

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS” ZACATENCO

**“CONSTRUCCIÓN DE MÓDULO DIDÁCTICO DE
PERIFERIA DESCENTRALIZADA PARA
REALIZAR PRÁCTICAS COMPLEMENTARIAS
DEL LABORATORIO DE CONTROL DE
MÁQUINAS Y PROCESOS ELÉCTRICOS DEL
PROGRAMA DE ICA DE ESIME ZACATENCO.”**

REPORTE TÉCNICO

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

PRESENTAN:

**FERNANDO MOISES BLANCO ALVAREZ
JOSÉ MAURICIO HERNÁNDEZ CONTRERAS**

ASEORES:

**ING. HUMBERTO SOTO RAMÍREZ
M. EN A. FRANCISCO JAVIER JIMÉNEZ GARCÍA**



CIUDAD DE MÉXICO

FEBRERO DE 2025

Índice general

Índice de tablas	14
Introducción	15
Generalidades	17
Objetivo general	20
Objetivos específicos	20
Planteamiento del problema	21
Justificación	23
Alcance del proyecto	24
Capítulo 1. Marco teórico	30
1.1 Control de Máquinas y Procesos Eléctricos	31
1.2 Control electromagnético	31
1.2.1 Botones pulsadores	32
1.2.2 Contactor electromagnético	33
1.2.3 Motor eléctrico trifásico de corriente alterna	34
1.2.4 Protecciones eléctricas para motores	36
1.2.5 Diseño y simulación digital de diagramas de conexiones eléctricas de control y fuerza	38
1.3 Controlador Lógico Programable	38
1.3.1 IEC 61131	40
1.3.2 TIA Portal	40
1.3.3 Lenguaje de programación en escalera	41
1.4 PROFINET	43
1.4.1 Estándar IEEE 802.3 Ethernet	45
1.4.2 Switch o commutador Ethernet	46

1.4.3	Topología de red en estrella.....	47
1.4.4	Dirección IP	48
1.5	Variador de frecuencia	48
1.6	HMI.....	49
1.7	Periferia descentralizada	50
1.7.1	Fuente de alimentación de sistema de control	52
1.7.2	Acoplador de bus de campo	53
1.7.3	Tarjeta de entradas digitales para periferia descentralizada	55
1.7.4	Tarjetas de salidas digitales para periferia descentralizada	56
1.7.5	Relevadores te propósito general.....	57
1.7.6	Puesta en marcha del módulo de periferia descentralizada	58
Capítulo 2.	Descripción y necesidades de la asignatura de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos	60
2.1	Descripción de la impartición de la asignatura actualmente.....	60
2.1.1	Temas que cubre la asignatura	61
2.1.2	Base tecnológica disponible en el laboratorio	67
2.1.2.1	Descripción del laboratorio	67
2.1.2.2	Tablero de Control Electromagnético	68
2.1.2.3	Motores	73
2.1.2.4	Módulo de PLC S7-1200.....	73
2.1.2.5	Módulo de variador de frecuencia G120.....	74
2.1.2.6	Switch Steren Fast Ethernet de 5 puertos	76
2.1.2.7	Módulo de Fuente de poder 24 VCD	77
2.1.2.8	Módulo de periferia descentralizada Beckhoff EK9300	78

2.1.3 Descripción de las prácticas actuales desarrolladas en el laboratorio ...	80
2.1.3.1 Prácticas de control electromagnético	80
2.1.3.2 Prácticas de variador de frecuencia.....	82
2.2 Planteamiento de necesidades	83
2.3 Planteamiento general de las prácticas propuestas con el material disponible	
	83
 Capítulo 3. Integración del módulo didáctico de periferia descentralizada EK9300. .	88
3.1 Material disponible para el armado de módulo de periferia descentralizada.	88
3.1.1 Acoplador de Bus EK9300.....	88
3.1.2 Tarjeta de entradas digitales EL1008.....	89
3.1.3 Tarjeta de salidas digitales EL2008.....	90
3.1.4 Fuente de alimentación MINI-PS-100-240AC/24DC/2.....	91
3.1.5 Relevador Finder 34.51.7.024.0010.....	92
3.2 Cortes del módulo de fuente de alimentación	92
3.2.1 Diagrama guía de conexiones del módulo de fuente de alimentación.....	95
3.2.2 Pruebas de funcionamiento de la fuente de poder.....	96
3.2.3 Ensamblado de módulo de fuente de alimentación.....	97
3.3 Cortes del módulo de periferia descentralizada.....	98
3.3.1 Diagrama guía de conexiones del módulo de periferia descentralizada ..	101
3.3.2 Proceso de soldadura del cableado del módulo de periferia descentralizada	
.....	103
3.2.3 Pruebas de funcionamiento del acoplador de bus EK9300	104
3.2.4 Pruebas de comunicación del acoplador de bus EK9300.....	104
3.4 Ensamblaje del módulo de periferia descentralizada.....	105
 Capítulo 4. Desarrollo de prácticas propuestas	107

1.1	Estructura de las prácticas	107
1.2	Prácticas de Control electromagnético.	110
1.2.1	Practica # 0.....	110
1.2.2	Práctica #1	132
1.2.3	Práctica #2.....	152
1.3	Prácticas de Variador de frecuencia	164
1.3.1	Práctica #3.....	164
1.3.2	Práctica #4	184
	Capítulo 5. Resultados	198
	Capítulo 6. Costos	200
	Conclusiones.....	205
	Recomendaciones y trabajos futuros	206
	Fuentes de consulta	209
	Anexos.....	217

Índice de figuras

Figura 1. Representación simbólica de botón pulsador normalmente abierto (IEC 1082-1)	33
Figura 2. Representación simbólica de botón pulsador normalmente cerrado (IEC 1082-1)	33
Figura 3. Representación física de contactor (elaboración propia).....	34
Figura 4. Representación simbólica del contactor (IEC 1082-1).....	34
Figura 5. Desarrollo de un campo magnético rotatorio.....	35
Figura 6. Ejemplo de contactos y bobina en lenguaje escalera.....	42
Figura 7. Instrucción TON en <i>TIA Portal</i> (elaboración propia).	43
Figura 8. Esquema de topología de red en Estrella.....	48
Figura 9. Fuente de alimentación MINI-PS-100-240AC/24DC/2.	53
Figura 10. Representación de bus de campo.	54
Figura 11. Ejemplo gráfico de operación de EK9300 (elaboración propia).	55
Figura 12. Relevador Finder 34.51.7.024.0010 (elaboración propia).	58
Figura 13. Diagrama de fuerza de un arranque suave con motor bipartido (elaboración propia).....	63
Figura 14. Conexiones físicas de un arranque suave con motor bipartido (elaboración propia).	63
Figura 15. Ejemplo de simulación de un programa en lenguaje de escalera en el software <i>TIA Portal</i> (elaboración propia).	64
Figura 16. PLC recibiendo señales de entrada digitales (elaboración propia).....	65
Figura 17. Ejemplo de práctica (elaboración propia).	65
Figura 18. Variador de frecuencia SINAMICS G120 (elaboración propia).	67
Figura 19. Laboratorio de <i>Control de Máquinas y Procesos Eléctricos</i> (elaboración propia).	68
Figura 20. Variador de frecuencia con tablero de control electromagnético y PLC (elaboración propia).....	68
Figura 21. Fotografía descriptiva del tablero de control electromagnético (elaboración propia).	69

Figura 22. Contactores del tablero de control electromagnético (elaboración propia).	70
Figura 23. Relevadores térmicos de sobrecarga del tablero de control electromagnético (elaboración propia).	70
Figura 24. Sección de fuerza del tablero de control electromagnético (elaboración propia).	71
Figura 25. Sección de protección del tablero de control electromagnético (elaboración propia).	72
Figura 26. Sección de control del tablero de control electromagnético (elaboración propia).	72
Figura 27. Motor trifásico de inducción abierto (elaboración propia).	73
Figura 28. Fotografía descriptiva del módulo de PLC S7-1200 (elaboración propia).	74
Figura 29. Fotografía descriptiva del módulo de variador de frecuencia SINAMICS g120 (elaboración propia).	75
Figura 30. Esquema del módulo de potencia SINAMICS PM240-2 (elaboración propia).	75
Figura 31. Diagrama de conexiones de potenciómetro para el ajuste de la velocidad del motor.	76
Figura 32. Diagrama de conexiones de interruptores S1, S2, S3, para la operación del motor.	76
Figura 33. Switch Steren Fast Ethernet de 5 puertos.	76
Figura 34. Módulo de fuente de alimentación de 24 volts de Corriente directa (elaboración propia).	77
Figura 35. Fotografía descriptiva del módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).	78
Figura 36. Esquema de comunicación <i>PROFINET</i> entre el ordenador, el PLC y el tablero de control electromagnético (elaboración propia).	84
Figura 37. Esquema de comunicación <i>PROFINET</i> entre el PLC, el módulo de periferia descentralizada, el ordenador y dos tableros de control electromagnético (elaboración propia).	85

Figura 38. Esquema de la integración del material disponible en el laboratorio de <i>Control de Máquinas y Procesos Eléctricos</i> (elaboración propia).....	87
Figura 39. Dimensiones del acoplador de bus EK9300	89
Figura 40. Diagrama descriptivo de la tarjeta de entradas digitales EL1008.....	90
Figura 41. Diagrama descriptivo de la tarjeta de salidas digitales EL2008 (elaboración propia).....	91
Figura 42. Fuente de alimentación MINI-PS-100-240AC/24DC/2.	91
Figura 43. Relevador Finder 34.51.7.024.0010.	92
Figura 44. Diseño del módulo de fuente de alimentación.....	93
Figura 45. Descripción de los planos de corte laser del módulo de fuente de alimentación (elaboración propia).....	94
Figura 46. Esquema de conexiones del módulo de fuente de alimentación (elaboración propia).....	95
Figura 47. Descripción del esquema de conexiones del módulo de fuente de alimentación (elaboración propia).....	96
Figura 48. Prueba de funcionamiento fuente de alimentación (elaboración propia). .	97
Figura 49. Módulo de fuente de alimentación ensamblado (elaboración propia).....	98
Figura 50. Diseños de módulo de periferia descentralizada.....	99
Figura 51. Descripción de la tapa frontal del plano de corte laser del módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).....	100
Figura 52. Descripción de la tapa trasera del plano de corte laser del módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).....	101
Figura 53. Diagrama de conexiones del módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).....	102
Figura 54. Soldado de cables (elaboración propia).	103
Figura 55. Prueba de funcionamiento del acoplador de bus EK9300 (elaboración propia).	104
Figura 56. Prueba de comunicación del acoplador de bus EK9300 y el PLC S7-1200 (elaboración propia).....	105
Figura 57. Ensamblaje del módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).	106

Figura 58. Descarga de archivos GSDML (elaboración propia).....	114
Figura 59. Descompresión de archivos GSDML (elaboración propia).	115
Figura 60. Selección del administrador de archivos de descripción general de la estación (elaboración propia).	115
Figura 61. Instalación del archivo GSDML (elaboración propia).....	116
Figura 62. Esquema de alimentación del acoplador de bus EK9300 y las tarjetas de entradas y salidas digitales (elaboración propia).....	117
Figura 63. Alimentación física del módulo didáctico de periferia descentralizada (elaboración propia).....	117
Figura 64. Esquema de alimentación del PLC (elaboración propia).....	118
Figura 65. Conexiones físicas de alimentación del módulo de PLC (elaboración propia).	118
Figura 66. Esquema de red de comunicación <i>PROFINET</i> entre PLC, periferia descentralizada y ordenador (elaboración propia).....	119
Figura 67. Conexiones físicas de comunicación <i>PROFINET</i> entre PLC, periferia descentralizada y ordenador (elaboración propia).....	119
Figura 68. Indicaciones para el alta de un controlador (elaboración propia).	120
Figura 69. Indicaciones para el alta del módulo de periferia descentralizada EK9300 (elaboración propia).....	121
Figura 70. Búsqueda y adición del acoplador de bus EK9300 mediante el software <i>TIA Portal</i> (elaboración propia).....	122
Figura 71. Comunicación entre el módulo de PLC S7-1200 y el módulo de periferia descentralizada EK9300 (elaboración propia)	123
Figura 72. Verificación de direcciones IP (elaboración propia).....	123
Figura 73. Vista general del dispositivo EK9300 (elaboración propia).....	124
Figura 74. Etiquetado y referencia de los botones pulsadores del tablero de control electromagnético (elaboración propia).	125
Figura 75. Referencia de los bornes de conexión de los contactores KM1, KM2 Y KM3 del tablero de control electromagnético (elaboración propia).....	125
Figura 76. Etiquetado de los contactores del tablero de control electromagnético (elaboración propia).....	125

Figura 77. Etiquetado de entradas y salidas digitales en software <i>TIA Portal</i> (elaboración propia).....	126
Figura 78. Programación en lenguaje escalera (elaboración propia).	127
Figura 79. Esquema de conexiones de la tarjeta de entradas digitales EL1008 y de la tarjeta de salidas EL2008 para práctica #0 (elaboración propia).....	128
Figura 80. Compilación y descarga del programa al PLC S7-1200 (elaboración propia).	129
Figura 81. Proceso de compilación y descarga del acoplador EK9300 (elaboración propia).	130
Figura 82. Activación de entradas y salidas desde tablero verificando los leds indicadores de cada tarjeta (elaboración propia).....	131
Figura 83. Integración de módulos de PLC S7-1200, periferia descentralizada y tablero de control electromagnético (elaboración propia).....	131
Figura 84. Monitoreo en línea del programa en el Main (elaboración propia).	132
Figura 85. Esquema de comunicación entre PLC S7-1200, HMI simulada, ordenador y el módulo de periferia descentralizada para control del tablero de control electromagnético y del motor trifásico (elaboración propia).	133
Figura 86. Adición del HMI al proyecto (elaboración propia).	135
Figura 87. Comunicación de HMI con PLC (elaboración propia).....	136
Figura 88. Configuración del HMI (elaboración propia).	136
Figura 89. Comunicación del PLC S7-1200, del acoplador de bus EK9300 y del HMI mediante el protocolo de comunicación <i>PROF/NET</i> (elaboración propia).....	137
Figura 90. Esquema de conexión entre el ordenador, el PLC S7-1200, el HMI y el acoplador de bus EK9300 (elaboración propia).....	137
Figura 91. Etiquetado de práctica #1 en software <i>TIA Portal</i> (elaboración propia)..	139
Figura 92. Programación en escalera de la práctica #1 (elaboración propia).....	140
Figura 93. Esquema de conexiones de la tarjeta de entradas digitales EL1008 y de la tarjeta de salidas digitales EL2008 para la práctica #1 (elaboración propia).....	141
Figura 94. Diagrama de fuerza de la práctica #1 (elaboración propia).	142
Figura 95. Árbol de proyecto (elaboración propia).....	143
Figura 96. Pasos de configuración para los botones del HMI (elaboración propia).	144

Figura 97. Pasos de configuración de los indicadores del HMI (elaboración propia).	145
Figura 98. Indicaciones para compilar y simular la HMI (elaboración propia).....	146
Figura 99. Comportamiento inicial en el HMI simulada (elaboración propia).....	147
Figura 100. Comportamiento inicial del programa visualizada en el Main desde tablero (elaboración propia).....	147
Figura 101. Visualización de activación desde tablero de giro hacia la derecha en HMI simulada (elaboración propia).....	148
Figura 102. Activación de giro hacia la derecha visualizada en el Main desde tablero (elaboración propia).....	149
Figura 103. Activación de giro hacia la izquierda en HMI simulada (elaboración propia).	149
Figura 104. Activación de giro hacia la izquierda visualizada en el Main desde el tablero (elaboración propia).....	150
Figura 105. Sobrecarga disparada visualizada en el HMI simulada (elaboración propia).	151
Figura 106. Referencia de tiempos del ciclado de los motores (elaboración propia).	153
Figura 107. Comunicación de HMI en <i>TIA Portal</i> (elaboración propia).....	154
Figura 108. Esquema de comunicaciones entre PLC, HMI, ordenador y acoplador de bus (elaboración propia).....	155
Figura 109. Tabla de tags del PLC (elaboración propia).....	157
Figura 110. Programación en escalera (elaboración propia)	158
Figura 111. Esquema de conexiones de las tarjetas de entradas y salidas (elaboración propia).....	159
Figura 112. Diagrama de fuerza (elaboración propia).	160
Figura 113. Compilación y simulación del HMI (elaboración propia).	161
Figura 114. Cableado físico de la práctica (elaboración propia).	162
Figura 115. Resultados de la programación (elaboración propia).	162
Figura 116. Resultados del HMI simulada (elaboración propia).	163

Figura 117. Esquema de conexiones del variador de frecuencia (elaboración propia).	167
Figura 118. Esquema de comunicación del ordenador y el variador de frecuencia SINAMICS G120 (elaboración propia).....	168
Figura 119. Comunicación física del ordenador, el variador de frecuencia SINAMICS G120, el PLC S7-1200 y el ordenador (elaboración propia).....	168
Figura 120. Configuración y parametrización del variador de frecuencia SINAMICS G120 (elaboración propia).....	169
Figura 121. Detección del variador de frecuencia SINAMICS G120 (elaboración propia).	170
Figura 122. Ubicación del variador de frecuencia SINAMICS G120 en el árbol de proyecto (elaboración propia).	170
Figura 123. Asignación de nombre y de IP del variador de frecuencia (elaboración propia).	171
Figura 124. Carga del dispositivo como una nueva estación (elaboración propia). .	172
Figura 125. Ubicación del Wizard en el árbol de proyecto (elaboración propia).....	172
Figura 126. Clase de aplicación (elaboración propia).....	173
Figura 127. Especificación de setpoint (elaboración propia).	174
Figura 128. Selección de telegrama (elaboración propia).	175
Figura 129. Elección de estándar y voltaje (elaboración propia).	176
Figura 130. Elección de filtro (elaboración propia).	177
Figura 131. Parámetros de motor (elaboración propia).	178
Figura 132. Configuración de rampas (elaboración propia).....	179
Figura 133. Funciones del drive (elaboración propia).....	180
Figura 134. Resumen de puesta en servicio (elaboración propia).....	181
Figura 135. Pruebas de habilitación, arranque, paro y ajuste de velocidad (elaboración propia).....	182
Figura 136. Resultados del variador de frecuencia (elaboración propia).....	183
Figura 137. Resultados del motor (elaboración propia)	183
Figura 138. Bloque Sina Speed.....	185

Figura 139. Comunicación del PLC S7-1200, el acoplador de bus EK9300 y el variador de frecuencia SINAMICS G120 mediante el protocolo de comunicación <i>PROFINET</i> (elaboración propia).....	188
Figura 140. Programación en escalera (elaboración propia).....	190
Figura 141. Verificación de las propiedades del variador de frecuencia (elaboración propia).	191
Figura 142. Ubicación del bloque <i>Sina Speed</i> (elaboración propia).....	192
Figura 143. Configuración del bloque <i>Sina Speed</i> (elaboración propia).....	193
Figura 144. Esquema de alimentación de tarjeta de entradas digitales (elaboración propia).	194
Figura 145. Esquema de conexión del variador de frecuencia SINAMICS G120 (elaboración propia).....	195
Figura 146. Configuración del display del setpoint en el HMI (elaboración propia). 196	
Figura 147. Configuración del display de la velocidad actual del motor en el HMI (elaboración propia).....	196
Figura 148. Resultado del HMI (elaboración propia).	197
Figura 149. Conexión de módulo de periferia descentralizada, módulo de PLC y tablero de control electromagnético (elaboración propia).....	199
Figura 150. Conexión de módulo de periferia descentralizada con el tablero de control electromagnético (elaboración propia).....	199
Figura 151. Conexión física de módulo de periferia descentralizada, módulo de PLC, tablero de control electromagnético, módulo de variador de frecuencia y motor trifásico (elaboración propia).	200

Índice de tablas.

Tabla 1. Propuesta de prácticas complementarias de implementación de un módulo de periferia descentralizada y del protocolo de comunicación <i>PROFINET</i> (elaboración propia).....	109
Tabla 2. Temas de seguridad (elaboración propia)	113
Tabla 3. EL1008 (elaboración propia).....	126
Tabla 4. Seguridad en la ejecución de la actividad (elaboración propia)	134
Tabla 5. Entradas (elaboración propia)	138
Tabla 6. Marcas de HMI (elaboración propia)	139
Tabla 7. Seguridad en la ejecución de la actividad (elaboración propia)	154
Tabla 8. Definición y etiquetado de elementos (elaboración propia).....	156
Tabla 9. Etiquetado de las marcas en función a las entradas y acciones de control del HMI simulado (elaboración propia).....	156
Tabla 10. Seguridad en la ejecución de la actividad (elaboración propia)	166
Tabla 11. Pruebas y resultados (elaboración propia).....	182
Tabla 12. “SINA_SPEED” Parámetros de entrada (elaboración propia)	186
Tabla 13. “SINA_SPEED” Parámetros de salida (elaboración propia).....	186
Tabla 14. Seguridad en la actividad (elaboración propia)	187
Tabla 15. ENTRADAS (ELABORACIÓN PROPIA).....	188
Tabla 16. SINA_SPEED (ELABORACIÓN PROPIA).....	189
Tabla 17. Identificación de marcas en HMI (elaboración propia)	189
Tabla 18. Listado de materiales para el desarrollo de un módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).....	202
Tabla 19. Tiempo en horas hombre para el ensamblaje de nuestro módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).....	203
Tabla 20. Costos de las actividades necesarias para el desarrollo de un módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).....	204
Tabla 21.Costos de las actividades necesarias para el desarrollo de un módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).....	204

Introducción

En el presente trabajo se desarrolla la construcción de un módulo didáctico de periferia descentralizada utilizando el trabajo previo de Lozada Polo Saúl Joshel y Méndez Vargas Marco Antonio, titulado *Desarrollo de un módulo didáctico con PLC y tablero de control electromagnético para la actualización de prácticas en la materia de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*¹, y en base a este, realizar prácticas complementarias de control electromagnético, controlador lógico programable y variadores de frecuencia en la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* del programa de ICA de la ESIME Zácatenco.

La razón por la que se desarrolla el presente proyecto es para reforzar y complementar los conocimientos de los estudiantes de la carrera de ICA que hayan cursado la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*. Además, se pretende también que los estudiantes adquieran conocimientos nuevos como, la periferia descentralizada y el protocolo de comunicación *PROFINET*, mismos que les permitan integrar los conocimientos adquiridos en prácticas de automatización industrial.

La metodología del presente trabajo es descriptiva y correlacional, debido a que para la elaboración de prácticas se requiere de una descripción de funcionamiento del módulo, así como la relación que tiene esta implementación con los temas estudiados previamente en la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*.

El presente trabajo, se desarrolla a través de un apartado de *Generalidades* y 6 capítulos, donde en dicho apartado se presentan, los objetivos, la problemática, la justificación, el alcance y los antecedentes que serán guía y fuente de consulta para la construcción del módulo didáctico y el desarrollo del trabajo.

El capítulo uno, correspondiente al marco teórico, brinda los conocimientos necesarios para el entendimiento de lo que se desarrolla en la construcción del módulo y en la propuesta de prácticas.

¹Saúl Joshel Lozada Polo y Marco Antonio Méndez Vargas (2024). Desarrollo de un módulo didáctico con PLC y tablero de control electromagnético para la actualización de prácticas en la materia de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos. Ciudad de México, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) unidad Zácatenco, trabajo terminal para obtener el título de ingenieros en control y automatización.

En el capítulo dos, se realiza la descripción de la impartición actual de la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, así como los temas que cubre y la manera en la que se realizan prácticas en el laboratorio. Posteriormente se plantea la propuesta de prácticas a realizar con el material que dispone el laboratorio para complementar el aprendizaje de los estudiantes de la carrera de ICA.

En el capítulo tres, se integra el módulo didáctico presentando y explicando el material que se ocupa del laboratorio. También, se realizan las pruebas de funcionamiento del equipo y la construcción del módulo

En el capítulo cuatro se presenta la estructura sobre la cual son elaboradas las prácticas propuestas y se desarrollan en base a esta.

En el capítulo cinco se presentan los resultados obtenidos tras construir el módulo didáctico de periferia descentralizada y llevar a cabo las prácticas complementarias propuestas.

En el capítulo seis se realiza el análisis de costos de los materiales y las actividades realizadas para la construcción del módulo y el desarrollo del presente trabajo con el objetivo de tener una noción del costo total de lo realizado.

Generalidades

La automatización, crece de manera acelerada en todo el mundo, la tecnología evoluciona y para el ámbito industrial también es una necesidad evolucionar. La automatización, es clave para la productividad y competitividad de las empresas, por tal motivo, se busca la implementación de equipos que permitan automatizar procesos de manera eficiente.

Wago, empresa alemana líder en fabricación de tecnología de interconexiones, interfaces eléctricas y automatización industrial, en su página web, tienen una revista digital titulada *Vanguardia Industrial*, en cuya publicación de septiembre del 2023, se encuentra un artículo titulado *La automatización digital en siete años crecerá 71% a nivel global, México atractivo*, escrito por Silvia Ortiz, donde menciona que el mercado de la automatización y digitalización industrial crecerá un 71% en siete años a nivel global abarcando aplicaciones como el uso de robots, PLC, sistemas de visión, neumática y sensórica, entre otras².

La automatización, trae consigo cambios que impactan en la actualidad. La industria, a lo largo del tiempo, ha experimentado cambios que llevan a aumentar la demanda de productos y servicios de alta calidad, por tales motivos, las empresas buscan mejorar y ser más eficientes automatizando sus procesos. *Freelancermap*, página web de freelance, publicó un artículo titulado *¿Qué hace un ingeniero en automatización?*, escrito por Natalia Campana y publicado en octubre del 2022, donde menciona que “la industrialización y las necesidades de producción han creado la necesidad de automatizar más y más procesos para hacerlos más eficientes, lo que ha llevado a que el papel de ingeniero de automatización tenga una gran demanda hoy en día”³. Dentro de este contexto, los ingenieros están obligados a contar con los conocimientos prácticos para llevar a cabo las actividades que la industria requiere, por tal motivo, es importante que la formación académica esté acompañada de herramientas que aporten alto valor a su conocimiento teórico y práctico, ya que lo que más se valora entre las empresas es tener experiencia previa en programación de procesos y

² Disponible en: <https://www.vanguardia-industrial.net/la-automatizacion-industrial-en-siete-anos-crecerá-71-a-nivel-global-méxico-atractivo/>, fecha de consulta 18 de marzo del 2024.

³ Disponible en: <https://www.freelancermap.com/blog/es/que-hace-ingenero-automatizacion/#Habilidades>, fecha de consulta 18 de marzo del 2024.

máquinas automatizadas, pidiendo así 1 o 2 años de experiencia en áreas de desarrollo de procesos de automatización⁴.

Las prácticas de educación superior impactan en la vida académica y laboral de las y los estudiantes, ya que, según diversos autores, definen a estas como las “estrategias de enseñanza para realizarse fuera del aula y en el campo profesional como complemento de la formación del alumno”⁵. Por lo anterior, se debe hacer énfasis en que, en este nivel, el alumnado debe contar con material para llevar a cabo sus conocimientos teóricos a un contexto práctico y, hablando de ingeniería, material reciente y funcional, ya que, el crecimiento explosivo de la tecnología y la industria obliga a actualizarse y cambiar el enfoque de los problemas que enfrenta.

Un ingeniero que no práctica con equipo similar al del campo laboral, se verá en serios problemas al momento de competir por una oportunidad de empleo. Por tal motivo, existe la necesidad de hacer énfasis en que los estudiantes de la carrera de ingeniería en control y automatización deben contar con equipo actualizado que le permita realizar prácticas de automatización.

La manera de entender y manejar la industria ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, esta evolución está conformada por cuatro revoluciones industriales. Hoy se vive la cuarta revolución industrial (Industria 4.0) que, para las y los estudiantes del programa de *ingeniería en control y automatización*, como futuros profesionistas, tienen que conocer, indagar y poner en práctica si en sus planes está el enfrentar al mundo laboral de la industria. Es preocupante que el profesional debutante se encuentre desarmado ante una realidad que no responde a las expectativas de aquello para lo que se ha formado o preparado⁶.

Dentro de la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, se tiene la capacidad de dar una formación actual a los estudiantes impartiendo temas de suma importancia dentro del ámbito de la automatización industrial, dichos temas están enfocados al control electromagnético, controladores lógicos programables y variadores de frecuencia. La asignatura se imparte de manera que, los estudiantes, comprendan la base teórica que implica la manipulación de dispositivos y con ello,

⁴ Ibid.

⁵ Miguel Zabalza (2004). *La enseñanza universitaria. El escenario y sus protagonistas*. Madrid, Editorial Narcea, S.A. Pág. 107.

⁶ Juan Escudero y Luis Gómez. (2006). *La formación del profesorado y la mejora de la educación. Políticas y prácticas*. España: Octaedro.

adquieran la capacidad de realizar prácticas que les permita tener conocimientos en la implementación y manejo de dispositivos y equipo de automatización industrial.

Estas prácticas, aunque son muy eficientes y didácticas, podrían tener un mayor alcance al involucrar prácticas complementarias que, con los dispositivos y el material disponible del laboratorio, se pueda realizar la implementación de protocolos de comunicación. Los protocolos de comunicación son, también, un aspecto fundamental que las y los estudiantes, deben de conocer y poner en práctica. *Logicbus*, empresa líder en venta y distribución de productos y soluciones de automatización industrial, en su blog, existe un artículo titulado *Protocolos de comunicación industrial*, (sin datos de autor) publicado en junio del 2019, donde mencionan que “en los últimos años, las aplicaciones industriales, basadas en la automatización de procesos industrializados se han incrementado, dando paso a las comunicaciones de sensores, actuadores y equipos de control, de esta manera la comunicación entre la sala de control y los instrumentos de campo se han convertido en una realidad”⁷.

De esta manera, se busca aportar al laboratorio de *Control de procesos eléctricos* en el programa de ICA de la ESIME Zácatenco, una propuesta de prácticas para la implementación de un módulo de periferia descentralizada que servirá para realizar la conexión y comunicación de varios equipos, contemplando diversas ventajas, como la disminución de cableado, ya que los laboratorios cuentan con equipos dispersos que ocuparían de mucho dinero para ser conectados entre sí sin la integración de una periferia descentralizada. De igual forma se busca impulsar a las y los estudiantes a conocer y practicar más utilizando el equipo con el que dispone el laboratorio.

Por los argumentos presentados, los objetivos del presente trabajo son los siguientes.

⁷ Disponible en: <https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/>, fecha de consulta 19 de marzo del 2024.

Objetivo general

Construir un módulo didáctico de periferia descentralizada para realizar prácticas complementarias de control electromagnético, controlador lógico programable y variadores de frecuencia en la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* del programa de *ICA* de la *ESIME Zacatenco*, utilizando un controlador lógico programable, periferia descentralizada, tablero de control electromagnético, módulo de variador de frecuencia, interfaz humano-máquina simulada y comunicación *PROFINET*.

Objetivos específicos

- a) Construir un módulo didáctico de periferia descentralizada con el material disponible en el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, que opere de manera adecuada.
- b) Configurar y elaborar la programación para realizar la comunicación entre el acoplador de bus *PROFINET IO EK9300* de *Beckhoff* y el controlador lógico programable *S7-1200* de *Siemens* con el software *TIA Portal*.
- c) Elaborar los diagramas y esquemas eléctricos de control y fuerza del módulo didáctico de periferia descentralizada y del tablero de control electromagnético para manipular la operación de motores eléctricos mediante el protocolo de comunicación *PROFINET* en *laboratorio de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, utilizando *CADe SIMU*.
- d) Integrar y comunicar los módulos de controlador lógico programable, variador de frecuencia y el tablero de control electromagnético disponibles en el laboratorio por medio del módulo didáctico de periferia descentralizada, la comunicación *PROFINET* y el software *TIA Portal*.
- e) Elaborar interfaces humano-máquina simuladas para el monitoreo y manipulación del módulo didáctico de periferia descentralizada *EK9300* y de los motores eléctricos mediante el protocolo de comunicación *PROFINET*, utilizando el software *TIA Portal*.

Planteamiento del problema

La práctica es parte fundamental de la preparación profesional y, en la ingeniería, es primordial que las y los estudiantes practiquen antes de salir al campo laboral, con la finalidad de adquirir conocimientos que la teoría no puede brindar por sí misma. Las escuelas necesitan contar con equipos actualizados y de calidad para que se puedan realizar prácticas de situaciones reales que suceden en los procesos industriales.

Los conocimientos adquiridos acerca de equipos y softwares agregan valor a un egresado cuando de competencia laboral se trata. Un ingeniero recién egresado que no cuenta con conocimientos técnicos de softwares que resuelvan tareas y de equipos esenciales de la automatización que se aplican en la industria, tendrá problemas al momento de competir por un buen empleo. Por tal motivo, se busca que las y los estudiantes del programa de *ICA* de la *ESIME Zácatenco* cuenten con equipos funcionales, completos y actualizados, para que sean aprovechados y se amplíe el conocimiento mediante el desarrollo y ejecución de prácticas.

El profesor Humberto Soto Ramírez, quien actualmente imparte la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos del programa de ICA de la ESIME Zácatenco*, expuso que el laboratorio cuenta con material disperso que no está siendo aprovechado para la impartición de la materia. Actualmente la problemática de la falta de implementación de material disponible en el laboratorio supone una oportunidad de expandir las capacidades con las que cuenta el laboratorio, mismas que se traducen como herramientas para la formación de los estudiantes.

En la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* se imparten temas de automatización industrial con la intención de brindar las herramientas y competencias necesarias a los estudiantes. El primero de estos temas es el control electromagnético, donde se le enseña a los estudiantes a realizar diagramas digitales de fuerza y control, con el objetivo de que logren identificar los diferentes elementos que componen los tableros de control electromagnético y, en base a esto, puedan realizar las conexiones físicas adecuadas de forma segura en el tablero de control electromagnético, con el fin de realizar el control de motores trifásicos de corriente alterna.

El segundo es el del controlador lógico programable o por sus siglas en inglés (PLC), donde se les enseña a los estudiantes las funciones y la relevancia que tienen los

controladores lógicos programables en la automatización industrial. Posteriormente, el estudiante aprende a programar, compilar y alimentar un controlador lógico programable haciendo uso de un módulo de controlador lógico programable con el fin de llevar a cabo diversas prácticas que, con ayuda del tablero de control electromagnético, controlen motores trifásicos de corriente alterna y que sustenten los conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes.

El tercero es el de variador de frecuencia, en este tema se les enseña a los estudiantes el funcionamiento en términos generales de un variador de frecuencia y su importancia en la automatización industrial. Haciendo uso de los módulos de variador de frecuencia que dispone el laboratorio, se enseña a los estudiantes a parametrizar y a configurar datos de motor directamente en la pantalla táctil del mismo, con el fin de que los estudiantes aprendan a manipular motores eléctricos trifásicos de corriente alterna mediante los variadores de frecuencia disponibles en el laboratorio.

Según lo anterior, los estudiantes hacen uso de los tableros de control electromagnético, módulos de controlador lógico programable y módulos de variador de frecuencia.

El laboratorio, dispone también de un módulo didáctico de periferia descentralizada funcional que no forma parte de la impartición de la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* debido a que no existe una propuesta de prácticas que permitan el correcto entendimiento e implementación de este. El profesor también expuso que este equipo puede resolver la problemática de conexión y comunicación entre dispositivos y módulos para la implementación de prácticas más completas donde se integre el equipo de automatización industrial. Otra problemática que se presenta es que solo hay un módulo de periferia descentralizada disponible en el laboratorio, por lo que se busca la construcción de uno nuevo con las mismas características, aprovechando los materiales que dispone el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*.

Con base en los argumentos descritos anteriormente, el planteamiento del problema del presente trabajo es el siguiente:

¿Cómo será un módulo didáctico de periferia descentralizada para comunicar módulos de controlador lógico programable, variador de frecuencia y tableros de control

electromagnético para manipular la operación de motores eléctricos mediante el protocolo de comunicación *PROFINET* en el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* del programa de ICA de la ESIME Zácatenco?

Justificación

Los motivos para elaborar el módulo didáctico nacen de la disposición de equipo con capacidades para realizar prácticas complementarias relacionadas con el control de máquinas eléctricas y protocolos de comunicación en el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* del programa de ICA de la ESIME Zácatenco.

Es importante que las y los estudiantes del programa de ICA de la ESIME Zácatenco, adquieran conocimientos acerca de lo que es el protocolo de comunicación industrial *PROFINET*, esto a través de la realización de prácticas complementarias haciendo uso del módulo didáctico de periferia descentralizada y aprovechando el que se encuentra disponible en el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*. Según el panel mexicano de expertos en automatización y control de procesos industriales, en su blog, hay un artículo titulado *¿Qué es y para qué sirve PROFINET en la automatización?*, donde mencionan que “*PROFINET* se ha consolidado como un protocolo esencial en el ámbito de la automatización industrial, brindando una comunicación eficiente entre dispositivos electrónicos”⁸.

Del mismo modo, al implementar una periferia descentralizada se pueden aprovechar los diferentes equipos con los que cuenta el *laboratorio de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* desarrollando prácticas complementarias de comunicación industrial ya que es importante que las y los estudiantes, tengan conocimiento de las tecnologías esenciales de la industria con el fin de obtener una serie de habilidades que les permita desenvolverse de una manera satisfactoria en el mundo laboral.

⁸ Disponible en: <https://imepi.com.mx/que-es-y-para-que-sirve-el-profinet-en-la-automatizacion-industrial/>, fecha de consulta 05 de abril del 2024.

Alcance del proyecto

El software de gestión de proyectos online que facilita la planificación e implementación de proyectos *GanttPRO*, en su página web, tienen un *blog* titulado *¿Qué es el alcance de un proyecto y por qué es tan importante?*, escrito por Anastasia Stsepanets y publicado en Junio del 2023, donde mencionan que “definir el alcance de la investigación es una tarea importante, debido a que, al momento de definir el alcance de la investigación “se definen todos los límites, recursos, costos, metas, tareas y entregables claves para completar el proyecto con éxito”⁹.

Por un lado, el *alcance real*, se refiere hasta dónde se pretende llegar con el proyecto, en este caso, dicho alcance se va a referir a la construcción de un módulo didáctico para proponer prácticas complementarias de control electromagnético, controlador lógico programable y variador de frecuencia, las cuales, permitirán que los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Control y Automatización, realicen prácticas que tengan como enfoque principal el protocolo de comunicación *PROFINET y la periferia descentralizada*, utilizando el material con el que dispone el *laboratorio de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, tales como el tablero de control electromagnético, motores, variadores de frecuencia, PLC, entre otros dispositivos. Se ejecutarán las prácticas para validar que la propuesta pueda ser desarrollada en el laboratorio y que estas sean funcionales para los estudiantes. Posteriormente se realizará un manual de prácticas que servirá de material para que los estudiantes puedan realizar investigación, seguir pasos, ejecutar y concluir de manera satisfactoria la importancia de lo que está realizando.

Antecedentes

Tras haber realizado una investigación y análisis de diversos materiales escritos que pueden ayudar a esta investigación como antecedentes, se ha optado por guiar este trabajo terminal con trabajos de tesis orientados de forma similar al objetivo general planteado al inicio del apartado de las *Generalidades*.

⁹ Disponible en: <https://blog.ganttpro.com/es/alcance-del-proyecto/>, fecha de consulta 07 de abril del 2024.

Haciendo una investigación, se encontró que, en el año 2020, en la *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Valencia*, España, se presentó un trabajo académico para obtener el grado de master en ingeniería industrial, titulado *Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómata SIEMENS S7-1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI*¹⁰, escrito por Daniel Moreno Garrido y José Vicente Salcedo Romero de Ávila.

En este trabajo los autores diseñaron un proceso de producción industrial para simular con prototipos de laboratorio, justificando la automatización de forma conjunta utilizando un PLC, con la intención de realizar la automatización de un sistema ya presente en fábrica para reformar y mejorarlo. Caso similar para el presente trabajo, ya que, se busca realizar una automatización en forma conjunta entre un PLC, una periferia y los equipos con los que el laboratorio cuenta.

Este proceso industrial trabaja con piezas de distintos colores que llegan a una estación de multiprocesado y, dependiendo el tipo de pieza, se le aplicaban unos procesos de mecanizado u otros. Después de esto, la pieza ya mecanizada iba a un almacén elevado donde se guardaba, dependiendo el tipo de pieza que fuese. Estos procesos, eran trabajados de forma coordinada, justificando así que se realice el control correspondiente a través de un solo PLC. Para el presente trabajo, se propondrán prácticas que, como prioridad, busquen realizar la simulación de procesos bajo condiciones que operen como las y los estudiantes requiera a través de los PLC. La primera estación era la de horneado y serrado, la cual, contaba con dos subprocessos distintos. El primero, era un horno de cocción con un alimentador que iría introduciendo las piezas dentro del mismo horno. En el otro subprocesso, se tenía una sierra que mecanizaba las piezas y que contaba con una mesa giratoria de tres posiciones y un empujador con pistón neumático. Para conectar estos subprocessos y mover las piezas, se tenía un manipulador montado sobre una guía que tomaba las piezas que salían del horno y las llevaba a la posición del manipulador de la mesa de

¹⁰ Daniel Moreno Garrido y José Vicente Salcedo Romero de Ávila (2020). Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómata SIEMENS S7-1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI. Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Valencia, España, trabajo de grado para obtener el título de master en ingeniería industrial. Versión electrónica disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/174612>, fecha de consulta 10 de abril del 2024.

serrado, a través de una ventosa neumática. Para todos los accionamientos neumáticos, el prototipo ocupaba un compresor.

Con las descripciones que brindan los autores y las características del sistema, muestran como propuesta de solución el diseño de su proceso de producción mediante el uso de un controlador lógico programable de la marca *Siemens S7-1500* con un *CPU 1512C-1*, el uso de una periferia distribuida de la marca *Phoenix Contact IL PN BK D18 DO4 2T*, el HMI de la marca *Siemens KTP700 Basic* y, para el SCADA, hicieron uso del software *WinCC* integrado en el software de la marca *Siemens TIA Portal* para la monitorización del proceso. Con los elementos anteriormente señalados, se generó la implementación de un sistema de control y monitorización de dos procesos industriales distintos trabajando de forma sincronizada, donde, el cerebro de todo el sistema era el controlador lógico programable que, mediante un programa diseñado en escalera, se generó la lógica de operación del proceso en conjunto. Mediante una red de comunicación *PROFINET* se comunican el PLC con la periferia distribuida, el HMI y la PC fueron usadas para la realización del sistema SCADA. Para la realización del módulo didáctico de periferia descentralizada, en el presente trabajo, también se contará con una red de comunicación *PROFINET*, la cual, ayudará a la comunicación entre el PLC, el variador de frecuencia, la periferia descentralizada y los dispositivos a utilizar.

El trabajo de grado anteriormente señalado guarda muchas similitudes con lo propuesto en el presente trabajo; hablando de equipo a utilizar, marcas y redes de comunicación. Se ocupa un PLC de la marca *Siemens* y el protocolo de comunicación *PROFINET* que son piezas fundamentales de nuestro trabajo.

Por otro lado, en cuanto a diferencias es importante resaltar que el trabajo de Daniel y José Vicente simula un proceso presente de fábrica y, en el presente trabajo, se diseñará un módulo didáctico que permita ser manipulado para diferentes propuestas de prácticas.

Por otro lado, se encontró que, en el año 2014, en la Universidad Carlos III de Madrid, se presentó un trabajo de fin de grado de la carrera de ingeniería electrónica industrial

y automática, titulado *Comunicación y control de hardware SIEMENS S.A. a través de PLC S7-1500*¹¹, escrito por Javier Villanueva Tena.

En este trabajo, el objetivo era implementar y programar diferentes equipos de hardware de la marca *Siemens*, para la creación conjunta de un sistema de control para un motor rotatorio. Este sistema de control debía proporcionar información en tiempo real y, la activación de dicho motor podía ser en botones de entradas digitales o a través de una pantalla táctil. De igual modo, lo que pretendía el autor con su trabajo, era controlar un motor de eje rotatorio a través de una pantalla táctil que permitiría su puesta en marcha, su parada, el incremento de velocidad de éste y otras funciones que fueron programadas y ejecutadas. En el presente trabajo, no se utilizarán dispositivos que pertenezcan únicamente a *Siemens* ya que se va a implementar una periferia descentralizada de la marca *BECKHOFF*, además, en el presente trabajo, se va a poder realizar el arranque y paro de más de un motor.

Lo anterior, fue posible gracias a diferentes tecnologías propuestas por el autor, una de las principales tecnologías es la de *PROFINET*, un protocolo de comunicación industrial que es útil para comunicar equipo industrial en un área local a un controlador. En el presente trabajo, se utiliza este protocolo de comunicación para establecer la comunicación entre el PLC, el ordenador y el variador de frecuencia. Todo lo que se tuvo que programar se programó mediante el software de *TIA Portal*, el cual, es el software con el que se estructura el código de programación de los diferentes equipos, para mostrarlos en una única interfaz que posibilitó la selección individual de cada uno de ellos.

Otra de las tecnologías que usa el autor para la puesta en marcha del motor es la de *periferia descentralizada*, la cual, sirvió para controlar las entradas y salidas de los diferentes sensores, actuadores y demás componentes industriales por medio de un mínimo cableado.

Por último, destacando las diferencias respecto del trabajo encontrado, el autor menciona que se tendrán dos maletas, en las cuales, fueron repartidas los diferentes dispositivos que se requirieron para poder realizar la comunicación mediante periferia

¹¹ Javier Villanueva Tena (2014). *Comunicación y control de hardware SIEMENS S.A. a través de PLC S7-1500*. Madrid, Universidad Carlos III de Madrid, trabajo de fin de grado para obtener el grado en ingeniería electrónica industrial y automática. Versión electrónica disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/25063>, fecha de consulta 10 de abril del 2024.

descentralizada para el arranque y paro de motores. El autor, describe que, en la primera maleta, se colocaron los siguientes dispositivos: *variador G1200, motor de 0.12KW*. En la segunda maleta, se pusieron los siguientes dispositivos: *confort panel tp700, PLC S7-1500, periferia descentralizada ET 200SP*. En el caso del presente trabajo, en vez de maletas, se utilizan las estaciones del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* y, el módulo de periferia descentralizada será lo único portable.

También, se encontró una tesis que fue presentada en el año 2018 en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna en Perú, titulada *Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento de una red de comunicación industrial mediante controladores lógicos programables (PLC's) y variadores de velocidad, utilizando el estándar de PROFINET*, para obtener el título profesional de ingeniero electrónico, escrita por Rotherick Jordán Dávila Portocarreto y José Pulgar Alarcón¹².

En dicho trabajo los autores proponen realizar dos módulos de entrenamiento para las y los estudiantes de la Universidad Privada de Tecna, estos módulos de entrenamiento están compuestos por controladores lógicos programables (PLC) y variadores de velocidad. Los autores mencionan que, en uno de los módulos, se contó con una aplicación, la cual, constó del control de velocidad de un motor trifásico por medio de un variador de velocidad de la marca *Siemens*. El control se realizó mediante un PLC de la marca *Siemens* que fue configurado para utilizar sus entradas y activarlas desde el módulo de entrenamiento. El objetivo del trabajo es similar al que se propone en el presente trabajo, ya que, se busca la implementación de módulos que sirvan de entrenamiento para el laboratorio de su universidad.

La comunicación que se utilizará en el trabajo mencionado se basa en el protocolo de comunicación *PROFINET*, el cual, se realizó por medio de un switch de Ethernet CSM 1277 de la marca *Siemens*. En este mismo trabajo, *PROFINET* fue utilizado para la conexión directa de dispositivos de campo descentralizados, ya que, utilizando un

¹² Rotherick Jordán Dávila y José Pulgar Alarcón (2018). *Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento de una red de comunicación industrial mediante controladores lógicos programables (PLC's) y variadores de velocidad, utilizando el estándar de PROFINET*. Tacna, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna, Perú, trabajo para obtener el título profesional de ingeniero electrónico. Versión electrónica disponible en: <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1076>, fecha de consulta 10 de abril del 2024.

comutador (switch), todos los dispositivos se comunican y envían información hasta el ordenador. En el presente trabajo, se utilizará el protocolo de comunicación *PROFINET*, un switch Ethernet y un acoplador de bus *PROFINET IO* que realice la comunicación entre los tableros y los módulos con los que cuentan el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*.

En esta tesis se ocupan dispositivos similares a los que se tienen en el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* como el PLC *Siemens S7-1200* y el variador de velocidad *SINAMICS G120*, lo que servirá de fuente de consulta para el proceso de comunicación entre estos dispositivos bajo el protocolo *PROFINET*, ya que, las y los estudiantes, utilizarán el software *TIA Portal*, ya que en este se ejecutará la comunicación y puesta en marcha de los dispositivos que se ocuparán en el presente trabajo. La única diferencia será el uso del acoplador de bus *EK9300* de la marca *Beckhoff*.

Por último, se utilizará de referencia el trabajo terminal presentado en el presente año en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) unidad Zácatenco titulado *Desarrollo de un módulo didáctico con PLC y tablero de control electromagnético para la actualización de prácticas en la materia de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, elaborado por Saúl Joshel Lozada Polo y Marco Antonio Méndez Vargas para obtener el título de ingenieros en control y automatización.

Se dará continuidad a dicho trabajo y se utilizará la información necesaria para la construcción del módulo y el desarrollo de las prácticas a proponer.

Los antecedentes anteriormente expuestos serán de ayuda al momento de buscar información respecto a los dispositivos, conceptos y metodologías que tienen relación con el presente trabajo. Aunque no estén enfocados al mismo objetivo, se puede decir que, en la variedad de los antecedentes existen similitudes respecto a las aplicaciones de los dispositivos y elementos que se utilizan, por lo tanto, no sólo servirán de apoyo para conceptos, sino que también, como fuente de consulta para la parte práctica.

Capítulo 1. Marco teórico

A lo largo de este capítulo se desarrollará conceptualización teórica de los elementos que componen la elaboración de prácticas complementarias de periferia descentralizada y del protocolo de comunicación *PROFINET*, así mismo, se presentan conceptos de automatización que servirán de referencia a lo largo del proyecto.

Este proyecto se realizó con el interés académico de emplear el aprendizaje obtenido en el transcurso de la carrera, especialmente, en la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, construyendo un módulo didáctico para proponer prácticas de automatización industrial.

Como metodología de recolección de información, se consultaron fuentes primarias y secundarias como libros, tesis, artículos científicos, revistas técnicas, páginas web de empresas y páginas web especializadas, acotadas de manera correcta para la posterior consulta de futuros lectores.

El objetivo de este capítulo es presentar la teoría y respaldar la información de los conceptos que formarán parte del desarrollo y elaboración del proyecto, ya que servirán de sustento y referencia del presente trabajo. Dichos conceptos serán desarrollados de manera que exista una clara relación entre ellos.

Como punto de partida se mencionan los conceptos referidos al *control de máquinas y procesos eléctricos*, así como del control electromagnético. Posteriormente se tocan los conceptos del controlador lógico programable, protocolo de comunicación *PROFINET*, variador de frecuencia e interfaz hombre-maquina. Por último, se mencionan los conceptos de periferia descentralizada necesarios para el entendimiento de los objetivos del desarrollo del presente proyecto.

Por lo antes mencionado, el primer concepto a desarrollar será el control de máquinas y procesos eléctricos.

1.1 Control de Máquinas y Procesos Eléctricos

El *control de máquinas y procesos eléctricos* es fundamental para el desarrollo de diversos procesos industriales. Debido a la amplia disponibilidad de energía eléctrica, los motores eléctricos son casi universalmente empleados en las modernas instalaciones comerciales e industriales para el suministro de potencia mecánica, con el propósito de accionar la maquinaria y controlar diversas operaciones industriales. Dicha maquinaria u otros dispositivos mecánicos conectados al eje del motor se llaman cargas. En diversos casos las cargas demandan diferentes configuraciones de velocidad en uno u otro sentido. La energía suministrada al motor es dependiente de la carga, mediante las exigencias que demande la carga se programa y se controla la velocidad y el sentido de giro que se desean, la programación y configuración de estos aspectos es gracias a dispositivos denominados como controladores o variadores¹³.

1.2 Control electromagnético

Un proceso industrial es un conjunto de pasos a seguir con el fin de desarrollar una actividad ligada a la productividad. El control industrial optimiza esta productividad aumentándola, reduciendo tiempos y mejorando su calidad. En procesos industriales, operaciones como el arranque, paro, inversión de marcha, variación de velocidad y torque de motores son usadas con frecuencia.

El control eléctrico es una técnica que dispone de un conjunto de elementos físicos interconectados con el propósito de regular energía mediante tareas de control. Para los sistemas eléctricos, los tipos de control se definen con el tipo de carga y la tarea de control de la aplicación específica. Estos sistemas se clasifican en: eléctricos, electromagnéticos y electrónicos.

Los sistemas de control electromagnético cuentan con dispositivos que presentan características ventajosas para realizar acciones de regulación y control que requieren cargas industriales como el motor eléctrico. Estos sistemas traen ventajas consigo como la centralización del control del sistema, seguridad para operarios, la reducción

¹³ Irving L. Kosow (1977) *Control de máquinas eléctricas*. Editorial Reverté. Pp 1.

de esfuerzo humano en tareas de acción física e intelectual y la posibilidad de automatizar.

Un sistema eléctrico de control está compuesto por una etapa de control y una de fuerza. La etapa de control es el arreglo de conexiones eléctricas que siguen un diseño definido en base a consignas de operación y la etapa de fuerza son las conexiones a nivel de tensión de servicio del motor o equipo a poner en marcha ejecutadas en secuencia a la etapa de control previa¹⁴.

La simbología de estas conexiones esta referida a la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 1082-1. Esta norma fomenta los símbolos gráficos y las reglas numéricas o alfanuméricas que deben utilizarse para identificar aparatos y diseñar esquemas¹⁵.

Existen diferentes tipos de dispositivos electromagnéticos con distintas aplicaciones, los tableros de control electromagnético del laboratorio de la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* del programa de ICA de la ESIME Zacatenco, son un ejemplo de ello y cuentan con dispositivos como: contactores, relevadores, bobinas y motores eléctricos.

1.2.1 Botones pulsadores.

La empresa peruana dedicada a la comercialización y distribución de materiales eléctricos *Promelsa*, en su blog, tiene un artículo titulado *¿Qué es un pulsador y cómo elegir el adecuado?*, donde definen al botón pulsador como “un actuador eléctrico que, al ser presionado, puede cerrar o abrir los circuitos eléctricos a los que está conectado. Estos dispositivos están diseñados para ser fácilmente identificables y suelen estar fabricados con materiales duraderos, como el plástico o metal para soportar un número de operaciones determinadas”¹⁶.

El botón pulsador momentáneo es aquel que se activa solamente al mantenerse presionado y al momento de soltarse, el pulsador volverá a su estado original.

¹⁴ Ordoñez, S. Resabala, B. (2020) *Control Eléctrico Industrial. Análisis, Diseño y Ejercicios Resueltos*. Editorial Académica Española. Pp. 65

¹⁵ Schneider Electric S.A (1999). Manual electrotécnico, Telesquemario, Telemecanique. España.

¹⁶ Disponible en: <https://www.promelsa.com.pe/blog/post/que-es-pulsador-electrico.html#:~:text=Un%20pulsador%20es%20un%20actuador,seguridad%20en%20los%20trabajos%20el%C3%A9ctricos?> fecha de consulta: 16 de abril del 2024

Los botones pulsadores normalmente abiertos no permiten el flujo de la corriente a menos que sean activados por presión, y al ser soltados, el circuito se vuelve a interrumpir. En la figura uno se puede observar la representación simbólica de botón pulsador normalmente abierto (IEC 1082-1).

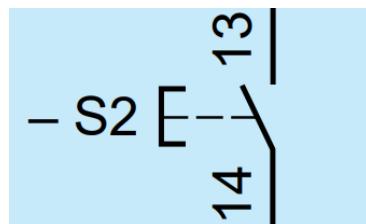


Figura 1. Representación simbólica de botón pulsador normalmente abierto (IEC 1082-1).

Los botones pulsadores normalmente cerrados funcionan de manera opuesta, ya que, al no ejercer presión, la electricidad puede fluir por el circuito, pero al ser presionados, el circuito se abre¹⁷. En figura dos se puede ver la representación simbólica de botón pulsador normalmente cerrado (IEC 1082-1).

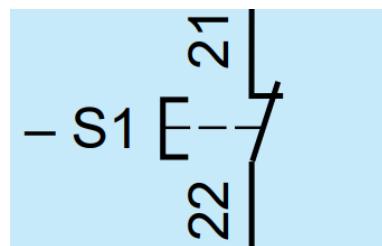


Figura 2. Representación simbólica de botón pulsador normalmente cerrado (IEC 1082-1).

1.2.2 Contactor electromagnético.

El contactor electromagnético es un dispositivo mecánico para conmutación todo o nada controlado mediante un electroimán. Cuando se energiza la bobina del electroimán, esta genera un campo electromotriz que atrae la armadura del electroimán, lo que permite la apertura y cierre de los contactos auxiliares de la etapa de fuerza¹⁸. En la figura tres se observa la representación física de contactor y en la figura cuatro se puede ver la representación simbólica del contactor (IEC 1082-1).

¹⁷ Ibid

¹⁸ Ordoñez S. Resabala, B. (2020) *Control Eléctrico Industrial. Análisis, Diseño y Ejercicios Resueltos*. Editorial Académica Española.



Figura 3. Representación física de contactor (elaboración propia).

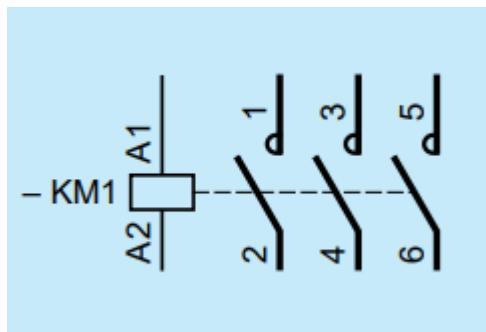


Figura 4. Representación simbólica del contactor (IEC 1082-1).

Cuando los polos 'A1' y 'A2' se energizan, el electroimán opera y cierra los contactos auxiliares, aislando las señales de control y fuerza para la activación de motores mediante interruptores o botones pulsadores.

1.2.3 Motor eléctrico trifásico de corriente alterna

Los motores eléctricos de corriente alterna, son dispositivos que cuentan con una característica en común, la cual es que todos los motores de corriente alterna cuentan con un campo magnético rotatorio producido por el devanado del estator. Este concepto puede ser ilustrado para los motores trifásicos, considerando tres bobinas localizadas a 120° , cada bobina está conectada a una fase de una alimentación trifásica¹⁹. En la figura cinco se puede observar el desarrollo de un campo magnético rotatorio.

¹⁹ Enriquez Harper (2003) El ABC del control electrónico de las maquinas eléctricas. Editorial Limusa. Pp. 184.

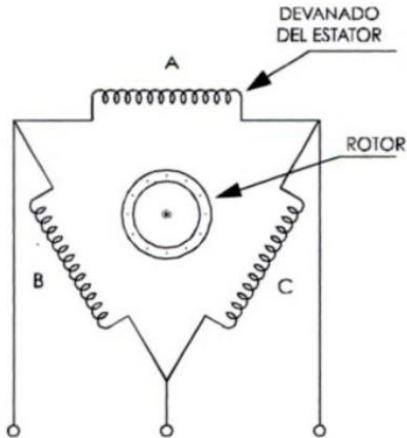


Figura 5. Desarrollo de un campo magnético rotatorio.²⁰

Los motores de corriente alterna tienen dos clasificaciones, estas clasificaciones dependen de los devanados del rotor, los cuales son:

- Motor eléctrico de corriente alterna de *rotor devanado*: Son motores de corriente alterna que tienen tres bobinas semejantes a las bobinas del estator, las terminales de las bobinas del rotor están conectadas a anillos rozantes aislados montados sobre el eje del rotor; escobillas de carbón montadas sobre estos anillos, hacen que las terminales del rotor estén disponibles para el usuario.
- Motor eléctrico de corriente alterna de *rotor tipo jaula de ardilla*: Son motores de corriente alterna que cuentan con barras embebidas en ranuras en el núcleo magnético del rotor, estas barras están en cortocircuito en cada extremo por medio de anillos conductores. El nombre de jaula de ardilla se le da debido a su rotor parecido al rotor de este juguete²¹.

Las características de los motores eléctricos suponen una gran ventaja ante los motores convencionales como los motores térmicos o de combustión, una de las principales ventajas con las que cuentan los motores eléctricos de frente a los motores de combustión, es que, los motores eléctricos, son sustentables, a diferencia de los motores de combustión, que son uno de los principales responsables de las altas emisiones de dióxido de azufre²².

²⁰ Ibid.

²¹ Ibid.

²² Ibid.

Los motores eléctricos que se encuentran dentro del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* son motores trifásicos de corriente alterna de tipo jaula de ardilla.

1.2.4 Protecciones eléctricas para motores

Las protecciones eléctricas para motores tienen gran relevancia debido a que en la mayoría de los procesos industriales se utilizan motores eléctricos para diversas aplicaciones, que van desde bombas, ventiladores, bandas de transportación, entre otros.

El grupo mexicano de consultores eléctricos especializados ORS, cuenta con un artículo en su página web titulado *Normas oficiales mexicanas: La NOM-001-SEDE y su importancia para la seguridad eléctrica* el cual menciona que la NOM-001-SEDE-2012 “nos habla acerca de la regulación de necesidades técnicas que se requiere para la utilización de la energía eléctrica en instalaciones eléctricas en todo el ámbito nacional”²³. Existen dos tipos de protecciones eléctricas para motores, por un lado, están las protecciones de sobrecarga y, por otro lado, se tienen protecciones contra cortocircuito y fallas a tierra²⁴.

La empresa estadounidense C3controls, especializada en la fabricación de componentes eléctricos y de control industrial, en su página web, en la sección de *Documentos Técnicos*, tienen un artículo titulado *Relés de sobrecarga: tipos y disparos ¿Qué es la protección contra sobrecarga?* (sin datos de autor, ni fecha de publicación), donde mencionan que “cuando el motor consume un exceso de corriente, se denomina sobrecarga. Esto puede causar un sobrecalentamiento del motor y dañar los devanados del motor. Debido a esto, es importante proteger el motor, el circuito derivado del motor y los componentes del circuito derivado del motor de condiciones de sobrecarga”²⁵.

Aunque los propios fusibles presentan, naturalmente, la protección de corto circuitos o de corriente máxima de ruptura, su protección contra sobrecarga esta algo limitada.

²³ Disponible en: <https://grupoors.com.mx/2023/05/23/normas-oficiales-mexicanas-la-nom-001-sede-y-su-importancia-para-la-seguridad-electrica/>, fecha de consulta 03 de mayo del 2024.

²⁴ Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/512096/NOM-001-SEDE-2012.pdf>, fecha de consulta 03 de mayo del 2024.

²⁵ Disponible en: <https://www.c3controls.com/es/documento-tecnico/reles-de-sobrecarga-tipos-y-disparos-que-es-la-proteccion-contra-sobrecarga/>, fecha de consulta 03 de mayo del 2024.

Los relés están proyectados para funcionar desde el 110 hasta el 250 por ciento de sobrecarga con corrientes máximas de ruptura de hasta 10 veces la corriente nominal²⁶.

Por otro lado, la empresa multinacional estadounidense que se especializa en la fabricación, desarrollo y comercialización de tecnología y productos relacionados con la informática *Dell Technologies*, en su página web, en la sección de *Soporte / Artículo de base de conocimientos*, tienen un artículo titulado *Información sobre protectores contra sobrecarga y cómo funcionan* (sin datos de autor), publicado en agosto del 2024, donde mencionan que “un protector contra sobrecarga, también conocido como supresor de sobrecarga, es un dispositivo que está diseñado para proteger a los equipos electrónicos contra sobrecargas o "picos" de electricidad no deseados”²⁷.

La empresa estadounidense *Dreiym Engineering*, especializada en trabajos de consultoría y diseño para eléctrico y sistemas catódicos, en su página web, tiene un artículo titulado *Fallo a tierra frente a cortocircuito: La diferencia y cómo prevenir los riesgos*, escrito por la usuaria de nombre Angela y publicado en diciembre del 2021, donde menciona que “un fallo a tierra es un tipo de fallo eléctrico que se produce cuando una corriente eléctrica escapa de su trayectoria prevista y fluye hacia la tierra a través de un conductor no previsto. Esto puede ocurrir cuando un cable eléctrico está dañado, expuesto o mojado y entra en contacto con un objeto metálico, una persona o la tierra. Un fallo a tierra puede provocar una descarga, un incendio o daños en el sistema eléctrico”²⁸, por otro lado, mencionan de igual modo que “un cortocircuito es otro tipo de fallo eléctrico que se produce cuando una corriente eléctrica se salta su trayectoria prevista y fluye directamente a la fuente de energía. Esto puede ocurrir cuando dos cables se tocan, creando una vía de baja resistencia para la corriente”²⁹. La empresa suizo-sueca ABB, la cual es una empresa multinacional, líder en tecnología que ofrece soluciones en los sectores de energía y automatización, en su página web, en la sección de *Productos / Relés térmicos de sobrecarga*, tiene un

²⁶ Enríquez Harper (2003) El ABC del control electrónico de las maquinas eléctricas. Editorial Limusa.

²⁷ Disponible en: <https://www.dell.com/support/kbdoc/es-mx/000145629/informaci%C3%B3n-sobre-protectores-contra-sobrecarga-y-c%C3%B3mo-funcionan-art%C3%ADculo-de-la-base-de-conocimientos-120517>, fecha de consulta 03 de mayo del 2024.

²⁸ Disponible en: <https://www.dreiym.com/es/2021/12/10/fallo-a-tierra-vs-cortocircuito-las-diferencias/>, fecha de consulta 07 de mayo del 2024.

²⁹ Ibid.

artículo titulado *Relés térmicos de sobrecarga* (sin datos de autor ni fecha de publicación) donde mencionan que: “los relés de sobrecarga térmicos son dispositivos electromecánicos de protección económicos para el circuito principal. Protegen de manera fiable los motores en caso de que ocurra una sobretensión o un fallo de fase. El relé de sobrecarga térmico puede constituir una solución de arranque compacta junto a contactores”³⁰. Tomando esto en cuenta, se puede entender de qué manera protegerá el relé térmico de sobrecarga al motor, en este caso, cuando el motor recibe un exceso de carga eléctrica, se comienza a sobrecalentar, este relé térmico de sobrecarga mide continuamente la temperatura interna del motor y la corriente que está recibiendo. El relé, internamente, cuenta con una placa bimetálica, la cual, con un aumento de temperatura, se comienza a dilatar, para que, de esta manera, ocasione un corte automático de corriente, manteniéndose así hasta que la temperatura interna del motor comience a disminuir y, por consecuencia, que la placa bimetálica se enfrié y recupere su posición original³¹.

1.2.5 Diseño y simulación digital de diagramas de conexiones eléctricas de control y fuerza

CADe simu es un programa electrotécnico para hacer diagramas eléctricos de control que permite realizar simulaciones en cualquier circuito común de contactores. Permite también la detección y solución de problemas que se presenten durante la ejecución de la simulación³². La simbología de las librerías de componentes que dispone el software están bajo la norma IEC 1082-1, lo que permite el diseño y la simulación de diagramas de circuitos de control y fuerza utilizando actuadores eléctricos, contactores, protecciones y motores.

1.3 Controlador Lógico Programable

El controlador lógico programable, comúnmente conocido como PLC, por sus siglas en inglés (*Programmable Logic Controller*), juega un papel fundamental en la industria,

³⁰ Disponible en: <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/control-y-proteccion-de-motores/contactores-tripolares-y-reles-de-sobrecarga/reles-termicos-de-sobrecarga>, fecha de consulta 07 de mayo del 2024.

³¹ Enríquez Harper (2003) El ABC del control electrónico de las máquinas eléctricas. Editorial Limusa.

³² Disponible en: <https://cade-simu.com/cade-simu-tutorial/> fecha de consulta: 16 de abril del 2024

ya que, son los principales encargados de los sistemas de control de procesos industriales.

Debido a que los PLC se han vuelto indispensables en plantas de producción y otros procesos de automatización, la mayoría de las empresas, paneles, blogs y artículos, comparten una definición muy similar de lo que es el PLC, por ejemplo, *IMEPI* (Ingeniería e Innovación en Automatización y Control de Procesos), panel mexicano de expertos en automatización y control de procesos industriales, que desarrolla ingeniería, productos y servicios enfocados a la automatización y el control, tiene un artículo en su sitio web titulado *¿Qué es un PLC? Una introducción a los controladores lógicos programables y su papel en la Automatización Industrial* (sin fecha de publicación ni datos de autor) donde mencionan que “un PLC, o Controlador Lógico Programable, es esencialmente una computadora industrial que ha sido especialmente diseñada y optimizada para controlar y supervisar procesos industriales y maquinaria”³³. Debido a esto, se puede decir que, los PLC son el cerebro de un proceso industrial encargado de ejecutar funciones programadas respecto a las entradas y salidas que este demande.

Una definición más precisa de lo que son estos dispositivos es la que presenta la asociación industrial estadounidense *Asociación Nacional de Manufacturas Eléctricas*, donde dice que el PLC es “un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos (1-5 VDC, 4-20 mA, etc.) varios tipos de máquinas o procesos”³⁴.

Para el presente trabajo, se trabajará con un PLC S7-1200 de la marca *Siemens*, debido a que es equipo con el que cuenta el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* del programa de ICA de la ESIME Zacetenco.

El PLC S7-1200 es un controlador lógico programable de la serie SIMATIC fabricado por la empresa tecnológica alemana *Siemens*, que ofrece la flexibilidad y potencia

³³ Disponible en: <https://imepi.com.mx/que-es-un-plc-una-introduccion-a-los-controladores-logicos-programables-y-su-papel-en-la-automatizacion-industrial/>, fecha de consulta: 22 de junio del 2024.

³⁴ National Electrical Manufacturers Association. Definición de PLC. s/p.

necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para distintas necesidades de automatización. La unidad central de procesamiento de este dispositivo incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entradas y salidas, *PROFINET* integrado, así como entradas/salidas digitales y analógicas incorporadas en una carcasa compacta³⁵.

1.3.1 IEC 61131

La norma IEC 61131 es un estándar internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional que define las especificaciones de los controladores lógicos programables cubriendo aspectos como características principales de los PLC, requisitos mínimos de seguridad, operación, lenguajes de programación, tipos de comunicación y especificaciones³⁶.

1.3.2 TIA Portal.

El software *TIA Portal* por sus siglas en inglés (Totally integrated Automation Portal) es considerado como una herramienta que integra diferentes softwares de *Siemens* como: *SIMATIC STEP 7*, *WinCC*, componentes y módulos para soluciones de automatización basadas en PC con *SIMATIC*³⁷.

SIMATIC es una serie de controladores lógicos programables y sistemas de automatización desarrollado por *Siemens* y *STEP 7* es un software de *Siemens* utilizado para programar y configurar los sistemas de automatización *SIMATIC*³⁸.

El Centro de Formación Técnica para la Industria de Barcelona, dedicado a impartir cursos de formación de alta calidad, en su página web, tiene un artículo titulado *TIA Portal: ¿Qué es y para qué sirve?* (sin datos de autor ni fecha de publicación) donde mencionan que las principales funciones del software *TIA Portal* son:

- Programación de PLC: Permite desarrollar y depurar programas para los PLC S7-1200, S7-1500, S7-300 y S7-400, utilizando lenguajes de programación.

³⁵ Siemens (2014). *Manual de sistema SIMATIC S7 Controlador Programable 1200*, Alemania. pág. 23.

³⁶ Disponible en: <https://www.autacen.com/blog/viajes-1/conoce-la-norma-iec-61131-50> fecha de consulta: 22 de junio del 2024.

³⁷ Mejía, A. Álvarez, J. (2017). *TIA Portal. Aplicaciones de PLC*. Instituto Tecnológico Metropolitano

³⁸ Ignacio Rodríguez Planas. Automatización del paletizado de una línea de cajas de botellas. Proyecto final de carrera de Ingeniería en Telecomunicación, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, España. Pág. 76.

- Configuración de HMI: Facilita la creación y edición de interfaces de operador para visualizar y controlar procesos industriales en tiempo real.
- Integración de dispositivos: Facilita la integración de dispositivos como variadores de frecuencia, servomotores y módulos de entrada/salida, a través de una única plataforma de programación.
- Diagnóstico y mantenimiento: Permite diagnosticar fallos para simplificar el mantenimiento y la resolución de problemas³⁹.

Para el desarrollo de las prácticas complementarias propuestas en el presente trabajo, se utilizará el software *TIA Portal*, debido a que los PLC, variadores de frecuencia y HMI, con los que se cuenta dentro del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, son de la marca *Siemens*.

1.3.3 Lenguaje de programación en escalera

El diagrama en escalera es un lenguaje de programación contemplado en la norma *IEC 61131-3*. El nombre de este método de programación proviene de la semejanza con los esquemas eléctricos de control clásicos. Este lenguaje se utiliza para describir la operación eléctrica de distintos tipos de máquinas y sintetizar un sistema de control para que, con las herramientas adecuadas, realice la programación del PLC.

En este lenguaje la energía se desplaza de izquierda a derecha y se utilizan contactos (equivalentes a accionamientos como interruptores, botones pulsadores, sensores, temporizadores, etc.) y bobinas (equivalentes a cargas como bobinas de relés, lámparas, contactores, etc.) que asemejan las entradas y salidas digitales del controlador lógico programable que pueden tomar dos estados, abierto o cerrado, 0 o 1⁴⁰. En la figura seis se observa un ejemplo de contactos y bobina en lenguaje escalera

³⁹ Disponible en: <https://www.cursoaula21.com/tia-portal/>, fecha de consulta: 29 de julio del 2024

⁴⁰ Disponible en: <http://www.albertobrunete.es/automatica/diagrama-de-escalera-kop.html> fecha de consulta: 20 de julio del 2024.

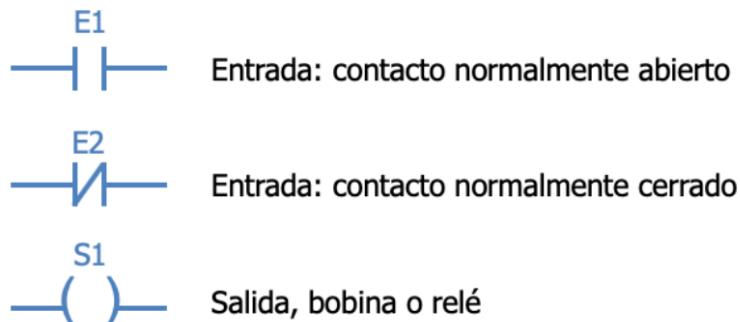


Figura 6. Ejemplo de contactos y bobina en lenguaje escalera⁴¹.

TIA Portal ofrece también la implementación de instrucciones a la programación en escalera que permiten realizar otras funciones, como el temporizador de retardo a la conexión TON.

La plataforma de educación en línea *IngeLearn* de origen argentino, la cual esta especializa en temas de automatización industrial, ingeniería eléctrica, robótica, Industria 4.0 y programación de PLC, en su página web, en la sección de Blog, tiene un artículo titulado *Temporizadores en TIA PORTAL – Cómo Funcionan*, escrito por Esteban (sin fecha de publicación), donde menciona que: “un temporizador TON, también llamado temporizador de retardo a la activación, es una instrucción que comienza a cronometrar cuando el parámetro de entrada (IN) cambia de 0 a 1. Cuando el tiempo transcurrido (ET) alcanza el tiempo preestablecido (PT), el parámetro de salida (Q) cambia de 0 a 1.

Q permanece en 1 hasta que IN pasa de 1 a 0. Si IN pasa de 1 a 0 antes de que ET sea igual a PT, el temporizador detiene el tiempo, ET se restablece a 0 y Q permanece en 0. El PT y los valores de ET se almacenan en el bloque de datos (DB) asociado con la instrucción⁴². En la figura siete se observa el bloque de Instrucción TON en *TIA Portal*.

⁴¹ Ibid

⁴² Disponible en: <https://ingelearn.com/temporizadores-en-tia-portal-como-funcionan/>, fecha de consulta 10 de julio del 2024.

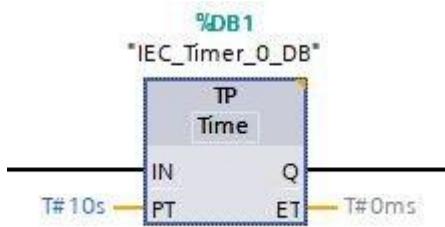


Figura 7. Instrucción TON en *TIA Portal* (elaboración propia).

De igual forma, el software ofrece bloques para el control de accionamientos como el *SINA_SPEED*. Este bloque permite el control de un motor con variador de frecuencia G120X mediante la programación de un SIMATIC S7-1200.

1.4 PROFINET

Hoy en día, el protocolo de comunicación *PROFINET*, es uno de los más empleados en la industria, debido a factores que aportan grandes ventajas al proceso industrial donde se esté usando dicho protocolo de comunicación.

Burkert Fluid Control Systems, empresa alemana líder en el diseño, fabricación y suministro de soluciones para el control de fluidos, en su página web, en la sección de *Servicio & Asistencia*, tienen un artículo titulado *PROFINET: el estándar de comunicación seguro para las redes industriales*, (sin datos de autor ni fecha de publicación), donde mencionan que “*PROFINET* es resultado del desarrollo de PROFIBUS, y supone una ampliación de este estándar de bus de campo con nuevas y útiles aplicaciones basadas en Ethernet industrial.

PROFINET (Process Field Network) es un estándar de comunicación basado en Ethernet industrial con un amplio espectro de aplicación. El bus de campo utiliza estándares TCP/IP e IT, funciona en tiempo real y permite la integración de sistemas de bus de campo. *PROFINET* ha sido desarrollado por *Siemens* y por las empresas pertenecientes a la asociación de usuarios de PROFIBUS (PNO), y se utiliza en combinación con los sistemas de control de *Siemens*. *PROFINET* se ha estandarizado con respecto a las normas IEC 61158 e IEC 61784 y, como tecnología de

comunicación universal, cubre todas las necesidades dentro de la tecnología de automatización”⁴³.

Por otro lado, el *Centro de Formación con Certificación Internacional de PROFIBUS-PROFINET*, procedente de Argentina, dedicado a la certificación en *PROFIBUS Y PROFINET*, en su página web, tienen un artículo titulado *PROFINET: ¿Qué es y cómo funciona?*, (sin datos de autor) publicado en noviembre del 2023, donde mencionan que “el estándar *PROFINET* es una tecnología de red de campo para la comunicación entre equipos industriales y controladores. Está basado en Ethernet y se usa para interconectar dispositivos dentro de sistemas automatizados para el ahorro de tiempo, reducción de costes y mejora del rendimiento. El estándar *PROFINET* ofrece los siguientes beneficios:

En primer lugar, proporciona alta velocidad de comunicación a partir de 100 Mbps, lo que permite realizar múltiples tareas simultáneamente al mismo tiempo.

También admite protocolos flexibles para permitir a los dispositivos compartir información sin conflictos.

Además, el estándar *PROFINET* ofrece una arquitectura escalable que permite añadir dispositivos fácilmente según sea necesario. Utiliza estructuras jerárquicas complejas, lo que facilita la gestión del sistema, y también posee capacidades autodescriptivas e interoperables que simplifican el diseño y la configuración de redes.

Por otro lado, el estándar *PROFINET*, al estar basado en Ethernet (IEEE 802.3), es compatible con otros protocolos como TCP-UDP/IP, SNMP, LLDP, DHCP. Esto significa que se puede manejar múltiples protocolos en un único sistema sin complicaciones adicionales.

Además, cuenta con seguridad integrada para proteger sus datos confidenciales contra cualquier intruso externo o ataque malicioso.

Finalmente, el estándar *PROFINET* ofrece funciones avanzadas como monitorización en tiempo real, diagnóstico remoto y análisis predictivo de fallas para ayudar a los operadores en su procesamiento industrial diario. Estas características contribuyen enormemente a la eficiencia operacional al permitir que los problemas detectados se

⁴³ Disponible en: <https://www.burkert.es/es/servicio-asistencia/centro-de-documentacion/glosario/PROFINET-el-estandar-de-comunicacion-seguro-para-las-redes-industriales>, fecha de consulta 17 de julio del 2024.

aborden inmediatamente antes de que cause un daño significativo a los activos o producción del negocio industrial. Además, el estándar *PROFINET* cuenta con funciones para garantizar la integridad dentro del sistema industrial al permitir verificar regularmente sus componentes contra versiones anteriores no autorizadas o desactualizadas⁴⁴.

Para la realización de este trabajo, se va a usar el protocolo de comunicación *PROFINET*, que servirá para realizar la comunicación entre los diversos dispositivos que se emplearán en las prácticas propuestas (PLC, variador de frecuencia, motor, relés, etcétera), con el fin de que las y los estudiantes, obtengan conocimientos de dicho protocolo de comunicación.

1.4.1 Estándar IEEE 802.3 Ethernet

El estándar IEEE 802.3 es fundamental para la automatización de procesos industriales ya que este estándar permite la comunicación estandarizada entre dispositivos de diferentes fabricantes, esto es crucial ya que hay plantas de producción que cuentan con dispositivos de diferentes fabricantes y el poder comunicarlos de una manera estandarizada es una gran ayuda para la correcta operación de los procesos industriales automatizados.

Ionos Digital Guide, plataforma en línea de contenido educativo y técnico creada por Ionos , un proveedor de servicios de hosting, dominios y soluciones en la nube, cuenta con un artículo en su página web, en la sección de Digital Guide/Servidores/Know How/Ethernet (IEEE 802.3), tiene un articulado titulado *¿Qué es Ethernet (IEEE 802.3)?* escrito por el equipo editorial de IONON, publicado en diciembre de 2022, donde mencionan que: “Ethernet es una tecnología para redes de datos por cable que vincula software y/o hardware entre sí. Esto se realiza a través de cables de redes LAN, de ahí que Ethernet sea concebido habitualmente como una tecnología LAN. Así, Ethernet permite el intercambio de datos entre terminales como, por ejemplo, ordenadores, impresoras, servidores, distribuidores, etc. Conectados en una red local, estos dispositivos establecen conexiones mediante el protocolo Ethernet y pueden

⁴⁴ Disponible en: <https://profibus.com.ar/profinet-que-es-y-como-funciona/>, fecha de consulta 18 de julio del 2024.

intercambiar paquetes de datos entre sí. El protocolo actual y más extendido para ello es IEEE 802.3”⁴⁵

Para la realización del presente trabajo es importante tomar en cuenta este estándar ya que al usar protocolo *PROFINET* para la realización de la propuesta de prácticas complementarias se necesita tomar en cuenta esta norma para aspectos como la comunicación entre la computadora y el acoplador de bus de campo EK9300 y tener en cuenta cual es el tamaño máximo permitido que puede tener el cableado para comunicar dispositivos.

1.4.2 Switch o conmutador Ethernet

Hoy en día los switches o conmutadores de red son dispositivos clave tanto en la vida cotidiana como en el ámbito industrial, estos dispositivos son clave ya que permiten tener un entorno comunicado, por lo que es común encontrarlos en lugares tales como casas, oficinas, edificios, plantas industriales, entre muchos otros lugares.

La empresa multinacional de origen estadounidense CISCO, especializada en soluciones de tecnología de la información y redes, en su página web, en la sección Soluciones/Soluciones tecnológicas para empresas pequeñas y medianas/Centro de recursos técnico de Cisco para pequeñas y medianas empresas/Redes para pequeñas empresas: recursos, tiene un artículo titulado *¿Cómo funciona un switch?*, (sin datos de autor, ni fecha de publicación), donde mencionan que “los switches son piezas de construcción clave para cualquier red ya que permiten a los dispositivos conectados compartir información y comunicarse entre sí”⁴⁶.

La empresa de origen chino FS, el cual es un proveedor confiable de productos y soluciones TIC para clientes empresariales en todo el mundo, en su página web, en la sección Comunidad FS/Centro de Conocimiento/Definición, tipos y precio de switch de red, cuenta con un artículo titulado *Definición, tipos y precio de switch de red*, escrito por Juan, publicado en enero de 2022, donde menciona que “en términos generales, hay dos tipos de switch de red: switch WAN y switch LAN. El switch WAN

⁴⁵ Disponible en: <https://www.ionos.mx/digitalguide/servidores/know-how/ethernet-ieee-8023/>, fecha de consulta: 18 de julio del 2024.

⁴⁶ Disponible en: https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/small-business/resource-center/networking/network-switch-how.html, fecha de consulta 22 de julio del 2024.

se utiliza principalmente en el campo de las telecomunicaciones para proporcionar una plataforma de comunicación básica. El switch de red LAN se utiliza en la red de área local para conectarse a dispositivos terminales, como PC e impresoras de red”⁴⁷. Para la realización del presente trabajo se utilizará un switch de tipo LAN para poder comunicar al módulo didáctico de periferia descentralizada, el ordenador en donde se tendrá el software *TIA Portal*, el variador de frecuencia y el PLC que se usará para la realización de las prácticas complementarias propuestas.

1.4.3 Topología de red en estrella.

La conexión entre dispositivos en un área de red local es muy importante, lo primero que caracteriza una red local es la manera en que se conectan diferentes estaciones, es decir, la forma que adopta el medio compartido entre las mismas. Básicamente existen tres topologías posibles:

- Topología en estrella.
- Topología en bus.
- Topología en anillo.

La topología en estrella consiste en conectar cada ordenador o dispositivo a un punto central, que puede ser tan sencilla como una simple unión física de los cables.

Cuando un ordenador o algún dispositivo manda alguna tarea o trama en la red, esta aparece de inmediato en las entradas del resto de ordenadores⁴⁸.

Para el desarrollo del presente trabajo se va a utilizar la topología de red en estrella, mediante esta topología se van a comunicar el ordenador, el PLC S7-1200, el módulo de periferia descentralizada y el variador de frecuencia SINAMICS G120 mediante un switch o comutador Ethernet el cual es el punto central, ahí llegarán los cables Ethernet de cada dispositivo mencionado. En la figura 8 se observa un esquema de topología de red en estrella

⁴⁷ Disponible en: <https://community.fs.com/es/article/definicion-y-tipos-de-switch-de-red.html>, fecha de consulta: 02 de agosto del 2024.

⁴⁸ Barceló Ordinas J. M. Íñigo Griera J. (2004) *Redes de computadores*. Editorial: UOC. Pp. 55.

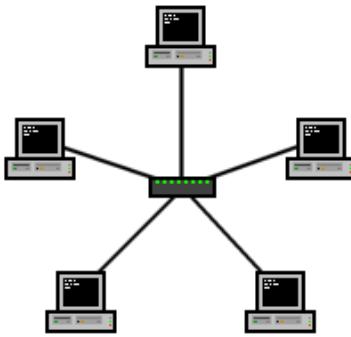


Figura 8. Esquema de topología de red en Estrella.

1.4.4 Dirección IP

Las direcciones IP son fundamentales en los diversos procesos industriales ya que dentro de las plantas de producción hay diversos dispositivos que tienen la posibilidad de comunicarse usando su dirección IP, es importante mencionar que las direcciones son únicas para cada máquina, es decir, cada dirección es única para cada una de las interfaces de red IP de cada máquina. Las direcciones IP tienen una longitud de 32 bits (4 bytes). Para representar una dirección, se suele escribir los 4 bytes en decimal y separados por puntos. Por ejemplo: 192.168.1.26. La numeración en IP sigue una filosofía jerárquica. Cada dirección está formada por dos partes, una corresponde a la red donde está la estación y la otra, a la propia estación⁴⁹.

Para la realización del presente trabajo se va a hacer uso de las direcciones IP para poder lograr la correcta comunicación entre cada uno de los dispositivos que interactúan, cada dispositivo va a contar con una IP diferente lo que va a permitir que no existan errores en la comunicación.

1.5 Variador de frecuencia

Los motores son elementos que están presentes en la mayoría de los procesos industriales. Los motores eléctricos necesitan una cantidad de energía eléctrica determinada para activarse y adquirir magnitudes físicas como la velocidad y el torque. La velocidad de un motor debe ajustarse a las necesidades que demande el proceso

⁴⁹ Ibid.

o actividad a realizar con la intención de utilizar solamente la cantidad necesaria de energía eléctrica.

La empresa sueca-suiza *ABB*, dedicada a la electrificación y automatización, en su página web, en la sección ofertas/convertidores/temas interesantes, tiene un artículo titulado *Que es un variador de frecuencia: Definición, como funciona, características y ventajas*, (sin datos de autor ni fecha de publicación), donde mencionan que “un variador de frecuencia por definición es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento.

Los variadores reducen la potencia de salida de una aplicación, como una bomba o un ventilador, mediante el control de la velocidad del motor, garantizando que no funcione a una velocidad superior a la necesaria”⁵⁰.

Los variadores de frecuencia SINAMICS G120 están fabricados para regular con precisión la velocidad y el par de motores asíncronos trifásicos. El SINAMICS G120 es un sistema de convertidores modular formado por dos unidades funcionales. La primera es la unidad de control (CU), que es la que permite la comunicación con controladores y con dispositivos de vigilancia. La segunda es el módulo de poder (PM) que alimenta al motor en una gama de 0.37 kW a 250 kW con funciones de protección completas⁵¹.

1.6 HMI

Los HMI, son dispositivos que están presentes en casi todos los procesos industriales automatizados, ya que, permiten que los operadores puedan mandar órdenes a las diversas máquinas y dispositivos que forman parte del sistema automatizado y, a su vez, permiten que el operador esté al tanto de datos que son importantes, al momento de controlar el proceso industrial. Es importante recalcar que los HMI son flexibles, lo que permite modificarlos cuantas veces sean necesarias, según las necesidades que tenga el proceso.

⁵⁰ Disponible en: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>, fecha de consulta 05 de agosto del 2024.

⁵¹ Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10122015> fecha de consulta 06 de Agosto del 2024

La empresa global independiente de desarrollo de software, COPADATA, en su página web, en la sección productos/zenon software platform/overview/más información, tienen un artículo titulado *¿Qué es una HMI?* (sin datos de autor, ni fecha de publicación), donde mencionan que, “en un entorno industrial una HMI puede tener distintas formas. Puede ser una pantalla independiente, un panel acoplado a otro equipo o una tablet. Da igual su aspecto; su uso principal es permitir a los usuarios visualizar los datos operativos y controlar las máquinas. Los operarios pueden usar una HMI para, p. ej., ver qué cintas transportadoras están encendidas o ajustar la temperatura de un depósito de agua industrial”⁵².

De igual modo, se menciona que las HMI tienen la capacidad de configurar diversas pantallas para poder navegar entre ellas, por lo regular la primer pantalla funciona como un menú principal y desde ahí se puede acceder a los diferentes menús o pantallas que se hayan configurado, por lo regular se configura un menú principal y una pantalla por cada estación a la que el HMI está asociada, además se suelen agregar tendencias, graficas, indicadores, entre otros, es importante mencionar que por norma no se pueden tener más de tres pantallas de navegación abiertas al mismo tiempo⁵³.

Para el presente trabajo se usará una HMI simulada dentro del software *TIA Portal* la cual va a contener una sola pantalla, por lo cual no habrá necesidad de explorar entre diferentes pantallas. El HMI, va a permitir dar órdenes y monitorear el proceso en tiempo real, en este caso, el proceso será cada una de las prácticas propuestas.

1.7 Periferia descentralizada

Actualmente, existe una gran cantidad de procesos industriales que están automatizados, la mayoría de estos procesos industriales cuentan con una gran cantidad de dispositivos que necesitan estar conectados entre sí, sin embargo, la mayoría de estos procesos están dentro de cuartos muy grandes, por lo anterior, los dispositivos a comunicar están muy separados uno de otro, los controladores que, en

⁵² Disponible en: <https://www.cdeopadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/#:~:text=HMI%20son%20las%20siglas%20de,para%20las%20de%20entornos%20industriales>, fecha de consulta 06 de agosto del 2024.

⁵³ Ibid.

su mayoría de ocasiones son PLC, no pueden realizar la comunicación entre estos dispositivos de manera eficiente por medios convencionales de cableado, algunos de los problemas que supone conectar estos dispositivos por medios convencionales de cableado cuando la distancia entre estos dispositivos es muy grande, pueden ser desde problemas de tensado y espacio para los cables, hasta pérdidas de señal.

Debido a estos problemas se diseñó un dispositivo que consiste en controlar las señales de entrada y salida (E/S) de los diferentes sensores, actuadores y demás dispositivos industriales, por medio de un mínimo de cableado, dicho dispositivo, es la *periferia descentralizada*.

infoPLC, página web de Navarra especializada en ofrecer información, noticias y recursos acerca de la automatización industrial y los PLC, en su sitio web, en la sección noticias/Beckhoff/EK9300 acoplador de bus *PROFINET IO conecta distintas redes*, tiene un artículo titulado *EK9300 acoplador de bus PROFINET IO conecta distintas redes*, (sin datos de autor) publicado en marzo del 2014, donde mencionan que “el acoplador es compatible con el protocolo *PROFINET RT* y se integra sin problemas en las redes *PROFINET IO*.

Con su nuevo firmware y los terminales EtherCAT correspondientes, el acoplador de bus EK9300 es apropiado como puerta de enlace flexible entre los distintos controladores:

- De *PROFINET* a EtherCAT (con EL6692-0000)
- De *PROFINET* a *PROFINET* (con EL6631-0010)
- De *PROFINET* a PROFIBUS (con EL6731-0010)
- De *PROFINET* a EtherNet/IP (con EL6652-0010)

De este modo pueden conectarse entornos de producción heterogéneos sin grandes costes para la comunicación en tiempo real. Así, por ejemplo, puede reunirse información de gestión relevante para la producción en instalaciones distribuidas con varios sistemas de control o también intercambiarse datos en tiempo real entre dos redes *PROFINET* creadas adrede en entornos IP separados”⁵⁴.

⁵⁴ Disponible en: <https://www.infoplcn.net/noticias/item/101743-ek9300-acoplador-bus-profinet-io-conecta-distintas-redes>, fecha de consulta: 20 de mayo del 2024.

Para la realización de este trabajo, se va a implementar una periferia descentralizada de la marca *BECKHOFF* modelo *EK9300*, el *Acoplador de Bus PROFINET RT EK9300* es un acoplador de bus *PROFINET IO*, que puede conectar varias redes de control siendo capaz de intercambiar datos con uno o varios sistemas *EtherCAT*, *PROFINET*, *PROFIBUS* y *EtherNet/IP*, de acuerdo con sus especificaciones mostradas en el documento del dispositivo.

1.7.1 Fuente de alimentación de sistema de control

La fuente de alimentación es un dispositivo utilizado para convertir la corriente de la red eléctrica en una forma de energía adecuada para distintos dispositivos⁵⁵.

La plataforma digital de origen francés *DirectIndustry Conect*, la cual es una plataforma digital enfocada a conectar a compradores con proveedores del sector industrial, cuenta con un artículo en su página web titulado *¿Qué fuente de alimentación eléctrica elegir?*, donde mencionan que “existen cuatro tipos diferentes de fuentes de alimentación, cada una de ellas responde a las necesidades de diferentes redes y dispositivos.

Fuente de alimentación AC/DC: Fuente de alimentación utilizada en la mayoría de los dispositivos que utilizamos diariamente, como los cargadores de los teléfonos móviles. La fuente de alimentación convierte la corriente alterna de la red en corriente continua y ajusta la tensión a las necesidades del dispositivo.

Fuente de alimentación DC/DC: Fuente de alimentación utilizada en electrónica. Cambia la tensión de la corriente y puede, si es necesario, cambiar la forma de onda.

Fuente de alimentación AC/AC: Se utiliza en aplicaciones muy específicas, como en algunos amplificadores de audio. Permite reducir la tensión de red.

Fuente de alimentación de laboratorio: Permite alterar los diferentes parámetros de corriente eléctrica para testar los equipos eléctricos⁵⁶.

La marca *Phoenix Contact* ofrece una fuente de alimentación AC/DC. Según el manual del *MINI-PS-100-240AC/24DC/2*⁵⁷, esta fuente monofásica convierte una señal de

⁵⁵ Disponible en: <https://www.ferrovial.com/es/stem/fuente-de-alimentacion/#:~:text=Se%20conoce%20como%20fuente%20de,un%20dispositivo%20o%20sistema%20electr%C3%B3nico.>, fecha de consulta: 06 de junio del 2024.

⁵⁶ Disponible en: <https://guide.directindustry.com/es/que-fuente-de-alimentacion-electrica-elegir/>, fecha de consulta: 06 de junio del 2024.

⁵⁷ Phoenix Contact (2024), MINI-PS-100-240AC/24DC/2 – Fuente de Alimentación, pág. 2

tensión nominal de entrada de 100 VCA – 240 V CA a una tensión nominal de salida de 24 VCD con una tolerancia de +- 1% a 2 A. En la figura nueve se observa una representación de la fuente de alimentación MINI-PS-100-240AC/24DC/2.



Figura 9. Fuente de alimentación MINI-PS-100-240AC/24DC/2⁵⁸.

1.7.2 Acoplador de bus de campo

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información por un solo cable de comunicación que simplifica la instalación y operación de máquinas y equipamientos de industriales de producción⁵⁹.

El *Centro de Formación Técnica para la Industria* de Barcelona, dedicado a impartir cursos de formación de alta calidad, en su página web, en la sección aula21/Formación para la Industria/BLOG INDUSTRIA 4.0, tiene un artículo titulado *Qué es un Bus de Campo y para qué sirve* (sin datos de autor, ni fecha de publicación), donde mencionan que “el bus de campo sustituye las redes de control centralizadas por redes de control distribuidas y enlaza los dispositivos de entrada (sensores, interruptores, etc.) y los dispositivos de salida (válvulas, accionamientos, lámparas de indicación, etc.) sin necesidad de conectar cada dispositivo individualmente al controlador (PLC, PC industrial, etc.)”⁶⁰. En la figura diez se observa una representación de bus de campo.

⁵⁸ Ibid.

⁵⁹ Augusto, C., & Carlos, L. (2013). *Buses de campo y protocolos en redes industriales*. Ventana Informática, 25. Pág. 86. Disponible en: <https://doi.org/10.30554/ventanainform.25.126.2011> fecha de consulta: 06 de junio del 2024.

⁶⁰ Disponible en: <https://www.cursoaula21.com/que-es-un-bus-de-campo/>, fecha de consulta: 06 de junio del 2024.

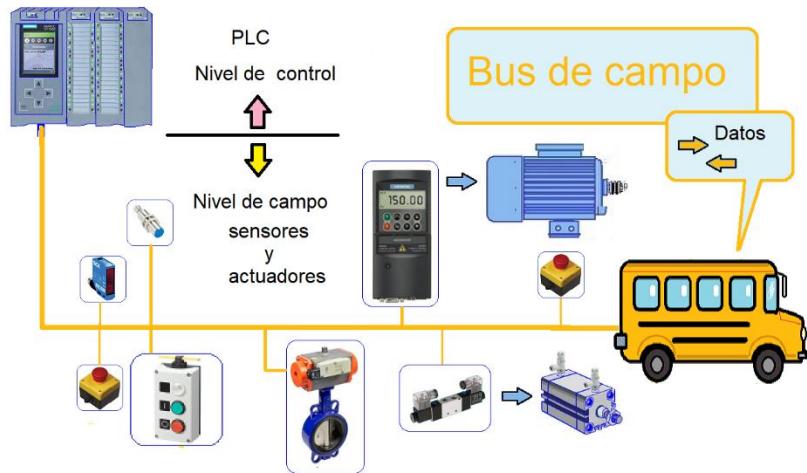


Figura 10. Representación de bus de campo⁶¹.

La empresa española SICMA21 especializada en el desarrollo e integración de soluciones para la industria, en su página web, en la sección de tecnológica especializada en el desarrollo e integración de soluciones para la industria/Blog, tiene un artículo titulado *Bus de campo: aplicaciones en la industria* h publicado en noviembre del 2022, donde menciona que “hoy en día, se utilizan muchos tipos de bus de campo; el tipo concreto que se utiliza depende del tipo de industria: automatización de procesos discretos o de fabricación. Entre los distintos tipos de bus de campo se encuentran: Foundation Fieldbus, PROFIBUS, DeviceNet, ControlNet, InterBus, HART, AS-i, MODBUS, CAN Bus, Ethernet, entre otros”⁶².

El EK9300 es un acoplador de bus de campo que conecta redes PROFINET con terminales EtherCAT de entradas y salidas, convirtiendo los telegramas de PROFINET a una representación de señal E-bus. Con esto, PROFINET dispone de las ventajas de los sistemas EtherCAT, como la topología flexible, la amplia variedad de señales y los tiempos rápidos de actualización de entradas y salidas⁶³. En la figura once se observa un ejemplo gráfico de operación de EK9300.

⁶¹ Disponible en: https://coparoman.blogspot.com/2021/02/bus-de-campo.html#google_vignette, fecha de consulta: 06 de junio del 2024.

⁶² Disponible en: <https://www.sicma21.com/bus-de-campo-aplicaciones-en-la-industria/#:~:text=Entre%20los%20distintos%20tipos%20de,Bus%2C%20Ethernet%2C%20entre%20otros>, fecha de consulta 08 de junio del 2024.

⁶³ Beckhoff (2023), Documentation EK9300 PROFINET-Bus Coupler for EtherCAT Terminals, 3.3.5, pág. 19

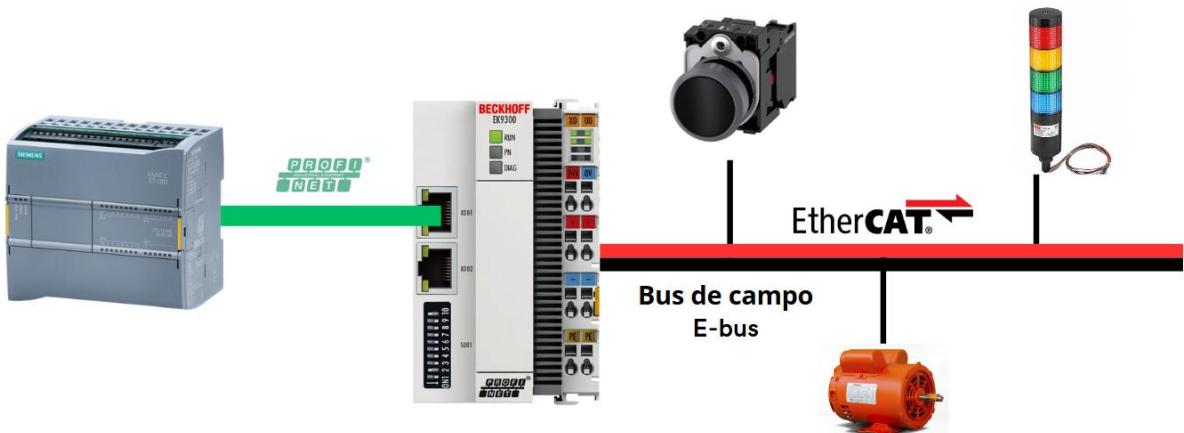


Figura 11. Ejemplo gráfico de operación de EK9300 (elaboración propia).

1.7.3 Tarjeta de entradas digitales para periferia descentralizada

Las tarjetas de entradas digitales funcionan como puente entre los dispositivos que están en campo (sensores, actuadores, etc.) y el sistema de control (generalmente PLC).

La empresa alemana *Beckhoff Automation*, especialista en desarrollar y fabricar tecnología de automatización avanzada para diferentes sectores de la industria, en su página web, en la sección de Productos/E/S/Terminales EtherCAT/EL 1xxx | Entrada digital/EL1008, se encuentra el catálogo el producto *EL1008 | Terminal EtherCAT, entrada digital de 8 canales, 24 V CC, 3 ms*, donde menciona que “la terminal de entrada digital EL1008 recibe las señales de control binarias de 24 V del nivel de proceso y las transmite, de forma aislada eléctricamente, a la unidad de automatización de nivel superior. Cada terminal EtherCAT tiene ocho canales que indican su estado de señal mediante diodos emisores de luz”⁶⁴.

La empresa BECKHOFF cuenta con una variedad tarjetas de entradas de 24 volts de corriente continua con diferentes características, en la sección de su página web, productos/E/S/Terminales EtherCAT/EL 1xxx | Entrada digital, se encuentra el catálogo de tarjetas de entradas digitales de la marca donde se pueden encontrar algunos modelos tales como:

- EL1002 | Terminal EtherCAT, entrada digital de 2 canales, 24 V CC, 3 ms

⁶⁴ Disponible en: <https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/el1xxx-digital-input/el1008.htm>, fecha de consulta: 12 de junio del 2024.

- EL1004 | Terminal EtherCAT, entrada digital de 4 canales, 24 V CC, 3 ms
- EL1004-0020 | Terminal EtherCAT, entrada digital de 4 canales, 24 V CC, 3 ms, tensión de aislamiento 2500 V CC
- EL1012 | Terminal EtherCAT, entrada digital de 2 canales, 24 V CC, 10 µs
- EL1014 | Terminal EtherCAT, entrada digital de 4 canales, 24 V CC, 10 µs
- EL1018 | Terminal EtherCAT, entrada digital de 8 canales, 24 V CC, 10 µs
- EL1024 | Terminal EtherCAT, entrada digital de 4 canales, 24 V CC, 3 ms, tipo 2

La diferencia entre cada tarjeta radica en la cantidad de canales de entradas digitales que cada tarjeta tiene a su disposición, el tiempo de filtro de entrada para las señales digitales, entre otros aspectos⁶⁵.

Para la realización del presente trabajo se utiliza la tarjeta de entradas *EL1008* que, conectada al acoplador de bus *EK9300*, transmite y recibe información de entradas digitales por medio de la señal *E-bus*. Posteriormente el acoplador transmite esa información al controlador por medio de *PROFINET*.

1.7.4 Tarjetas de salidas digitales para periferia descentralizada

La empresa alemana *Beckhoff Automation*, especialista en desarrollar y fabricar tecnología de automatización avanzada para diferentes sectores de la industria, en su página web, en la sección Productos/E/S/Terminales EtherCAT/EL 2xxx | Salidas digitales/EL2008 donde cuentan en su catálogo el producto *EL2008 | Terminal EtherCAT, salida digital de 8 canales, 24 V CC, 0,5 A*, donde menciona que “el terminal de salida digital EL2008 conecta las señales de control binarias de 24 V CC del dispositivo de automatización a los actuadores en el nivel de proceso con aislamiento eléctrico. Cada terminal EtherCAT tiene ocho canales que indican el estado de la señal mediante diodos emisores de luz”⁶⁶

La empresa *Beckhoff* cuenta con diversas tarjetas de salidas de 24 volts de corriente continua que tienen diferentes características, en la página de la empresa, en la

⁶⁵ Disponible en: https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/el1xxx-digital-input/?fq=pf_value_rangeDigital:562476966, fecha de consulta: 12 de junio del 2024.

⁶⁶ Disponible en: <https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/el2xxx-digital-output/el2008.html>, fecha de consulta: 15 de junio del 2024.

sección de productos/E/S/Terminales EtherCAT/EL 2xxx | Salida digital, se encuentra el catálogo de tarjetas de salidas digitales de la marca donde se pueden encontrar modelos tales como:

- EL2002 | Terminal EtherCAT, salida digital de 2 canales, 24 V CC, 0,5 A
- ELX2002 | Terminal EtherCAT, salida digital de 2 canales, 24 V CC, 45 mA, Ex i
- EL2004 | Terminal EtherCAT, salida digital de 4 canales, 24 V CC, 0,5 A
- ELX2008 | Terminal EtherCAT, salida digital de 8 canales, 24 V CC, 30 mA, Ex i
- EL2014 | Terminal EtherCAT, salida digital de 4 canales, 24 V CC, 0,5 A, con diagnóstico
- EL2022 | Terminal EtherCAT, salida digital de 2 canales, 24 V CC, 2 A
- EL2024 | Terminal EtherCAT, salida digital de 4 canales, 24 V CC, 2 A

Entre muchas otras, como se puede notar la diferencia que tiene cada tarjeta radica en los canales de salidas digitales con las que cuenta cada tarjeta, la corriente de salida máxima por canal, entre otros aspectos⁶⁷

Para la realización del presente trabajo se utiliza la tarjeta de salidas *EL2008*, esta tarjeta de ocho puertos *EtherCAT* sirve para entregar señales digitales de 24 volts provenientes del acoplador de bus de campo EK9300 y mandarlas a diversos dispositivos, tales como botones, bobinas, relevadores, entre otros.

1.7.5 Relevadores te propósito general.

El relevador Finder 34.51.7.024.0010 es un relevador de tipo general, lo que quiere decir que, permiten e interrumpen el flujo de corriente eléctrica mediante accionamientos electromagnéticos. Para el desarrollo del módulo, se utilizaron también bases para relevadores, lo que facilita la conexión de sus terminales, ya que,

⁶⁷ Disponible en: <https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/el2xxx-digital-output/>, fecha de consulta: 20 de junio del 2024.

como se puede observar en la figura doce, los puntos de conexión vienen indicados con nomenclatura y un circuito que explica lo siguiente:

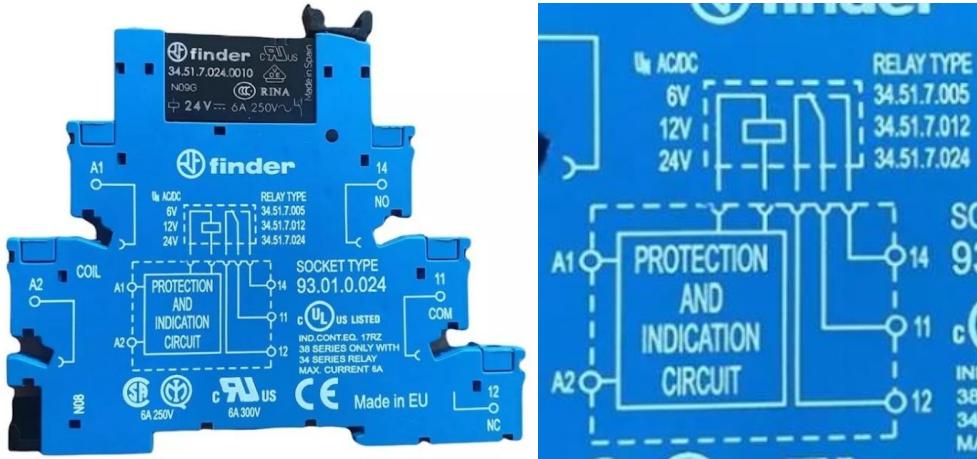


Figura 12. Relevador Finder 34.51.7.024.0010 (elaboración propia).

'A1' (+24 VCD) y 'A2' (0 VCD) son las entradas de la señal que al ser activadas y cerrar el circuito, energizan la bobina interna accionando a su vez el contacto interno aislado que cierra el circuito de la señal de potencia de 127 VCA.

1.7.6 Puesta en marcha del módulo de periferia descentralizada

Para configurar dispositivos en el software *TIA Portal*, que sean de otros fabricantes y se comuniquen mediante *PROFINET* o *PROFIBUS* como el acoplador *EK9300* de *Beckhoff*, es necesario instalar previamente el archivo *GSDML*⁶⁸.

Los archivos *GSDML* por sus siglas en inglés (“General Station Description Markup Language”) son archivos que contienen un perfil con las propiedades de distintos equipos de campo *PROFINET IO* que hacen posible configurar su comunicación⁶⁹.

⁶⁸ Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109738401/how-do-you-install-a-gsd-file-and-which-gsd-file-version-is-released-for-which-version-of-tia-portal?dti=0&lc=en-PA>, fecha de consulta: 20 de junio del 2024

⁶⁹ Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/29339880/%C2%BFqu%C3%A9-archivos-gsdml-existen-para-los-paneles-de-operador-simatic-hmi-en-profinet-io?dti=0&lc=es-HN>, fecha de consulta: 20 de junio del 2024.

1.8 NOM-008-SE-2021

Debido a que en la industria se usan diferentes tipos de unidades (longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura, cantidad de sustancia, etc.) es importante saber cuál es la norma que establece cuales son las unidades que se utilizan en México.

En la página del Gobierno de México hay un artículo titulado *La Norma Oficial Mexicana NOM-008-SE-2021 Sistema General de Unidades de Medida ha sido publicada* (sin datos de autos ni fecha de publicación), donde mencionan que “esta norma tiene como propósito definir el Sistema de Unidades, que oficialmente debe utilizarse en el país de acuerdo con lo que establece la Ley de Infraestructura de la Calidad en su artículo 97.

La NOM-008-SE-2021, toma como base el documento “The International System of Units (SI)” ed. 9th (2019), publicado por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas.”⁷⁰.

Para la construcción del módulo de periferia descentralizada es necesario tomar en cuenta esta norma, ya que para la obtención de las piezas del módulo de periferia descentralizada es necesario realizar los cortes necesarios con las medidas indicadas en los planos de corte, además de que en las prácticas se utilizan unidades de medida de corriente eléctrica, frecuencia, entre otras.

En este capítulo, se han explicado cada uno de los conceptos necesarios para entender de manera adecuada el presente trabajo. Además de conceptos, se utilizan varios dispositivos, de los que es necesario conocer el funcionamiento y características esenciales que permitan desarrollar correctamente la implementación de estos y que el lector entienda lo que se presenta.

⁷⁰ Disponible en: <https://www.gob.mx/cenam/articulos/la-norma-oficial-mexicana-nom-008-se-2021-sistema-general-de-unidades-de-medida-ha-sido-publicada#:~:text=Esta%20norma%20tiene%20como%20prop%C3%B3sito,%20comercio%20y%20de%20la%20ingenier%C3%ADA>, fecha de consulta: 02 de enero del 2025.

Capítulo 2. Descripción y necesidades de la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*

En el siguiente capítulo se presenta la forma en la cual se imparte actualmente la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* del programa de ICA de la ESIME Zácatenco, así como, las herramientas de automatización con las que cuenta el laboratorio para que las y los estudiantes adquieran los conocimientos de control electromagnético, controlador lógico programable y variadores de frecuencia por medio de prácticas. La razón principal por la que se desarrolla este capítulo es para entender el funcionamiento didáctico actual del laboratorio y el nuevo enfoque que se busca con la implementación del módulo de periferia descentralizada.

2.1 Descripción de la impartición de la asignatura actualmente

El programa académico de la carrera de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zácatenco, tiene como objetivo “formar profesionales capaces de proyectar, diseñar, innovar, dirigir, mantener e investigar sobre equipos, dispositivos y sistemas de control tomando en cuenta la calidad de los procesos de trabajo”⁷¹. Esto se busca siguiendo un plan de estudios elaborado para que las y los estudiantes adquieran una base sólida de conocimientos y puedan aplicarla de manera profesional en la industria. Este plan de estudios ofrece una tira de materias dividida en 5 grupos: Básicas y Matemáticas, Ciencias de la Ingeniería, Ingeniería aplicada, Ciencias sociales y humanidades, y otros cursos. Este trabajo se centrará en la Ingeniería Aplicada del plan de estudios, más específico, en la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*.

La asignatura de *Control de Máquinas y procesos eléctricos*, se imparte en el octavo semestre de la carrera de ICA y tiene como objetivo general que “el alumno diseñará el control de máquinas eléctricas, bajo el análisis de elementos electromagnéticos, mecánicos, neumáticos, e hidráulicos en el contexto de los Sistemas de Procesos Eléctricos y de su influencia en la estabilidad de sistemas, a través de la regulación de los parámetros fundamentales de funcionamiento e implementación de

⁷¹ Disponible en: <https://www.ipn.mx/oferta-educativa/educacion-superior/ver-carrera.html?lg=es&id=7> fecha de consulta: 10 de agosto de 2024

protecciones”⁷². Este objetivo se busca lograr siguiendo una metodología de impartición, donde el primer punto a cubrir es la elaboración de tareas y búsqueda de información extra-clase por parte de las y los estudiantes, después, la realización de prácticas experimentales de laboratorio bajo la supervisión de los profesores, titular y adjunto, y, por último, la solución de problemas conjuntamente entre el profesor y los estudiantes.

Para que la asignatura se lleve a cabo de acuerdo con la metodología antes expuesta, necesita desarrollarse dentro del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, ya que, este se encuentra equipado con herramientas de automatización para que las y los estudiantes, así como también los profesores, puedan practicar, experimentar y adquirir conocimientos.

2.1.1 Temas que cubre la asignatura

La asignatura se imparte de manera que todos los temas tengan la capacidad de irse implementando uno tras otro. Para entender y manipular correctamente lo que se utiliza como herramienta de automatización, es necesario establecer conceptos y desarrollar las bases teóricas de los temas de control electromagnético, controlador lógico programable, variador de frecuencia y neumática. Para el presente trabajo se excluirá del alcance el tema de neumática y se propondrá como trabajo futuro.

Antes de empezar con los temas que se abordan en la asignatura, lo primero que se realiza es una serie de investigaciones acerca de las condiciones adecuadas para el manejo de energía eléctrica, primeros auxilios en caso de accidente, arrancadores electromagnéticos, normativa NOM 001 SEDE, IEC 1082-1, así como de diagramas de control y de fuerza electromagnéticos, ya que, es de suma importancia que las y los estudiantes conozcan los riesgos y las condiciones de seguridad necesarias para manipular el equipo del laboratorio, debido a que se opera con tensiones eléctricas peligrosas.

⁷² Secretaría Académica, Dirección de educación superior, Programa Sintético de la asignatura Control de Máquinas y Procesos Eléctricos, Instituto Politécnico Nacional.

Control electromagnético

Después de cubrir los temas de la investigación, el primer tema que se imparte es el de Control Electromagnético donde se habla de su importancia en la industria y sus aplicaciones, así como también, una introducción que expone los comportamientos físicos de la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, que son la base principal de este control. Al comprender su importancia y comportamientos, lo siguiente que se estudia son los dispositivos y protecciones que forman parte del control electromagnético, así como sus características, nomenclatura y funcionamiento. Dispositivos tales como: contactores, relevadores térmicos de sobrecarga, temporizadores, protecciones, motores, entre otros.

Para que las aplicaciones del control electromagnético se puedan poner en práctica, es necesario que el alumnado aprenda a manipular el software *CADe SIMU*, con fines de diseño y simulación de diagramas de control electromagnético.

Después de la base teórica, se ponen en práctica los conceptos de forma introductoria, simulando compuertas lógicas en *CADe SIMU* y haciendo uso de los dispositivos de control electromagnético. La introducción al uso y simulación de dispositivos permite analizar y desarrollar aplicaciones reales de la industria, tales como, arranque/paro, inversión de giro, circuitos temporizados y arranques suaves bajo condicionamientos y lógica. Estos diagramas se desarrollan en dos partes, la parte de control y la de fuerza. La parte de control es el arreglo lógico de los dispositivos que permiten controlar el comportamiento de uno o varios actuadores. La parte de fuerza es aquella que suministra energía al actuador (motor) tomando en cuenta sus líneas y protecciones.

En la figura trece se presenta la simulación de un arranque suave con motor bipartido. De lado izquierdo se tiene el diagrama de fuerza y de lado derecho el de control. De esta forma las y los estudiantes adquieren la capacidad de desarrollar circuitos respecto a condiciones, utilizando la lógica y conocimientos previos de los dispositivos y sus comportamientos.

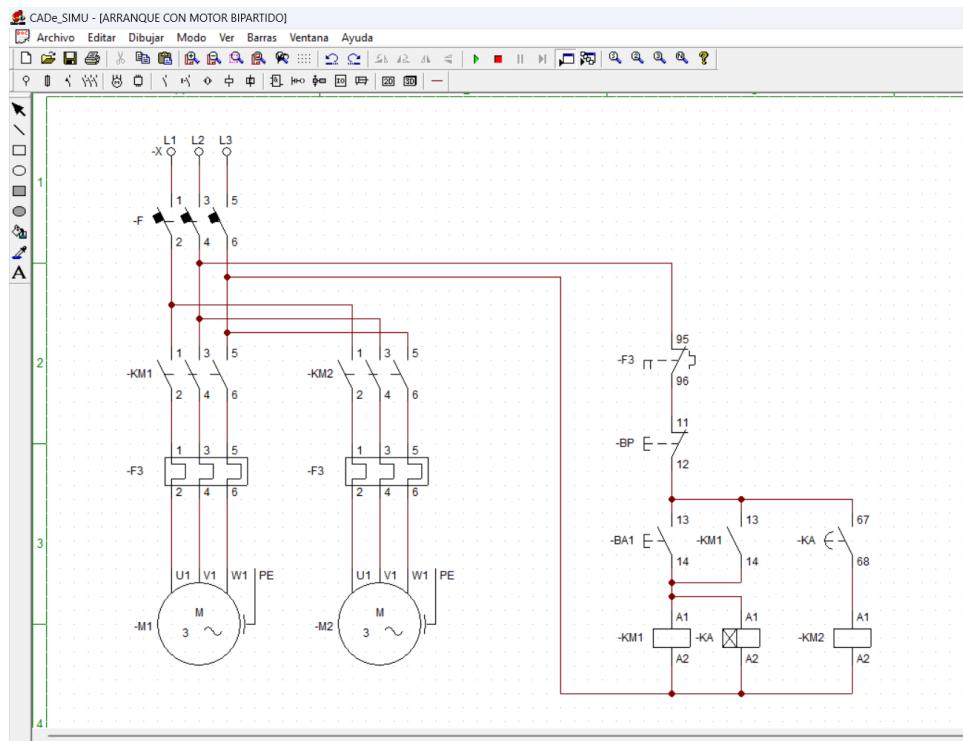


Figura 13. Diagrama de fuerza de un arranque suave con motor bipartido (elaboración propia).

En la figura catorce se encuentran las conexiones físicas de un arranque suave con motor bipartido.



Figura 14. Conexiones físicas de un arranque suave con motor bipartido (elaboración propia).

Controlador lógico programable

Seguido del Control Electromagnético, el segundo tema que se imparte es el del controlador lógico programable (PLC). De manera introductoria, se realiza una investigación que abarca lo qué es un PLC, su funcionamiento, arquitectura, gamas y las similitudes entre el control lógico programable y el control electromagnético.

Después de esto, se entra de lleno en el software *TIA Portal* de la marca *Siemens*, realizando prácticas de reconocimiento, conexión, comunicación, etiquetado y simulación de programas básicos desarrollados en lenguaje escalera, programados y simulados en un PLC virtual. En la figura quince se ve un Ejemplo de simulación de un programa en lenguaje de escalera en el software *TIA Portal*.

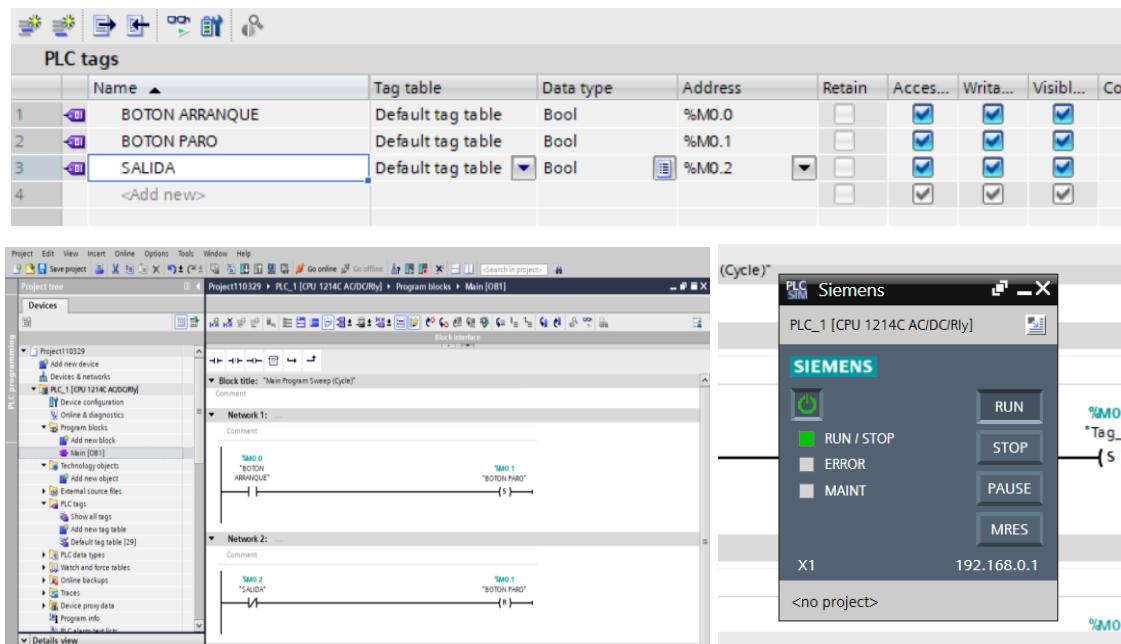


Figura 15. Ejemplo de simulación de un programa en lenguaje de escalera en el software *TIA Portal* (elaboración propia).

Después de manipular el software y haber simulado programas en lenguaje escalera, se realiza la conexión física de los módulos de PLC para alimentar y comunicar con el ordenador. Se aprende a cargar y programar el PLC verificando la lógica con los focos indicadores de las entradas y salidas de este, posteriormente, la programación se lleva a la parte física conectando las entradas y salidas del PLC al tablero de control electromagnético, donde, en vez de realizar arreglos de lógica con cableado como en las prácticas anteriores, la programación en lenguaje escalera y la asignación de etiquetas cargadas en el PLC controlan la lógica de las señales del tablero. En la figura dieciséis se ve a un PLC recibiendo señales de entrada digitales y en la figura diecisiete se observa un ejemplo de práctica.



Figura 16. PLC recibiendo señales de entrada digitales (elaboración propia).

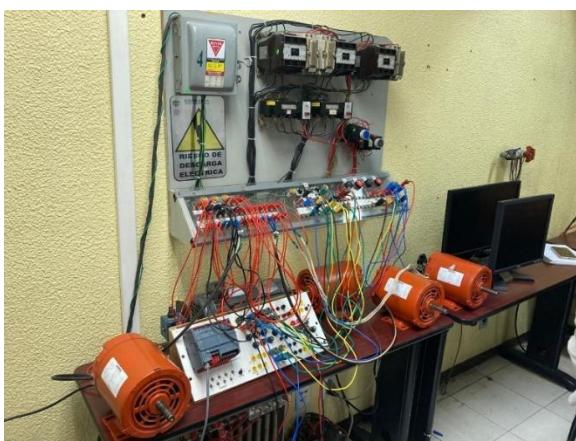


Figura 17. Ejemplo de práctica (elaboración propia).

Con esta base, se ejecutan prácticas de arranques suaves y de condiciones de operación para motores trifásicos, siguiendo una metodología de entendimiento, desarrollo, simulación y puesta en marcha.

HMI

Cuando las y los estudiantes son capaces de programar, conectar y ejecutar correctamente un trabajo de automatización, lo siguiente que se aprende es el diseño de interfaces humano máquina (HMI) utilizando el software *TIA Portal*. Antes de implementar el HMI en las prácticas, se realiza una práctica introductoria de reconocimiento a las herramientas de diseño y puesta en marcha del HMI dentro del software *TIA Portal*. En esta práctica se aprende a asociar accionamientos e indicadores de la interfaz a las direcciones de entradas y salidas del PLC, así mismo,

se diseña una interfaz que permita al operador accionar y visualizar el comportamiento de un proceso y la simulación del HMI puesta en marcha con el PLC.

Variador de frecuencia

El siguiente tema que se imparte es del variador de frecuencia. Para aprender acerca del variador de frecuencia se realiza de manera introductoria una investigación de funcionamiento y aplicaciones de los variadores de frecuencia en la industria. Después, se realiza una práctica para analizar y realizar las conexiones de fuerza y control del variador con el motor. También, se realiza la identificación de los datos del motor para posteriormente configurar y parametrizar el variador respecto del motor. Esta identificación y configuración conlleva una serie de conceptos previamente vistos en las asignaturas de Máquinas Eléctricas I y II, que las y los estudiantes son capaces de interpretar y configurar. Para finalizar se realiza la puesta en marcha y operación del motor mediante interruptores y la pantalla del módulo variador de frecuencia, controlando la activación de motores, velocidad, sentido de giro y rampas de subida y de bajada. Los estudiantes encuentran similitudes en la programación de arranques suaves con el PLC y la configuración de las rampas de subida y de bajada con el variador de frecuencia. En la figura dieciocho se puede observar al variador de frecuencia SINAMICS G120.

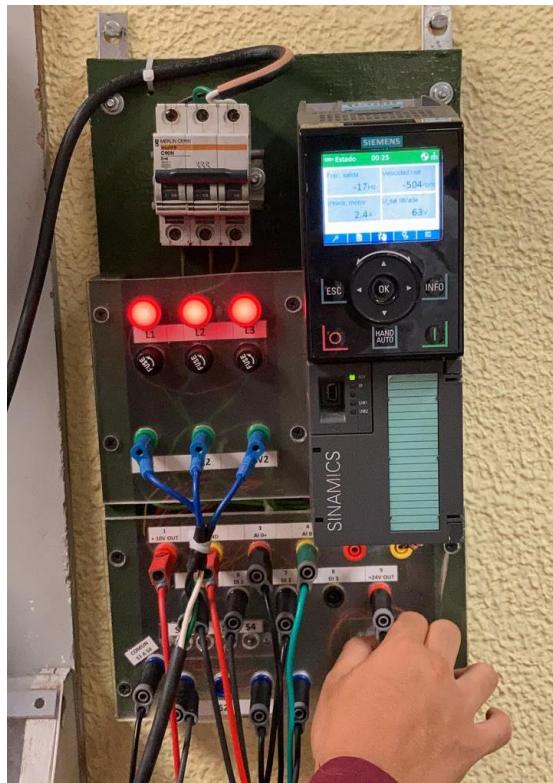


Figura 18. Variador de frecuencia SINAMICS G120 (elaboración propia).

2.1.2 Base tecnológica disponible en el laboratorio

Es importante conocer el ambiente en el que se imparte la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, así como la base tecnológica con la que dispone el laboratorio para que los estudiantes realicen prácticas. Se realiza una descripción general del laboratorio, los módulos y el equipo disponible que será de utilidad para el desarrollo de las prácticas a proponer.

2.1.2.1 Descripción del laboratorio

El laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* se encuentra distribuido en 5 estaciones con tableros de control electromagnético, ordenadores, con capacidad de agregar módulos de PLC y módulos de variador de frecuencia. Además, cuenta con 7 ordenadores más para la realización de simulaciones y prácticas donde solamente es requerido el software. En la figura diecinueve se encuentra la representación del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*.



Figura 19. Laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* (elaboración propia).

Al implementar los módulos, las estaciones quedan equipadas con los módulos de PLC y variador de frecuencia interactuando con los tableros de control electromagnético como se muestra en la figura veinte.

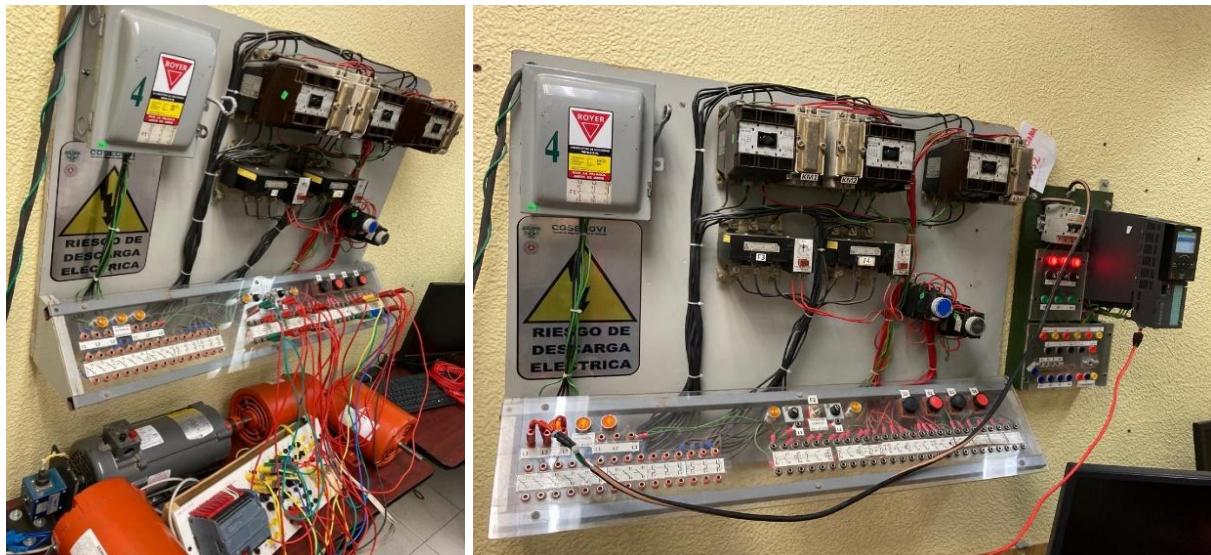


Figura 20. Variador de frecuencia con tablero de control electromagnético y PLC (elaboración propia).

2.1.2.2 Tablero de Control Electromagnético

El tablero de control electromagnético es una herramienta indispensable para la impartición de la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, dado que se puede ocupar no solo para el tema de control electromagnético, sino que también, se ocupa en las prácticas de PLC. Este tablero se encuentra etiquetado de acuerdo

con la simbología de los dispositivos correspondientes, siguiendo la estandarización de esquemas de la norma IEC 1082-1 obtenidas del Telesquemario de Schneider Electric⁷³ y en la figura veintiuno se describe cada uno:

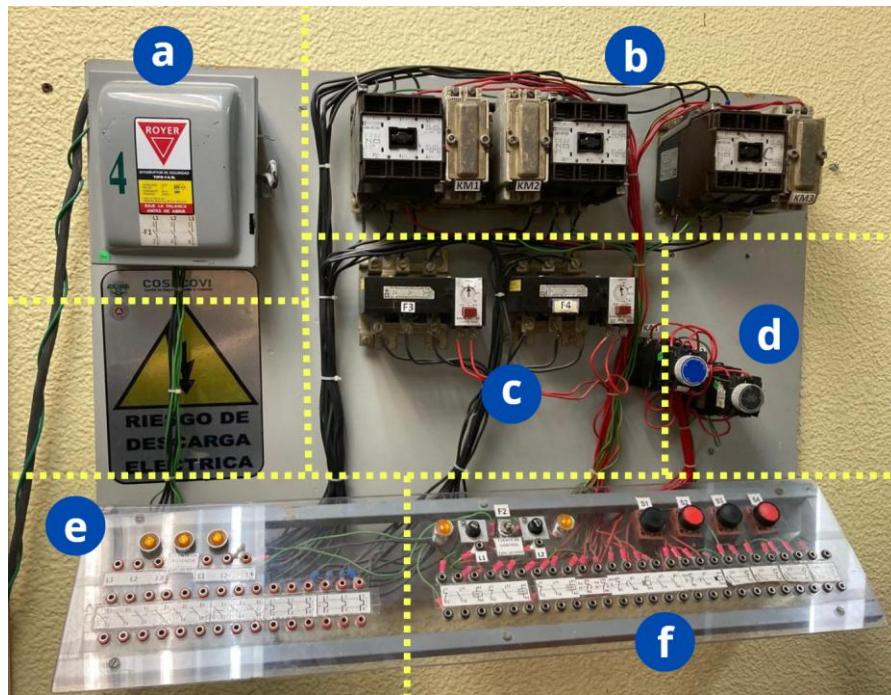


Figura 21. Fotografía descriptiva del tablero de control electromagnético (elaboración propia).

- a) El interruptor de seguridad de cuchillas es la primera protección por donde se interrumpe o permite el flujo eléctrico de las tres fases que alimentan al tablero. Este interruptor, cuenta con fusibles que operan como protecciones de sobrecarga que protegen la instalación eléctrica de alguna anomalía en las conexiones del tablero.
- b) Hay tres contactores, uno independiente (KM3) y otros dos con una protección mecánica (KM1 y KM2) que evita que estos contactores se activen al mismo tiempo evitando corto circuitos. Estos contactores se activan recibiendo una señal de 127 VCA cerrando los contactos de las tres fases que alimentan el motor, aislando la alimentación de la etapa de control con la de fuerza. En la figura veintidós se observan los contactores del tablero de control electromagnético

⁷³ Schneider Electric S.A (1999). Manual electrotécnico, Telesquemario, Telemecanique. España.



Figura 22. Contactores del tablero de control electromagnético (elaboración propia).

- c) Los relevadores térmicos de sobrecarga operan como protección para los motores y se activan al momento de detectar un cambio brusco de temperatura interrumpiendo la alimentación del motor, evitando daños en los equipos y en la instalación. En la figura veintitrés se observan los relevadores térmicos de sobrecarga del tablero de control electromagnético



Figura 23. Relevadores térmicos de sobrecarga del tablero de control electromagnético (elaboración propia).

- d) Los temporizadores son dispositivos que permiten ajustar un tiempo de manera manual para activar o desactivar una bobina dependiendo de lo que demande la aplicación.
- e) En esta sección se tienen 3 focos pilotos (1E) que operan como indicadores para saber si la alimentación trifásica de 220 VCA está alimentando al tablero. Después de estos focos, se tienen también, dos grupos de tres bornes de alimentación trifásica de 220 VCA (2E) para lo que la aplicación requiera. Así mismo, cuenta con bornes para la conexión entre los contactores (3E) y los relevadores térmicos de sobrecarga (4E) a los cuales va conectado el motor.

En la figura veinticuatro se observa la sección de fuerza del tablero de control electromagnético.

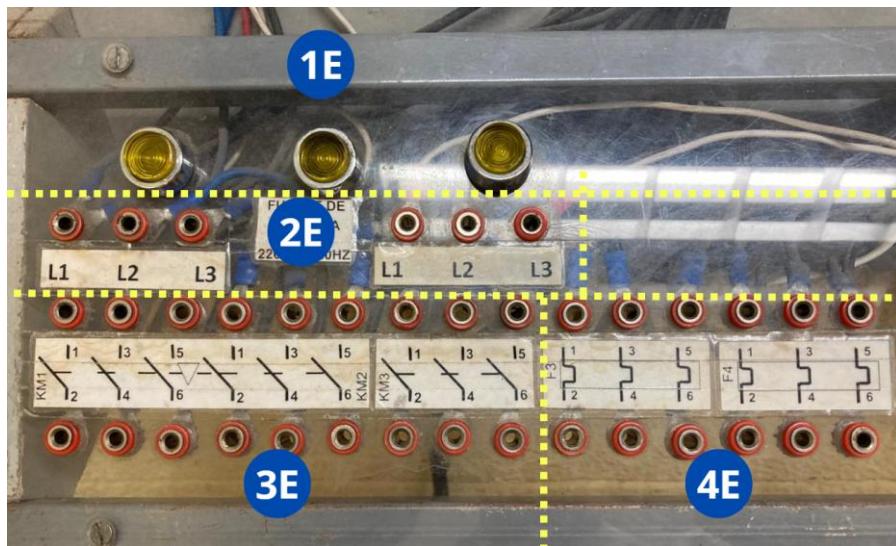


Figura 24. Sección de fuerza del tablero de control electromagnético (elaboración propia).

- f) El apartado 1F de alimentación de 220 VCA cuenta con dos fusibles, un interruptor y dos focos indicadores. En 2F se tienen los bornes asociados a las bobinas de los contactores con sus interruptores abiertos y cerrados asociados, así mismo, en 3F los bornes de las entradas y salidas de ambos relevadores térmicos de sobrecarga.

En la figura veinticinco se observa la sección de protección del tablero de control electromagnético.

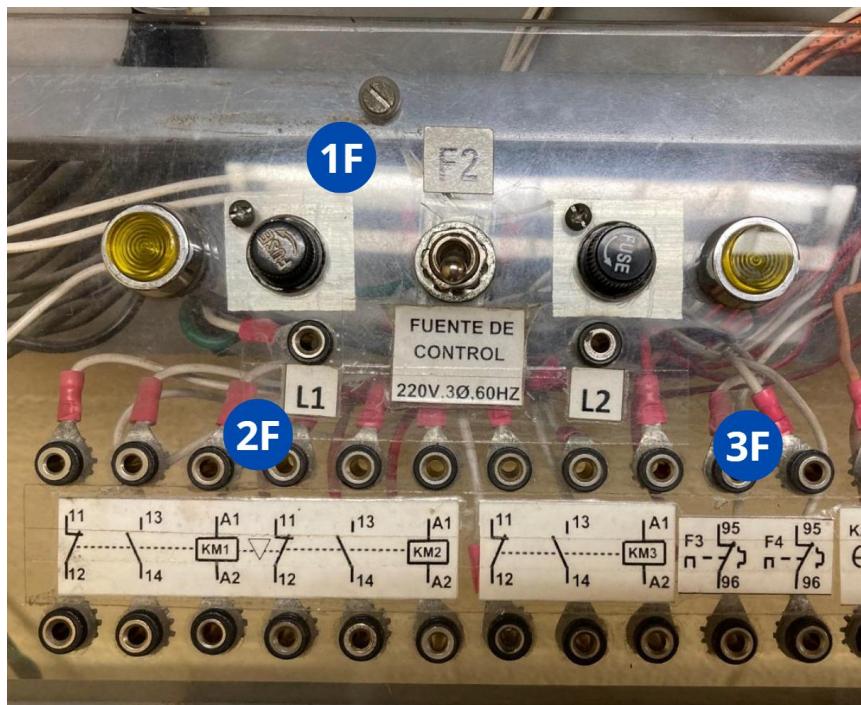


Figura 25. Sección de protección del tablero de control electromagnético (elaboración propia).

De lado derecho en 4F se encuentran 4 botones pulsadores denominados S1, S2, S3 y S4 con sus respectivos bornes para la conexión negada y abierta. En la figura veintiséis se observa la Sección de control del tablero de control electromagnético.

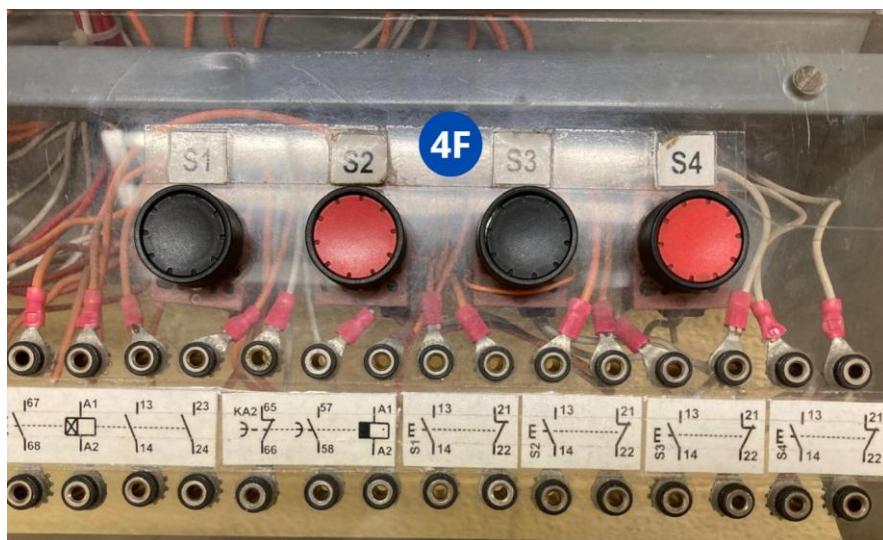


Figura 26. Sección de control del tablero de control electromagnético (elaboración propia).

2.1.2.3 Motores

El laboratorio tiene a su disposición motores trifásicos de inducción abierto que operan a 220 VCA, tensión que ofrece el tablero de control electromagnético. Estos, llevan consigo una tarjeta de datos pegada a un costado y 3 cables acoplados a 3 conectores banana para su conexión de alimentación a los bornes del tablero y del módulo del variador de frecuencia. En la figura veintisiete se ve observa el motor trifásico de inducción abierto ubicado en el laboratorio.



Figura 27. Motor trifásico de inducción abierto (elaboración propia).

2.1.2.4 Módulo de PLC S7-1200

Para presente trabajo, se utilizó también uno de los módulos de PLC de los que dispone el laboratorio, el PLC S7-1200 CPU1214C AC/DC/RLY, que está compuesto por un cable de alimentación a 127 VCA, bornes, interruptores de simulación de entradas digitales (i) y el propio PLC. Cuenta también con bornes de alimentación de 127 VCA (f) y 24 VCD (e), así como los bornes de entradas digitales (c), entradas analógicas (d), salidas digitales (h) y analógicas (g) del PLC. Internamente, el PLC está conectado a sus bornes correspondientes y a 7 fusibles (e) que operan como protección. Este módulo es práctico, ya que permite conexiones libres de entradas y salidas para la aplicación que se requiera. Según el manual del sistema del controlador lógico programable S7-1200, en el capítulo 10 Comunicación, pág. 527, indica que el S7-1200 ofrece varios tipos de comunicación entre CPU, programadoras, HMI, y otras

CPU, uno de ellos, el protocolo *PROFINET*. En la figura veintiocho se ve una fotografía descriptiva del módulo de PLC S7-1200.

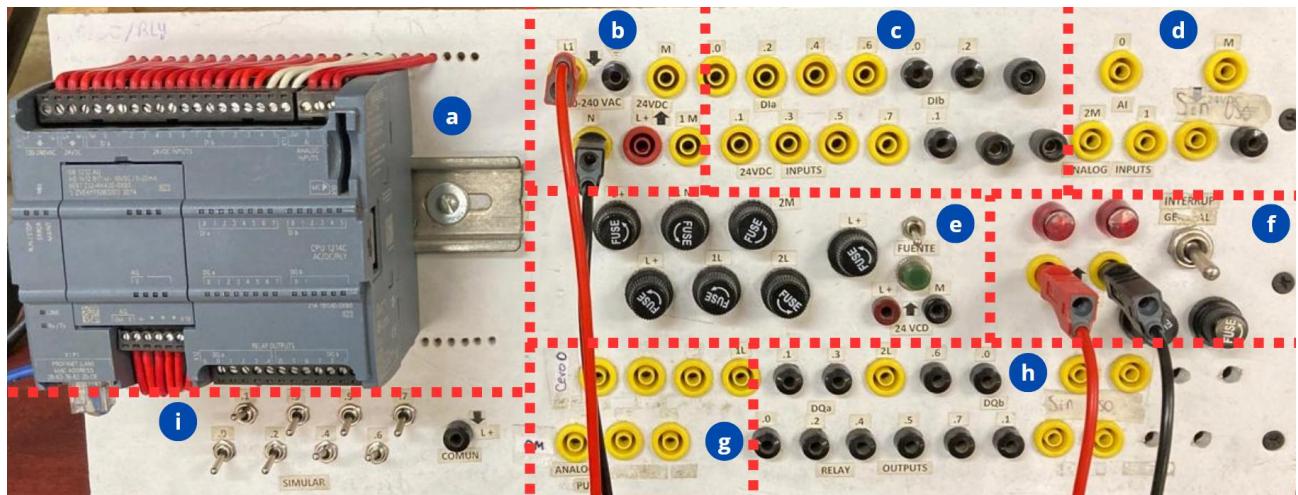


Figura 28. Fotografía descriptiva del módulo de PLC S7-1200 (elaboración propia).

2.1.2.5 Módulo de variador de frecuencia G120.

El módulo del variador está compuesto por un módulo de potencia SINAMICS PM240-2, un módulo controlador CU-230P-2 y una pantalla de operación IOP-2. Este, se encuentra compuesto también, por un interruptor de tres fases (a), 3 focos indicadores (b) por cada fase y bornes para la conexión de fuerza (c) y control (d) del variador. Los bornes para la conexión de fuerza corresponden a las 3 fases de la alimentación L1, L2, y L3, así como, las U2, V2 y W2 que entrega el variador y que alimentan al motor. En la figura veintinueve se observa una fotografía descriptiva del módulo de variador de frecuencia SINAMICS g120 y en la figura treinta se observa el esquema del módulo de potencia SINAMICS PM240-2.

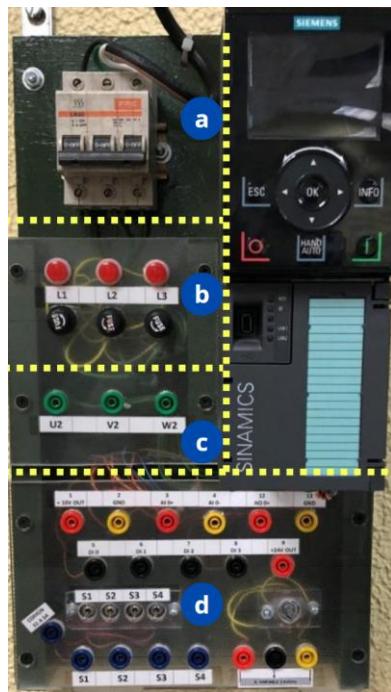


Figura 29. Fotografía descriptiva del módulo de variador de frecuencia SINAMICS g120 (elaboración propia).

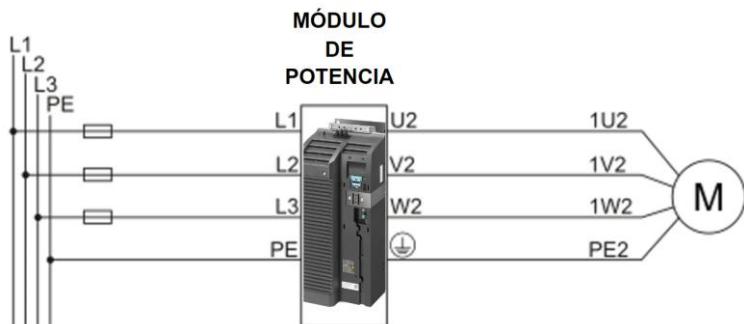
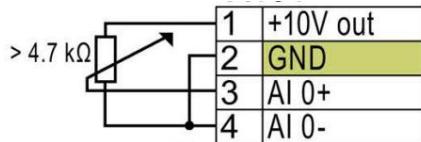


Figura 30. Esquema del módulo de potencia SINAMICS PM240-2 (elaboración propia).

Para la parte de control, internamente, el módulo del variador está conectado de las regletas de bornes del módulo controlador CU-230P-2 necesarias para la operación básica del variador de frecuencia, como lo son, los bornes de alimentación, entradas analógicas y entradas digitales que están conectadas a los interruptores y al potenciómetro como se muestra en las figuras treinta y uno, y treinta y dos.

En la figura treinta y uno se puede apreciar el diagrama de conexiones de potenciómetro para el ajuste de la velocidad del motor y en la figura treinta y dos se ve el diagrama de conexiones de interruptores S1, S2, S3, para la operación del motor.



Salida de 10 V, máx. 10 mA
Referencia para bornes 1, 9, 12, 26, 35, 50 y 52
Entrada analógica (-10 V ... 10 V, 0/4 mA ... 20 mA)
Referencia para borne 3

Figura 31. Diagrama de conexiones de potenciómetro para el ajuste de la velocidad del motor⁷⁴.

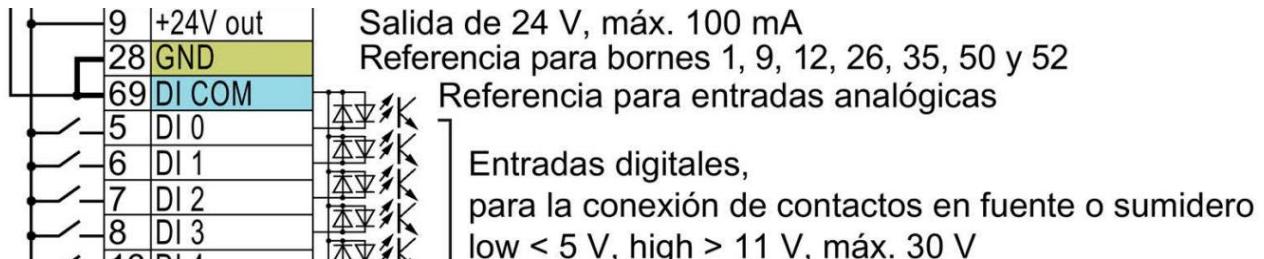


Figura 32. Diagrama de conexiones de interruptores S1, S2, S3, para la operación del motor⁷⁵.

2.1.2.6 Switch Steren Fast Ethernet de 5 puertos

Para que la comunicación entre el ordenador, el PLC y el variador de frecuencia pueda ser posible, el laboratorio también dispone de Switch's o conmutadores de la marca Steren, que cuentan con 5 puertos y que se alimentan de eliminadores de 5 volts a 1.5 ampers. Este conmutador forma una red de área local que permite la comunicación entre equipos y que gracias a su estandarización IEEE802.3, permite la también la comunicación entre dispositivos *PROFINET*.

En la figura treinta y tres se ve una representación del switch o conmutador Ethernet.



Figura 33. Switch Steren Fast Ethernet de 5 puertos.

⁷⁴ SIEMENS (2017), *Instrucciones de servicio resumidas SINAMICS G120P Control Units CU230P-2, 01/2017*.

⁷⁵ Ibid.

2.1.2.7 Módulo de Fuente de poder 24 VCD

El laboratorio tiene a su disposición fuentes de poder de 24 VCD. Estás, cuentan con un interruptor por el que pasa la alimentación de 127 VCA y 3 bornes de salida, una positiva y dos negativas. Esta fuente de poder convierte un voltaje de entrada de 100 – 240 VCA para entregar 24 VCD, con esto, se pueden alimentar dispositivos que operen a 24 VCD, en este caso, el EK9300 de Beckhoff.

En la figura treinta y cuatro se observa el módulo de fuente de alimentación de 24 volts de Corriente directa.



Figura 34. Módulo de fuente de alimentación de 24 volts de Corriente directa (elaboración propia).

En la figura treinta y cinco se ve una fotografía descriptiva del módulo de periferia descentralizada.

2.1.2.8 Módulo de periferia descentralizada Beckhoff EK9300

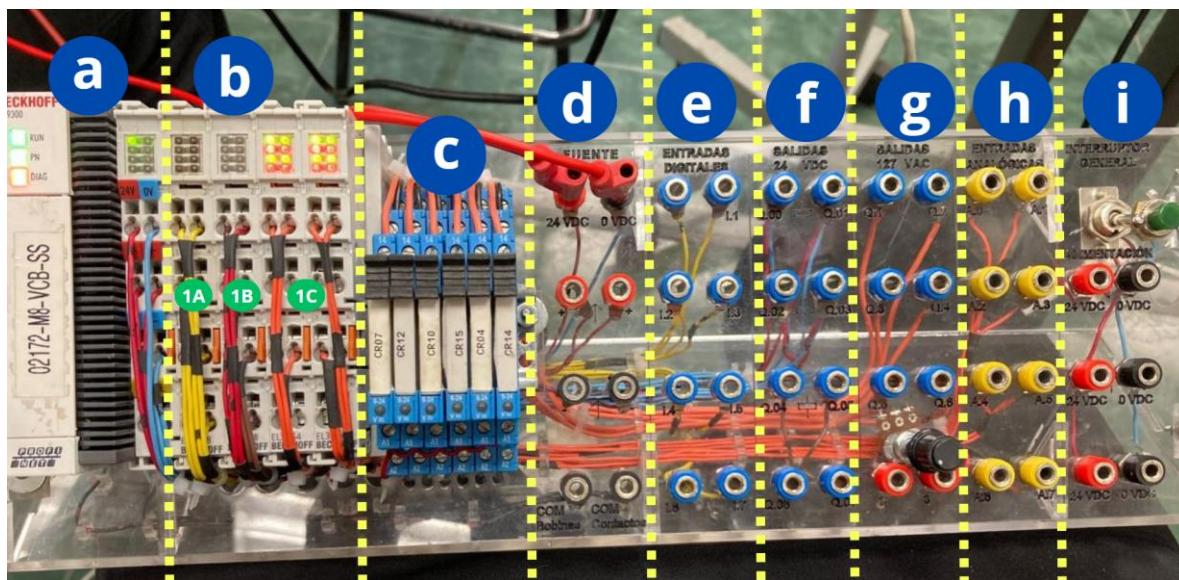


Figura 35. Fotografía descriptiva del módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).

El módulo del acoplador de bus de Beckhoff EK9300 se compone de lo siguiente:

a) Acoplador de bus

En la parte lateral izquierda del módulo se tiene instalado el acoplador de bus de Beckhoff EK9300 con sus bornes de alimentación de 24 VCD, un bus de alimentación y tarjetas de E/S acopladas a un costado. El acoplador de bus EK9300 está diseñado para una comunicación *PROFINET*, por lo tanto, cuenta con dos puertos RJ45 y un conmutador interno a 100 Mbit/s según el manual del acoplador de bus Beckhoff EK9300⁷⁶.

b) Tarjetas E/S

Las tarjetas se encuentran acopladas una tras otra y están conectadas al acoplador de bus mencionado. La tarjeta 1A (EL1008), de entradas digitales, cuenta con 8 bornes de conexión, la tarjeta 1B (EL2008) es de salidas digitales y cuenta con 8 bornes de conexión, seguido tenemos dos tarjetas 1C (EL3094) de entradas analógicas con 8 bornes de conexión y otros 8 de alimentación.

⁷⁶ Beckhoff (2023), *Documentation EK9300 PROFINET-Bus Coupler for EtherCAT Terminals*, 3.3.5, pág. 19

c) Sistema de relevadores auxiliares

A la derecha de las tarjetas se tiene el sistema de relevadores que operan como auxiliares para el accionamiento de las salidas a 127 VCA desde las salidas digitales a 24 VCD de la tarjeta EL2008.

d) Bornes de alimentación

Seguido de los relevadores auxiliares comienzan los bornes de conexión. Se tienen 8 bornes en la parte de alimentación, los dos primeros de arriba hacia abajo se utilizan para la conexión de la fuente de alimentación de 24 VCD externa, y que internamente están dirigidos a las conexiones de 24 VCD y 0 V del acoplador de bus. Los 4 bornes siguientes, están dirigidos para energizar el bus de alimentación interna del acoplador de bus. Los últimos dos bornes son comunes, donde van dirigidos internamente las bobinas y contactos de las señales de los relevadores auxiliares.

e) Bornes de entradas digitales

Estos bornes tienen la funcionalidad de recibir señales de entradas a 24 VCD desde un accionador externo al módulo.

f) Bornes de salidas digitales 24 VCD.

Los bornes de salidas digitales tienen la función de entregar una señal de 24 VCD a algún actuador o indicador externo al módulo.

g) Bornes de salidas 127 VCA.

Los bornes de salidas a 127 VCA, entregan las señales de salida digitales de 24 VCD, pero después de la etapa de los relevadores auxiliares.

h) Entradas analógicas

Los bornes de entradas analógicas reciben señales analógicas configuradas de modo que el software en cuestión las detecte.

i) Interruptor general

El interruptor general del módulo permite o interrumpe el flujo de corriente de la fuente externa de alimentación al módulo.

j) Protecciones de sobrecarga

Las protecciones de sobrecarga sirven en caso de hacer conexiones de forma errónea, corto circuitos o sobrecargas, estos fusibles abren y protegen al módulo.

2.1.3 Descripción de las prácticas actuales desarrolladas en el laboratorio

Actualmente, los temas que se imparten en el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* concluyen en la asignación de una serie de prácticas para que las y los estudiantes puedan llevar la base teórica a un nivel práctico reforzando los conocimientos adquiridos y utilizando las herramientas de automatización que el laboratorio ofrece.

2.1.3.1 Prácticas de control electromagnético

Las prácticas de control electromagnético que se llevan a cabo dentro del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* se enfocan en que las y los estudiantes adquieran diversas habilidades como lo pueden ser la identificación y el uso correcto de los diferentes dispositivos con los que cuentan los tableros de control electromagnético; diseñar diagramas de control y fuerza electromagnético, permitiéndoles posteriormente simularlos y por última instancia, realizar las conexiones pertinentes; operar de manera segura los diferentes elementos de control y fuerza electromagnéticos, esto con el fin de salvaguardar el bienestar de las y los estudiantes y de evitar accidentes dentro del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, todo esto usando como base los conocimiento teóricos adquiridos previamente.

Para que las y los estudiantes puedan desarrollar prácticas de control electromagnético tiene que adquirir conocimientos teóricos a cerca de control electromagnético, esto debido a que dichos conocimientos los van a necesitar para poder desarrollar dichas prácticas, sin estos conocimientos las y los estudiantes no tienen los recursos necesarios para desarrollar las prácticas y por consecuencia no van a obtener las habilidades mencionadas previamente.

Con la elaboración de estas prácticas las y los estudiantes obtienen una retroalimentación mediante los resultados obtenidos de dichas prácticas, si los resultados que se obtuvieron fueron los esperados en la práctica las y los estudiantes pueden continuar con los temas consiguientes, de no ser el caso, las y los estudiantes tienen la oportunidad de ver en que están teniendo deficiencias y trabajar sobre ellas, algunas de estas deficiencias pueden ser, por ejemplo, un mal entendimiento del comportamiento de los diferentes dispositivos de control y fuerza electromagnético.

Prácticas de controlador lógico programable (PLC) y *TIA Portal*

Las prácticas de controlador lógico programable (PLC) y de *TIA Portal* que se llevan a cabo dentro del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* se enfocan en que las y los estudiantes adquieran diversas habilidades como lo pueden ser el uso correcto de esta clase de dispositivos; la identificación de PLC; la correcta configuración de PLC; programar los PLC; programar y cargar dicho programa a un PLC físico o simulado; diseñar HMI y simular dicha HMI. Es importante que las y los estudiantes tengan el conocimiento de cómo usar estos dispositivos debido a que los PLC en la industria son los principales responsables de controlar procesos automatizados.

Para poder realizar las prácticas de manera correcta, los alumnos tienen que obtener los conocimientos teóricos necesarios para poder manejar los PLC y para saber cómo usar el software *TIA Portal*, esto debido a que es muy fácil perderse dentro del software *TIA Portal* ya que tiene muchas aplicaciones.

Con la elaboración de estas prácticas las y los estudiantes obtienen una retroalimentación mediante los resultados obtenidos de dichas prácticas, si los resultados que se obtuvieron fueron los esperados en la práctica las y los estudiantes pueden continuar con los temas consiguientes, de no ser el caso, las y los estudiantes tienen la oportunidad de ver en que están teniendo deficiencias y trabajar sobre ellas, algunas de estas deficiencias pueden ser, por ejemplo, una mala selección del PLC dentro del software *TIA Portal*, una programación del PLC incorrecta, una falta de comunicación entre el PLC y el software *TIA Portal*.

2.1.3.2 Prácticas de variador de frecuencia

Las prácticas de variador de frecuencia que se llevan a cabo dentro del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* se enfocan en que las y los estudiantes aprendan a usar esta clase de dispositivos para poder emplearlos en diversas aplicaciones ya que dentro de la automatización de procesos industriales son muy importantes, alguna de estas aplicaciones son el variar la velocidad de los motores o cambiar el sentido de giro de la flecha del motor. Es importante que los estudiantes tengan los conocimientos teóricos necesarios para poder operar dichos dispositivos de manera segura, ya que si no cuentan con estos conocimientos pueden ocasionar un accidente o dañar los equipos. El principal objetivo es que las y los estudiantes amplíen las posibles aplicaciones que tienen los variadores de frecuencia mediante la integración de una periferia descentralizada.

Para que las y los estudiantes puedan desarrollar dichas prácticas es necesario que cuenten con los conocimientos teóricos necesarios, es importante que tengan la noción de que es un variador de frecuencia, cuáles son sus posibles aplicaciones y que tipos de variadores de frecuencia existen, esto con el fin de que puedan realizar las prácticas de manera correcta.

Con la elaboración de estas prácticas las y los estudiantes obtienen una retroalimentación mediante los resultados obtenidos de dichas prácticas, si los resultados que se obtuvieron fueron los esperados en la práctica las y los estudiantes pueden continuar con los temas consiguientes, de no ser el caso, las y los estudiantes tienen la oportunidad de ver en que están teniendo deficiencias y trabajar sobre ellas, algunas de estas deficiencias pueden ser, por ejemplo, una mala configuración del variador de frecuencia; una programación incorrecta del variador de frecuencia; un mal cableado del variador de frecuencia o del motor.

2.2 Planteamiento de necesidades

Las prácticas realizadas actualmente aportan gran valor a la preparación de los estudiantes. Los módulos son aprovechados y los temas impartidos se ponen en práctica de manera efectiva.

La automatización industrial ofrece un mundo de posibilidades, mismas que se traducen en una variedad extensa de equipos. Se busca que los estudiantes adquieran conocimiento de los equipos fundamentales que forman parte de los procesos industriales. Por lo anterior, se pretende introducir un nuevo equipo a este esquema de impartición, por medio de un módulo didáctico, que permita acrecentar los conocimientos y habilidades de los estudiantes.

2.3 Planteamiento general de las prácticas propuestas con el material disponible

Actualmente el método de impartición de la asignatura cubre los temas de control electromagnético, controlador lógico programable (PLC) y variadores de frecuencia, permitiendo a los estudiantes adquirir conocimientos referentes a la programación y manipulación de equipo industrial de automatización.

Con el objetivo de los estudiantes adquieran una mejor capacitación con respecto al manejo e implementación del equipo industrial que ofrece el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, se buscan adicionar, prácticas complementarias que integren los equipos ya estudiados y manipulados, haciendo uso del protocolo de comunicación *PROFINET* y la periferia descentralizada.

Las prácticas que se llevan a cabo actualmente se realizan en una estación equipada con un ordenador, un tablero de control electromagnético y un módulo de PLC. Este tablero de control electromagnético se conecta a los módulos de entradas y salidas locales con los que cuenta cada PLC como se muestra en la treinta y seis, donde se puede observar que los accionadores y actuadores del tablero se encuentran conectados al módulo de entradas y salidas locales del PLC en cuestión, y que, la comunicación entre el PLC y el ordenador es punto a punto.



Figura 36. Esquema de comunicación *PROFINET* entre el ordenador, el PLC y el tablero de control electromagnético (elaboración propia).

Ya que el laboratorio se encuentra dividido en 5 estaciones separadas a una distancia considerable, conectar dos tableros de control electromagnético a un solo PLC se vuelve complicado puesto que los cables de prueba plug a plug tipo banana que dispone el laboratorio no cubren la distancia de separación entre estaciones.

Utilizar un módulo de entradas y salidas locales es funcional para trabajar sobre una sola estación, pero si se requiriera conectar varías estaciones, módulos u otros dispositivos que están alejados entre sí, para funcionar como un solo sistema y con una cantidad mínima de cableado, es necesario descentralizar. Para que esto sea posible, se implementa un módulo de periferia descentralizada capaz de enviar y recibir señales de entradas y salidas de una estación a otra mediante un protocolo de comunicación. El acoplador de bus EK9300 es ideal para operar como una periferia descentralizada debido a que los sistemas de terminales de bus de Beckhoff realizan una conexión descentralizada de entradas y salidas ya sean digitales o analógicas.

En la figura treinta y siete se tiene un ejemplo de conexión de un PLC que recibe y transmite señales a dos estaciones alejadas entre sí. De lado izquierdo, se encuentra la conexión de un tablero de control electromagnético al módulo de entradas y salidas locales del PLC como se realiza actualmente, y de lado derecho, el acoplador de bus con sus tarjetas de entradas y salidas operando como una periferia descentralizada

que recibe y transmite información de su conexión descentralizada de accionadores y actuadores del tablero de control electromagnético al PLC y al ordenador mediante el protocolo de comunicación *PROFINET*.

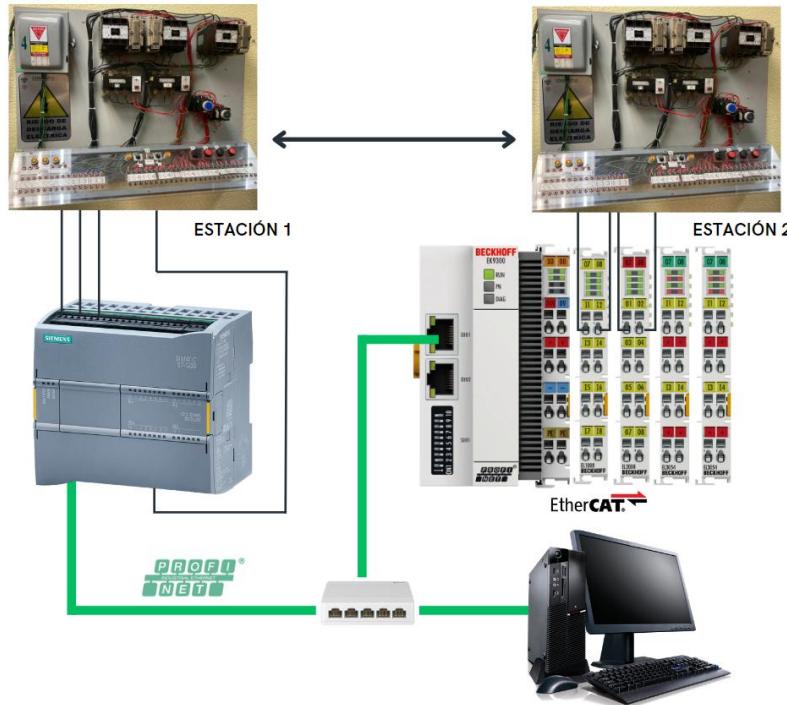


Figura 37. Esquema de comunicación *PROFINET* entre el PLC, el módulo de periferia descentralizada, el ordenador y dos tableros de control electromagnético (elaboración propia).

Según el estándar IEEE 802.3, la distancia máxima de cableado de un cable *PROFINET/Ethernet* de cobre categoría 5e o superior es de 100 metros. Esto quiere decir que, el cable de comunicación *PROFINET* entre sus ventajas tiene el cubrir grandes distancias y la reducción de cantidad de cableado necesaria para la conexión entre estaciones debido a su distancia de separación, transmitiendo la información de sus entradas y salidas por un solo medio, permitiendo amplificar las opciones de práctica dentro del laboratorio, ya que esta configuración incrementa la capacidad de automatizar una mayor cantidad de dispositivos que permitan a las y los estudiantes adquirir práctica y conocimientos más completos de los temas impartidos en la asignatura.

Por otra parte, se busca también que los estudiantes adquieran la capacidad de aprovechar el equipo disponible en el laboratorio integrando todos los módulos y temas estudiados con anterioridad en las prácticas que se propondrán. Actualmente,

los temas de control electromagnético y controlador lógico programable demandan la integración del tablero de control electromagnético, el módulo de PLC y la simulación de una HMI para la realización de prácticas, pero el módulo de variador de frecuencia se imparte de manera individual y se configura sin ningún tipo de comunicación. Ante esta situación, se busca que los estudiantes aprendan a comunicar equipos (aun siendo de distintos fabricantes) realizando la configuración y programación adecuada para su interacción conjunta mediante el protocolo de comunicación *PROFINET*.

En la figura treinta y ocho, se muestra un ejemplo de integración del material disponible que se busca lograr con el desarrollo de las prácticas que se propondrán. Un módulo de PLC recibirá la información del tablero de control electromagnético ubicado en otra estación a través del módulo de periferia descentralizada y realizará el control de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia, monitoreando y controlando las entradas y salidas desde una interfaz humano-maquina simulada en el ordenador. Estos equipos estarán conectados en una red estrella hacia un punto central que será el commutador (switch) para intercambiar información y operar conjuntamente. En la figura treinta y ocho se ve un esquema de la integración del material disponible en el laboratorio de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos.

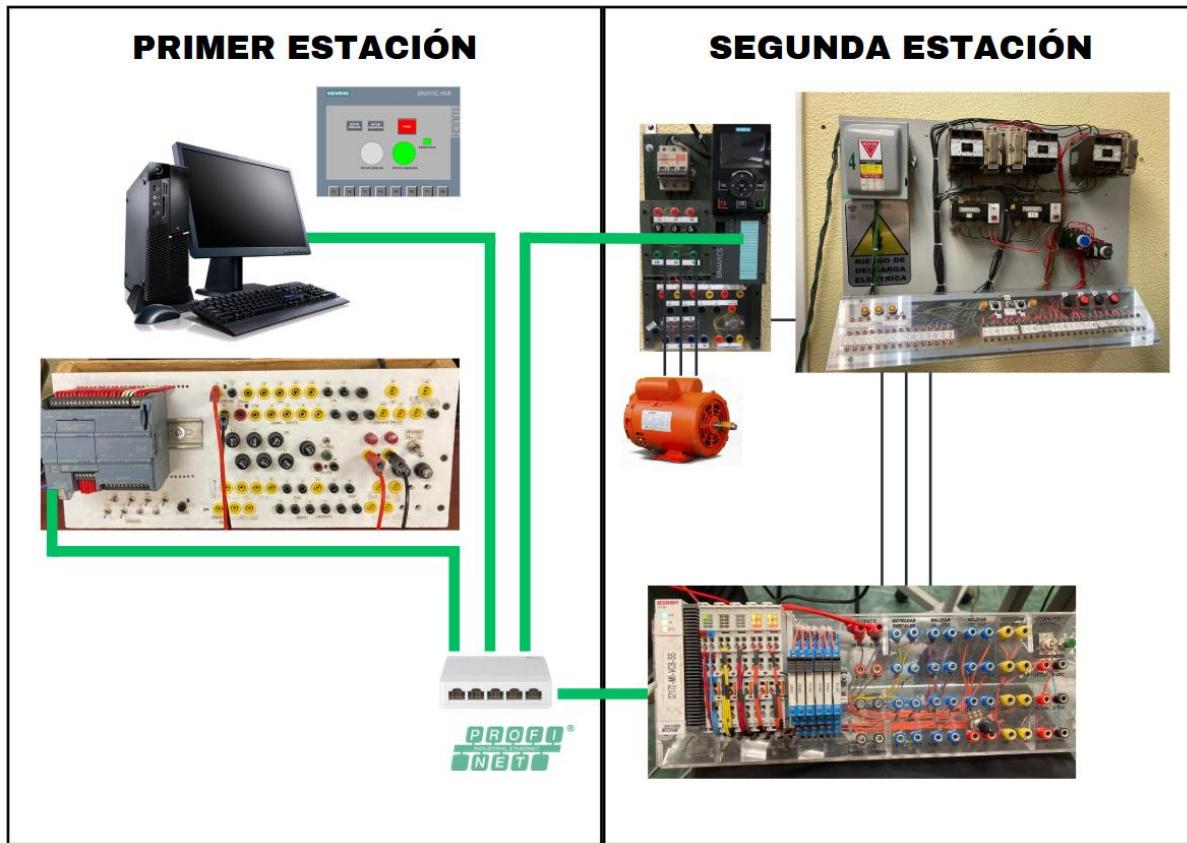


Figura 38. Esquema de la integración del material disponible en el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* (elaboración propia).

Para desarrollar las prácticas que se proponen, es necesario realizar la integración del módulo didáctico de periferia descentralizada con el acoplador de bus EK9300 y las tarjetas de entradas y salidas digitales EL1008 y EL2008 de Beckhoff para comprobar que su comportamiento sea el adecuado y cumpla con los objetivos de cada práctica.

En el segundo capítulo se describió la asignatura *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, abordando los temas actuales que se imparten, los recursos disponibles en el laboratorio, y las prácticas que los estudiantes realizan. Este análisis destaca la importancia de modernizar y complementar las prácticas para maximizar el aprovechamiento del equipo existente, como tableros de control electromagnético, PLC y variadores de frecuencia. Además, se identifica la oportunidad de introducir un enfoque más integral mediante la incorporación de prácticas relacionadas con la periferia descentralizada y el protocolo *PROFINET*, optimizando así el aprendizaje

práctico de los estudiantes. Este enfoque busca fortalecer las competencias requeridas en la automatización industrial y preparar mejor a los estudiantes para las demandas del sector.

Capítulo 3. Integración del módulo didáctico de periferia descentralizada EK9300.

En el presente capítulo se desarrollan los diagramas y conexiones del acoplador de bus, las tarjetas de entradas y salidas digitales y la fuente de poder para la integración del módulo de periferia descentralizada. Posteriormente, se realiza la construcción y puesta en marcha del módulo para comprobar que su funcionamiento sea el adecuado.

La construcción de los módulos se realiza en base al trabajo terminal mencionado en la introducción y en los antecedentes del presente trabajo.

3.1 Material disponible para el armado de módulo de periferia descentralizada.

Para realizar el armado del módulo de periferia descentralizada y de la fuente de alimentación, se integra el equipo necesario del que dispone el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*. En este apartado se presenta el listado de dicho equipo, así como sus características y funcionalidad en el módulo de periferia descentralizada.

3.1.1 Acoplador de Bus EK9300.

EK9300 es la parte más importante de este proyecto ya que, como se mencionó en el primer capítulo del presente trabajo, opera como la periferia descentralizada encargada de enviar y recibir información de sus entradas y salidas al PLC por medio de *PROFINET*.

Según la documentación del *EK9300*⁷⁷, la tensión de alimentación que suministra al dispositivo es de 24 VDC y, a través del bus de terminales, el *EK9300* alimenta a las terminales a 24 VDC con una tolerancia de -15%/+20% y una corriente de 2 A. Cuenta

⁷⁷ Ibid

con 2 puertos RJ45 con una velocidad de 100 Mbits/s full-duplex y un tamaño máximo de datos de proceso de 1440 bytes de entradas y salidas.

Las dimensiones del dispositivo se muestran en la figura treinta y nueve.

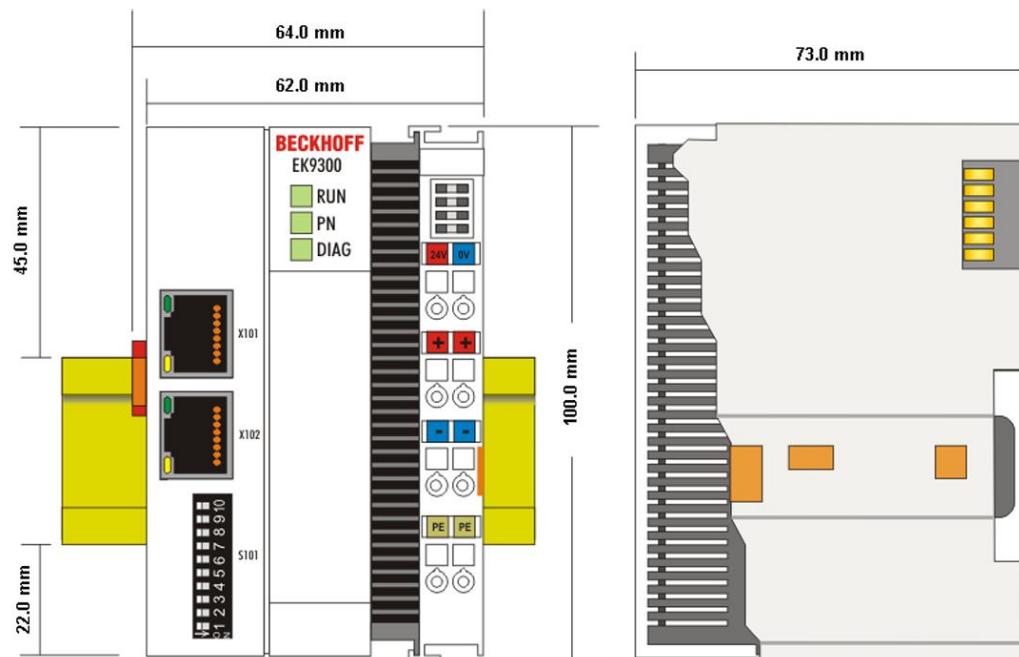


Figura 39. Dimensiones del acoplador de bus EK9300⁷⁸.

3.1.2 Tarjeta de entradas digitales EL1008.

Según el manual del *EL1008*⁷⁹, se alimenta del acoplador de bus *EK9300* que entrega una tensión de 24 VDC con una tolerancia de -15%/+20% y como cada terminal necesita una determinada corriente del bus eléctrico, la tarjeta *EL1008* consume 90 mA. Como se menciona en el primer capítulo, esta tarjeta se implementa para la obtención de señales digitales que se conectan al E-bus y al acoplador para enviar información a la red *PROFINET*. En la figura cuarenta se observa el diagrama descriptivo de la tarjeta de entradas digitales EL1008.

