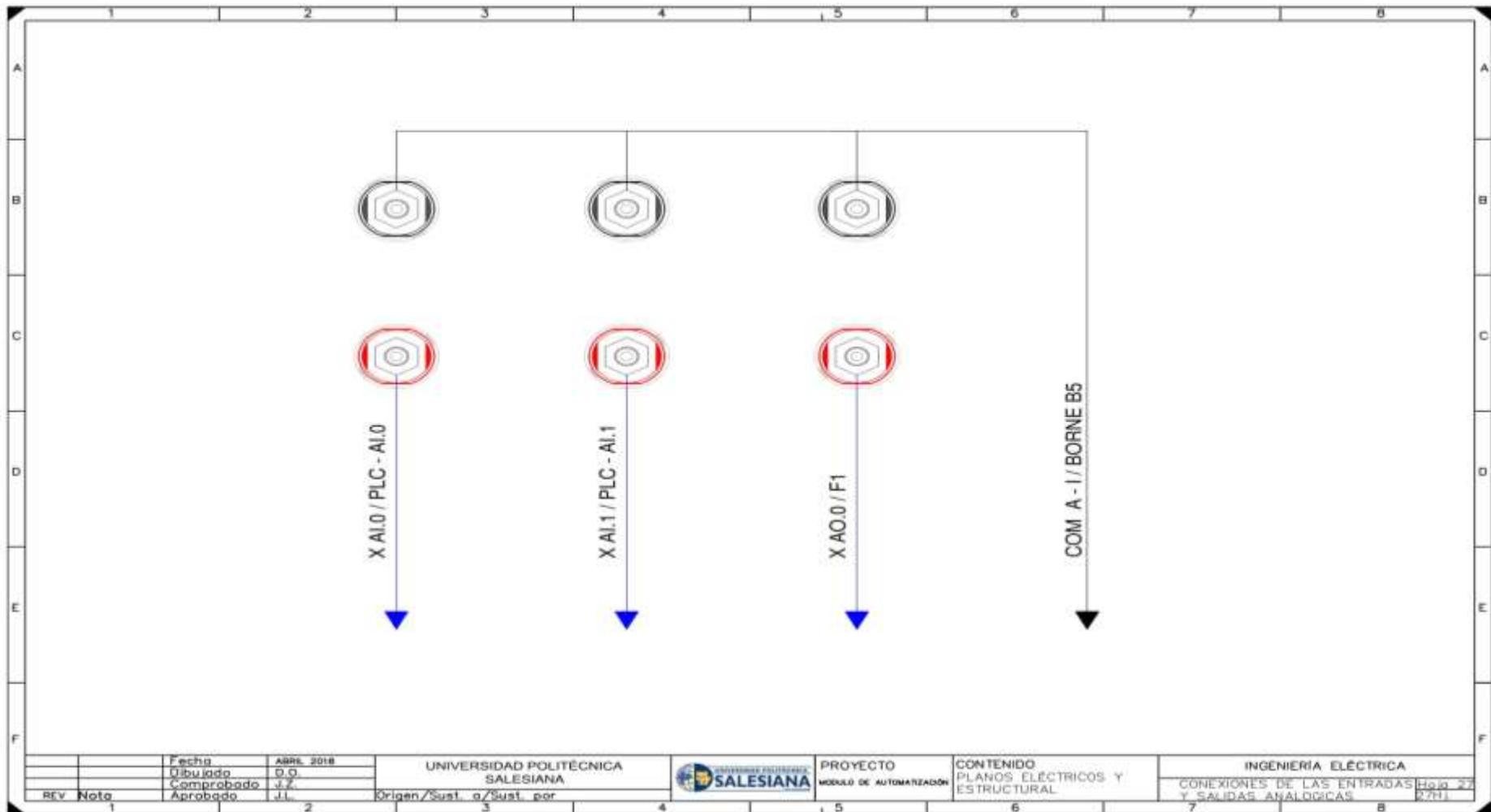
ANEXO 24. CONEXIONES DE LOS CONTACTOS ABIERTO DEL RELÉ.



ANEXO 25. CONEXIONES DE LAS SALIDAS DIGITALES.



ANEXO 26. CONEXIONES DE LAS LUCES PILOTO.



ANEXO 27. CONEXIONES DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS.