



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA

“Simulación y Automatización de los Sistemas Variadores de Velocidad
para Motores de corriente alterna”

AUTORES

Jair Eduardo Trelles Suárez

Carlos Moisés Quiroga Centeno

DIRECTOR: Ing. Otto Washington Astudillo Astudillo .MAE

GUAYAQUIL

2018

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **JAIR EDUARDO TRELLES SUÁREZ** y **CARLOS MOISÉS QUIROGA CENTENO** 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, 7 Junio del 2018

Jair Eduardo Trelles Suárez

C.I. 0951122225

Carlos Moisés Quiroga Centeno

C.I. 0924310717

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

Yo, **JAIR EDUARDO TRELLES SUÁREZ**, con documento de identificación N° **0951122225**, 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 DE LOS SISTEMAS VARIADORES DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA**” 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, 7 Junio del 2018

Jair Eduardo Trelles Suárez

C.I. 0951122225

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

Yo, **CARLOS MOISES QUIROGA CENTENO**, con documento de identificación N° **0924310717**, 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 DE LOS SISTEMAS VARIADORES DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA**” 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, 7 Junio del 2018

Carlos Moisés Quiroga Centeno

C.I. 0924310717

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

Yo, **OTTO WASHINGTON ASTUDILLO ASTUDILLO**, director del proyecto de Titulación denominado “**SIMULACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS VARIADORES DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA**” realizado por los estudiantes, **JAIR EDUARDO TRELLES SUÁREZ** y **CARLOS MOISÉS QUIROGA CENTENO**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, 7 Junio del 2018

Ing. Otto Washington Astudillo Astudillo .MAE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con mucho esfuerzo a mis padres: Carmen Janet Suárez Leyton y Jorge Enrique Trelles Mantilla, quienes me han aportado en mí desde mi niñez hasta la actualidad brindando su apoyo incondicionalmente y permitirme llegar a la culminación de mis estudios, siendo mis pilares fundamentales en todas mis decisiones.

A mis abuelitas: María Ernestina Leyton Bohórquez y Juana Lucrecia Mantilla Bazantes, quienes están gozando plenamente en el cielo; con su apoyo, consejos y experiencias de vida me han llevado a superarme día a día frente a los obstáculos que se presenten.

A mi hermana Jenniffer Elizabeth Trelles Suárez quien con su esfuerzo y paciencia me ha apoyado a lo largo de mi vida y estudios, luchando juntos para ser grandes profesionales y el orgullo de nuestros padres.

A mis primas/os, quienes en diversas formas hemos convivido en las distintas etapas de nuestras vidas y logrando nuestras metas que con mucho anhelo esperan nuestros padres.

A mis profesores colegiales y universitarios a quienes agradezco por el tiempo brindado y las distintas enseñanzas brindadas para desarrollarme en mi ámbito profesional.

Jair Eduardo Trelles Suárez.

DEDICATORIA

A Dios, por darme vida y siempre estar conmigo en cada paso, además por fortalecerme en mente y corazón e iluminar mis pensamientos y poner en mi camino a las personas que me han brindado el soporte y cariño que necesitaba.

A mi madre Norma Centeno, por permitirme nacer, por siempre quererme, por creer en mí cuando nadie lo hizo y me apoyo en los momentos difíciles. Mamá, te doy muchas gracias por ser mi luz y mi guía, **TODO LO QUE SOY TE LO DEBO A TI.**

A mi padre Manuel Quiroga, por su ejemplo de hombre perseverante y constante que siempre ha infundado en mí, por su apoyo mostrado a lo largo de mi carrera universitaria, por sus sabios consejos dados con amor y rectitud, Gracias Papá.

A mi abuelita, Haidee Bustamante y a mi hermana Jéssica Chicaiza que desde el cielo me cuidan, siempre atesorare sus buenos consejos de vida.

A mis sobrinos: Domenica, Ariel y Mathias quienes se han convertido en la inspiración para culminar mi proyecto de titulación, quiero seguir siendo su ejemplo a seguir.

A todos mis familiares y amigos que no pude mencionar al momento de redactar esto, ya son parte de todo.

Carlos Moisés Quiroga Centeno.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar como buen católico salesiano a Dios, María Auxiliadora y a Don Bosco por darme mucha perseverancia, paciencia, ímpetu y empeño para realizar las actividades y llevar al cabo mi proyecto de titulación.

A la comunidad de docentes de la Universidad Politécnica Salesiana de la sede de Guayaquil, por habernos transmitido sus conocimientos durante el transcurso de este proyecto. A los Ingenieros Otto Astudillo y Carlos Chávez, mis amplios agradecimientos por haber confiado este trabajo con mi persona, por su paciencia ante mi inconsistencia, por su valiosa dirección y apoyo para seguir adelante en el camino del proyecto y llegar a la conclusión del mismo como lo fue también en la etapa del colegio; cuyas experiencias y educación me ha servido en estos años.

Todo este proceso de aprendizaje no hubiera sido posible sin el apoyo, cariño y amparo incondicional que me otorgaron mis padres estando presentes y a la vez pendientes para saber cómo se desarrollaba mi proceso universitario.

A la Dra. Gisella Guerra, amiga y maestra que por su apoyo incondicional, consejos y enseñanzas desde la etapa colegial, pastoral y profesional quien ha hecho de mí una gran persona centrada y humilde ante todo.

A las amistades que hice en la universidad con quienes nos apoyábamos en cualquier momento y rompimos el mito que **“en la etapa universitaria solo se trata de ser individualista para llegar a ser el mejor”**, al contrario nos mantenemos unidos en diversos aspectos compartiendo como una gran familia de profesionales.

A todas las personas que de manera directa e indirecta fueron parte de esta etapa de mi vida, la cual antes de empezarla no tenía idea de que la culminaría tan pronto. A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

Jair Eduardo Trelles Suárez.

AGRADECIMIENTO

El proyecto de titulación no es solamente el fruto del trabajo y dedicación del autor, sino que también el de muchos, tanto en el ámbito educativo y personal. En cada una de estas líneas quiero mostrarles mis agradecimientos.

A mis padres por su cariño y apoyo incondicional durante todos estos años, gracias por hacerme una gran persona y profesional.

Al Ing. Otto Astudillo MBA, mi tutor quien estuvo todo el tiempo presionándonos a dar la solución más rápida al problema.

Al Ing. Carlos Fernando Chávez Córdova, además de ser un docente guía, se convirtió en un verdadero profesor de vida.

Al Ing. Byron Xavier Lima Cedillo MSC, por ser un gran docente y amigo, por sus consejos y sabías palabras, aprendí el significado de ser INGENIERO.

A la Ing. Cecilia Grunauer, por su colaboración, por sus enseñanzas de vida, por sus consejos de manera sutil y a la vez firme me demostraron que se puede llegar a tener éxitos en la vida.

A mis compañeros del Club de Robótica de la Sede Guayaquil, quienes a pesar de ser de carreras distintas, juntos hemos compartido momentos de felicidad y tristeza, deseo firmemente que sigamos cumpliendo nuestras metas.

Carlos Moisés Quiroga Centeno.

RESUMEN

El control de la velocidad de giro de una máquina asíncrona, depende del voltaje inducido al estator, produciendo un campo magnético en el rotor que permitirá el giro horario o anti horario en el mismo. Existen procesos que requieren mucho esfuerzo mecánico a velocidades mucho menores que pueden producir altas temperaturas en el equipo, se opta por el uso de dispositivos que permitan el control de la velocidad de la máquina eléctrica sin afectar la vida útil de la misma.

Motivo por el cual se plantea para este proyecto, el control de la velocidad de la máquina asíncrona y la simulación del mismo, por medio de los controladores lógicos programables que envían los datos en tiempo real al dispositivo que ejecuta la supervisión y control del motor de inducción. Como protocolos de comunicación se empleó una red industrial Ethernet y Modbus, con sistema de comunicación (Maestro – Esclavo) entre dos autómatas programables. Para la simulación se utilizó el programa, WinCC RT Advanced y TIA Portal, los que permitieron observar los distintos cambios que se producen en el motor al variar la frecuencia desde la programación del computador.

Se realizaron pruebas en vacío, con el rotor bloqueado y prueba de inyección en voltaje en corriente continua. Con los resultados obtenidos a partir de estos ensayos se logró la modelación equivalente y el control del motor asíncrono.

Al final se logró la comunicación entre el variador de frecuencia y el controlador lógico programable mediante el protocolo Modbus y TCP IP de forma satisfactoria, se obtuvieron las curvas características de corriente con respecto a la velocidad y la frecuencia del motor de inducción.

Palabras Claves: variador de frecuencia, programación, motor asíncrono, comunicación, velocidad, protocolo, control.

ABSTRACT

The control of the speed of rotation of an asynchronous machine, depends on the voltage induced to the stator, producing a magnetic field in the rotor that will allow the clockwise or anti-clockwise rotation in it. There are processes that require a lot of mechanical effort at much lower speeds that can produce high temperatures in the equipment, opting for the use of devices that allow the control of the speed of the electric machine without affecting the useful life of it.

For this reason, the control of the speed of the asynchronous machine and its simulation is proposed for this project, by means of the programmable logic controllers that send the data in real time to the device that executes the supervision and control of the motor of induction. As communication protocols, an Ethernet and Modbus industrial network was used, with communication system (Master - Slave) between two programmable automata. For the simulation, the program, WinCC RT Advanced and TIA Portal, were used, which allowed observing the different changes that occur in the motor when the frequency varies from the programming of the computer.

Vacuum tests were carried out, with the rotor blocked and voltage injection test in direct current. With the results obtained from these tests, the equivalent modeling and control of the asynchronous motor was achieved.

In the end the communication between the frequency inverter and the programmable logic controller was achieved through the Modbus and TCP IP protocol in a satisfactory way, the current characteristic curves with respect to the speed and the frequency of the induction motor were obtained.

Key words: frequency inverter, programming, asynchronous motor, communication, speed, protocol, control.

Key words: frequency inverter, programming, asynchronous motor, communication, speed, protocol, control.

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
AGRADECIMIENTO	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xxv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxix
ABREVIATURAS.....	xxx
SIMBOLOGÍA	xxxii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1. EL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del Problema.....	3
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Importancia y Alcances	4
1.4. Delimitación	4
1.5. Objetivos.....	6
1.6. Marco Metodológico.....	6

CAPÍTULO II.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Máquina Asíncrona.....	8
2.2. Principios de Funcionamiento de un Motor Asíncrono	9
2.2.1. Generación de Campo Magnético	9
2.2.2. Deslizamiento del rotor.....	10
2.2.3. Frecuencia Eléctrica del Rotor	11
2.3. Conexión del Motor de Inducción	12
2.4. Pruebas del Modelo Equivalente de un Motor Asíncrono.....	13
2.4.1. Prueba de Circuito Abierto.	14
2.4.2. Prueba de rotor bloqueado.	15
2.4.3. Prueba de Voltaje DC.	18
2.5. Modelado Equivalente del Motor Asíncrono.	19
2.6. Descripción y Datos Técnicos de los Elementos y Equipos.....	21
2.6.1 Controlador Lógico Programable (PLC)	21
2.6.2. Signal Board.....	21
2.6.3. Módulo de Comunicación CM1241 RS422-485.....	22
2.6.4. Pulsadores	23
2.6.5. Luz Piloto.....	23
2.6.6. Selectores	24
2.6.7. Tarjeta reguladora de voltaje.....	24
2.6.8. Tarjeta Porta Fusible.....	25
2.6.9. Fuente Variable	26
2.6.10. Voltímetro Analógico	27
2.6.11. Bobina de Relé	27
2.6.12. Zócalo de Relé.....	28
2.6.13. Bornera o Terminal:.....	29
2.6.14. Jacks Banana	29
2.7. Sistemas Numéricos para los PLC	30
2.7.1. Sistema Numérico Hexadecimal	30

CAPÍTULO III	32
3. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1. Diseño de estructura del maletín didáctico.....	32
3.2. Diseño de distribución interna de los elementos del Maletín.	33
3.3. Diseño de la lámina de jacks banana para toma de señales.....	34
3.4. Secuencia de construcción del gabinete metálico del maletín.....	36
3.5. Secuencia de montaje de elementos en la lámina de jacks.....	36
3.6. Secuencia de la implementación de los equipos externos en el Maletín antes del cableado.	39
3.7. Secuencia de montaje de base de plafón del maletín.	40
3.8. Secuencia del montaje de elementos internos en el plafón.	41
3.9. Secuencia de cableado de equipos y elementos del maletín.....	44
3.10. Secuencia de implementación de últimos elementos externo.....	48
3.11. Inventario de equipos y elementos que conforman el maletín didáctico de automatización.	50
 CAPÍTULO IV	 52
4. CONEXIONES Y SEGURIDADES.....	52
4.1. Conexión del Módulo de Prueba y Maletín Didáctico.....	52
4.2. Encendido y apagado del Maletín Didáctico.....	52
4.3. Comunicación entre el PLC y la laptop.....	52
4.4. Comunicación entre el PLC y el Variador de Frecuencia.	53
4.5. Elementos de Lámina de Jacks Banana.....	53
4.6. Elementos Internos del Maletín Didáctico.	54
4.7. Normas de Seguridad del Maletín Didáctico.....	54
 CAPÍTULO V	 55
5. PRÁCTICAS EN EL MÓDULO DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN.....	55
5.1. Práctica 1:	56
5.1.1. Tema: Comunicación PC-PLC.....	56
5.1.2. Objetivos:.....	56
5.1.3. Recursos:.....	56
5.1.4. Tiempo estimado:	56

5.1.5. Procedimiento:	56
5.1.6. Conclusiones:	63
5.2. Práctica 2:	64
5.2.1. Tema: Configuración Del Protocolo de Comunicación Modbus Variador de Frecuencia ATV312 Marca Schneider	64
5.2.2. Objetivos:	64
5.2.3. Recursos:	64
5.2.4. Tiempo estimado:	64
5.2.5. Procedimiento:	65
5.2.6. Conclusiones:	69
5.3. Práctica 3:	70
5.3.1. Tema: Comunicación Entre PLC S7-1200 y Variador de Frecuencia ATV312	70
5.3.2. Objetivos:	70
5.3.3. Recursos:	70
5.3.4. Tiempo estimado:	70
5.3.5. Procedimiento:	71
5.3.6. Conclusiones:	83
5.4. Práctica 4:	84
5.4.1. Tema: Comunicación entre Variador de Frecuencia ATV312 marca Schneider y PLC S7-1200 utilizando WinCC RT Professional	84
5.4.2. Objetivos:	84
5.4.3. Recursos:	84
5.4.4. Tiempo estimado:	84
5.4.5. Procedimiento:	85
5.4.6. Conclusiones:	103
5.5. Práctica 5:	108
5.5.1. Tema: Conexión Maestro esclavo entre dos PLC S7-1200 y un variador de frecuencia ATV312	108
5.5.2. Objetivos:	108
5.5.3. Recursos:	108
5.5.4. Tiempo estimado:	108

5.5.5. Procedimiento:	109
5.5.6. Conclusiones:	149
CONCLUSIONES	154
RECOMENDACIONES	155
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	156
ANEXOS	160

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL, BLOQUE B	5
FIGURA 2: DISTRIBUCIÓN SINUIDAL DEL CAMPO MAGNÉTICO ROTATORIO	9
FIGURA 3: DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR 1LA7 080-4YA60	13
FIGURA 4: CONEXIÓN DEL MOTOR 1LA7 080-4YA60.....	13
FIGURA 5: DIAGRAMA DE LA PRUEBA A VACÍO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.....	14
FIGURA 6: CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO	14
FIGURA 7: DIAGRAMA DE ROTOR BLOQUEADO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN	16
FIGURA 8: MEDICIÓN DE RESISTENCIAS Y CIRCUITO DE PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO	16
FIGURA 9: DIAGRAMA DE LA PRUEBA DC DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN	18
FIGURA 10: CIRCUITO EQUIVALENTE MONOFÁSICO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.....	19
FIGURA 11: CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE S7 – 1200 DC/DC/DC	21
FIGURA 12: SIGNAL BOARD 6ES7232-4HA30-0XB0.....	21
FIGURA 13: MÓDULO DE COMUNICACIÓN 6ES7241-1CH31-0XB0.....	22
FIGURA 14: PULSANTE LAB16S	23
FIGURA 15: LUZ PILOTO AD212 / AD210	23
FIGURA 16: SELECTOR DE DOS POSICIONES LAS16-2.....	24
FIGURA 17: TARJETA ELECTRÓNICA REGULADORA DE VOLTAJE	25
FIGURA 18: TARJETAS ELECTRÓNICAS PORTA FUSIBLES	25
FIGURA 19: FUENTE VARIABLE IDR-60-24 VDC	26

FIGURA 20:	VOLTÍMETRO ANALÓGICO CP-48 DE 30 VDC.....	27
FIGURA 21:	BOBINA DE RELÉ LY2 DE 24 VDC.....	27
FIGURA 22:	ZÓCALO DEL RELÉ PTF-08AE.....	28
FIGURA 23:	BORNERA ABB.....	29
FIGURA 24:	JACK BANANA.....	29
FIGURA 25:	DISEÑO PREVIO CON CARTÓN PRENSANDO.....	32
FIGURA 26:	DISEÑO INTERNO DE LOS ELEMENTOS.....	32
FIGURA 27:	ESTRUCTURA METÁLICA DEL MALETÍN DIDÁCTICO.....	33
FIGURA 28:	DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS INTERNOS.....	34
FIGURA 29:	SECCIONES DE LA LÁMINA DE JACKS BANANA.....	34
FIGURA 30:	FLUJOGRAMA DE LOS PROCESOS MECÁNICOS DE LA ESTRUCTURA DEL MALETÍN.....	36
FIGURA 31:	COLOCACIÓN DE LA LÁMINA ABS Y LA TAPA METÁLICA MOVIL.....	37
FIGURA 32:	COLOCACIÓN DE LUCES PILOTO.....	37
FIGURA 33:	COLOCACIÓN DE SELECTORES DE DOS POSICIONES.....	37
FIGURA 34:	COLOCACIÓN DE LOS VOLTÍMETROS ANALÓGICOS.....	38
FIGURA 35:	COLOCACIÓN DE JACKS BANANA.....	38
FIGURA 36:	COLOCACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN TAPA MÓVIL.....	39
FIGURA 37:	COLOCACIÓN DE LOS VENTILADORES.....	39
FIGURA 38:	COLOCACIÓN DEL ENCHUFE, JACK RJ45 E INTERRUPTOR.....	40
FIGURA 39:	CORTE A 45 ° EN LOS EXTREMOS DE LAS CANALETAS.....	40
FIGURA 40:	MARCO FORMADO DE CANALETAS.....	40
FIGURA 41:	MEDICIÓN DE LAS DIFERENTES MEDIDAS DE LA RIEL DIN.....	41
FIGURA 42:	COLOCACIÓN DEL RIEL DIN.....	41
FIGURA 43:	MONTAJE DE EQUIPOS INTERNOS EN EL PLAFÓN.....	42
FIGURA 44:	CANALETAS CORTADAS PARA EL PASO DE LOS OTROS EQUIPOS.....	42
FIGURA 45:	PISTAS REMARCADAS EN LAS BAQUELITAS.....	42
FIGURA 46:	BAQUELITAS SUMERGIDAS EN PERCLORURO DE SODIO...43	
FIGURA 47:	BAQUELITAS CON EL DISEÑO DE PISTAS DE COBRE.....	43

FIGURA 48: PROCESO DE SOLDAR LOS ELEMENTOS EN LA BAQUELITA.....	43
FIGURA 49: COLOCACIÓN DE LA TARJETA PORTA FUSIBLE	44
FIGURA 50: PINZA PONCHADORA DE PUNTERAS PARA TERMINALES TIPO TUBULAR	44
FIGURA 51: PINZA PARA PONCHAR TERMINALES TIPO OJO CON AISLANTE	45
FIGURA 52: PISTOLA DE CALOR PARA MARQUILLAS TERMOENCOGIBLES.....	45
FIGURA 53: CABLEADO DE LA TAPA MOVIL DE CONEXIÓN	45
FIGURA 54: CABLEADO DE LA TAPA MÓVIL HACIA LA PARTE INTERNA DEL MALETÍN.....	46
FIGURA 55: COLOCACIÓN DE AMARRAS PLÁSTICAS EN LAS CONEXIONES.....	46
FIGURA 56: COLOCACIÓN DE TARJETAS REGULADORAS DE VOLTAJE	47
FIGURA 57: CABLEADO INTERNO DEL MALETÍN DIDÁCTICO.....	47
FIGURA 58: ENCENDIDO Y COMPROBACION DEL MALETÍN.	48
FIGURA 59: COLOCACIÓN DE CUADROS DE INFORMACIÓN Y PORTA CABLES.	48
FIGURA 60: COLOCACIÓN DE ABARZADERAS Y AGARRADERAS DEL MALETÍN.....	49
FIGURA 61: COLOCACIÓN DE ESQUINEROS PLASTICOS	49
FIGURA 62: COMUNICACIÓN ENTRE LAPTOP Y MALETÍN DIDACTICO .	53
FIGURA 63: INICIALIZANDO SOFTWARE TIA PORTAL.	57
FIGURA 64: CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO EN TÍA PORTAL.	57
FIGURA 65: CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO PLC	58
FIGURA 66: VENTANA AGREGAR DISPOSITIVOS	58
FIGURA 67: VENTANA ONLINE Y DIAGNÓSTICO	59
FIGURA 68: SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ACCESIBLES	59
FIGURA 69: VENTANA DISPOSITIVOS ACCESIBLES.....	60
FIGURA 70: VISTA DEL PLC EN RED A LA PC	60
FIGURA 71: DATOS DE FÁBRICA DEL PLC	61
FIGURA 72: SELECCIÓN DEL PLC – SIN ESPECIFICAR	61

FIGURA 73: CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO SIN DETERMINAR.....	62
FIGURA 74: VENTANA DETECCIÓN DE HARDWARE.....	62
FIGURA 75: PLC AGREGADO EN EL SOFTWARE.	63
FIGURA 76: COMUNICACIÓN ENTRE PLC Y PC.	63
FIGURA 77: CONFIGURACIÓN LOCAL-REMOTO	65
FIGURA 78: PARÁMETROS A CONFIGURAR DEL MOTOR	66
FIGURA 79: DATOS DE PLACA DEL MOTOR	66
FIGURA 80: AJUSTE DE PARÁMETROS BÁSICOS	67
FIGURA 81: ESTRUCTURA DEL MENU DE COMUNICACIÓN MODBUS ATV 312.....	67
FIGURA 82: VARIADOR EN ESTADO NST	68
FIGURA 83: PINES DE SALIDA COMUNICACIÓN MODBUS.....	71
FIGURA 84: PINES MODULO CM1241 [15].....	71
FIGURA 85: SELECCIÓN MÓDULO CM1241	72
FIGURA 86: CONFIGURACIÓN CM1241 RS422/RS485.....	72
FIGURA 87: DIRECCIÓN FÍSICA CM1241 RS422/RS485	73
FIGURA 88: ENTORNO DE LA PROGRAMACIÓN	73
FIGURA 89: AGREGAR NUEVO BLOQUE.....	74
FIGURA 90: VENTANA AGREGAR NUEVO BLOQUE FC	74
FIGURA 91: AGREGAR DATA BLOCK.....	75
FIGURA 92: VARIABLES BLOQUE ATV_COMMS	75
FIGURA 93: VARIABLES BLOQUE ATV_DATASET.....	76
FIGURA 94: CONFIGURACIÓN MARCAS DE SISTEMA Y CILO	76
FIGURA 95: MB_COMM_LOAD	77
FIGURA 96: MB_MASTER.....	77
FIGURA 97: UBICACIÓN DE BLOQUES DE COMUNICACIÓN.....	78
FIGURA 98: CONTADOR PARA ENVIAR Y RECIBIR DATOS	78
FIGURA 99: PROGRAMACIÓN BLOQUE FC CAMBIO DE ESTADO VARIADOR.....	80
FIGURA 100: CONFIGURAR MARCHA DEL MOTOR	81
FIGURA 101: PROGRAMACIÓN INTERNA BLOQUE FC	81
FIGURA 102: TRANSFERENCIA DE DATOS	82
FIGURA 103: CONEXIÓN ONLINE.....	82
FIGURA 104: AGREGAR NUEVO DISPOSITIVO	85

FIGURA 105: VENTANA AGREGAR PC-SYSTEM.....	85
FIGURA 106: PC-SYSTEM EN ARBOL DEL PROYECTO	86
FIGURA 107: CONFIGURAR SYMATIC PC-STATION.....	86
FIGURA 108: AGREGAR IE GENERAL	87
FIGURA 109: DIRECCIÓN IP DE IE_GENERAL	87
FIGURA 110: CONEXIÓN HMI ENTRE PLC Y PC.....	88
FIGURA 111: CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS EN VISTA TOPOLOGICA	88
FIGURA 112: ADD NEW SCREEN (AGREGAR NUEVA PANTALLA).....	89
FIGURA 113: MENU HERRAMIENTAS.....	89
FIGURA 114: CAMPO DE TEXTO.....	90
FIGURA 115: CONFIGURACIÓN CAMPO DE TEXTO.....	90
FIGURA 116: CONFIGURAR DIMENSIONES DE LA PANTALLA HMI	91
FIGURA 117: CONFIGURACION DE COLOR PANTALLA HMI.....	91
FIGURA 118: BOTON EN PANTALLA HMI	92
FIGURA 119: CONFIGURAR EVENTOS EN BOTON NEXT	92
FIGURA 120: ACTIVATE SCREEN (ACTIVAR PANTALLA)	93
FIGURA 121: BOTON CONFIGURADO	93
FIGURA 122: CARÁTULA HMI.....	94
FIGURA 123: PANTALLA CONTROL.....	94
FIGURA 124: PROPIEDADES BOTONES MARCHA-PARO	95
FIGURA 125: EVENTO INVERTIR BIT.....	95
FIGURA 126: EVENTOS CONFIGURADOS BOTON MARCHA	96
FIGURA 127: BITS AUXILIARES PANTALLA HMI	96
FIGURA 128: EVENTOS CONFIGURADOS BOTON PARO	97
FIGURA 129: PESTAÑA ANIMATIONS (ANIMACIONES)	97
FIGURA 130: CONFIGURACIÓN APPEARANCE (APARIENCIA)	98
FIGURA 131: VENTANA ENLAZAR VARIABLE PLC-HMI	98
FIGURA 132: CONFIGURAR RANGOS EN APPEARANCE	99
FIGURA 133: VELOCÍMETRO EN HMI	99
FIGURA 134: PROPIEDADES VELOCÍMETRO.....	100
FIGURA 135: CONFIGURACIONES HMI EN BLOQUE ATV_READ	100
FIGURA 136: CONVERSIÓN Y ESCALADO VARIABLE RPM.....	101
FIGURA 137: I/O FIELD (CAMPO I/O).....	101
FIGURA 138: CONFIGURACIÓN I/O FIELD HZ (CAMPO I/O HZ).....	102

FIGURA 139: CONFIGURACIÓN I/O FIELD RPM (CAMPO I/O RPM).....	102
FIGURA 140: TABLA DE VARIABLES HMI	104
FIGURA 141: DIAGRAMA DE CONTROL – PRÁCTICA # 4	104
FIGURA 142: DIAGRAMA DE FUERZA – PRÁCTICA # 4	105
FIGURA 143: ESQUEMA DE CONTROL – PRÁCTICA # 4.....	106
FIGURA 144: ESQUEMA DE FUERZA – PRÁCTICA # 4.....	107
FIGURA 145: SWITCH - TPLINK, 8PUERTOS ETHERNET 10/100 MBPS, PLUG'N'PLAY (CONMUTADOR-TPLINK,8 PUERTOS ETHERNET 10/100 MBPS, ENCHUFAR Y USAR).....	109
FIGURA 146: EJEMPLO DE RED INDUSTRIAL USANDO AUTÓMATAS PROGRAMABLES	109
FIGURA 147: SWITCH CSM1277 (CONMUTADOR CSM1277).....	110
FIGURA 148: CONFIGURACIÓN DE PLC MAESTRO.....	110
FIGURA 149: SINCRONIZACIÓN DEL DOMINIO	111
FIGURA 150: CONFIGURACIÓN ZONA HORARIA	111
FIGURA 151: DIRECCIONES IP DISPOSITIVOS.....	112
FIGURA 152: HMI_CONNECTION_1 (CONEXIÓN_HMI_1)	112
FIGURA 153: BLOQUE ATV_COM_HMI.....	113
FIGURA 154: BLOCK INTERFACE (INTERFAZ DEL BLOQUE).....	113
FIGURA 155: VARIABLES ATV_COM_HMI.....	114
FIGURA 156: TSEND_C_DB	114
FIGURA 157: TRCV_C_DB	115
FIGURA 158: INPUTS (ENTRADAS) BLOQUE "TSEND_C_DB"	115
FIGURA 159: PARÁMETROS DE CONEXIÓN	116
FIGURA 160: BLOQUE TSEND_C CONFIGURADO EN PLC MASTER	116
FIGURA 161: BLOQUE TRCV CONFIGURADO	117
FIGURA 162: CONFIGURACION PARAMETROS SLAVE (ESCLAVO).....	118
FIGURA 163: VISTA DE PANTALLA EN WINCC RT ADVANCED	118
FIGURA 164: EVENTO CLICK EN BOTON MARCHA	119
FIGURA 165: EVENTO PRESS (PRESIONAR) EN BOTON MARCHA	119
FIGURA 166: EVENTO CLICK EN BOTON PARO.....	120
FIGURA 167: EVENTO PRESS EN BOTON PARO	120
FIGURA 168: AGREGAR ROTARY-RG (RG-ROTATORIO).....	121

FIGURA 169: OPCIÓN SWITCH ON ROTARY_RG (INTERRUPTOR ROTATORIO RG ENCENDIDO)	121
FIGURA 170: OPCIÓN SWITCH OFF ROTARY_RG (INTERRUPTOR ROTATORIO_RG APAGADO).....	122
FIGURA 171: ANIMATIONS (ANIMACIONES) PARA LED LOCAL-REMOTO	122
FIGURA 172: ANIMATIONS (ANIMACIONES) PARA LED FALLA	123
FIGURA 173: VISIBILITY (VISIBILIDAD) DIAGRAMA DE CONEXIÓN	123
FIGURA 174: SLIDER (CONTROL DESLIZANTE).....	124
FIGURA 175: CONFIGURACIÓN SLIDER (CONTROL DESLIZANTE).....	124
FIGURA 176: GRÁFICA CORRIENTE VS VELOCIDAD	125
FIGURA 177: PROPIEDADES VISOR DE CURVAS CORRIENTE VS RPM ...	125
FIGURA 178: APPEARANCE (APARIENCIA) EN VISOR DE CURVAS CORRIENTE VS RPM.....	126
FIGURA 179: OPCIÓN GENERAL EN VISOR DE CURVAS CORRIENTE VS RPM.....	126
FIGURA 180: OPCION LAYOUT (DISEÑO) VISORES DE CURVAS F(X)	127
FIGURA 181: CONFIGURANDO TREND F(X) (TENDENCIA F(X))	127
FIGURA 182: ENLAZANDO VARIABLES CON VISOR DE FIGURAS	128
FIGURA 183: CONFIGURANDO EJES X-Y	128
FIGURA 184: SWITCH OFF (INTERRUPTOR APAGADO).....	129
FIGURA 185: SWITCH ON (INTERRUPTOR ENCENDIDO)	129
FIGURA 186: TREND VIEW RAMPAS (VISOR DE CURVAS RAMPAS)	130
FIGURA 187: TREND VIEW EN IMAGEN HMI (VISOR DE CURVAS EN IMAGEN HMI)	130
FIGURA 188: CONFIGURACIÓN VISOR DE CURVAS RAMPAS	131
FIGURA 189: VENTANA DIAGNÓSTICO	131
FIGURA 190: CONFIGURACIÓN DE KEYBOARD (TECLADO)	132
FIGURA 191: CONFIGURACIÓN DE EVENTOS EN KEYBOARD (TECLADO).....	132
FIGURA 192: PANTALLA CONTROL.....	133
FIGURA 193: CONEXIÓN ONLINE BLOQUE DATASET EN STOP (DETENER).....	133

FIGURA 194: CONEXIÓN ONLINE BLOQUE DATASET EN START (COMIENZO)	134
FIGURA 195: GRÁFICA CORRIENTE VS RPM A DIFERENTES FRECUENCIAS	134
FIGURA 196: GRÁFICA CORRIENTE VS HZ A DIFERENTES FRECUENCIAS	135
FIGURA 197: RAMPAS ACELERACION Y DESACELERACIÓN	136
FIGURA 198: BLOQUE FC PARA VARIAR FRECUENCIA CON ENTRDAS DIGITALES	136
FIGURA 199: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO	137
FIGURA 200: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO	141
FIGURA 201: CORRIENTES DE LAS LÍNEAS CON LA PRUEBA DE RB	142
FIGURA 202: CONEXIÓN ESTRELLA Y DOBLE ESTRELLA DE UN MOTOR.....	144
FIGURA 203: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRUEBA DE VOLTAJE DC.....	146
FIGURA 204: CIRCUITO EQUIVALENTE	147
FIGURA 205: DEDUCCIÓN DE FÓRMULA DE SIMPLIFICACIÓN DEL MODELO EQUIVALENTE.....	147
FIGURA 206: CIRCUITO EQUIVALENTE SIMPLIFICADO	147
FIGURA 207: DIAGRAMA DE CONTROL – PRÁCTICA # 5	149
FIGURA 208: DIAGRAMA DE FUERZA – PRÁCTICA # 5	150
FIGURA 209: ESQUEMA DE CONTROL – PRÁCTICA 5.....	151
FIGURA 210: ESQUEMA DE FUERZA – PRÁCTICA 5.....	152
FIGURA 211: COMUNICACIÓN DE EQUIPOS – PRÁCTICA # 5.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LAS FRECUENCIAS EN EL ROTOR Y ESTATOR.....	11
TABLA 2: PROPORCIONES EMPÍRICAS DE LAS REACTANCIAS DISPERSIÓN DEL MOTOR.....	17
TABLA 3: PARÁMETROS DEL MODELO ESQUEMÁTICO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN	20
TABLA 4: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PLC S7-1200	21
TABLA 5: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SIGNAL BOARD	22
TABLA 6: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO DE COMUNICACIÓN.....	22
TABLA 7: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS PULSADORES.....	23
TABLA 8: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS LUCES PILOTO.....	23
TABLA 9: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS SELECTORES.....	24
TABLA 10: ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA TARJETA REGULADORA DE VOLTAJE.....	25
TABLA 11: ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA TARJETA PORTA FUSIBLE	26
TABLA 12: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA FUENTE VARIABLE	26
TABLA 13: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL VOLTÍMETRO ANALÓGICO.....	27
TABLA 14: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BOBINA DEL RELÉ	28
TABLA 15: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ZÓCALO DEL RELÉ	28
TABLA 16: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BORNERA	29
TABLA 17: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS JACKS BANANA	30
TABLA 18: LISTA DE MATERIALES PARA EL CABLEADO, MONTAJE E IMPLEMENTACIÓN	50
TABLA 19: LISTA DE ELEMENTOS DE LA TAPA MÓVIL DE CONEXIÓN ...	50
TABLA 20: LISTA DE ELEMENTOS INTERNOS DEL MALETÍN DIDÁCTICO	51
TABLA 21: LISTA DE ELEMENTOS EXTERNOS DEL MALETÍN DIDÁCTICO	51
TABLA 22: TABLA DE PARÁMETROS DEL VARIADOR	68

TABLA 23: TABLA DE ESTADOS DE SCHNEIDER	79
TABLA 24: TABLA DE VARIABLES DE COMUNICACIÓN DE VARIADOR FUENTE SCHNEIDER	80
TABLA 25: VOLTAJES DE LAS LÍNEAS CON LA PRUEBA DE AC	137
TABLA 26: CORRIENTE DE LAS LÍNEAS CON LA PRUEBA DE AC	138
TABLA 27: POTENCIAS ACTIVAS DE CADA LÍNEA EN PRUEBA DE AC..	139
TABLA 28: DATOS VARIOS DE PRUEBA DE CA	139
TABLA 29: VOLTAJES DE LÍNEA A LÍNEA DE PRUEBA DE RB	141
TABLA 30: POTENCIAS ACTIVAS DE LAS LÍNEAS CON LA PRUEBA DE RB.....	142
TABLA 31: DATOS VARIOS CON LA PRUEBA DE RB	142
TABLA 32: VALORES DE OHMIAJE ENTRE CADA BOBINA	143
TABLA 33: VOLTAJE Y CORRIENTE DE LA PRUEBA DE VOLTAJE DC	146

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
ECUACIÓN 1: VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO	9
ECUACIÓN 2: VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	10
ECUACIÓN 3: DESLIZAMIENTO EXPRESADA EN PORCENTAJE.....	10
ECUACIÓN 4: DESLIZAMIENTO EN FUNCIÓN DE LAS VELOCIDADES ...	10
ECUACIÓN 5: VELOCIDAD MECÁNICA DEL EJE DEL ROTOR.....	11
ECUACIÓN 6: FRECUENCIA DEL ROTOR	12
ECUACIÓN 7: FRECUENCIA DEL ROTOR EN FUNCIÓN DE LAS VELOCIDADES	12
ECUACIÓN 8: IMPEDANCIA DE CIRCUITO ABIERTO.....	15
ECUACIÓN 9: PERDIDAS ROTACIONAL DEL MOTOR	15
ECUACIÓN 10: RESISTENCIA EQUIVALENTE DEL ESTATOR POR FASE Y DEL ROTOR.....	17
ECUACIÓN 11: REACTANCIA EQUIVALENTE	17
ECUACIÓN 12: REACTANCIA INDUCTIVA [18]	135
ECUACIÓN 13: PROMEDIO DE VOLTAJE DE LÍNEA A LÍNEA.....	138
ECUACIÓN 14: VOLTAJE DE FASE	138
ECUACIÓN 15: CORRIENTE PROMEDIO DE LÍNEA A LINEA	138
ECUACIÓN 16: POTENCIA ACTIVA TOTAL	139
ECUACIÓN 17: IMPEDANCIA DE CIRCUITO SBIERTO EN TÉRMINOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE	139
ECUACIÓN 18: REACTANCIA DE MAGNETIZACIÓN DEL NÚCLEO	140
ECUACIÓN 19: IMPEDANCIA DE CIRCUITO ABIERTO EN TÉRMINOS DE PARÁMETROS	140
ECUACIÓN 20: PÉRDIDA DE COBRE	140
ECUACIÓN 21: PÉRDIDAS ROTACIONALES	140
ECUACIÓN 22: IMPEDANCIA DE ROTOR BLOQUEADO	143
ECUACIÓN 23: RESISTENCIA Y REACTANCIA ESTATÓRICA.....	143
ECUACIÓN 24: RESISTENCIA TOTAL DE ROTOR BLOQUEADO	144
ECUACIÓN 25: RESISTENCIA MÁXIMA DE CADA BOBINA	144
ECUACIÓN 26: REACTANCIA EQUIVALENTE DE X1 Y X2.....	145
ECUACIÓN 27: PROPORCIÓN DE LAS REACTANCIAS DE CLASE A	145

ECUACIÓN 28: VALOR DE R1 DEL CIRCUITO EQUIVALENTE	146
---	-----

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: SIMBOLOGÍA UNIFILAR	160
ANEXO 2: DIAGRAMA UNIFILAR DEL MALETÍN DIDÁCTICO	161
ANEXO 3: DIAGRAMA ELÉCTRICO – PRIMER SEGMENTO.....	162
ANEXO 4: DIAGRAMA ELÉCTRICO – SEGUNDO SEGMENTO.....	163
ANEXO 5: DIAGRAMA ELÉCTRICO – TERCER SEGMENTO	164
ANEXO 6: DIAGRAMA ELÉCTRICO – CUARTO SEGMENTO	165
ANEXO 7: DIAGRAMA ELÉCTRICO – QUINTO SEGMENTO	166
ANEXO 8: DIAGRAMA ELÉCTRICO – SEXTO SEGMENTO.....	167
ANEXO 9: DIAGRAMA ELÉCTRICO – SÉPTIMO SEGMENTO	168
ANEXO 10: DIAGRAMA ELÉCTRICO DE TARJETA REGULADORA DE VOLTAJE	169
ANEXO 11: DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA TARJETA PORTAFUSIBLE...	170
ANEXO 12: DIMENSIONES DEL MALETÍN DIDÁCTICO	171
ANEXO 13: VISTA 3D DEL MALETÍN DIDÁCTICO	172
ANEXO 14: ELEMENTOS EXTERIORES DEL MALETÍN DIDÁCTICO	173
ANEXO 15: VISTA DIMENSIONALES DEL PLC S7 - 1200	174
ANEXO 16: VISTA DIMENSIONALES DEL CM 1241 RS422/485	175
ANEXO 17: VISTA DIMENSIONAL DEL SIGNAL BOARD	176
ANEXO 18: VISTA DIMENSIONALES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.	177
ANEXO 19: PROCESO DE CALADO DE LA PLANCHA DE ACERO	178
ANEXO 20: VISTA DELANTERA DE SOBRETAPA DEL MALETÍN DIDÁCTICO	179
ANEXO 21: VISTA POSTERIOR DE LA SOBRETAPA DEL MALETÍN DIDÁCTICO	180
ANEXO 22: DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS INTERNOS.....	181
ANEXO 23: CONEXIONES DEL PLC S7-1200.....	182
ANEXO 24: CONEXIONES DE LA FUENTE DE VOLTAJE DE 24 VDC.....	183
ANEXO 25: CONEXIONES DE LAS BORNERAS.....	184
ANEXO 26: CONEXIONES DE LAS TARJETAS PORTAFUSIBLES	185
ANEXO 27: CONEXIÓN DE LOS RELÉS	186
ANEXO 28: CONEXIÓN DE LOS VOLTÍMETROS ANALÓGICOS.....	187

ANEXO 29: CONEXIÓN DE LAS TARJETAS REGULADORES DE VOLTAJE	188
ANEXO 30: CONEXIÓN DEL PANEL DE ALIMENTACIÓN 24 VDC.....	189
ANEXO 31: CONEXIÓN DE LAS ENTRADAS DIGITALES	190
ANEXO 32: CONEXIÓN DE LOS CONTACTOS ABIERTOS DE LOS RELES	191
ANEXO 33: CONEXIÓN DE SALIDAS DIGITALES.....	192
ANEXO 34: CONEXIÓN DE LUCES PILOTO	193
ANEXO 35: CONEXIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS	194
ANEXO 36: ELEMENTOS DEL BANCO DE PRUEBA PARA SISTEMA DE CONTROL PROGRAMABLE	195
ANEXO 37: VISTA DIMENSIONALES DEL BANCO DEL MOTOR.	196

ABREVIATURAS

AC	Corriente alterna
AI	Analog Input (Entradas Analógicas)
AO	Analog Output (Salida Analógicas)
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
CA	Circuito abierto
CM	Communication Module (Módulo de Comunicación)
cm	Centímetros
COM	Común
DC	Corriente Continua
Fig.	Figura
H	Luz Piloto
Hz	Hertz (frecuencia)
HMI	Interfaz Humano Máquina
I	Corriente en Amperios
IE	Industrial Ethernet (Ethernet Industrial)
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
NC	Normalmente cerrado
NO	Normalmente abierto
LED	Light Emission Diodo (Diodo Emisor de Luz)
NST	Estado de parada en rueda libre
P	Pulsante
PC	Personal Computer (Computadora Personal)
PLC	Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable)
PWM	Modulación de Ancho de Pulso
S	Selector
UTP	Cable de par trenzado
V	Volteos
VDF	Variadores de Frecuencia
Vin	Voltaje de Entrada
Vout	Voltaje de salida
w	Vatios

SIMBOLOGÍA

3∅

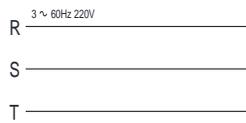
Trifásico

Ω

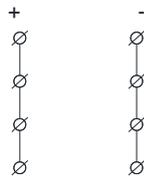
Ohmios



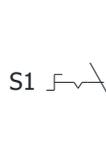
Alimentacion 120 VAC



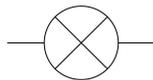
Alimentación Trifásica 220 VAC



Alimentación 24 VDC



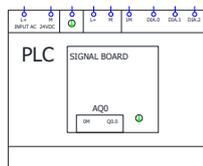
Selector



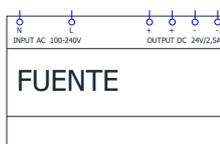
Luz Piloto



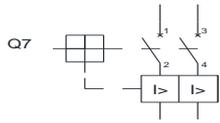
Contacto Abierto (Relé)



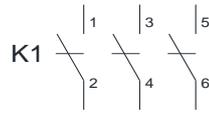
Controlador Lógico Programable



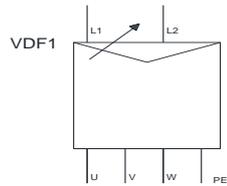
Fuente Variable



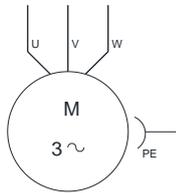
Breaker 2 Polos



Contactador



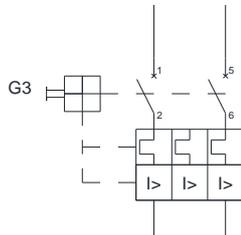
Variador de Frecuencia



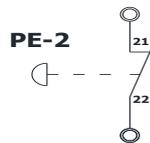
Motor Asíncrino



Tierra



Guardamotor



Pulsante Tipo Hongo (Paro de Emergencia)

INTRODUCCIÓN

Las máquinas eléctricas son dispositivos motrices, no automatizados que a nivel industrial son empleados para la ejecución de diferentes procesos mecánicos. Su parte móvil gira en dependencia del voltaje inducido al estator, produciendo un campo magnético en el rotor. Para el control de la velocidad de giro se emplea el variador de velocidad que toma una señal eléctrica de la red, el cual la rectifica y la transforma en una señal de corriente continua; esta señal pasa por un inversor y la transforma en una señal eléctrica de corriente alterna controlada, es decir que se podrá modificar la frecuencia y por ende la velocidad de giro del motor.

El presente proyecto, tiene por objetivo el control y la simulación de un sistema de variación de velocidad de para motores de corriente alterna, mediante el uso de un maletín didáctico, el cual hace uso de controladores lógicos programables para el control automático y comunicación industrial. Este sistema emplea protocolos de comunicación TCP/IP y Modbus los cuales son utilizados por los diferentes fabricantes de los equipos de control.

Durante el desarrollo, uno de los inconvenientes más notables es el lenguaje que emplea el controlador lógico programable de Siemens con respecto al variador de velocidad marca Schneider para enlazar ambos dispositivos, por lo consiguiente se realizaron varias investigaciones respecto al lenguaje del equipo que controla la velocidad del motor asíncrono y se promovió la adquisición de un dispositivo de comunicación Modbus que se acopla al PLC S7-1200 para el envío y recepción de datos entre ambos equipos.

Este proyecto de titulación es desarrollado en cinco capítulos, a continuación, una breve explicación de cada uno de ellos:

CAPÍTULO 1: Plantea la problemática, sus antecedentes, delimitaciones; en busca de una solución además se establecen los objetivos específicos y generales con su respectiva metodología.

CAPÍTULO 2: Presenta conceptos básicos y teóricos necesarios para el desarrollo y solución del problema planteado.

CAPÍTULO 3: Se detallan los materiales, métodos y características técnicas de dispositivos e instrumentos seleccionados para diseño y estructura del módulo didáctico automatizado que utilice un PLC.

CAPÍTULO 4: Se detallan la correcta operación y mantenimiento de los equipos con el fin de no dañar el módulo y sus elementos.

CAPÍTULO 5: Se expone las pruebas realizadas en el módulo didáctico.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema.

El tablero de prueba para sistemas de control industrial programable que tiene la Universidad Salesiana necesita un complemento en la parte de automatización, ya que todo proceso es controlado aplicando controles automáticos por tal motivo dicho tablero no cuentan con un sistema de monitoreo y control. El desarrollo del proyecto es una ampliación de los temas de estudio trabajados en tesis anteriores, la parte que se desarrolla es la implementación de un maletín didáctico que permite la automatización y control por medio de un controlador lógico programable aplicado a motores de corriente alterna con variadores de frecuencia. En el tablero de prueba que se encuentra en el laboratorio se cuenta con el elemento del variador de frecuencia para la ejecución del tema.

1.2. Antecedentes

El desarrollo industrial en los últimos años se ha visto impulsada a mejorar sus sistemas de control en las maquinas eléctricas con la finalidad de mejorar sus procesos, disminución de tiempo de trabajo y aumento en la productividad.

Los primeros controles existen de varias investigaciones y/o estudios que han permitido controlar de velocidad de motores asíncrono. Un artículo se realizó el estudio e implementación de un control automático accionado a través de un inversor trifásico de dos niveles basado en la técnica de modulación por vector espacial de un microcontrolador utilizada para las bandas trasportadoras de productos en una industria [1].

La Universidad Tecnológica de Pereira, implementó una aplicación de un control digital utilizando un DSP (microprocesador digital de señales) y un DMC (controlador digital de un motor), para controlar la velocidad de un motor de inducción trifásico en lazo cerrado mediante la técnica de control voltaje-frecuencia [2].

La Universidad "Ștefan Cel Mare" de Suceava, realizó un estudio y simuló un pequeño controlador de módulo que es una donde podrá montarla directamente en los motores,

tomará lugar de un variador de frecuencia variable. El módulo está basado en el microcontrolador Atmega328, diseñado para obtener una onda sinusoidal trifásica con posibilidad de controlar la frecuencia para aumentarla o disminuirla [3].

La Universidad Politécnica Salesiana, implementó un banco de pruebas para control industrial programable, donde se podrán controlar la velocidad para motores eléctricos trifásicos asíncronos con los equipos acoplados en el módulo [4].

Teniendo en cuenta el gran aporte al control de máquinas eléctricas, se diseñó e implementó un maletín didáctico de automatización con el objetivo de comunicarse y acoplarse a varios módulos industriales y/o de potencia de manera automatizada que existen dentro de los laboratorios de la Universidad Salesiana.

La aplicación se realiza con un conmutador de puerto Ethernet donde se interconectará los segmentos de red entre la PC que envía y recibe datos; también se conecta dos autómatas programables donde se realiza una comunicación Maestro-Esclavo entre ellos y activaran un variador de frecuencia dando paso para el control de velocidad de un motor asíncrono con frenado mecánico por medio de su frecuencia junto al acoplamiento del maletín didáctico automatizado y el banco de prueba para control industrial programable.

1.3. Importancia y Alcance

La importancia de la automatización en las máquinas eléctricas es tener un sistema dinámico capaz de controlar y racionalizar los procesos que se requiera mediante un ordenador inteligente, debido al gran aumento en los últimos años en la parte automatizada en las industrias. La automatización en las industrias permite monitorear y controlar a una máquina mediante el uso de tecnologías de alto rendimiento como la herramienta de ingeniería Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) que permiten al usuario diseñar y resolver varias tareas de automatización en forma eficiente.

El estudio de motor de inducción o motores asíncronos son las maquinas más usadas en aplicaciones industriales por su simplicidad, fiabilidad, bajo costo, buenas características de rendimiento y a su baja contaminación que son aspectos que se tiene muy en cuenta en nuestros días, su importancia a nivel industrial es muy importante debido al uso y aplicaciones que se le aplica de manera automatizada o mecánica.

También los sistemas de control como los variadores de velocidad han evolucionado de manera constantemente como una herramienta en obtener datos en tiempo real para poder reaccionar de manera eficaz y rápida a lo que está pasando en el motor.

Mediante la ayuda del interfaz de simulación WinCC y el operario se puede controlar la velocidad del motor y a su vez verificar el comportamiento del mismo por medio de la lectura de datos del variador de frecuencia al PLC.

1.4. Delimitación

La ejecución del proyecto de titulación se realizó en el transcurso de 12 meses en el periodo de mayo 2017 – mayo 2018; comprendida desde la etapa de investigación, diseño, correcciones, implementaciones, pruebas y simulación del proyecto.

El estudio se delimitó en la provincia del Guayas en la Universidad Politécnica Salesiana - Sede de Guayaquil, ubicada entre calles Chambers y 5 de Junio en el Bloque B carrera Ingeniería Eléctrica, en el segundo piso en el Laboratorio de Instalaciones Industriales. El maletín didáctico será conectado y comunicado al **Banco de Prueba para Sistemas de Control Industrial Programable**, y el motor a utilizar es la **Mesa de Freno Mecánico Regulable**, para realizar el control de velocidad de los motores de corriente alterna por medio de variadores de frecuencia.

El proyecto técnico se basó primero en el diseño del maletín didáctico que se realizó en el programa AutoCAD. La automatización de variador de velocidad se ejecutó para motor de corriente alterna con el software TIA Portal con un PLC S7-1200 y la simulación se la ejecutará en el Software WinCC RT Advanced.

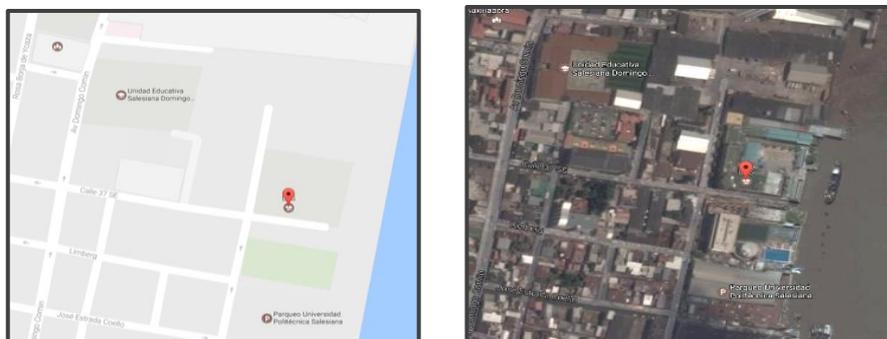


FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL, BLOQUE B [AUTORES]

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Implementar un sistema de control que permita la automatización y simulación de motores de corriente alterna a través de variadores de velocidad.

1.5.2. Objetivo Especifico

- Automatizar el variadores de frecuencia para motores de corriente alterna.
- Simular el control de motores de corriente alterna a través de protocolos de comunicación TCP IP y Modbus mediante un programa de simulación en tiempo real.
- Verificar el correcto funcionamiento del sistema automatizado.
- Realizar una guía de prácticas didácticas.

1.6. Marco Metodológico.

Para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo la metodología deductiva para poder diseñar el maletín didáctico, debido a que se tomó de guía los tableros de pruebas de los laboratorios por su fácil manejo para el aprendizaje y también según los requerimientos e ideas proporcionadas se lo implementó.

Se utilizó el método analítico e investigativo para poder realizar la comunicación Modbus y TCP IP entre los dispositivos, entender las diversas curvas características a mostrar, comprender el lenguaje de programación de los equipos y así poder realizar la simulación y la automatización del sistema con variador de velocidad para el control de un motor de corriente alterna.

Las variables a utilizar son los diversos parámetros del motor de inducción para poder ingresarlos en el variador de frecuencia y poder ejercer un control adecuado para el mismo, otras variables que se analizará dentro del interfaz WinCC serán la corriente (I), velocidad (rpm) y frecuencia (Hz).

Dentro de la programación del autómeta programable se utilizarán bloques de datos que se conectan con las del variador de frecuencia para controlar el motor de corriente alterna y a su vez se usan bloques de función para visualizar los datos proporcionados por el mismo.

Las herramientas a utilizar será un multímetro para poder obtener valores de voltaje y corriente, tacómetro o velocímetro digital para obtener la velocidad del motor asíncrono.

Se utiliza el programa Tia Portal V13 para realizar el control del variador de frecuencia por medio del PLC, a su vez se recolectan datos provenientes del motor para visualizarlos en una interfaz visual (WinCC) propia del programa mencionado anteriormente.

Se procede a realizar el levantamiento de información que se posee del motor asíncrono (datos de placa), del variador de frecuencia los manuales proporcionados por el fabricante (Schneider), el controlador lógico programable y el modulo que se utiliza para realizar el protocolo de comunicación Modbus y TCP IP.

Con los datos obtenidos se mostrará en la interfaz WinCC las curvas características del motor asíncrono trabajando a diferentes frecuencias, se observan las gráficas de la corriente con respecto a la frecuencia y velocidad; también se muestra las rampas de aceleración y desaceleración del motor con respecto al tiempo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Máquina Asíncrona.

Se llaman máquinas asíncronas a las máquinas eléctricas rotativas que son alimentadas por corriente eléctrica alterna; son las más utilizadas a nivel industrial debido a su larga vida, facilidad de operación y de bajo nivel de costo; también son llamadas como motor de inducción[5].

La velocidad de estas máquinas es ligeramente distinta de las de sincronismo de ahí su nombre de asíncronas. Por otra parte, las corrientes que circulan por el rotor aparecen por inducción electromagnética de ahí proviene el nombre de máquinas de inducción[6].

En aspectos constructivos como toda máquina eléctrica, los motores asíncronos están constituidos por dos partes fundamentales:

- El estator
- El rotor

El estator es la parte fija del motor y elemento que opera como base para llevar a cabo la rotación del motor; no se mueve mecánicamente pero sí magnéticamente[7].

El rotor es la parte móvil del motor y es el que se encarga de la conversión de energía eléctrica a mecánica. Entre los tipos más usados son:

- Rotor de jaula de ardilla.
- Rotor bobinado.

El rotor de jaula de ardilla o también llamado rotor con cortocircuito son los más utilizados a comparación de los de devanado o también llamados rotor de anillos rozantes debido a que son muy costosos, requieren de más mantenimiento debido por el desgaste en sus escobillas y anillos rozantes.

2.2. Principios de Funcionamiento de un Motor Asíncrono

2.2.1. Generación de Campo Magnético

Debido a que el sistema eléctrico industrial utiliza fuentes trifásicas de energía, la máquina de inducción se construye normalmente con tres devanados, distribuidos y desfasados espacialmente por 120° (acoplados en estrella o triángulo)[8]. En la Fig. 2, se muestra cada una de las tres bobinas se inyectan corrientes alternas senoidales también desfasadas por 120° donde se produce un campo magnético estático en el espacio[7]. La amplitud de este campo se encuentra en la dirección de eje magnético de la bobina y varía en forma sinusoidal; toda esta combinación de los campos pulsantes produce el movimiento del rotor[8].

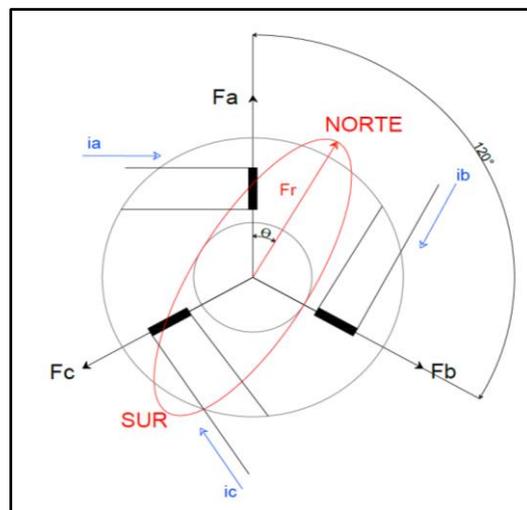


FIGURA 2: DISTRIBUCIÓN SINUIDAL DEL CAMPO MAGNÉTICO ROTATORIO [8]

La velocidad de giro de este campo magnético o también denominada velocidad de sincronismo viene dada de la siguiente expresión [9]. Ver Ecuación 1:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

ECUACIÓN 1: VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO [9]

De donde:

n_s = Velocidad de giro del campo magnético en r.p.m

f = Frecuencia de la corriente eléctrica de alimentación de la máquina en Hertz

p = Número de pares de polos magnéticos establecidos en el bobinado del estator.

2.2.2. Deslizamiento del rotor

La velocidad de giro del rotor n_r es ligeramente inferior a la velocidad de sincronismo n_s , a ésta diferencia se le da el nombre de **velocidad de deslizamiento** definida como la diferencia entre la velocidad sincrónica y velocidad del rotor y viene dado por la expresión [9]. Ver Ecuación 2:

$$n_{des} = n_s - n_r$$

ECUACIÓN 2: VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO[9]

De donde:

n_{des} = Velocidad de desplazamiento de la máquina.

n_s = Velocidad de giro del campo magnético.

n_r = Velocidad mecánica del rotor.

El otro término que se utiliza para describir el movimiento relativo es el deslizamiento, que corresponde a la velocidad relativa expresada en por unidad o en porcentaje. Es decir, el deslizamiento “s” se define como[10]. Ver Ecuación 3:

$$s = \left(\frac{n_{des}}{n_s} \right) \times (100\%)$$

ECUACIÓN 3: DESLIZAMIENTO EXPRESADA EN PORCENTAJE [10]

$$s = \left(\frac{n_s - n_r}{n_s} \right) \times (100\%)$$

ECUACIÓN 4: DESLIZAMIENTO EN FUNCIÓN DE LAS VELOCIDADES [10]

En la Ecuación 4., se describe la velocidad del rotor gira igual a la velocidad sincrónica por resultado el deslizamiento $s=0$; y si el rotor está bloqueado dará como resultado un deslizamiento $s=1$. Todas las velocidades normales del motor están comprendidas entre estos dos límites (0 a 1) [10]. Es posible de esta ecuación expresar la velocidad mecánica del eje del rotor en función de la velocidad sincrónica y el deslizamiento [11]. Ver Ecuación 5:

$$s = \left(\frac{n_s - n_r}{n_s} \right)$$

$$(n_s) * (s) = \left(\frac{n_s - n_r}{n_s} \right) * (n_s)$$

$$(n_s) * (s) = (n_s - n_r)$$

$$n_r + (n_s * s) = n_s$$

$$n_r + (n_s * s) = n_s$$

$$n_r = n_s - (n_s * s)$$

$$\mathbf{n_r = n_s (1 - s)}$$

ECUACIÓN 5: VELOCIDAD MECÁNICA DEL EJE DEL ROTOR [11]

2.2.3. Frecuencia Eléctrica del Rotor

Un motor de inducción induce voltaje y corriente en el rotor, por esta razón se lo llama transformador giratorio debido a que el transformador en su devanado primario (estator) induce un voltaje en el devanado secundario (rotor), pero con la diferencia es que la frecuencia en el secundario no es necesariamente la misma frecuencia que hay en el primario [12]. Ver Tabla 1:

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LAS FRECUENCIAS EN EL ROTOR Y ESTATOR [12]

MAQUINAS ASÍNCRONAS O DE INDUCCIÓN			
<i>Devanado</i>	<i>Situación</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Tipo</i>
Inductor (Primario)	Estator	50 o 60 Hz	Bobinas en ranuras
Inducido (Secundario)	Rotor	0.5 – 5 Hz	a) Jaula de Ardilla b) Bobinas en ranura

De la Ecuación 4., se debe considerar que si se bloquea el rotor del motor de tal manera que no se pueda mover, entonces su frecuencia será igual a la del estator.

A $n_r = 0$ RPM, la frecuencia del rotor es $f_r = f_e$ y el deslizamiento es $s = 1$ [12].

Si el rotor gira a velocidad sincrónica, su frecuencia será cero [12].

A $n_r = n_s$, la frecuencia es $f_r = 0$ y el deslizamiento es $s = 0$.

En la Ecuación 6, la frecuencia de rotor puede ser expresada como:

$$f_r = s f_e$$

ECUACIÓN 6: FRECUENCIA DEL ROTOR [12]

De donde:

f_r = frecuencia del rotor.

f_e = frecuencia del estator.

En la Ecuación 7, se tiene otra forma para hallar la frecuencia del rotor es reemplazar de la Ecuación 6 el desplazamiento con la Ecuación 4 y luego se procede a reemplazar la velocidad de sincronismo n_s del denominador con la Ecuación 1.

$$f_r = \frac{P}{120} (n_s - n_r)$$

ECUACIÓN 7: FRECUENCIA DEL ROTOR EN FUNCIÓN DE LAS VELOCIDADES [12]

2.3. Conexión del Motor de Inducción

En los motores trifásicos se conectan las tres fases activas, ellos pueden ser conectados de distintos modos dependiendo de la red de alimentación que se dispone, por lo general se encuentra motores de seis terminales y se pueden conectar de dos maneras[13]:

- Conexión en estrella para altos voltajes
- Conexión en triangulo para bajos voltajes

En la Fig. 3, se presenta un motor Siemens de modelo 1LA7 080-4YA60 con la siguiente configuración de rango 220 YY – 440 Y, usado en motores IEC menores a 9 HP. Se determina la conexión estrella doble YY para menor tensión y conexión estrella Y para mayor tensión [13]. Ver Fig. 4:

Velocidad 1800 rpm, 4 polos, 60 Hz															
Código	Tipo	Frame IEC Tamaño	Potencia		F.S.	In		Eficiencia η %	Factor de potencia $\cos \phi$	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m^2	Peso kg
			HP	kW		220V A	440V A								
25000001113	1LA7 080-4YA60	80M	1	0,75	1,15	3,50	1,75	69,2	0,87	1660	4,29	1,9	3,7	0,0015	8,1

FIGURA 3: DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR 1LA7 080-4YA60 [13]

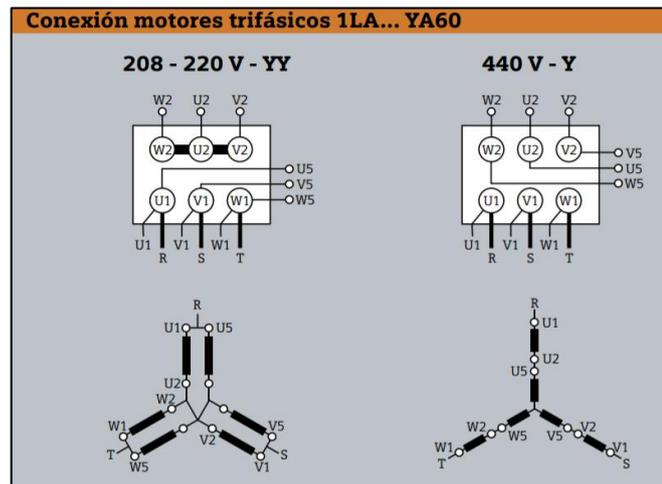


FIGURA 4: CONEXIÓN DEL MOTOR 1LA7 080-4YA60 [13]

2.4. Pruebas del Modelo Equivalente de un Motor Asíncrono.

El circuito equivalente de un motor de inducción es muy útil para determinar la respuesta del motor ante cambios en la carga. Sin embargo se requiere determinar qué valores de los elementos entrarán en el modelo equivalente [14].

Esta información se puede encontrar por medio de la realización de una serie de pruebas al motor de inducción que son análogas a las pruebas de cortocircuito y de circuito abierto en un transformador [14].

Estas pruebas se deben llevar a cabo en condiciones controladas con mucha precisión, puesto que las resistencias varían con la temperatura, mientras que la resistencia del rotor lo hace con la frecuencia del rotor [14].

Por la falta de contar con un dispositivo en la Universidad para medir la frecuencia en la prueba de corto circuito, en los cálculos para determinar parámetros se asume que $f_{cc} = f_{ca}$.

Las pruebas para hallar los parámetros del modelo equivalente de un motor asíncrono son las siguientes a realizar:

- Prueba de vacío o circuito abierto.
- Prueba de rotor bloqueado.
- Prueba de Voltaje DC.

2.4.1. Prueba de Circuito Abierto.

La prueba en vacío de un motor de inducción mide las pérdidas rotacionales del motor y brinda información sobre su corriente de magnetización[15].

El circuito de prueba se trata que el motor funcione sin carga resistente al eje del rotor. Se conecta los vatímetros, el voltímetro para ver lectura de línea a línea y tres amperímetros a cada línea del motor [15]. Ver Fig. 5 y 6.

Al no tener ningún torque resistente en el eje del rotor, la velocidad del rotor será casi la misma que la velocidad del campo eléctrico ya que el deslizamiento será el mínimo (tal vez hasta 0.001 o menos), debido a que la única carga en el motor son las pérdidas por fricción y por rozamiento con el aire [14].

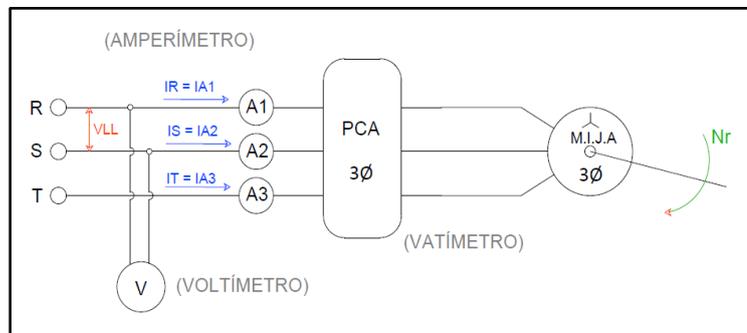


FIGURA 5: DIAGRAMA DE LA PRUEBA A VACÍO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN [15]

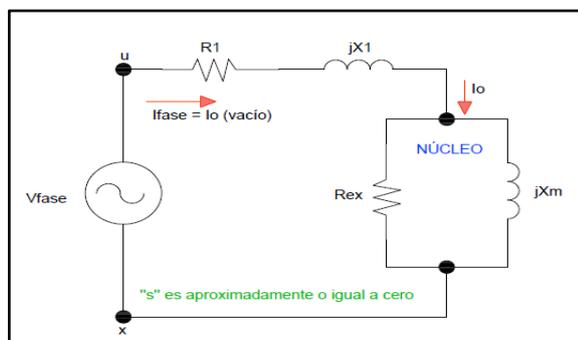


FIGURA 6: CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO [15]

Pasos:

1. Conectar el motor en conexión estrella.
2. Conectar a una fuente variable o fija de alimentación trifásica, se debe usar el voltaje nominal
3. Obtener los valores de corrientes de cada línea, voltajes entre línea, potencias promedios de las tres líneas (activas, reactiva y aparente) y factor de potencia que muestra el analizador de red.

Sirve para determinar:

- a) Impedancia de Circuito Abierto donde se tendrá la reactancia estatórica por fase \oplus Reactancia de magnetización del núcleo. Ver Ecuación 8:

$$Z_{CA} = (X_1 + jX_m) \Omega$$

ECUACIÓN 8: IMPEDANCIA DE CIRCUITO ABIERTO [15]

- b) Perdidas rotacionales del motor. Ver Ecuación 9:

$$P_{rotacionales} = P_{CA} (3\phi) - P_{cu(estator)}$$

ECUACIÓN 9: PERDIDAS ROTACIONAL DEL MOTOR [15]

2.4.2. Prueba de rotor bloqueado.

La prueba de rotor bloqueado o de corto circuito, se basa en colocar un torque resistente en el eje del motor para de esta manera evitar el movimiento del mismo ($s=1$), a continuación se inyecta voltaje por medio de una fuente variable que se va incrementando paulatinamente hasta alcanzar la corriente nominal del motor según el dato de la placa. Adicionalmente, a menos que se sostenga por un corto período el motor con su corriente máxima, la misma sobrecalentará los embobinados y comenzará a calentarse el motor.

Para la prueba se conecta los watímetros, el voltímetro para ver lectura de línea a línea y tres amperímetros al motor a cada línea y un multímetro para leer la lectura del valor de las resistencias del bobinado del motor. Ver Fig. 7 y 8.

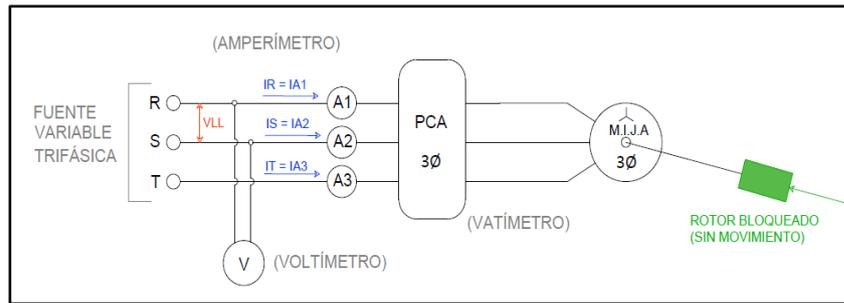


FIGURA 7: DIAGRAMA DE ROTOR BLOQUEADO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN [15]

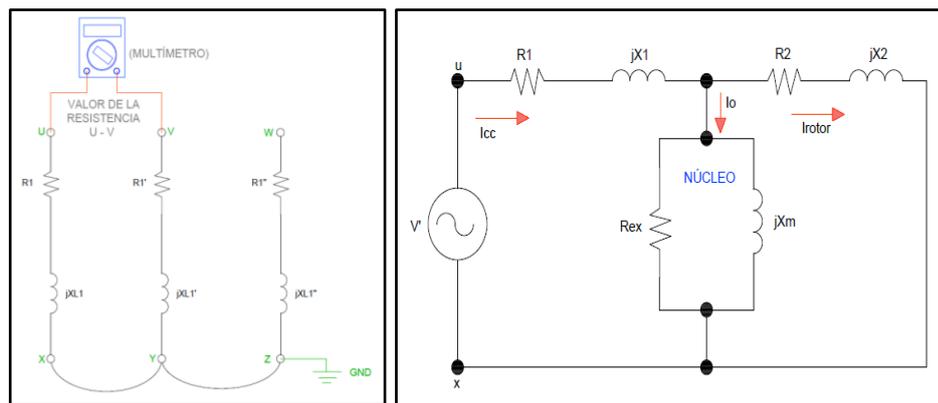


FIGURA 8: MEDICIÓN DE RESISTENCIAS Y CIRCUITO DE PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO [15]

Pasos:

1. Conectar el motor en conexión estrella.
2. Acoplar y ajustar con un freno mecánico el rotor del motor.
3. Conectar a una fuente variable o fija de alimentación trifásica.
4. Variar el voltaje hasta que llegue al valor de la corriente nominal del motor según la placa de fábrica.
5. Obtener los valores de corrientes de cada línea, voltajes entre línea, potencias promedios de las tres líneas (activas, reactiva y aparente) y factor de potencia que muestra el analizador de red.
6. Determinar a plena corriente nominal máxima el valor de las resistencias de cada bobina del motor. Ver Fig. 8.

Sirve para determinar:

- a) En la Ecuación 10, la resistencia equivalente del estator por fase y del rotor.

$$R_{CC} = R1 + R2$$

ECUACIÓN 10: RESISTENCIA EQUIVALENTE DEL ESTATOR POR FASE Y DEL ROTOR [15]

- b) La Reactancia equivalente de X_1 y X_2 . Ver Ecuación 11:

$$X_{eq} = X_{CC} \cdot \frac{f_{estator}}{f_{cc}}$$

ECUACIÓN 11: REACTANCIA EQUIVALENTE [15]

El Código de Pruebas de la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) muestra las proporciones empíricas para las reactancia de dispersión del estator y del rotor en motores de inducción en función a la reactancia equivalente con rotor bloqueado.

En estas pruebas debe considerarse la clase d el motor con el que se trabaja debido que la resistencia del rotor es variable de acuerdo al deslizamiento. Ver Tabla 2:

TABLA 2: PROPORCIONES EMPÍRICAS DE LAS REACTANCIAS DISPERSIÓN DEL MOTOR [15]

TIPO DE MOTOR	CLASE A	CLASE B	CLASE C	CLASE D	ROTOR BOBINADO
X_e	0.5 X_{cc}	0.4 X_{cc}	0.3 X_{cc}	0.5 X_{cc}	0.5 X_{cc}
X_r	0.5 X_{cc}	0.6 X_{cc}	0.7 X_{cc}	0.5 X_{cc}	0.5 X_{cc}

Tener en cuenta al momento que la clasificación del motor que se este utilizando no se conoce, se asume que $X_e = X_r = 0.5 X_{cc}$ [15].

2.4.3. Prueba de Voltaje DC.

La resistencia efectiva del estator puede determinarse alimentando con una fuente variable de corriente directa y alcanzando la corriente nominal del motor según la placa, con el fin que el bobinado de estator alcance una temperatura similar a la de régimen [16].

Para realizar esta prueba se recomienda usar mínimo dos bobinas en serie para proteger a las bobinas de daños por la corriente. Ver Fig. 9:

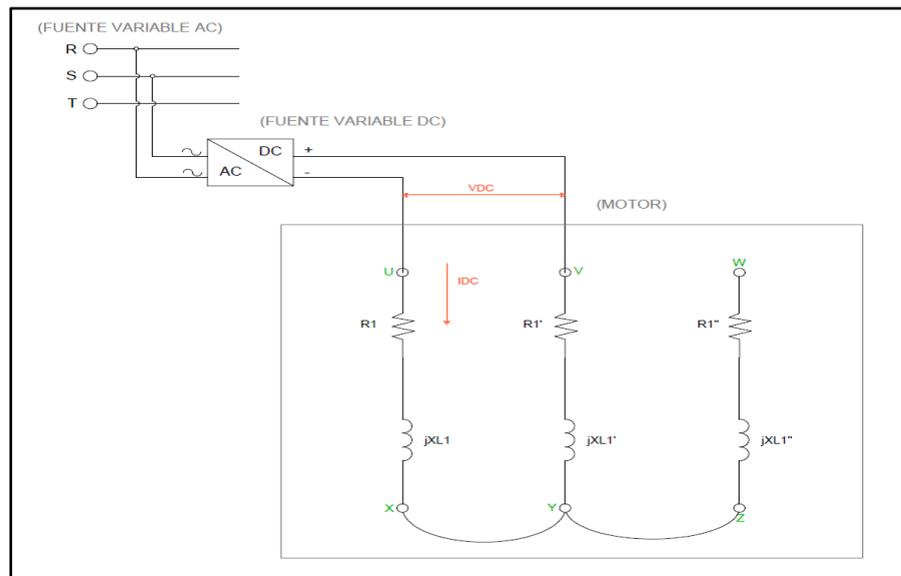


FIGURA 9: DIAGRAMA DE LA PRUEBA DC DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN [15]

Pasos:

1. Conectar dos bobinas del motor en serie (alimentando dos bobinas de la conexión estrella, se está haciendo serie dos de ellas)
2. Conectar la fuente variable de voltaje continuo en los terminales de las bobinas.
3. Incrementar el voltaje DC hasta llegar a la corriente nominal de la bobina.
4. Medir los valores de voltaje y corriente de las bobinas.

2.5. Modelado Equivalente del Motor Asíncrono.

Para su operación, los motores de inducción dependen de la inducción de voltajes y corrientes en el circuito del rotor desde el circuito del estator, el circuito equivalente será muy similar al circuito equivalente de un transformador.

Se puede deducir el circuito equivalente de un motor de inducción a partir del conocimiento de los transformadores y sobre la variación de la frecuencia del rotor con la velocidad en los motores de inducción. Ver Fig. 10.

Sea que se utiliza un motor de inducción de rotor devanado o motor de inducción rotor de jaula de ardilla, el campo magnético del estator induce en el circuito del rotor una fuerza electromotriz, quiere decir que el devanado primario es el estator y el devanado secundario es el rotor del motor [6].

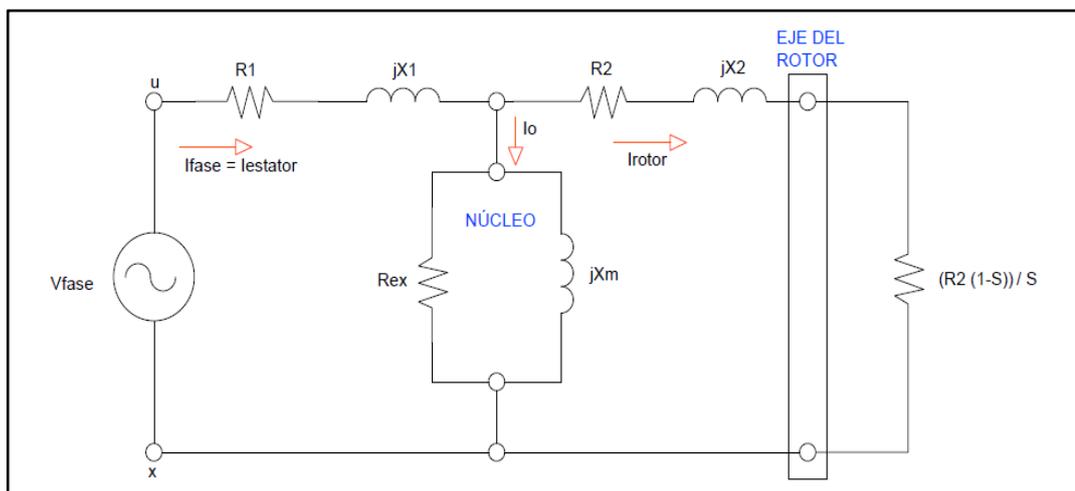


FIGURA 10: CIRCUITO EQUIVALENTE MONOFÁSICO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN. [15]

En la Tabla 3 mostrará los parámetros del circuito equivalente con sus respectivas unidades:

TABLA 3: PARÁMETROS DEL MODELO ESQUEMÁTICO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN [16]

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
R1	resistencia del bobinado del estator	(Ohm/fase).
X1	reactancia de dispersión del estator	(Ohm/fase).
R2	resistencia del bobinado del rotor	(Ohm/fase)
X2	reactancia de dispersión del rotor	(Ohm/fase)
Rex	resistencia de pérdida en el hierro	(Ohm/fase)
Xm	Reactancia de magnetización	(Ohm/fase)
Vfase	Tensión aplicada por fase	Voltios
Ee	F.e.m inducida en el estator por fase	Voltios
Er	F.e.m inducida en el rotor por fase	Voltios
Ifase (estator)	Corriente de fase del estator	Amperios
Irotor	Corriente de fase del rotor	Amperios
Io	Corriente de fase de vacío	Amperios

2.6. Descripción y Datos Técnicos de los Elementos y Equipos.

2.6.1 Controlador Lógico Programable (PLC): En la Fig. 11, se describe a este dispositivo electrónico que puede programar para accionar a otros componentes, ejecutar aplicaciones y poder resolver los requerimientos de control de procesos de sectores industriales y/o comerciales. En la Tabla 4 se muestra las diferentes características técnicas del equipo [17]:



FIGURA 11: CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE S7 – 1200 DC/DC/DC [18]

TABLA 4: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PLC S7-1200 [18]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	Siemens
Modelo:	CPU 1214C DC/DC/DC
Alimentación:	110/220 VAC
Entradas Digitales:	8 DI de 24 VDC
Salidas tipo relé:	6 DO conmuta 2A con voltaje de 30VDC y 250 VAC
Entradas Analógicas:	2 AI de 0 a 10 VDC

2.6.2. Tarjeta de salida analógica (Signal Board): En la Fig. 12, se muestra a la placa de señal que va conectadas directamente a la parte frontal de la CPU. En la Tabla 5 se muestra las diferentes características técnicas del equipo:



FIGURA 12: SIGNAL BOARD 6ES7232-4HA30-0XB0 [19]

TABLA 5: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SIGNAL BOARD [19]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	Siemens
Modelo:	6ES7232-4HA30-0XB0
Intensidad de Alimentación:	25 mA
Número de salidas analógicas:	1
Número de salidas analógicas:	0

2.63. Módulo de Comunicación CM1241 RS422-485: En la Fig. 13, se presenta al módulo de comunicación de Siemens que permite la comunicación R485 al controlador lógico programable S7-1200. La conexión se realiza mediante un conector de 9 pines [20]. En la Tabla 6 se muestra las diferentes características técnicas del equipo:



FIGURA 13: MÓDULO DE COMUNICACIÓN 6ES7241-1CH31-0XB0 [20]

TABLA 6: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO DE COMUNICACIÓN [20]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	Siemens
Tipo del Producto:	CM 1241 RS422/485
Valor Nominal DC:	24 VDC
Intensidad de Entrada:	240 mA
Número de Interfases:	1
Dimensiones:	30 x 100 x 50 mm

2.6.4. Pulsadores: En la Fig. 14, se observa al elemento eléctrico que permite el paso o interrupción de la corriente mientras esté presionado o accionado, y cuando deja de presionarse este vuelve a su estado original o de reposo. En la Tabla 7 se muestra las diferentes características técnicas del equipo:



FIGURA 14: PULSANTE LAB16S [AUTORES]

TABLA 7 : CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS PULSADORES [21]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	Camsco
Dimensiones:	16 mm
Capacidad a soportar máxima:	5 Amperios
Señal a controlar:	250 VAC
Terminales:	NO, NC y C
Modelo:	LAB16S
Color:	Verde
Durabilidad Mecánica (veces):	1.000.000

2.6.5. Luz Piloto: En la Fig. 15, se muestra que el elemento posee una luz led que indica la existencia de una condición normal de un sistema eléctrico. En la Tabla 8 se muestra las diferentes características técnicas del equipo:



FIGURA 15: LUZ PILOTO AD212 / AD210 [AUTORES]

TABLA 8 : CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS LUCES PILOTO.[21]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	Camsco
Dimensiones:	12 mm , 10 mm
Tipo:	Led
Voltaje:	24 V AC/DC
Modelo:	AD212, AD210
Color :	Rojo

2.6.6. Selectores: En la Fig. 16, se describe a un elemento eléctrico rotativo que tiene la función de abrir o cerrar contactos de acuerdo a una posición seleccionada de manera manual. En la Tabla 9 se muestra las diferentes características técnicas del equipo:



FIGURA 16: SELECTOR DE DOS POSICIONES LAS16-2 [AUTORES]

TABLA 9: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS SELECTORES [21]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	Camsco
Dimensiones:	16 mm
Capacidad a soportar máxima:	5 Amperios
Señal a controlar:	250 VAC
Terminales:	NO, NC y C
Modelo:	LAS16-2
Descripción:	90° , 2 posiciones

2.6.7. Tarjeta reguladora de voltaje: En la Fig. 17, se presenta un tipo de tarjeta que tendrá la finalidad de regular la tensión de manera constante. En la Tabla 10 se muestra los diferentes elementos que se implementaron:

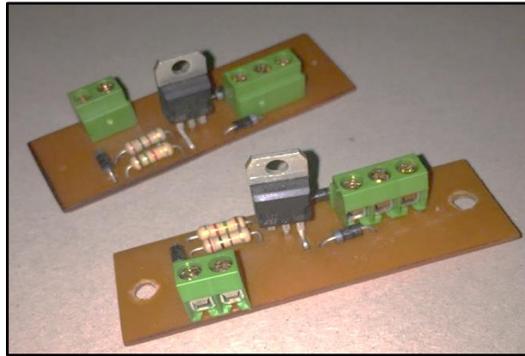


FIGURA 17: TARJETA ELECTRÓNICA REGULADORA DE VOLTAJE [AUTORES]

TABLA 10: ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA TARJETA REGULADORA DE VOLTAJE. [AUTORES]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Dimensiones:	7 x 3 cm
DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Diodos rectificadores 1 A	3
Resistencia de 200 ohm	1
Resistencia de 1500 ohm	1
Integrado LM317T	1
Bornera de 2 terminales	1
Bornera de 3 terminales	1

2.6.8. Tarjeta Porta Fusible: En la Fig. 18, se muestra un tipo de tarjeta que ofrece seguridad conformado por fusibles para prevenir daños por exceso de corriente dentro del circuito eléctrico o para la protección general de equipos eléctricos o electrónicos. En la Tabla 11 se muestra los diferentes elementos que se implementaron:

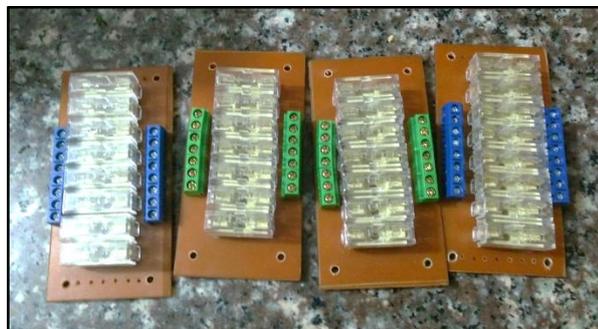


FIGURA 18: TARJETAS ELECTRÓNICAS PORTA FUSIBLES [AUTORES]

TABLA 11 : ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA TARJETA PORTA FUSIBLE [AUTORES]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Dimensiones:	9 x 5 cm
DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Fusibles	10
Bornera de 2 terminales	2
Bornera de 3 terminales	2

2.6.9. Fuente Variable: En la Fig. 19, se observa una fuente de energía que convierte la electricidad de un voltaje de corriente alterna a un voltaje de corriente directa. En la Tabla 12 se muestra las diferentes características técnicas del equipo:



FIGURA 19: FUENTE VARIABLE IDR-60-24 VDC [AUTORES]

TABLA 12 : CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA FUENTE VARIABLE

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	qwifm
Modelo:	IDR-60-24
Alimentación de Entrada:	100 - 240 VAC
Alimentación de Salida:	24 VDC , 2.5 A
Dimensiones	78 x 92 x 56 mm
Temperatura de trabajo:	0 °C a 45 °C
<u>LED que muestra el estado de funcionamiento</u>	

2.6.10. Voltímetro Analógico: En la Fig. 20, se presenta un instrumento de medición que sirve para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico (positivo y negativo). En la Tabla 13 se muestra las diferentes características técnicas del equipo:



FIGURA 20: VOLTÍMETRO ANALÓGICO CP-48 DE 30 VDC [AUTORES]

TABLA 13 : CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL VOLTÍMETRO ANALÓGICO. [21]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	Camsco
Tipo:	CP-48
Rango de voltaje:	0 - 30 VDC
Movimiento:	Bobina móvil
Escala:	90 grados
Rango de temperatura:	-10 °C, +50 °C

2.6.11. Bobina de Relé: En la Fig. 21, se observa un elemento eléctrico que permite abrir o cerrar contactos mediante un electroimán, es decir funcionan como un interruptor que abren y cierran el paso de la corriente pero accionado eléctricamente. En la Tabla 14 se muestra las diferentes características técnicas del equipo:



FIGURA 21: BOBINA DE RELÉ LY2 DE 24 VDC [AUTORES]

TABLA 14 : CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BOBINA DEL RELÉ [21]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	Camsco
Modelo:	LY2
Capacidad del contacto:	28 VDC , 220 VAC
Voltaje de la bobina:	24 VDC
Durabilidad Mecánica (veces):	1.000.000
Durabilidad Eléctrica:	1.000
Resistencia Dieléctrica:	1500 VAC / 50 - 60 HZ

2.6.12. Zócalo de Relé: En la Fig. 22, se muestra un elemento adaptable a la bobina del relé y poder realizar las conexiones necesarias según el sistema, estos elementos depende del número de pines del relé. En la Tabla 15 se muestra las diferentes características técnicas del equipo:



FIGURA 22: ZÓCALO DEL RELÉ PTF-08AE [AUTORES]

TABLA 15 : CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ZÓCALO DEL RELÉ [21]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	Camsco
Tipo:	PTF-08AE
Terminales Hembra :	Tornillo
Número de Pines	8
Corriente Nominal:	15 A
Tensión Nominal:	110 VAC
Rango del Producto:	LY Series

2.6.13. Bornera o Terminal: En la Fig. 23, se demuestra un elemento que se pueden unir uno más cables de conexión según el diseño eléctrico, tan solo se aprieta un tornillo en cada uno de sus extremos. En la Tabla 16 se muestra las diferentes características técnicas del equipo [22]:

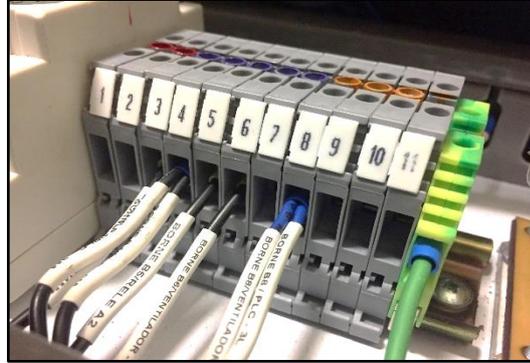


FIGURA 23: BORNERA ABB [AUTORES]

TABLA 16 : CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BORNERA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	ABB
Sección Transversal:	4mm ²
Tipo de conexión:	Abrazadera de tornillo
Intensidad nominal:	32 A
Tensión nominal :	100 V
Anchura:	5.2 mm

2.6.14. Jacks Banana: En la Fig. 24, se presenta un tipo conector hembra eléctrico de un solo conductor por medio de un conector tipo macho. En la Tabla 17 se muestra las diferentes características técnicas del equipo [23]:



FIGURA 24: JACK BANANA [AUTORES]

TABLA 17 : CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS JACKS BANANA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca:	KSSTCONNECT
Modelo:	PS301
Dimensión:	4 mm
Colores:	negro, blanco, azul, verde y rojo
Voltaje Máximo:	1000 V
Corriente Máxima:	32 A
Categoría de Sobretensión:	CAT III

2.7. Sistemas Numéricos para los PLC

Los sistemas numéricos son un grupo de reglas, normas y convenios que permiten realizar una representación de todos los números naturales, por medio de un grupo amplio de símbolos básicos y que está definido por la base que utiliza [24].

Entre las principales características se puede mencionar las siguientes [24]:

- Cada sistema numérico se caracteriza por su base.
- Los sistemas numéricos tienen una base o conjunto de símbolos que permiten representar las diferentes cantidades numéricas.
- Tienen una cifra o cantidad que es formada por la yuxtaposición de los diferentes elementos.
- Cada elemento dentro del sistema numérico tiene un valor ponderado.
- El número 0 expresa o denota la ausencia de una cantidad determinada.
- Es un sistema posicional.
- Están compuestos por dígitos.

2.7.1. Sistema Numérico Hexadecimal

El sistema hexadecimal es el que emplea la base 16, por lo que tiene 16 posibles combinaciones digitales. Usa los dígitos 0 al 9, además de las letras A hasta la F como sus 16 símbolos digitales. Cada uno de estos dígitos hexadecimales representa a un grupo de cuatro dígitos binarios. Recordar que los dígitos hexadecimales de A a F representan los valores decimales de 10 a 15 [25].

Las constantes del programa se visualizan como números decimales, a menos que se utilice un identificador de formato [26].

Ejemplos:

Constante decimal 20047

Constante hexadecimal 16#4E4F

Formato binario 2#1010_0101_1010_0101

comprensión, cambio de modelo de los seguros del maletín, diseño de la tapa porta cable del maletín y cambio de elementos debido a sus dimensiones; en la Fig. 27 se presenta la estructura definitiva del maletín didáctico.



FIGURA 27: ESTRUCTURA METÁLICA DEL MALETÍN DIDÁCTICO [AUTORES]

3.2. Diseño de distribución interna de los elementos del Maletín.

Para realizar el diseño de la puesta de elementos se realizó dos prototipos en que se tomó a consideración fueron los espacios entre los elementos, la forma de la canaletas con el objetivo que se vea estético y de una mejor distribución para los futuros mantenimientos. En la Fig.28, se demuestra el diseño que consiste en colocar un cuadrante de canaletas y colocarlas alrededor del plafón formando un marco entre ellas, luego tomando en consideración que las dimensiones del PLC y los relés dentro del plafón donde se colocará una canaleta a lo largo del mismo de manera recta entre los dos laterales pequeños, al colocarla se obtiene dos espacios en los cuales se implementará:

- En la parte superior se colocara un riel DIN (Instituto Alemán de Normalización) para realizar el montaje de los elementos, tomando en consideración que el PLC quede centrado y poder cablearlo sin inconvenientes y dejando el espacio para el porta fusible ya que este no va montado en el riel. Se colocó primero el PLC S7-200 seguido por la fuente de 24 VDC entre ellas se colocan toques plásticos para poderlas tener fijas y no se muevan; seguido de las borneras que servirán para la conexión dentro del maletín adjuntando una bornera de tierra y por último se coloca al porta fusible centrado.

- En la parte inferior por consiguiente se pondrá un riel tomando en consideración que los diez relés queden centrados y dejando el espacio para la segunda porta fusible. Primero se coloca la tarjeta porta fusible centrada con la finalidad de proteger las salidas del PLC, seguido se realiza el montaje de los relés en la riel y se coloca un tope plástico para sostenerlos a presión.

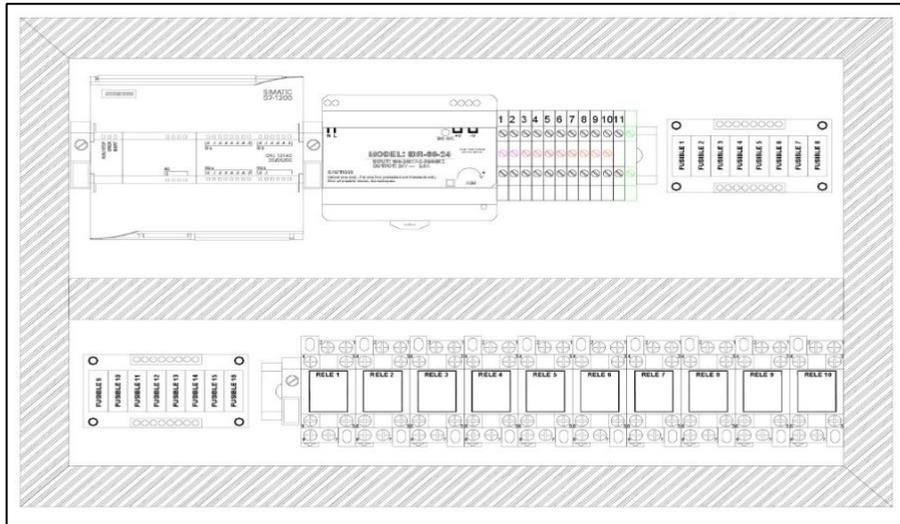


FIGURA 28: DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS INTERNOS [AUTORES]

3.3. Diseño de la lámina de jacks banana para toma de señales.

La tapa móvil del maletín didáctico consta de varias secciones según la funcionalidad que tendrán y con la finalidad de mayor entendimiento, estética para el aprendizaje del estudiante. Ver la Fig. 29:

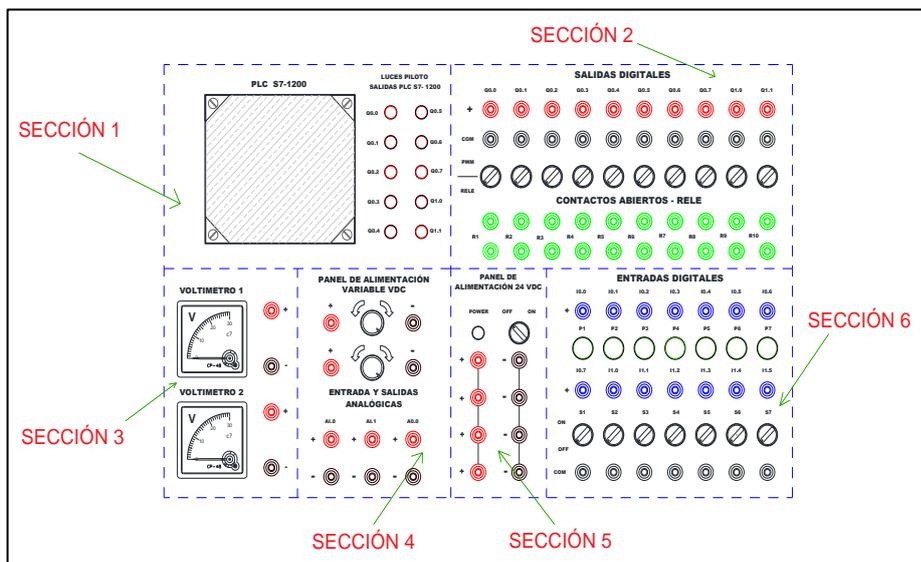


FIGURA 29: SECCIONES DE LA LÁMINA DE JACKS BANANA [AUTORES]

- La primera sección se observa un acrílico que permite la vista del PLC S7-1200 y consta de diez luces piloto de 12 mm que indican en su encendido la activación de las salidas del PLC con una nomenclatura Q0.0 al Q0.7 y del Q1.0 al Q1.1.
- La segunda sección está conformada por diez selectores de dos posiciones que escogerán el funcionamiento de las salidas digitales del PLC y veinte jacks (10 jacks rojos para el positivo y 10 jacks blancos para representar el común), el que servirá para la toma de señales de las salidas y por último veinte jacks verdes para representar los relés con nomenclatura R1 hasta R10 que servirá para contactos abiertos del relé.
- La tercera sección se demuestra dos voltímetros analógicos con rango de medición de 0 – 30 VDC; adicionalmente cada voltímetro tiene un jack rojo indicando el positivo y un jack negro para el negativo.
- La cuarta sección se ubica el panel de alimentación variable DC que consta de dos potenciómetros, cada uno de ellos consta de una tarjeta reguladora de voltaje con un rango de 0 – 10 VDC. Consta cada uno de un jack rojo y un jack negro que son los que entregan el voltaje que regule la tarjeta. Adicionalmente tiene tres jacks rojos y tres jacks negros cada uno representa positivo y negativo respectivamente de las entradas y salidas analógicas que en su interior están conectadas a los terminales del PLC S7-200. La nomenclatura de la entrada analógica es AI.0 y AI.1 y la salida analógica es AO.0.
- La quinta sección se presenta un panel de alimentación de 24 VDC que consta de una luz piloto de 10 mm que indica el encendido del panel por medio de un selector de dos posiciones que encenderá o apagará esta sección. Adicional 4 jacks rojos y 4 jacks negros que representan al positivo y común respectivamente los cuales se obtendrá los 24 VDC.
- La sexta sección se observa 14 jacks azules que representan una señal positiva de las entradas digitales, su nomenclatura es de I0.0 hasta I0.7 y I1.0 hasta I1.5; también consta de 7 pulsadores verdes con una nomenclatura P1 hasta P7, en la parte inferior consta de 7 selectores de dos posiciones con la nomenclatura de S1 hasta S7 y por último 14 jacks blancos que representan al común.

3.4. Secuencia de construcción del gabinete metálico del maletín.

La empresa TABLICÓN S.A. se encargó de cortar el material y el ensamblaje del mismo (carcaza) en base al diseño en AutoCAD elaborado por los autores en este proyecto, ver Anexo 12,13 y 19.

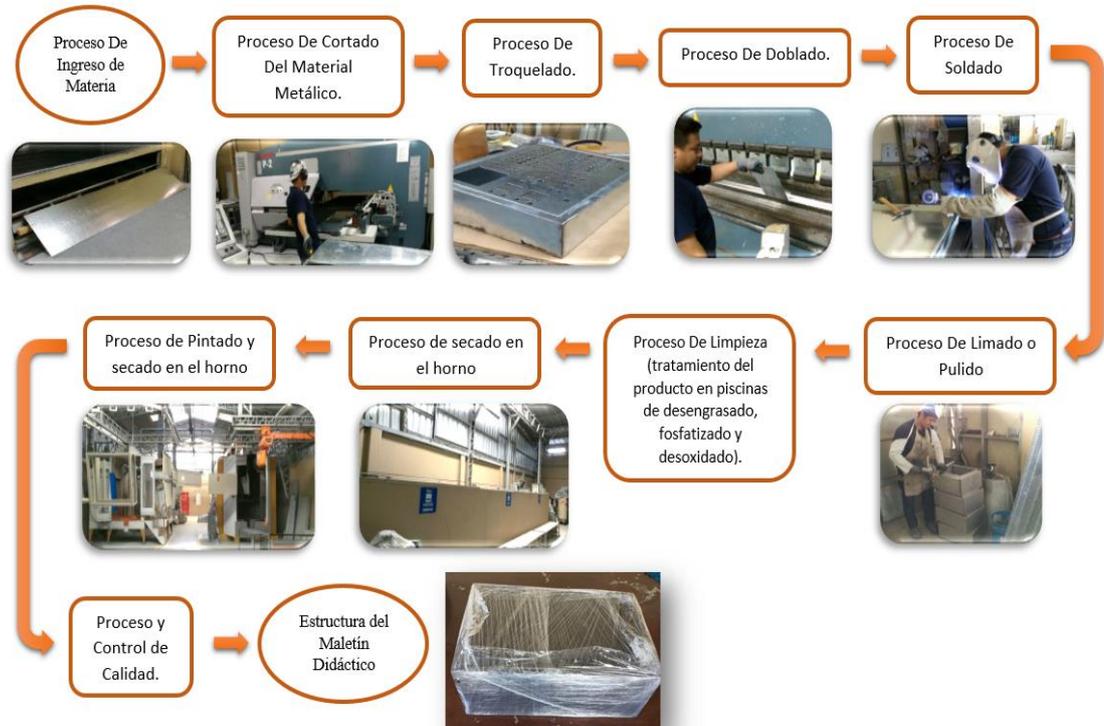


FIGURA 30: FLUJOGRAMA DE LOS PROCESOS MECÁNICOS DE LA ESTRUCTURA DEL MALETÍN [TABLICÓN SA]

3.5. Secuencia de montaje de elementos en la lámina de jacks.

La lámina a utilizar es de material ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) plástico color blanco y tiene encima una capa fina de pintura negra; sus perforaciones deben coincidir con la parte metálica de la tapa móvil, ver Fig.31:



FIGURA 31: COLOCACIÓN DE LA LÁMINA ABS Y LA TAPA METÁLICA MOVIL [AUTORES]

En las Figs. 32 – 35, se visualiza que para realizar el montaje de los elementos se unirán la lámina plástica con la tapa metálica móvil y se introducirán los elementos por su perforación indicada según el diseño. Al colocar lo elementos se ajusta las arandelas cuadradas o circulares según sea el elemento para hacer presión y evitar que se mueva o quede flojo.

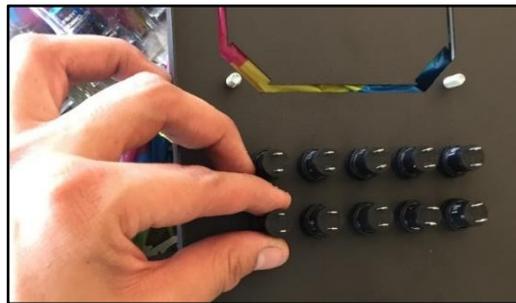


FIGURA 32: COLOCACIÓN DE LUCES PILOTO [AUTORES]



FIGURA 33: COLOCACIÓN DE SELECTORES DE DOS POSICIONES [AUTORES]

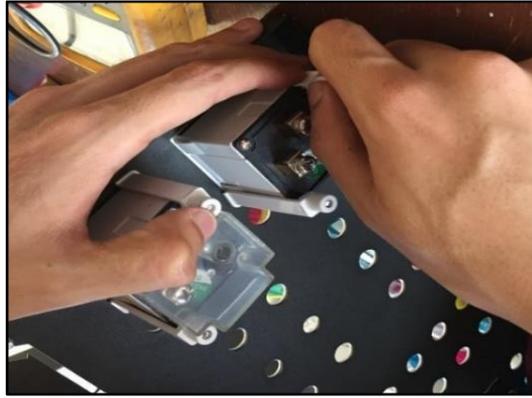


FIGURA 34: COLOCACIÓN DE LOS VOLTÍMETROS ANALÓGICOS [AUTORES]



FIGURA 35: COLOCACIÓN DE JACKS BANANA [AUTORES]

En la tapa móvil de conexión se ejecutará el cableado con los terminales de las entradas y salidas del PLC S7-1200, se conectará los voltímetros y otros elementos según sea el diseño eléctrico. Seguir el color de los jacks bananas según el diseño establecido para diferenciar entre las entradas y salidas sea analógicas o digitales. En la Fig. 36, se observa la tapa móvil terminada la colocación de los elementos antes mencionados.

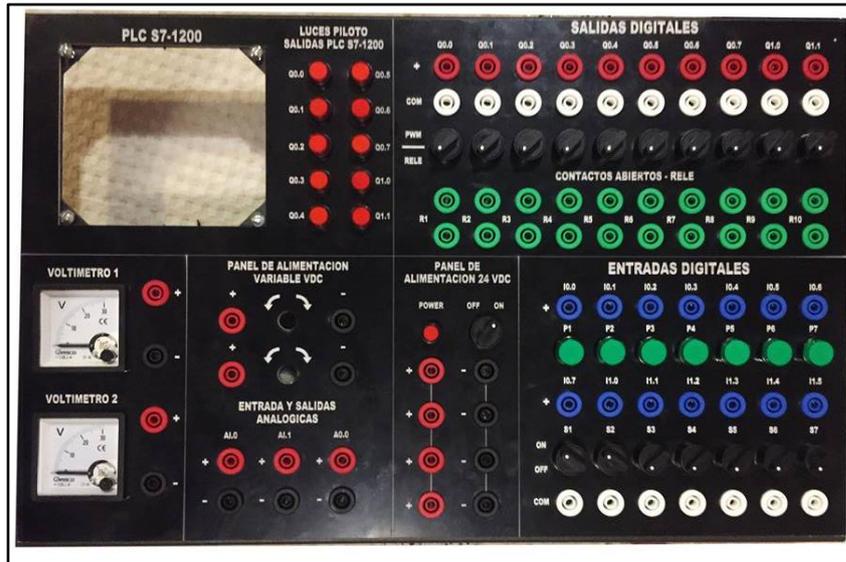


FIGURA 36: COLOCACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN TAPA MÓVIL [AUTORES]

3.6. Secuencia de la implementación de los equipos externos en el Maletín antes del cableado.

Se debe realizar la implementación de los elementos externos que van situados en la parte lateral y posterior de la estructura del maletín. En la Fig. 37, se colocaron dos ventiladores plásticos de 12 VDC con el objetivo de mantener a los equipos en temperatura normal y evitar sobrecalentamiento que perjudicaría su vida útil, se los ajustan con sus respectivas arandelas, pernos largos y tuercas para sujetarlos y evitar movimiento.

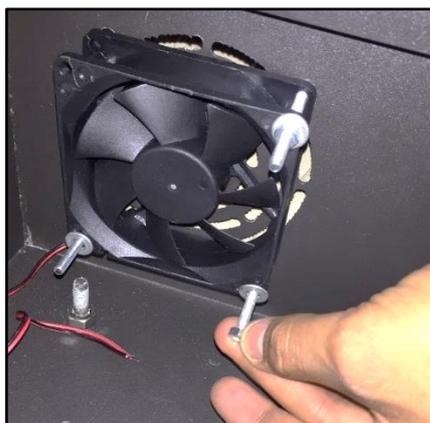


FIGURA 37: COLOCACIÓN DE LOS VENTILADORES [AUTORES]

En la parte lateral del maletín se colocan a presión el interruptor basculante luminoso rojo, el jack RJ45 hembra categoría 5e y la base de enchufe de 120 voltios para posteriormente conectarlos internamente según el diagrama eléctrico. Ver Fig. 38:



FIGURA 38: COLOCACIÓN DEL ENCHUFE, JACK RJ45 E INTERRUPTOR [AUTORES]

3.7. Secuencia de montaje de base de plafón del maletín.

Se implementa el armado de las canaletas formando un marco alrededor del plafón, se corta la canaleta en cuatro pedazos de las siguientes medidas: dos pedazos de 45 cm y dos pedazos de 30 cm, en cada extremo de los pedazos de canaleta se realizara un corte a 45° y formar el marco requerido. Ver Fig. 39-40:

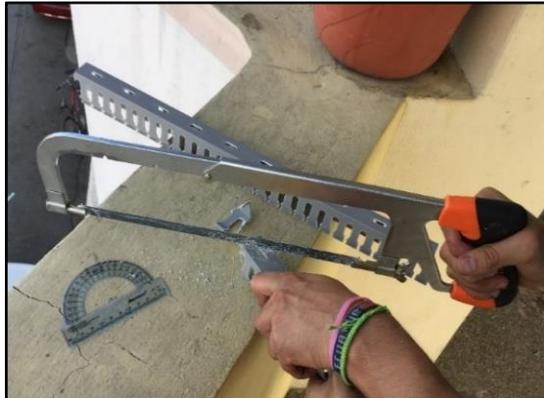


FIGURA 39: CORTE A 45 ° EN LOS EXTREMOS DE LAS CANALETAS [AUTORES]



FIGURA 40: MARCO FORMADO DE CANALETAS [AUTORES]

En la Fig. 41, se observa la canaleta que va dentro del marco, se debe tomar en cuenta las medidas de los elementos como el controlador lógico programable que posee mayor dimensión de alto por ende se debe medir 14 cm desde el interior, el otro espacio

inferior tendrá aproximadamente 9.5 cm. En el espacio superior se centra un riel de 32 cm de izquierda a derecha y en el espacio inferior se coloca un riel de 28 cm de derecha a izquierda.



FIGURA 41: MEDICIÓN DE LAS DIFERENTES MEDIDAS DE LA RIEL DIN [AUTORES]

Se realiza con el riel los cortes necesarios que se debe colocar, también limarlos en sus extremos y ajustarlo con el plafón para poder realizar el montaje de los elementos; se observar en la Fig. 42.



FIGURA 42 : COLOCACIÓN DEL RIEL DIN [AUTORES]

3.8. Secuencia del montaje de elementos internos en el plafón.

En la Fig. 43, se procede a colocar los elementos en el plafón, en la parte superior se comienza a colocar el PLC S7-1200, luego el tope plástico para la separación de la fuente de voltaje de 24 VDC, seguido de once borneras para conectar entradas y salidas exteriores al cableado interno.

En la parte inferior se coloca los diez relés y por ultimo para ejercer presión entre ellos se coloca un tope plástico.

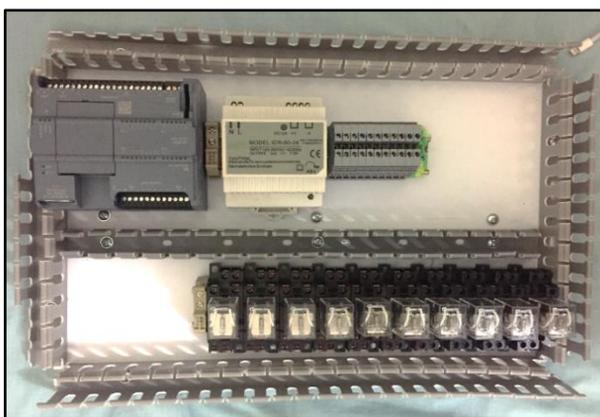


FIGURA 43: MONTAJE DE EQUIPOS INTERNOS EN EL PLAFÓN [AUTORES]

Las canaletas en ciertas partes obstruyen el paso de otros elementos como son los ventiladores, Jack hembra RJ45, cables entre otros se debe romper algunas ranuras de la canaleta para prevenir algún congestionamiento entre elementos. Ver Fig. 44:

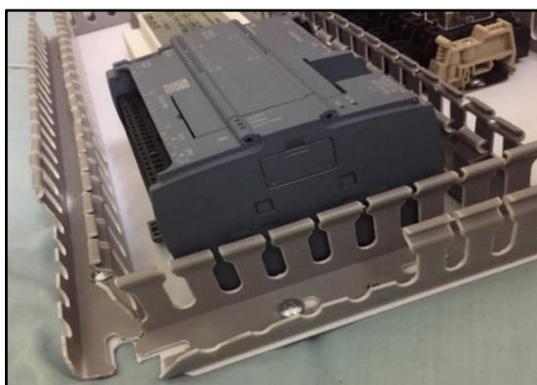


FIGURA 44: CANALETAS CORTADAS PARA EL PASO DE LOS OTROS EQUIPOS [AUTORES]

En los espacios vacíos que sobra en ambas partes del plafón, se colocará dos porta fusible utilizando dos baquelitas de dimensiones 9 x 5 cm, ver Fig. 45. Implementando una plantilla de la pista del circuito a utilizar se procede hacer las perforaciones.

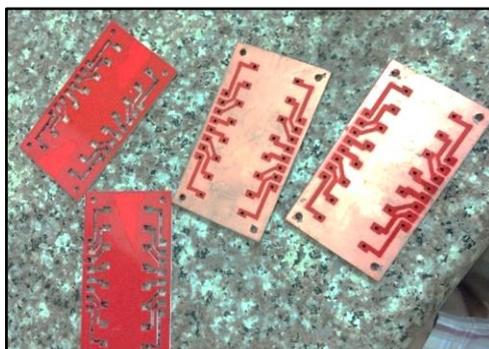


FIGURA 45: PISTAS REMARCADAS EN LAS BAQUELITAS [AUTORES]

En las Figs. 46 y 47, se procede a sacar el cobre de las baquelitas colocándolas en un recipiente mezclando percloruro de sodio y agua destilada caliente. La baquelita se tornará rosa y el resaltarán las pistas marcadas por el spray de pintura negra.



FIGURA 46: BAQUELITAS SUMERGIDAS EN PERCLORURO DE SODIO [AUTORES]

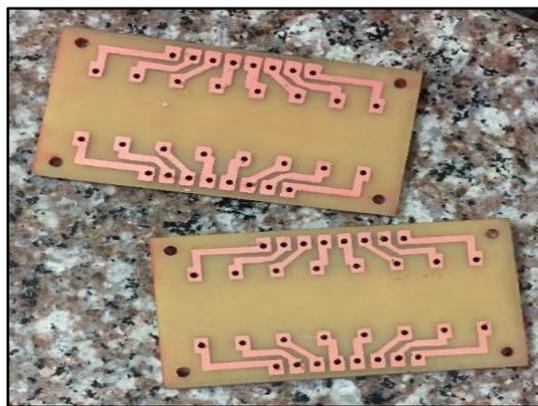


FIGURA 47: BAQUELITAS CON EL DISEÑO DE PISTAS DE COBRE [AUTORES]

Se realiza el proceso de soldar los fusibles y borneras en las baquelitas, por recomendación se mide continuidad en los puntos de cobre para asegurar continuidad entre los elementos, ver Fig. 48:



FIGURA 48: PROCESO DE SOLDAR LOS ELEMENTOS EN LA BAQUELITA [AUTORES]

Se las colocan centradas de manera que facilite su cableado y pueda pasar los pernos debajo de la baquelita con sus respectivos acrílicos para su protección, ver Fig. 49:

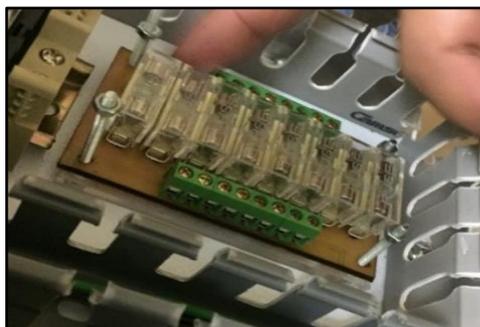


FIGURA 49: COLOCACIÓN DE LA TARJETA PORTA FUSIBLE [AUTORES]

3.9. Secuencia de cableado de equipos y elementos del maletín.

Para realizar el cableado se utiliza un cable azul # 22 AWG (calibre de alambre estadounidense) para representar las líneas conectadas al terminal positivo, y cable negro # 22 AWG para representar la conexión al terminal negativo. Para realizar el cableado se tendrá diferentes tipos de terminales como son los terminales faston desnudos, terminales aislados tipo tubular y terminal aislado tipo ojo; donde se utilizarán diferentes herramientas para el ponchado. Observar las Figs. 50 y 51:



FIGURA 50: PINZA PONCHADORA DE PUNTERAS PARA TERMINALES TIPO TUBULAR [AUTORES]

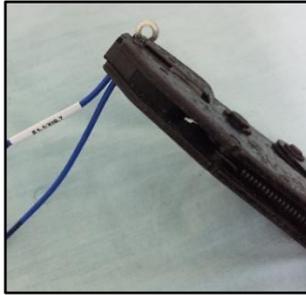


FIGURA 51: PINZA PARA PONCHAR TERMINALES TIPO OJO CON AISLANTE [AUTORES]

En la Figs. 52 y 53, se muestra que para poder identificar los cables se coloca marquillas plásticas termoencogibles donde indicaran con una nomenclatura que es lo que conecta dicho conductor, también para forrar los terminales desnudo se utilizó aislante negro Termoencogible.

Se realizó el proceso del cableado desde la tapa móvil hacia el interior de la estructura donde están los elementos montados en el plafón.

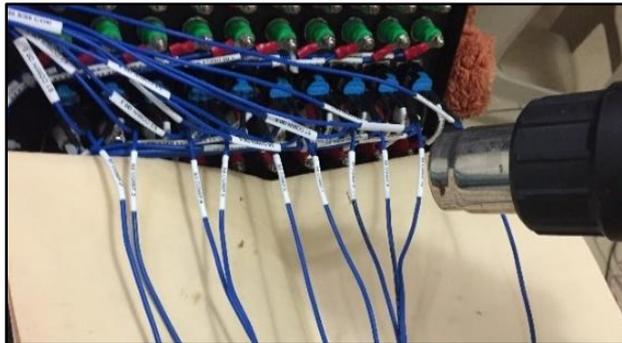


FIGURA 52: PISTOLA DE CALOR PARA MARQUILLAS TERMOENCOGIBLES [AUTORES]



FIGURA 53: CABLEADO DE LA TAPA MOVIL DE CONEXIÓN [AUTORES]

Se procede a cablear los voltímetros, luces piloto, jacks y selectores al terminar se ajusta la tapa con la estructura fija del maletín; se debe dejar unos metros de cable de más cuando se conecta los elementos de la tapa móvil para poder peinar los cables de manera ordenada dentro de las canaletas en un recorrido establecido, ver Figs. 54 y 55 a continuación:



FIGURA 54 : CABLEADO DE LA TAPA MÓVIL HACIA LA PARTE INTERNA DEL MALETÍN [AUTORES]

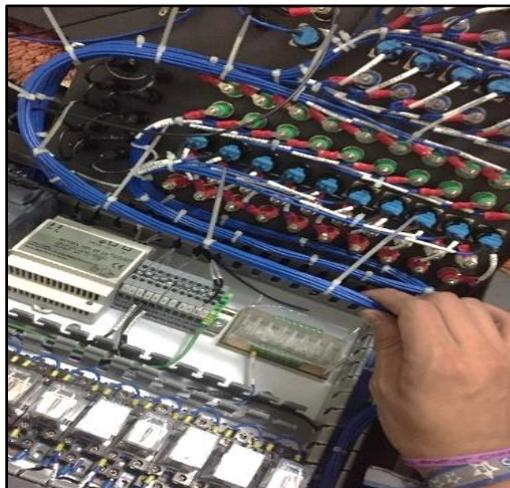


FIGURA 55: COLOCACIÓN DE AMARRAS PLÁSTICAS EN LAS CONEXIONES [AUTORES]

En la Fig. 56, se procede a colocar las tarjetas reguladoras de voltaje de 7 x 3 cm junto a los potenciómetros de un 1 K Ω , cada uno se los coloca de la mejor manera para facilitar el cableado y se los suelda para poder cablear a las borneras de la tarjeta electrónica.

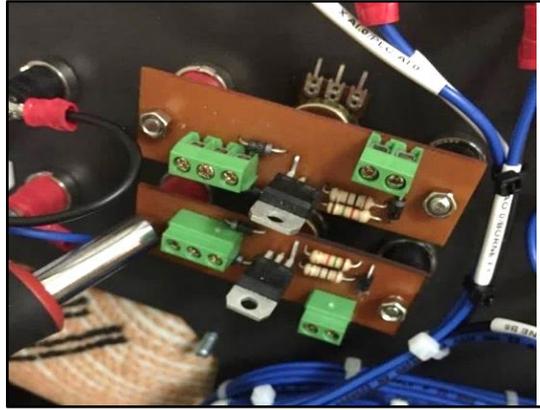


FIGURA 56: COLOCACIÓN DE TARJETAS REGULADORAS DE VOLTAJE [AUTORES]

Se colocan las tapas de canaletas y espiral a los cables internos para ajustar de mejor manera los cables que pasan de la tapa móvil hacia la estructura interna, se le añaden stickers de información a los fusibles y relés para una mejor apreciación interna del módulo didáctico, ver Fig. 57:



FIGURA 57: CABLEADO INTERNO DEL MALETÍN DIDÁCTICO [AUTORES]

Para comprobar su funcionamiento se procede a energizar el módulo para apreciar su funcionamiento en general; al encenderlo, automáticamente encenderán los ventiladores al igual que el PLC S7-1200, al presionar los pulsantes o selectores deberán encender del PLC sus entradas y salidas respectivamente, también se debe comprobar la salida de voltaje de 10 VDC en las borneras usando el potenciómetro, ver Fig. 58:



FIGURA 58: ENCENDIDO Y COMPROBACION DEL MALETÍN [AUTORES]

3.10. Secuencia de implementación de últimos elementos externo.

En la Fig. 59, se muestra la sobretapa de la estructura del maletín didáctico, en su parte interna donde se coloca una placa de aluminio con acabado de resina y debajo una placa ABS color amarilla donde se encontrará información de los elementos y del módulo.

En la parte derecha y centrada con respecto a ambas placas, se ajusta la porta cable donde se pondrán cables como el de alimentación, puerto de conexión Ethernet.



FIGURA 59: COLOCACIÓN DE CUADROS DE INFORMACIÓN Y PORTA CABLES [AUTORES]

En la parte exterior del maletín didáctico como últimos detalles se colocan la agarradera de acero, las abrazaderas de palanca y esquineros plásticos negros. Ver Figs. 60 y 61:



FIGURA 60: COLOCACIÓN DE ABRAZADERAS Y AGARRADERAS DEL MALETÍN [AUTORES]



FIGURA 61: COLOCACIÓN DE ESQUINEROS PLASTICOS [AUTORES]

3.11. Inventario de equipos y elementos que conforman el maletín didáctico de automatización.

TABLA 18: LISTA DE MATERIALES PARA EL CABLEADO, MONTAJE E IMPLEMENTACIÓN [AUTORES]

ELEMENTOS PARA CABLEADO, MONTAJE E IMPLEMENTACIÓN			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
<i>1</i>	Cable Flexible AWG # 22 color azul	20	m
<i>2</i>	Cable Flexible AWG # 22 color negro	20	m
<i>3</i>	Riel DIN de 35 mm	1	m
<i>4</i>	Canaleta Ranurada PVC de 25 x 40 cm	2	m
<i>5</i>	Aislante negro Termoencogible	3	m
<i>6</i>	Tubo espiral transparente # 12	6	m
<i>7</i>	Marquilla Termoencogible	100	u
<i>8</i>	Soporte para amarras plásticas	10	u
<i>9</i>	Amarras plásticas transparentes pequeña	100	u
<i>10</i>	Estructura metálica del maletín didáctico	1	u
<i>11</i>	Lámina plástica ABS color negra serigrafiada	1	u

TABLA 19: LISTA DE ELEMENTOS DE LA TAPA MÓVIL DE CONEXIÓN [AUTORES]

ELEMENTOS DE LA TAPA MOVIL DE CONEXIÓN			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
<i>12</i>	Luz Piloto Led CAMSCO 12 mm 24 DC/AC	10	u
<i>13</i>	Luz piloto Led CAMSCO 10 mm 24 DC/AC	1	u
<i>14</i>	Selectores de dos posiciones Camasco 16 mm	18	u
<i>15</i>	Acrílico de 3 mm de espesor para PLC	1	u
<i>16</i>	Jack banana hembra 4 mm color negro	11	u
<i>17</i>	Jack banana hembra 4 mm color azul	14	u
<i>18</i>	Jack banana hembra 4 mm color blanco	17	u
<i>19</i>	Jack banana hembra 4 mm color rojo	21	u
<i>20</i>	Jack banana hembra 4 mm color verde	20	u
<i>21</i>	Voltímetro analógico Camasco 30 VDC	2	u
<i>22</i>	Perilla para Potenciometro	2	u
<i>23</i>	Potenciometro de 1 K Ω	2	u
<i>24</i>	Pulsadores verdes Camasco 16 mm	7	u
<i>25</i>	Fuente Reguladora de voltaje 24 VDC	2	u
<i>26</i>	Terminal aislado de ojo color rojo	125	u
<i>27</i>	Terminal desnudo hembra tipo Faston	125	u
<i>28</i>	Terminal tubular color amarillo	125	u
<i>29</i>	Terminal tubular color azul	10	u

TABLA 20: LISTA DE ELEMENTOS INTERNOS DEL MALETÍN DIDÁCTICO [AUTORES]

ELEMENTOS INTERNOS DEL MALETÍN			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
30	Ventiladores cuadrados plásticos 12 VDC	2	u
31	PLC S7-1200 Siemens	1	u
32	Relés Camsco 24 VDC	10	u
33	Zócalo de Relé de 8 pines	10	u
34	Diodo Rectificadores 1N4007	10	u
35	Fuente de Voltaje de 120 VAC a 24 VDC	1	u
36	Tarjeta electrónica Porta Fusibles	2	u
37	Acrílico para tarjeta portafusible con logo UPS	4	u
38	Bornas de conexión ABB gris plasticas de 4 mm	11	u
39	Tope final plástico	3	u
40	Bornera de tierra	1	u
41	Módulo de Comunicación CM1241 RS422-485	1	u

TABLA 21: LISTA DE ELEMENTOS EXTERNOS DEL MALETÍN DIDÁCTICO [AUTORES]

ELEMENTOS EXTERNOS DEL MALETÍN			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
42	Switch basculante con led rojo de 2 posiciones	1	u
43	Jack hembra categoria 5e RJ45	1	u
44	Conector Macho RJ45	1	u
45	Base de enchufe macho	1	u
46	Cable Ethernet categoría B	1	u
47	Cable de Conexión 13 AWG conector banana de 0,25 m	10	u
48	Cable de Conexión 13 AWG conector banana de 0,5 m	10	u
49	Cable de Conexión 13 AWG conector banana de 1 m	10	u
50	Placa de información de aluminio con acabado de resina	1	u
51	Placa de información ABS color amarillo serigrafiada	1	u
52	Cable de Poder CPU	1	u
53	Tapa Portacable de acero "INGENIERIA ELECTRICA"	1	u
54	Agarraderas de palanca, modelo 4001	2	u
55	Cable UTP categoría 5e	1	m

CAPÍTULO IV

4. CONEXIONES Y SEGURIDADES.

4.1. Conexión del Módulo de Prueba y Maletín Didáctico.

Para el encendido del módulo de prueba del módulo de control industrial programable que se emplea, se requiere de un conector que tendrá en ambos extremos un enchufe tipo clavija para conectarlo en el tomacorriente que está en el módulo y el breaker principal del laboratorio; ambos del mismo tipo de conexión.

Para la desconexión trifásica se debe verificar que los breaker principales del módulo y del laboratorio estén en OFF, se procede a la desconexión del conector tipo clavija.

4.2. Encendido y apagado del Maletín Didáctico.

Para el arranque del maletín didáctico se conecta el cable de poder y se procede a presionar el interruptor el cual energizará a todo el maletín junto a sus elementos internos, como los ventiladores y PLC los cuales tienen un encendido automático. Para la desconexión no debe tener ningún cable de conexión en los jacks banana, luego de esto se desactiva el interruptor y se procede a quitar el cable de alimentación.

Antes de cerrar el maletín, se debe guardar el cable de poder y el cable de puerto RJ45 en la porta cables. Además, verificar cualquier basura u objeto que interfiera al cerrar el maletín o que este en los ventiladores.

4.3. Comunicación entre el PLC y la laptop.

En la Fig. 62, se presenta un cable con un conector tipo macho RJ45 en ambos extremos para establecer comunicación entre la PC y el PLC.

4.6. Elementos Internos del Maletín Didáctico.

Antes de utilizar el PLC y el módulo de comunicación Modbus CM1241 RS422/RS485 es recomendable leer el manual para tener mayor conocimiento de sus funciones y formas de trabajo [20],[27].

Verificar los estados de los fusibles antes de comenzar las prácticas para prevenir algún daño severo a los elementos si hubiera un cortocircuito, ajustar los tornillos de las borneras de todos los equipos. Verificar estados de los diodos rectificadores si están quemados para generar cambio, también revisar los contactos del relé si están haciendo la debida conexión. Al colocar las tapas de las canaletas observar que no haga presión con ningún cable internamente.

4.7. Normas de Seguridad del Maletín Didáctico.

- Para realizar algún tipo de conexión y energizar el maletín se debe conocer todas las características y datos de placa de los equipos o elementos para evitar algún daño.
- Consultar al docente en el momento que presente alguna duda para conectar algún equipo.
- Solo se deben realizar las conexiones en la tapa lámina de jacks de señales y no se debe manipular el cableado interno del maletín, en caso de mantenimiento avisar al docente el cambio efectuado.
- Antes de efectuar alguna práctica se debe de verificar si no hay algún conductor en los jacks bananas y revisar los cables de conexión a utilizar para evitar los falsos contactos o cortocircuitos.
- Evitar algún contacto directo con los equipos internamente.
- Verificar estado de cables, conectores o alimentación ya que son los principales casos de error de un PLC.
- Revisar dentro del maletín didáctico la existencia de humedad, tierra entre otros contaminantes atmosféricos, esto perjudicaría el estado del PLC.
- Conectar correctamente la polarización de los 24 VDC del PLC hacía en sus entradas o salidas del mismo.

CAPÍTULO V

5. PRÁCTICAS EN EL MÓDULO DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN.

Dentro de este capítulo se procederá a realizar las prácticas de laboratorio para responder a los objetivos del proyecto de titulación, el alumno comprenderá el uso del maletín didáctico para automatizar el módulo de prueba de control industrial programable.

En total las prácticas de laboratorio serán 5 nombradas a continuación:

- **Práctica 1:** Comunicación PC-PLC
- **Práctica 2:** Configuración del protocolo de comunicación Modbus del Variador de Frecuencia ATV312 marca Schneider
- **Práctica 3:** Comunicación entre PLC S7-1200 y Variador de Frecuencia ATV312 marca Schneider
- **Práctica 4:** Comunicación entre Variador de Frecuencia ATV312 marca Schneider y PLC S7-1200 utilizando WinCC RT Professional
- **Práctica 5:** Conexión Maestro-Esclavo entre dos PLC S7-1200 y un Variador de Frecuencia ATV312 marca Schneider utilizando WinCC RT Advanced

5.1. Práctica 1:

5.1.1. Tema: Comunicación PC-PLC

5.1.2. Objetivos:

Objetivo General:

Realizar la comunicación entre la PC y el autómata programable

Objetivo Específico:

- Realizar la configuración del PLC en TIA PORTAL
- Establecer comunicación entre la PC y Autómata Programable
- Demostrar el uso de la opción CPU 1200 sin especificar

5.1.3. Recursos:

- Módulo de Automatización PLC S7-1200 DC/DC/DC
- Banco de Pruebas para sistemas de control Industrial Programable con PLC 1212C AC/DC/RLY.
- Computadora Dell Latitude E6430 con los programas Tia Portal V13 y WinCC RT Advanced.

5.1.4. Tiempo estimado:

La práctica tiene un tiempo de resolución de 2 horas

5.1.5. Procedimiento:

Para el desarrollo de la práctica se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Abrir el maletín didáctico y extraer el cable de poder a 120 VAC
2. Conectar el cable al enchufe ubicado al lado izquierdo
3. Enchufar el cable al toma de 120 VAC
4. Una vez encendido el maletín verificar si el PLC dentro del mismo enciende
5. Encender la PC y arrancar el programa TIA PORTAL V13
6. Conectar el cable de par trenzado con puerto RJ45 al computador
7. Verificar si enciende en el PLC el led Rx/Tx

Inicialmente se debe abrir el programa TIA PORTAL V13 para configurar el dispositivo a comunicar. Ver Fig. 63



FIGURA 63: INICIALIZANDO SOFTWARE TIA PORTAL. [AUTORES]

Una vez dado clic se abrirá una ventana para inicializar el programa, luego la creación del proyecto dentro del mismo (Figura 64), el cual se guardará en una ruta previamente configurada desde la instalación del programa.

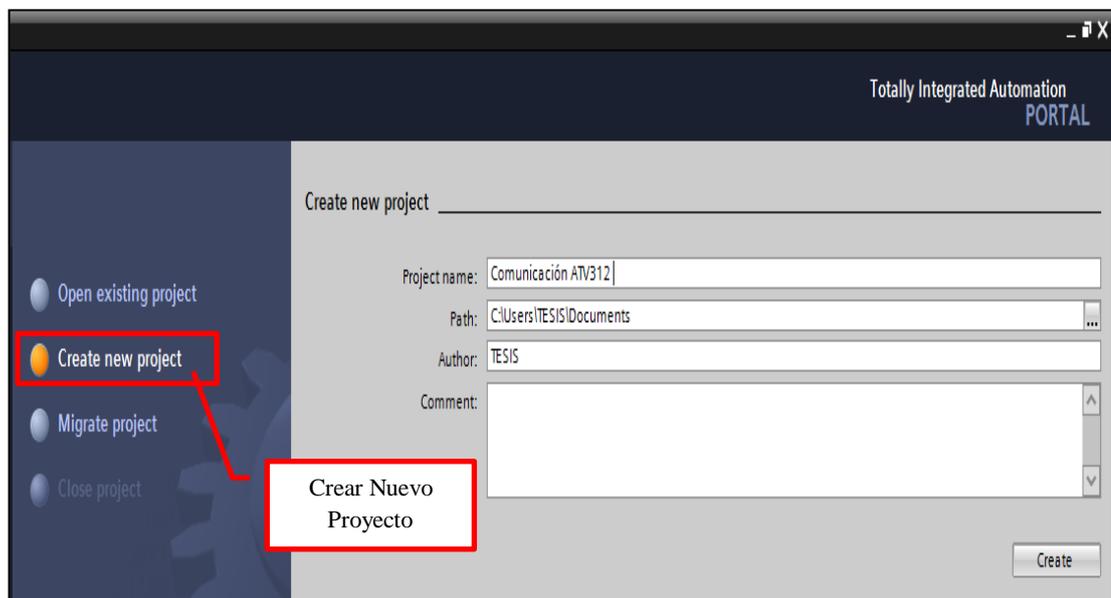


FIGURA 64: CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO EN TIA PORTAL. [AUTORES]

Una vez dado clic en “**Create new Project**” (crear nuevo proyecto), se abre una nueva ventana que mostrará las opciones de configuración de dispositivos (Figura 65), se presiona la alternativa “**Configure a device**” (configurar dispositivo).

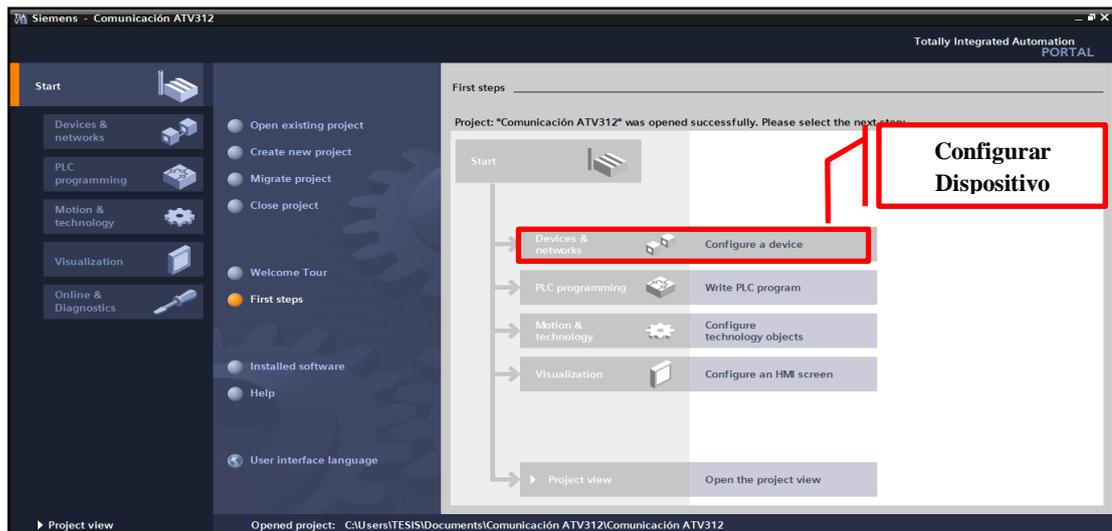


FIGURA 65: CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO PLC [AUTORES]

Luego de seleccionar “Configure a device” (configurar dispositivo), se abrirá una nueva ventana de dialogo donde se agregará un nuevo dispositivo que será la CPU 1214C DC/DC/DC modelo 6ES7 214-1AG40-0XB0, tener en cuenta la versión del PLC si no es la correcta, el programa no podrá cargarse dentro del mismo, en nuestro caso será V4.0. Fig.66

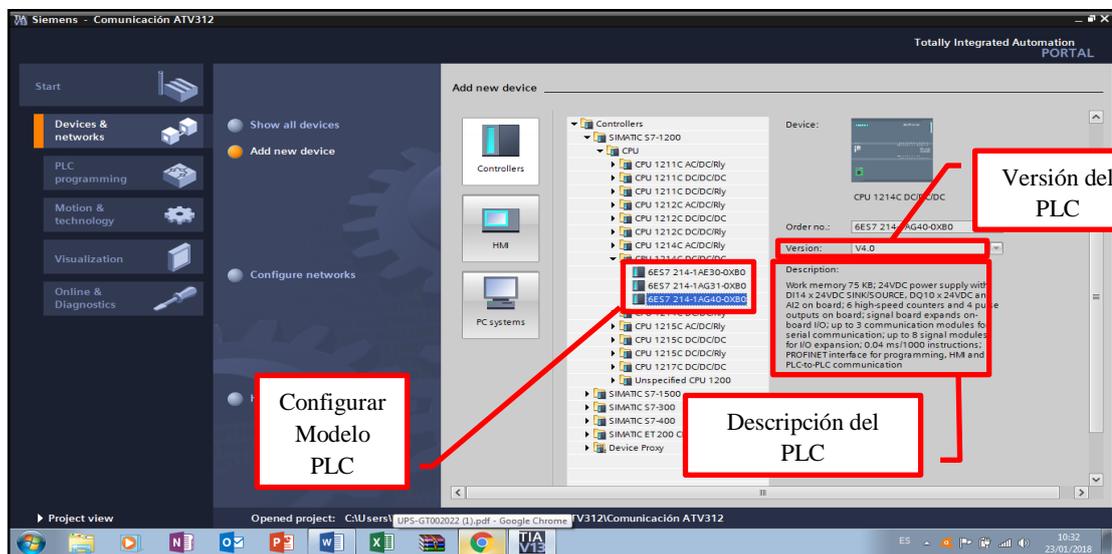


FIGURA 66: VENTANA AGREGAR DISPOSITIVOS [AUTORES]

En la ventana “Add new device” (agregar nuevo dispositivo) también se puede seleccionar la CPU 1200 sin especificar, la cual da apertura para elegir un autómata programable en blanco de la gama S7-1200 y mediante la conexión TCP/IP se pueda

reconocer el dispositivo sin configurarlo previamente, pero hay que tener en cuenta los siguientes pasos:

- Dar clic en la opción Online y diagnóstico Fig. 67

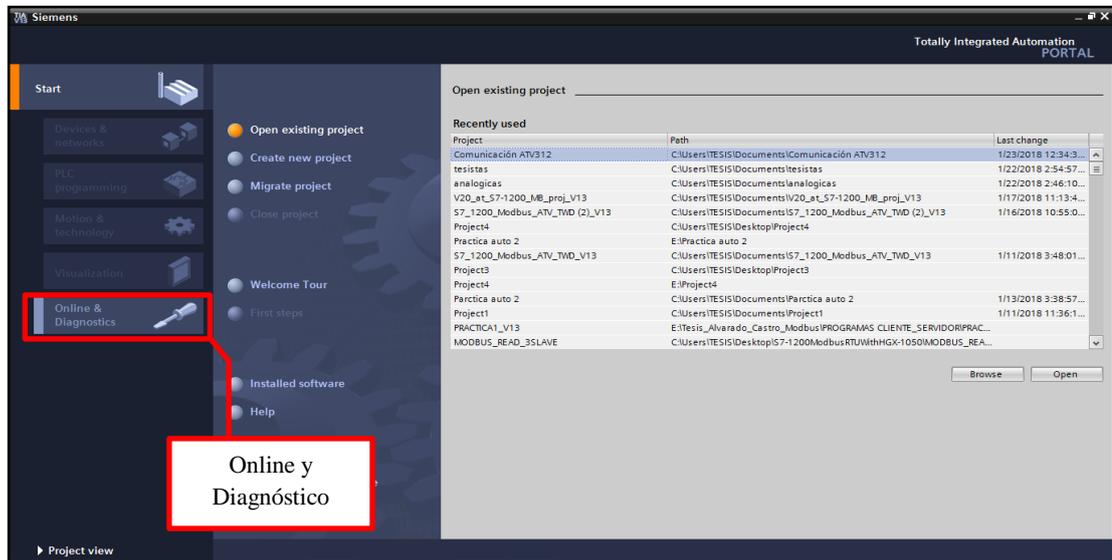


FIGURA 67: VENTANA ONLINE Y DIAGNÓSTICO [AUTORES]

- Seleccionar Dispositivos Accesibles Fig. 68



FIGURA 68: SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ACCESIBLES [AUTORES]

- Se abre una nueva ventana de diálogo, la misma que indica que se ha encontrado un dispositivo en red al computador, entonces dar clic en “Show” (mostrar). Fig.69

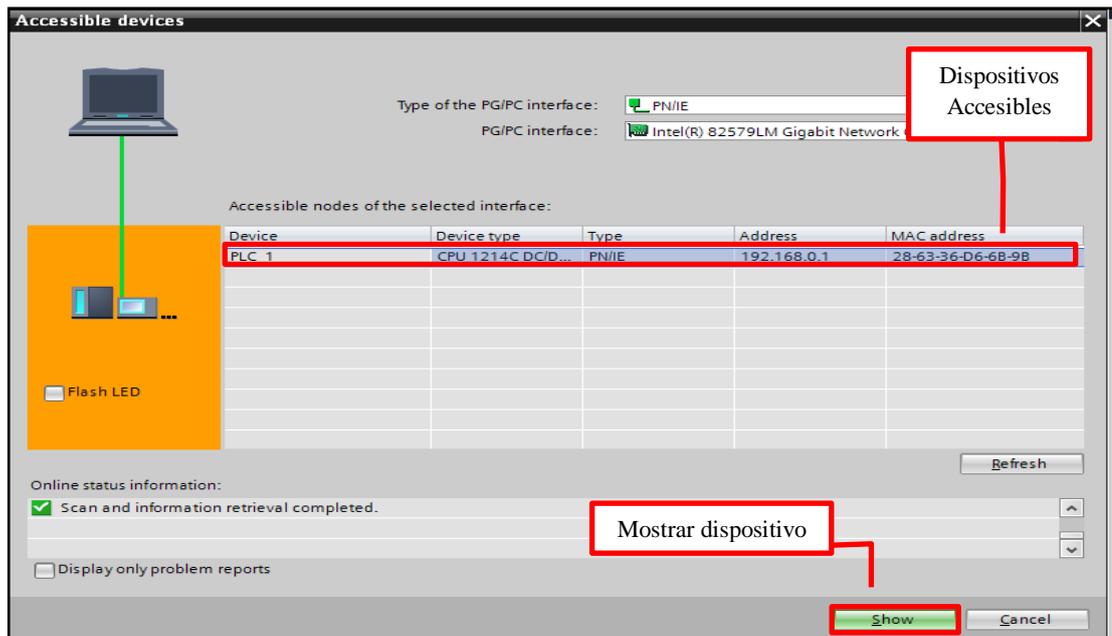


FIGURA 69: VENTANA DISPOSITIVOS ACCESIBLES [AUTORES]

- Una vez que se muestran los dispositivos, aparecerá la ventana vista del proyecto donde la tarjeta de red del computador tendrá configurada la dirección IP del PLC, al dar clic se puede ver la programación cargada anteriormente en el autómata programable. Ver Fig.70

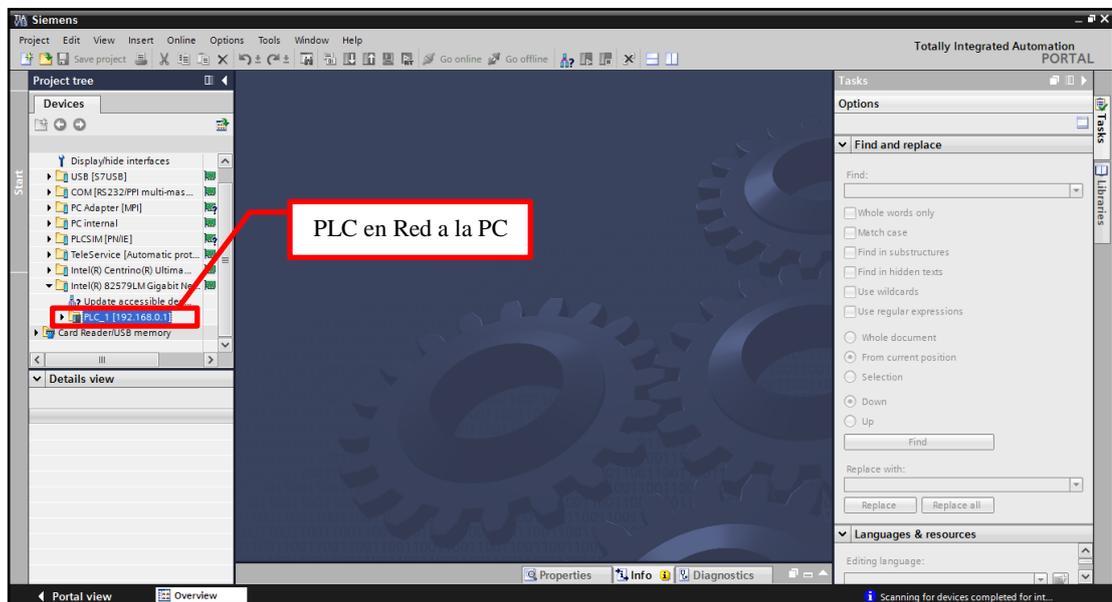


FIGURA 70: VISTA DEL PLC EN RED A LA PC [AUTORES]

- Seleccionar el PLC_1 se abren submenús, se da clic en el menú “**Online & diagnostic**” (online y diagnóstico), para observar los datos de fábrica del Autómata

Programable: Versión de Firmware, modelo del equipo y número de Hardware.
Ver Fig. 71

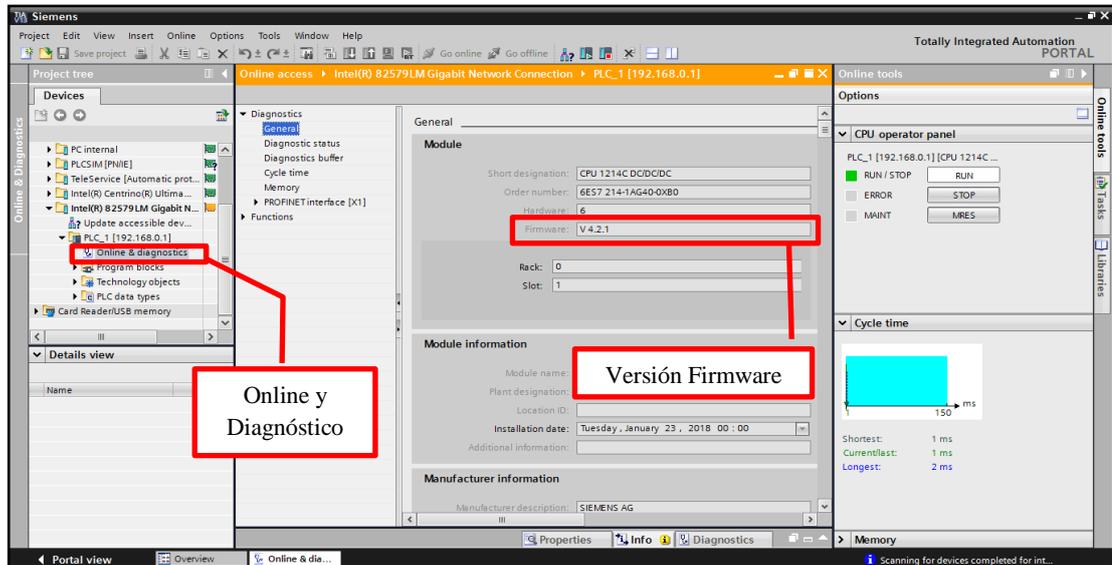


FIGURA 71: DATOS DE FÁBRICA DEL PLC [AUTORES]

- Una vez hecha la comprobación del firmware en el Autómata Programable se regresa a la vista del portal para configurar nuestro “**PLC - Sin Especificar**” y se selecciona la versión 4.2 y así no se tendría problemas al momento de realizar alguna carga de programación desde la PC al CPU S7-1200. Ver Fig.72

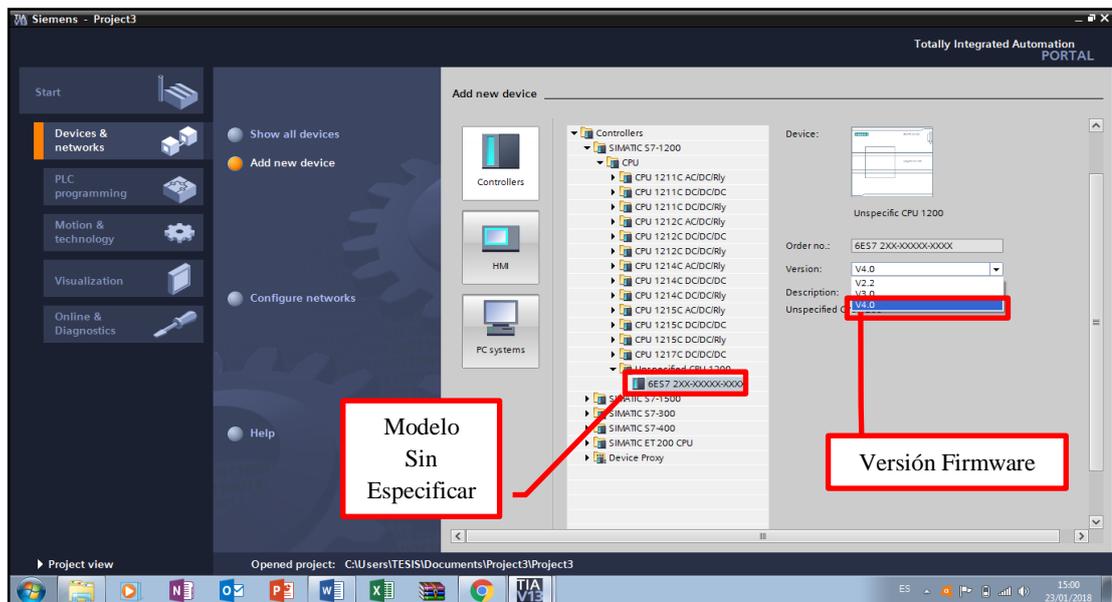


FIGURA 72: SELECCIÓN DEL PLC – SIN ESPECIFICAR [AUTORES]

- Una vez en la vista del Proyecto aparece el PLC de color blanco, se da clic en “Detect” (determinar), para cargar el modelo de autómatas programables que se encuentra dentro del maletín didáctico, además se agregan automáticamente los dispositivos que se hallen conectados junto a la CPU S7-1200. Ver Fig.73

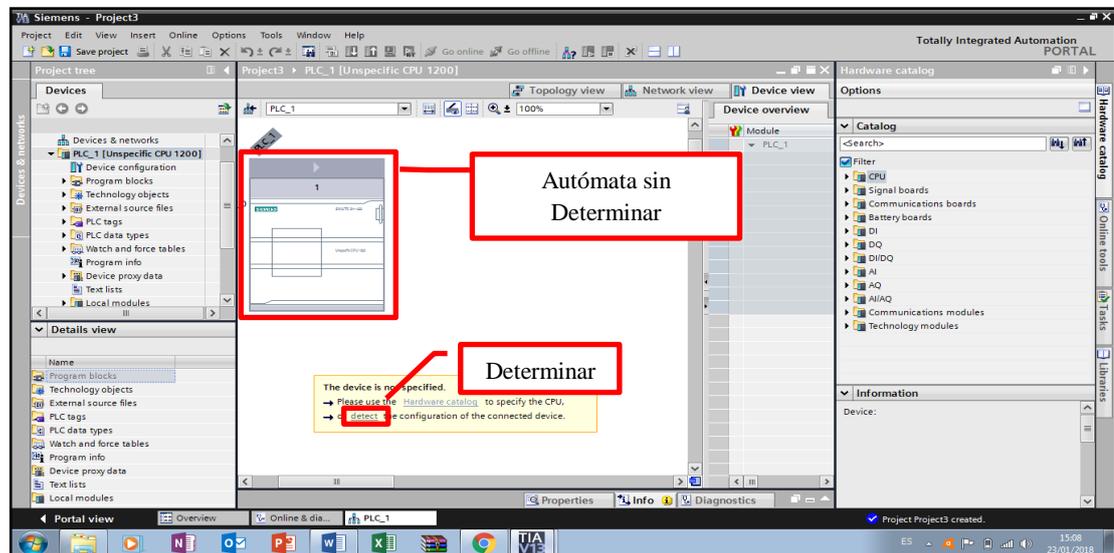


FIGURA 73: CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO SIN DETERMINAR [AUTORES]

- Se conecta el dispositivo sin determinar con nuestro PLC Físico en el maletín didáctico. (Fig.74)

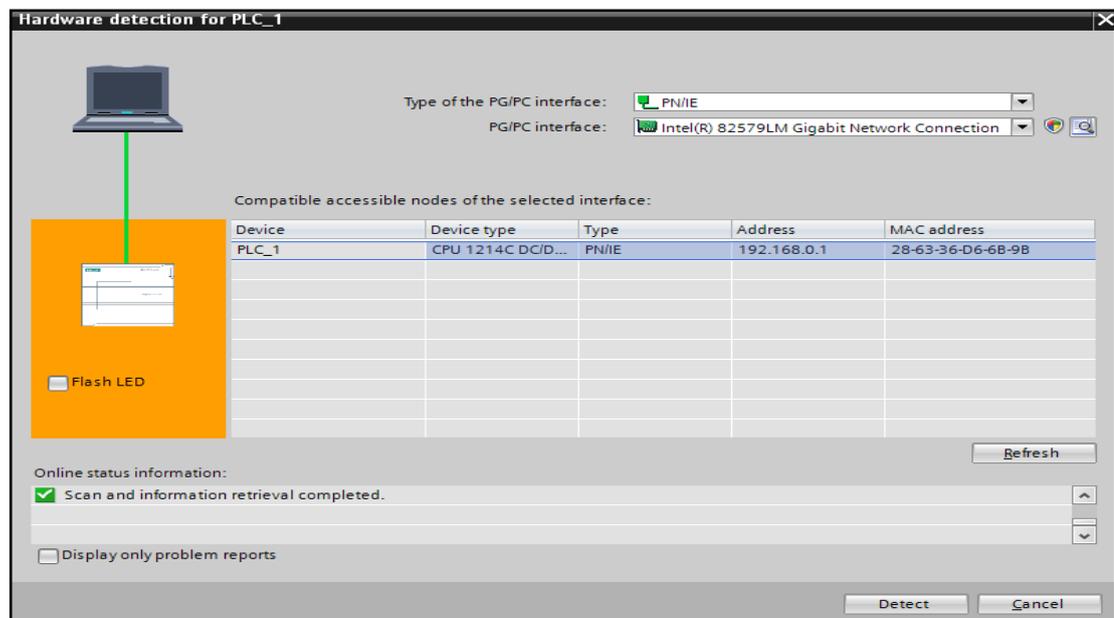


FIGURA 74: VENTANA DETECCIÓN DE HARDWARE [AUTORES]

- Como resultado se muestra el PLC en la pantalla del programa TIA Portal V13, ya agregado e identificado como un dispositivo fijo dentro del programa luego se procederá a realizar su programación. Ver Fig.75

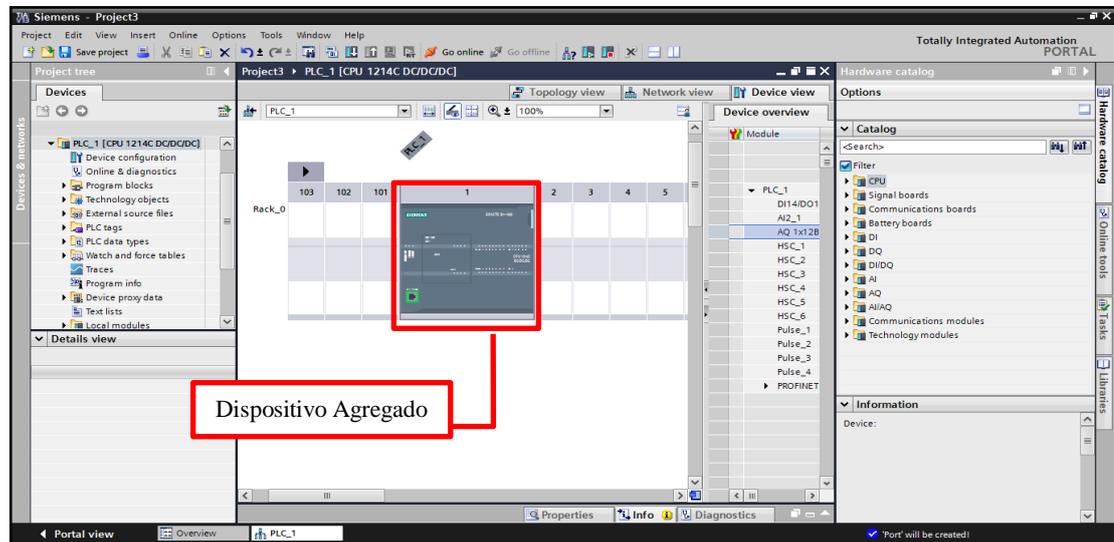


FIGURA 75: PLC AGREGADO EN EL SOFTWARE. [AUTORES]

5.1.6. Conclusiones:

Se configuro el PLC con el programa TIA Portal V13 en el idioma inglés, usando un protocolo de comunicación TCP/IP estableciendo la comunicación entre el autómata programable y la PC, durante el desarrollo se demuestra el uso de la opción CPU 1200- sin especificar, con esto el usuario no tendrá que entrar a los ambientes hostiles en los que se encuentra el dispositivo, toda la configuración la realizará mediante protocolos IE (Industrial Ethernet).

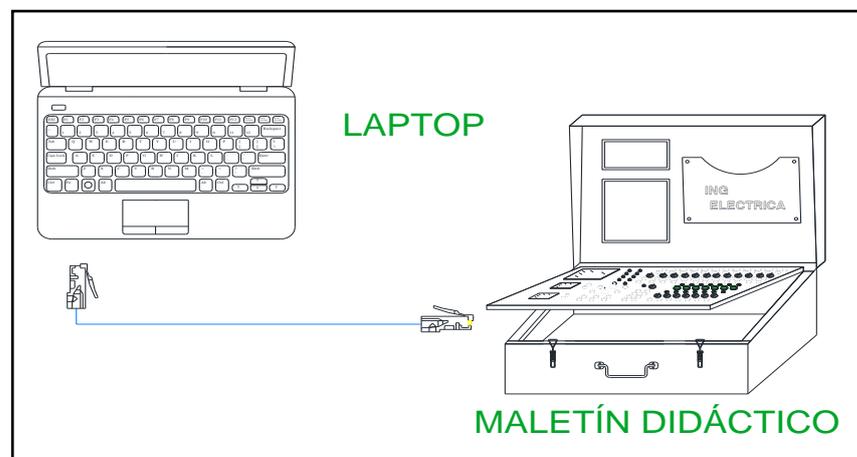


FIGURA 76: COMUNICACIÓN ENTRE PLC Y PC. [AUTORES]

5.2. Práctica 2:

5.2.1. Tema: Configuración Del Protocolo de Comunicación Modbus Variador de Frecuencia ATV312 Marca Schneider

5.2.2. Objetivos:

Objetivo General:

Realizar la Configuración MODBUS del Variador Monofásico ATV312 Marca Schneider

Objetivo Específico:

- Ingresar los parámetros correspondientes al motor de inducción trifásico.
- Configurar al variador para su uso con el protocolo de comunicación Modbus.
- Mostrar el uso del modo remoto del Variador de Frecuencia

5.2.3. Recursos:

- Banco de Pruebas para sistemas de control Industrial Programable con PLC 1212C AC/DC/RLY y Variador de Frecuencia ATV 312 marca Schneider.
- Computadora Dell Latitude E6430 con los programas Tia Portal V13.
- Motor Trifásico con Frenado mecánico de 1 HP marca Siemens.

5.2.4. Tiempo estimado:

La práctica tiene un tiempo de resolución de 2 horas

5.2.5. Procedimiento:

Se deben realizar los siguientes pasos:

1. Antes de encender todo el sistema realizar las conexiones del variador que se encuentran en la parte de anexos
2. Conectar el enchufe tipo clavija trifásico a la toma de 220 V
3. Subir el breaker principal del Banco de pruebas de control industrial programable
4. Usando el Variac trifásico incrementar el voltaje hasta 220 VAC, se verifica la presencia de voltaje con el medidor de parámetros
5. Subir el breaker del variador de frecuencia

El variador de velocidad ubicado en el banco de prueba para Sistemas de Control Industrial Programable debe estar en modo “**remote**” (remoto), tanto para configurar los parámetros del motor como los de comunicación Modbus, el cambio de local a remoto o viceversa se observa en la Fig.77.

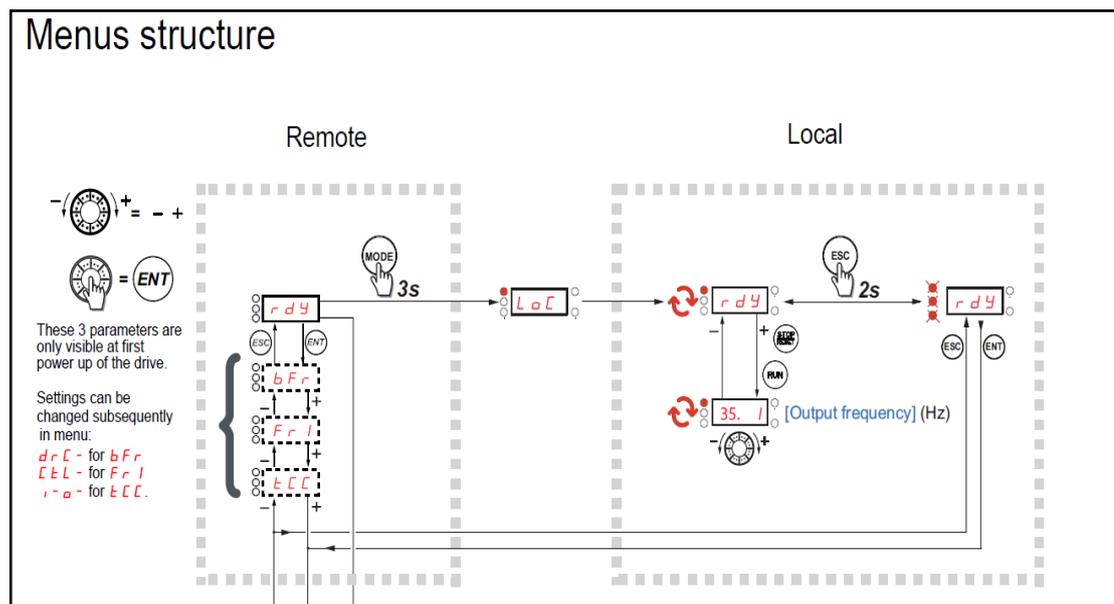


FIGURA 77: CONFIGURACIÓN LOCAL-REMOTO [28]

Para colocar los datos de placa del motor dentro del variador de frecuencia se tomó en consideración el manual “**ATV312 Getting Started**” que proporciona la marca Schneider Electric en su página web [28]. Fig.78

7 Set motor parameters

- Refer to the motor nameplate for the following parameter settings.

Menu	Code	Description	Factory setting	Customer setting
<i>drC-</i> [MOTOR CONTROL]	<i>bFr</i>	[Standard mot. freq]: Standard motor frequency (Hz)	<i>50.0</i>	
	<i>uNS</i>	[Rated motor volt]: Nominal motor voltage on motor nameplate (V)	drive rating	
	<i>Frs</i>	[Rated motor freq]: Nominal motor frequency on motor nameplate (Hz)	<i>50.0</i>	
	<i>nCr</i>	[Rated mot. current]: Nominal motor current on motor nameplate (A)	drive rating	
	<i>nSP</i>	[Rated motor speed]: Nominal motor speed on motor nameplate (rpm)	drive rating	
	<i>CoS</i>	[Motor 1 Cosinus Phi]: Nominal motor cos j on motor nameplate	drive rating	

FIGURA 78: PARÁMETROS A CONFIGURAR DEL MOTOR [28]

A continuación, se muestran los datos de placa de nuestro motor trifásico marca siemens de 1 HP. Fig.79

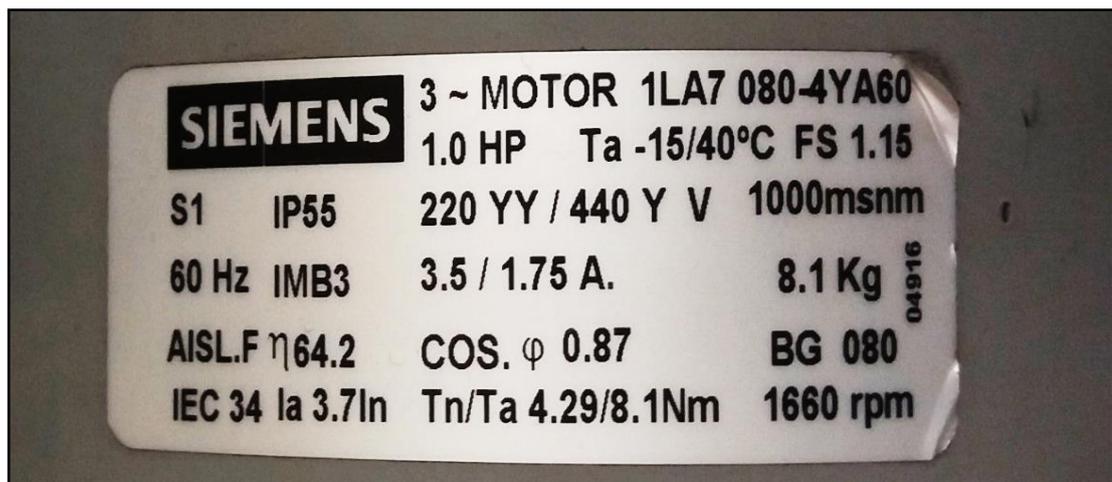


FIGURA 79: DATOS DE PLACA DEL MOTOR [AUTORES]

Una vez agregados los datos de placa del motor se deben ajustar los parámetros básicos para el funcionamiento del variador, como por ejemplo la frecuencia mínima y máxima de trabajo para el motor de inducción trifásico, tiempos de aceleración y desaceleración, la corriente nominal para falla térmica entre otros. Ver Fig. 80

8 Set basic parameters

Menu	Code	Description	Factory setting
<i>SEt -</i> [SETTINGS]	<i>ACC</i>	[Acceleration]: Acceleration time (s)	<i>3.0</i>
	<i>DEC</i>	[Deceleration]: Deceleration time (s)	<i>3.0</i>
	<i>LSP</i>	[Low speed]: Motor frequency at minimum reference (Hz)	<i>0.0</i>
	<i>HSP</i>	[High speed]: Motor frequency at maximum reference (Hz)	<i>50.0</i>
	<i>IEH</i>	[Mot. therm. current]: Nominal current on motor nameplate (A)	drive rating
<i>IO -</i> [INPUTS / OUTPUTS CFG]	<i>RR5</i>	[Reverse assign.]: Reverse assignment	<i>L, 2</i>
<i>Fun -> P55 -</i> [PRESET SPEEDS]	<i>P52</i>	[2 preset speeds]: Preset speeds	<i>L, 3</i>
	<i>P54</i>	[4 preset speeds]: Preset speeds	<i>L, 4</i>
<i>Fun -> SA1 -</i> [SUMMING INPUTS]	<i>SA2</i>	[Summing ref. 2] Analog input	<i>A, 2</i>

FIGURA 80: AJUSTE DE PARÁMETROS BÁSICOS [28]

Ahora se procede con la configuración del protocolo de comunicación Modbus, es importante seguir la estructura del menú de comunicación dada por el mismo fabricante del equipo. Ver Fig.81

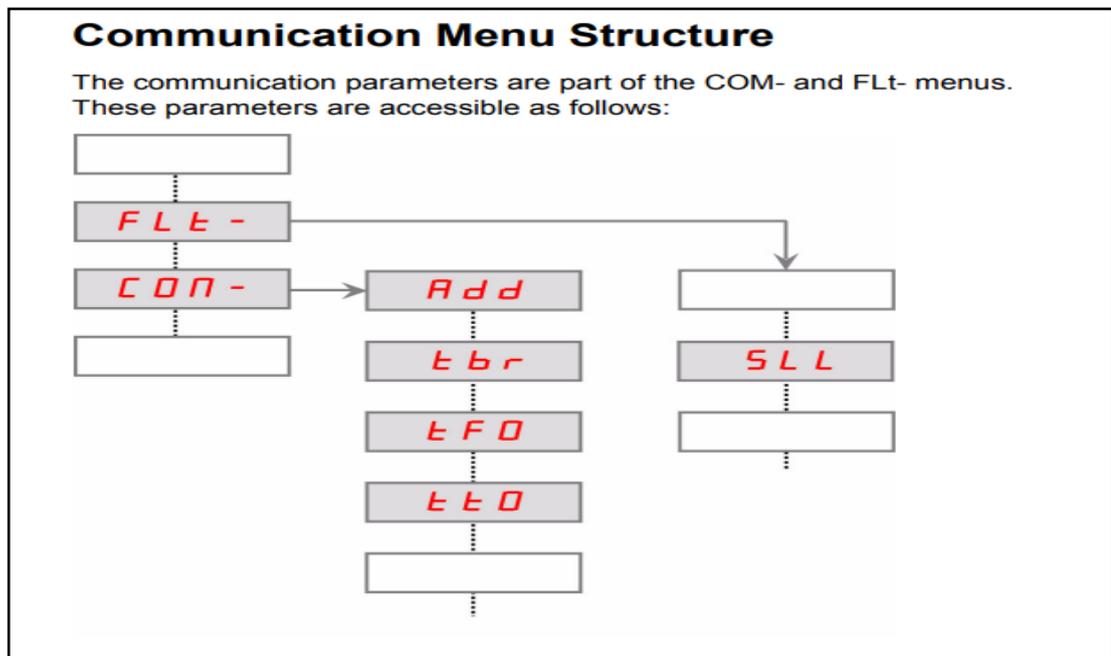


FIGURA 81: ESTRUCTURA DEL MENU DE COMUNICACIÓN MODBUS ATV 312 [29]

Cada parámetro va a ser configurado en base a la siguiente tabla, proporcionada por el fabricante.

TABLA 22: TABLA DE PARÁMETROS DEL VARIADOR [29]

Communication configuration - Parameters description					
Parameter description	Range or listed values	default	Long name	Short name	@
Modbus Address <i>Rdd</i>	1 to 247	1	[Modbus Address]	<i>Rdd</i>	-
Modbus baud rate <i>tbr</i> Important: only 19.2 kbps baud rate allows to communicate with the remote display)	4.8 kbps 9.6 kbps 19.2 kbps	19.2 kbps	[Modbus baud rate]	<i>4.8</i> <i>9.6</i> <i>19.2</i>	-
Modbus format <i>tfd</i>	8O1: 8 bits, odd parity, 1 stop bit. 8E1: 8 bits, even parity, 1 stop bit. 8N1, 8 bits, no parity, 1 stop bit 8N2: 8 bits, no parity, 2 stop bits.	8E1	[8 odd 1 stop] [8 even 1 stop] [8 no 1 stop] [8 no 2 stop]	<i>8O1</i> <i>8E1</i> <i>8N1</i> <i>8N2</i>	-
Modbus time out <i>ttd</i>	Adjustable from 0.1 to 30s	10 s	[Modbus time out]	<i>ttd</i>	-
Modbus fault mgt <i>SLL</i> (This parameter is not a communication management parameter)	No action. Freewheel stop Ramp stop Fast stop"	-	[No] [Freewheel] [Ramp Stop] [Fast Stop]	<i>no</i> <i>yes</i> <i>rnp</i> <i>fst</i>	-

Hay que tener en cuenta que una vez realizada la configuración para el protocolo de comunicación “Modbus” el variador mostrara el mensaje “NST” en su pantalla, dicha señal se debe a que el equipo está siendo controlado por bus de campo y desde el controlador maestro no se ha dado la orden para sacarlo de dicho estado[30]. Fig.82



FIGURA 82: VARIADOR EN ESTADO NST [AUTORES]

5.2.6 Conclusiones:

Se ingresaron los datos de placa del motor trifásico para que el variador no sobrepase los valores de tensión y corriente al momento de utilizarlo, se procedió a la configuración de los parámetros del protocolo de comunicación Modbus mediante el modo remoto del equipo, se procedió a lectura de documentos procedentes del fabricante (Schneider) para configurarlo correctamente.

5.3. Práctica 3:

5.3.1. Tema: Comunicación Entre PLC S7-1200 y Variador de Frecuencia ATV312

5.3.2. Objetivos:

Objetivo General:

Poner en marcha el variador de frecuencia usando entradas digitales del PLC

Objetivos Específicos:

- Realizar un programa que controle el funcionamiento los cambios de estados del variador tales como NST y RDY
- Establecer una frecuencia fija, solo mostrar valores 0 y 60 Hz en el variador
- Producir comunicación entre el autómata programable y el variador de frecuencia

5.3.3. Recursos:

- Módulo de comunicación Modbus CM1241 RS422/RS485 y cable de par trenzado no blindado (UTP)
- Banco de pruebas para sistemas de control Industrial Programable usando PLC 1212C AC/DC/RLY
- Computadora Dell Latitude E6430 con el programa Tia Portal V13
- Motor Trifásico Siemens de 1HP a 240 V

5.3.4. Tiempo estimado:

La práctica tiene un tiempo de resolución de 2 horas

5.3.5 Procedimiento:

Antes de realizar esta práctica se debe tomar en cuenta la configuración de los pines de comunicación del puerto RJ45 del variador de frecuencia en este caso se usan los pines 4, 5 y 8. Ver Fig.83

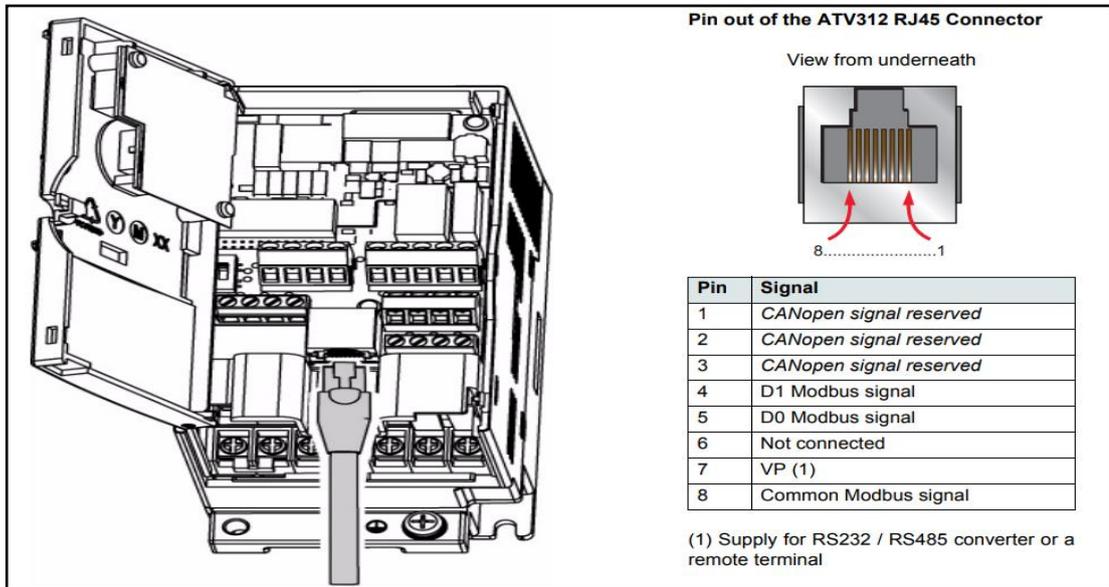


FIGURA 83: PINES DE SALIDA COMUNICACIÓN MODBUS [29]

En el otro extremo del cable se deberá colocar un conector “db9” macho para transmitir los datos al módulo “CM1241” y el PLC haga la lectura y transmisión de estos, se tendrá en cuenta la configuración de pines dada por el fabricante. Ver Fig.84

Table A- 252 RS485 or RS422 connector (female)

Pin	Description	Connector (female)	Pin	Description
1	Logic or communication ground		6 PWR	+5 V with 100 ohm series resistor: Output
2 TxD+ ¹	Connected for RS422 Not used for RS485: Output		7	Not connected
3 TxD+ ²	Signal B (Rx/D/TxD+): Input/Output		8 TXD- ²	Signal A (Rx/D/TxD-): Input/Output
4 RTS ³	Request to send (TTL level) Output		9 TXD- ¹	Connected for RS422 Not used for RS485: Output
5 GND	Logic or communication ground		SHELL	Chassis ground

¹ Pin 2 (TxD+) and Pin 9 (TxD-) are the RS422 transmit signals.

² Pin 3 (Rx/D/Tx+) and Pin 8 (Rx/D/TxD-) are RS485 transmit and receive signals. For RS422, Pin 3 is Rx/D+ and Pin 8 is Rx/D-.

³ The RTS is a TTL level signal and can be used to control another half duplex device based on this signal. It is active when you transmit and is inactive all other times.

FIGURA 84: PINES MODULO CM1241 [17]

Una vez realizada la “**práctica 1**” detallada en la primera sección (5.1), se selecciona configuración de dispositivos, se observa el “**Hardware Catalog**” (catálogo de Hardware) y se encuentra en la pestaña “**Communications Modules**” (Módulos de comunicación) – “**Point to point**” (punto a punto) -**CM1241 RS422/RS485**, se selecciona el modelo de equipo a utilizar (**6ES7 241-1CH31-0XB0**) [17],[20]. Fig.85

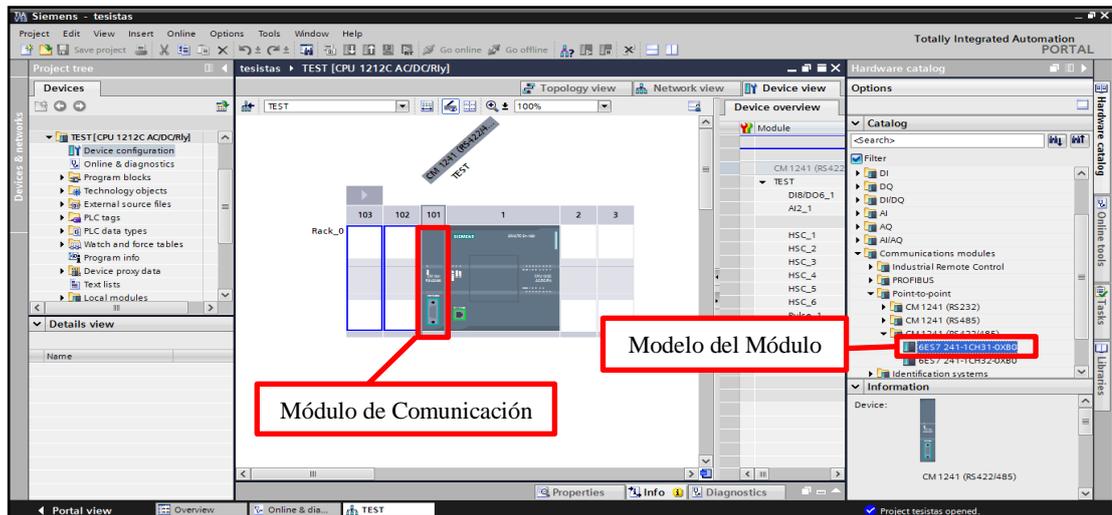


FIGURA 85: SELECCIÓN MÓDULO CM1241 [AUTORES]

Se prosigue a la configuración del Módulo de Comunicación recién añadido en el programa. Fig.85

Se configura el Puerto de Operación correspondiente a la gama de datos que maneja, en este caso se tiene “**Half Dúplex (RS485)**” (comunicación bidireccional), con una tasa de “**Baudios**” a 9.6 Kbps en paridad y con 1 “**Bit de Parada**”. Ver Fig.86

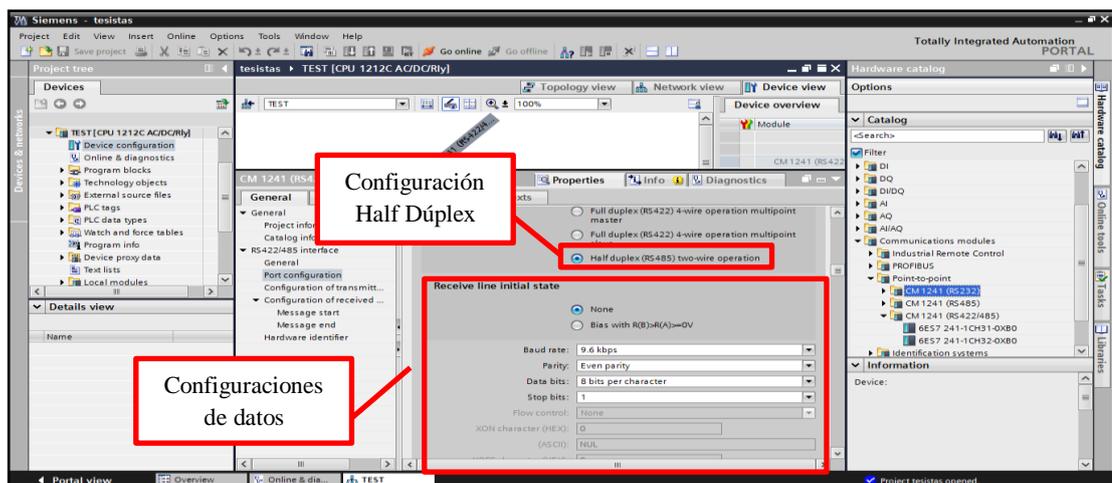


FIGURA 86: CONFIGURACIÓN CM1241 RS422/RS485 [AUTORES]

Tener en cuenta la dirección del dispositivo para configurarlo en el entorno de Programación de Tia Portal, porque más adelante en la práctica se agregan bloques para la lectura y escritura de datos en el variador de frecuencia ATV312. Ver Fig.87

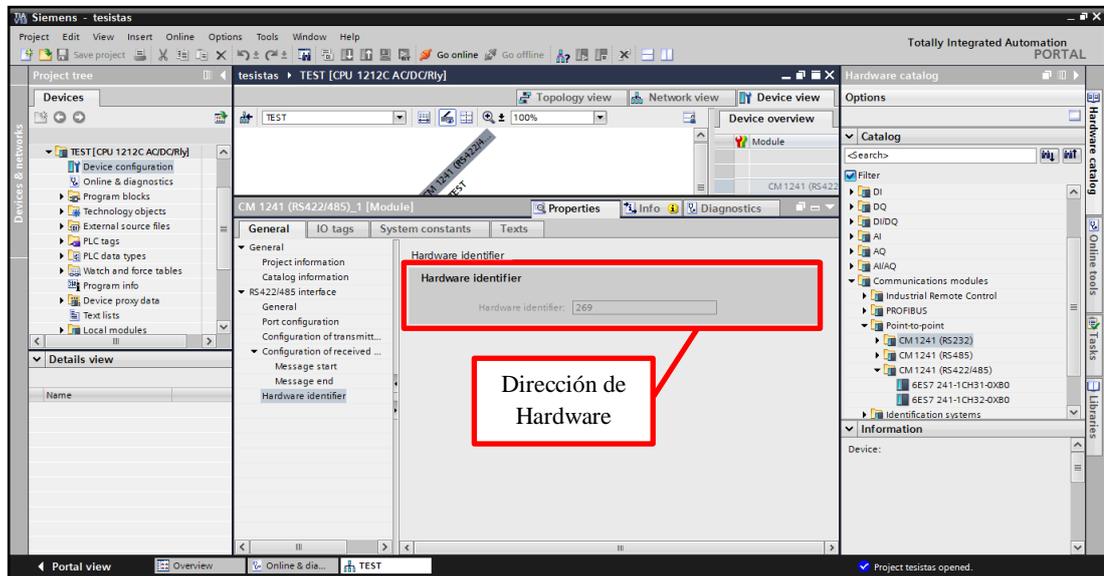


FIGURA 87: DIRECCIÓN FÍSICA CM1241 RS422/RS485 [AUTORES]

Una vez que listo el Hardware, se inicia con la configuración del programa donde se tendrá una programación en lenguaje “LADDER” o también llamado escalera. Ver Fig.88

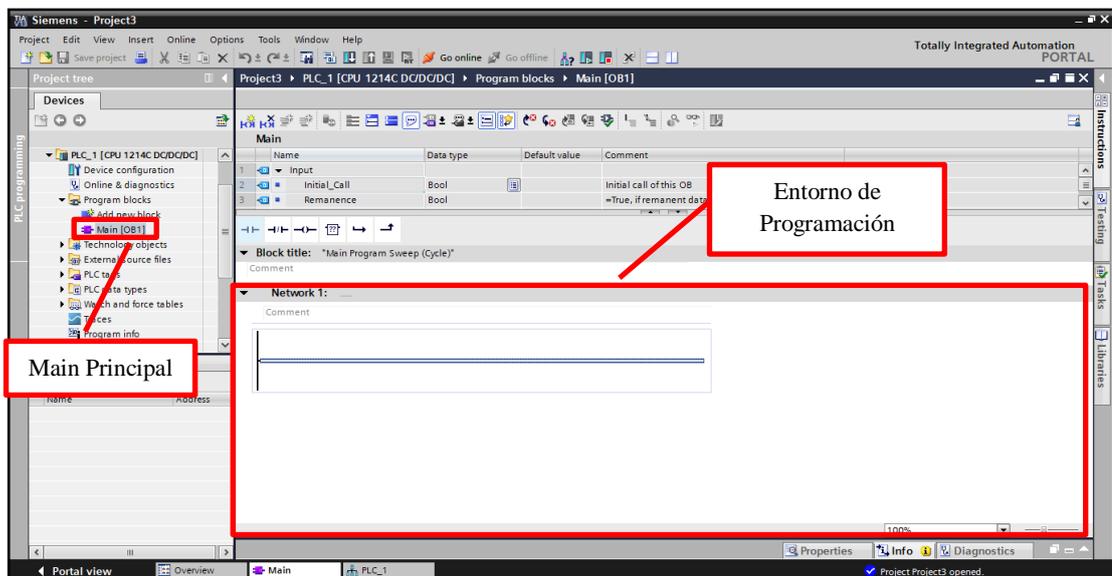


FIGURA 88: ENTORNO DE LA PROGRAMACIÓN [AUTORES]

Como se observa en la Fig.88 en esta parte se procederá a configurar los bloques de función (FC) para poder enviar datos desde el PLC y el Variador de Frecuencia los reconozca, se agrega un nuevo bloque dando clic en el icono “Add new block” (agregar nuevo bloque). Ver Fig.89

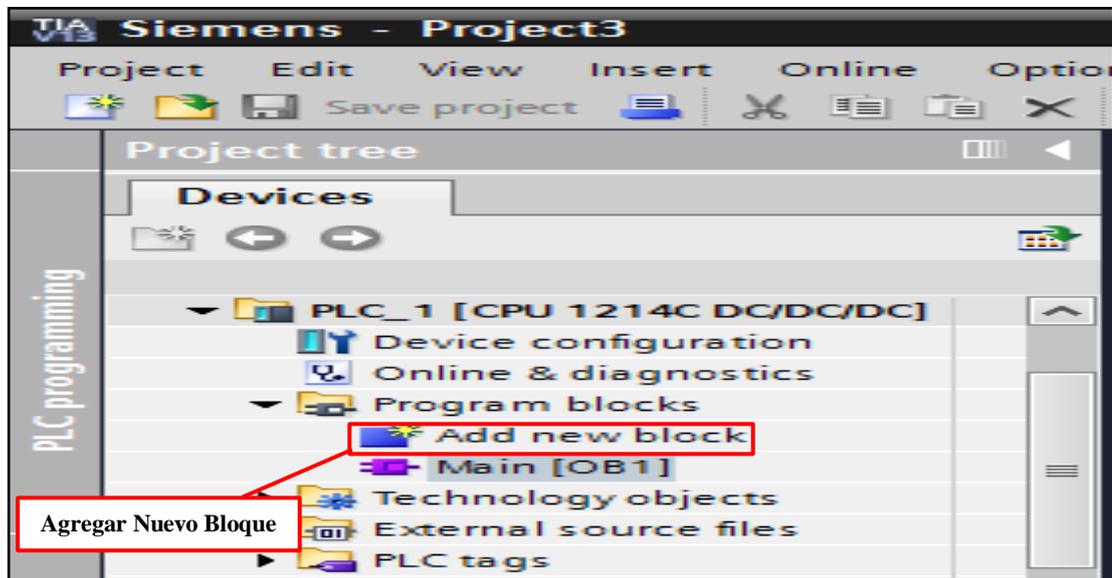


FIGURA 89: AGREGAR NUEVO BLOQUE [AUTORES]

Si se realizan las instrucciones acordes a lo estipulado en el párrafo anterior, aparecerá una nueva ventana (Fig.90), aquí se muestran los diferentes tipos de bloques de datos que se puede agregar en nuestro programa, se da clic en el de color verde “bloque FC” (Bloque de función). Se deben crear dos bloques del mismo tipo uno se llamará “ATV_CMD” y el otro “ATV_READ”, realizar el procedimiento mencionado anteriormente (Fig.90) [31].

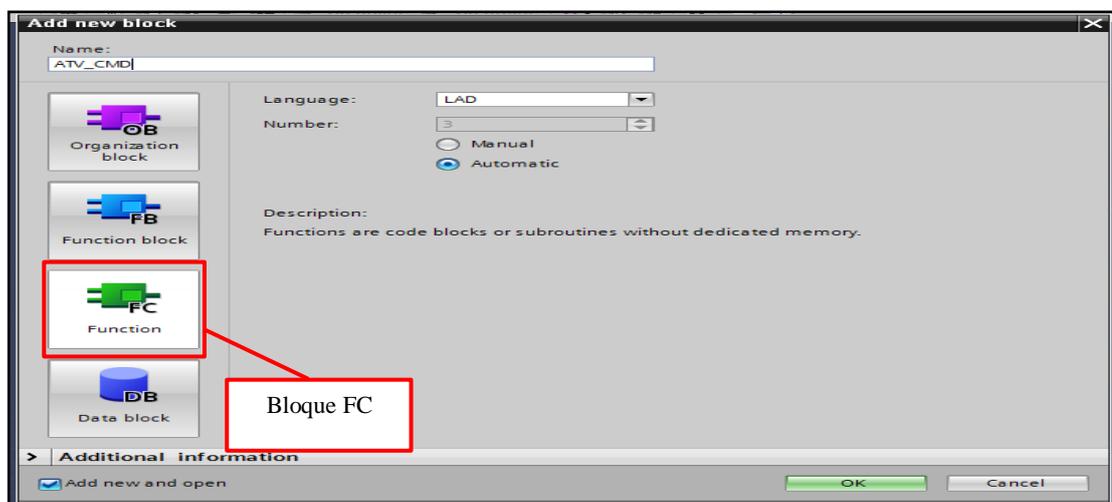


FIGURA 90: VENTANA AGREGAR NUEVO BLOQUE FC [AUTORES]

Ahora se agregan los bloques de datos, uno con el nombre de “ATV_COMMS” y el otro “ATV_dataset”, ambos tendrán variables que se direccionan hacia los bloques FC, permite enlazar los datos que se enviarán desde el PLC al Variador y viceversa, deberá aparecer una ventana de dialogo similar a la Fig.89, con la diferencia que se dará clic en la opción “Data Block” (bloque de datos). Ver Fig.91

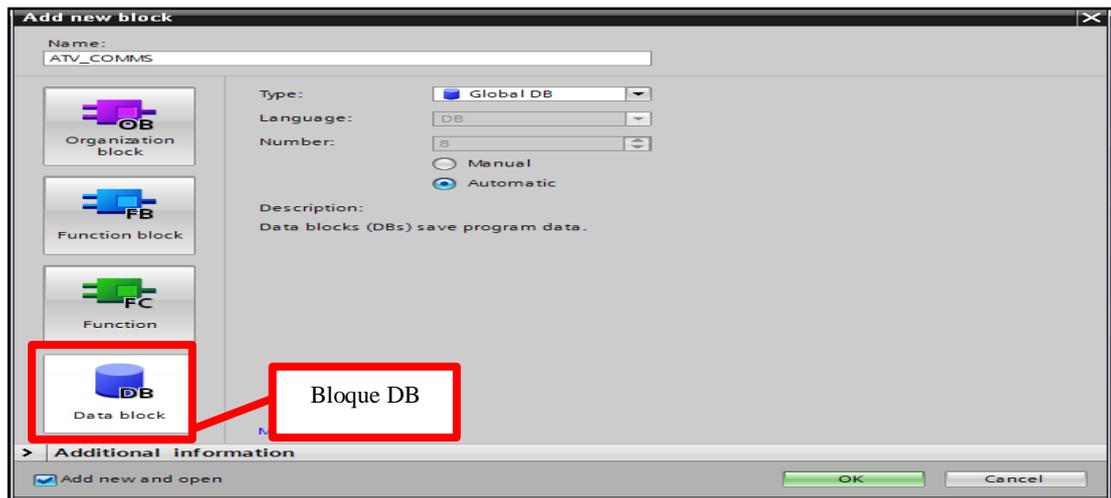


FIGURA 91: AGREGAR DATA BLOCK [AUTORES]

Dentro del bloque “ATV_COMMS” se configuran las matrices de datos tipo Word, donde se guardan los valores enviados desde el PLC al variador y viceversa, la primera matriz tendrá el nombre “ATV_312_SEND_DATA”, esto significa que el PLC enviará valores para dar marcha al equipo. Si se requiere realizar la lectura por ejemplo corriente o RPM del Motor, las matrices tendrán nombre “ATV_312_RCV1...n”, si se deseara visualizar más valores. Ver Fig.92

ATV_COMMS									
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	▼ Static								
2	▶ ATV_312_SEND_DATA	Array[0..5] of Word	...		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	▶ ATV_312_RCV	Array[0..5] o...	...		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	▶ ATV_312_RCV2	Array[0..5] of Word	...		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	▶ ATV3_312_RCV3	Array[0..5] of Word	...		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Variables del Bloque
ATV_COMMS

FIGURA 92: VARIABLES BLOQUE ATV_COMMS [AUTORES]

Dentro del bloque **“Dataset”**, se crean las variables para la lectura de los datos provenientes del variador al PLC y viceversa [31]. Ver Fig.93

	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f	Visible in	Setpoint	Comment
1	▼ Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	ATV31_CMD_Word_i...	Word	...	16#0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	ATV31_REF_IMG	DInt	...	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	ATV31_Status_word	Word	...	16#0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	ATV312_FRECUENCIA	Int	...	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	ATV312_VOLTAJE	Int	...	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

FIGURA 93: VARIABLES BLOQUE ATV_DATASET [AUTORES]

Una vez declaradas las variables, dirigirse nuevamente a la configuración de dispositivos (Fig.85), en esa ventana se proced activar las marcas de sistema y de ciclo en el PLC, se da clic en propiedades y se despliega un sub menú con las especificaciones generales del autómat programable, se da otro clic en la opción que dice **“system and clock memory”** (marcas de sistema y de ciclo), aparecen a un costado de la ventana dichas marcas, se marca con un visto ambas opciones y automáticamente se crean nuevas variables dentro del programa. Ver Fig.94

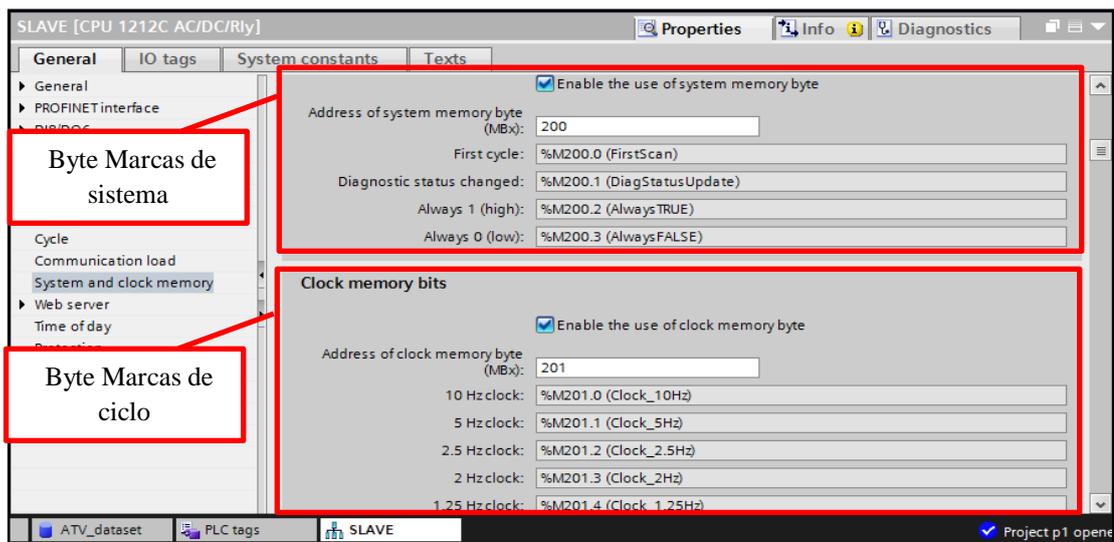


FIGURA 94: CONFIGURACIÓN MARCAS DE SISTEMA Y CILO [AUTORES]

En la Fig.94, además de marcar con un visto las dos opciones se colocarán “BYTES”, sus direcciones serán 200 para llamar a las marcas de sistema y 201 en el caso de las marcas de ciclo [31].

Realizada la configuración se procede con la programación en el bloque principal, para establecer la comunicación entre el PLC y el variador se utiliza dos bloques de comunicación llamados “MB_COMM_LOAD” y “MB_MASTER” [31]. Ver Fig.95, 96

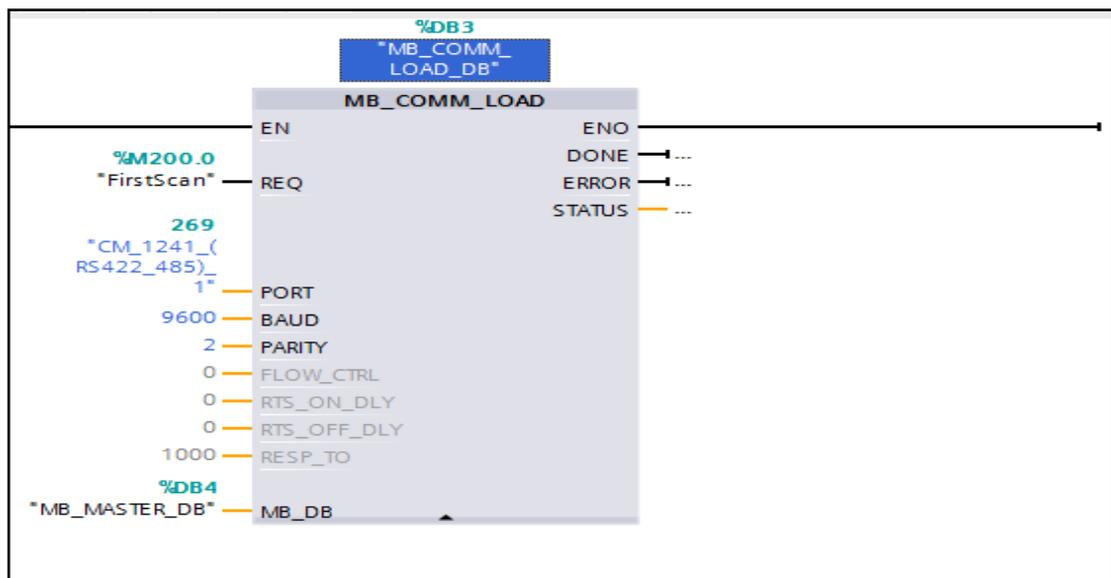


FIGURA 95: MB_COMM_LOAD [AUTORES]

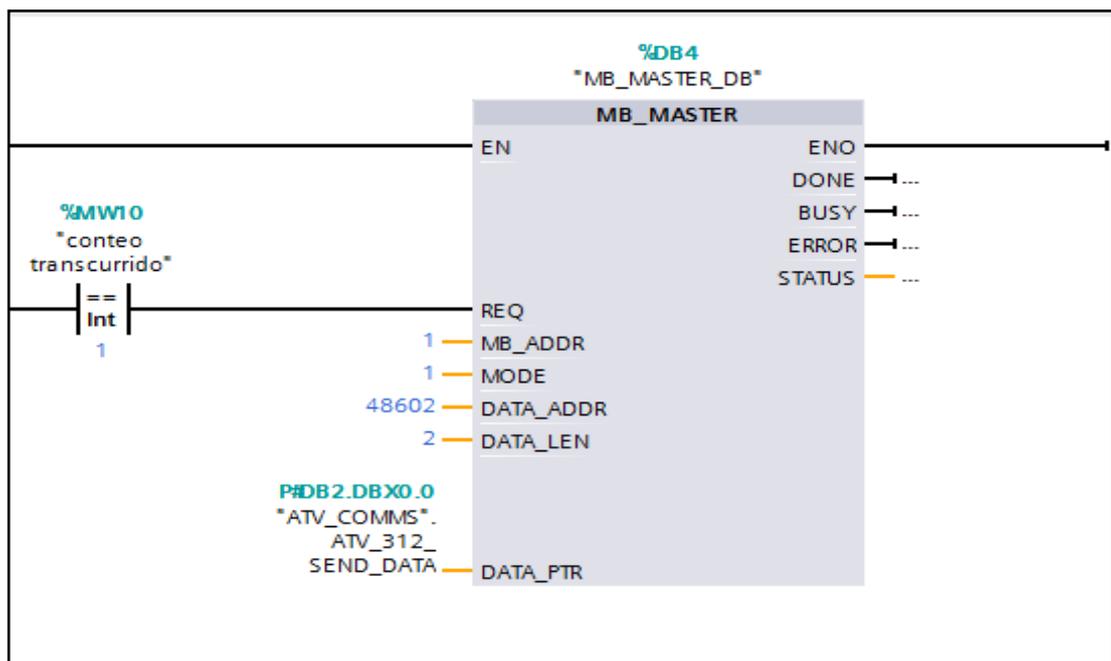


FIGURA 96: MB_MASTER [AUTORES]

Ambos elementos se los puede encontrar en la ventana de instrucciones ubicada en la parte derecha del programa; en la pestaña de comunicación se selecciona la carpeta procesos de comunicación; se despliegan cuatro carpetas, dar clic en “MODBUS” y aparecen los bloques de comunicación a utilizar. Ver Fig.97

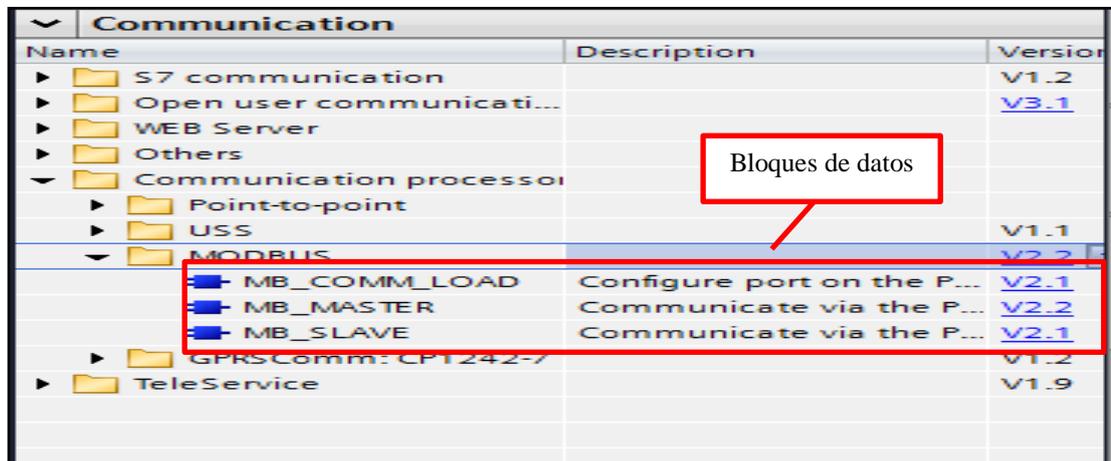


FIGURA 97: UBICACIÓN DE BLOQUES DE COMUNICACIÓN [AUTORES]

Para más información de los 2 Bloques se puede acceder a la ayuda del software seleccionando el elemento y luego presionando la tecla F1, allí se podrá encontrar la funcionalidad total de cada elemento.

Sugerencia: Utilizar un contador ascendente para el envío de datos usando el bloque “MB_MASTER”, cabe recalcar en la entrada (CU) del CTU se tendrá un contacto abierto cuya dirección es la marca de ciclo a 10 Hz (M201.0). Ver Fig.98

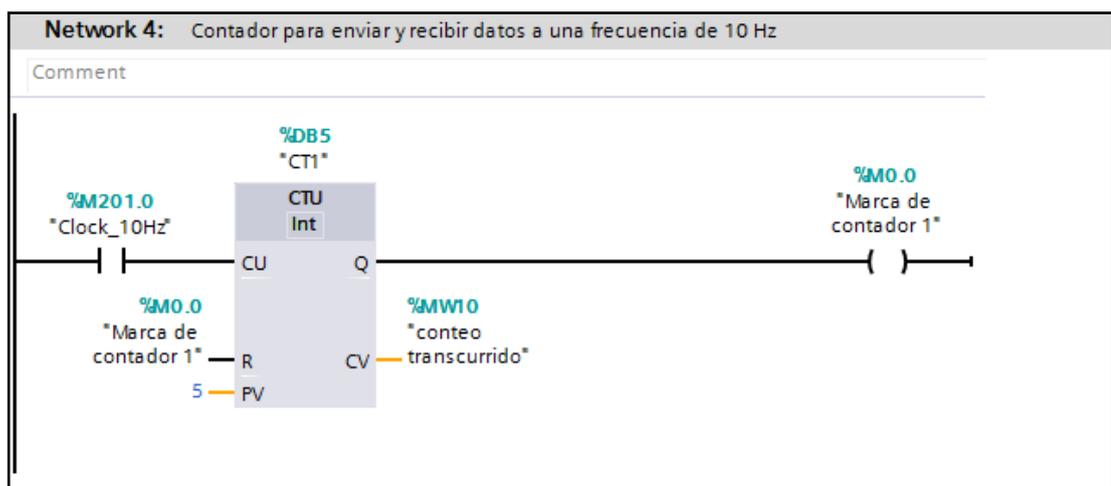
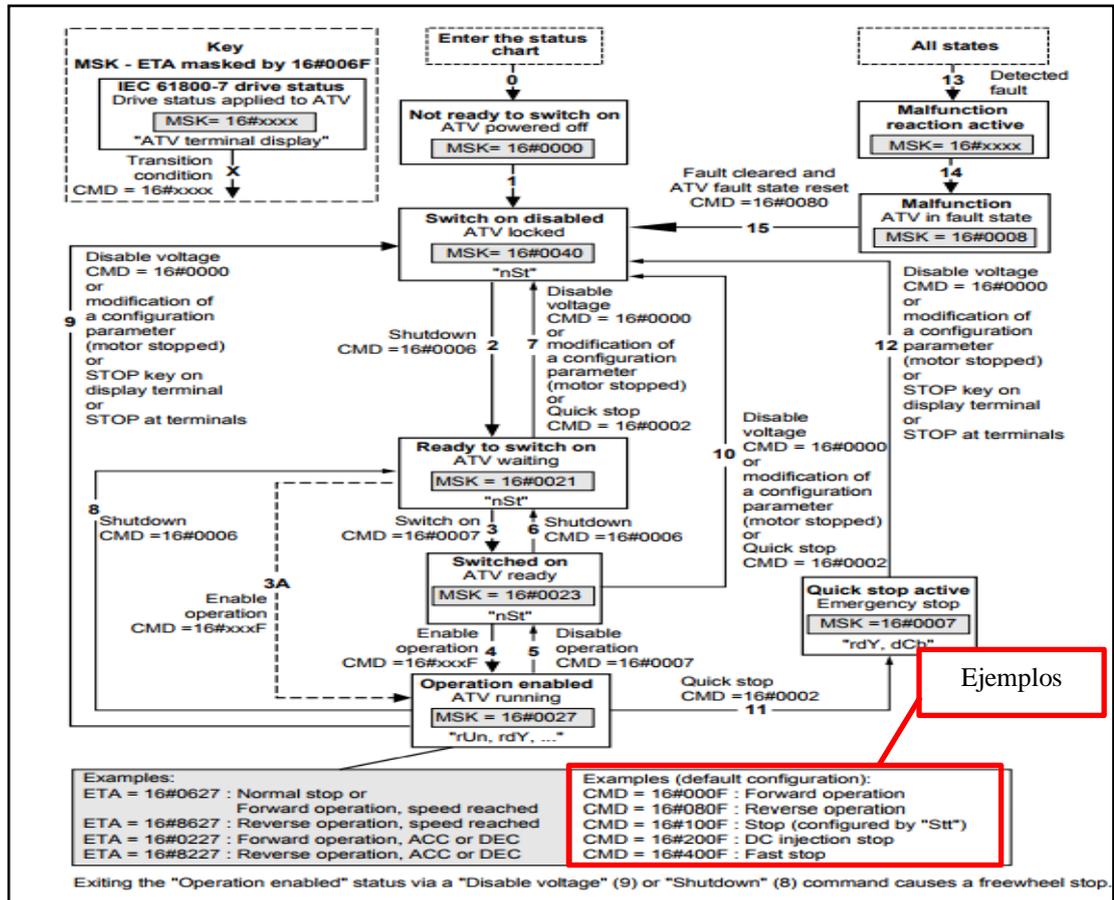


FIGURA 98: CONTADOR PARA ENVIAR Y RECIBIR DATOS [AUTORES]

Para tener una idea más clara de la comunicación realizada entre los dos equipos, se debe leer en parte el “manual de variables de comunicación ATV312” [13], dentro del mismo se encuentra la tabla de supervisión y control de Estados.

TABLA 23: TABLA DE ESTADOS DE SCHNEIDER[32]



En la parte inferior de la tabla 23, se presentan ejemplos con tipos de datos en base del sistema hexadecimal, estos valores sirven de mucho al realizar la comunicación entre PLC-Variador, ya que se puede transferir los datos en el mismo sistema base.

Lo mencionado anteriormente solo sirve para cambiar el estado del variador de frecuencia, no para dar arranque al motor trifásico en su caso se deben utilizar otros valores una vez que el equipo este en “RDY”, en nuestro manual variables de comunicación [32] , ubicarse en la sección “IEC 61800-7”, en esta parte del folleto se menciona el uso de direcciones Modbus, enfocándose en “address 8601” la misma se encuentra dividida en 16 bits que van de 0 a 15, cada uno de esos valores binarios (booleanos) tienen una función específica dentro del variador y la tabla 24 da a conocer que hace cada valor cuando está en 0 o 1.

TABLA 24: TABLA DE VARIABLES DE COMUNICACIÓN DE VARIADOR FUENTE SCHNEIDER [32]

Modbus address	CANopen address	Code	Read/Write	Name/Description/Possible values
8601	8040	CMDD	R/W	<p>IEC 61800-7 control word Identical to CMD (page 19). bit 0: "Switch on": active at 1 bit 1: "Disable Voltage": active at 0 bit 2: "Quick Stop": active at 0 bit 3: "Enable Operation": active at 1 bits 4 to 6: Reserved: set to 0 bit 7: Fault state reset: active on rising edge 0 -> 1 bits 8 to 10: Reserved: set to 0</p> <p>For "Access level" LAC (page 35) = L1 or L2: bit 11 = 0: Forward direction command bit 11 = 1: Reverse direction command bit 12 = 0: No action bit 12 = 1: Stop command depending on the Stt "Stop type" parameter bit 13 = 0: No action bit 13 = 1: Injection stop command bit 14 = 0: No action bit 14 = 1: Fast stop command bit 15: Reserved: set to 0</p> <p>For "Access level" LAC (page 35) = L3: Factory assignments bit 11 = 0: Forward direction command bit 11 = 1: Reverse direction command bit 12 = 0: No action bit 12 = 1: Stop command depending on the Stt "Stop type" parameter bit 13: No action bit 14: No action bit 15: No action</p>

Dirección Modbus del Variador

Dentro del “**Bloque FC**” (Bloque de función) se empieza a trabajar con las transferencias de datos (Fig.99). La instrucción básica que se emplea es “**MOVE**”, esta operación mueve un valor hacia la salida, su dirección es “**ATV_dataset.ATV31_CMD_Word_img**”, esta dirección se encuentra dentro de las variables “**data block**” (Fig.92) y a su vez se cambia el estado del bit 12 de dicha dirección [31].

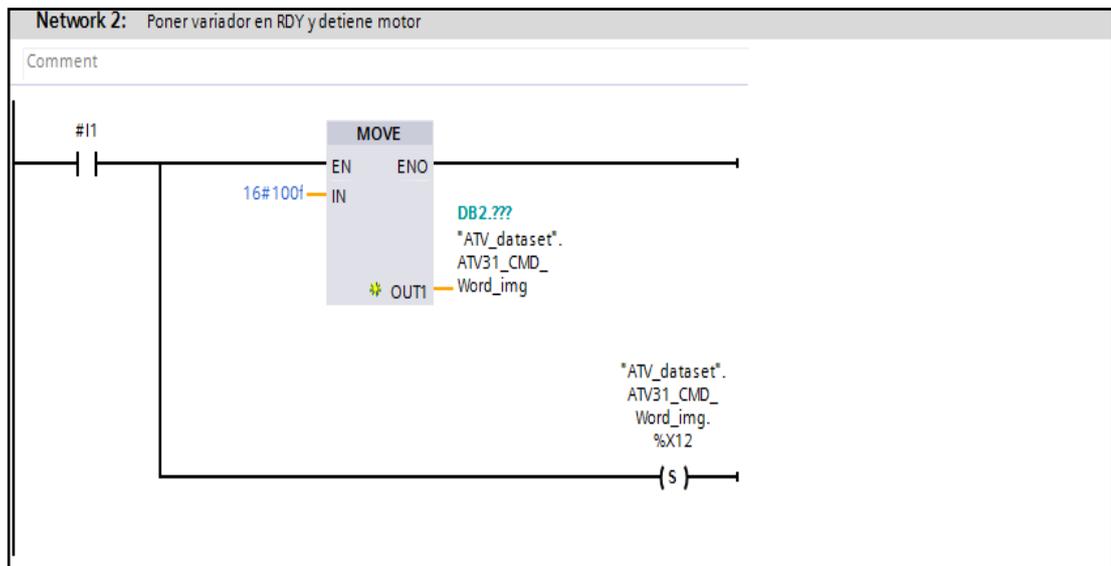


FIGURA 99 : PROGRAMACIÓN BLOQUE FC CAMBIO DE ESTADO VARIADOR [AUTORES]

Observación: En la Fig.98 se utiliza una entrada digital del PLC y la función “Set” (setear) para dejar fijo el valor en el bit 12 de la dirección “ATV31_CMD_Word_img” que pertenece al bloque de datos “ATV_dataset”.

Una vez hecho el cambio de estado se presiona la entrada digital I0.2 y el motor trabajara a una frecuencia de 60 Hz, la programación está dentro el “Bloque FC” (Bloque de función) de la Fig.100

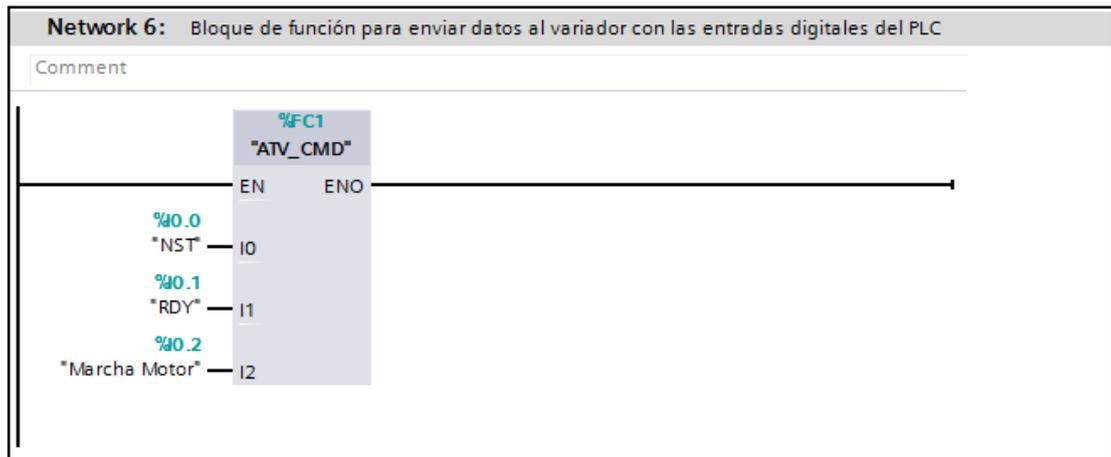


FIGURA 100: CONFIGURAR MARCHA DEL MOTOR [AUTORES]

Se observa en la Fig.101 un valor de la entrada del “MOVE” (16#708), la cantidad mostrada se encuentra escrita en el sistema numérico hexadecimal, se debe a que el variador interpreta los datos en ese tipo de base numérica, además cambiar el bit 12 a 0 de la dirección “ATV_dataset. ATV31_CMD_Word_img” para permitir la marcha del motor [31].

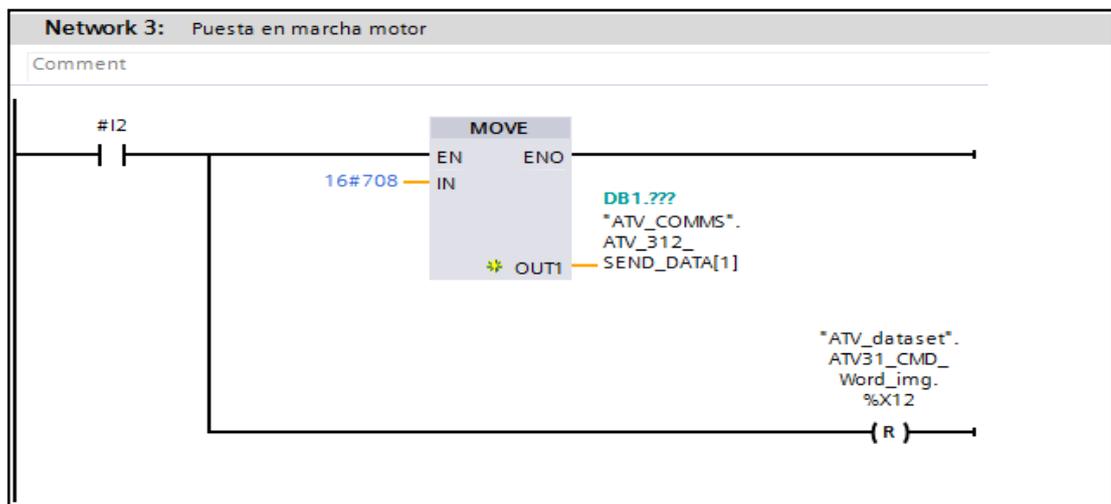


FIGURA 101: PROGRAMACIÓN INTERNA BLOQUE FC [AUTORES]

Dentro del Bloque FC, se agrega un MOVE para transferir los datos desde “ATV_dataset.ATV31_CMD_Word_img” a la variable configurada en el data block “ATV_COMMS.ATV_312_SEND_DATA[0]”. Ver Fig.102

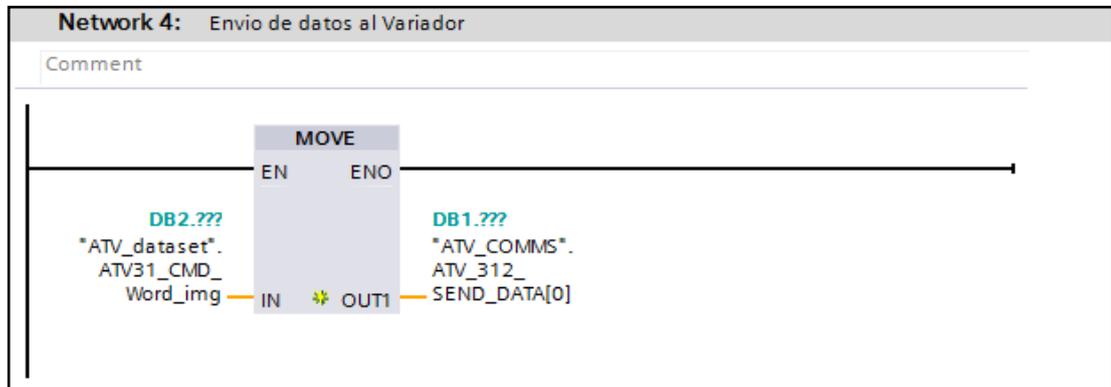


FIGURA 102: TRANSFERENCIA DE DATOS [AUTORES]

Observación: Tener en cuenta que a los tipos de datos dentro de la programación, hay que convertirlos a decimal para obtener el valor deseado, en la parte de “ANEXOS” está disponible la programación de la Práctica# 3.

Cargado el programa al PLC, se procede a la lectura online del autómata programable para comprobar si la transmisión de datos es correcta. Ver Fig.103

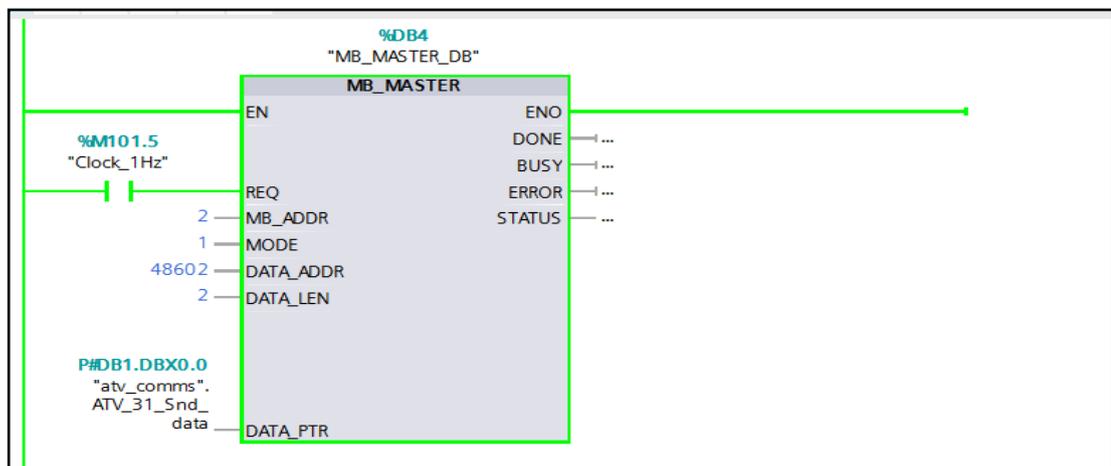


FIGURA 103: CONEXIÓN ONLINE [AUTORES]

5.3.6 Conclusiones:

Se realizó el programa en TIA Portal V13 usando bloques de comunicación y el protocolo Modbus para el envío y recepción de datos desde el PLC al variador y viceversa, en el caso de la traducción de los lenguajes para ambos equipos se utilizaron bloques de función y matrices de datos, se estableció una frecuencia fija de 0 Hz para el estado RDY del variador y 60 Hz para que el motor trabaje a su velocidad nominal.

5.4. Práctica 4:

5.4.1. Tema: Comunicación entre Variador de Frecuencia ATV312 marca Schneider y PLC S7-1200 utilizando WinCC RT Professional

5.4.2. Objetivos:

Objetivo General:

Poner en marcha el variador de frecuencia ATV312 marca Schneider usando WinCC RT Professional

Objetivos Específicos:

- Configurar una interfaz que controle el funcionamiento del variador para dar marcha al motor con WinCC RT Professional
- Establecer una frecuencia fija, solo mostrar valores 0 y 60 Hz en el variador y en la pantalla de WinCC RT Professional
- Producir comunicación entre el autómatas programable, el variador de Frecuencia y la interfaz WinCC RT Professional

5.4.3. Recursos:

- Módulo de comunicación Modbus CM1241 RS422/RS485 y cable de red
- Banco de Pruebas para sistemas de control industrial programable usando PLC 1212C AC/DC/RLY
- Computadora Dell Latitude E6430 con los programas Tia Portal V13 y WinCC RT Professional
- Motor trifásico Siemens de 1HP a 240 V

5.4.4. Tiempo estimado:

La práctica tiene un tiempo de resolución de 2 horas

5.4.5. Procedimiento:

Se procederá a configurar la comunicación remota entre PLC y el variador usando “WINCC RT Profesional”, para ello lo primero es “Add new device” (agregar un nuevo dispositivo). Ver Fig.104

Observación: La programación del PLC se adjunta en la parte de anexos



FIGURA 104: AGREGAR NUEVO DISPOSITIVO [AUTORES]

Se abre una ventana de dialogo, en ella se da clic en “PC-SYSTEM”, la opción desplegará un nuevo menú de dispositivos, dar un clic en la pestaña “SIMATIC HMI application” (Aplicación Simatic HMI), en el aparecerán tres tipos de aplicaciones HMI y se elige “WinCC RT Profesional”. Ver Fig.105

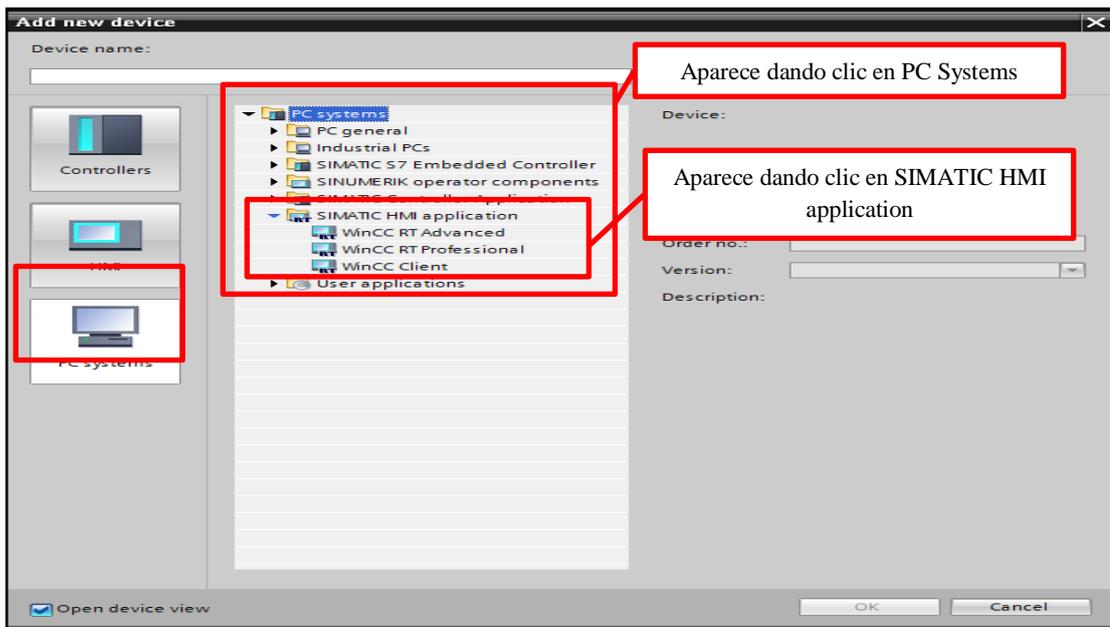


FIGURA 105: VENTANA AGREGAR PC-SYSTEM [AUTORES]

Una vez se hace la selección de la aplicación HMI, aparece en el árbol del proyecto un nuevo dispositivo con el nombre “PC-SYSTEM”, dentro estarán las pantallas a configurar con la Interfaz Humano Máquina. Ver Fig.106

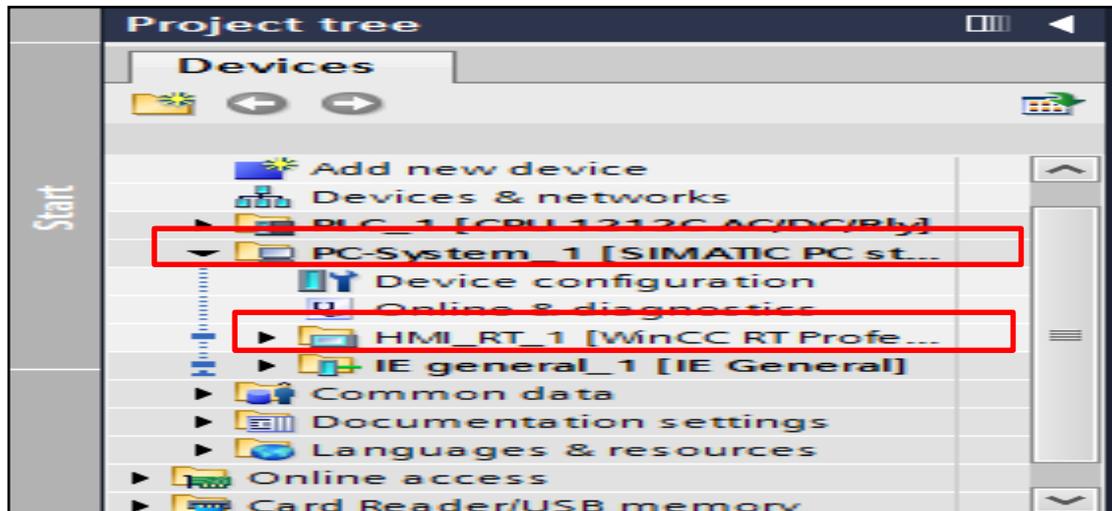


FIGURA 106: PC-SYSTEM EN ARBOL DEL PROYECTO [AUTORES]

Observación: El símbolo con el nombre “HMI_RT_1” despliega un submenú en donde se configuran todas las variables y pantallas del Interfaz Humano Máquina.

Se procede con la vista de dispositivos en el programa, esto permitirá realizar la comunicación PLC-VARIADOR-PC y obtener los datos para visualizarlos en “WinCC RT Professional”. Ver Fig. 107

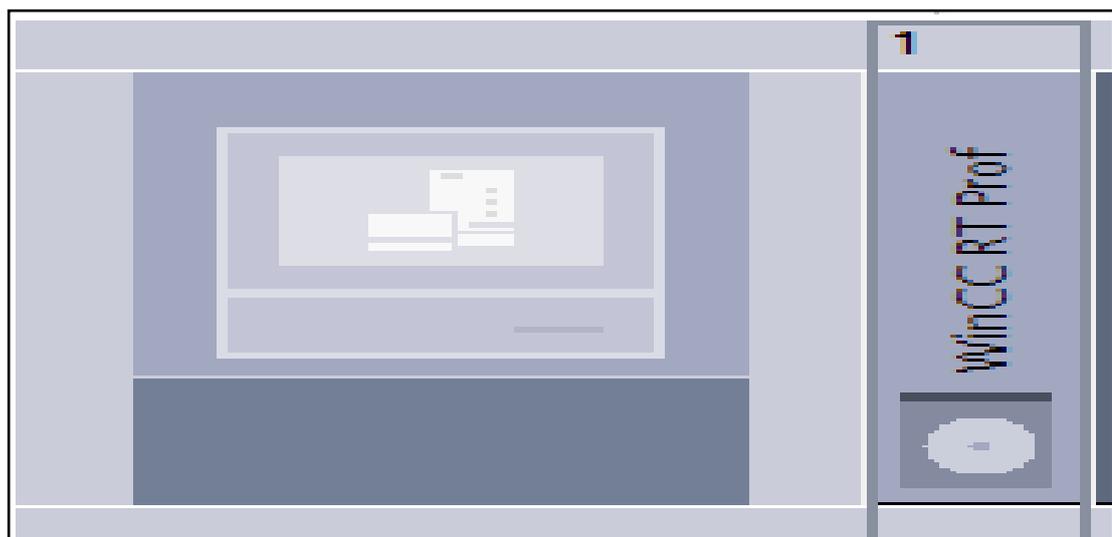


FIGURA 107: CONFIGURAR SYMATIC PC-STATION [AUTORES]

Se adjunta un módulo para la comunicación entre la PC-STATION y el PLC mediante el uso de una Red Industrial, a la derecha aparecerá un menú de herramientas, se da un clic en la opción “**Communication Modules**” (Módulos de comunicación), “**PROFINET/Ethernet**”, “**IE general**” se lo desplaza a la vista de dispositivos y automáticamente aparece en la pantalla. Ver Fig.108

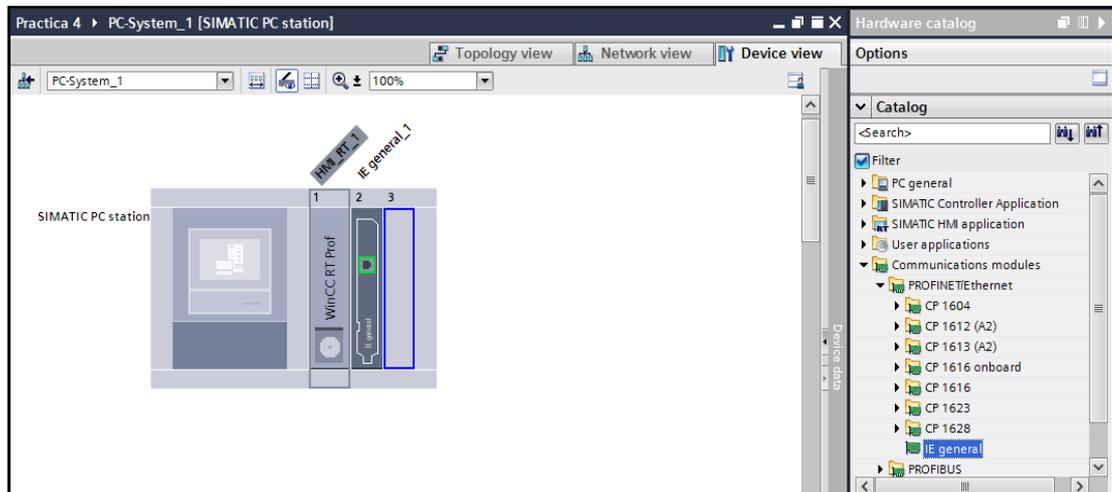


FIGURA 108: AGREGAR IE GENERAL [AUTORES]

En el nuevo dispositivo se debe configurar la dirección IP, la misma se designa dando doble clic en IE_general en el icono que tiene similitud a un puerto RJ45, aparecera una ventana con las propiedades del dispositivo, dar clic en la opción “**Ethernet addresses**” (dirección Ethernet), se desplaza hacia abajo hasta la opción IP protocol donde se escribe la siguiente “**IP address**” (dirección IP) 192.168.0.1 con “**subnetmask**” (mascara de subred) 255.255.255.0 Ver Fig. 109

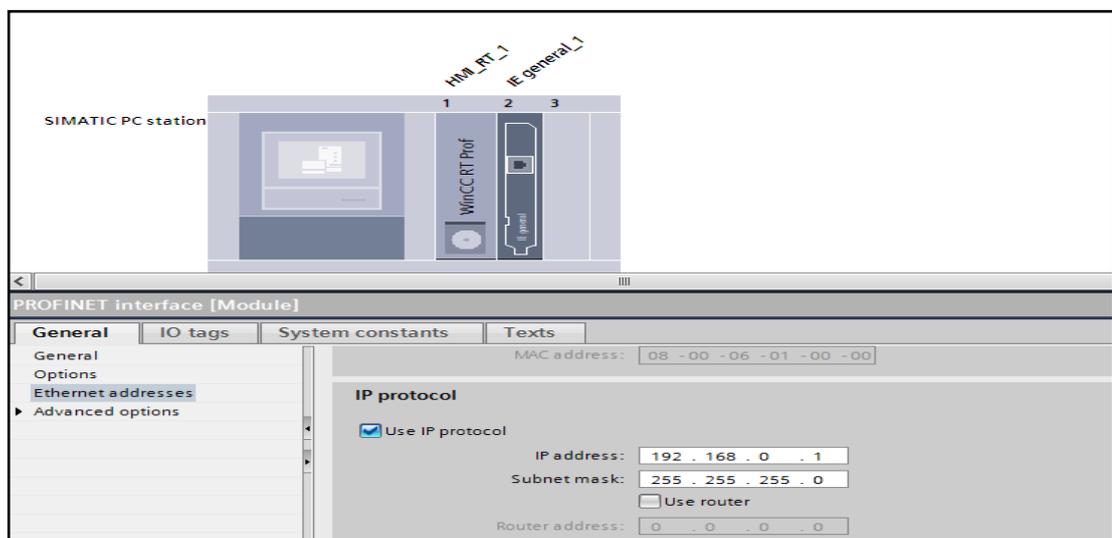


FIGURA 109: DIRECCIÓN IP DE IE_GENERAL [AUTORES]

Una vez configurado, se da clic en network view (vista de redes), aparecerán los dos dispositivos a colocar en red, para la conexión HMI se da clic en el icono “**Connections**” (conexiones), luego se determina el tipo de conexión y se busca “**HMI connection**” (conexión HMI), se hace la unión entre los puertos RJ45 de ambos dispositivos. Ver Fig. 110

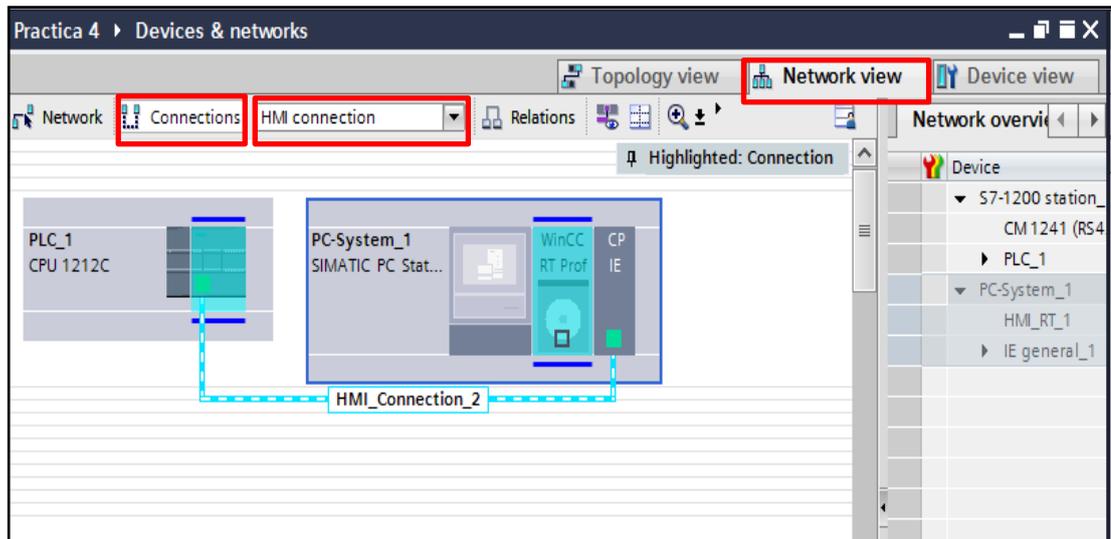


FIGURA 110: CONEXIÓN HMI ENTRE PLC Y PC [AUTORES]

En el icono “**Network**” (Red) dentro de la Fig.110, también se debe realizar la unión entre los puertos RJ45 de los dos dispositivos, el motivo es la conexión interna que reconoce la máquina con el PLC es decir de manera virtual o simulada. Sigue la configuración en la vista topológica de los dispositivos, aquí se realiza la conexión entre los Hardware es decir los equipos que se tiene de manera física en el laboratorio. Ver Fig.111

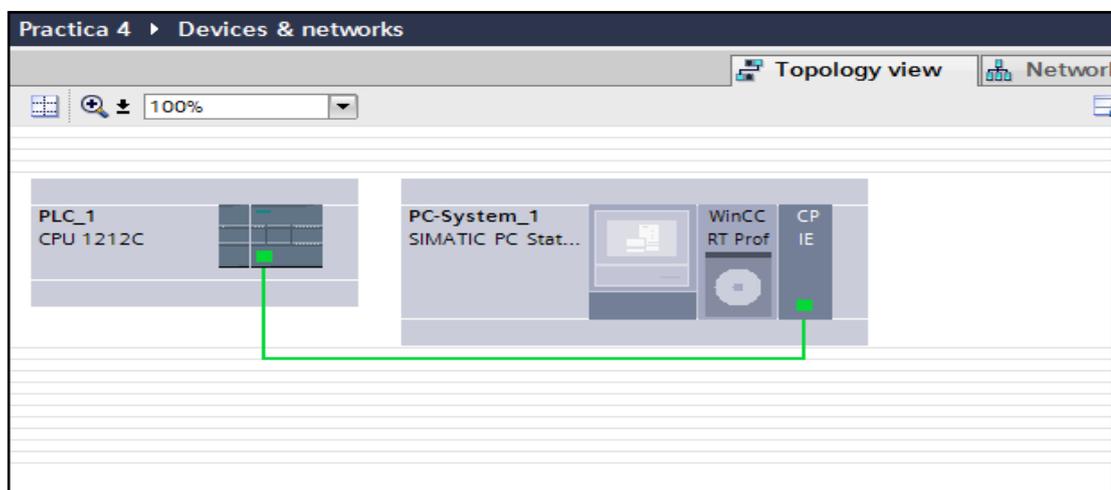


FIGURA 111: CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS EN VISTA TOPOLÓGICA [AUTORES]

Teniendo en red los dispositivos se procede a la configuración de las pantallas para controlar el funcionamiento del variador de Frecuencia de manera remota.

Para realizar la interfaz que controlara al variador desde la PC, dar clic a la opción “Screens” (pantallas) por defecto solo estará disponible el icono agregar nueva imagen, solo se creara 2, una para el título y otra para el control. Ver Fig.112

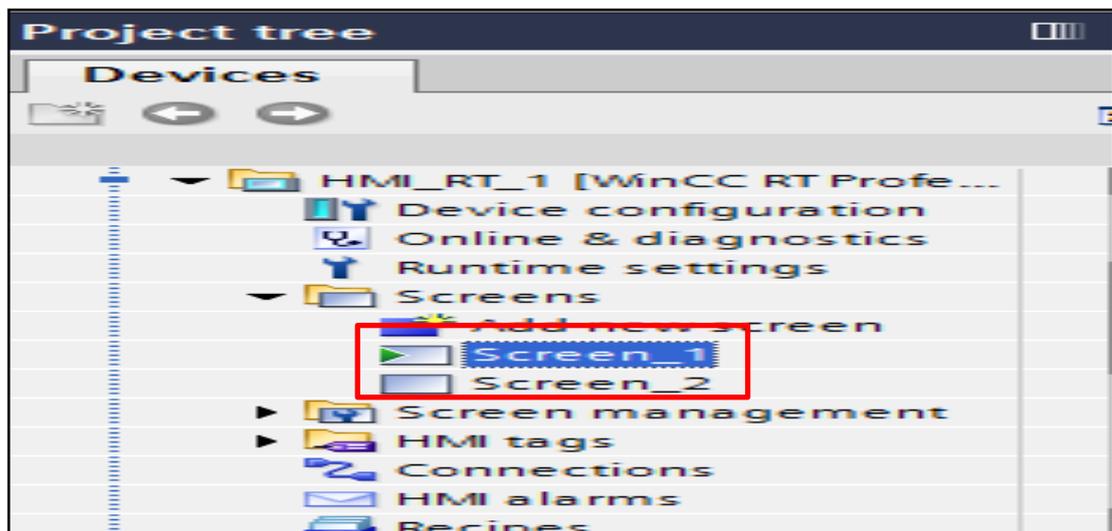


FIGURA 112: ADD NEW SCREEN (AGREGAR NUEVA PANTALLA) [AUTORES]

Observación: Las pantallas creadas (Fig.112) tienen por defecto los nombres “Screen_1” y “Screen_2”, se puede cambiarlos dependiendo el uso que tengan.

A la derecha aparece un menú llamado herramientas, se tienen varias pestañas para configurar la pantalla HMI, opciones de texto, campos de entradas y salidas entre otros. Ver Fig.113

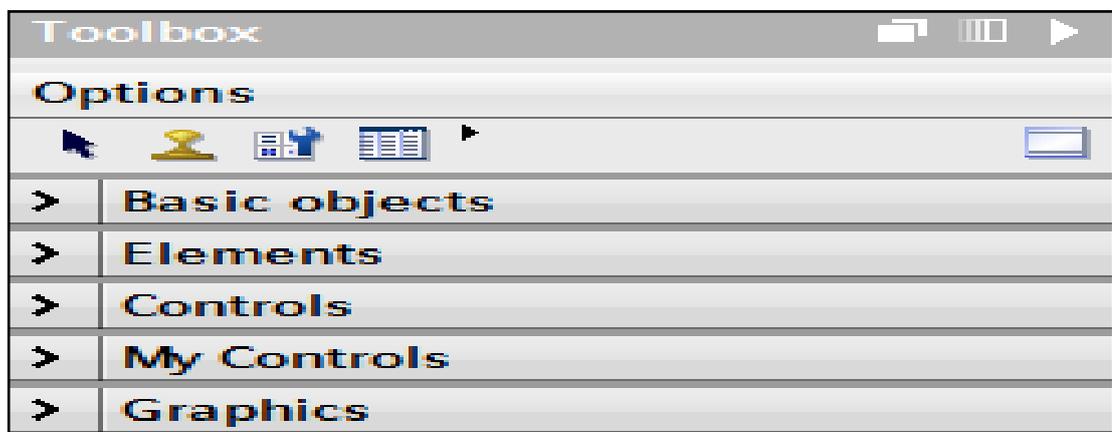


FIGURA 113: MENU HERRAMIENTAS [AUTORES]

Dar clic en “**Basic objects**” (objetos básicos), se despliegan las opciones en este caso se da clic en campo de texto, se arrastra y suelta en la pantalla HMI (Screen 1). Ver Fig.114



FIGURA 114: CAMPO DE TEXTO [AUTORES]

Cabe recalcar se debe quitar el marco que viene por defecto en el campo de texto, dar clic derecho para abrir un menú y seleccionar propiedades, en este caso aparecen múltiples opciones, sirven para editar el texto en la pantalla HMI, ir a la pestaña “**Appearance**” (apariencia), el recuadro que dice “**Border**” (borde) y finalmente el campo que dice “**WIDTH**” (espesor) el valor a colocar es cero. Ver Fig.115

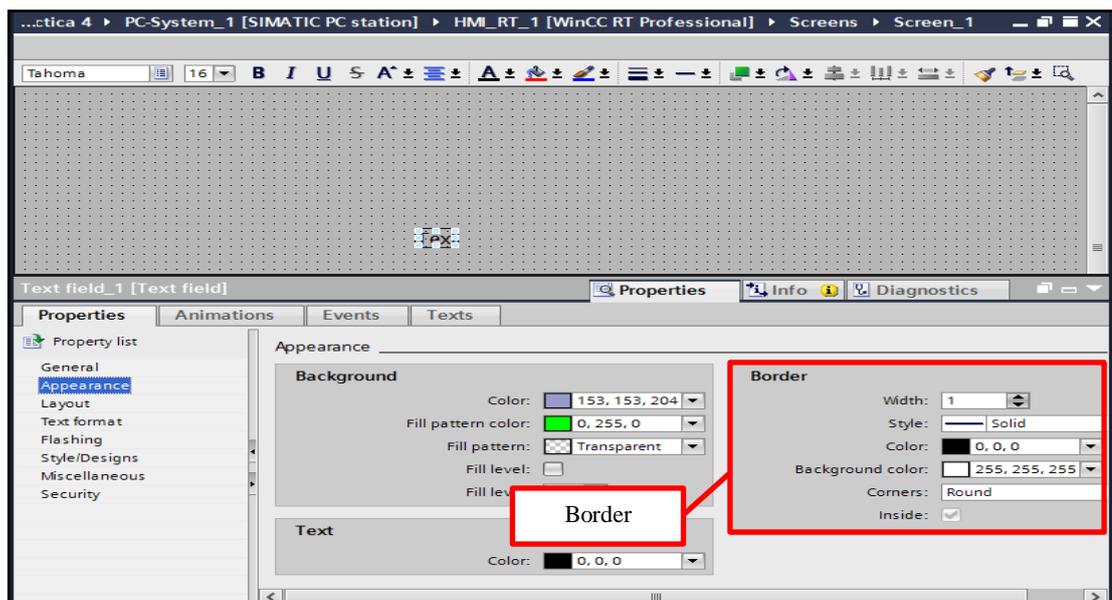


FIGURA 115: CONFIGURACIÓN CAMPO DE TEXTO [AUTORES]

Otra de las opciones a considerar es la pantalla, configurar el tamaño y color de la misma, en este caso se tienen las dimensiones: “**width**” (ancho) 550 y “**height**” (alto) de 480. Ver Fig.116

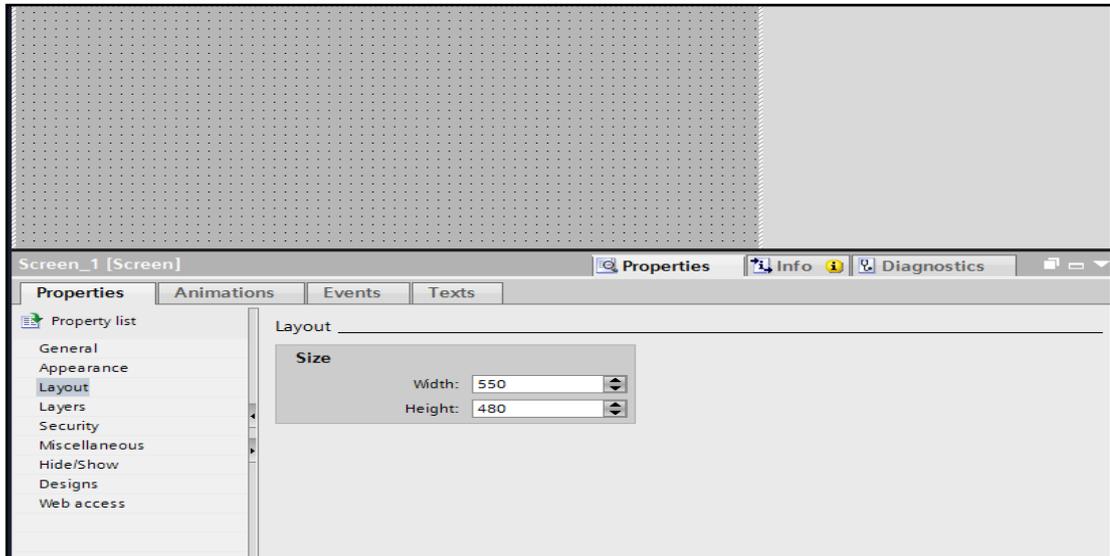


FIGURA 116: CONFIGURAR DIMENSIONES DE LA PANTALLA HMI [AUTORES]

Para dar un color para el fondo, dar clic a la opción General dentro está un cuadro de texto llamado “**PATTERN**” (patrón), seleccionar “**Background color**” (color de fondo) y se despliega un cuadro con múltiples colores, el usuario elige la tonalidad que tendrá el fondo de su pantalla HMI. Ver Fig.117

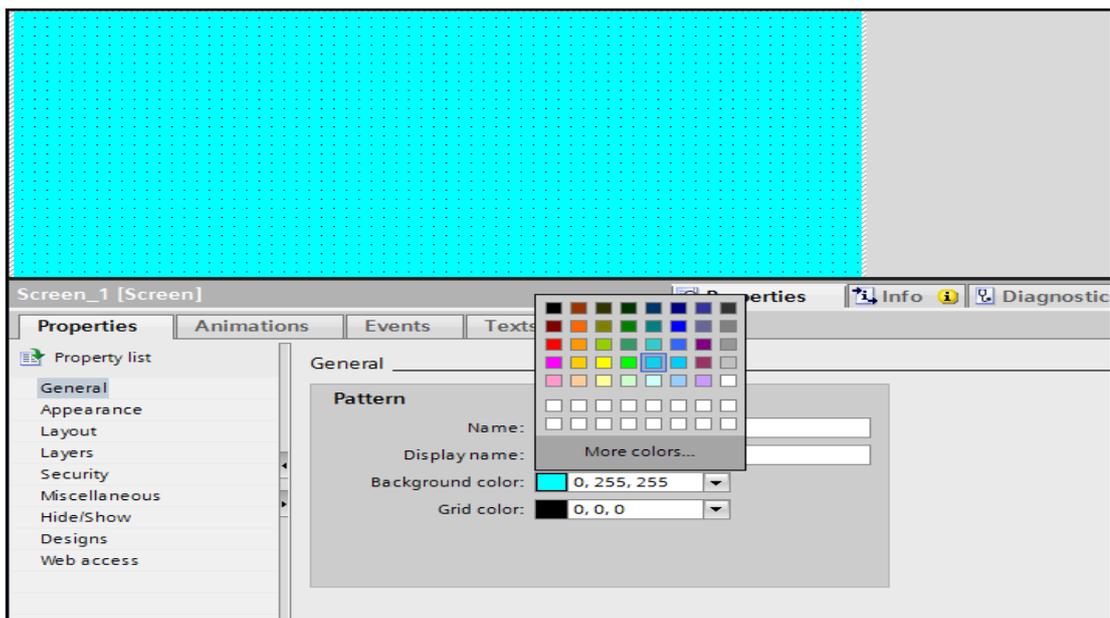


FIGURA 117: CONFIGURACION DE COLOR PANTALLA HMI [AUTORES]

Se prosigue a configurar un botón para activar la pantalla de control y otro para salir de la simulación, se encuentran en la pestaña elementos de la ventana herramientas (Fig.113), se desplaza el elemento hasta la pantalla HMI por defecto viene con la palabra “Text” (texto) escrita, se lo reemplaza por el término “NEXT” (siguiente) en dicho componente. Ver Fig.118

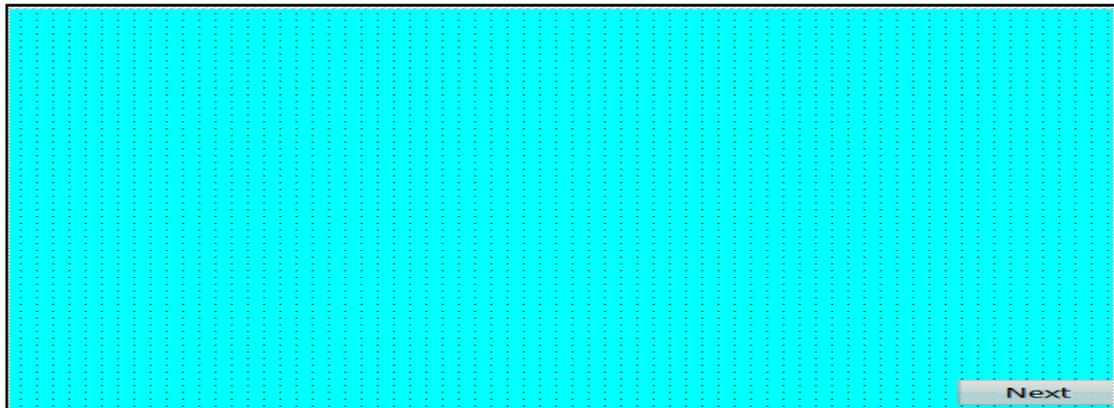


FIGURA 118: BOTON EN PANTALLA HMI [AUTORES]

Observación: No solo se debe usar texto en el botón, para mejorar el entorno WinCC RT Profesional el cual permite el uso de gráficos en dichos elementos y demás aplicaciones que se pueden encontrar en la página del fabricante SIEMENS [15]

Una vez modificado el texto, se hace la configuración para activar la imagen de control para la marcha del motor trifásico desde el entorno de simulación, dar clic en propiedades y seleccionar la pestaña eventos, se da un clic la opción “CLICK”, luego “Add Function” (agregar función) y se despliega un menú. Ver Fig.119

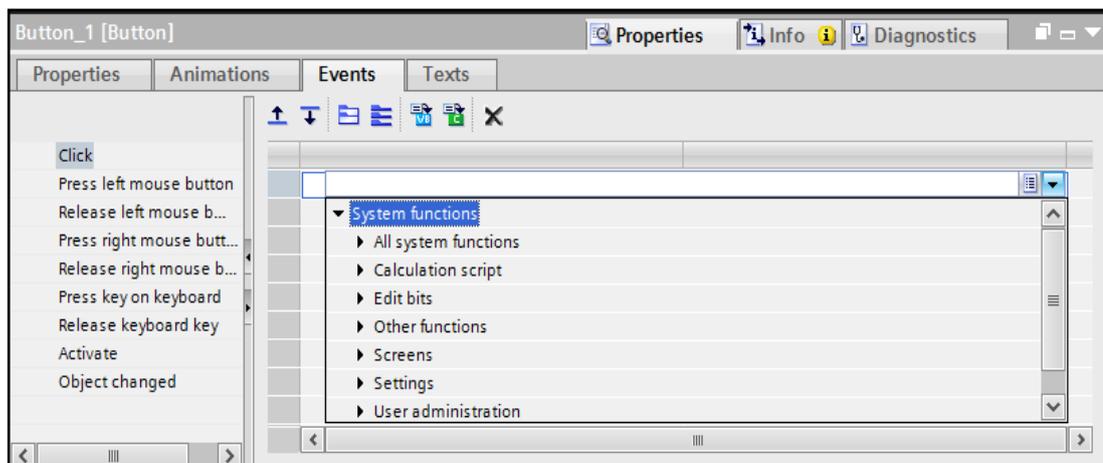


FIGURA 119: CONFIGURAR EVENTOS EN BOTON NEXT (SIGUIENTE) [AUTORES]

Seleccionar la pestaña “Screen” (pantalla) y se abre un submenú dar clic en “Activate Screen” (activar pantalla) como se aprecia en la Fig.120

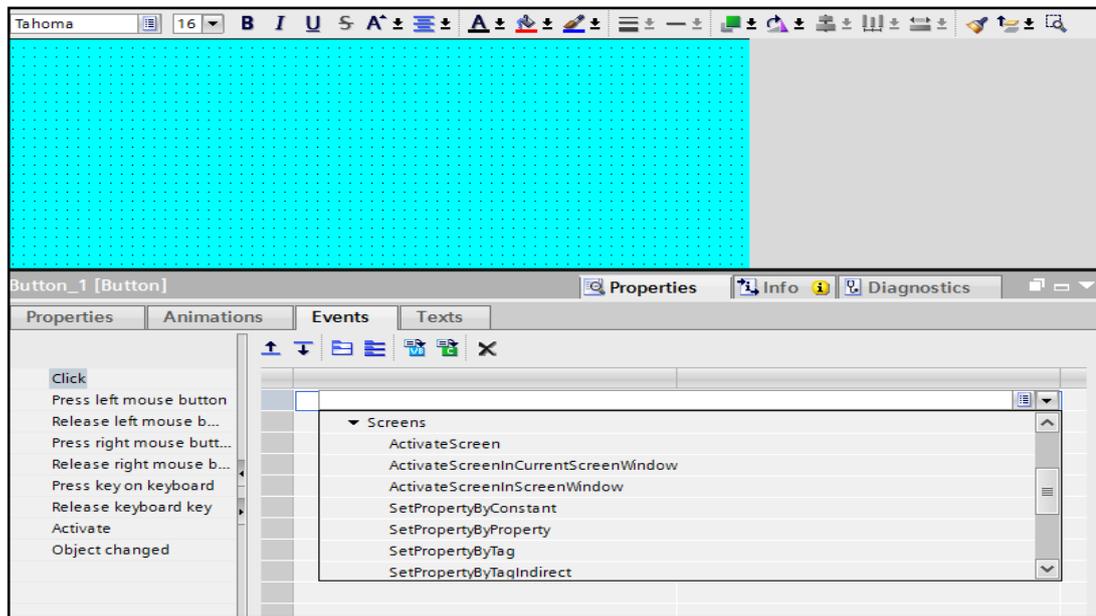


FIGURA 120: ACTIVATE SCREEN (ACTIVAR PANTALLA) [AUTORES]

La configuración del botón termina una vez seleccionada la imagen que se desea activar al momento de hacer clic en el elemento. Ver Fig.121

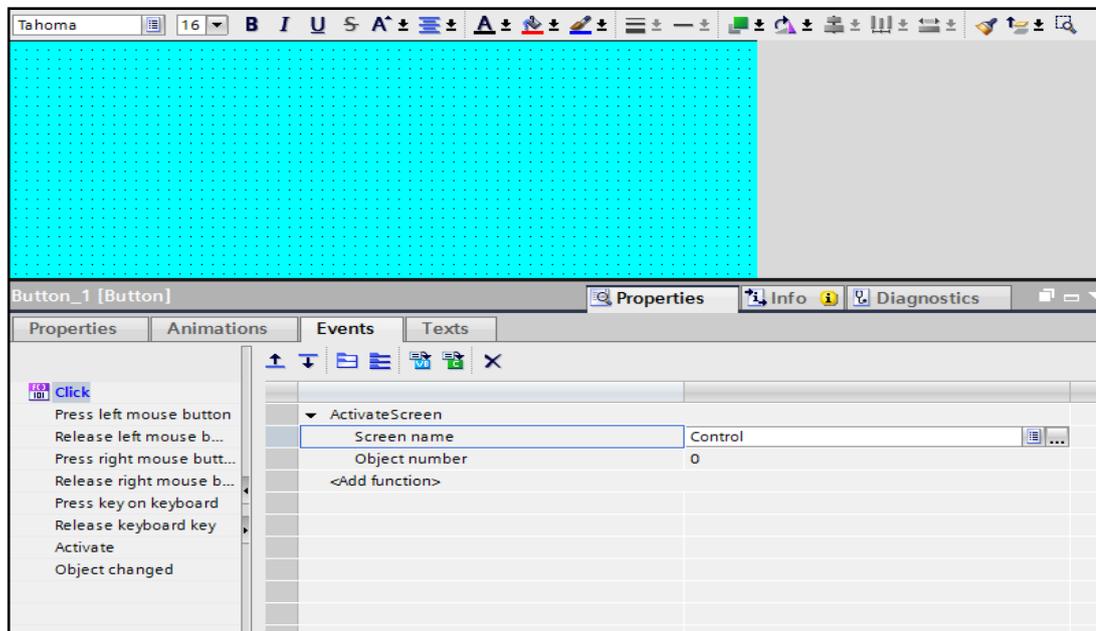


FIGURA 121: BOTON CONFIGURADO [AUTORES]

La pantalla HMI se configura de acuerdo con las necesidades del usuario en este caso se ubica el número de práctica, el logo de la universidad, los autores y el docente a cargo. Ver Fig.122



FIGURA 122: CARÁTULA HMI [AUTORES]

Nuevamente crear una pantalla HMI con nombre control, se encarga de supervisar el funcionamiento del motor y a su vez envía la señal para dar marcha y paro de manera remota. Ver Fig.123



FIGURA 123: PANTALLA CONTROL [AUTORES]

Observación: Los botones de marcha y paro simplemente tienen configurados imágenes en lugar de texto, para simular el efecto de presionar y soltar.

En los botones para observar gráficos en lugar de texto, dar clic derecho y seleccionar propiedades. Ver Fig.124

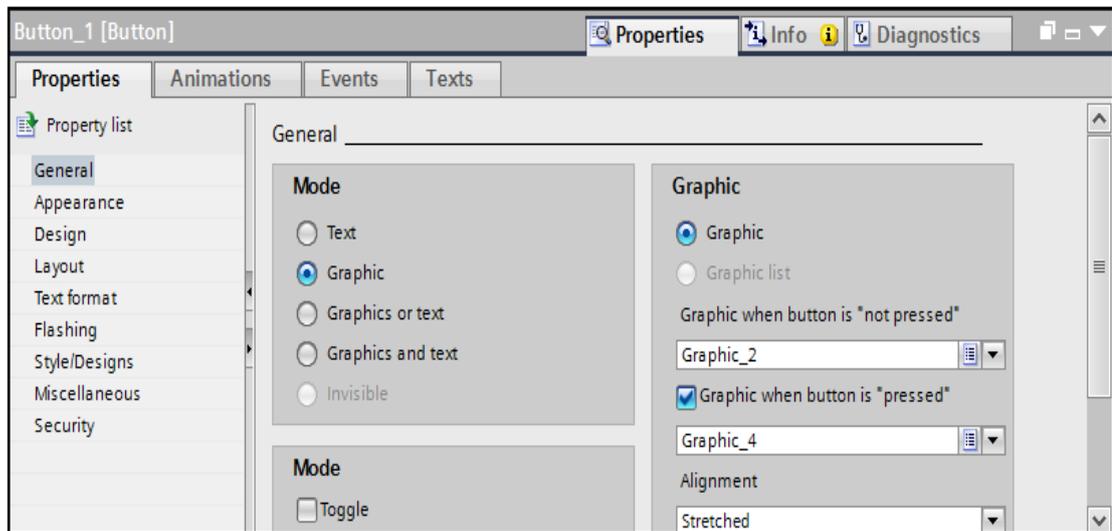


FIGURA 124: PROPIEDADES BOTONES MARCHA-PARO [AUTORES]

Para activar un bit desde la pantalla HMI al PLC, realizar la misma acción de la (Fig.120), diferencia: Seleccionar la opción **“Edit Bits”** (editar bits). Ver Fig.125

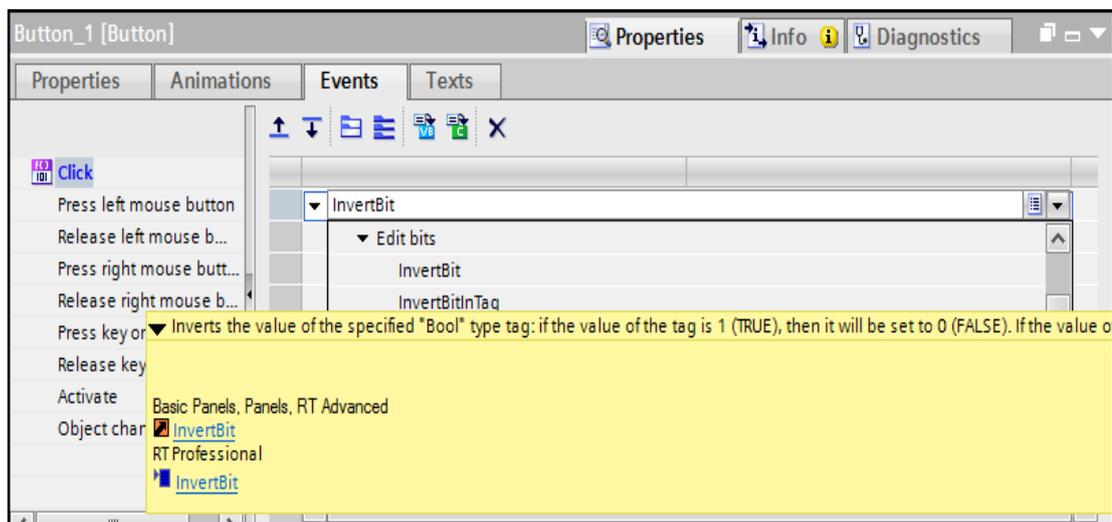


FIGURA 125: EVENTO INVERTIR BIT [AUTORES]

Seleccionar la opción **“invertBit”** (invertir bit) (Fig.126), esto permite cambiar el estado lógico de los bits usados dentro de la programación del PLC, además de controlarlos a beneficio del usuario, por precaución se utilizan las conocidas Marcas o contactos auxiliares que ocupan un espacio dentro de la memoria del Autómata programable.

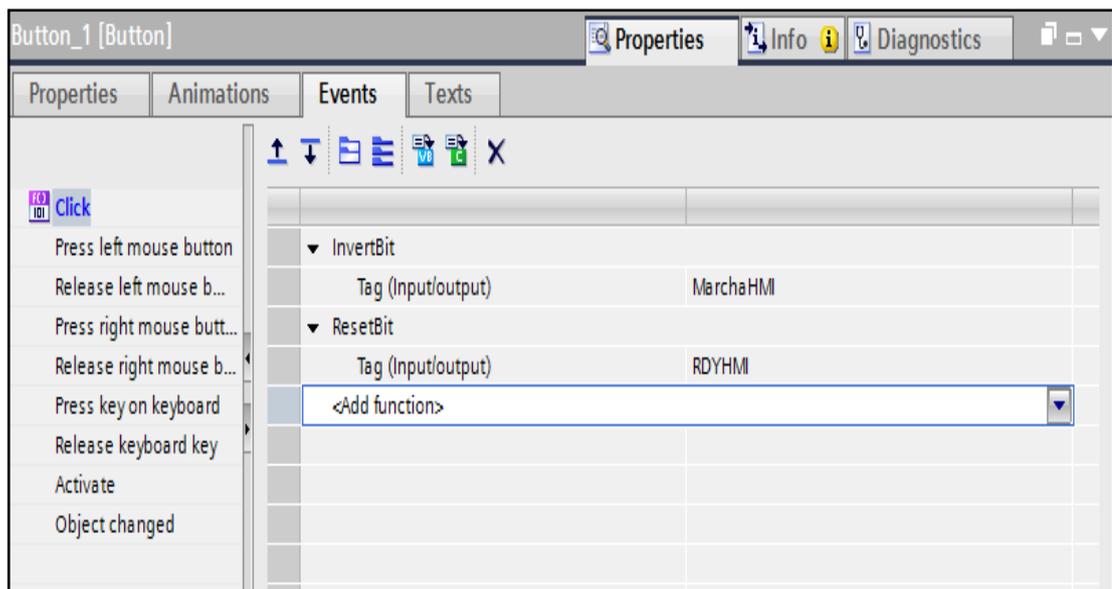


FIGURA 126: EVENTOS CONFIGURADOS BOTON MARCHA [AUTORES]

Observación: Cabe mencionar que dichos valores “**Booleanos**” son marcas auxiliares en paralelo con las entradas digitales del Autómata Programable dentro del “**MAIN**” principal. Ver Fig.127

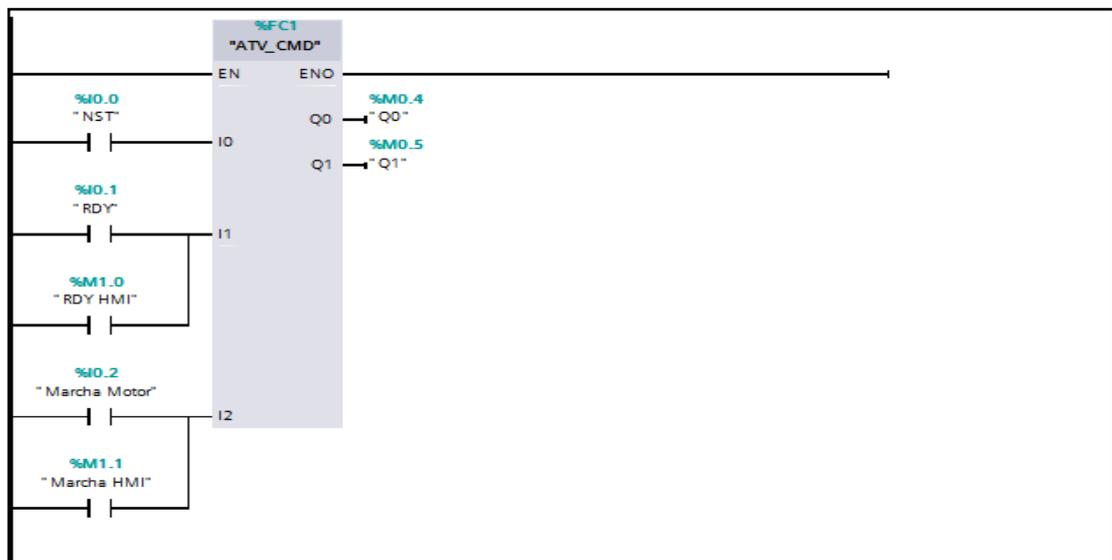


FIGURA 127: BITS AUXILIARES PANTALLA HMI [AUTORES]

En el botón de Paro se hace la misma configuración de eventos, difiriendo en la activación y desactivación de las variables. Ver Fig.128

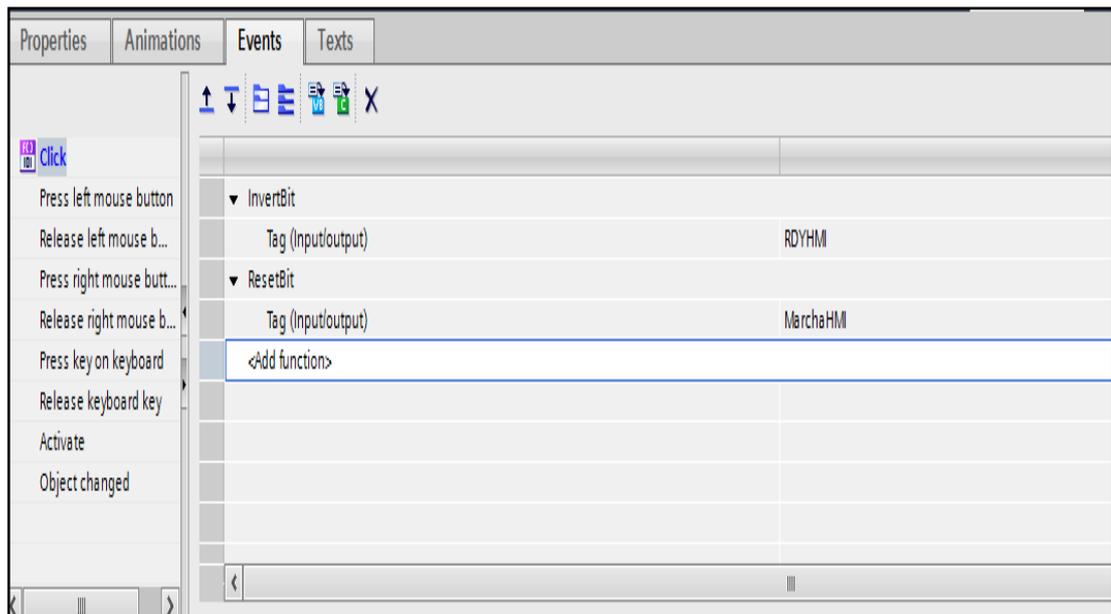


FIGURA 128: EVENTOS CONFIGURADOS BOTON PARO [AUTORES]

En todos los botones se debe configurar los eventos que permiten realizar diversas acciones dentro de la pantalla HMI, van desde activar bits, aumentar valores a las variables del PLC hasta salir de la misma simulación en WinCC RT Professional.

Se procede a configurar las luces piloto de marcha y paro, se debe simplemente arrastrar un circulo desde la pestaña “**Basic objects**” (objetos básicos) (Fig.113) del menú herramientas, una vez en el área de trabajo dar clic derecho, luego en propiedades y seleccionar en la sección “**Animations**” (animaciones). Ver Fig.129

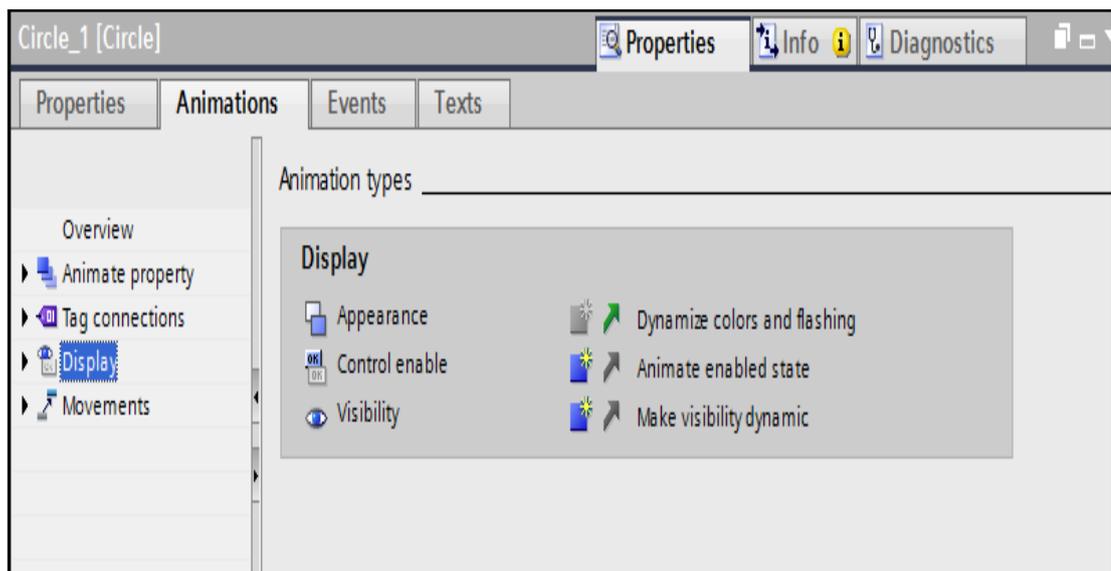


FIGURA 129: PESTAÑA ANIMATIONS (ANIMACIONES) [AUTORES]

Una vez en dicha ventana dar clic en **“Display”** (monitor), esto desplegara un nuevo menú con tres opciones: **“Appearance”**, **“Control enable”** (control habilitado) y **“Visibility”** (visibilidad) seleccionar **“Appearance”** (apariencia), aparece una nueva pestaña de configuraciones. Ver Fig.130

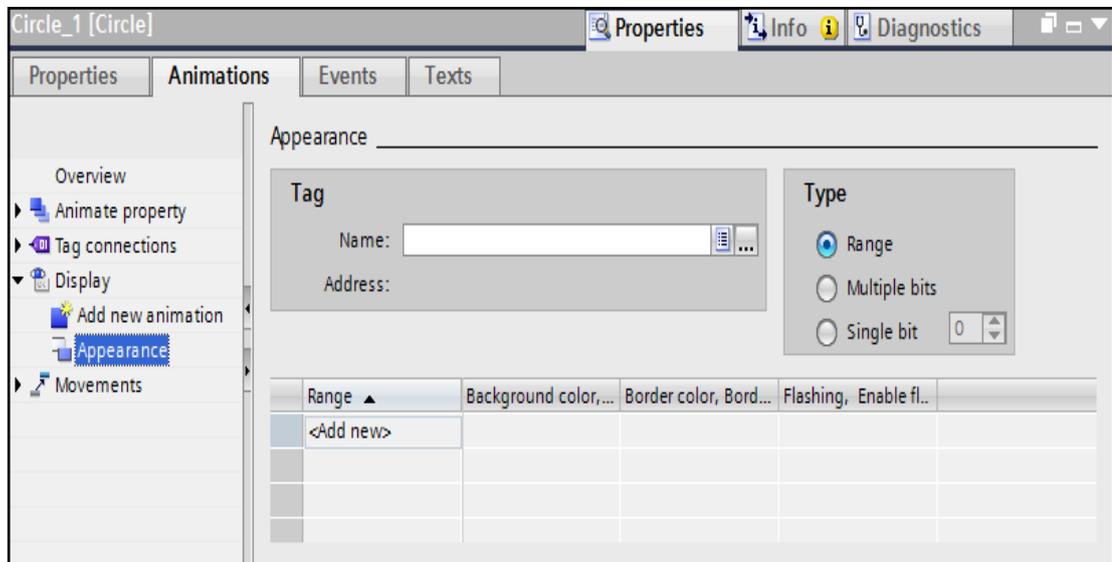


FIGURA 130: CONFIGURACIÓN APPEARANCE (APARIENCIA) [AUTORES]

Dentro de esta ventana se enlaza el círculo con una marca de nuestro PLC, para ello dar clic en la opción **“name”** (nombre) del rectángulo con título **“Tag”** (etiqueta), aparece un cuadro de dialogo, seleccionar la pestaña PLC Tags, Default Tag Table, buscar la variable Q0. Ver Fig.131

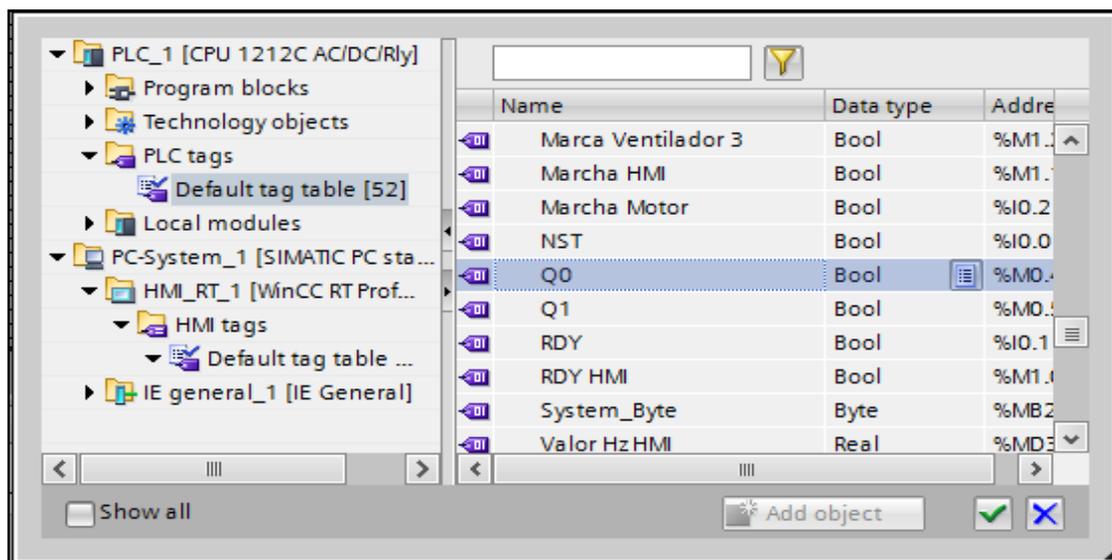


FIGURA 131: VENTANA ENLAZAR VARIABLE PLC-HMI [AUTORES]

En la parte inferior del cuadro “**Tag**” (etiqueta) se tiene la columna “**Range**” (rango), esto indica el rango que tiene la variable en este caso booleana (0-1), la columna “**Background**” (color de fondo) permite cambiar la tonalidad del fondo del círculo, cuando está en 0 color plomo y en 1 rojo. Ver Fig.132

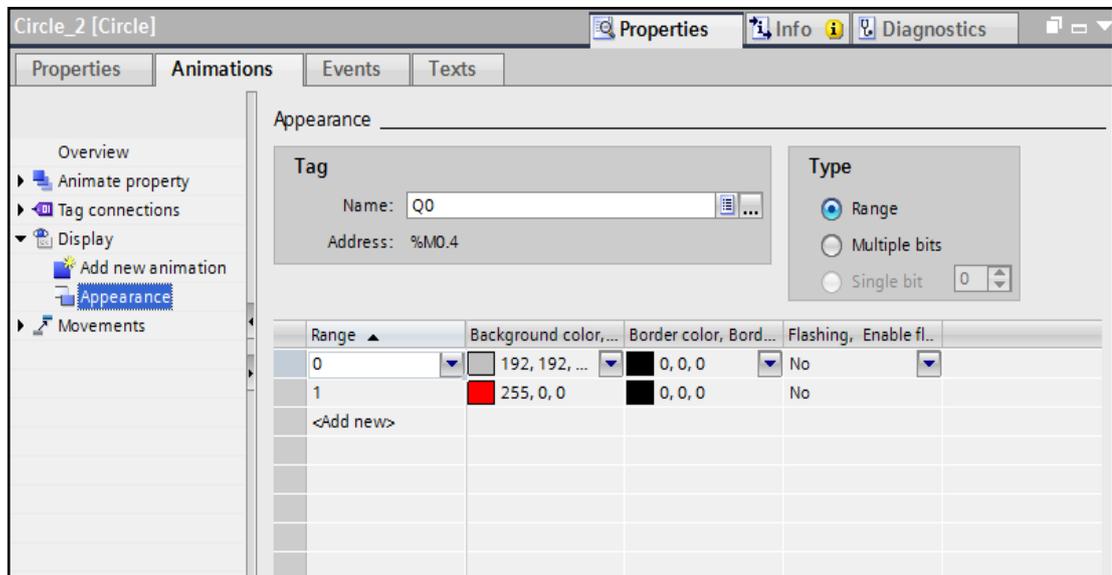


FIGURA 132: CONFIGURAR RANGOS EN APPEARANCE [AUTORES]

La pantalla HMI tendrá un velocímetro, este visualizador está conectado a una variable interna del PLC que mide las RPM del motor desde el variador de frecuencia, dicho componente se encuentra en la opción elementos del menú herramientas. Ver Fig.133

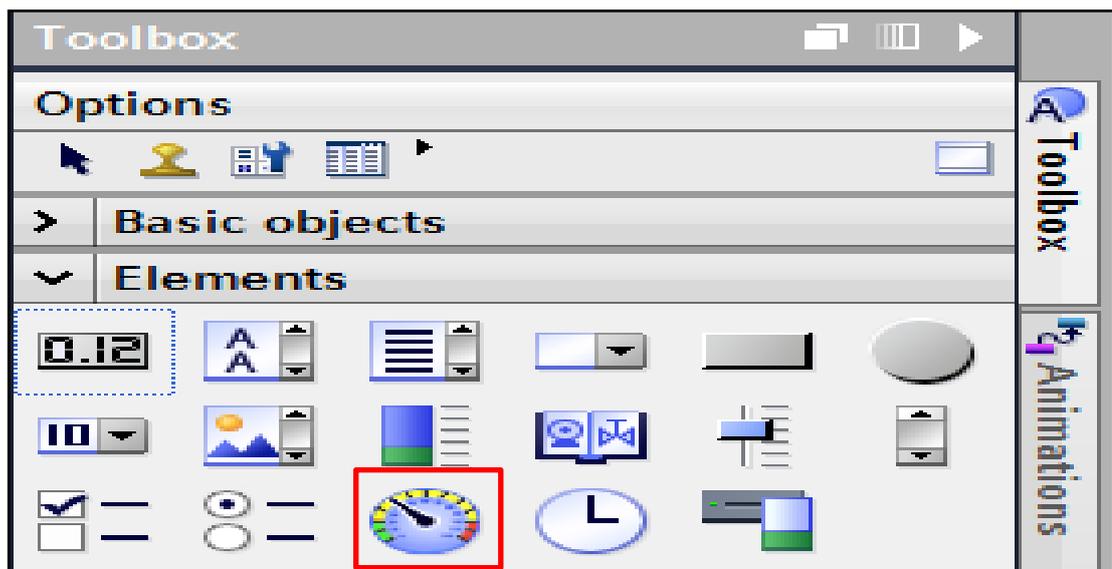


FIGURA 133: VELOCÍMETRO EN HMI [AUTORES]

Una vez desplazado el elemento a la zona de trabajo, se procede a dar clic derecho seleccionar propiedades y aparece un submenú. Ver Fig.134

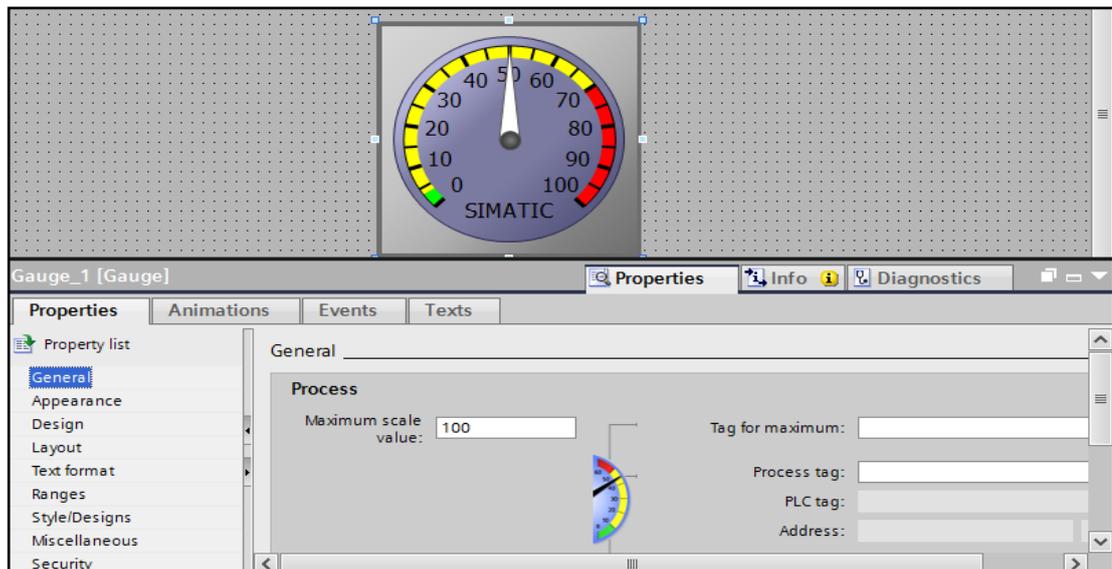


FIGURA 134: PROPIEDADES VELOCÍMETRO [AUTORES]

Observación: Antes de haber accedido a las propiedades, se debe escalar el valor de las RPM de 1800 a 90 porque después no se apreciarán los rangos de medición en la aguja del Velocímetro

Para escalar dicho valor acceder al “**Bloque FC ATV_READ**” ubicado en los bloques de programación del autómata programable. Ver Fig.135

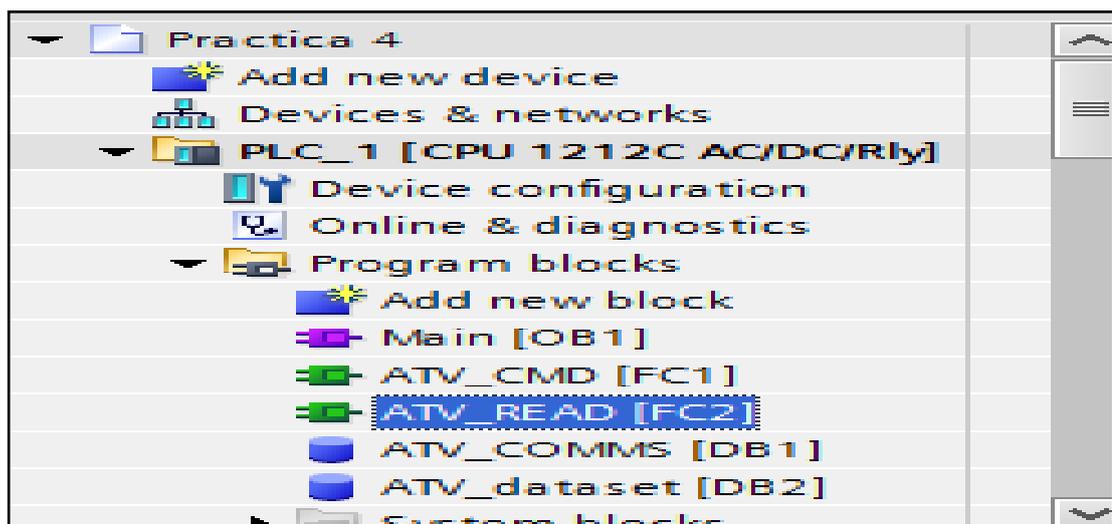


FIGURA 135: CONFIGURACIONES HMI EN BLOQUE ATV_READ [AUTORES]

Acceder al bloque de transferencia que trabaja con la variable “ATV_dataset. ATV312_RPM”, se debe convertir este dato de entero a real porque se necesita saber con precisión la velocidad de motor, usar la Función “CONV” y luego dividir para 20 obteniendo un valor en formato real de 90 que se podrá visualizar en el Velocímetro. Ver Fig.136

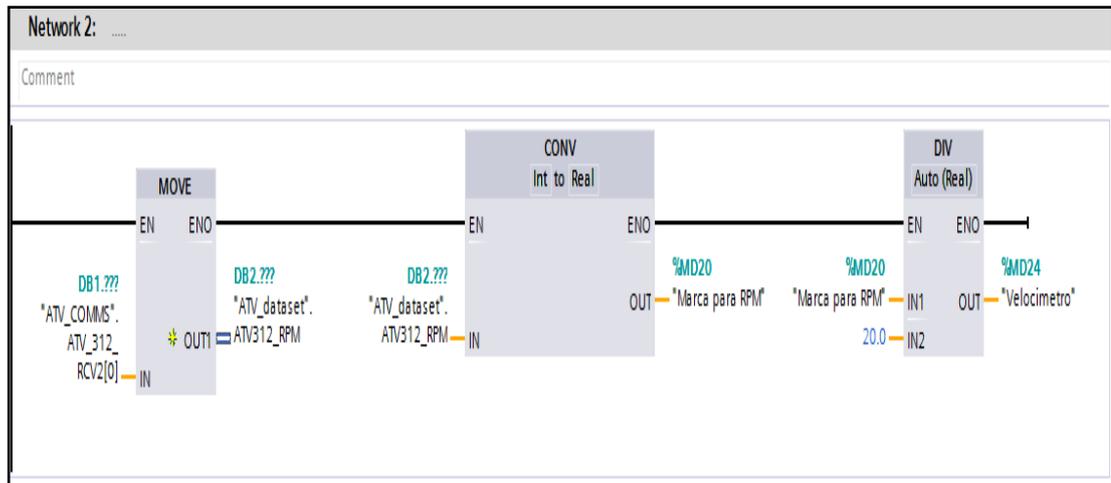


FIGURA 136: CONVERSIÓN Y ESCALADO VARIABLE RPM [AUTORES]

Una sugerencia es usar la función SCALE_X con un rango de 0 a 90 comprobar:

- Cambia la lectura de Datos ¿Por qué?
- Es eficaz usar SCALE_X en lugar de DIV ¿Por qué?

Para supervisar cuantas RPM y Frecuencia le ingresa al motor desde el Variador, se usa en la Pantalla HMI un I/O Field, este elemento muestra valores numéricos de una variable. Ver Fig.137

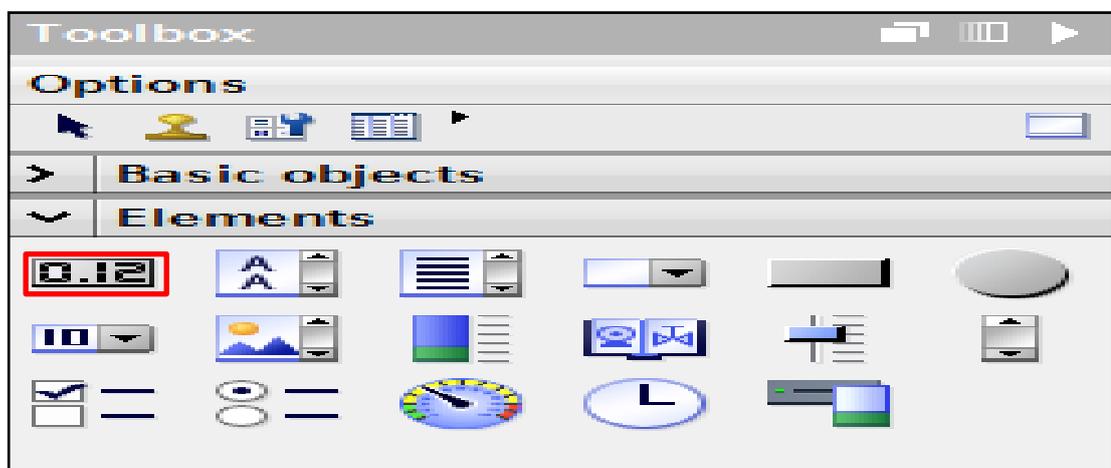


FIGURA 137: I/O FIELD (CAMPO E/S) [AUTORES]

Una vez desplazado el elemento se lo configura, dar clic derecho en propiedades la variable de tipo proceso a seleccionar del PLC “ValorHzHMI” de tipo REAL. Ver Fig.138

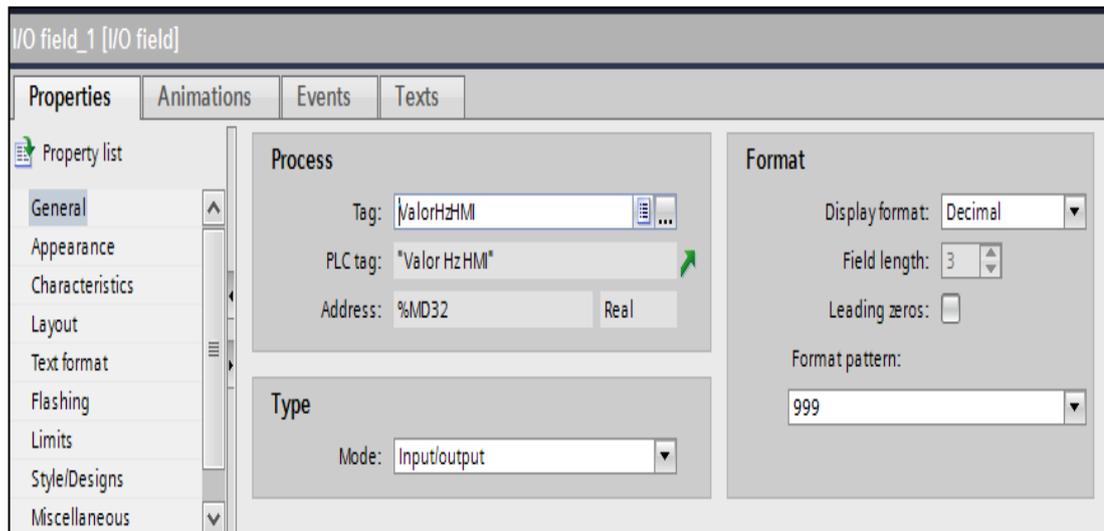


FIGURA 138: CONFIGURACIÓN I/O FIELD HZ (CAMPO E/S HERTZ) [AUTORES]

Observación: Se realiza lo mismo para la variable RPM con la diferencia de formato con más decimales para poder visualizar la velocidad del motor. Ver Fig.139

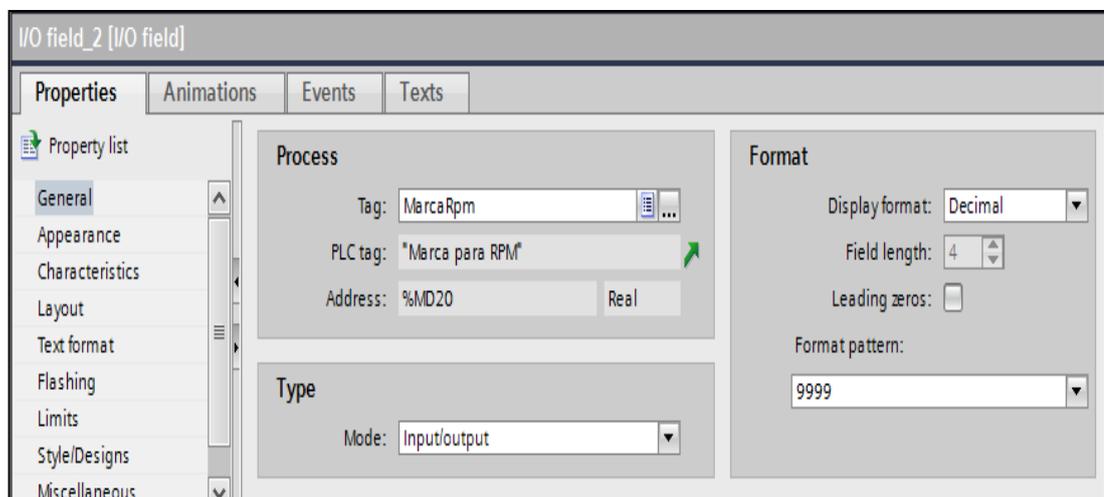


FIGURA 139: CONFIGURACIÓN I/O FIELD RPM (CAMPO E/S RPM) [AUTORES]

Se debe tomar en cuenta que las variables conectadas al PLC tendrán acceso absoluto desde la pantalla HMI, para no tener ningún problema en la comunicación entre PC y Autómata Programable, a continuación, se muestra un ejemplo. Ver Fig.140

Default tag table							
Name ▲	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address	Access mode	Logged
1000	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	1000	%M0.2	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
1800	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	1800	%M0.3	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
500	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	500	%M0.1	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
MarcaRpm	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"Marca para RPM"	%M0.20	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
Marcaventilador1	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	"Marca ventilador 1"	%M0.6	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
Marcaventilador2	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	"Marca ventilador 2"	%M0.7	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
MarcaVentilador3	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	"Marca Ventilador 3"	%M1.2	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
MarchaHMI	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	"Marcha HMI"	%M1.1	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
Q0	Bool	HMI_Conne...	PLC_1	Q0	%M0.4	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
Q1	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	Q1	%M0.5	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
RDYHM	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	"RDY HMI"	%M1.0	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
ValorHzHMI	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"Valor Hz HMI"	%M0.32	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
Velocimetro	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	Velocimetro	%M0.24	<absolute access>	<input type="checkbox"/>
<Add new>							

FIGURA 140: TABLA DE VARIABLES HMI [AUTORES]

5.4.6. Conclusiones:

Se configuro la interfaz en WinCC RT Professional, mediante el programa TIA Portal V13, se controló la marcha y paro del motor desde la PC por medio de la interfaz mencionada anteriormente con valores de 0 Hz y 60 Hz respectivamente, mediante el protocolo de comunicación IP se establecieron direcciones para el computador y el autómat programable además del uso de otro protocolo (Modbus) para el enlace entre el variador y el PLC.

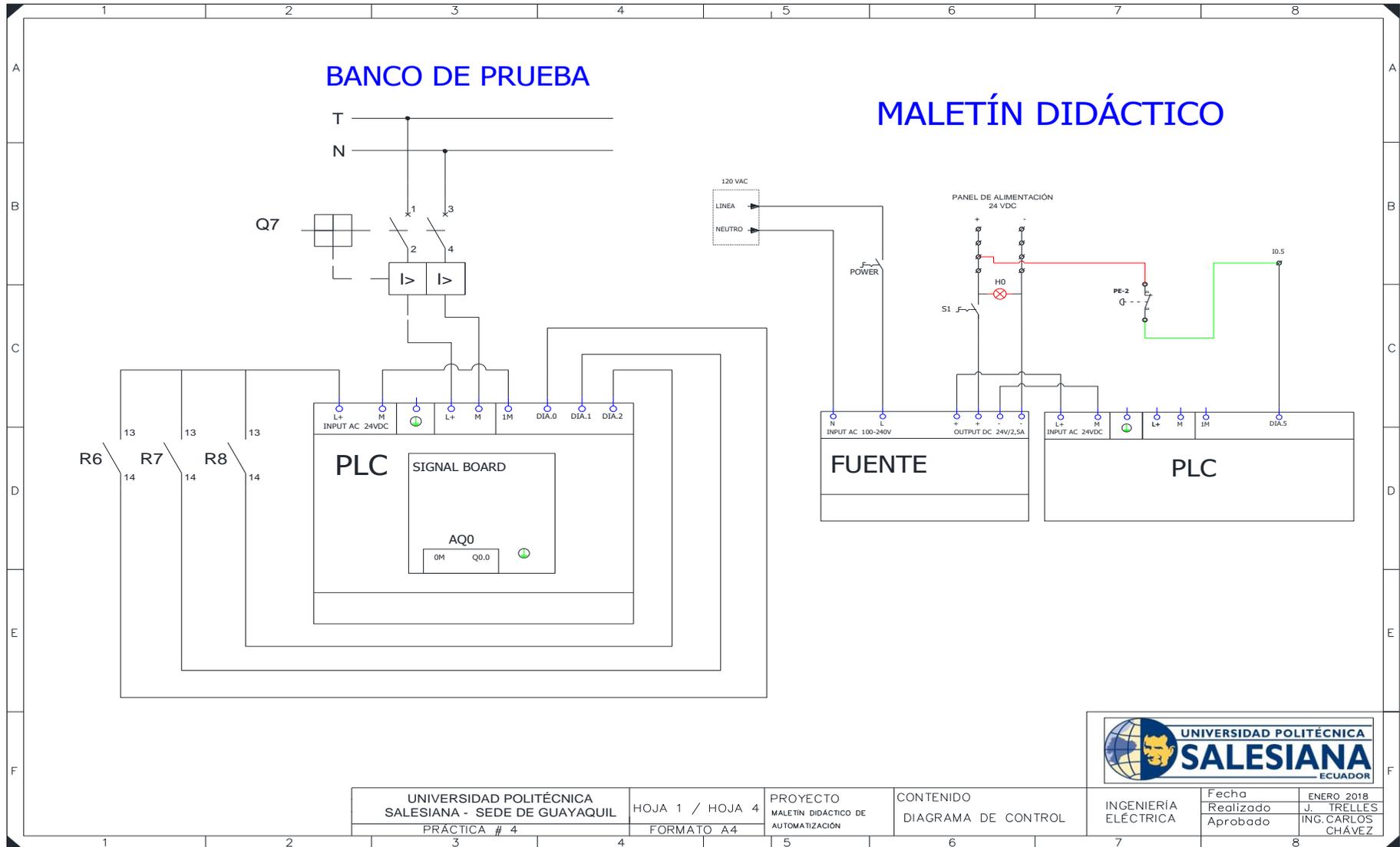


FIGURA 141: DIAGRAMA DE CONTROL – PRÁCTICA # 4 [AUTORES]

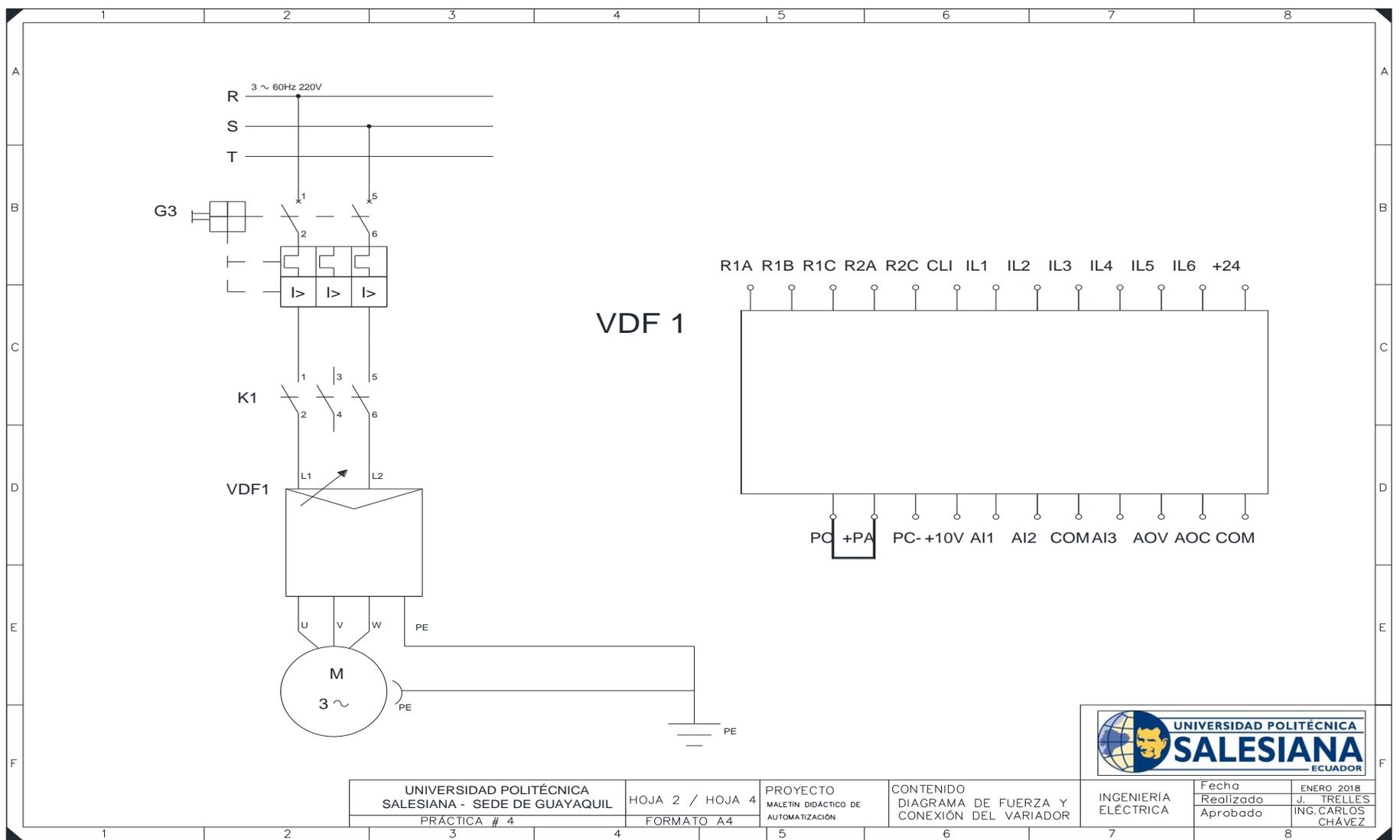


FIGURA 142: DIAGRAMA DE FUERZA – PRÁCTICA # 4 [AUTORES]

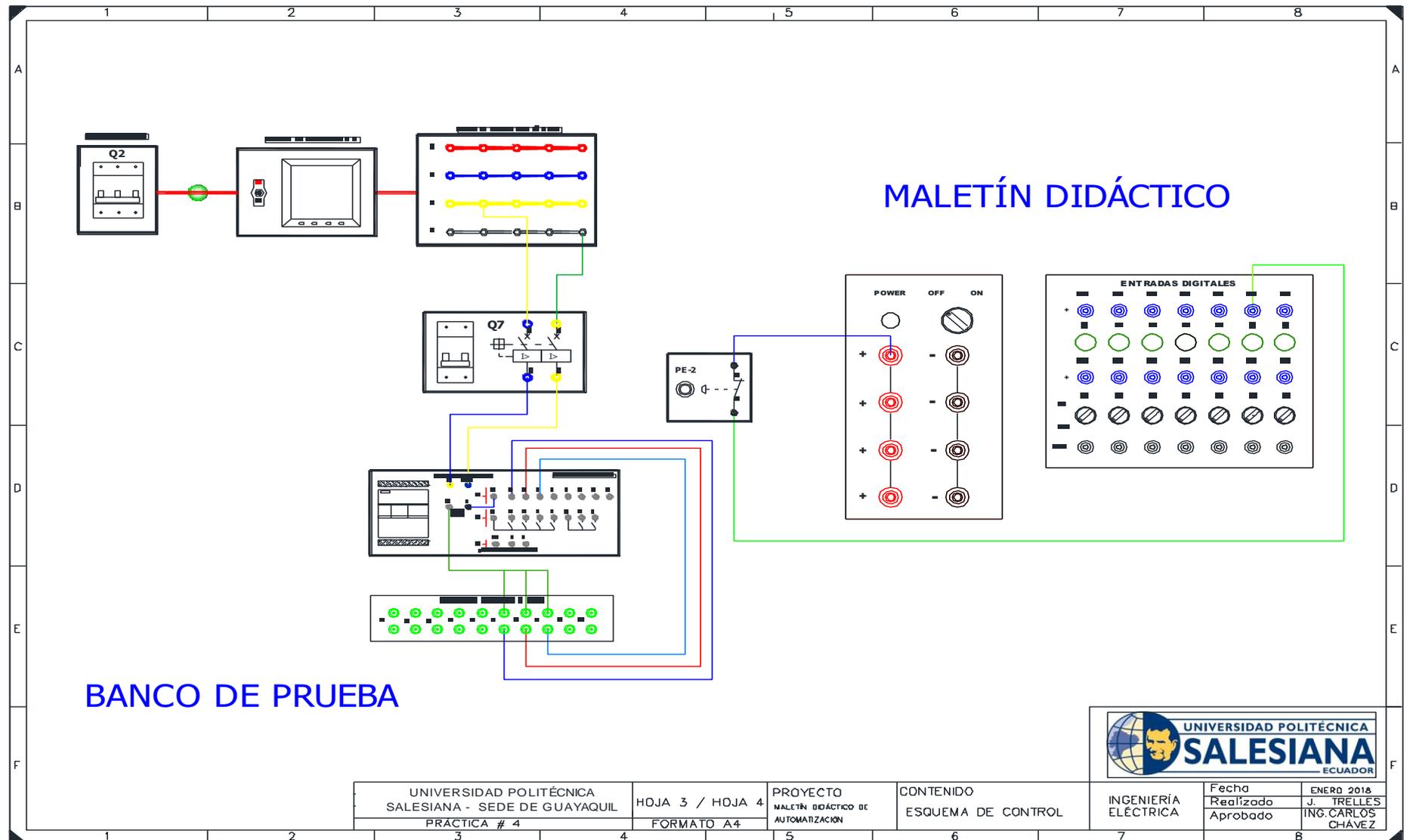


FIGURA 143: ESQUEMA DE CONTROL – PRÁCTICA # 4 [AUTORES]

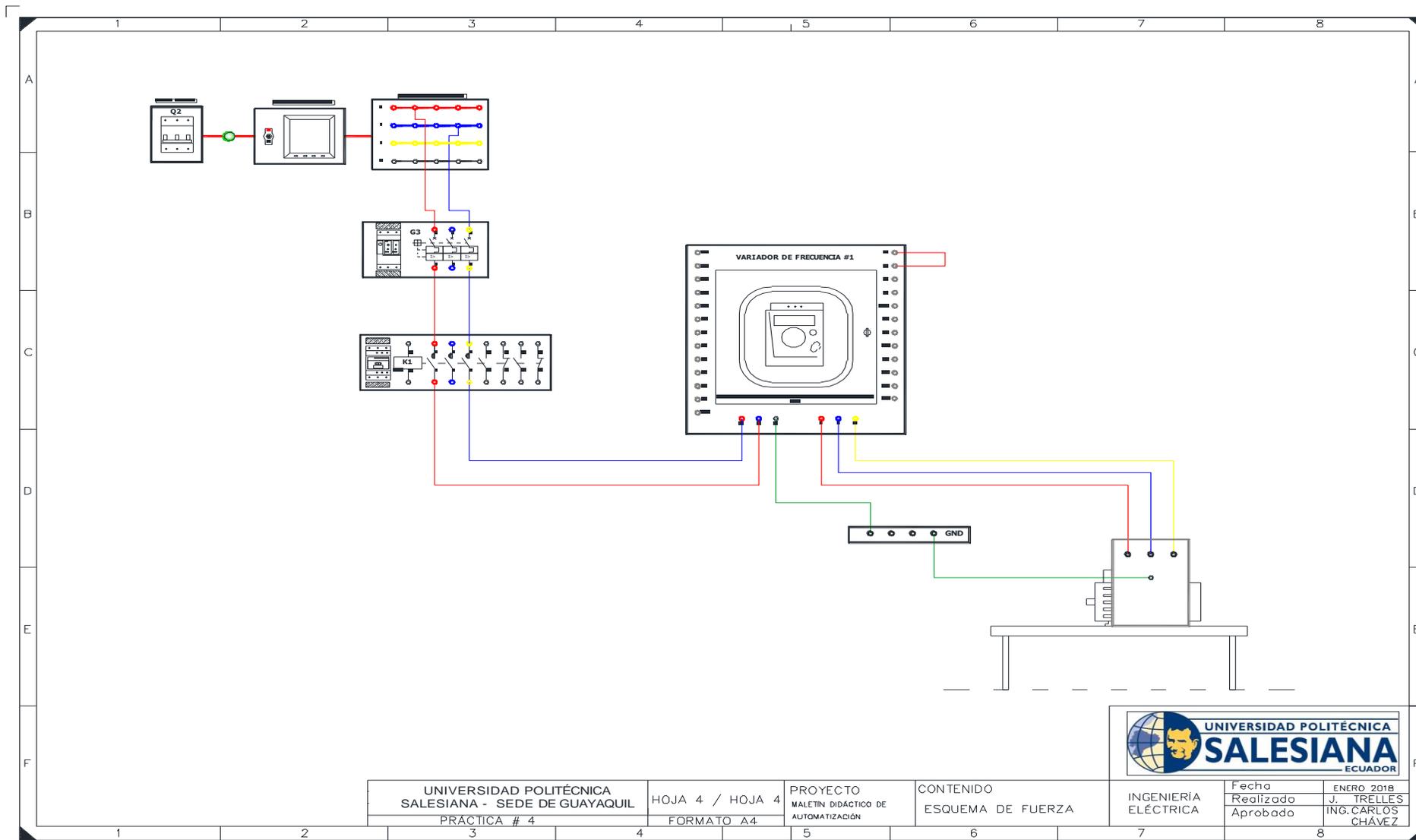


FIGURA 144: ESQUEMA DE FUERZA – PRÁCTICA # 4 [AUTORES]

5.5. Práctica 5:

5.5.1. Tema: Conexión Maestro esclavo entre dos PLC S7-1200 y un variador de frecuencia ATV312

5.5.2. Objetivos:

Objetivo General:

Variar la velocidad del motor trifásico siemens mediante el cambio de frecuencia

Objetivos Específicos:

- Configurar una interfaz que controle el funcionamiento del variador para cambiar la velocidad del motor
- Realizar la configuración para la variación de frecuencia mediante las entradas digitales del PLC
- Producir comunicación entre el Autómata Programable, el variador de frecuencia y la interfaz WinCC RT Advanced

5.5.3. Recursos:

- Módulo de comunicación Modbus CM1241 RS422/RS485 y cable de red
- Banco de Pruebas para sistemas de control Industrial Programable usando PLC 1212C AC/DC/RLY
- Módulo de Automatización usando PLC 1214C DC/DC/DC
- Computadora Dell Latitude E6430 con los programas Tia Portal V13 y WinCC RT Advanced
- Motor Trifásico Siemens de 1HP a 240 V

5.5.4. Tiempo estimado:

La práctica tiene un tiempo de resolución de 2 horas

5.5.5. Procedimiento:

Al empezar la práctica se debe tener en cuenta no solo el estado de los elementos, si las conexiones eléctricas se encuentran en perfecto estado, en la parte de anexos estarán posibles métodos de conexiones entre módulos para realizar las prácticas de laboratorio correspondientes.

Tener un conmutador de 4 u 8 puertos para la comunicación entre Autómatas programables y PC en la parte inferior se adjunta imagen. Ver Fig.145



FIGURA 145: SWITCH - TPLINK, 8PUERTOS ETHERNET 10/100 MBPS, PLUG'N'PLAY

En el conmutador se conectan los equipos para tener una red industrial de comunicación, al hacer esto se envían y reciben datos desde la PC, se debe recordar que dichos datos siempre tendrán un tiempo de retraso al comunicarse a los autómatas programables. Ver Fig.146

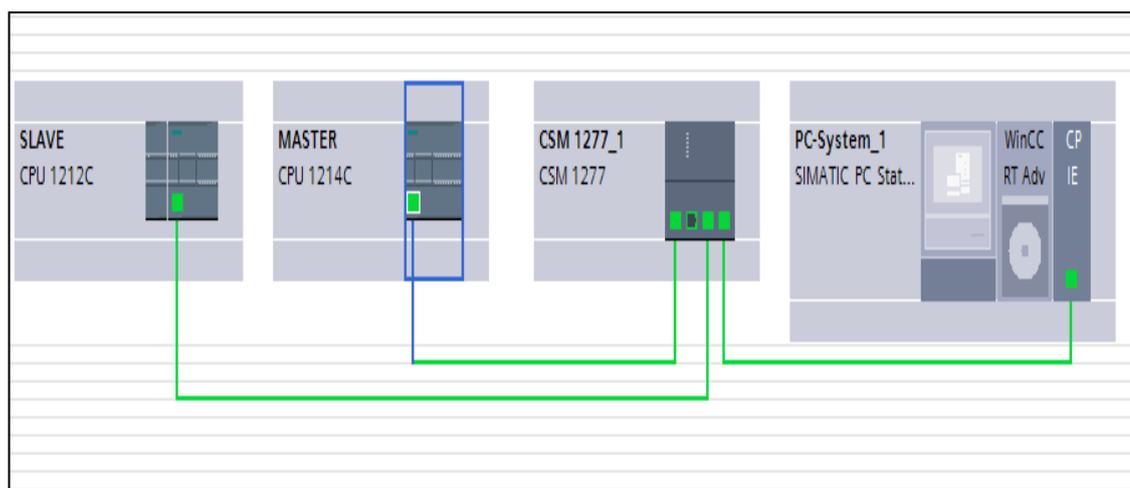


FIGURA 146: EJEMPLO DE RED INDUSTRIAL USANDO AUTÓMATAS PROGRAMABLES [AUTORES]

Se agrega un módulo CSM 1277, se lo encuentra en el catálogo de hardware dentro del programa TIA PORTAL V13, usar el conmutador de 4 puertos a manera de simular el elemento fabricado por Siemens. Ver Fig.147

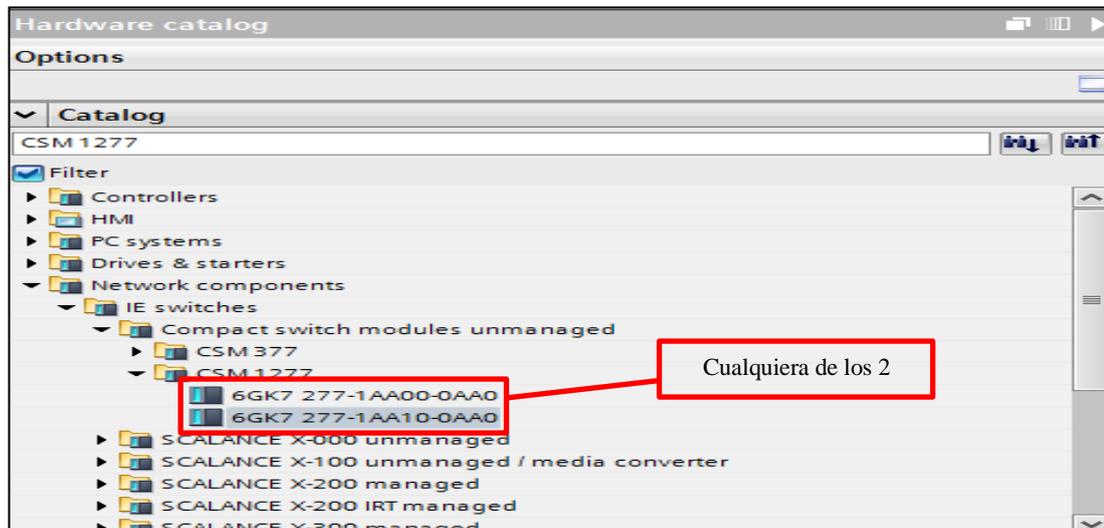


FIGURA 147: SWITCH CSM1277 (CONMUTADOR CSM1277) [AUTORES]

Ahora se debe empezar a programar el autómata programable Máster, como recordáis en la práctica 1 se ha trabajado con un Autómata programable 1214C DC/DC/DC, además se utilizará el PLC 1212C AC/DC/RLY, variador de frecuencia ATV312 y una Laptop-PC. Ver Fig.148

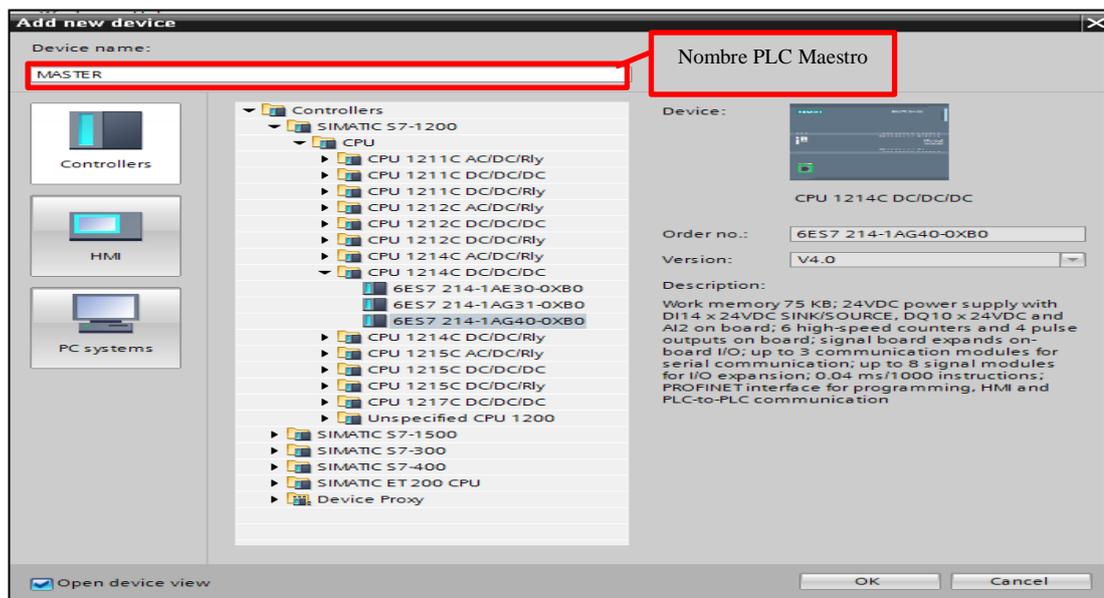


FIGURA 148: CONFIGURACIÓN DE PLC MAESTRO [AUTORES]

Una vez agregados todos los equipos a usar dentro de la red industrial, tomar en cuenta que todos estos dispositivos deben estar sincronizados en un mismo dominio y así no tener problemas en el momento de comunicarse unos con otros. Ver Fig.149

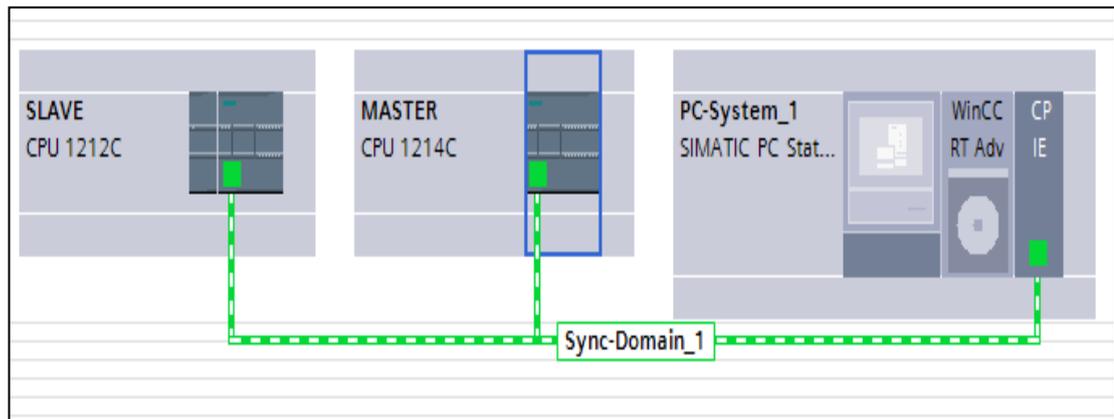


FIGURA 149: SINCRONIZACIÓN DEL DOMINIO [AUTORES]

Tener en cuenta que al realizar la sincronización de dominio los equipos se conectarán de tal manera que su horario cuadre, es decir la fecha y hora de la PC influiría de manera directa en los dispositivos utilizados, se recomienda tener configurada la zona horaria del PC correctamente por el simple hecho que los autómatas programables tienden a tener su firmware actualizado. Ver Fig.150

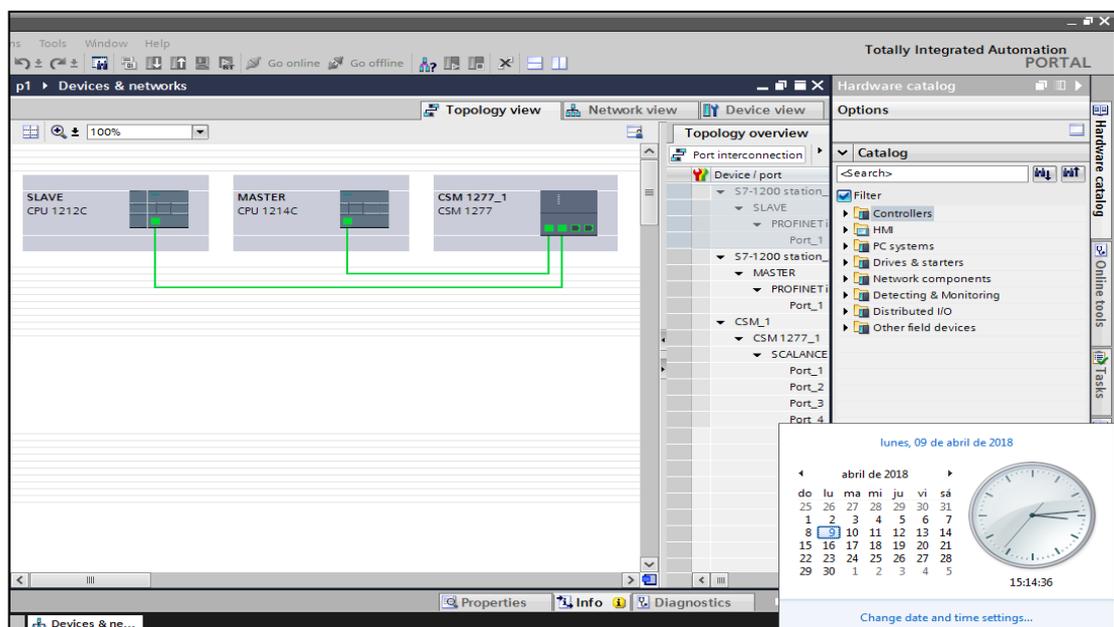


FIGURA 150: CONFIGURACIÓN ZONA HORARIA [AUTORES]

Cada dispositivo tendrá su dirección IP, el “PLC_MASTER:169.168.0.4”, “PLC_SLAVE:169.168.0.5”y “PC-SYSTEM_1: 169.168.0.50”. Ver Fig.151

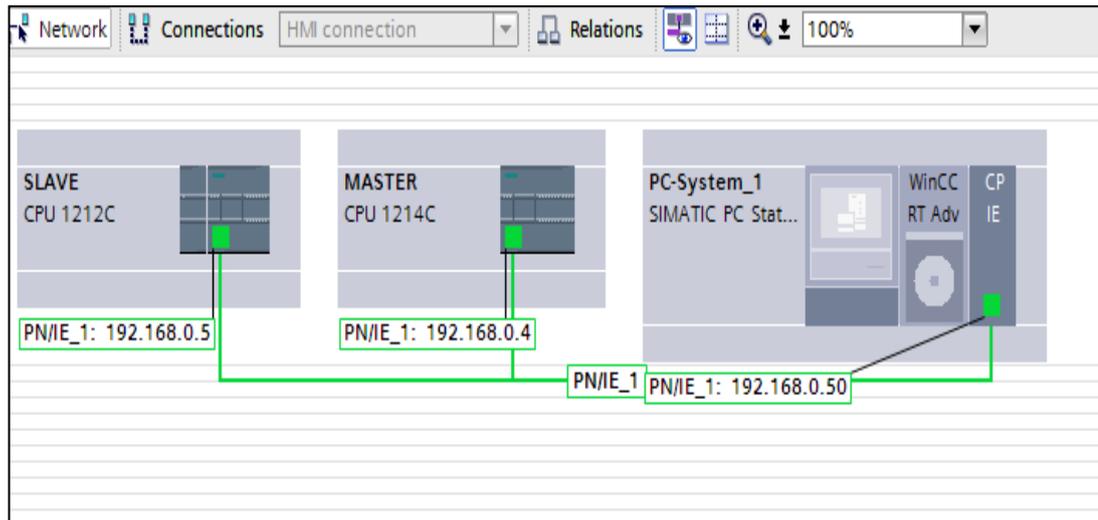


FIGURA 151: DIRECCIONES IP DISPOSITIVOS [AUTORES]

En la conexión HMI, enlazar el PLC_SLAVE con la “PC_SYSTEM_1”, sincronizar en el mismo dominio. Ver Fig.152

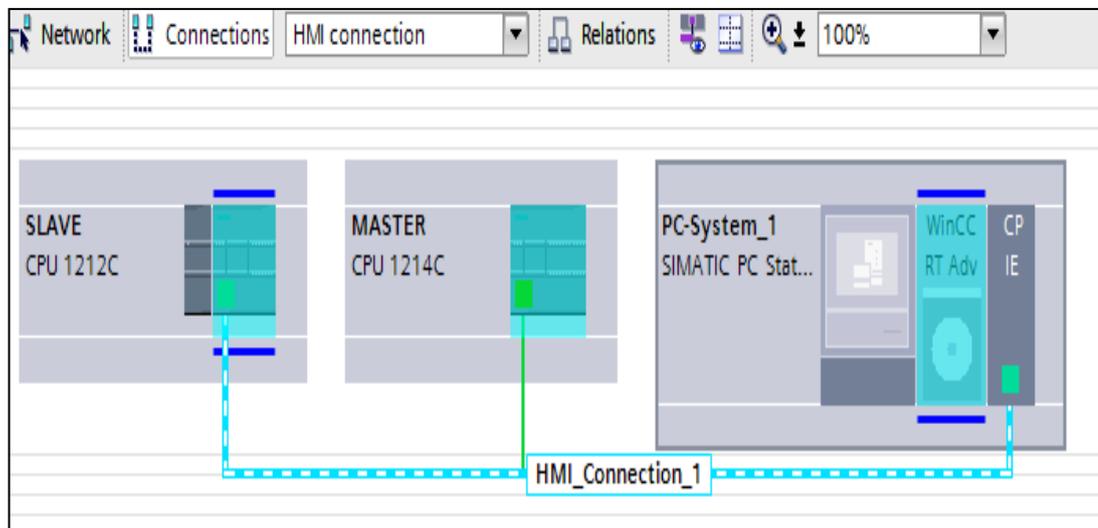


FIGURA 152:HMI_CONNECTION_1 (CONEXIÓN HMI_1) [AUTORES]

Observación: Se puede configurar otro PC-SYSTEM para el PLC_MASTER y controlarlo, en esta ocasión no se realizará dicho ejemplo porque son de utilidad los datos proporcionados por el variador de Frecuencia, además se hace el uso de WinCC RT Advanced revisar **PRACTICA 4** Fig.105

En la práctica 3 se explicó la creación de los bloques de datos y de Función (Ver Fig.90 y Fig.91), en este caso se crea uno adicional con el nombre “ATV_COM_HMI”. Ver Fig.153

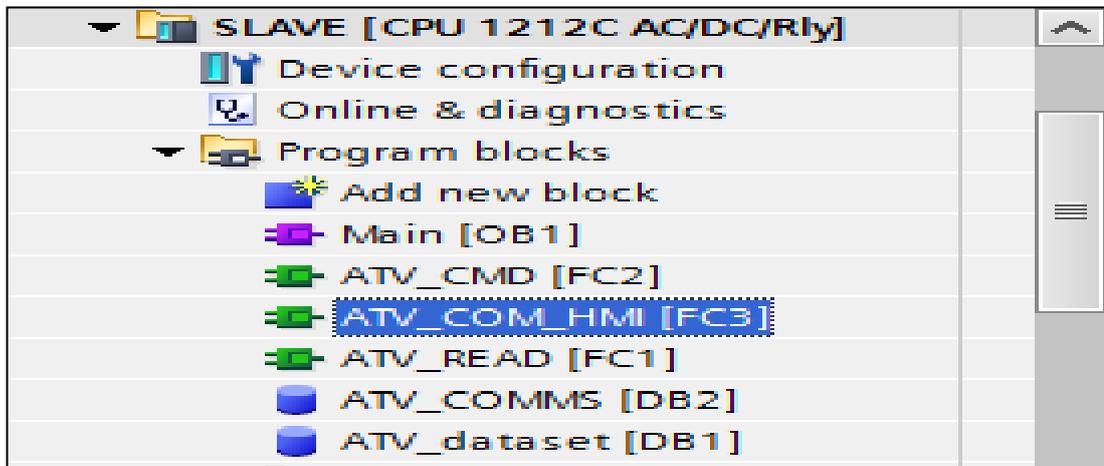


FIGURA 153: BLOQUE ATV_COM_HMI [AUTORES]

Cabe recalcar que la configuración de las variables temporales se la hace al dar clic en la pequeña flecha en la parte inferior de “**Block Interface**” (Interfaz del bloque) (Fig.154), se despliega una ventana (Fig.155), las marcas con nombre M1 a M4 son de tipo booleana, es decir que puede trabajar con lógica de contactos, en cambio “**MARCA VELOCIDAD**” tiende a ser del tipo INT (entero).



FIGURA 154: BLOCK INTERFACE (INTERFAZ DEL BLOQUE) [AUTORES]

Dentro del bloque de función, se crean variables de entrada y temporales, es decir se ahorra memoria del autómatas programable al utilizar los datos de esta manera. Ver Fig.155

ATV_CMD				
	Name	Data type	Default value	Comment
1	Input			
2	I1	Bool		Marcha RDY variador
3	I2	Bool		NST variador
4	I3	Bool		velocidad a 30Hz
5	I4	Bool		Velocidad a 60Hz
6	I5	Bool		Velocidad a 70 Hz
7	Velocidad	Int		Velocidad Variable
8	I7	Bool		Manual-automatico
9	I8	Bool		Marcha HMI
10	I9	Bool		Paro HMI
11	Output			
12	<Add new>			
13	InOut			
14	<Add new>			
15	Temp			
16	M1	Bool		
17	M2	Bool		
18	M3	Bool		
19	M4	Bool		
20	MARCA VELOCIDAD	Int		
21	Constant			
22	<Add new>			

FIGURA 155: VARIABLES ATV_COM_HMI [AUTORES]

La creación de los bloques se encuentra en la **PRACTICA 3** desde la **Fig.89** hasta la **Fig.97**, para reforzar los conocimientos ya adquiridos previamente.

Lo nuevo es configurar los bloques "**TRCV_C_DB**" y "**TSEND_C_DB**", el primero se lo adjunta en la programación del PLC_SLAVE y el segundo dentro del autómatas MASTER respectivamente. Ver Fig.156 y Fig.157

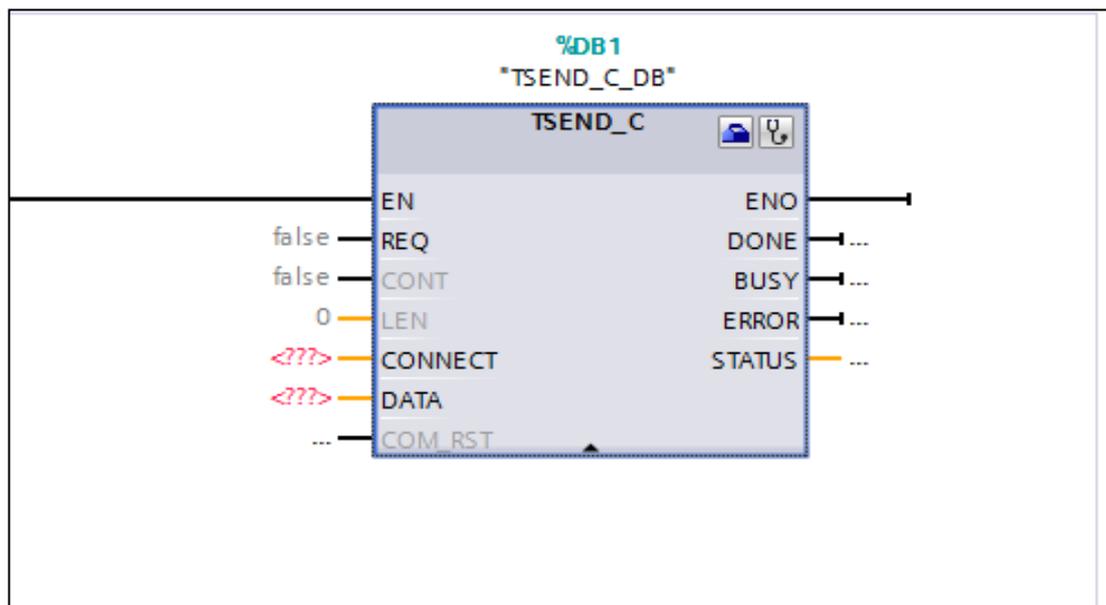


FIGURA 156:TSEND_C_DB [AUTORES]

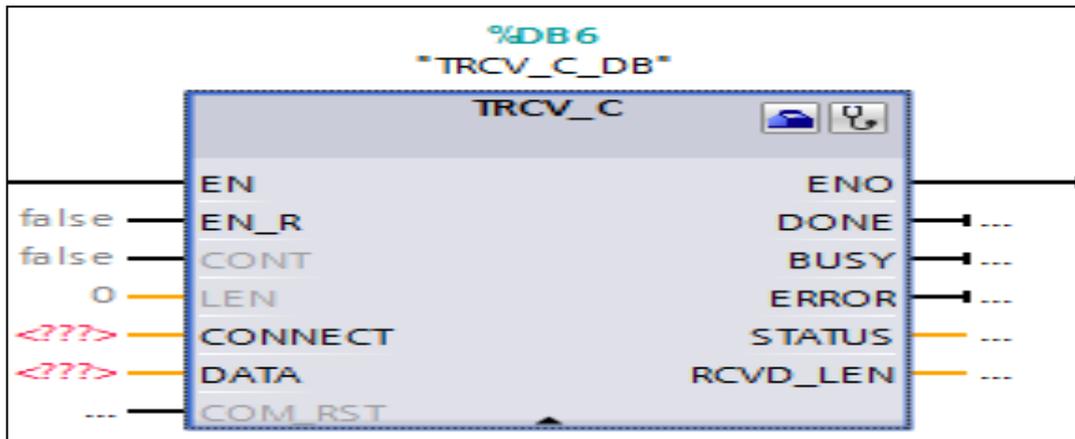


FIGURA 157:TRCV_C_DB [AUTORES]

El bloque "TSEND_C_DB" (Ver Fig.154) estará configurado de la siguiente forma:

- En "REQ" se colocará una marca de ciclo a 10Hz es decir cada 100 milisegundos estará preguntando y enviando valores correspondientes al Byte IB0 [36]
- En "CONT" se colocará el valor de TRUE para mantener activa la conexión entre variables [36]
- "LEN" es la longitud de datos a enviar, este parámetro guardara relación con el parámetro "DATA" es decir serán el número de BYTES a enviar.[36]
- "CONNECT" es en donde se configura un bloque de datos encargado de los parámetros de conexión [36]
- "DATA" es donde se encuentran los datos que se van a transmitir en este caso se direcciona 1 BYTE por ende la longitud de datos será 1. [36]

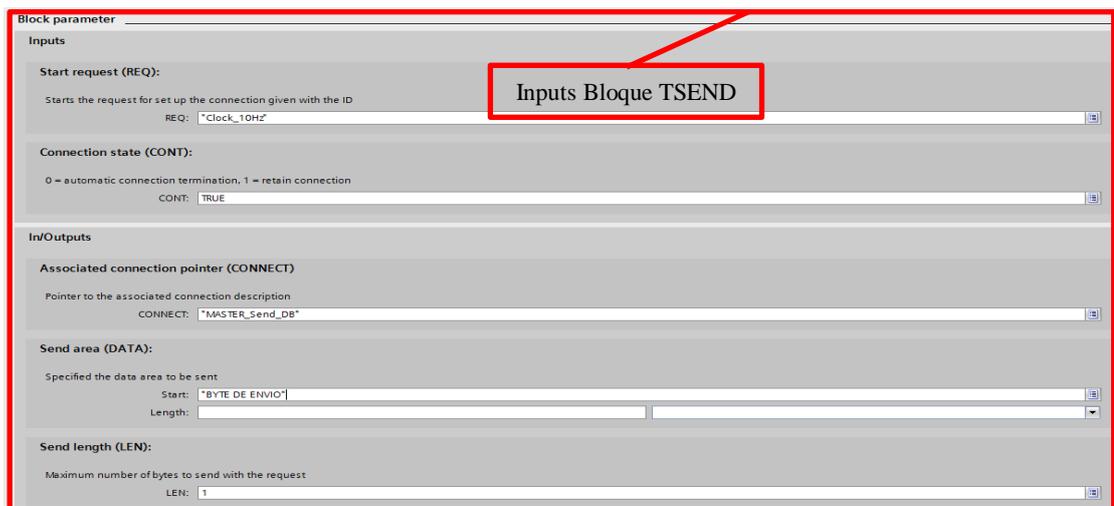


FIGURA 158: INPUTS BLOQUE "TSEND_C_DB" [AUTORES]

Otra de las configuraciones que deben realizarse en el caso del PLC Master son los parámetros de conexión:

- Colocar un tipo de conexión ya sea TCP o en su caso ISO on TCP [36]
- ID de conexión se considera por defecto aquel que otorga el programa dependiendo si hay más conexiones de este tipo. [36]
- En datos de conexión se crea automáticamente un bloque “MASTER_Send_DB”. Ver Fig.159 [36]

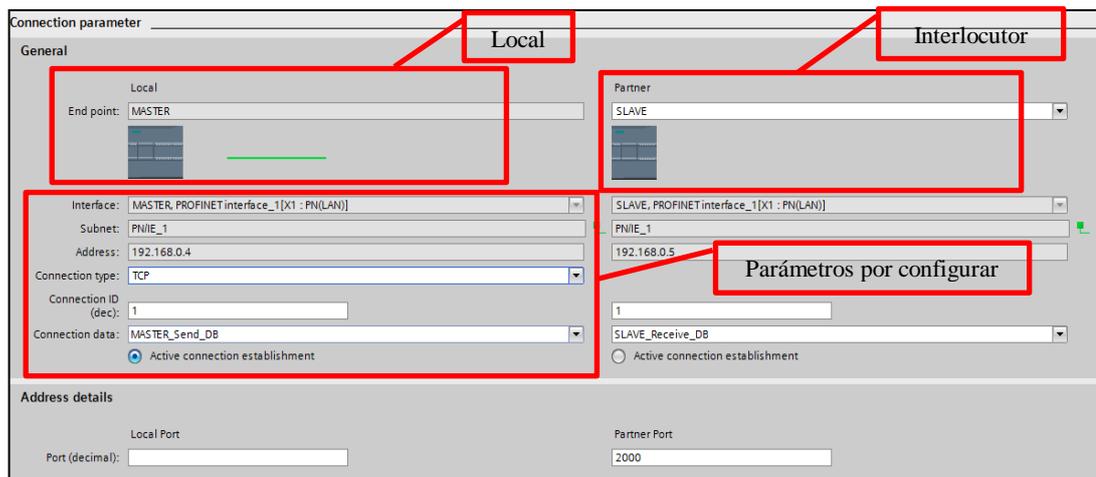


FIGURA 159: PARÁMETROS DE CONEXIÓN [AUTORES]

Terminada la configuración el Bloque quedara de la siguiente forma. Ver Fig.160

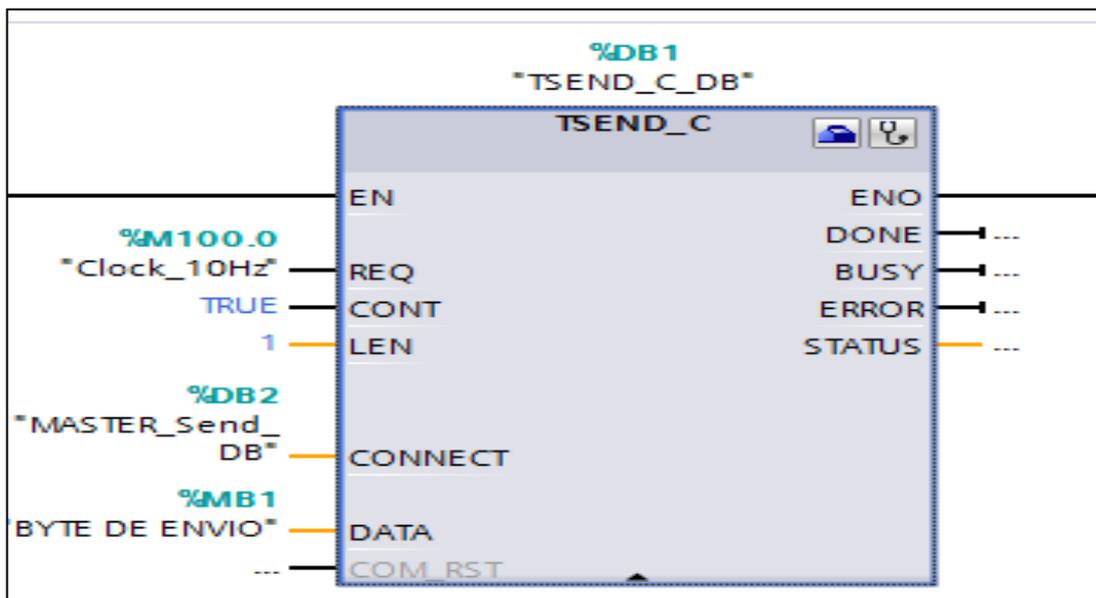


FIGURA 160: BLOQUE TSEND_C CONFIGURADO EN PLC MASTER [AUTORES]

Se procede con el bloque “**SLAVE_Receive_DB**” (Fig.161), para ello hay que conocer sus entradas y que función realizan:

- **EN_R:** Habilitar Parámetro de control para la recepción de datos [36]
- **CONT:** Parámetro de control permite establecer y mantener la conexión [36]
- **LEN:** Longitud para el área de recepción de datos.[36]
- **CONNECT:** Direccionamiento del Bloque de Datos, donde se genera la función de los parámetros de conexión.[36]
- **DATA:** Área de transmisión de datos, se direcciona al BYTE QB0 para visualizar los datos que llegan del PLC MASTER [36]

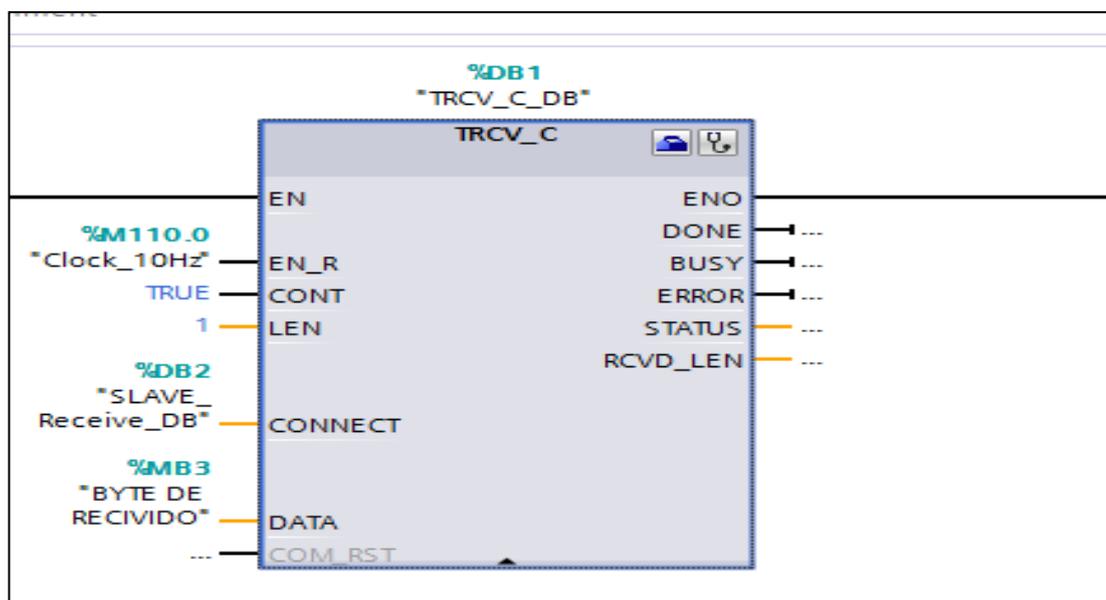


FIGURA 161: BLOQUE TRCV CONFIGURADO [AUTORES]

En el Bloque TRCV_C_DB se configuran los parámetros de conexión en la misma forma que en TSEND_C_DB:

- Colocar un tipo de conexión ya sea TCP o en su caso ISO on TCP. [36]
- ID de conexión se considera por defecto aquel que otorga el programa dependiendo si hay más conexiones de este tipo. [36]
- En datos de conexión se crea automáticamente un bloque “**SLAVE_Send_DB**”. [36]

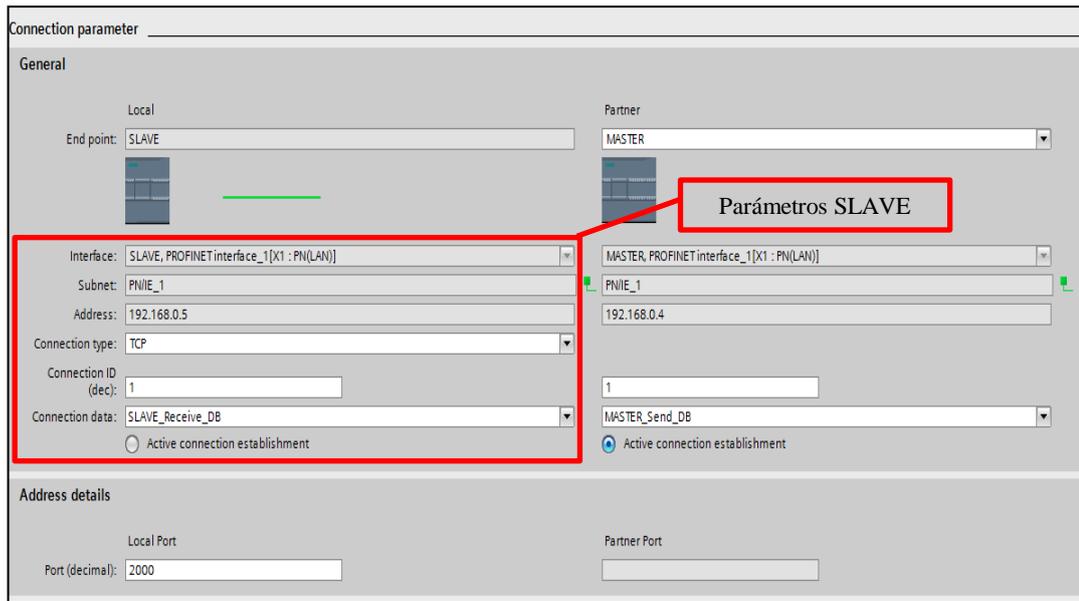


FIGURA 162: CONFIGURACION PARAMETROS SLAVE [AUTORES]

Para las pantallas HMI se tienen 5 imágenes; Portada, control, gráficas f(x), rampas, diagnostico. Ver Fig.163

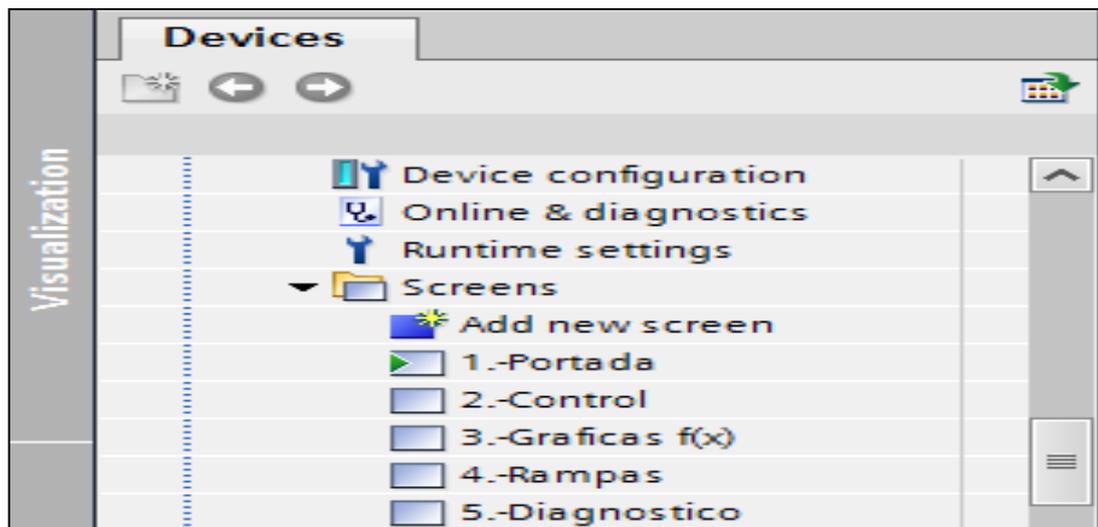


FIGURA 163: VISTA DE PANTALLA EN WINCC RT ADVANCED [AUTORES]

Cabe recalcar que para la configuración de la portada hay que revisar la práctica 4 (Fig.108), además se puede agregar cualquier imagen de fondo dependiendo del usuario y el tipo de aplicación a realizar.

En la pantalla control, se agregan dos botones (Marcha y paro) para el control remoto desde la PC al PLC, además se adjunta un selector de dos posiciones el que permitirá cambiar el modo de operación (Local-Remoto) y un paro de emergencia con enclavamiento a fin de poner el sistema en **“Stop”** (detener).

A continuación, se procede a configurar el botón marcha, dar clic en propiedades del elemento, ubicarse en la pestaña eventos en la opción “click”, agregar el evento “SetBit” (encender bit) a la variable “Led_Marcha”. Ver Fig.164

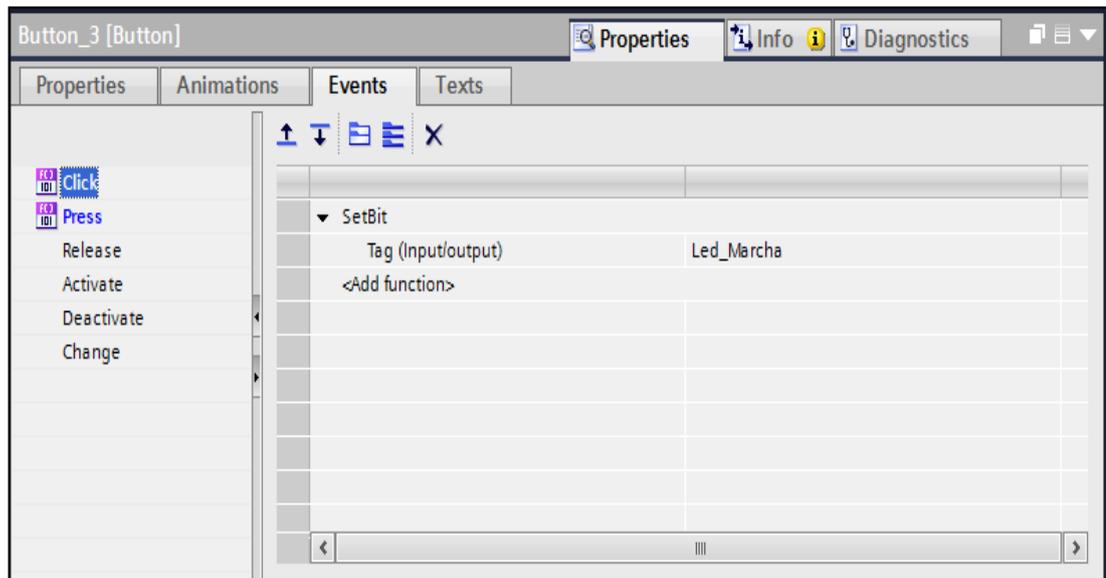


FIGURA 164: EVENTO CLICK EN BOTON MARCHA [AUTORES]

Luego en el evento “Press” (presionar), configurar la opción “SetBitWhileKeyPressed” (activar bit mientras tecla pulsada) que solo activara un bit mientras la tecla permanezca pulsada, la variable enlazada es “Marcha-HMI”, esto sirve para controlar de forma remota el autómeta programable desde WinCC RT Advanced. Ver Fig.165

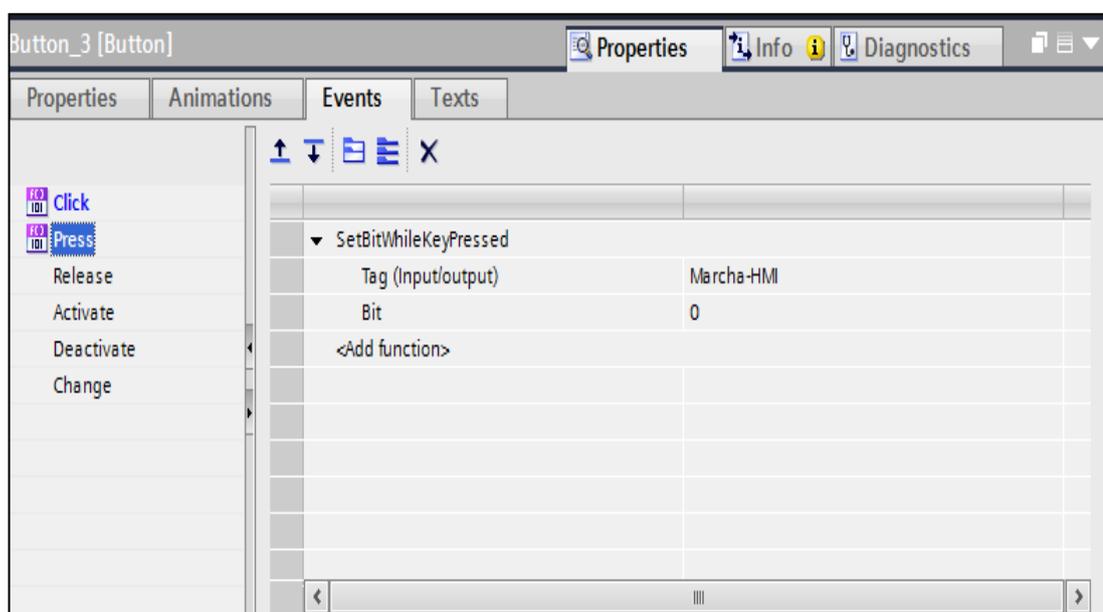


FIGURA 165: EVENTO PRESS EN BOTON MARCHA [AUTORES]

En el botón Paro configurar los mismos eventos, en “click” usar la función “ResetBit” (resetear bit) en la variable “Led_Marcha”. Ver Fig.166

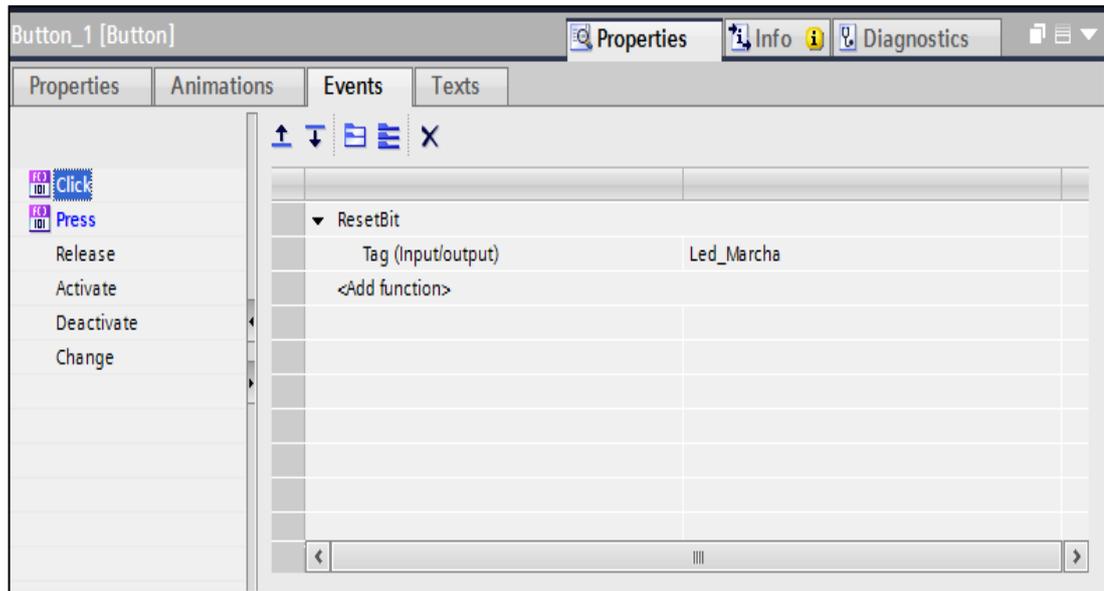


FIGURA 166: EVENTO CLICK EN BOTON PARO [AUTORES]

Dentro del evento “Press” (presionar) utilizar la función “SetBitWhileKeyPressed” (activar bit mientras tecla pulsada) en la variable Paro-HMI, permitirá que el motor conectado al variador de frecuencia se apague. Ver Fig.167

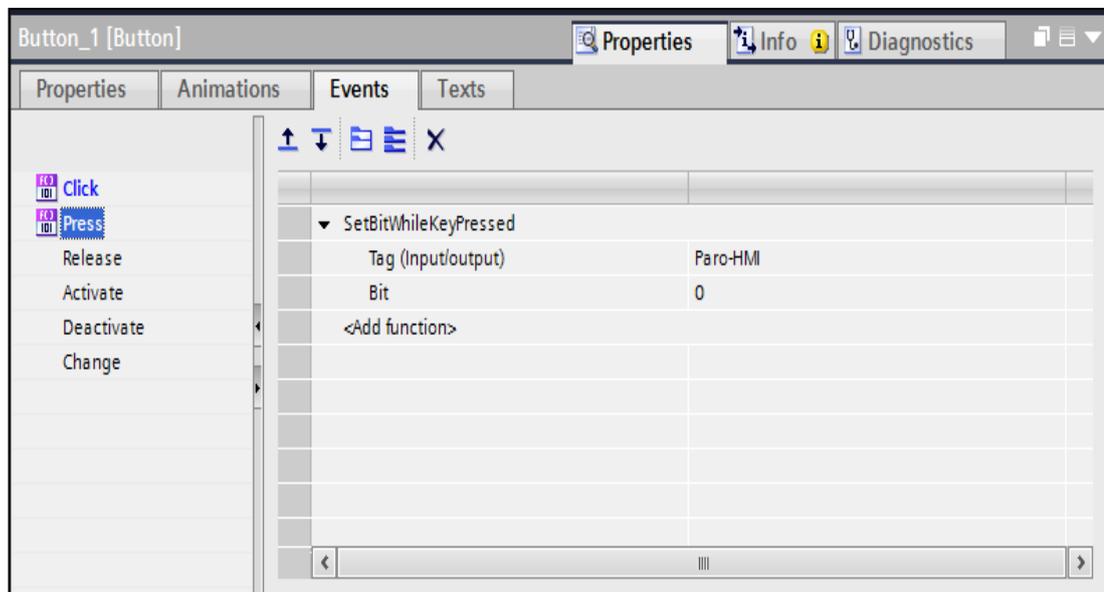


FIGURA 167: EVENTO PRESS EN BOTON PARO [AUTORES]

Para configurar el selector de 2 posiciones se debe ir a la pestaña “**libraries**” (librerías), dar clic en “**Buttons and switches**” (botones e interruptores), luego en “**Rotary switches**” (interruptores rotatorios), se despliegan las imágenes que posee la carpeta, finalmente seleccionar la carpeta No-Anti-aliasing y desplazar el icono Rotary-RG. Ver Fig.168

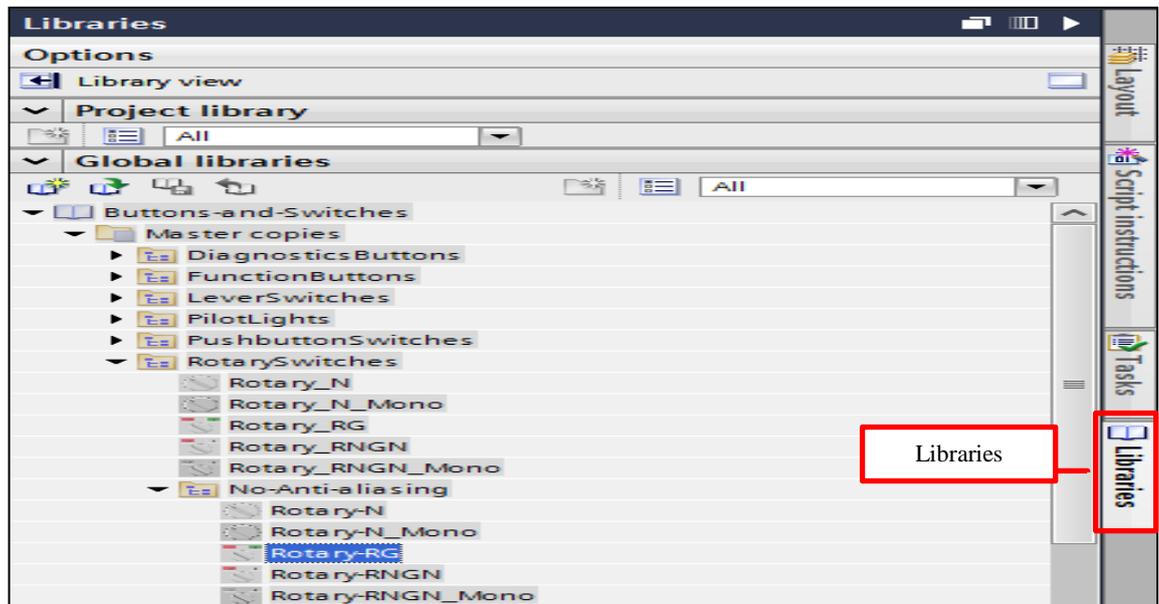


FIGURA 168: AGREGAR ROTARY-RG (RG-ROTATORIO) [34]

Dar clic en el icono e ir a la pestaña eventos, seleccionar “**Switch ON**” (interruptor encendido) y configurar “**SetBit**” (activar bit) para activar las variables Manual/Automático y manual-automáticas HMI. Ver Fig.169

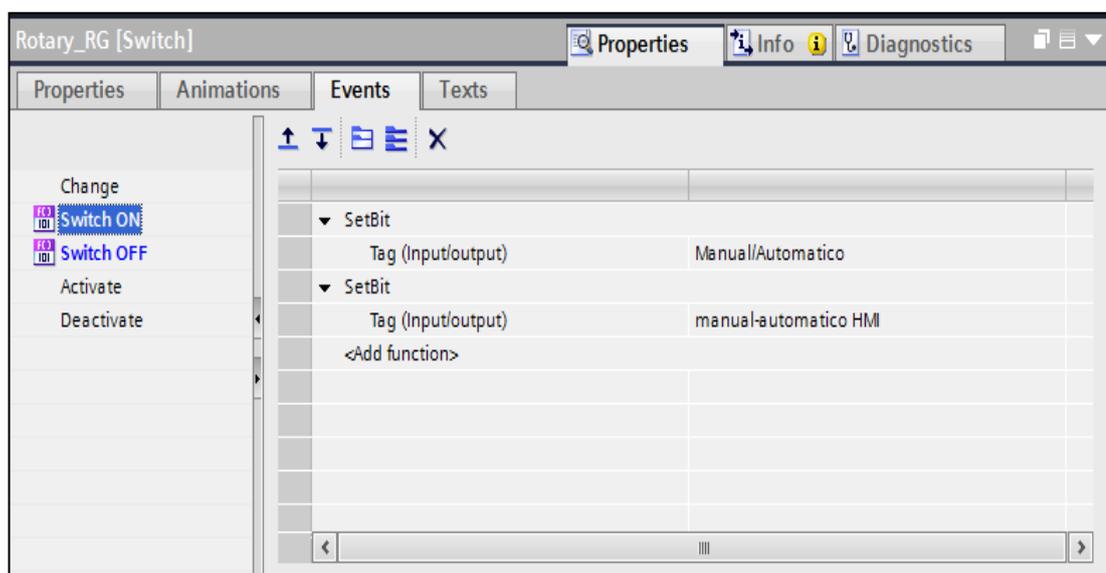


FIGURA 169: OPCIÓN SWITCH ON ROTARY_RG (INTERRUPTOR ROTATORIO RG-ENCENDIDO) [AUTORES]

En la opción “**SWITCH OFF**” (interruptor apagado) configurar “**ResetBit**” (apagar bit) para ambas variables mencionadas en el párrafo anterior. Ver Fig.170

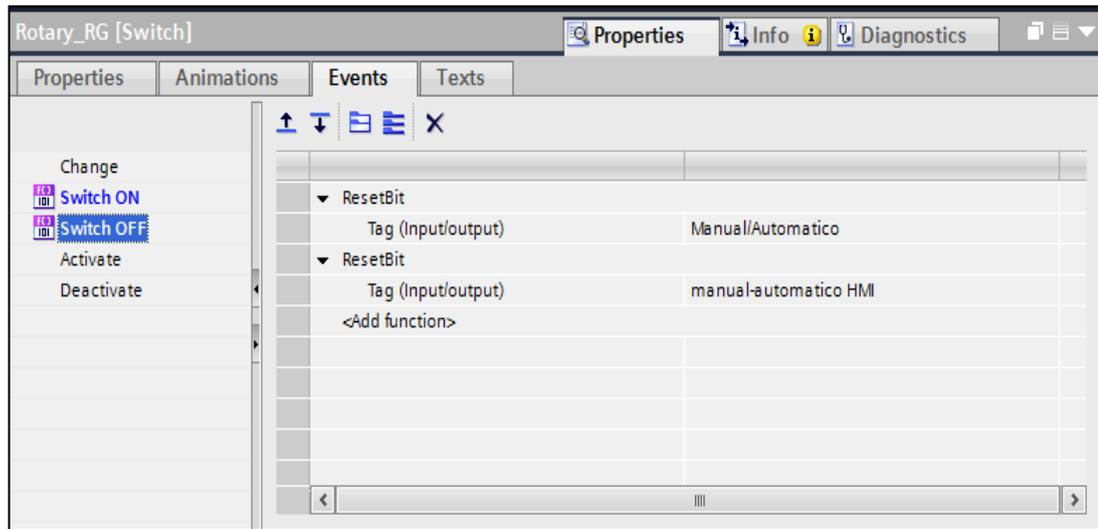


FIGURA 170: OPCIÓN SWITCH OFF ROTARY_RG (INTERRUPTOR ROTATORIO RG-APAGADO) [AUTORES]

Las luces piloto se las enlazan con su respectiva variable en el autómeta programable, dar clic en propiedades y ubicarse en la pestaña “**Animations**” (animaciones), se agrega una nueva animación “**Appearance**” (apariciencia). Ver Fig.171

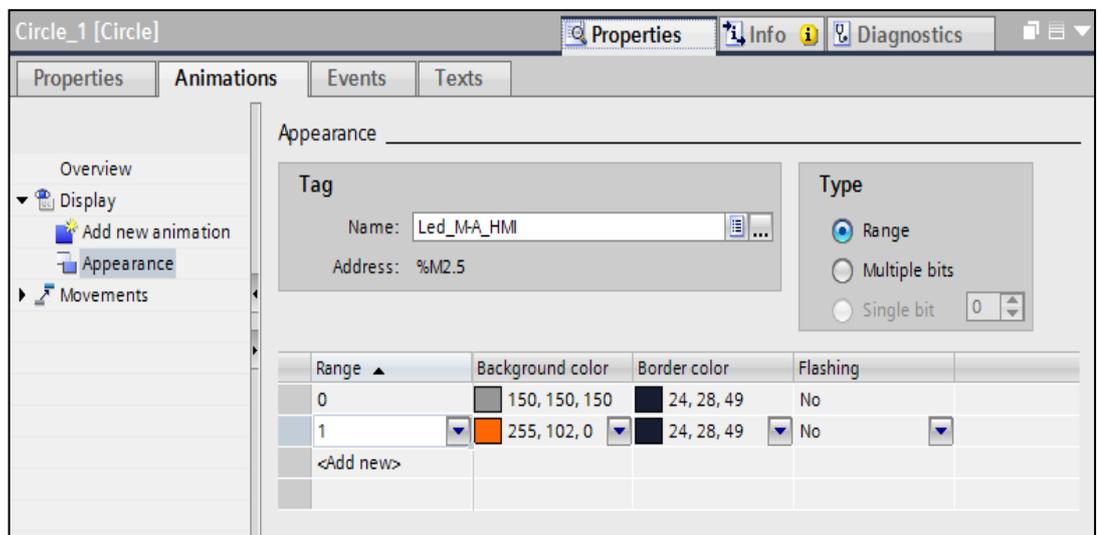


FIGURA 171: ANIMATIONS (ANIMACIONES) PARA LED LOCAL-REMOTO [AUTORES]

Observación: Se realiza la misma configuración para los leds Marcha y Falla, si el bit está en 0 mostrara un color de fondo y si cambia a 1 mostrara otra tonalidad, cabe recalcar que se puede agregar la función parpadeo en el caso del Led de falla térmica. Ver Fig.172

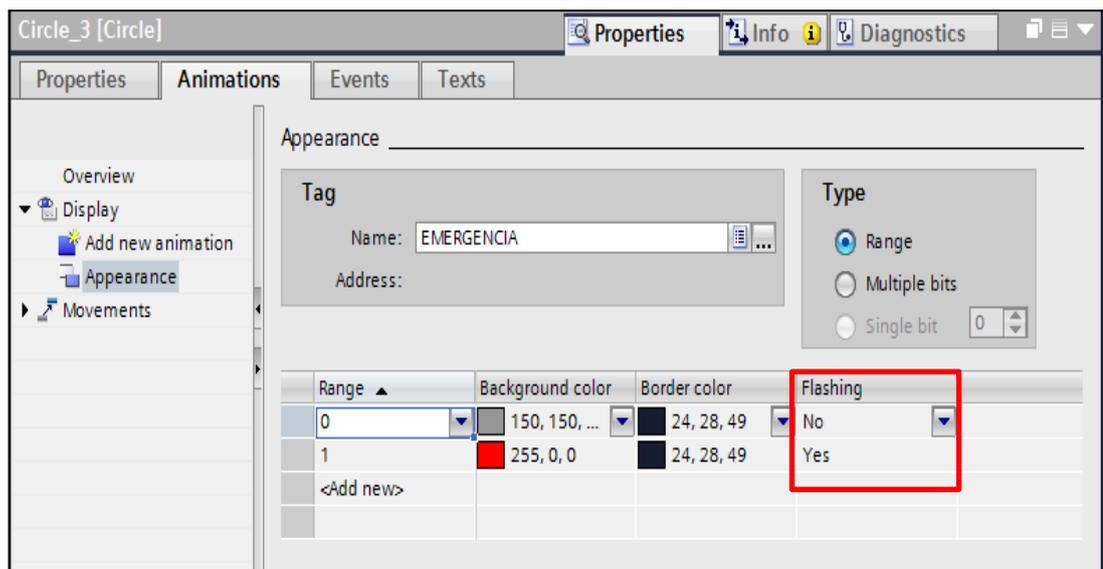


FIGURA 172: ANIMATIONS (ANIMACIONES) PARA LED FALLA [AUTORES]

En el diagrama de conexión configurar la opción “**Visibility**” (visibilidad), permite hacer visible o invisible un objeto de acuerdo con el estado booleano de la variable enlazada con el elemento. Ver Fig.173

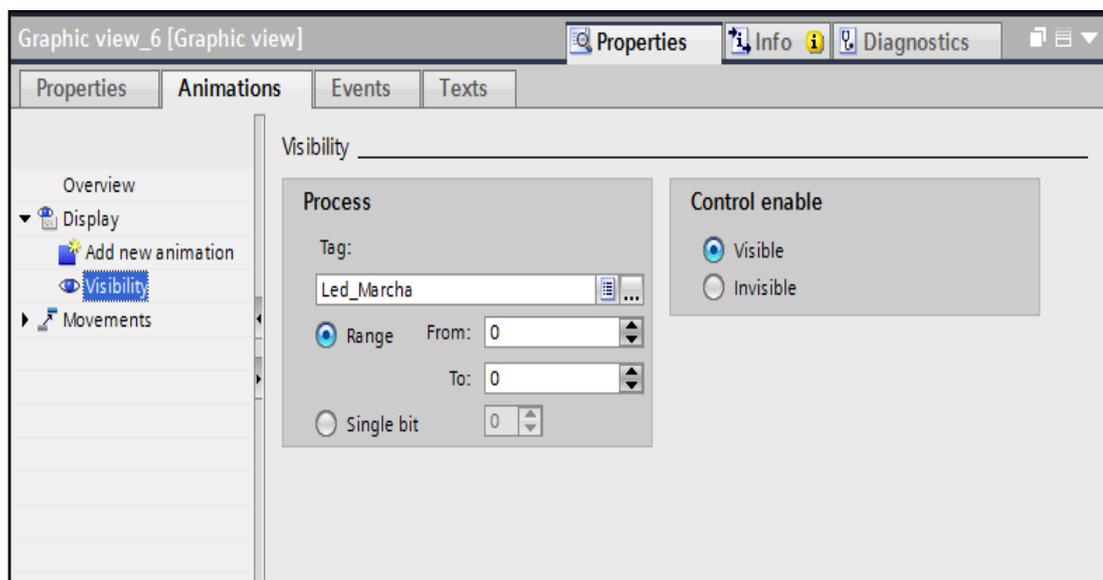


FIGURA 173: VISIBILITY (VISIBILIDAD) DIAGRAMA DE CONEXIÓN [AUTORES]

Para el diagrama de Fuerza se hace el mismo procedimiento, cabe recalcar que son dos figuras una encima de otra para simular el efecto de encendido y apagado de los mismos, siempre se los enlaza a una variable del PLC o interna del HMI, las conexiones deben ser al autómatas “**SLAVE**” (esclavo) el que se encarga de enviar los datos al variador de frecuencia.

Se debe configurar el “**slider**” (control deslizante) para controlar la frecuencia del variador y así darle energía al motor para que rompa su inercia, ubicarse en la pestaña “**Elements**” (elementos) y desplazar el elemento de nombre “**slider**” (control deslizante). Ver Fig.174

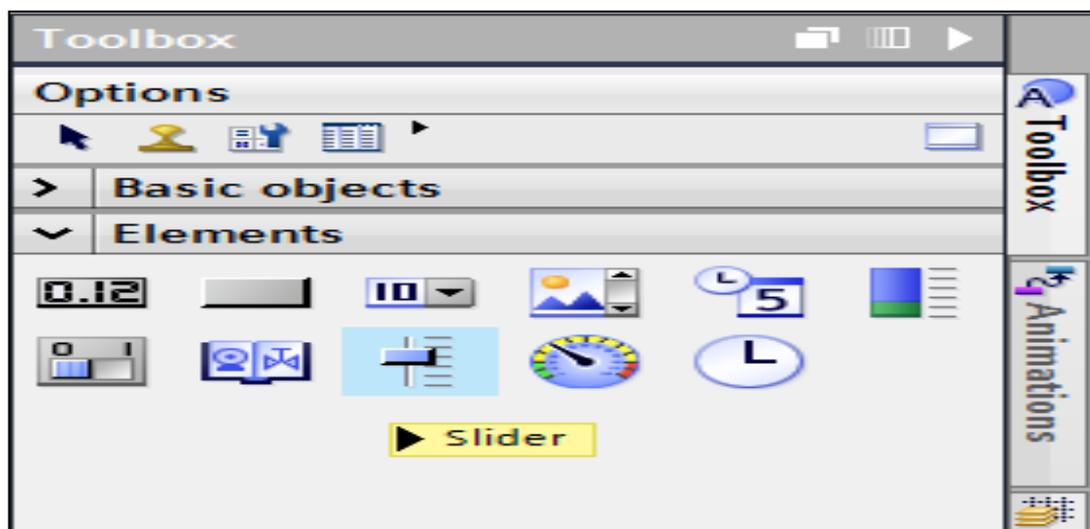


FIGURA 174: SLIDER (CONTROL DESLIZANTE) [AUTORES]

Una vez en la pantalla se procede a conectar la variable que comanda el cambio de frecuencia con el “**Slider**” (deslizador) y así poder regular la velocidad del motor de acuerdo con la aplicación requerida. Ver Fig.175

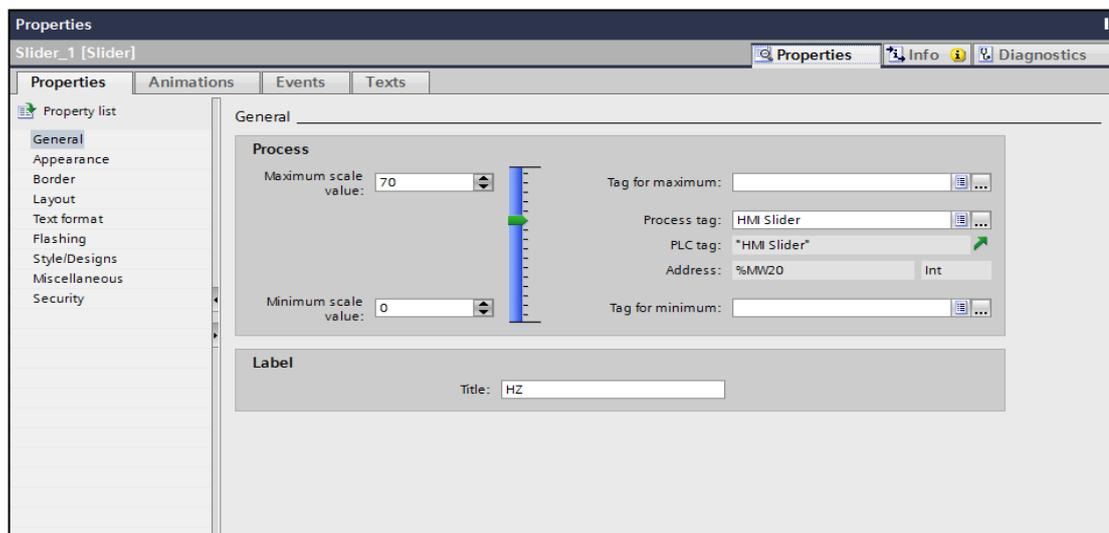


FIGURA 175: CONFIGURACIÓN SLIDER [AUTORES]

Observación: Tal como se muestra en la Fig.171 se debe configurar el “**Slider**” (deslizador), la frecuencia de trabajo es 0 a 70 Hz, se enlaza con la variable HMI Slider dentro de la programación del PLC.

En la pantalla “**Grafica f(x)**” se tiene una función dependiente de una variable x, en este caso la corriente es la dependiente y la velocidad junto a la frecuencia son independiente, cabe recalcar que en los dos visores de curvas f(x), en el primero estarán las variables corriente vs RPM. Ver Fig.176

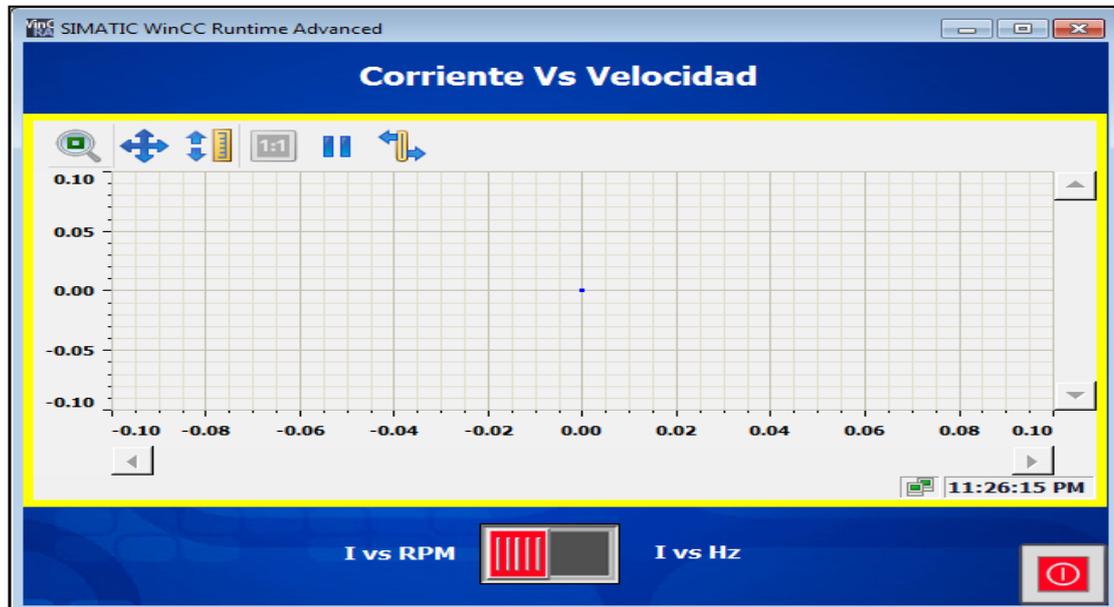


FIGURA 176: GRÁFICA CORRIENTE VS VELOCIDAD [AUTORES]

Para configurar el eje x y el eje y se da clic en propiedades del visor de curvas, se despliega un menú en forma de lista. Ver Fig.177

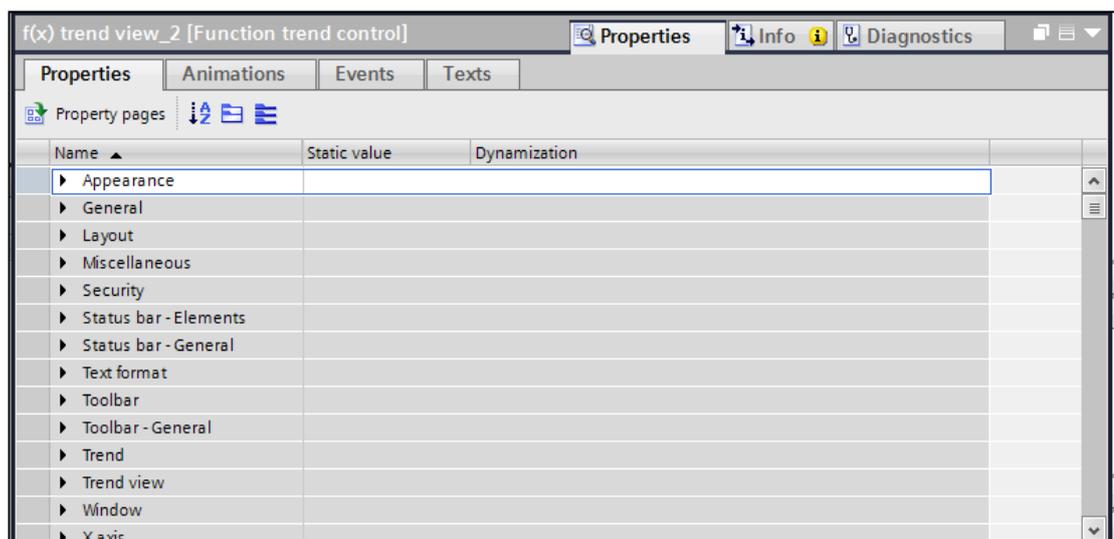


FIGURA 177: PROPIEDADES VISOR DE CURVAS CORRIENTE VS RPM [AUTORES]

Las pestañas con las que se va a trabajar son “**Appearance**” (apariencia), general, “**Layout**” (diseño), “**Trend**” (tendencia), “**X axis**” (eje x), “**Y axis**” (eje y).

En la pestaña “**Appearance**” (apariciencia) por defecto se tiene un visto en la opción “**ShowRulerAxis**” (mostrar regla para los ejes), quitar este visto para visualizar mejor las gráficas. Ver Fig.178

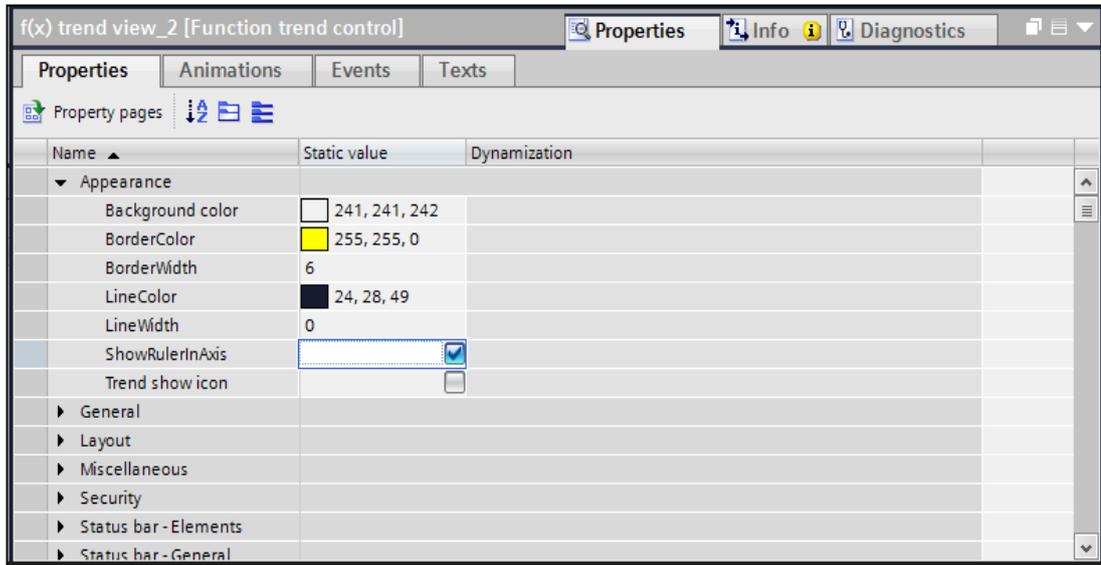


FIGURA 178: APPEARANCE EN VISOR DE CURVAS CORRIENTE VS RPM [AUTORES]

En la pestaña General, realizar la misma acción de quitar el visto a la opción “**ShowRuler**” (mostrar línea), permitirá visualizar la gráfica intensidad de corriente (A) vs RPM desde el primer cuadrante de X-Y. Ver Fig.179

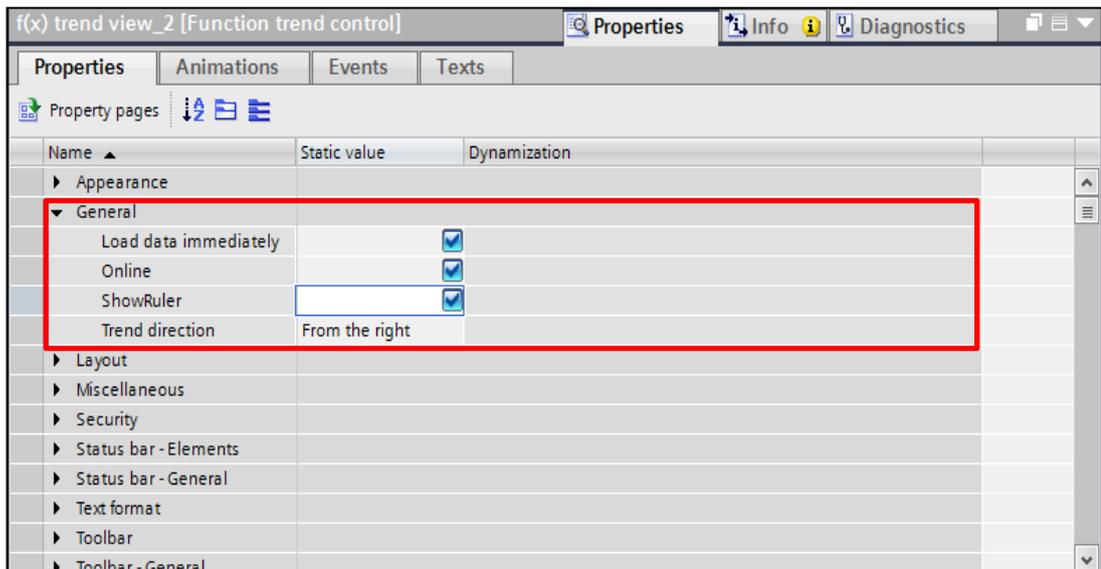


FIGURA 179: OPCIÓN GENERAL EN VISOR DE CURVAS CORRIENTE VS RPM [AUTORES]

Esta configuración también se realiza en el visor de curvas corriente vs frecuencia, porque después se pueden tomar datos erróneos y las gráficas no serán las correctas.

En la pestaña “**Layout**” (diseño) se configuran todas las variables con los valores en la Fig.180, se colocan los mismos valores para el visor de curvas corriente vs Hz.

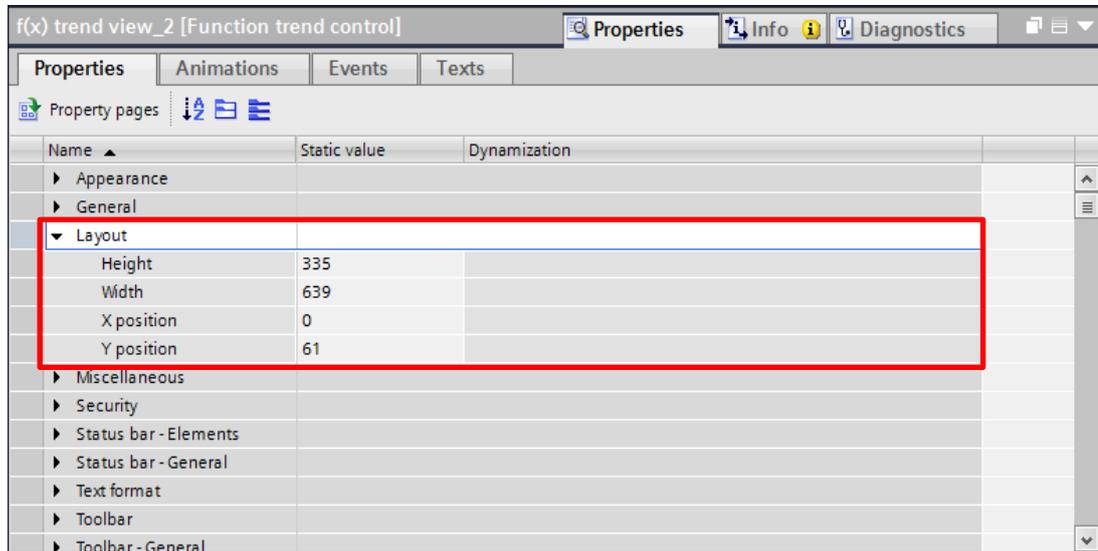


FIGURA 180: OPCION LAYOUT (DISEÑO) VISORES DE CURVAS F(X) [AUTORES]

La pestaña “**Trend**” (tendencia) para ambos visores de curvas, se configura dando clic donde dice “**trends**” (tendencias). Ver Fig.181

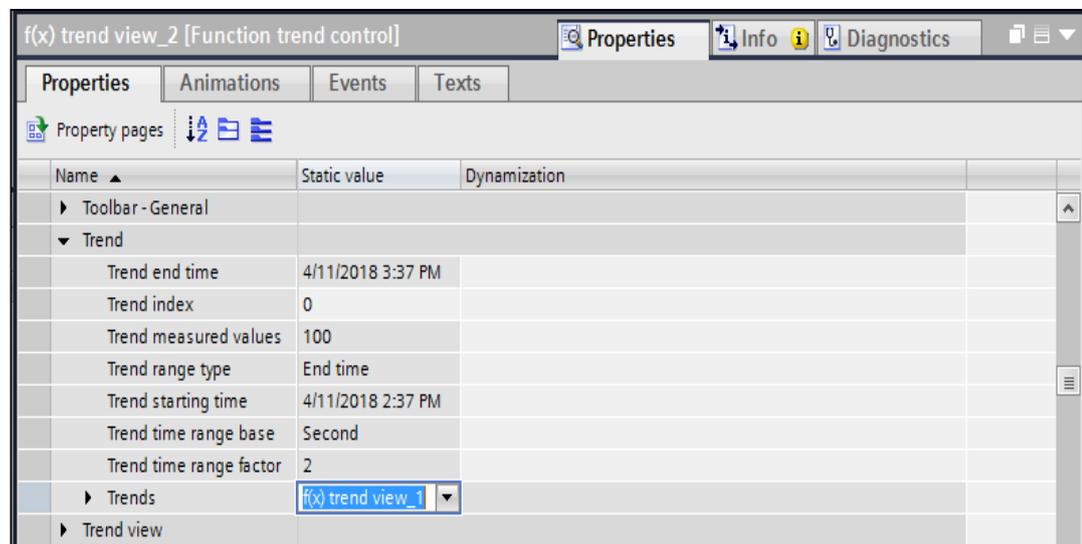


FIGURA 181: CONFIGURANDO TREND F(X) [AUTORES]

Dar clic en la opción “**f(x) trend view_1**” (f(x) vista de tendencia 1) que se visualiza en la Fig.181, se abre una nueva ventana de dialogo, en donde se enlazaran las variables del PLC con el visor de curvas para sacar una función F(x), seleccionar el

color, además del tipo de curva que deseada y hacerla más ancha o angosta, dependiendo del uso. Ver Fig.182

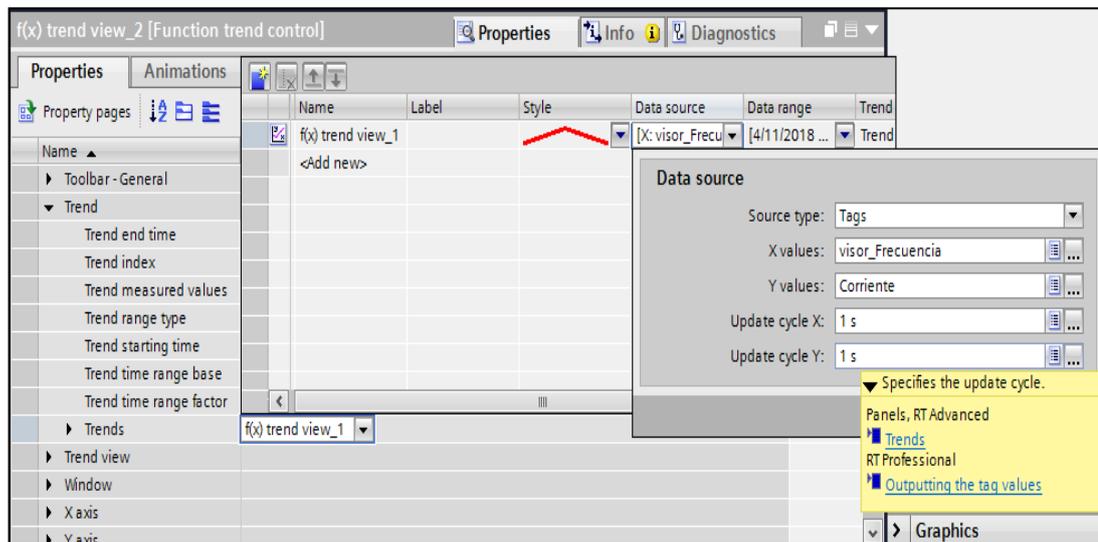


FIGURA 182: ENLAZANDO VARIABLES CON VISOR DE FIGURAS [AUTORES]

Tanto en X-axis como en Y-axis colocar una escala de tipo linear, porque los datos recibidos de las variables son de tipo real y será mejor trabajarlos linealizados para facilitar la visibilidad de la función. Ver Fig.183

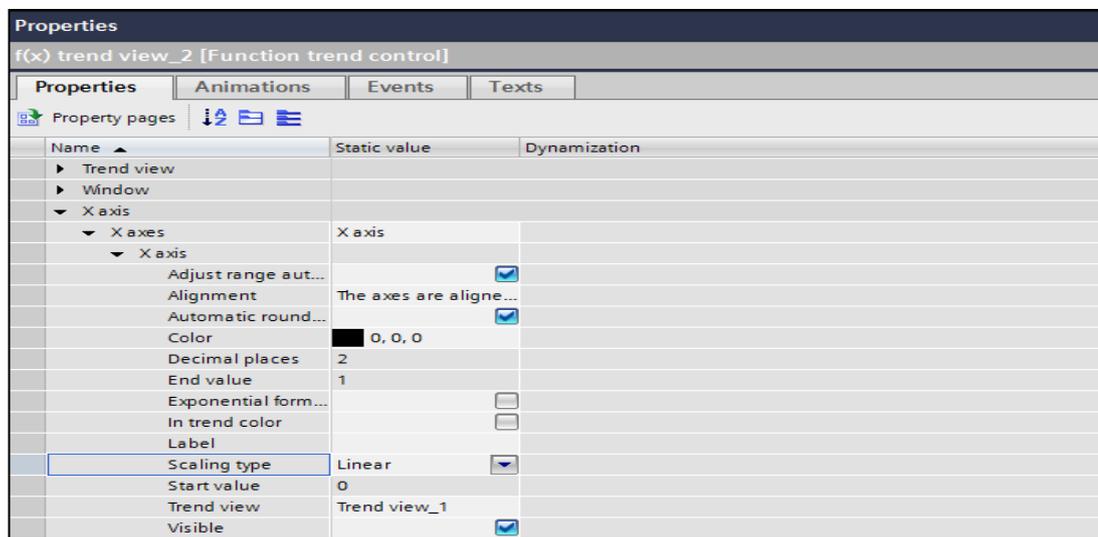


FIGURA 183: CONFIGURANDO EJES X-Y [AUTORES]

Para cambiar de visor de curvas colocar un “dipswitch” (interruptor doble), cuando este en “ON” (encendido) muestra la gráfica Corriente vs Frecuencia y en OFF muestra el visor de curvas Corriente vs Velocidad, esto se configura con una variable interna del HMI así no se ocupa un espacio en la memoria del PLC. Ver Fig.184 y Fig.185

Observación: Se debe tomar en consideración el uso de variables internas HMI solo si no interactuar físicamente con el proceso de comunicación entre el Autómata programable y el variador de frecuencia.

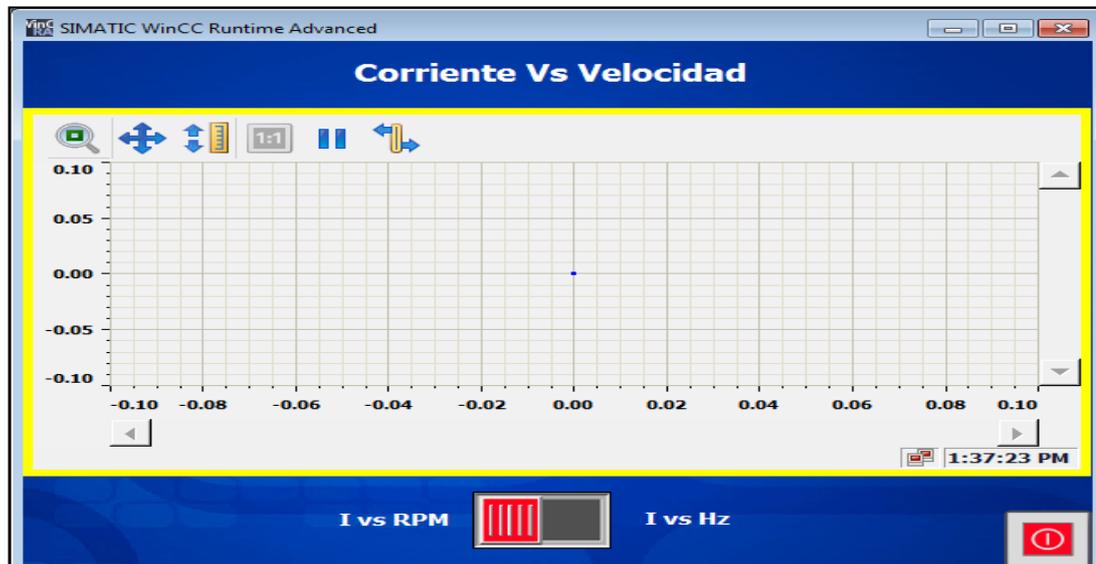


FIGURA 184: SWITCH OFF (INTERRUPTOR APAGADO) [AUTORES]

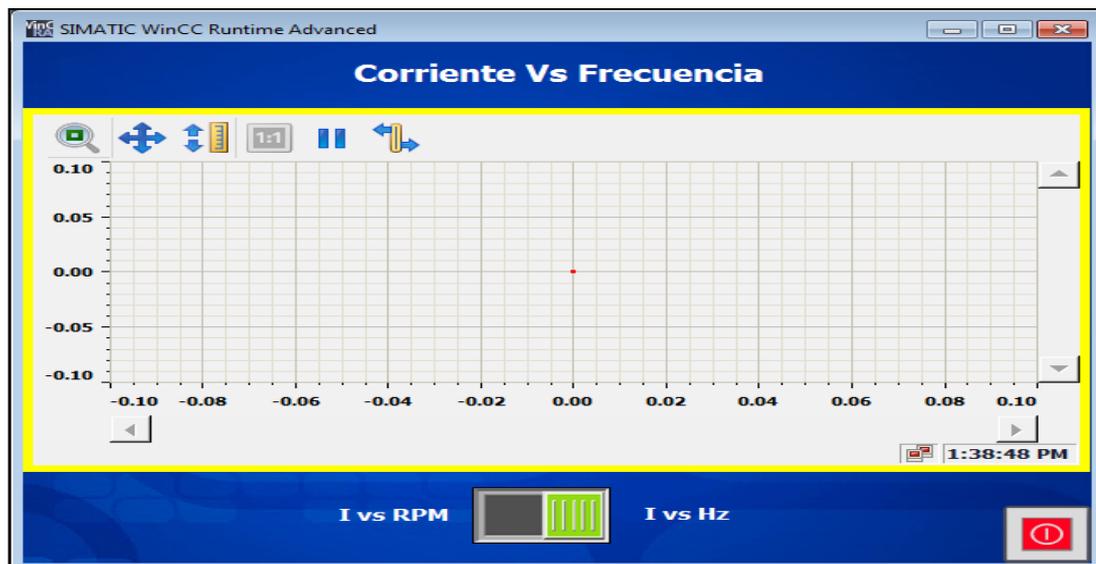


FIGURA 185: SWITCH ON (INTERRUPTOR ENCENDIDO) [AUTORES]

Cabe recalcar que las variables físicas del PLC pasan por un bloque de función, para escalar los datos provenientes del variador de frecuencia y asociarlos al visor de curvas $f(x)$.

Lo siguiente es configurar el visor de curvas para la rampa de aceleración, desaceleración y perturbaciones que pudieran afectar al motor trifásico durante su funcionamiento y así evitar daños irreparables para el mismo.

Para visualizar esta nueva gráfica, dar clic en la pestaña “**Controls**” (controles) y desplazar hacia la pantalla la figura que dice “**Trend View**” (visor de tendencias). Ver Fig.186

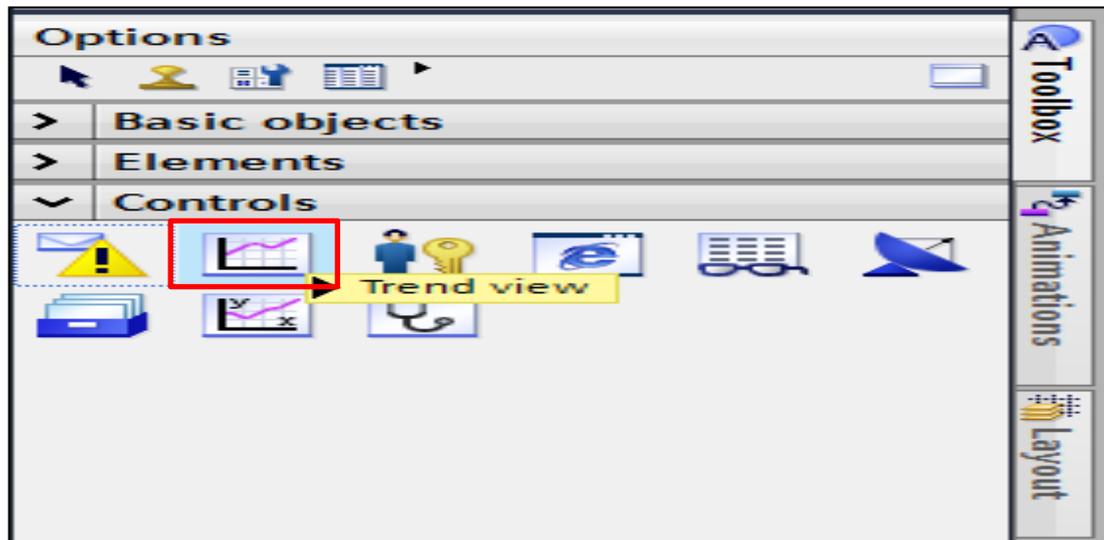


FIGURA 186: TREND VIEW RAMPAS (VISOR DE TENDENCIAS RAMPAS) [AUTORES]

Una vez el visor de curvas ubicado en la zona de trabajo se enlaza con las variables del PLC que supervisan el funcionamiento del variador, en este caso se depende de la frecuencia que se le inyecta al motor desde el equipo. Ver Fig.187

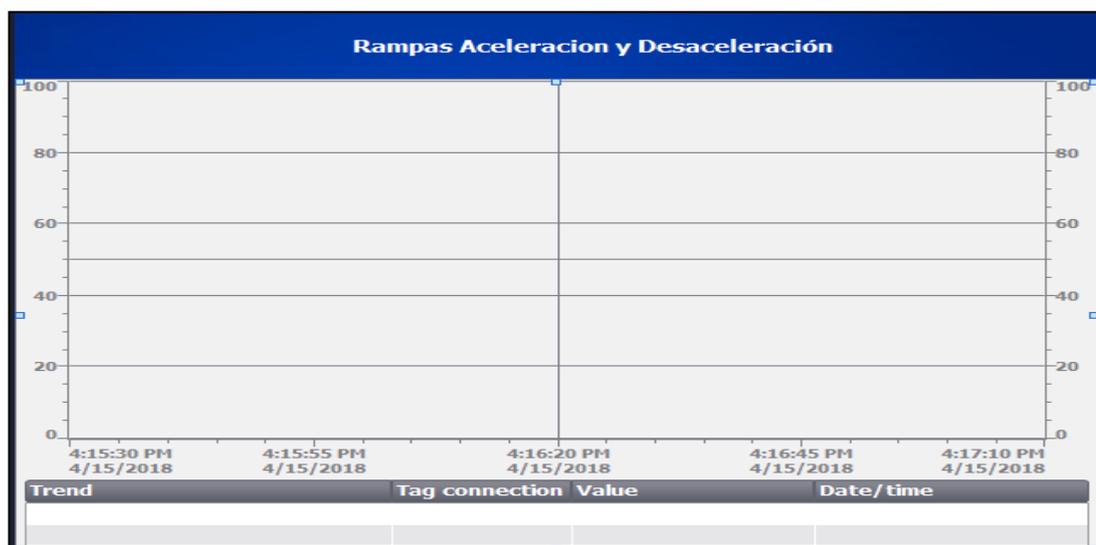


FIGURA 187: TREND VIEW EN IMAGEN HMI (VISOR DE TENDENCIAS) [AUTORES]

En propiedades de “**Trend View**” (visor de tendencias), en la primera opción agregar una nueva gráfica, luego ir a la columna “**Source settings**” (configuración de fuente),

enlazar la variable del PLC con el visor de curvas y así tomar la lectura de datos con respecto al tiempo. Ver Fig.188

Observación: Para la lectura de datos siempre enlazar las variables HMI desde el autómatas programable con acceso absoluto.

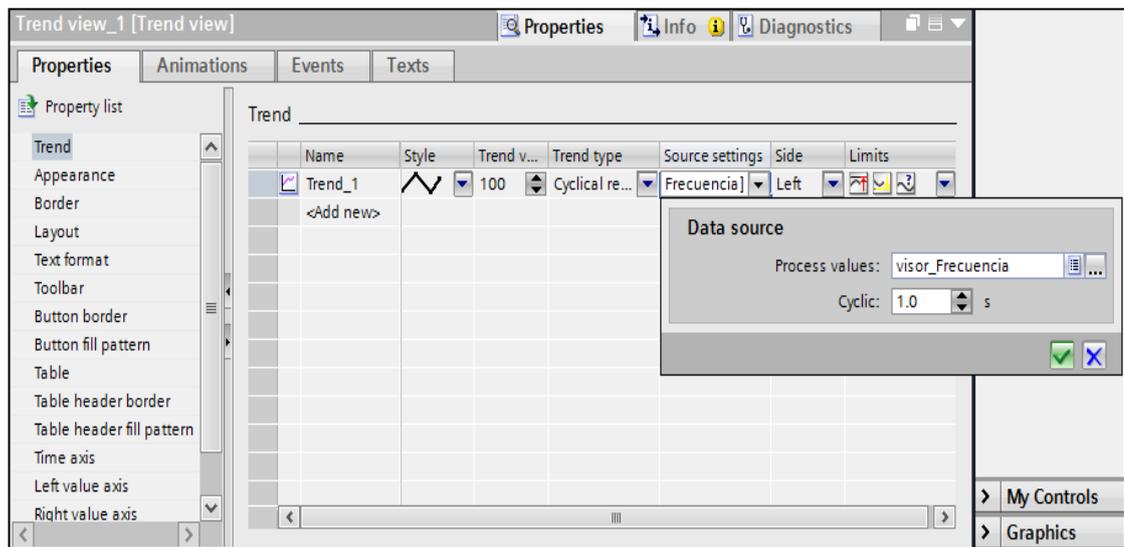


FIGURA 188: CONFIGURACIÓN VISOR DE CURVAS RAMPAS [AUTORES]

Por último, configurar la pantalla de diagnóstico, simplemente desplazar la figura “System Diagnostics View” (vista de sistema y diagnóstico) a la zona de trabajo y aparece automáticamente. Ver Fig.189

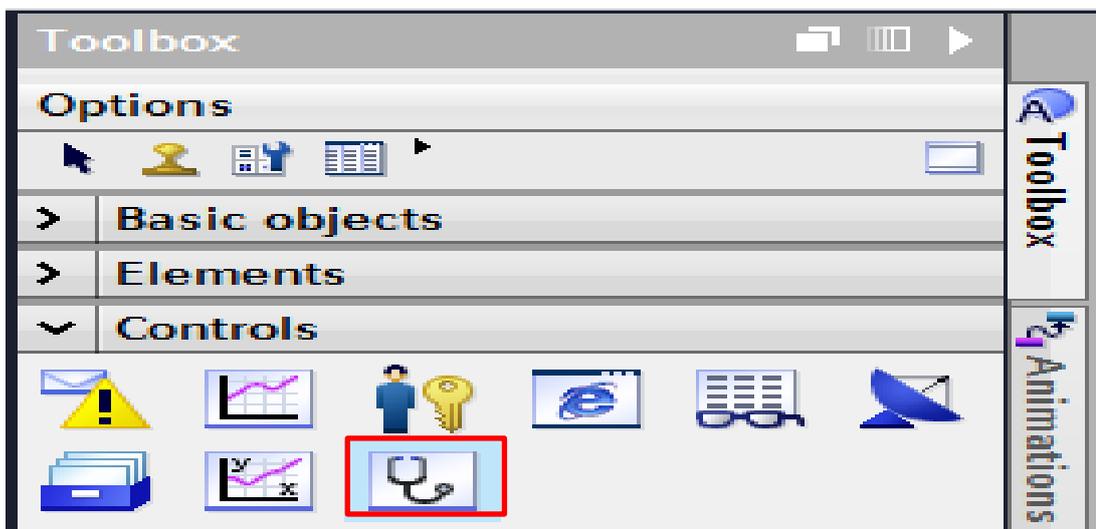


FIGURA 189: VENTANA DIAGNÓSTICO [AUTORES]

Una vez agregada la venta de diagnóstico, se empieza con la configuración de los botones F1 hasta F5, para cambiar de pantalla desde la comodidad del teclado de la PC.

Cabe recalcar que la misma configuración se realizara en todas las pantallas y cada botón activara una imagen diferente de la simulación, las teclas tienen el mismo orden que las imágenes en el programa, es decir F1 nos envía a la portada y F5 activa la pantalla diagnóstico. Ver Fig.190



FIGURA 190: CONFIGURACIÓN DE KEYBOARD [AUTORES]

Como se puede observar en la fig.190 las teclas F1 a F5 tienen un triángulo rectángulo en la esquina inferior izquierda, esto indica que realizan una función previamente configurada. Ver Fig.191

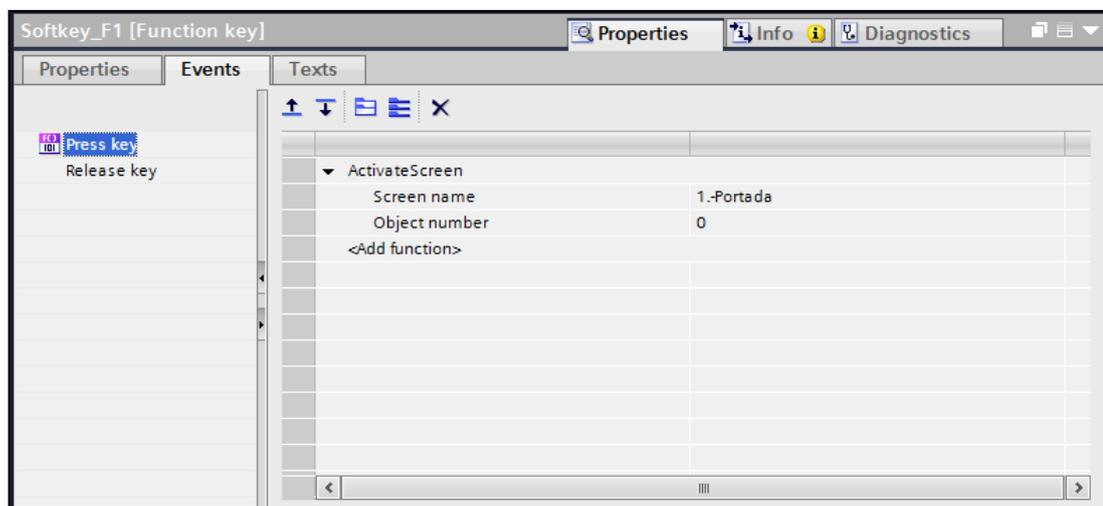


FIGURA 191: CONFIGURACIÓN DE EVENTOS EN KEYBOARD (TECLADO) [AUTORES]

Usar el evento **“Press Key”** (presionar tecla) y agregar **“ActivateScreen”** (activar pantalla), esto sirve para ir a la pantalla configurada, luego repetir el mismo proceso para las teclas F2, F3, F4 Y F5.

Terminadas las configuraciones de las pantallas HMI se procede a dar marcha al sistema desde el modo local y remoto para mostrar los resultados obtenidos.

En la Fig.192 se tiene la portada terminada, el usuario puede darle los detalles a su elección.

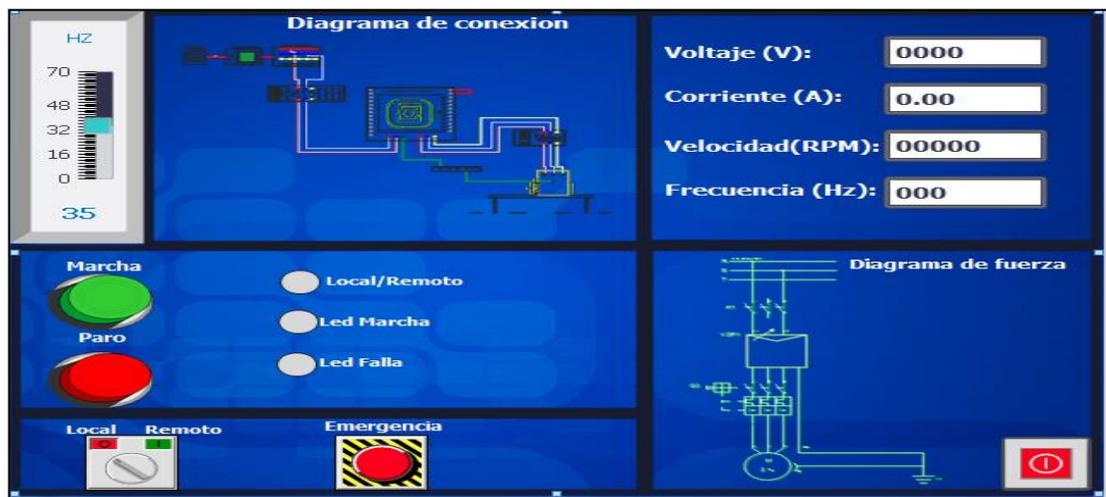


FIGURA 192: PANTALLA CONTROL [AUTORES]

Dentro de la programación del PLC, ubicarse en el bloque de datos **“Dataset”**, el mismo estará en **“stop”** (detener) para observar que no se están enviando o recibiendo datos. Ver Fig.193

Conexion maestro esclavos > SLAVE [CPU 1212C AC/DC/Rly] > Program blocks > Dataset [DB3]

	Name	Data type	Offset	Start value	Monitor value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Setpoint
1	Static								
2	Bit_start	Bool	0.0	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Bit_ready	Bool	0.1	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Marcha_Variador	Bool	0.2	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Paro_Variador	Bool	0.3	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	ATV31_CMD_Word_i...	Word	2.0	16#0	16#100F		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	ATV31_REF_IMG	DInt	4.0	0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	ATV31_Status_word	Word	8.0	16#0	16#0227		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	ATV312_FRECUENCIA	Int	10.0	0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	ATV312_Velocidad	Int	12.0	0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	ATV312_Corriente	Int	14.0	0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	ATV32_Voltaje	Int	16.0	0	2205		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

FIGURA 193: CONEXIÓN ONLINE BLOQUE DATASET EN STOP [AUTORES]

En la Fig.193 se observa que los valores de velocidad, corriente y frecuencia están en 0, se debe a que el sistema está en stop y una vez se presiona marcha estos datos cambian.

Una vez dada la marcha los datos en el “**bloque Dataset**” cambiarán y se obtendrán los valores correspondientes a la Fig.194

Conexion maestro esclavos ▶ SLAVE [CPU 1212C AC/DC/Rly] ▶ Program blocks ▶ Dataset [DB3]									
Dataset									
	Name	Data type	Offset	Start value	Monitor value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Setpoint
1	Static								
2	Bit_start	Bool	0.0	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Bit_ready	Bool	0.1	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Marcha_Variador	Bool	0.2	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Paro_Variador	Bool	0.3	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	ATV31_CMD_Word_i...	Word	2.0	16#0	16#000F		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	ATV31_REF_IMG	Dint	4.0	0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	ATV31_Status_word	Word	8.0	16#0	16#0627		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	ATV312_FRECUENCIA	Int	10.0	0	600		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	ATV312_Velocidad	Int	12.0	0	1800		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	ATV312_Corriente	Int	14.0	0	22		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	ATV32_Voltaje	Int	16.0	0	2138		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

FIGURA 194: CONEXIÓN ONLINE BLOQUE DATASET EN START [AUTORES]

Uno de los objetivos de la práctica es mostrar las gráficas corriente vs RPM, corriente vs Hz trabajando a frecuencias de 30, 60 y 70 Hz respectivamente, en la parte inferior se adjunta las curvas obtenidas con las pruebas realizadas. Ver Fig.195, Fig.196



FIGURA 195: GRÁFICA I VS RPM A DIFERENTES FRECUENCIAS [AUTORES]

La gráfica adjuntada en la Fig.191, demuestra que al subir la corriente la velocidad del motor aumenta y a su vez la corriente disminuye, este fenómeno ocurre debido a que el factor limitante de la velocidad del motor es la frecuencia de la potencia aplicada dividida por el número de vueltas del polo en el estator del motor. [38]

La corriente en cambio está en función del torque, y voltaje es una función de torque por velocidad, entonces no es correcto el decir que la corriente debe subir con la velocidad, dependerá de la carga del motor, también depende del voltaje aplicado. [38]

Un motor es un gran inductor, la impedancia de un inductor es una función de la frecuencia, la ecuación para esto es:

$$Xl = 2\pi fL$$

ECUACIÓN 12 : REACTANCIA INDUCTIVA [38]

Donde Xl es la impedancia inductiva, f es la frecuencia, L es la inductancia y 2π nos da Xl en ohmios, L está fijado por la construcción del motor, la única variable es la frecuencia, a medida que la frecuencia aumenta, Xl también aumenta, por ende, la corriente debe descender, a menos que el voltaje aplicado se eleve para coincidir con la frecuencia, si las pruebas se hacen a vacío el motor está generando.[38]

Se adjunta la gráfica de I vs Hz para corroborar lo que se ha mencionado en párrafos anteriores. Ver Fig.192

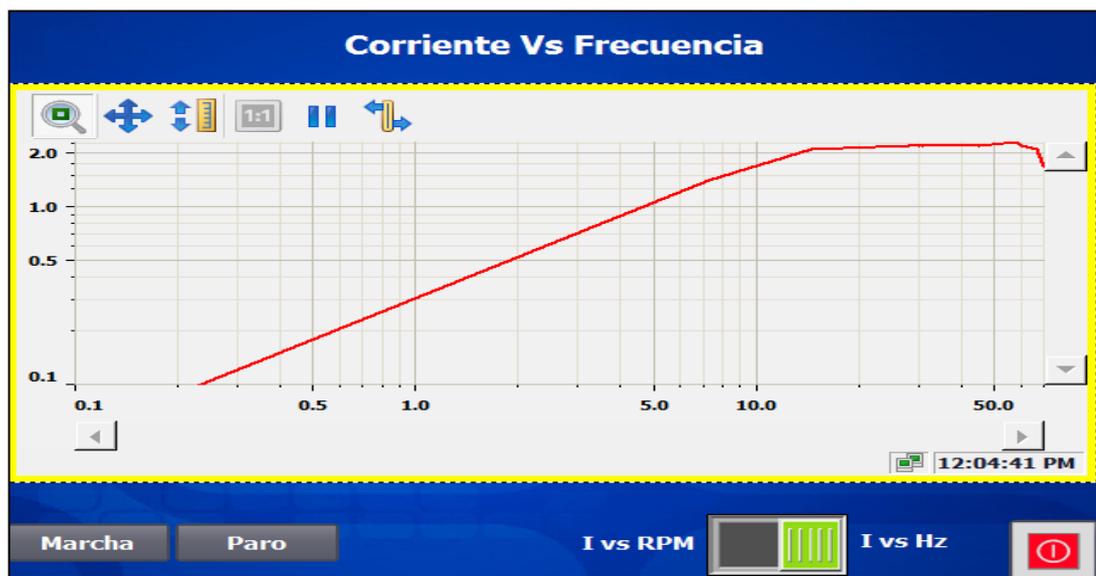


FIGURA 196: GRÁFICA I VS HZ A DIFERENTES FRECUENCIAS [AUTORES]

Por seguridad en las configuraciones del variador se coloca una frecuencia máxima de 70 Hz, debido a que el eje del motor no podría estar diseñado para girar tan rápido, y la máquina corre el riesgo de dañarse.

En la Fig.197, se muestran las rampas que el motor realiza al momento de acelerar y al detenerse, también se observan los cambios de frecuencias realizados a lo largo de la práctica.



FIGURA 197: RAMPAS ACELERACION Y DESACELERACIÓN [AUTORES]

Para la variación de velocidad por medio de las entradas digitales se crea un Bloque FC, cada bit enviara las frecuencias de 30, 60 y 70 Hz. Ver Fig.198

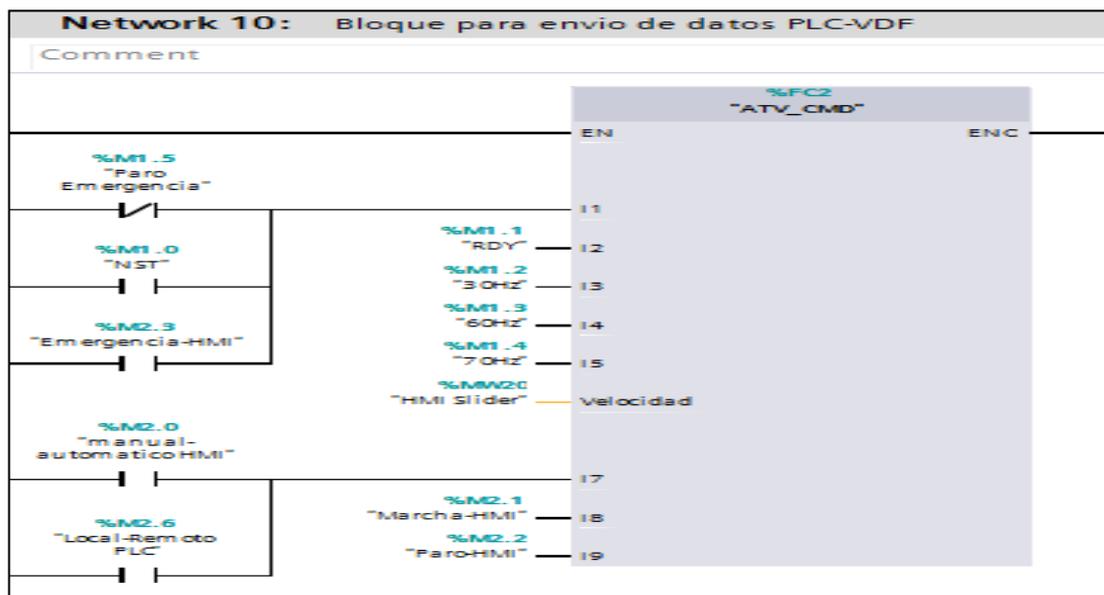


FIGURA 198: BLOQUE FC PARA VARIAR FRECUENCIA CON ENTRDAS DIGITALES [AUTORES]

PRUEBAS Y CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL MODELO EQUIVALENTE DE UN MOTOR ASÍNCRONO.

Para hallar el modelo esquemático del motor asíncrono se realizaron las diferentes pruebas citadas en la parte inferior para obtener datos y calcular los siguientes parámetros:

A. Prueba de Circuito Abierto:

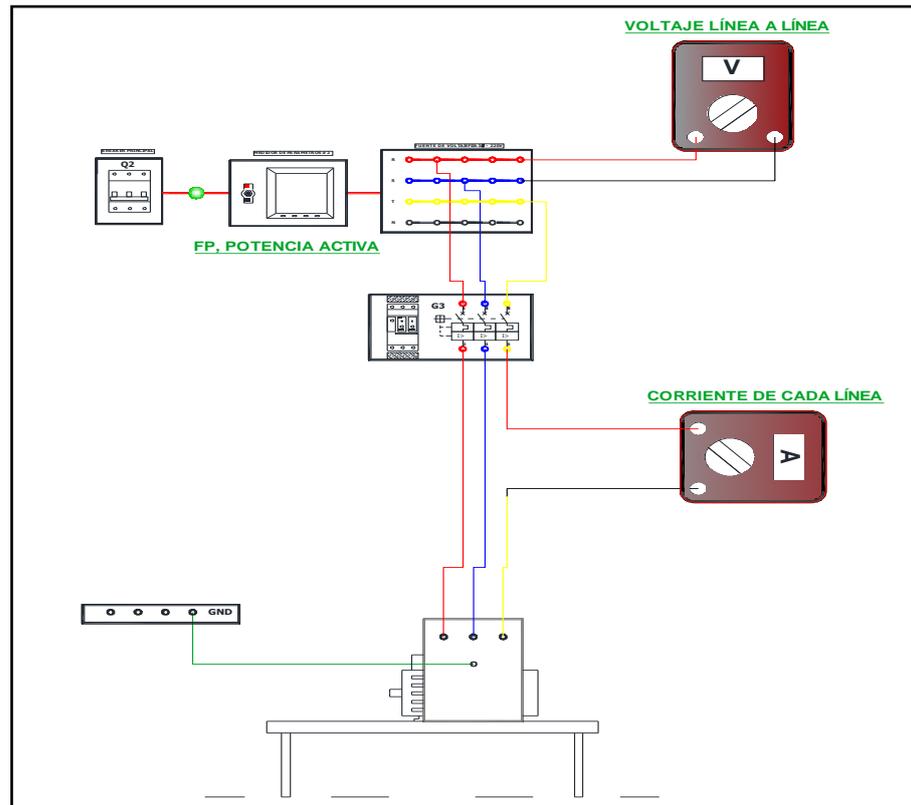


FIGURA 199: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO [4]

Con una fuente trifásica fija se tendrá 220 V de línea a línea donde los datos obtenidos son los siguientes en el medidor de parámetros:

TABLA 25: VOLTAJES DE LAS LÍNEAS CON LA PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO

VOLTAJES DE LÍNEA A LÍNEA		
VRS	VST	VTR
218 V	215 V	215 V

Se procede a hallar un valor promedio de los voltajes obtenidos.

$$V_{LL} = \frac{V_{RS} + V_{ST} + V_{TR}}{3}$$

ECUACIÓN 13: PROMEDIO DE VOLTAJE DE LÍNEA A LÍNEA [15]

$$V_{LL_{CA}} = 216 \text{ V}$$

Del valor obtenido, se procede a realizar el cálculo de voltaje de cada fase.

$$V_{fase} = \frac{V_{promedio}}{\sqrt{3}}$$

ECUACIÓN 14: VOLTAJE DE FASE [15]

$$V_{fase} = 124.707 \text{ V}$$

En la misma pantalla del medidor de parámetro o con un amperímetro se puede hallar la corriente de cada línea del motor.

TABLA 26: CORRIENTE DE LAS LÍNEAS CON LA PRUEBA DE CA

CORRIENTE DE CADA LÍNEA		
IR	IS	IT
2.49 A	2.27 A	2.01 A

Se procede a hallar un valor promedio de las corrientes obtenidas.

$$I_L = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

ECUACIÓN 15: CORRIENTE PROMEDIO DE LÍNEA A LINEA [15]

$$I_L = 2.2567 \text{ A.}$$

En la misma pantalla del medidor de parámetro se puede observar las potencias activas de cada línea generada por el motor.

TABLA 27: POTENCIAS ACTIVAS DE CADA LÍNEA EN PRUEBA DE CA

POTENCIAS ACTIVAS DE CADA LÍNEA		
P_R	P_S	P_T
90 W	110 w	80 w

Para el cálculo de la potencia de circuito abierto se lo halla con la sumatoria de las potencias de cada línea.

$$P_{TOTAL} = P_{CA} = P_R + P_S + P_T$$

ECUACIÓN 16: POTENCIA ACTIVA TOTAL [15]

$$P_{CA} = 270 \text{ w.}$$

TABLA 28: DATOS VARIOS DE PRUEBA DE AC

Frecuencia	Nr (velocidad del rotor)	Fp3Ø
59.99 HZ	1789 rpm	0.304 atraso

Una fórmula para hallar la impedancia de circuito abierto en términos de voltaje y corriente es la siguiente:

$$Z_{CA} = \frac{V_{fase}}{I_{LCA}} = \frac{V_{LLCA}}{\sqrt{3} \cdot I_{LCA}}$$

ECUACIÓN 17: IMPEDANCIA DE CIRCUITO ABIERTO EN TÉRMINOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE [15]

$$Z_{CA} = \frac{124.707 \text{ V}}{2.2567 \text{ A}} = \frac{216 \text{ V}}{\sqrt{3} \times 2.2567 \text{ A}} = 55.2610 \Omega$$

En la prueba de rotor bloqueado se obtiene la reactancia estática por fase “ X_1 ” y con la Z_{CA} obtenida, se puede hallar la reactancia de magnetización del núcleo “ X_M ”

$$X_M = Z_{CA} - X_1$$

ECUACIÓN 18: REACTANCIA DE MAGNETIZACIÓN DEL NÚCLEO[15]

$$X_M = 55.2161 - 2.57285$$

$$X_M = j \mathbf{52.6376 \Omega}$$

Otra fórmula para obtener la impedancia de circuito abierto será la suma de ambos parámetros obtenidos.

$$Z_{CA} = j(X_1 + X_M)$$

ECUACIÓN 19: IMPEDANCIA DE CIRCUITO ABIERTO EN TÉRMINOS DE PARÁMETROS [15]

$$Z_{CA} = j(2.5785 + 52.6376) = j \mathbf{55.2161 \Omega}$$

En la prueba de Voltaje DC se obtiene el valor de la resistencia por fase del devanado estatórico “ R_1 ” y se podrá hallar las Pérdidas de cobre en el estator.

$$P_{CU(estator)} = 3 \cdot I_{fase(CA)}^2 \cdot R_1$$

ECUACIÓN 20: PÉRDIDA DE COBRE [15]

$$P_{CU(estator)} = 3 \times (2.2567 A)^2 \times 2.7983 \Omega$$

$$P_{CU(estator)} = \mathbf{42.7527 w}$$

Las Pérdidas rotacionales del motor están dado de la siguiente forma:

$$Protac = P_{CA(3\phi)} - P_{CU(estator)}$$

ECUACIÓN 21: PÉRDIDAS ROTACIONALES [10], [15]

$$Protac = 270 w - 42.7527 w$$

$$Protac = \mathbf{227.2473}$$

B. Prueba de Corto Circuito o Rotor Bloqueado:

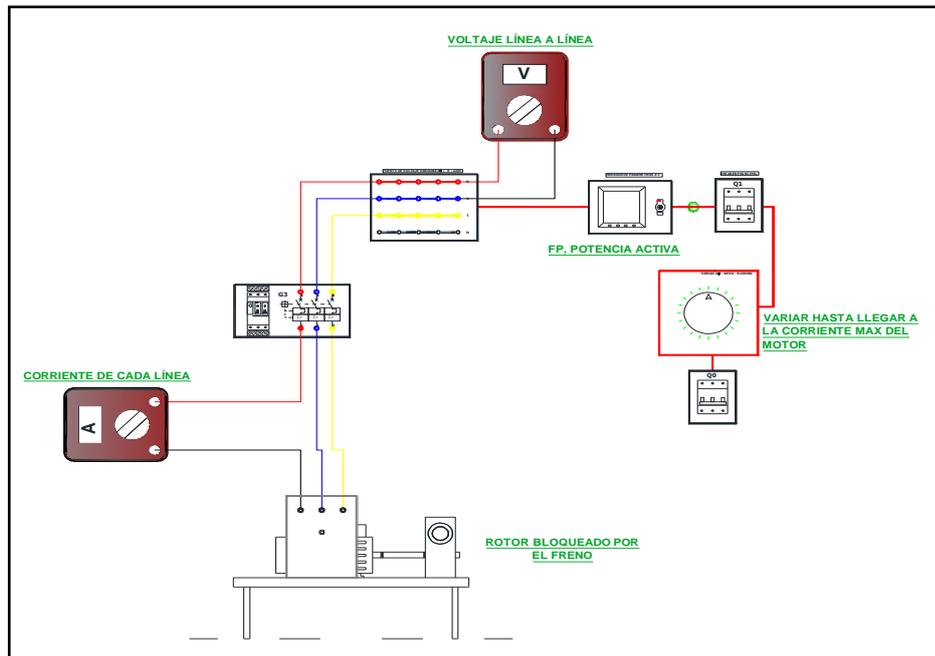


FIGURA 200: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO [4], [15], [AUTORES]

La corriente máxima del motor según la placa de información es de 3.5 Amperios, se tendrá que llegar a ese valor de corriente para tomar los datos respectivos, la corriente que se va a trabajar será 3.4 Amperios.

Los datos obtenidos son los siguientes:

TABLA 29: VOLTAJES DE LÍNEA A LÍNEA DE PRUEBA DE RB

VOLTAJES DE LÍNEA A LÍNEA		
VRS	VST	VTR
47 V	46 V	47 V

Se procede a hallar un valor promedio de los voltajes obtenidos y a su vez el voltaje de fase como se observa en las Ecuaciones 14 y 15.

$$V_{CC} = \frac{VRS + VST + VTR}{3} = 46.667 \text{ V}$$

$$V_{fase} = \frac{V_{CC}}{\sqrt{3}} = 26.9430 \text{ V}$$

En la misma pantalla del medidor de parámetro o con un amperímetro se puede hallar la corriente de cada línea del motor.

FIGURA 201: CORRIENTES DE LAS LÍNEAS CON LA PRUEBA DE RB

CORRIENTE DE CADA LÍNEA		
IR	IS	IT
3.6 A	3.4 A	3.4 A

Con la Ecuación 15., se procede a hallar un valor promedio de las corrientes obtenidas.

$$I_{CC} = \frac{IR + IS + IT}{3} = 3.4667 \text{ A.}$$

En la misma pantalla del medidor de parámetro se puede observar las potencias activas de cada línea generada por el motor.

TABLA 30: POTENCIAS ACTIVAS DE LAS LÍNEAS CON LA PRUEBA DE RB

POTENCIAS ACTIVAS DE CADA LÍNEA		
P_R	P_R	P_R
70 W	60 W	80 W

Con la Ecuación 16., se puede hallar la potencia activa total $P_{CC} = P_R + P_S + P_T = 210 \text{ w.}$

TABLA 31: DATOS VARIOS CON LA PRUEBA DE RB

Fp3Ø
0.454 atraso

Al tener el rotor bloqueado no permitirá hallar su velocidad, ni la frecuencia de trabajo que ejerce. Cuando el motor está trabajando con su corriente máxima, los valores de las resistencias entre cada bobina del motor de inducción son los siguientes valores:

TABLA 32: VALORES DE OHMIAJE ENTRE CADA BOBINA DEL MOTOR

RESISTENCIAS ENTRE CADA BOBINA		
U-V	V-W	U-W
5.5 Ω	5.4 Ω	5.4 Ω

Con los valores medidos en la prueba de rotor bloqueado se podrán encontrar la impedancia de rotor bloqueado " $\bar{Z}_{CC} = \bar{Z}_{RB}$ " de la siguiente forma:

$$\bar{Z}_{CC} = \bar{Z}_{RB} = \frac{V_{CC}/\sqrt{3}}{I_{CC}} \left| \text{arc. cos} \left(\frac{P_{CC}}{V_{CC} \cdot I_{CC} \cdot \sqrt{3}} \right) \right.$$

ECUACIÓN 22: IMPEDANCIA DE ROTOR BLOQUEADO [15]

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{CC} = \bar{Z}_{RB} &= \frac{26.9430 \text{ V}}{3.4667 \text{ A}} \left| \text{arc. cos} \left(\frac{210}{46.667 \times 3.4667 \times \sqrt{3}} \right) \right. \\ &= 7.772 \left| \text{arc. cos}(0.749432) \right. \\ &= 7.772 \left| 41.45875^\circ \right. \end{aligned}$$

Con este valor de forma polar se procede a obtener los valores de la resistencia y reactancia rotórica de cortocircuito. [15]

$$\begin{aligned} R_{cc} &= Z_{cc} (\cos \theta_{cc}^\circ) \\ X_{cc} &= Z_{cc} (\text{sen } \theta_{cc}^\circ) \end{aligned}$$

ECUACIÓN 23: RESISTENCIA Y REACTANCIA ESTÁTICA [15]

$$\begin{aligned} R_{cc} &= (7.772) \cos(41.45875^\circ) = \mathbf{5.8246 \Omega} \\ X_{cc} &= (7.772) \text{sen}(41.45875^\circ) = \mathbf{j 5.1457 \Omega} \end{aligned}$$

Para determinar el valor de la Resistencia Rotórica " R_2 ", otra fórmula para determinar este valor se lo realiza de la siguiente manera.

$$\boxed{R_{cc} = R_1 + R_2} \left\{ \begin{array}{l} R_1: \text{ Resistencia por fase} \\ \quad \text{de devanado estatório} \\ R_2: \text{ Resistencia Rotórica} \end{array} \right.$$

$$R_{cc} = R_1 + R_2$$

ECUACIÓN 24: RESISTENCIA TOTAL DE ROTOR BLOQUEADO [15]

$$5.8246 = 2.75 + R_2$$

$$R_2 = 5.8246 - 2.7983$$

$$R_2 = 3.0263 \Omega$$

Con la Ecuación 14., se puede determinar el valor de la resistencia por fase de devanado estatórico “ R_1 ”. Se tiene una conexión Doble Y para obtener 220V de línea a línea.

$$V_{f \text{ cada bobina}} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} = \frac{220 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 127.0170 \text{ V}$$

Para mayor comprensión se realiza un paralelo y se tendrá una bobina, pero al sacar el valor individual de cada bobina por estar en paralelo se lo divide para dos.

$$R \text{ de cada bobina} = \frac{5.5 \Omega}{2} = 2.75 \Omega$$

ECUACIÓN 25: RESISTENCIA MÁXIMA DE CADA BOBINA [15]

Los otros valores de resistencia se aproximan a este valor calculado, si al compararlo con el valor “ R_1 ” que se obtienen en la Prueba de Voltaje DC está muy similar o próximo al valor calculado ($2.75 \Omega = 2.7983 \Omega$).

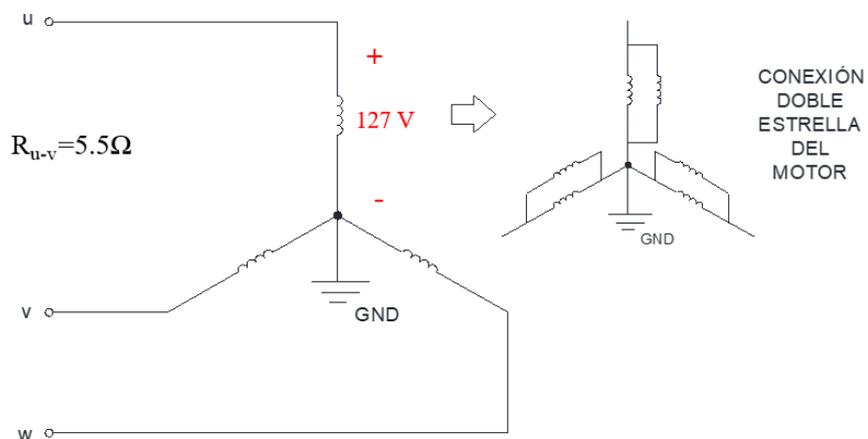


FIGURA 202: CONEXIÓN ESTRELLA Y DOBLE ESTRELLA DE UN MOTOR [AUTORES]

Se calcula la reactancia equivalente de X_1 y X_2 , tomando la frecuencia en la prueba de cortocircuito con un valor a 60 Hz y el tipo del motor será Clase A para proporcionar las reactancias.

$$X_{eq} = X_{cc} * \frac{f_{estator}}{f_{cc}}$$

ECUACIÓN 26: REACTANCIA EQUIVALENTE DE X_1 Y X_2 [15]

$$X_{eq} = (5.1457) \left(\frac{60 \text{ Hz}}{60 \text{ Hz}} \right) = \mathbf{5.1457 \Omega}$$

En la placa del motor trifásico se observa el tipo el tipo del motor, si en la placa no existe este dato, se asimila que es clase A; si se da el caso.

$$\Rightarrow \text{Motor, diseño tipo "A"} \Rightarrow \begin{cases} X_1 = 50\% X_{eq} \\ X_2 = 50\% X_{eq} \end{cases}$$

ECUACIÓN 27: PROPORCIÓN DE LAS REACTANCIAS DE CLASE A [15]

$$\begin{cases} X_1 = (0.5)(5.1457) = \mathbf{j 2.57285 \Omega} \\ X_2 = (0.5)(5.1457) = \mathbf{j 2.57285 \Omega} \end{cases}$$

Donde X_1 : Reactancia por fase del Devanado Estatórico

X_2 : Reactancia Rotórica.

C. Prueba de Voltaje DC:

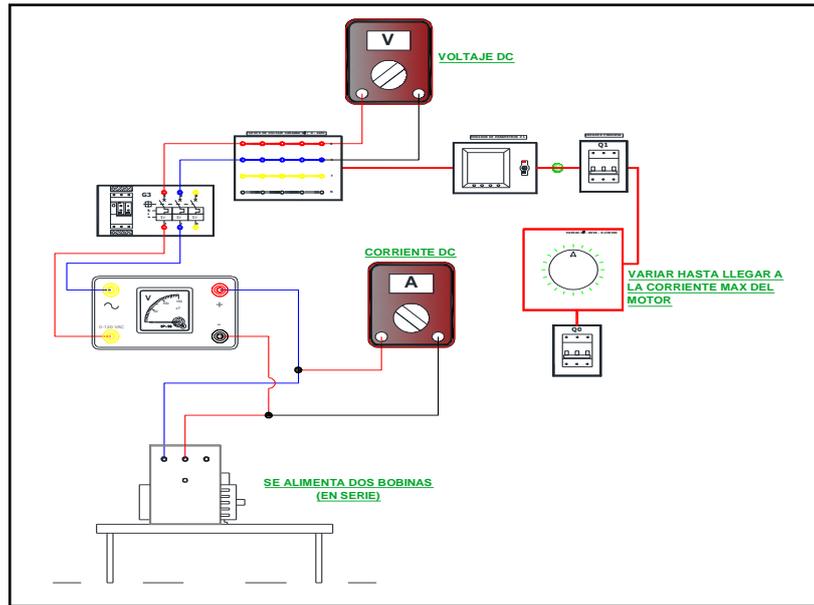


FIGURA 203: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA PRUEBA DE VOLTAJE DC [4], [15]

La corriente máxima del motor según la placa de información es de 3.5 Amperios, se tendrá que llegar a ese valor de corriente para tomar los datos respectivos en la fuente DC analógico y multímetro, la corriente que va a trabajar será 3.52 Amperios.

TABLA 33: VOLTAJE Y CORRIENTE DE LA PRUEBA DE VOLTAJE DC

<i>Voltaje DC (VDC)</i>	<i>Corriente DC (ICD)</i>
19.7 V	3.52 A

Con las mediciones de voltaje y corriente en DC, se obtiene el valor de R_1 y con esto se completa los demás parámetros y asignar los valores correspondientes en el modelado equivalente del motor asíncrono.

$$P_{CD} \Rightarrow R_1 = \frac{V_{CD}}{2 \times I_{CD}}$$

ECUACIÓN 28: VALOR DE R_1 DEL CIRCUITO EQUIVALENTE [15]

$$P_{CD} \Rightarrow R_1 \frac{19.7 V}{(2)(3.52 A)} = 2.7983 \Omega$$

El modelado equivalente real por fase del motor de inducción trifásico a utilizar es el siguiente:

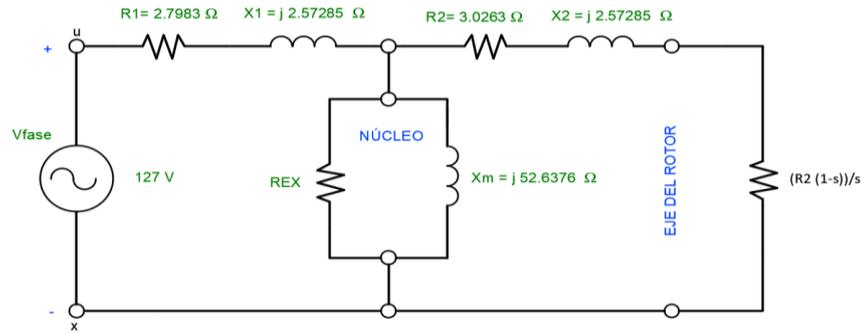


FIGURA 204: CIRCUITO EQUIVALENTE [15]

Simplificar:

$$R2_{eq} = R2 + \frac{R2(1-s)}{s} = R2 + \frac{R2 - sR2}{s}$$

$$R2_{eq} = \frac{sR2 - sR2 + R2}{s} = \frac{R2}{s}$$

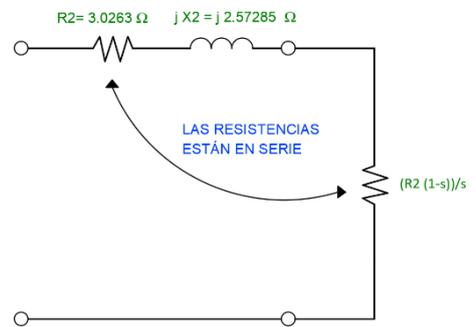


FIGURA 205: DEDUCCIÓN DE FÓRMULA DE SIMPLIFICACIÓN DEL MODELO EQUIVALENTE [15]

Entonces:

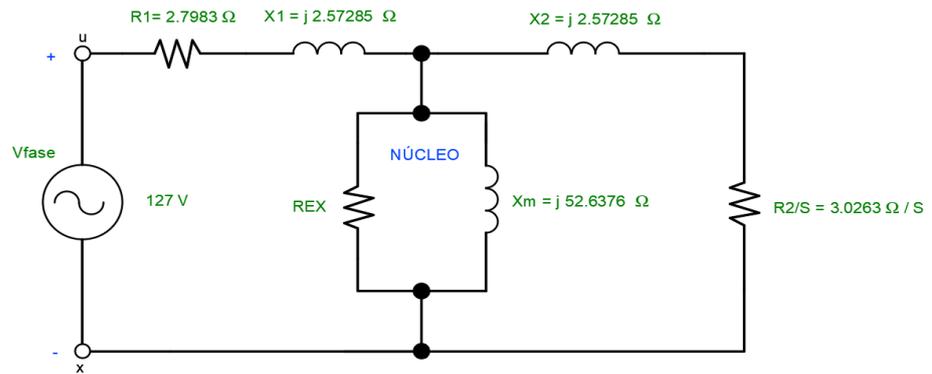


FIGURA 206: CIRCUITO EQUIVALENTE SIMPLIFICADO [15]

Para obtener el valor de deslizamiento en función de las velocidades, teniendo a consideración que la velocidad mecánica del rotor “ n_r ” ese valor medido con el tacómetro digital en la Prueba de Circuito Abierto. Con la Ecuación 4., se puede calcular el deslizamiento.

$$s = \left(\frac{n_s - n_r}{n_s} \right) \times (100\%) ; s = \left(\frac{1800 - 1789}{1800} \right) \times (100\%)$$

$s = 0.0061 = 0.61$

5.5.6. Conclusiones:

Se configuro la interfaz con un control deslizante (slider) para que el usuario cambie la frecuencia dependiendo de su aplicación, esto se logró gracias al uso de un selector para cambiar el modo de trabajo manual-automático, el cual hace que se operario use la PC para el control del variador o en manual para su uso desde el PLC, la interfaz tiene indicadores led para verificar el funcionamiento del equipo, se debe tener precaución al momento de configurar los registros para la comunicación Modbus entre el autómatas programable y el variador de frecuencia.

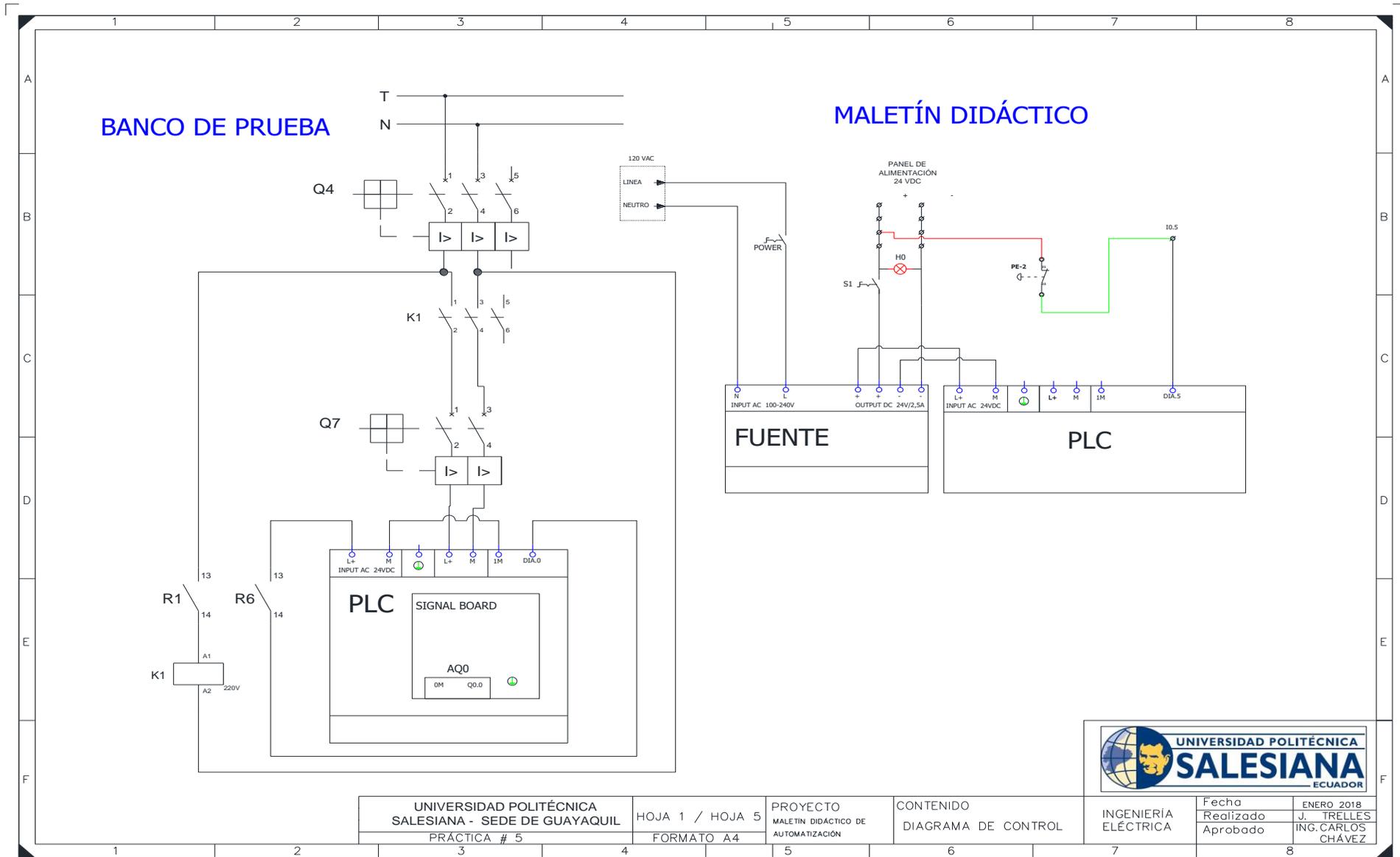
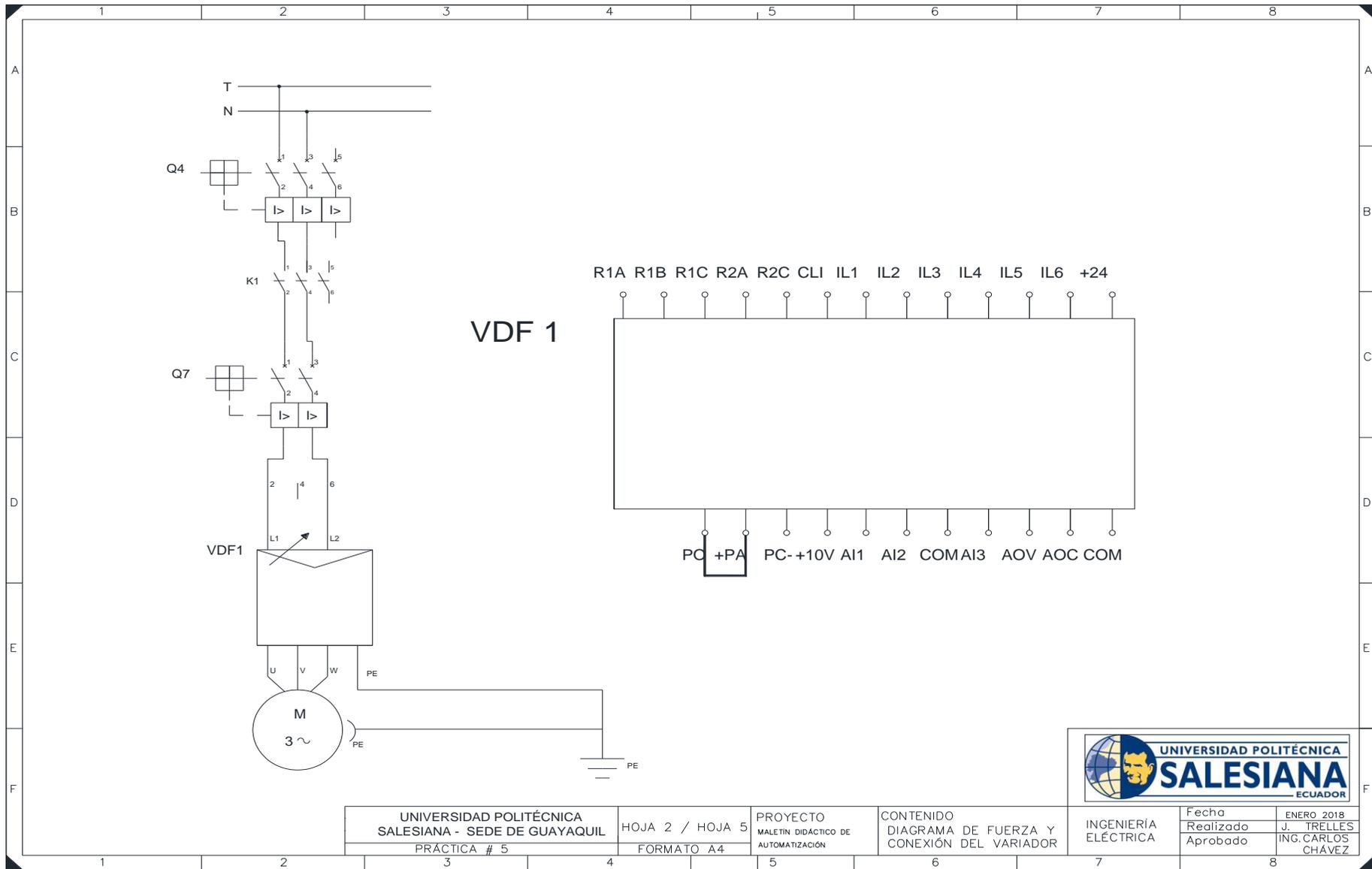


FIGURA 207: DIAGRAMA DE CONTROL – PRÁCTICA # 5 [AUTORES]



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL
PRÁCTICA # 5

HOJA 2 / HOJA 5
FORMATO A4

PROYECTO
MALETÍN DIDÁCTICO DE
AUTOMATIZACIÓN

CONTENIDO
DIAGRAMA DE FUERZA Y
CONEXIÓN DEL VARIADOR



INGENIERÍA
ELÉCTRICA

Fecha
Realizado
Aprobado

ENERO 2018
J. TRELLES
ING. CARLOS
CHÁVEZ

FIGURA 208: DIAGRAMA DE FUERZA – PRÁCTICA # 5 [AUTORES]

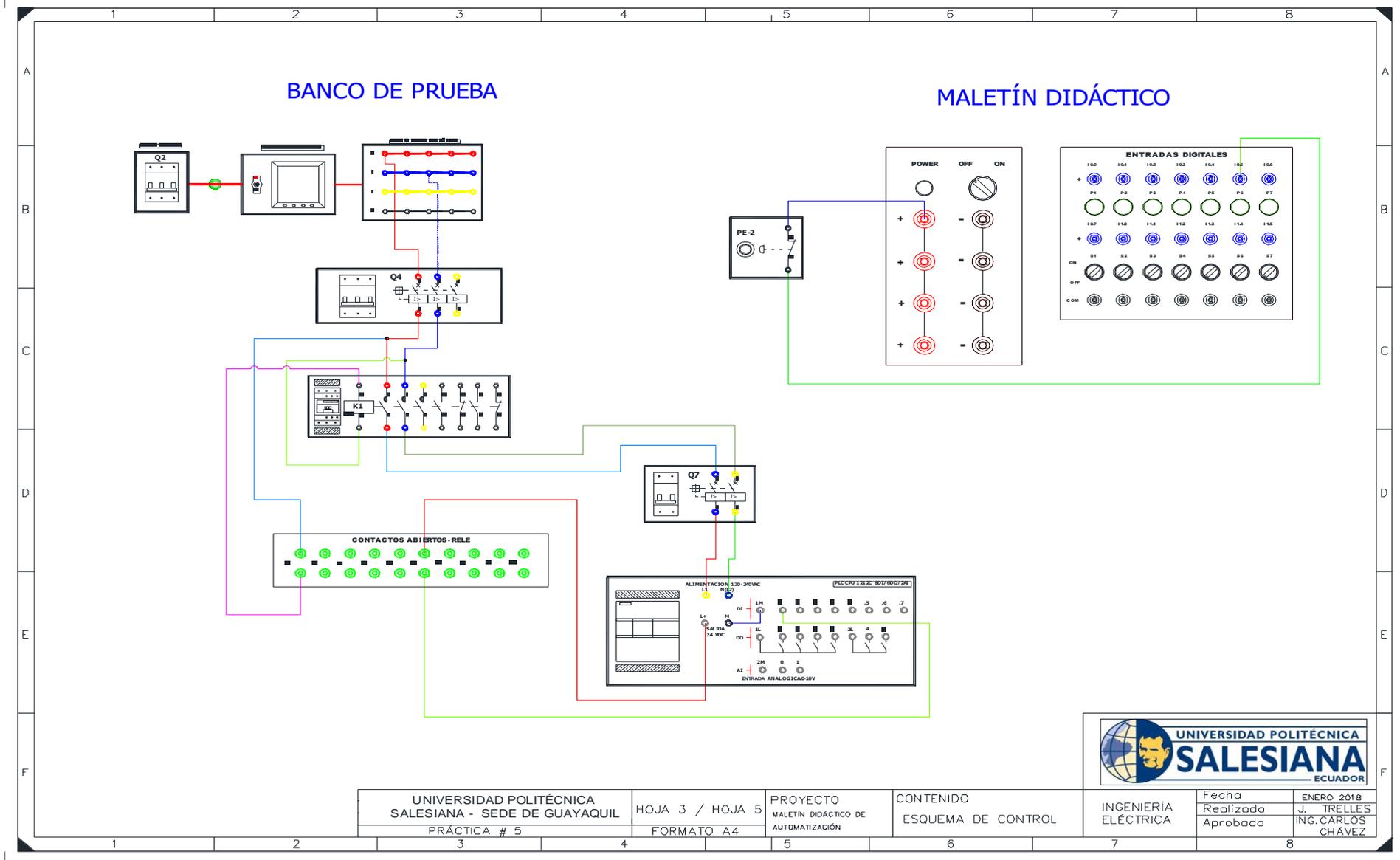
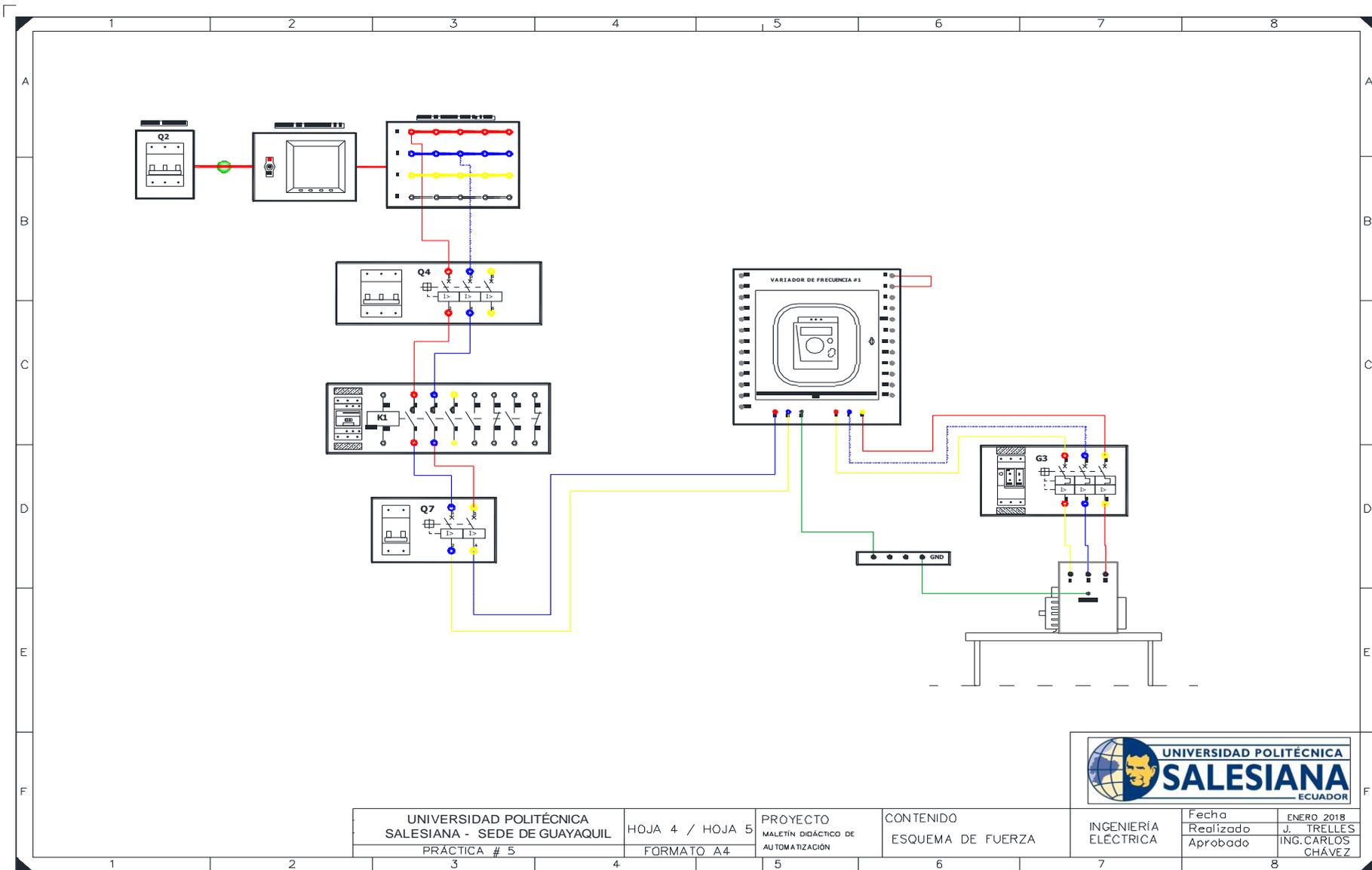


FIGURA 209: ESQUEMA DE CONTROL – PRÁCTICA 5 [AUTORES]



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL	HOJA 4 / HOJA 5	PROYECTO MALETÍN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO ESQUEMA DE FUERZA	INGENIERÍA ELÉCTRICA	Fecha	ENERO 2018
					Realizado	J. TRÉLLES
PRACTICA # 5	FORMATO A4				Aprobado	ING. CARLOS CHÁVEZ

FIGURA 210: ESQUEMA DE FUERZA – PRÁCTICA 5 [AUTORES]

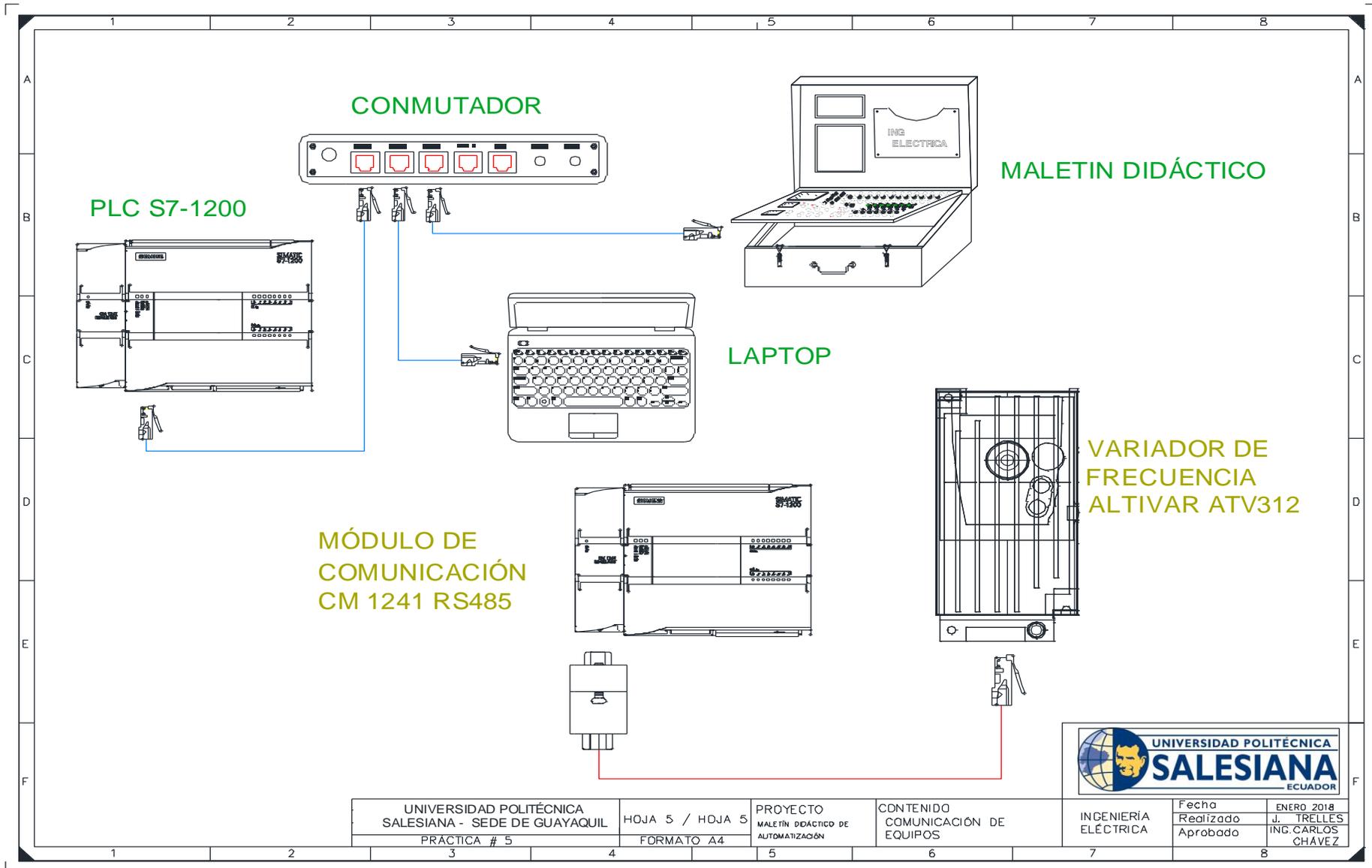


FIGURA 211: COMUNICACIÓN DE EQUIPOS – PRÁCTICA # 5 [AUTORES]

CONCLUSIONES

- Se automatizó un sistema de control en el módulo de prueba mediante una interfaz de simulación WinCC RT Advanced que observa el comportamiento del motor de corriente alterna en su aceleración y desaceleración en diferentes frecuencias a tiempo real.
- Se simuló mediante los protocolos de comunicación TCP IP con la ayuda de un conmutador de cuatro puertos para simular la conexión industrial entre los dispositivos como PLC, laptop y maletín tales para el envío de datos desde el computador y la comunicación Modbus entre el módulo de comunicación y el variador de frecuencia y así poder realizar la simulación satisfactoriamente.
- Se realizó la automatización para el control de motores de corriente alterna a través de variadores de velocidad, mediante bloques de comunicación en el Tia Portal que permitan la comunicación Maestro-Esclavo entre dos autómatas programable y otra comunicación misma entre un PLC y el variador de frecuencia.
- Se verificó el correcto funcionamiento del sistema automatizado mediante graficas de comportamiento del motor asíncrono desde el maletín didáctico y la interfaz de simulación por medio de un local-remoto.
- Se realizó una guía de Prácticas didácticas con un total de cinco, para que el estudiante tenga una visión más clara sobre el proyecto de titulación
- Se prefirió utilizar la plataforma Wincc RT Advanced en lugar de labview, debido a las mejores características al momento de realizar la comunicación entre equipos de diferentes marcas y el programa es una extensión de TIA PORTAL V13, en labview se debe realizar una conexión vía OPC-SERVER lo cual dificulta el envío y recepción de datos en tiempo real.
- El sistema numérico hexadecimal facilita el control de las velocidades del motor, se debe a que el variador de frecuencia ATV312 marca Schneider utiliza este tipo de sistema dentro de su configuración de parámetros, por lo cual para la transferencia de datos desde el PLC S7-1200 marca Siemens se realiza la comunicación por bloques y se usa el protocolo de comunicación Modbus RS-485 con un módulo CM1241 de la misma marca del autómata programable para generar el acoplamiento.

RECOMENDACIONES

- Se debe adquirir un módulo de comunicación CM1241 RS485 para realizar la comunicación entre PLC S7-1200 y variador de frecuencia ATV312 marca Schneider
- Para este proyecto no se consideró, la colocación de un bit para el cambio de giro del motor motivo que puede ser usado para otro tema de proyecto de titulación en el área de los variadores de frecuencia.
- Leer la tabla de variables de comunicación del variador de frecuencia ATV312 marca Schneider es indispensable para dar marcha al motor desde el PLC S7-1200 marca Siemens
- Utilizar el sistema operativo Windows 7, porque tiene los drivers necesarios para realizar las prácticas

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

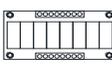
- [1] C. C. Francisco S, P. R. Javier, and B. J. José A Aganza T Alejandro, “Control automático de velocidad para un motor de inducción trifásico,” vol. 4, no. 1, 2008.
- [2] SPARC (Organization) and Universidad Tecnológica de Pereira., *Scientia et technica*. Universidad Tecnológica de Pereira, 1995.
- [3] S. Dan Pata, M. Poienar, M. Cenusa, and D. L. Milici, “Controlling the speed of asynchronous motor with a tiny module controller,” in *2017 International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, 2017, pp. 1–5.
- [4] E. W. Alvarado Pérez, R. I. Proaño Andrade, and C. X. Vera Suárez, “Diseño e implementación de un banco de pruebas para control industrial programable.,” no. 1, 2015.
- [5] Miguel Ángel Rodríguez Pozueta, “Tema 1. Principios Generales de las Máquinas Eléctricas Máquinas Eléctricas I,” 1st ed., España , 2016.
- [6] A.E FITZGERALD, *Teoria Y Análisis De Las Maquinas Electricas By a E Fitzgerald.Pdf*. 1975.
- [7] I. L. Kosow and J.-J. Bolet Quer, “Control de máquinas eléctricas.” 1996.
- [8] J. Corrales Martin, “Calculo Industrial De Maquinas Electricas.” p. 579, 1976.
- [9] Andrés de Vandelvira, “MOTORES ASÍNCRONOS DE INDUCCIÓN,” 1era ed., J. Garrigos, 2011.
- [10] P. Ostojic, C. Stinson, and A. Liquide, “Problemas Resueltos de Maquinarias Electricas,” pp. 1–7, 1800.
- [11] Ing. Jesus Guadalupe Castaneda Marroquin, “ESTUDIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS,” Universidad Autónoma de Nueve Leon, 2008.
- [12] Stephen J. Chapman, *Máquinas Eléctricas*, Tercera. Australia : Mc Graw Hill, 2008.

- [13] © Siemens, “Motores Trifásicos - Generalidades.” .
- [14] S. J. Chapman, *Máquinas eléctricas*, Quinta. Australia: McGraw-Hill, 2012.
- [15] Ing. Otto Washington Astudillo.MBA, “Folleto maquinarias electricas,” p. 200.
- [16] A. O. J. Andrés Felie Rincón, “DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA EL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO DE JAULA DE ARDILLA CON LA NORMA NTC 5642-2008,” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE TECNOLOGÍA PROGRAMA DE TECNOLOGÍA, 2013.
- [17] Siemens, “S7-1200 Programmable controller,” 2011. [Online]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/246/61777246/att_98021/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf. [Accessed: 02-Apr-2018].
- [18] © Siemens, “PLC S7-1200 CPU 1214C,” 2018. .
- [19] © Siemens, “Signal Board de salidas analógicas SB 1232,” *SIMATIC S7-1200*, 2018. .
- [20] © Siemens, “Communication Module CM 1241 RS422/485,” *SIMATIC S7-1200*, 2018. .
- [21] Camsco Electric, *Camsco-E-Catalog*. 1979.
- [22] ABB, “1SNC160019C0203_SNA series - Terminal blocks.” [Online]. Available: [http://www.ourdoonline.com/lpcp/1SNC160019C0203_SNA series - Terminal blocks/#p=4](http://www.ourdoonline.com/lpcp/1SNC160019C0203_SNA_series_-_Terminal_blocks/#p=4). [Accessed: 14-May-2018].
- [23] KSSTCONNECT, “Aliexpress.com: Comprar Ps301 Seguridad 4mm panel socket tipo de soldadura catiii 1kv/32a 4mm aislado hembra 4mm plátano socket de socket mail fiable proveedores en KSST Store.” [Online]. Available: https://es.aliexpress.com/store/product/PS301-Safety-4mm-panel-socket-solder-type-CATIII-1KV-32A-4mm-Insulated-Chassis-Socket/1168452_32254414283.html?ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3_10152_5711320_10151_10065_10344_10068_10342_10343_10340_10341_. [Accessed: 14-May-2018].

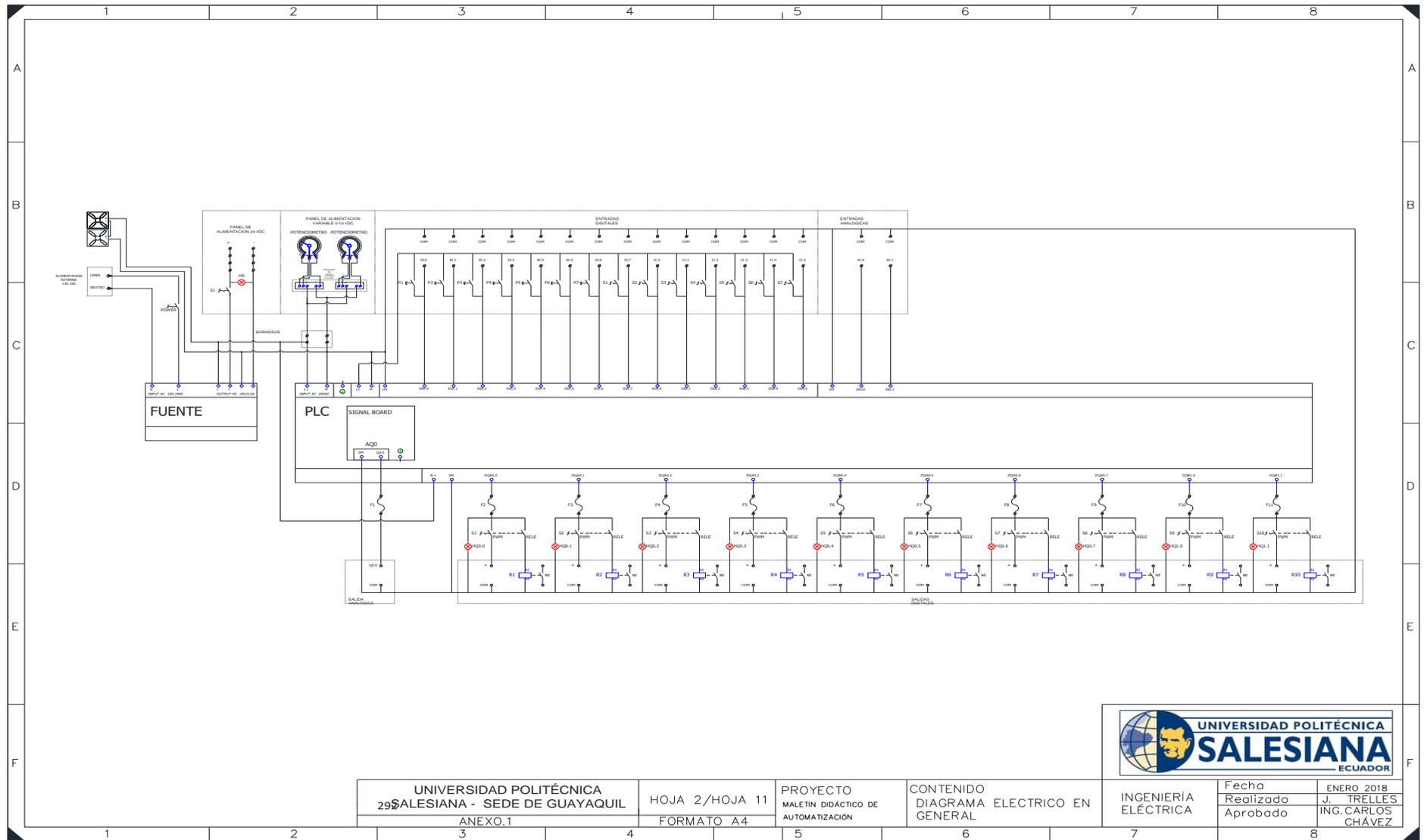
- [24] Gabriela Briceño V, “Sistemas numéricos | Qué son, para qué sirven, características, tipos.” [Online]. Available: <https://www.euston96.com/sistemas-numericos/>. [Accessed: 10-May-2018].
- [25] UNET, “CAPÍTULO I 1. SISTEMAS DE NUMERACIÓN,” p. 26.
- [26] I. B. lima MSC, “Controladores Lógicos Programables.”
- [27] © Siemens, *MANUAL PLC S7-1200*. España , 2014.
- [28] Schneider Electric, “1) ATV312 getting Started | Download Schneider Electric,” 2016. [Online]. Available: <https://www.schneider-electric.com/en/download/document/S1A10942/>. [Accessed: 30-Mar-2018].
- [29] Schneider Electric, “ATV312 Modbus Communication Manual,” *Altivar 312*, 2009. .
- [30] Schneider Electric, “Altivar . Mensaje NST,” 2016. [Online]. Available: <https://www.schneider-electric.es/es/faqs/FA235661/>. [Accessed: 31-Mar-2018].
- [31] Nikzitronik, “control 4 Schneider electric Altivar312 drives using an S7-1200 using Modbus - Entries - Forum - Industry Support - Siemens,” p. 1, 2013.
- [32] Schneider Electric, “ATV312 Communication Variables Manual,” *Altivar 312*, 2009. .
- [33] S. Siemens, “SIMATIC, Manual de sistema, STEP 7 Basic v13 SP1,” p. 5954, 2014.
- [34] S. Wincc and W. Professional, “WinCC WinCC Professional V13 SP2 – Programming reference,” pp. 1–2270, 2017.
- [35] © Siemens, “Proyectos y Programas,” 2014.
- [36] J. Hurtado, “Comunicación entre dos CPU ´ s S7-1200 en red Profinet vía TCP,” p. 16.

- [37] S. Industry Online Support, “SINAMICS V: Speed Control of a V20 with S7-1200 (TIA Portal) via MODBUS RTU, with HMI SINAMICS V20, SIMATIC S7-1200 Warranty and liability,” vol. 20, p. 34, 2014.
- [38] Quora, “Aumento de velocidad y corriente de un motor de inducción,” 2016. .

ANEXOS

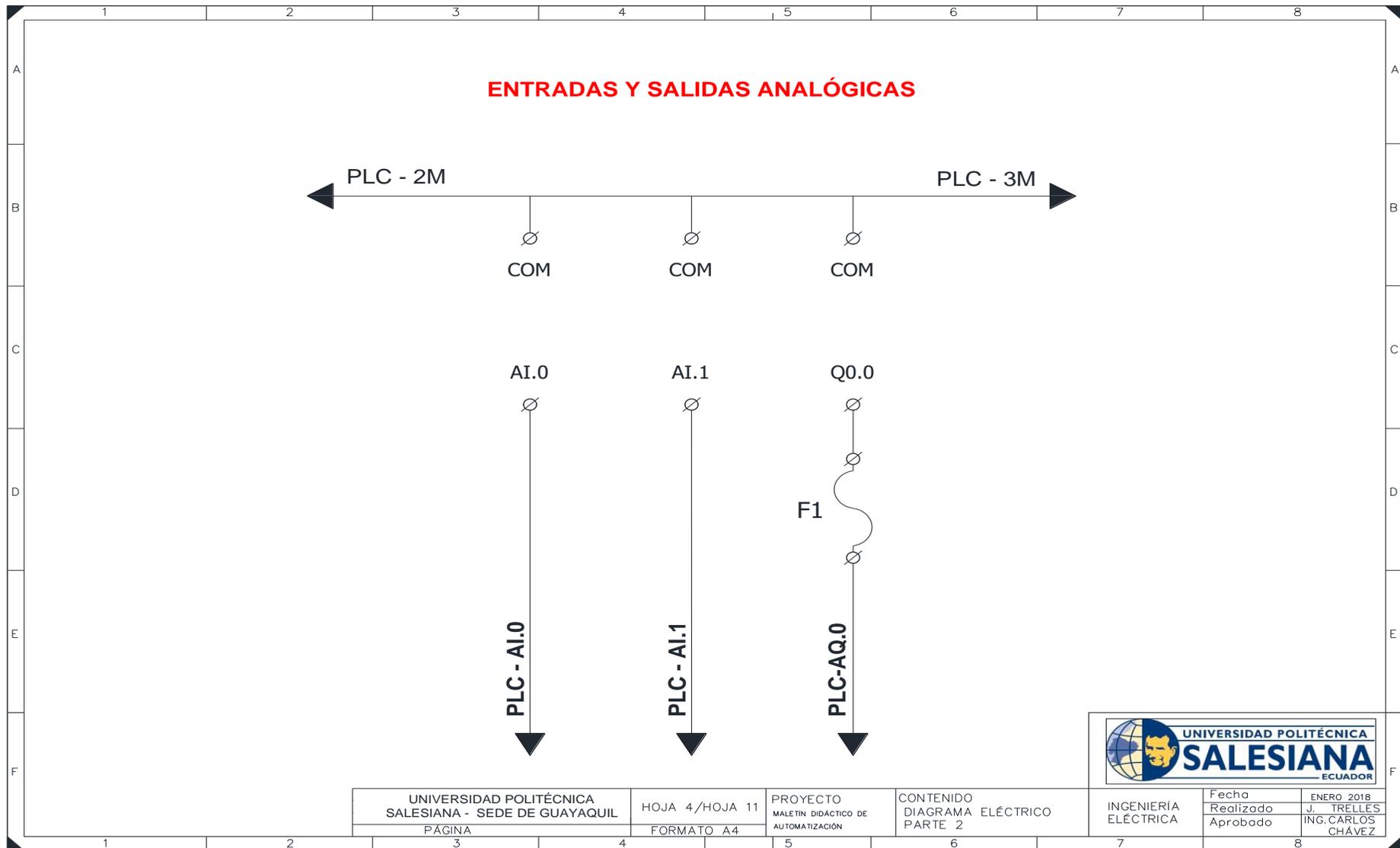
<h1>SIMBOLOGÍA</h1>							
	FUSIBLE		TRANSISTOR				
	SELECTOR		DIODO RECTIFICADOR				
	PULSADOR		RESISTENCIA				
	BORNERAS		TARJETA REGULADORA DE VOLTAJE				
	LUZ PILOTO		CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)				
	RELÉ		FUENTE DE VOLTAJE DE 24 VDC				
	POTENCIOMETRO		TARJETA PORTAFUSIBLE				
	VENTILADOR		TOPE PLÁSTICO				
	BORNAS TIPO HEMBRA		VOLTÍMETRO				

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL	HOJA 1/HOJA 11	PROYECTO MALETIN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO SIMBOLOGÍA DE ELEMENTOS DEL MALETIN	INGENIERÍA ELÉCTRICA	Fecha Realizado Aprobado	ENERO 2018 J. TRELLES ING. CARLOS CHÁVEZ
PÁGINA	FORMATO A4					

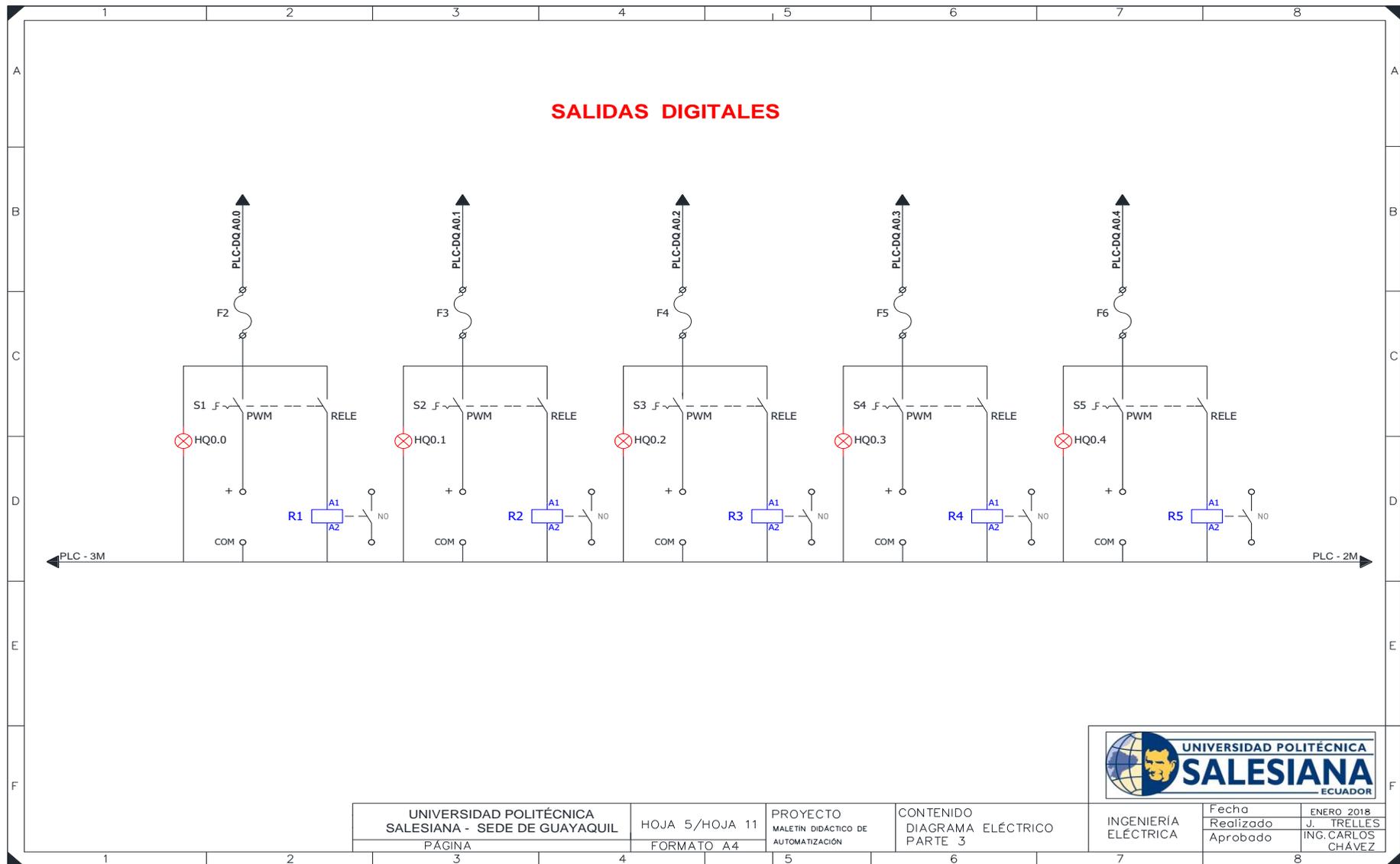


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL ANEXO.1	HOJA 2/HOJA 11 FORMATO A4	PROYECTO MALETÍN DIDACTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO DIAGRAMA ELECTRICO EN GENERAL	INGENIERÍA ELÉCTRICA	Fecha	ENERO 2018
					Realizado	J. TRELLES
					Aprobado	ING. CARLOS CHÁVEZ

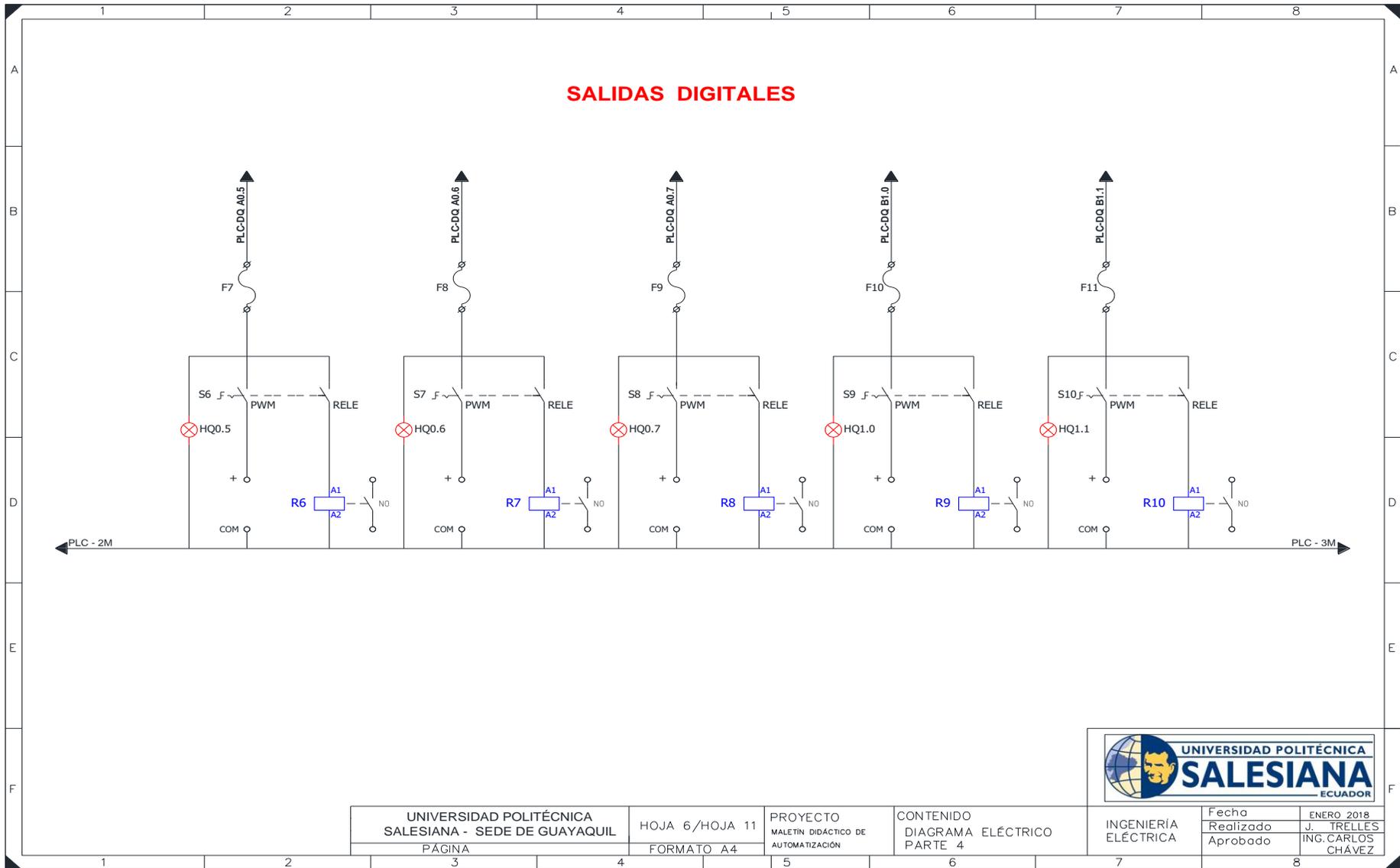
ANEXO 2: DIAGRAMA UNIFILAR DEL MALETÍN DIDACTICO [AUTORES]



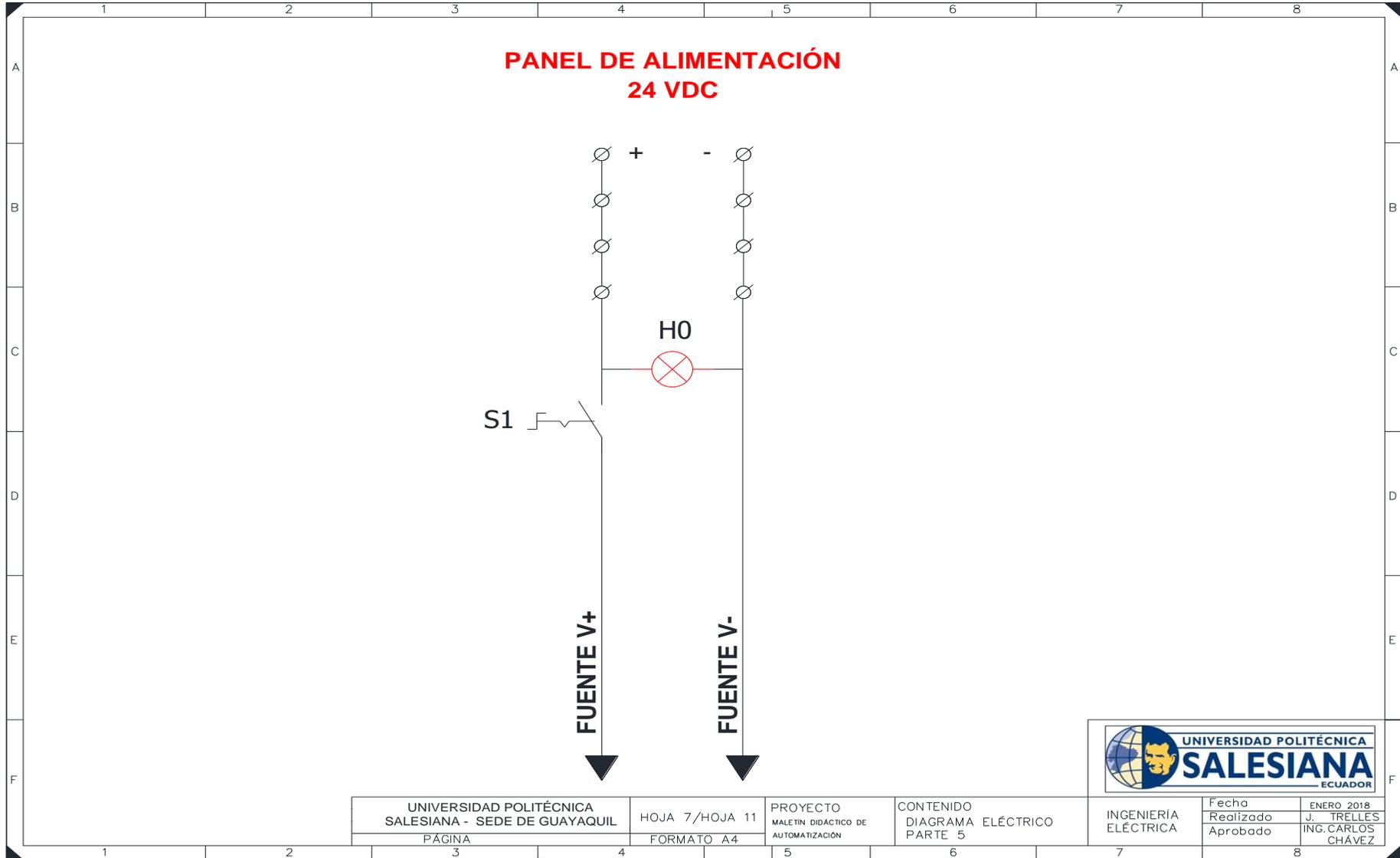
ANEXO 4: DIAGRAMA ELÉCTRICO – SEGUNDO SEGMENTO [AUTORES]



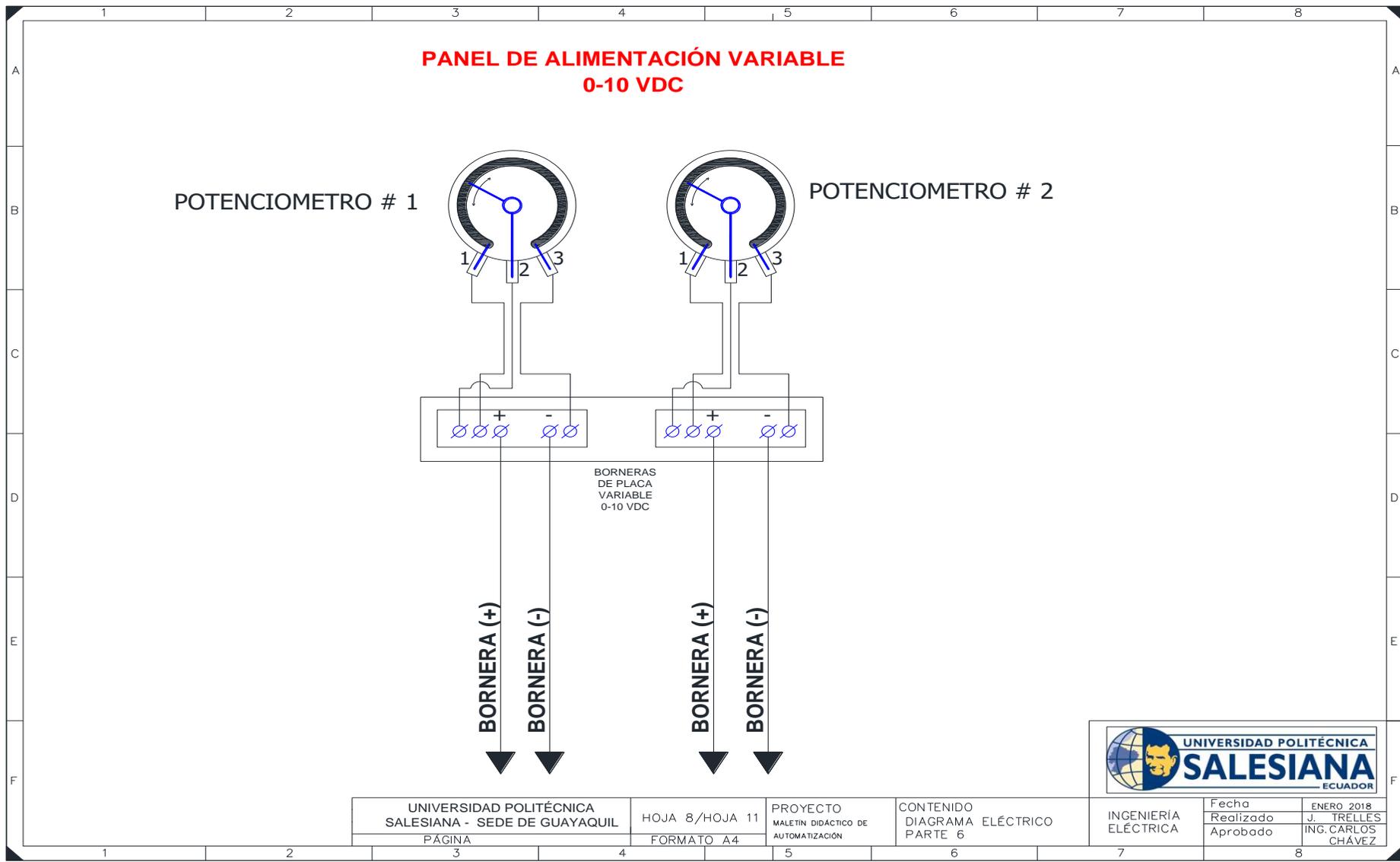
ANEXO 5: DIAGRAMA ELÉCTRICO – TERCER SEGMENTO [AUTORES]



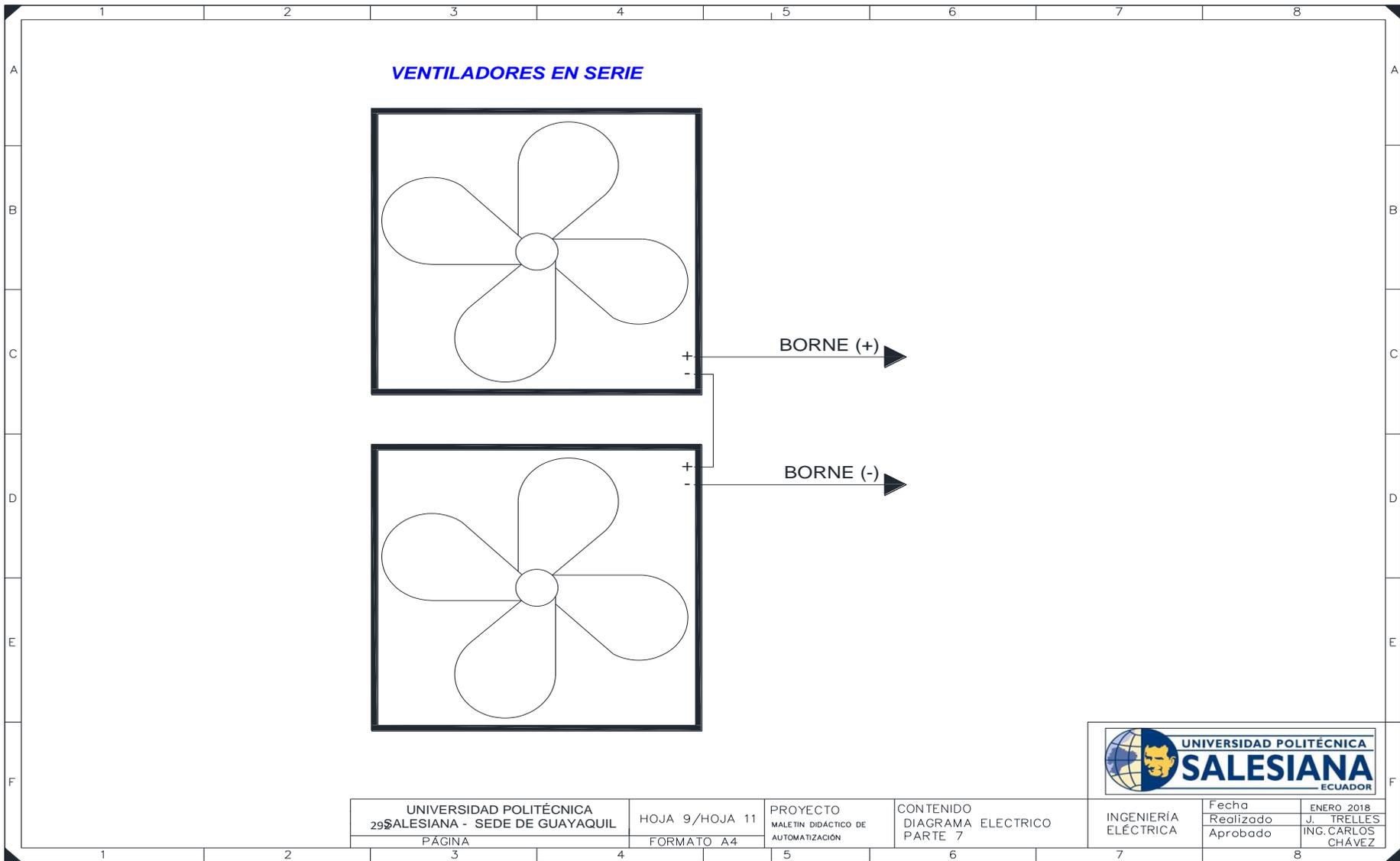
ANEXO 6: DIAGRAMA ELÉCTRICO – CUARTO SEGMENTO [AUTORES]



ANEXO 7: DIAGRAMA ELÉCTRICO – QUINTO SEGMENTO [AUTORES]

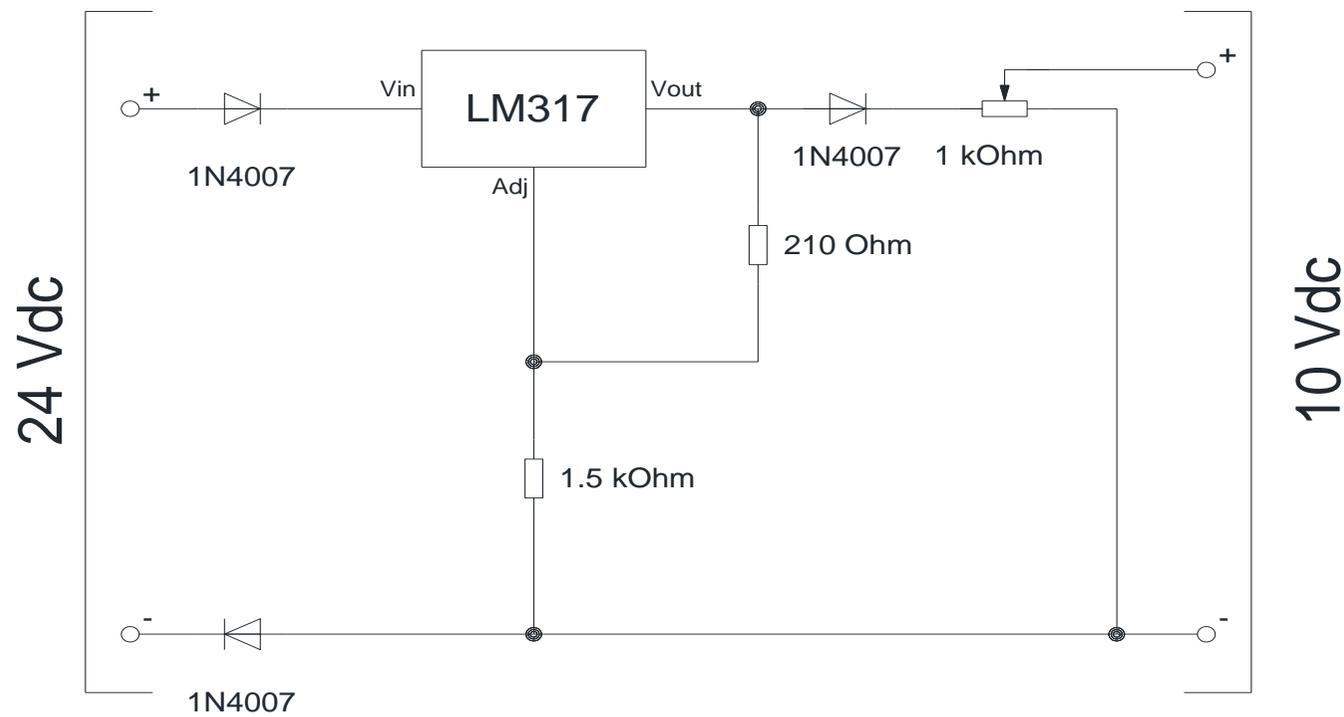


ANEXO 8: DIAGRAMA ELÉCTRICO – SEXTO SEGMENTO [AUTORES]



ANEXO 9: DIAGRAMA ELÉCTRICO – SÉPTIMO SEGMENTO [AUTORES]

DIAGRAMA DE TARJETA REGULADORA DE VOLTAJE



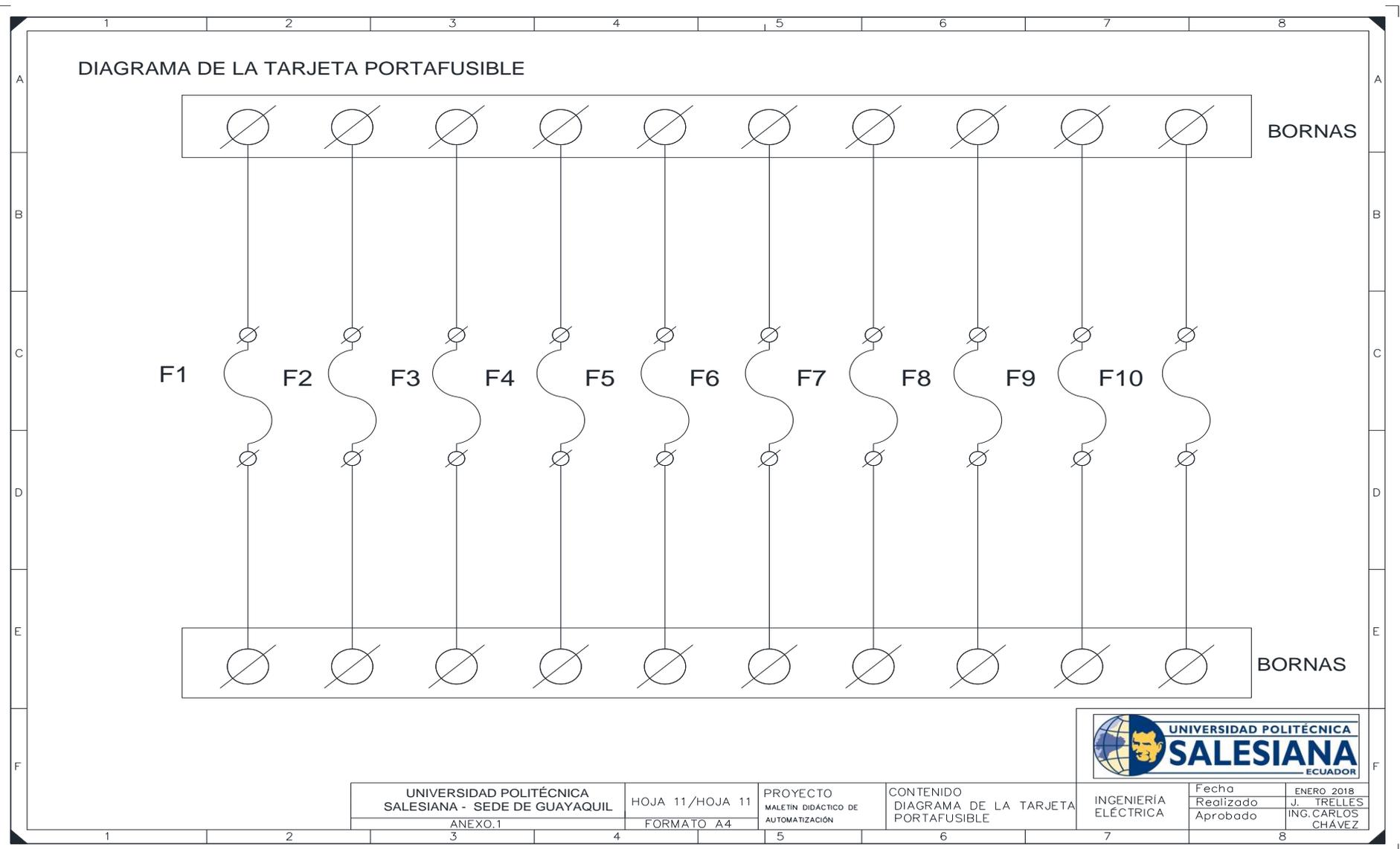


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ECUADOR

INGENIERÍA ELÉCTRICA	Fecha	ENERO 2018
	Realizado	J. TRELLES
	Aprobado	ING. CARLOS CHÁVEZ

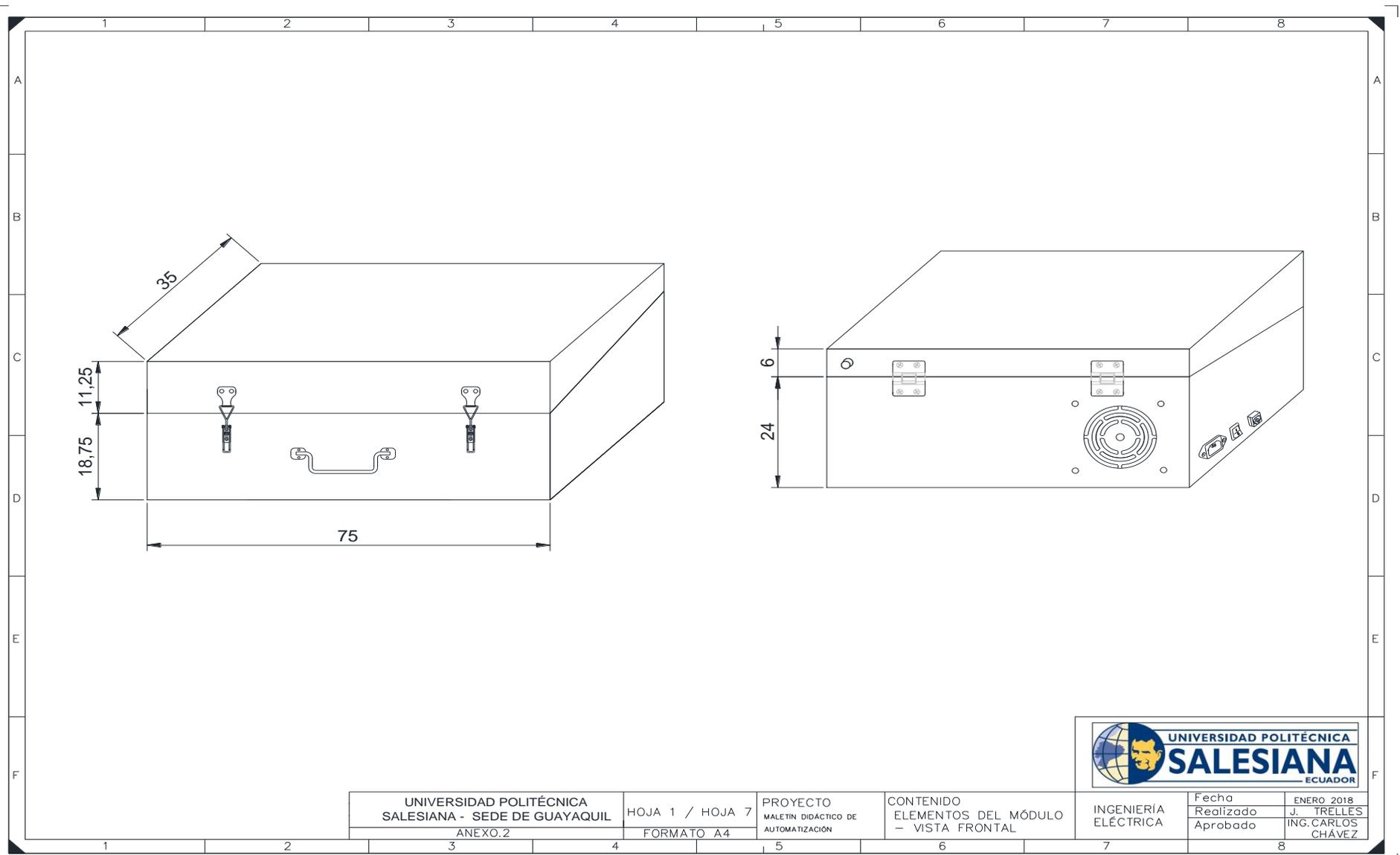
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL	HOJA 10/HOJA 11	PROYECTO MALETIN DIDACTICO DE AUTOMATIZACION	CONTENIDO DIAGRAMA ELÉCTRICO PARTE 8
ANEXO.1	FORMATO A4		

ANEXO 10: DIAGRAMA ELÉCTRICO DE TARJETA REGULADORA DE VOLTAJE [AUTORES]



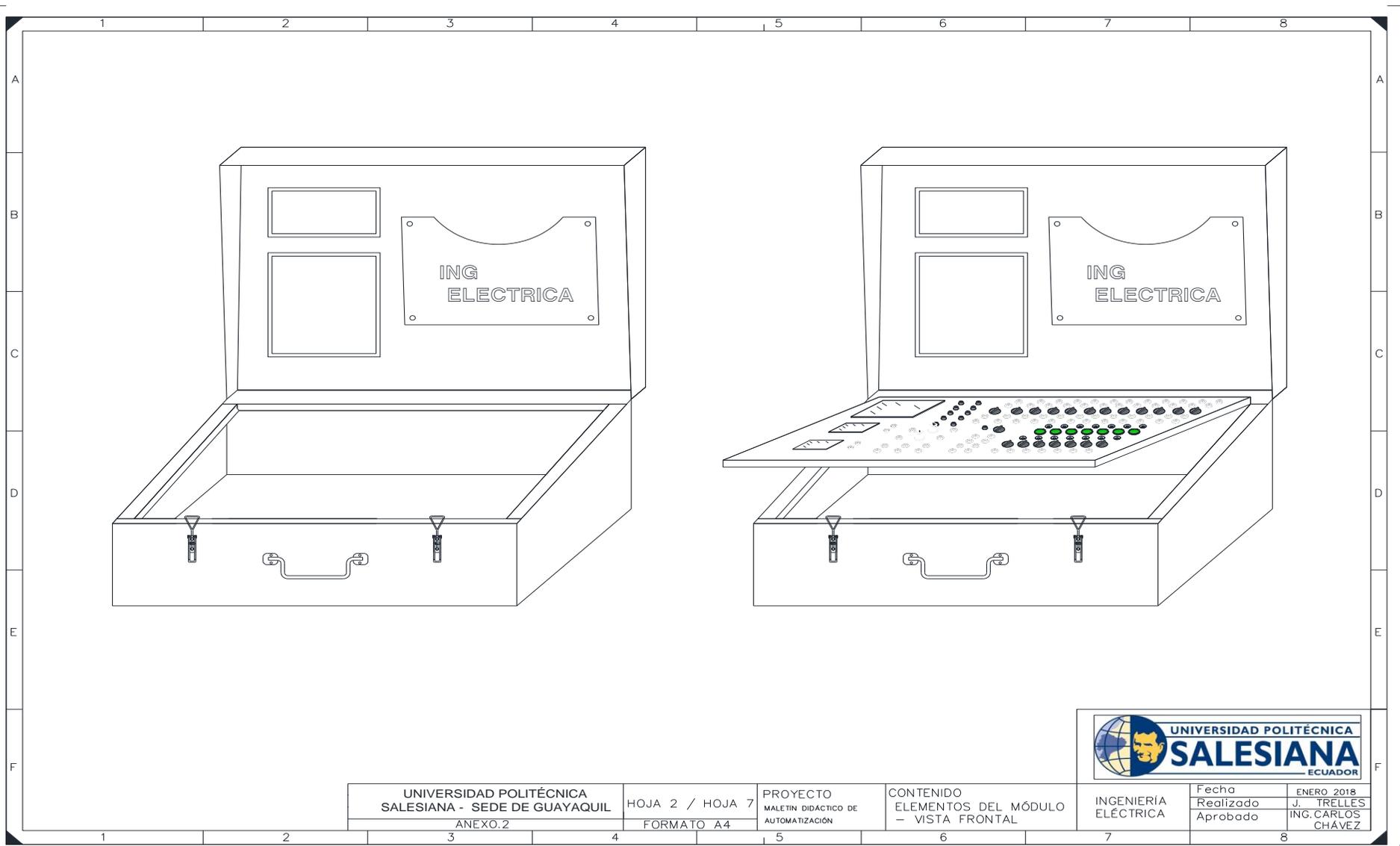
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL	HOJA 11/HOJA 11	PROYECTO MALETIN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO DIAGRAMA DE LA TARJETA PORTAFUSIBLE	INGENIERÍA ELÉCTRICA	Fecha	ENERO 2018
	ANEXO.1				FORMATO A4	Realizado
					Aprobado	ING. CARLOS CHÁVEZ

ANEXO 11: DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA TARJETA PORTAFUSIBLE [AUTORES]



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL ANEXO.2	HOJA 1 / HOJA 7 FORMATO A4	PROYECTO MALETÍN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO ELEMENTOS DEL MÓDULO - VISTA FRONTAL	INGENIERÍA ELÉCTRICA	Fecha	ENERO 2018
					Realizado	J. TRELLES
					Aprobado	ING. CARLOS CHÁVEZ

ANEXO 12: DIMENSIONES DEL MALETÍN DIDÁCTICO [AUTORES]

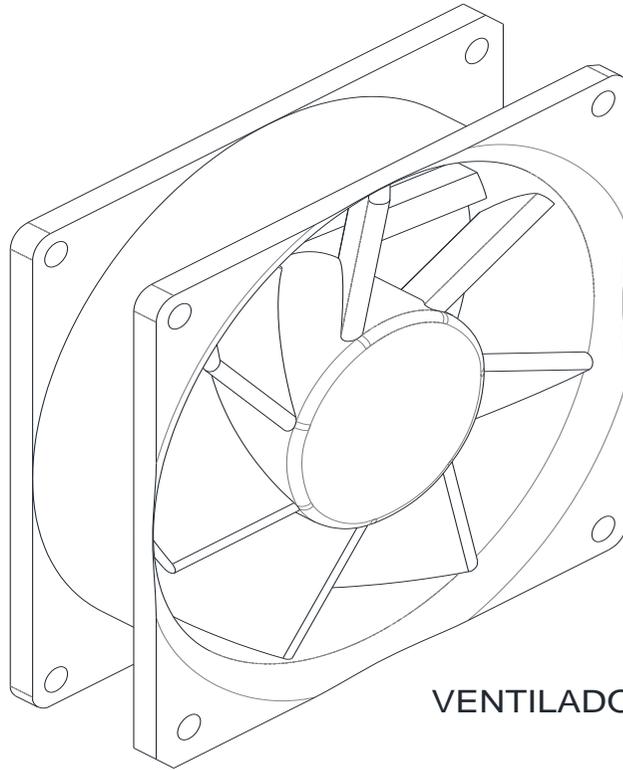


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL	HOJA 2 / HOJA 7
ANEXO.2	FORMATO A4

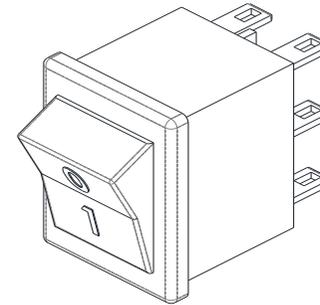
PROYECTO MALETIN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO ELEMENTOS DEL MÓDULO - VISTA FRONTAL
--	--

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	Fecha	ENERO 2018
	Realizado	J. TRELLES
	Aprobado	ING. CARLOS CHÁVEZ

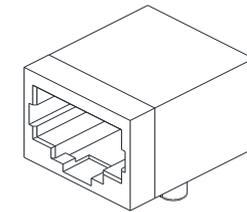
ANEXO 13: VISTA 3D DEL MALETÍN DIDÁCTICO [AUTORES]



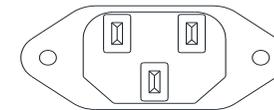
VENTILADOR



INTERRUPTOR DOS POSICIONES



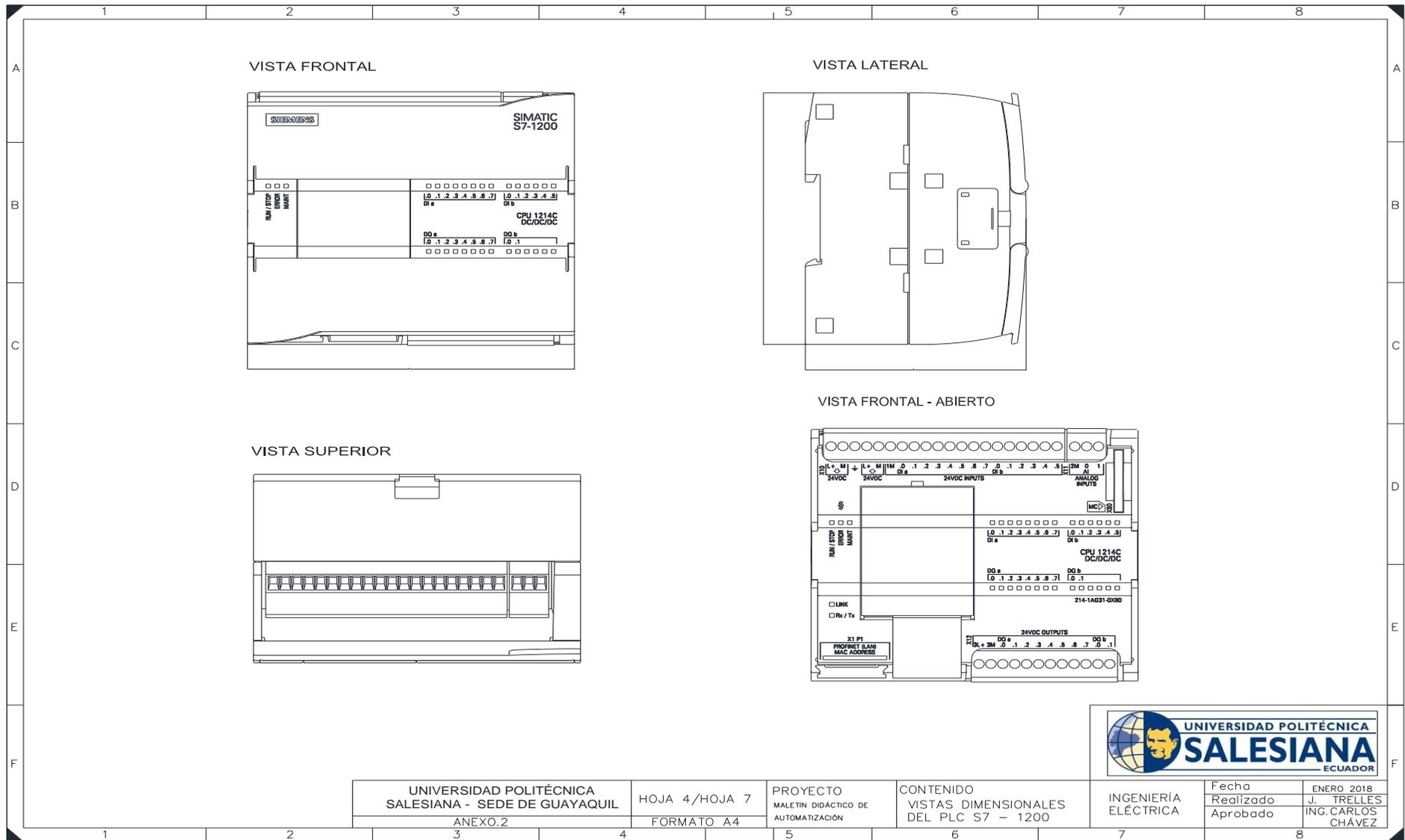
CONECTOR HEMBRA RJ45



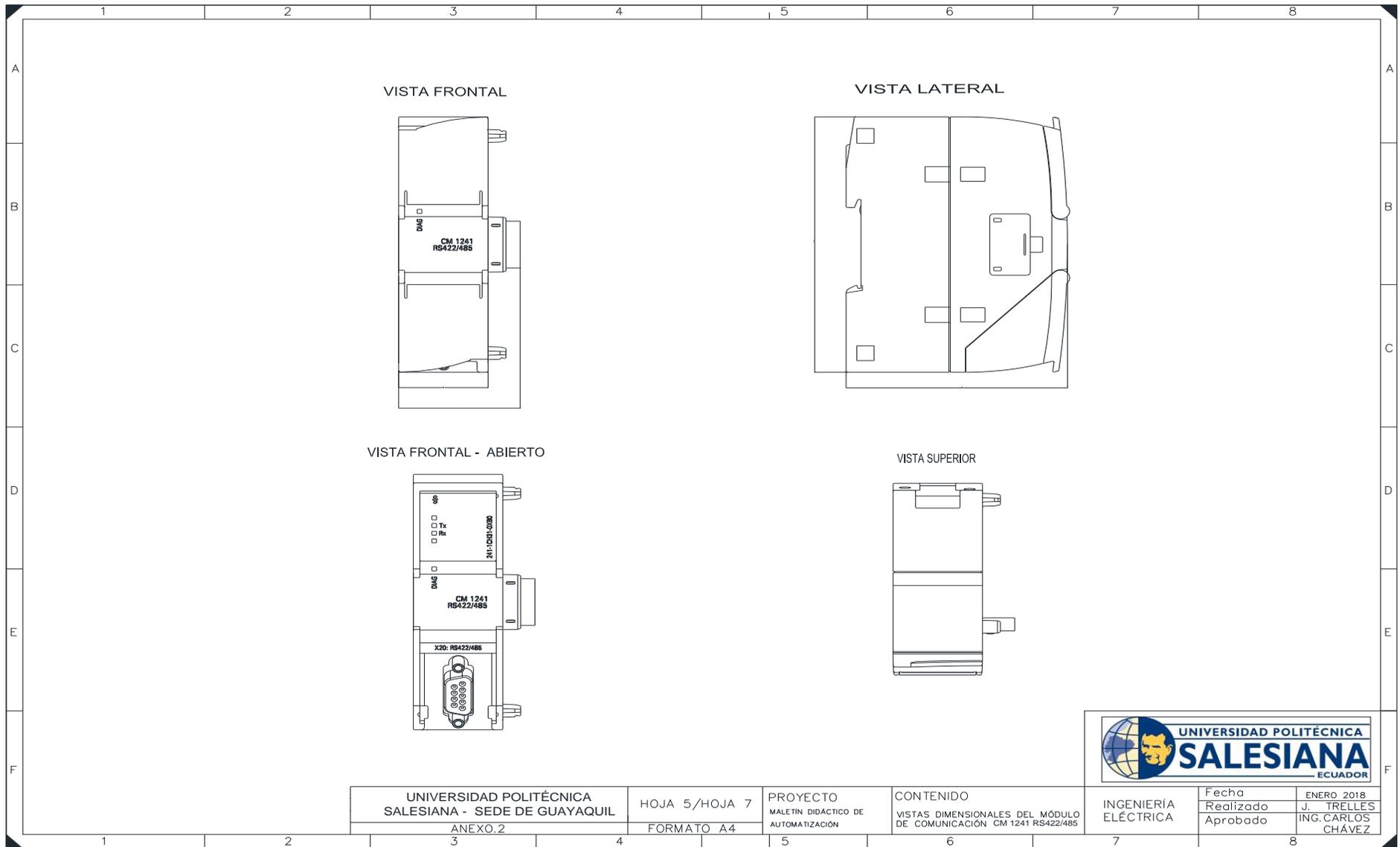
ENCHUFE MACHO PARA ALIMENTACIÓN 110 V



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL	HOJA 3/HOJA 7 FORMATO A4	PROYECTO MALETIN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO ELEMENTOS EXTERIORES DEL MALETIN DIDÁCTICO	INGENIERÍA ELÉCTRICA	Fecha	ENERO 2018
					Realizado	J. TRELLES
ANEXO.2					Aprobado	ING. CARLOS CHÁVEZ



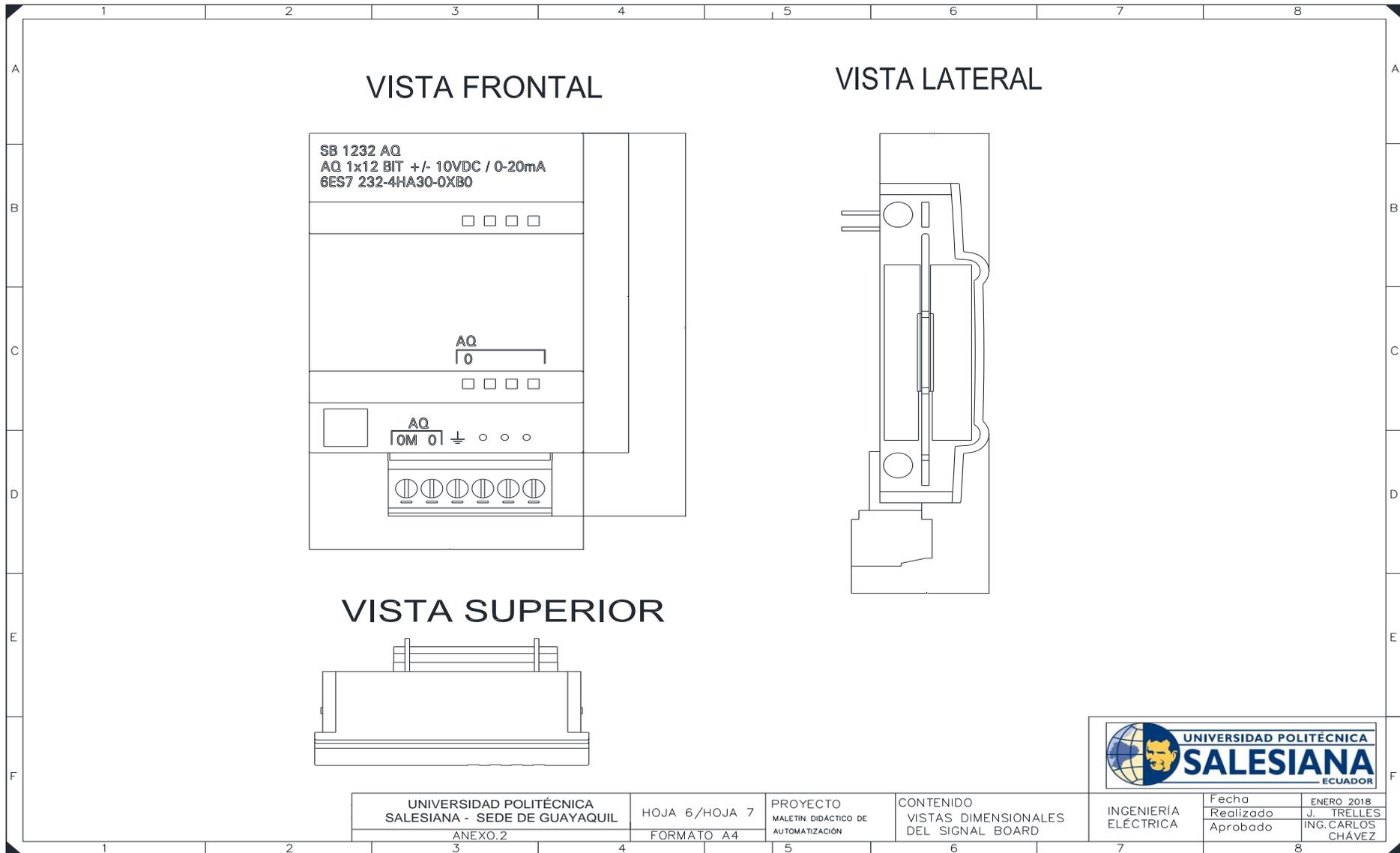
ANEXO 15: VISTA DIMENSIONALES DEL PLC S7 – 1200 [27]



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL	HOJA 5/HOJA 7 FORMATO A4	PROYECTO MALETIN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO VISTAS DIMENSIONALES DEL MÓDULO DE COMUNICACIÓN CM 1241 RS422/485	INGENIERIA ELÉCTRICA	Fecha	ENERO 2018
					Realizado	J. TRELLES
					Aprobado	ING. CARLOS CHÁVEZ



ANEXO 16: VISTA DIMENSIONALES DEL CM 1241 RS422/485 [20]



VISTA FRONTAL

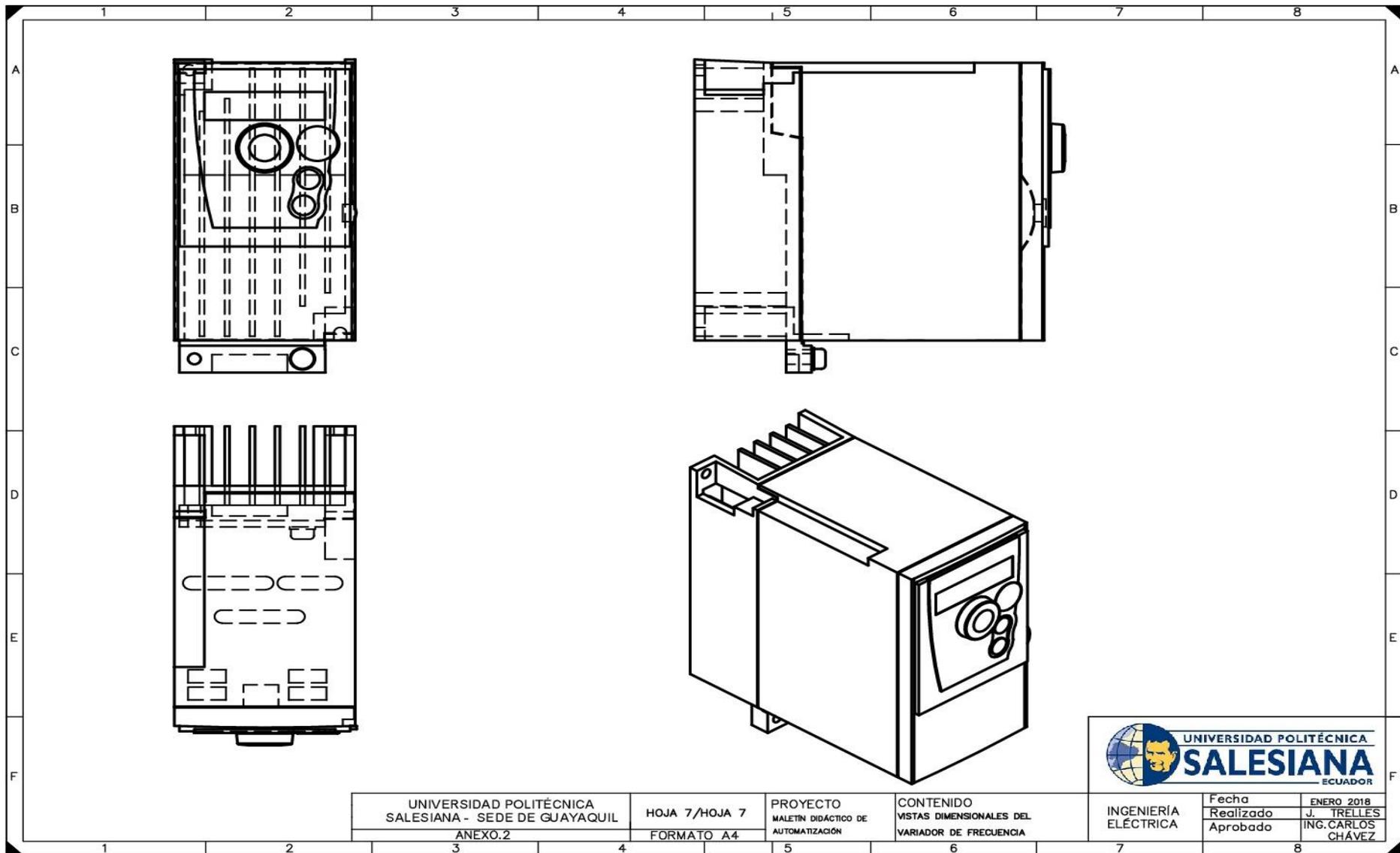
VISTA LATERAL

VISTA SUPERIOR

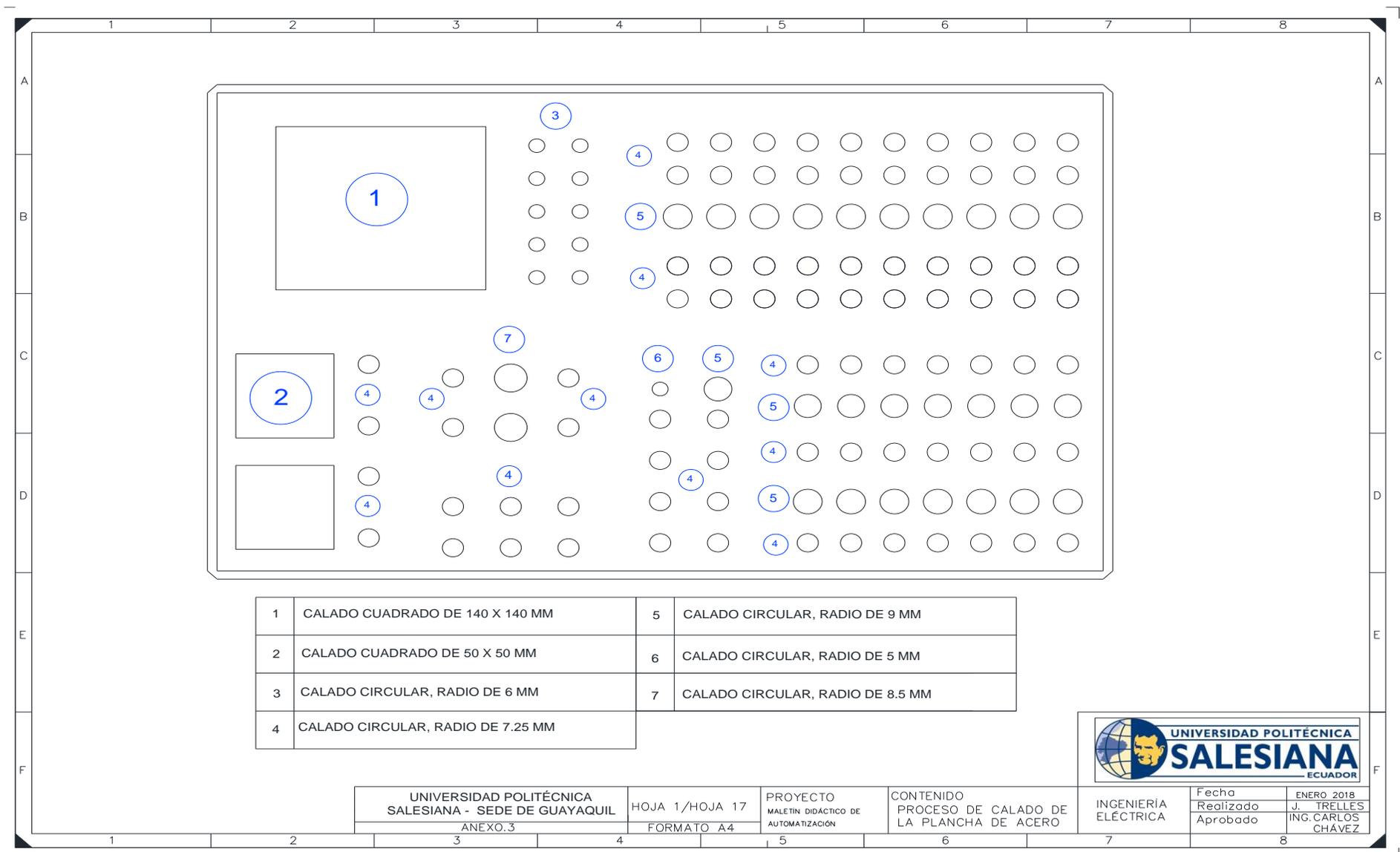
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	Fecha	ENERO 2018
	Realizado	J. TRELLES
	Aprobado	ING. CARLOS CHÁVEZ

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL	HOJA 6/HOJA 7	PROYECTO MALETIN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO VISTAS DIMENSIONALES DEL SIGNAL BOARD	INGENIERÍA ELÉCTRICA
ANEXO.2	FORMATO A4			

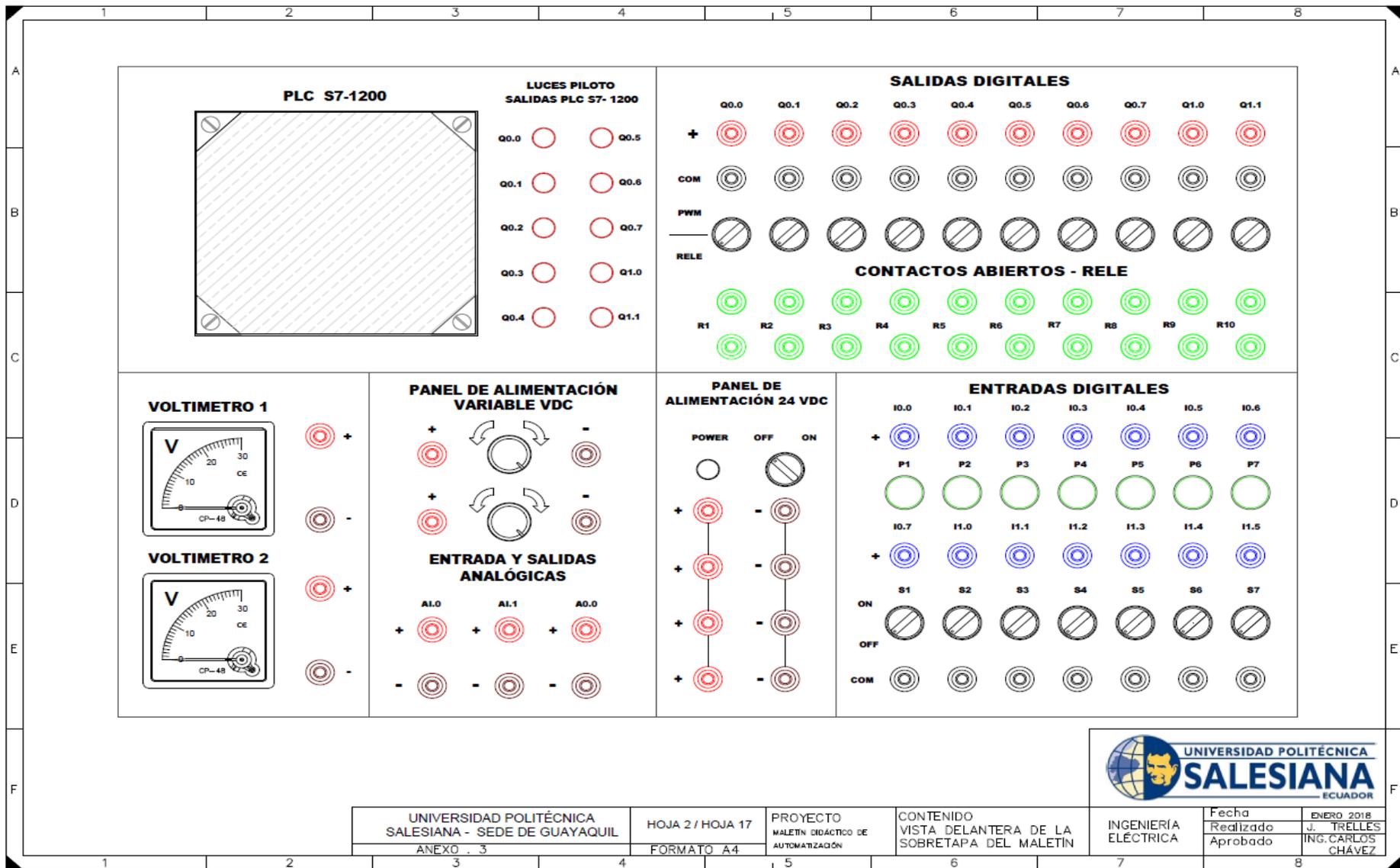
ANEXO 17: VISTA DIMENSIONAL DEL SIGNAL BOARD [19]



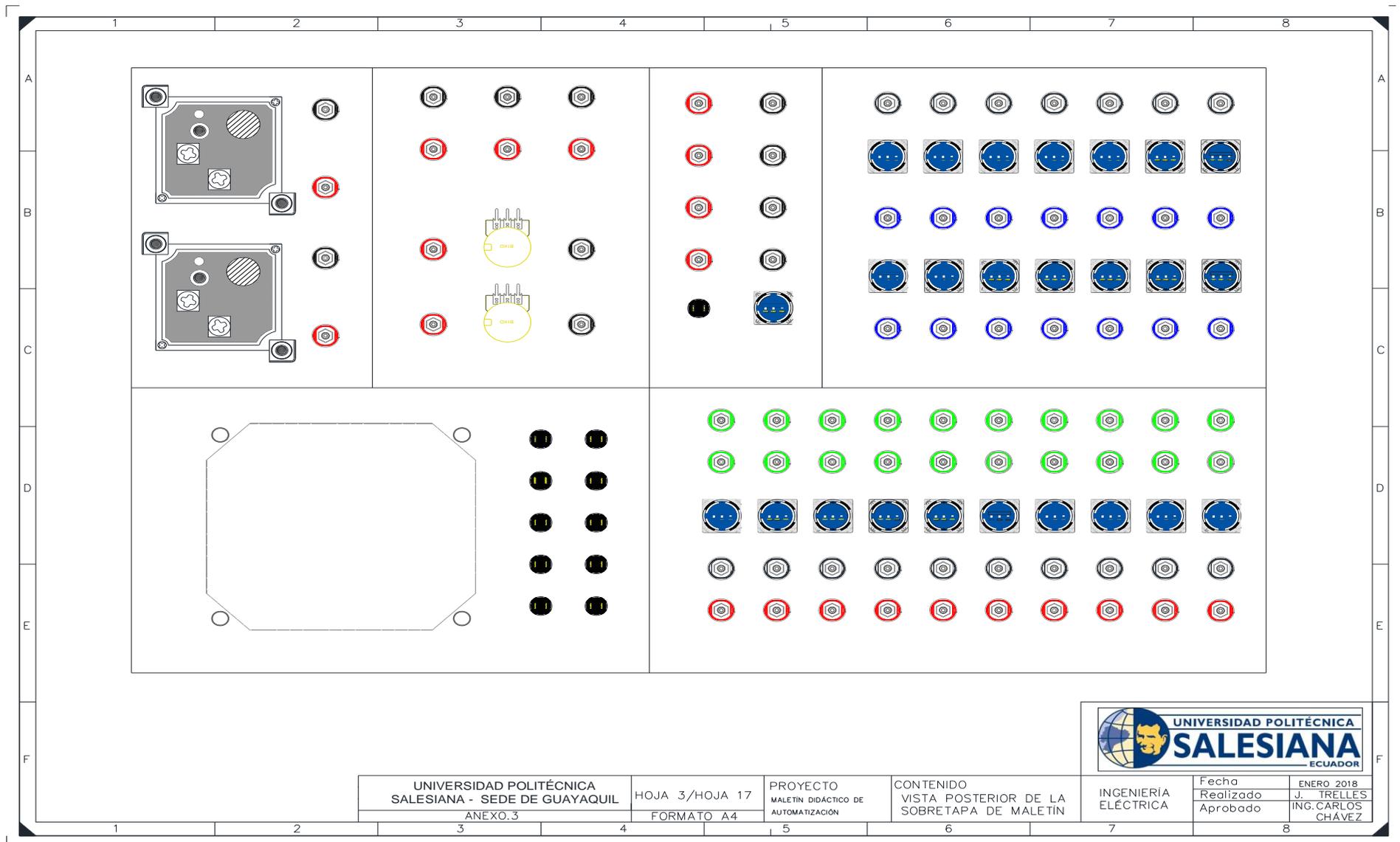
ANEXO 18: VISTA DIMENSIONALES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA [28]



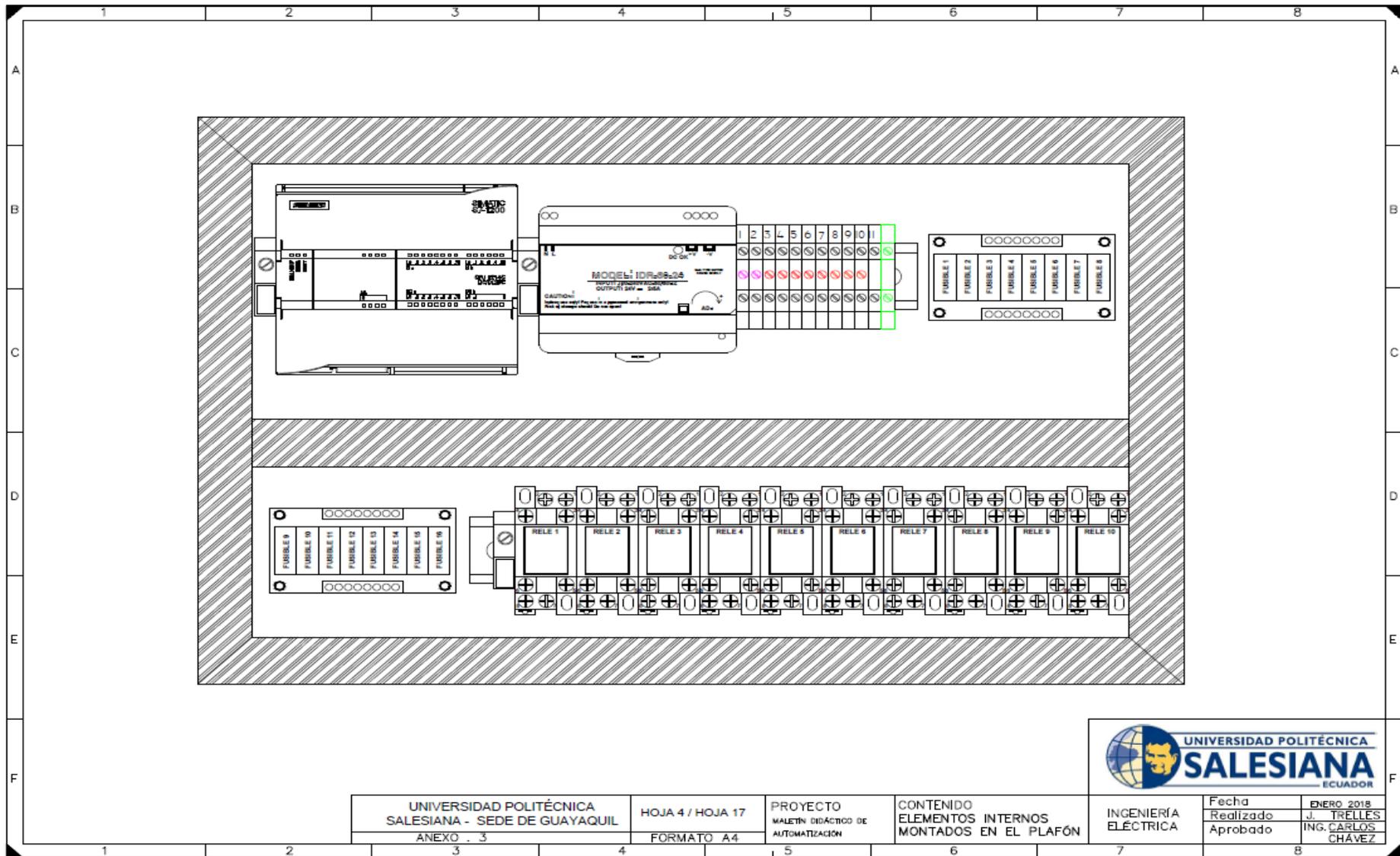
ANEXO 19: PROCESO DE CALADO DE LA PLANCHA DE ACERO [AUTORES]



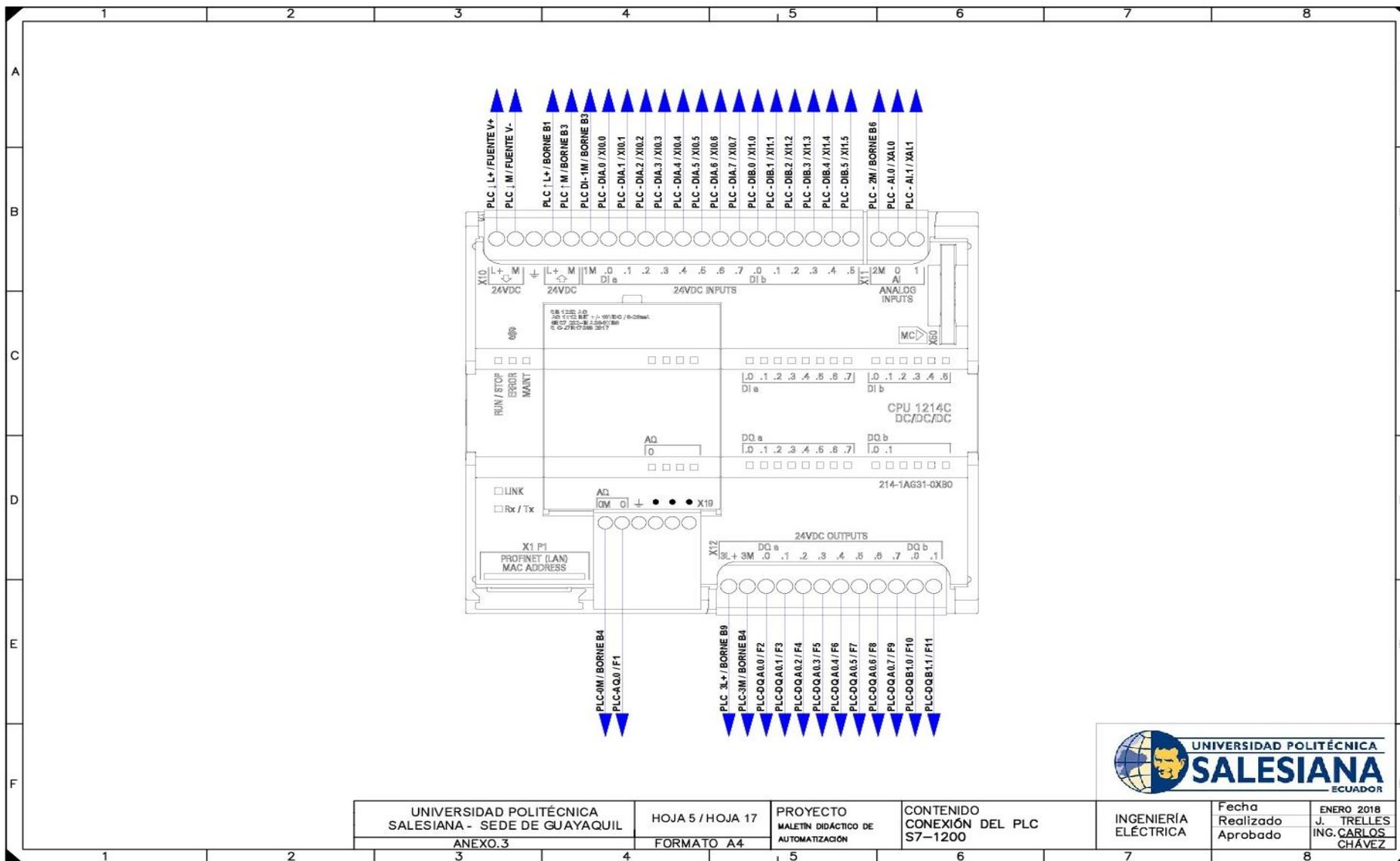
ANEXO 20: VISTA DELANTERA DE SOBRETAPA DEL MALETÍN DIDÁCTICO [AUTORES]



ANEXO 21: VISTA TRASERA DE LA SOBRETAPA DEL MALETÍN DIDÁCTICO [AUTORES]

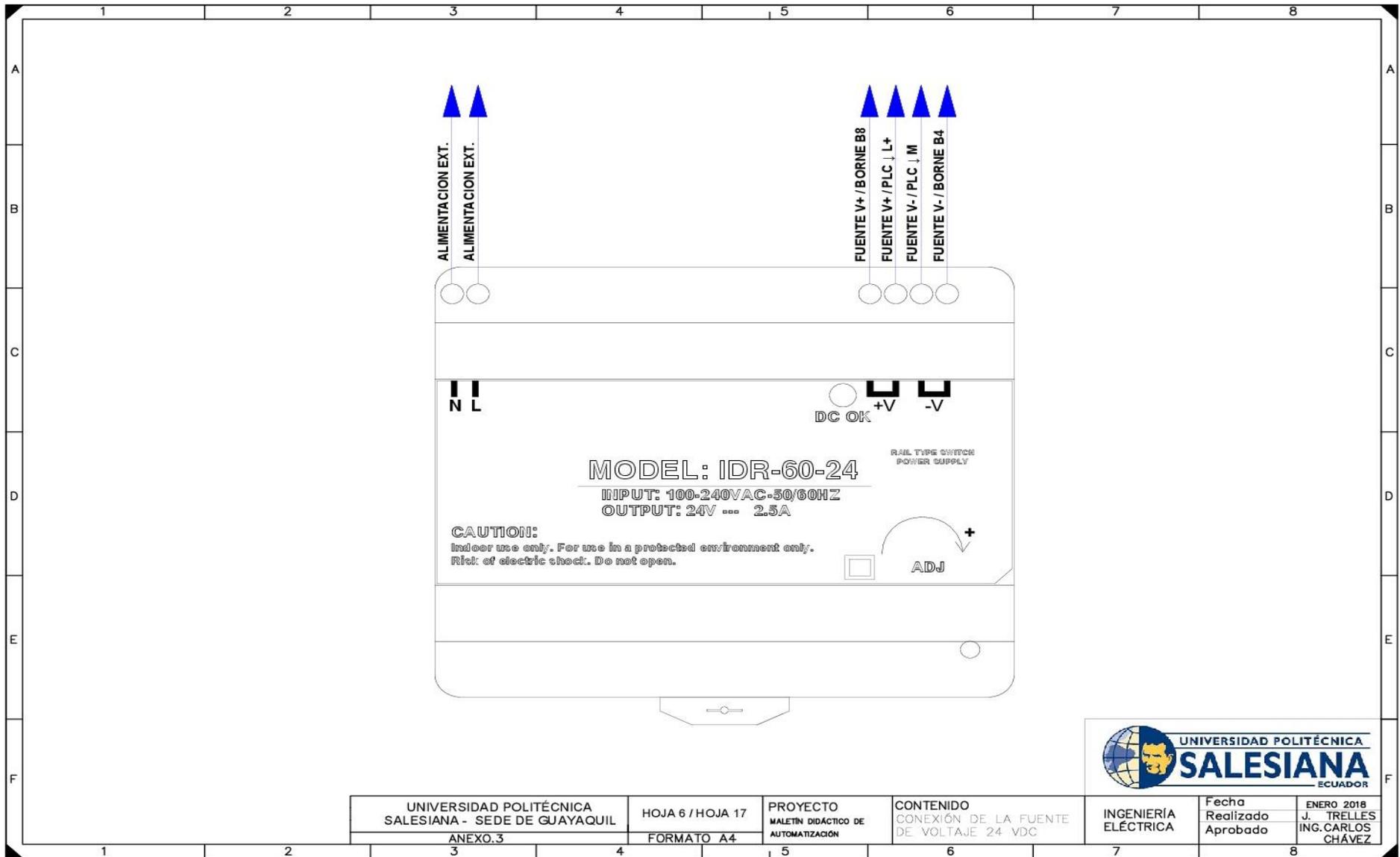


ANEXO 22: DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS INTERNOS [AUTORES]

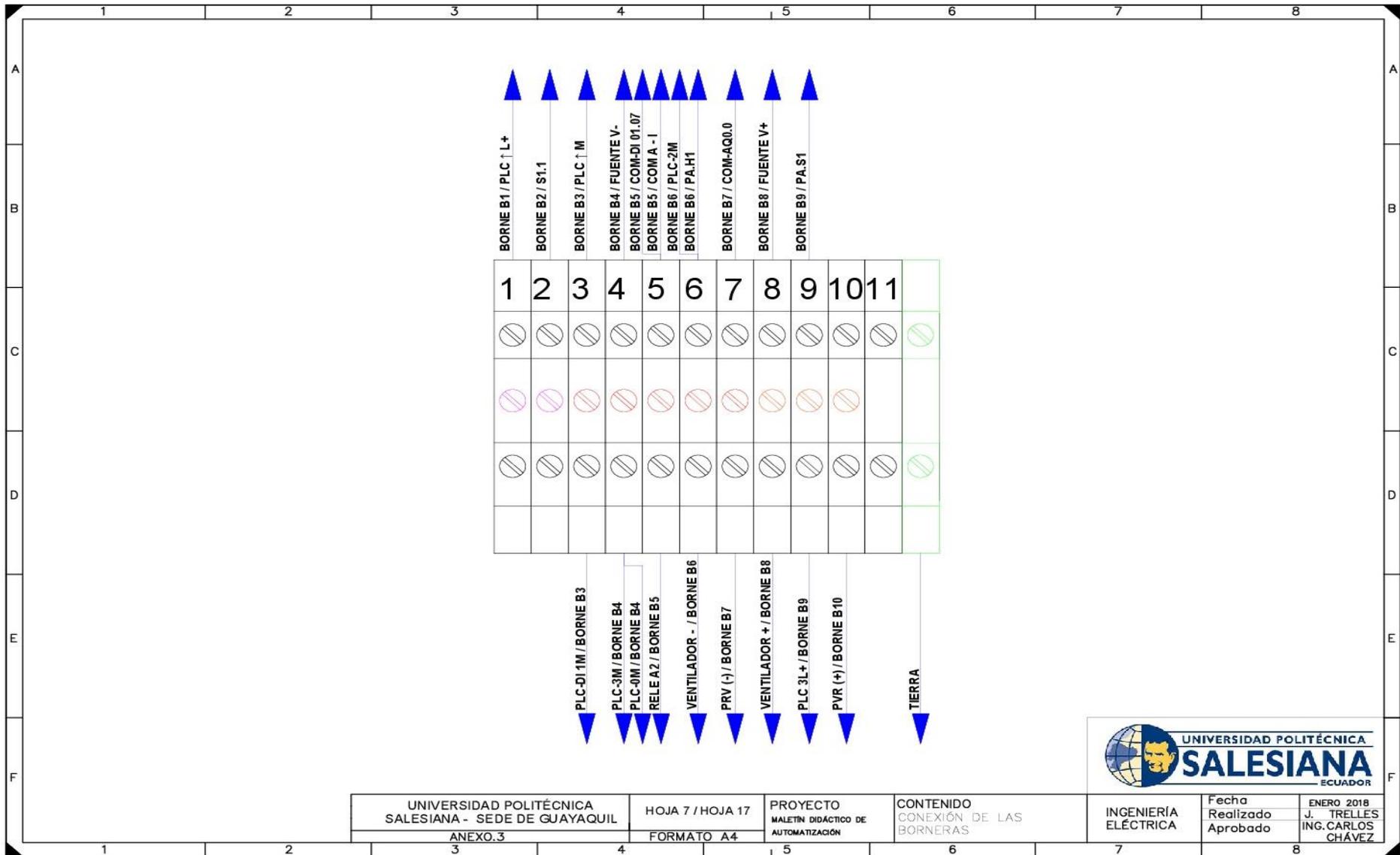


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL	HOJA 5 / HOJA 17	PROYECTO MALETÍN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO CONEXIÓN DEL PLC S7-1200	INGENIERÍA ELÉCTRICA	Fecha Realizado Aprobado	ENERO 2018 J. TRELLES ING. CARLOS CHÁVEZ
ANEXO.3	FORMATO A4					

ANEXO 23: CONEXIONES DEL PLC S7-1200 [27]

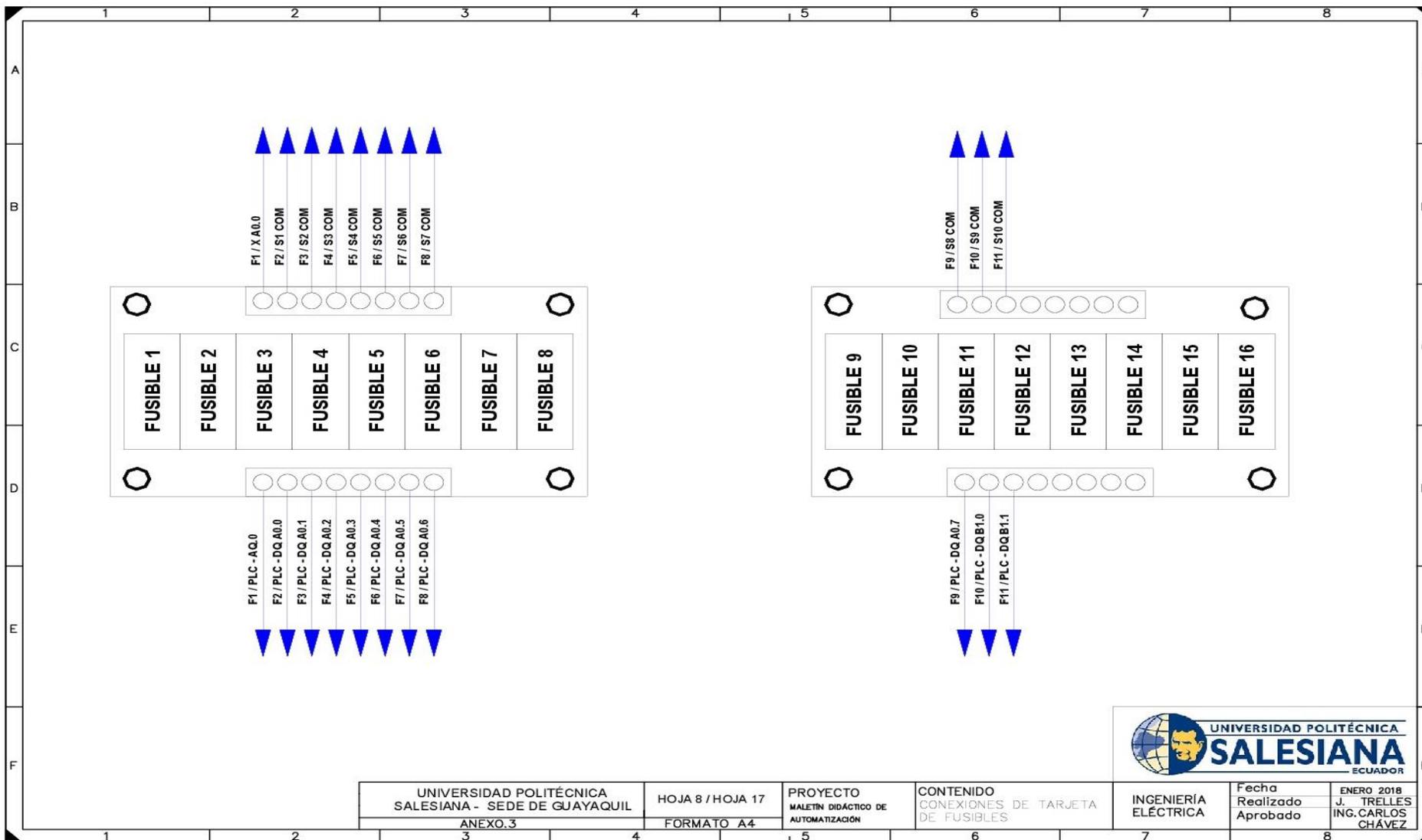


ANEXO 24: CONEXIONES DE LA FUENTE DE VOLTAJE DE 24 VDC

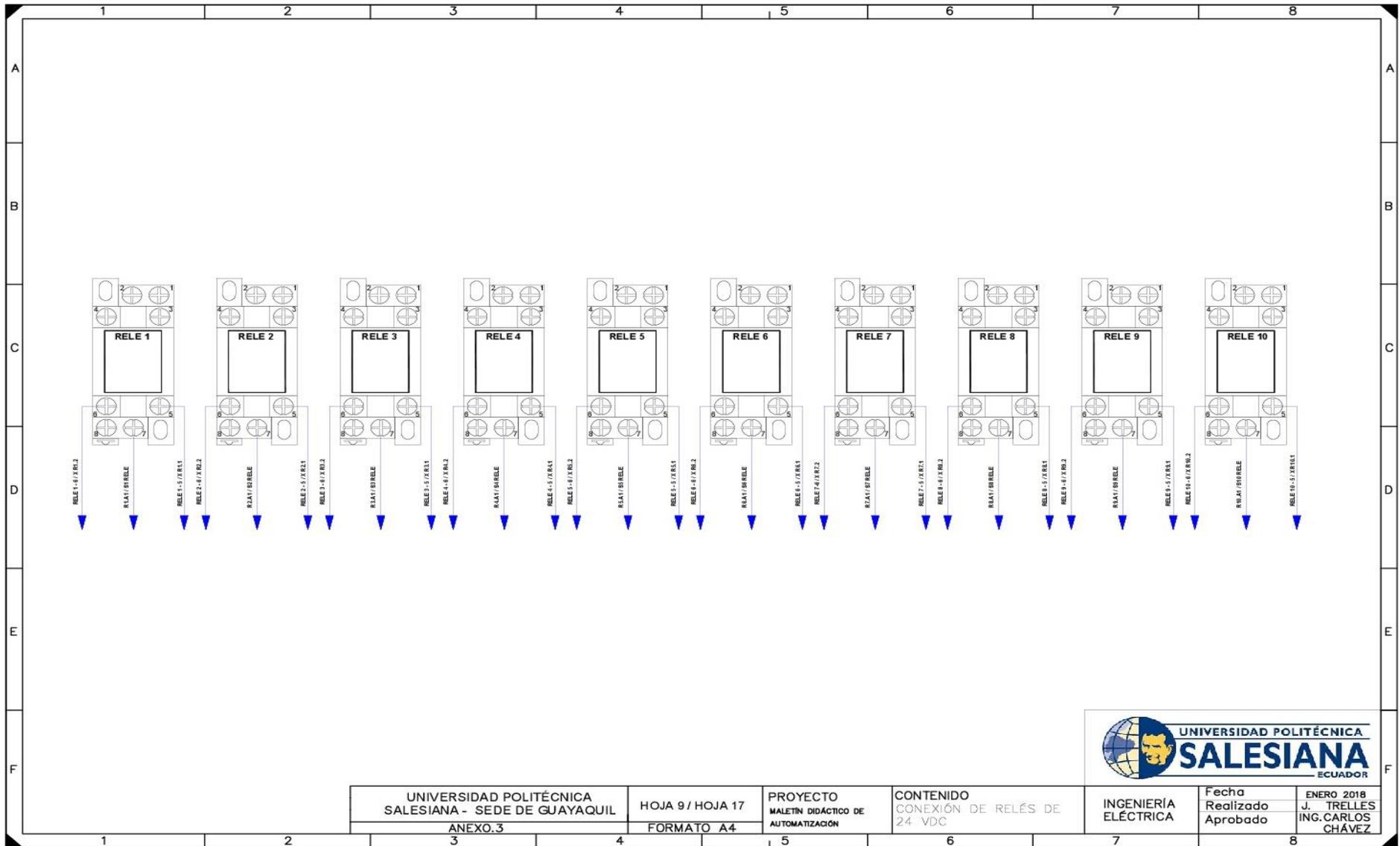


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL	HOJA 7 / HOJA 17	PROYECTO	CONTENIDO	INGENIERÍA ELÉCTRICA	Fecha	ENERO 2018
	ANEXO.3	MALETÍN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONEXIÓN DE LAS BORNERAS		Realizado Aprobado	J. TRELLES ING. CARLOS CHÁVEZ

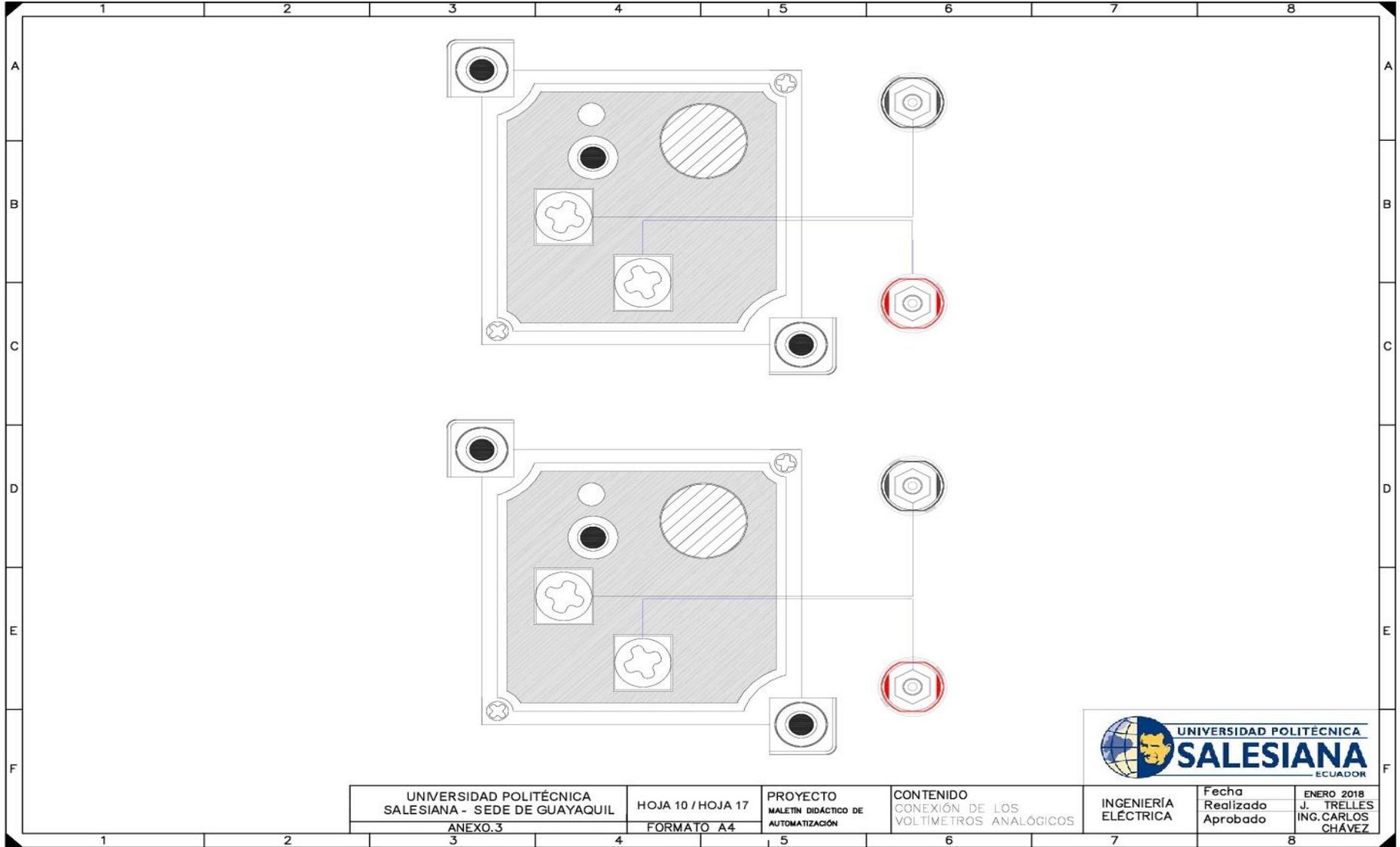
ANEXO 25: CONEXIONES DE LAS BORNERAS [21]



ANEXO 26: CONEXIONES DE LAS TARJETAS PORTAFUSIBLES

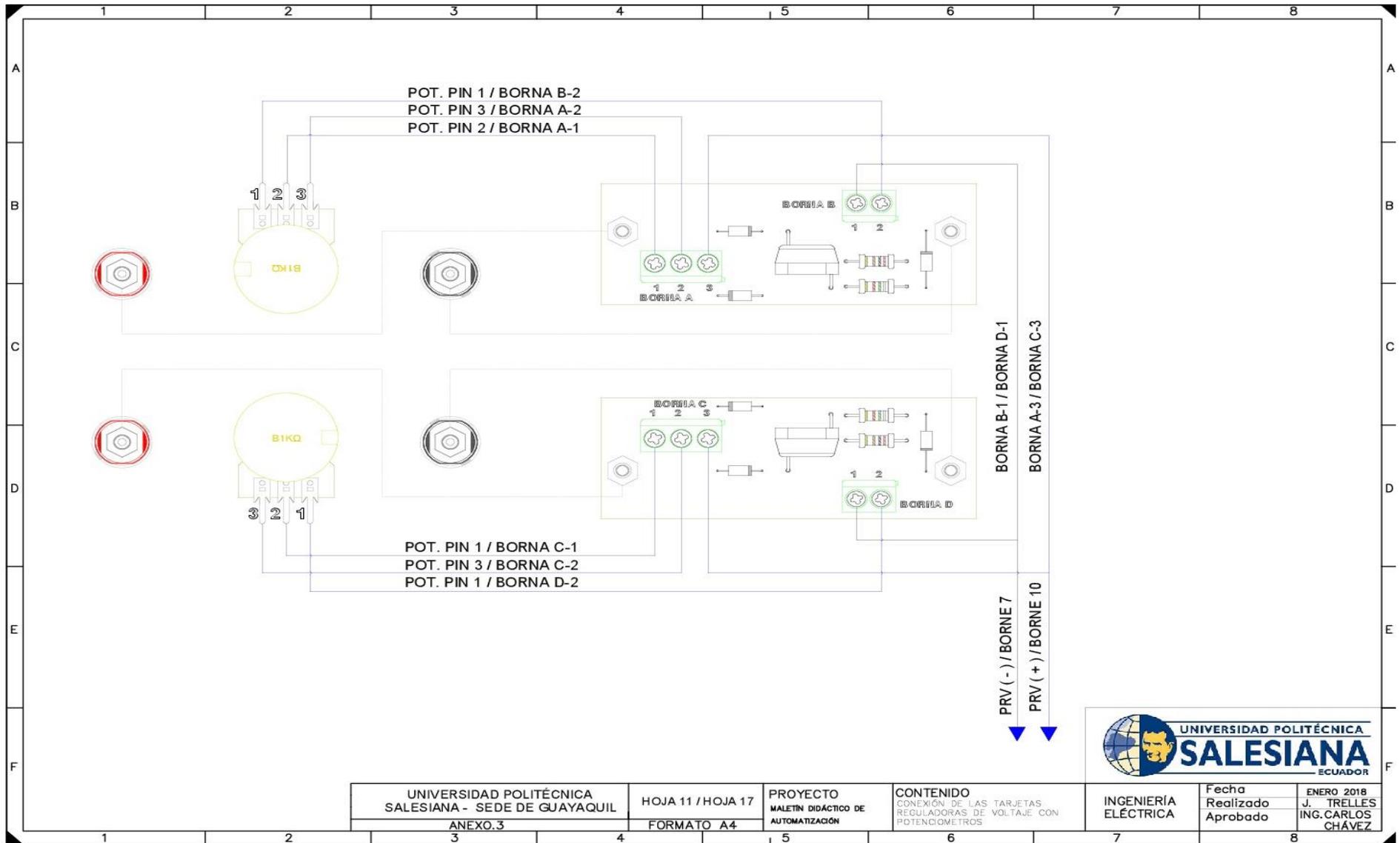


ANEXO 27: CONEXIÓN DE LOS RELÉS [AUTORES]

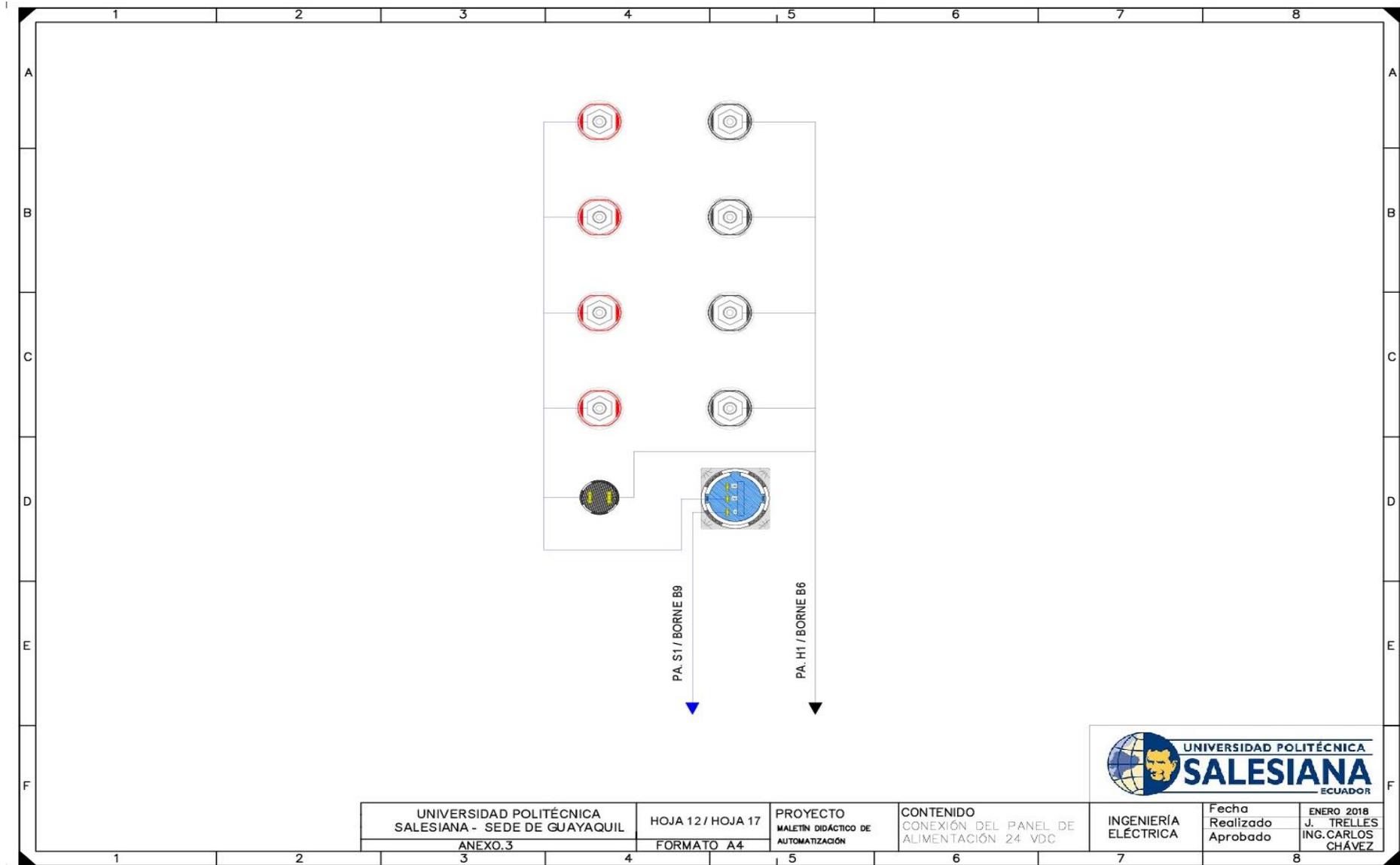


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE DE GUAYAQUIL ANEXO.3	HOJA 10 / HOJA 17 FORMATO A4	PROYECTO MALETÍN DIDÁCTICO DE AUTOMATIZACIÓN	CONTENIDO CONEXIÓN DE LOS VOLTÍMETROS ANALÓGICOS	INGENIERÍA ELÉCTRICA	Fecha Realizado Aprobado	ENERO 2018 J. TRELLES ING. CARLOS CHÁVEZ
---	---------------------------------	--	--	-------------------------	--------------------------------	---

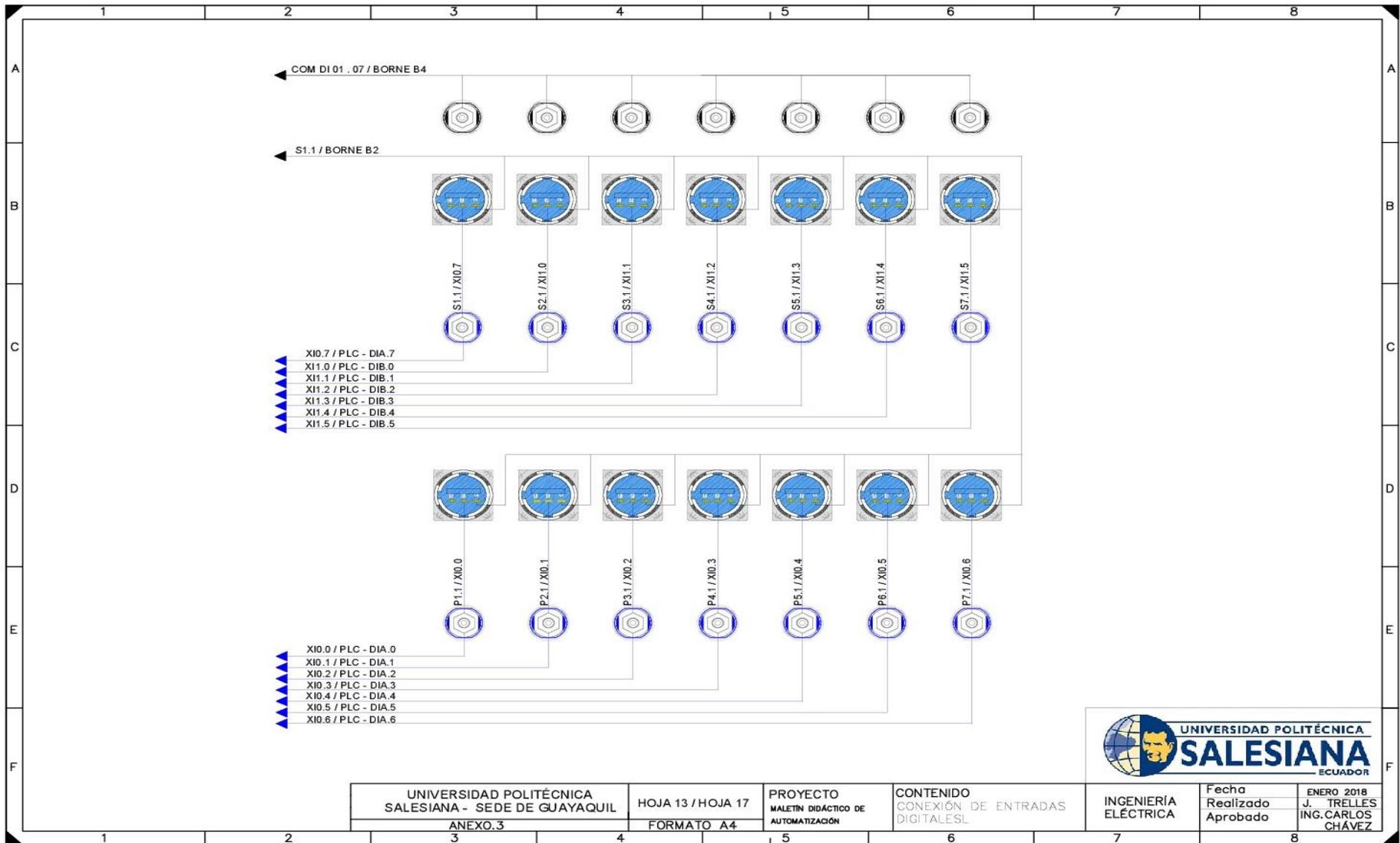
ANEXO 28: CONEXIÓN DE LOS VOLTÍMETROS ANALÓGICOS [AUTORES]



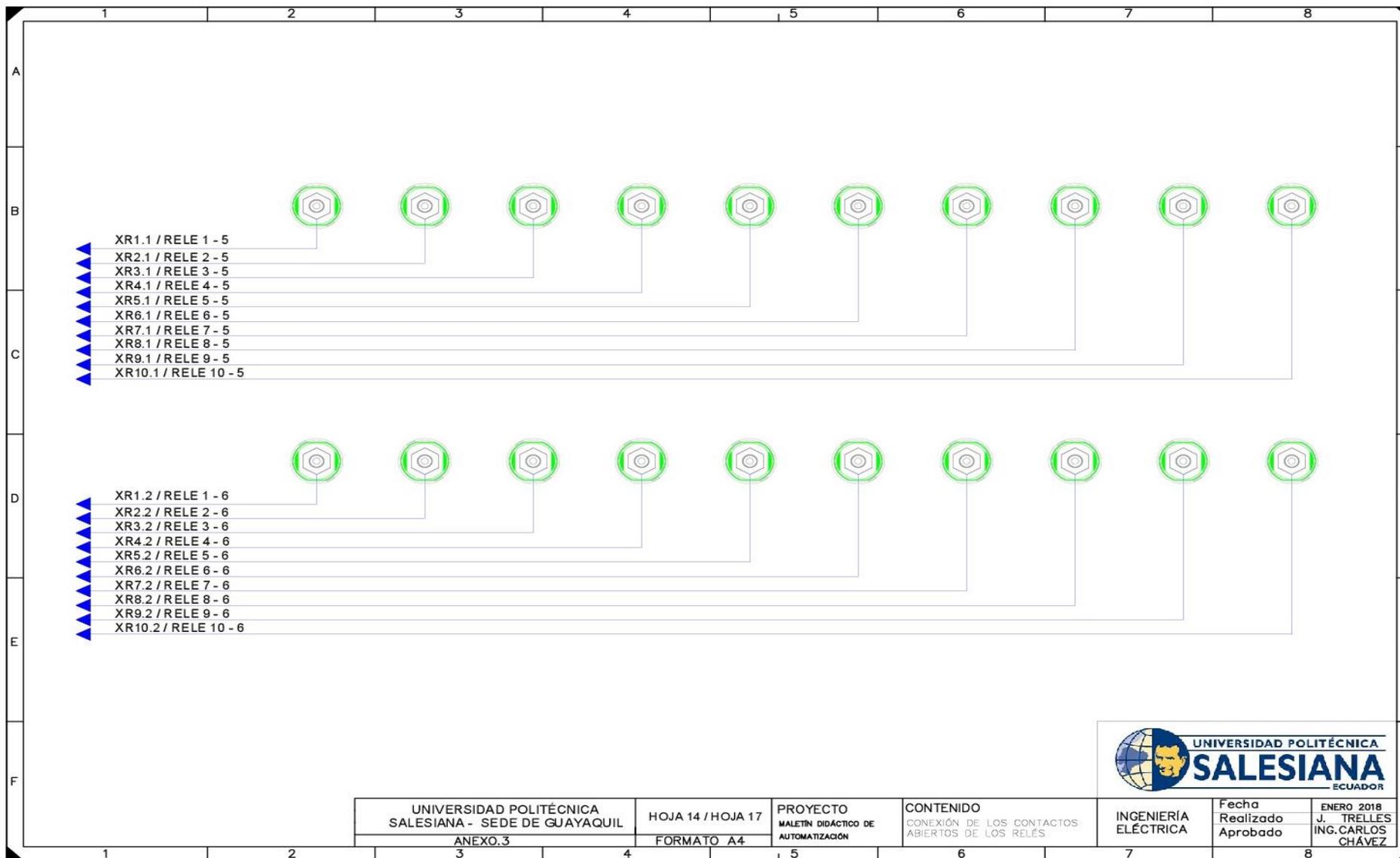
ANEXO 29: CONEXIÓN DE LAS TARJETAS REGULADORES DE VOLTAJE [AUTORES]



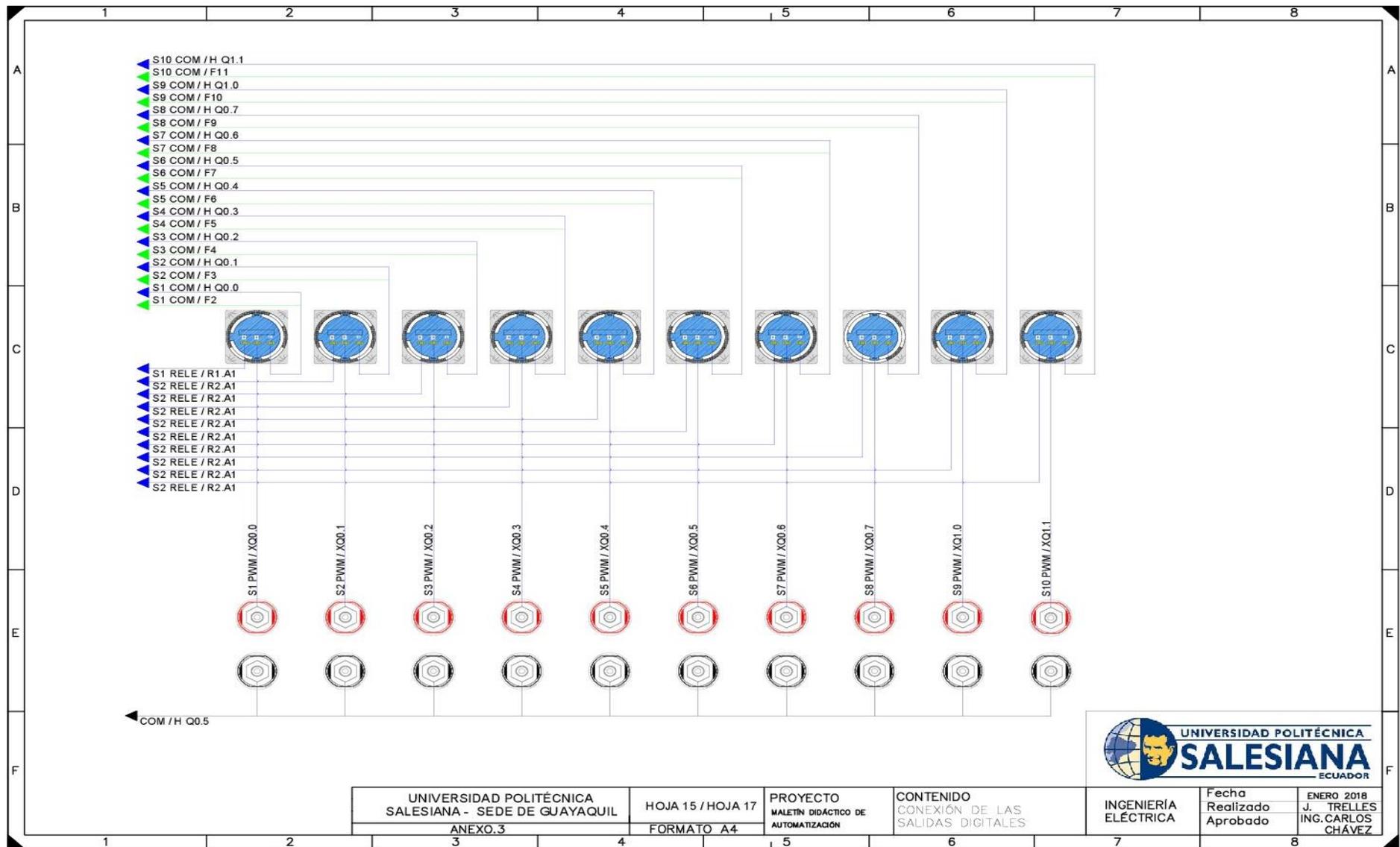
ANEXO 30: CONEXIÓN DEL PANEL DE ALIMENTACIÓN 24 VDC [AUTORES]



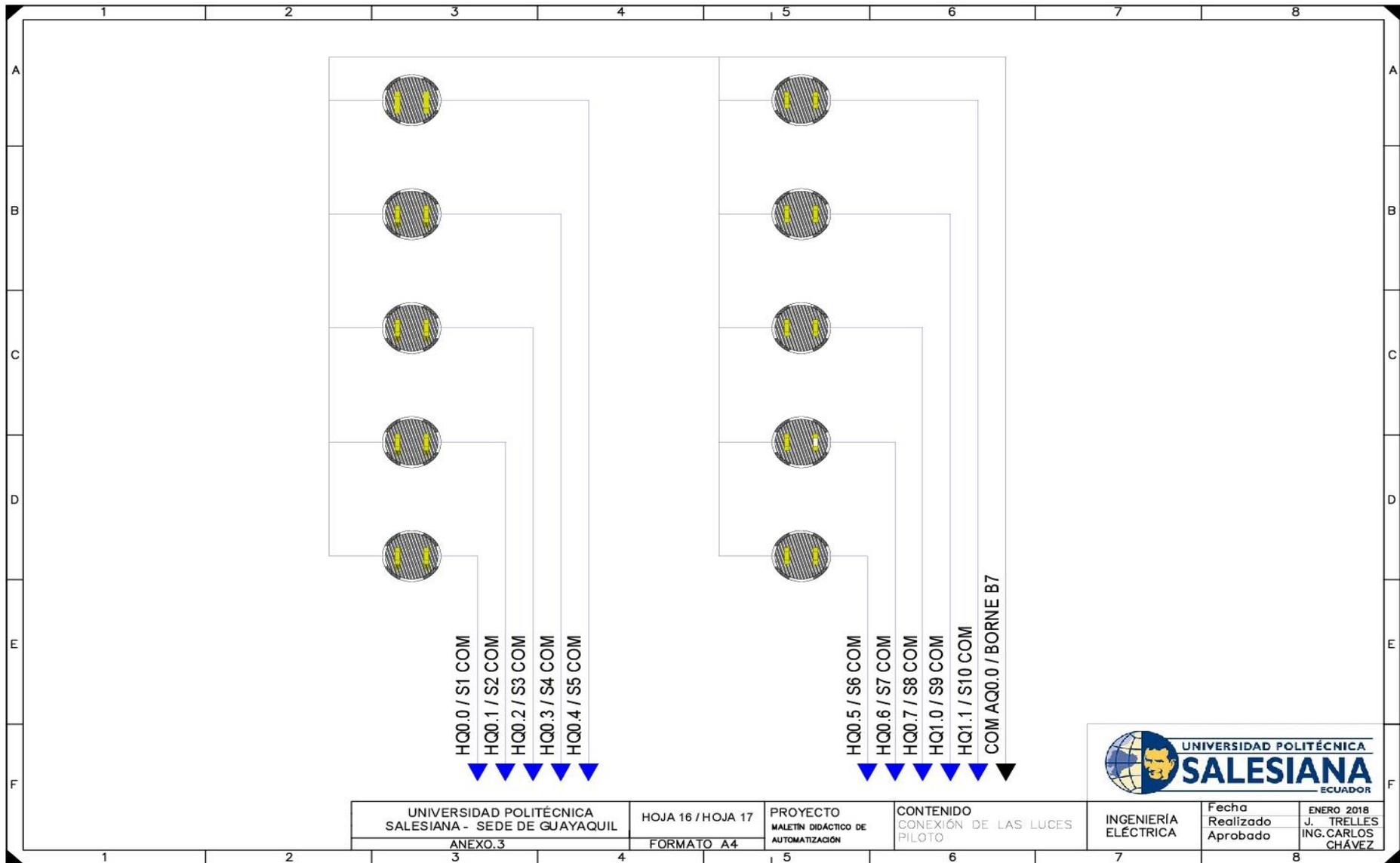
ANEXO 31: CONEXIÓN DE LAS ENTRADAS DIGITALES [AUTORES]



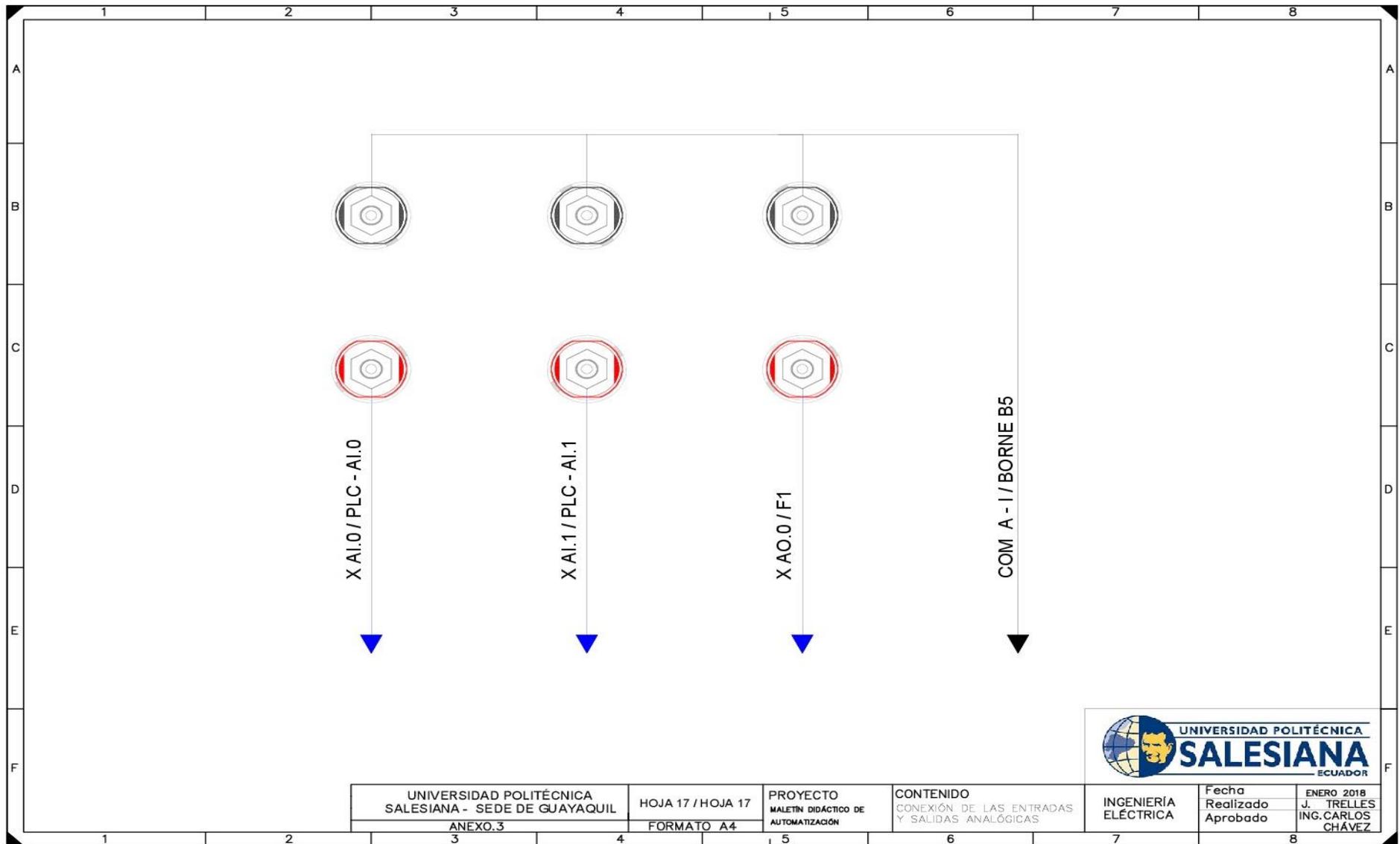
ANEXO 32: CONEXIÓN DE LOS CONTACTOS ABIERTOS DE LOS RELES [AUTORES]



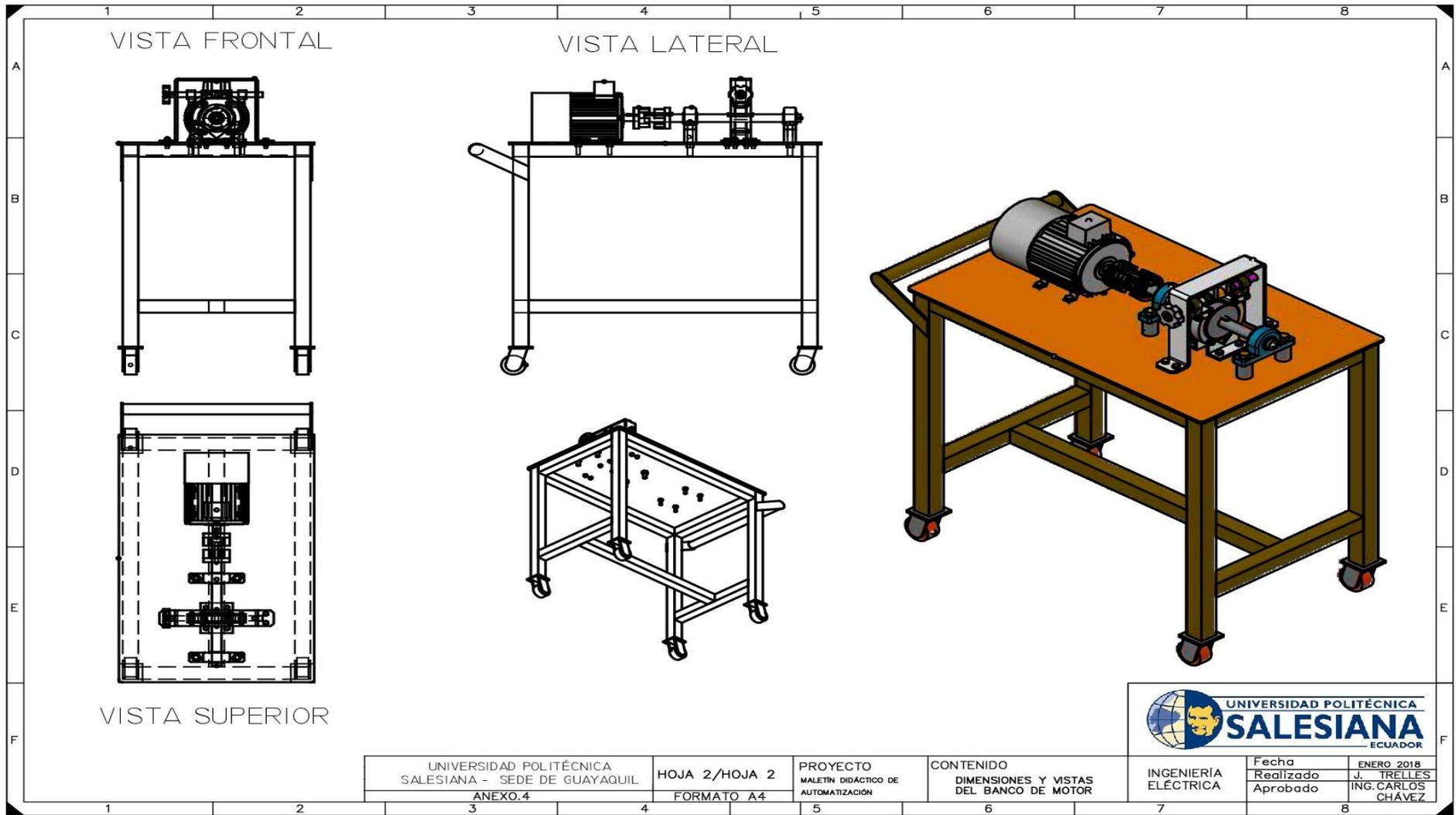
ANEXO 33: CONEXIÓN DE SALIDAS DIGITALES [AUTORES]



ANEXO 34: CONEXIÓN DE LUCES PILOTO [AUTORES]



ANEXO 35: CONEXIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS [AUTORES]



ANEXO 37: VISTA DIMENSIONALES DEL BANCO DEL MOTOR. [4]