⁷⁸ Ibid
⁷⁹ Ibid

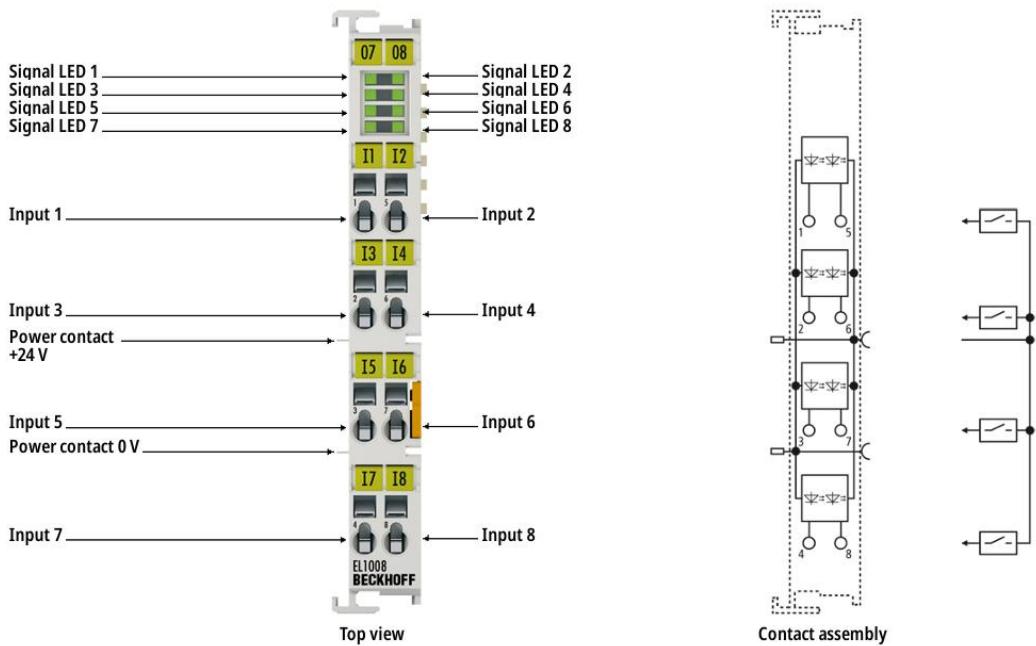


Figura 40. Diagrama descriptivo de la tarjeta de entradas digitales EL1008⁸⁰.

3.1.3 Tarjeta de salidas digitales EL2008.

Según el manual del *EL2008*⁸¹, se alimenta del acoplador de bus *EK9300* que entrega una tensión de 24 VDC con una tolerancia de -15%/+20% y consume una corriente de 110 mA del E-bus. Entrega una corriente máxima por canal de 0.5 A y cuenta con una posibilidad de conexión a diferentes tipos de carga, salidas a prueba de cortocircuitos y protección contra inversión de polaridad.

Como se menciona en el primer capítulo, esta tarjeta se integra con la finalidad de entregar señales digitales asignadas desde el PLC. Esta información se transmite por *PROFINET* hasta llegar al acoplador de bus, que será el encargado de llevar esta señal a un canal de la terminal EL2008. En la figura cuarenta y uno se ve el diagrama descriptivo de la tarjeta de salidas digitales EL2008.

⁸⁰ Ibid
⁸¹ Ibid

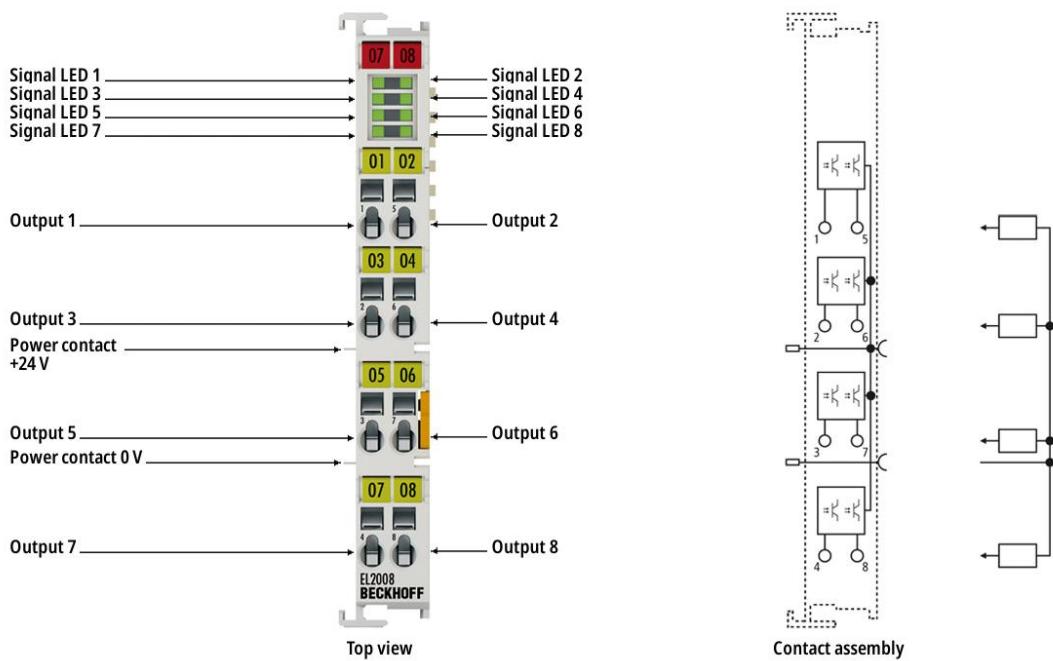


Figura 41. Diagrama descriptivo de la tarjeta de salidas digitales EL2008 (elaboración propia).

3.1.4 Fuente de alimentación MINI-PS-100-240AC/24DC/2

También se integra una fuente de alimentación para alimentar al sistema del *EK9300*. La marca *Phoenix Contact* ofrece una fuente de alimentación que cumple con los requerimientos para alimentar al acoplador de bus *EK9300* como se mencionó en el primer capítulo del presente trabajo. En la figura cuarenta y dos se puede ver una representación de la fuente de alimentación MINI-PS-100-240AC/24DC/2.



Figura 42. Fuente de alimentación MINI-PS-100-240AC/24DC/2.

3.1.5 Relevador Finder 34.51.7.024.0010

Se utilizan los relevadores *Finder 34.51.7-024.0010* ya que ‘A1’ (+24 VCD) y ‘A2’ (0 VCD) son las entradas de la señal que entrega la tarjeta de salidas EL2008, estás, al ser activadas y cerrar el circuito, energizan la bobina interna accionando a su vez el contacto interno aislado que cierra el circuito de la señal de potencia de 127 VCA.

En la figura cuarenta y tres se ven las propiedades del Relevador Finder 34.51.7.024.0010.

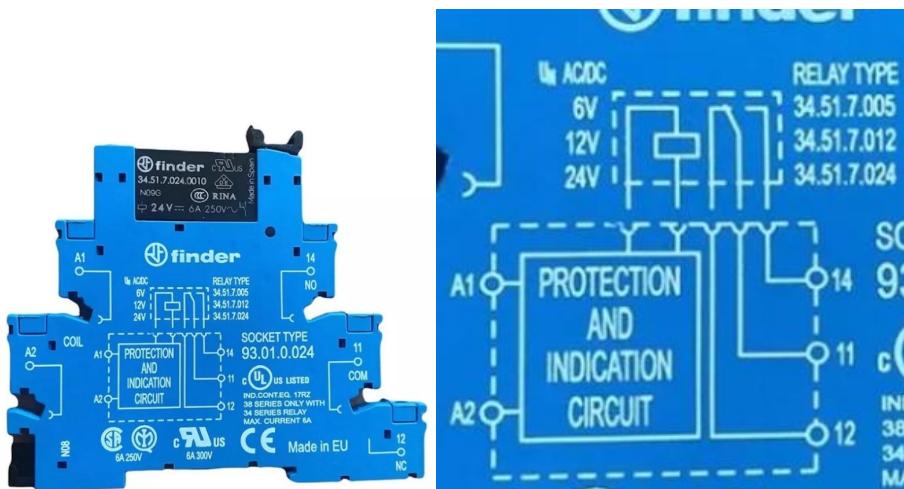


Figura 43. Relevador Finder 34.51.7.024.0010.

3.2 Cortes del módulo de fuente de alimentación

Dado que ya existe otro módulo didáctico de periferia descentralizada, el presente trabajo, se basa en la documentación técnica proveniente del trabajo terminal presentado en el año 2024, en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en la Ciudad de México, titulado Desarrollo de un módulo didáctico con PLC y tablero de control electromagnético para la actualización de prácticas en la materia de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos, para obtener el título profesional de Ingeniero en control y automatización, escrita por Lozada Polo Saúl Joshel y Méndez Vargas Marco Antonio⁸². Con base en los planos de corte se mandó a hacer el corte laser del acrílico

⁸² Saúl Joshel Lozada Polo y Marco Antonio Méndez Vargas (2024). Desarrollo de un módulo didáctico con PLC y tablero de control electromagnético para la actualización de prácticas en la materia de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos. Ciudad de México, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) unidad Zacatenco, trabajo terminal para obtener el título de ingenieros en control y automatización.

en una tienda especializada, una vez que se obtuvieron las piezas a disposición se procedió al armado del módulo de fuente de alimentación. En la figura cuarenta y cuatro se ve el diseño del módulo de fuente de alimentación.

ACRÍLICO TRANSPARENTE 3 mm

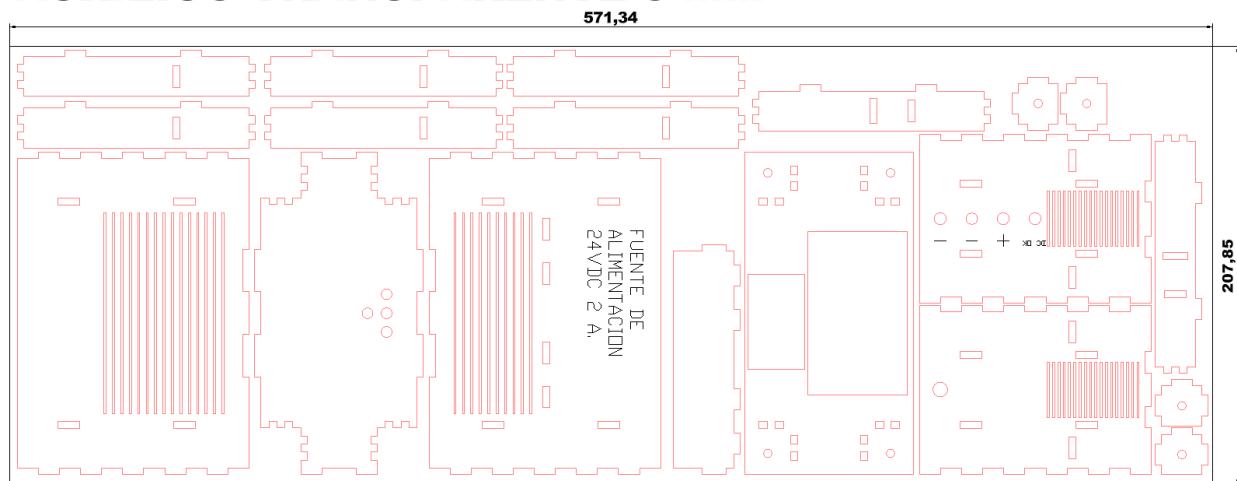


Figura 44. Diseño del módulo de fuente de alimentación⁸³.

En la presente imagen se puede apreciar el diseño que tiene el módulo de fuente de alimentación, en este diseño se pueden apreciar aspectos tales como las medidas con las que cuenta cada pieza del módulo, el espesor del acrílico que se requiere para el módulo y los nombres de cada componente que conforma el módulo. En la figura cuarenta y cinco se ve la descripción de los planos de corte laser del módulo de fuente de alimentación.

⁸³Ibid

ACRÍLICO TRANSPARENTE 3 mm

571,34

i

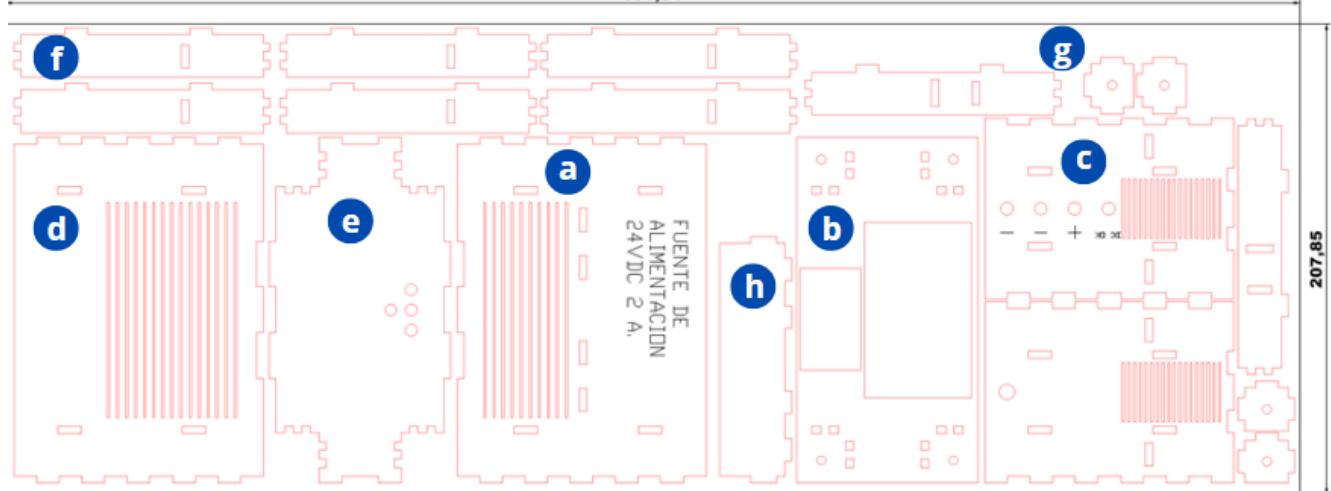


Figura 45. Descripción de los planos de corte laser del módulo de fuente de alimentación (elaboración propia).

- Tapa lateral izquierda: Este corte corresponde a la tapa lateral izquierda del módulo, en esta tapa se encuentra grabada la leyenda “FUENTE DE ALIMENTACIÓN 24VDC 2 A”, la cual indica que la fuente de alimentación entrega 24 volts de corriente directa con una corriente de 2 amperes.
- Tapa frontal: Este corte corresponde a la tapa frontal del módulo, en esta tapa se podrá tener acceso al interruptor para energizar la fuente de alimentación y, a la parte delantera de la fuente de alimentación.
- Tapa superior e inferior: Estos cortes corresponden a las tapas superior e inferior del módulo, en la tapa superior se van a encontrar los bornes de conexión para poder alimentar dispositivos con 24 volts de corriente directa, la tapa inferior únicamente cumple la función de tener ventilación.
- Tapa lateral derecha: Este corte corresponde a la tapa lateral derecha la cual solo tiene la función de servir como ventilación.
- Tapa trasera: Este corte corresponde a la tapa trasera del módulo, esta tapa solo tiene la función de ensamblar todas las tapas en una sola pieza.
- Postes de soporte: Estos cortes cumplen la función de ser un soporte interno para aguantar el peso los otros cortes del módulo.

- g) Bases para tornillos: Estos cortes sirven para ensamblarlos a los soportes del módulo y poder pasar un tornillo por el interior del soporte para que el mismo quede más robusto y el módulo quede bien ensamblado.
- h) Unión
- i) Proporciones: Se indica el espesor necesario del acrílico para que las piezas se puedan ensamblar de manera correcta, de igual modo se indica el área necesaria de acrílico para el corte de las piezas.

3.2.1 Diagrama guía de conexiones del módulo de fuente de alimentación.

Para poder realizar las conexiones del módulo de fuente de alimentación se realizó un diagrama de conexiones que sirvió como guía para realizar las conexiones necesarias de manera correcta y que, de esta manera, funcione el módulo y la fuente pueda alimentar otros dispositivos. En la figura cuarenta y seis se ve un esquema de conexiones del módulo de fuente de alimentación.

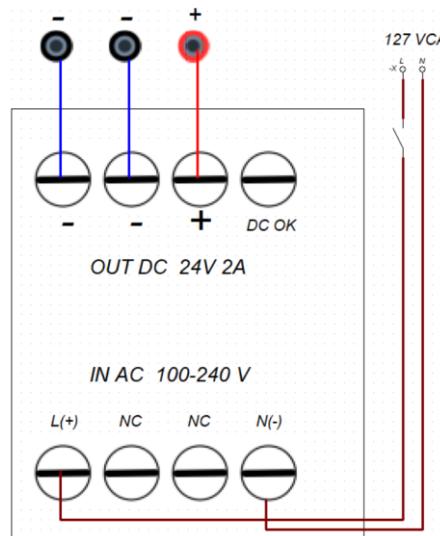


Figura 46. Esquema de conexiones del módulo de fuente de alimentación (elaboración propia).

En la presente imagen se tiene el diagrama de conexiones para el módulo de fuente de alimentación, este diagrama fue utilizado para poder realizar las conexiones necesarias para que este funcionara de manera correcta, esto con el fin de poder utilizar la fuente de alimentación para poder alimentar al módulo de periferia

descentralizada. En la figura cuarenta y siete se ve la descripción del esquema de conexiones del módulo de fuente de alimentación.

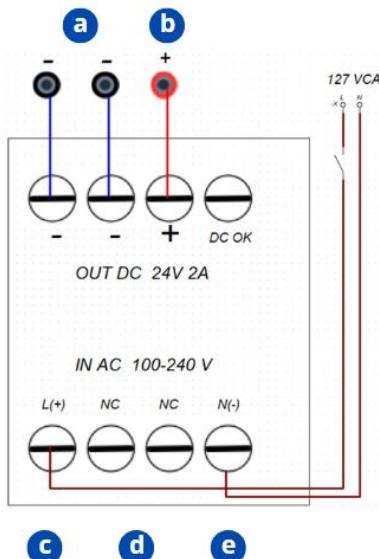


Figura 47. Descripción del esquema de conexiones del módulo de fuente de alimentación (elaboración propia).

- Bornes de conexión negativo de salida (24 volts de corriente directa a 2 amperes).
- Borne de conexión positivo de salida (24 volts de corriente directa a 2 amperes).
- Borne de conexión positivo de entrada (de 100 a 200 volts de corriente alterna).
- Bornes de conexión común de entrada (de 100 a 200 volts de corriente alterna).
- Borne de conexión negativa de entrada (de 100 a 200 volts de corriente alterna).

3.2.2 Pruebas de funcionamiento de la fuente de poder

Una vez que se adquirió la fuente de poder MINI-PS-100-240AC/24DC/2 se procedió a realizar las conexiones necesarias para poder probar su correcto funcionamiento. En la figura cuarenta y ocho se ve la prueba de funcionamiento fuente de alimentación.

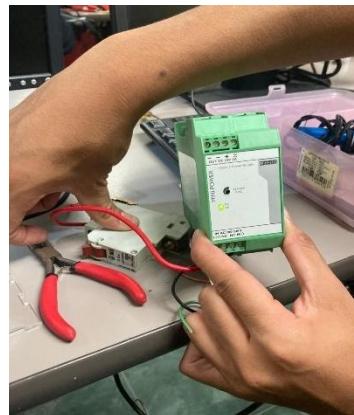


Figura 48. Prueba de funcionamiento fuente de alimentación (elaboración propia).

Para probar el correcto funcionamiento de la fuente de poder se procedió a conectarle un interruptor y un cable de uso rudo de calibre 16 con una clavija trifásica, una vez que el interruptor y que el cable estuvieron conectados se procedió a energizar el interruptor y cuando se cierra el circuito se energiza la fuente de poder, se puede corroborar que la fuente esta energizada debido a que esta cuenta con un led de color verde, este indica que la fuente de energía se encuentra operando de manera correcta. Posteriormente se procedió a realizar pruebas con un multímetro, se confirmó que la energía en la entrada sea la requerida y que la energía en la salida sea la que marca el fabricante.

3.2.3 Ensamblado de módulo de fuente de alimentación

Al comprobar que el funcionamiento de la fuente de alimentación es el adecuado se procedió a realizar el ensamblaje del módulo de la fuente de alimentación para que pueda ser usada de manera correcta y cómoda. En la figura cuarenta y nueve se ve el módulo de fuente de alimentación ensamblado.

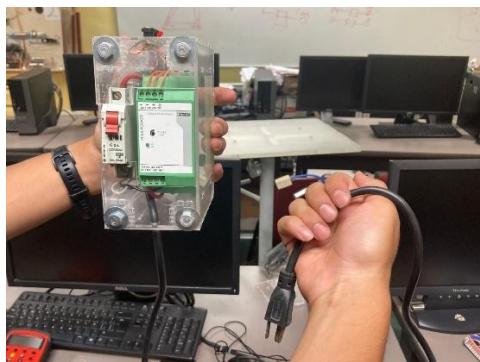


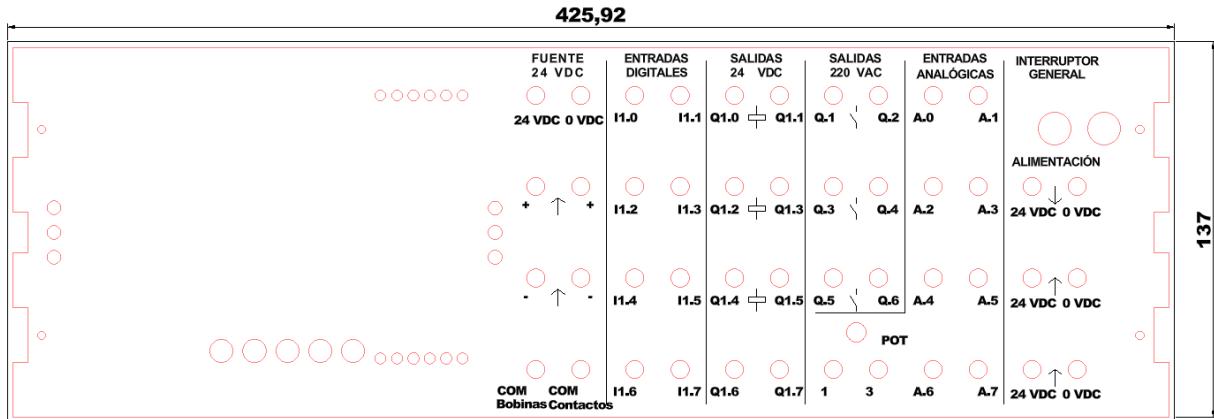
Figura 49. Módulo de fuente de alimentación ensamblado (elaboración propia).

En la imagen se puede apreciar cómo es que queda ensamblada la fuente en un módulo, para que de esta manera los estudiantes puedan hacer uso de ella sin muchas complicaciones, se busca que la estructura sea sólida y duradera, además, se pretende que con este módulo los estudiantes puedan hacer uso de la fuente de poder de una manera más fácil o intuitiva.

3.3 Cortes del módulo de periferia descentralizada

Para poder realizar los cortes de las piezas del módulo de periferia descentralizada se necesitó del diseño de dichos cortes, este diseño se obtuvo de la documentación técnica del trabajo terminal presentado en el año 2024, en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en la Ciudad de México, titulado Desarrollo de un módulo didáctico con PLC y tablero de control electromagnético para la actualización de prácticas en la materia de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos, para obtener el título profesional de Ingeniero en control y automatización, escrita por Lozada Polo Saúl Joshel y Méndez Vargas Marco Antonio, una vez que se dispuso de dicho diseño se procedió a realizar los cortes correspondientes para la obtención de las piezas, estos cortes se realizaron en una tienda especializada en máquinas de corte laser. En la figura cincuenta se ve el diseño de módulo de periferia descentralizada.

ACRÍLICO TRANSPARENTE 3 mm



ACRÍLICO TRANSPARENTE 5 mm

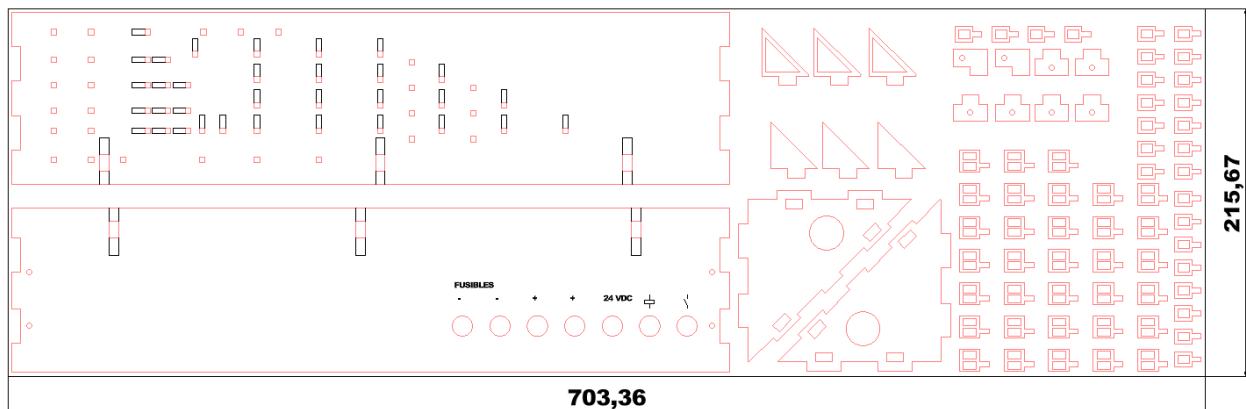


Figura 50. Diseños de módulo de periferia descentralizada.

En la presente imagen se puede apreciar el diseño de cada pieza que tiene el módulo de periferia descentralizada, en el diseño del módulo de periferia descentralizada se pueden observar aspectos tales como las medias de cada pieza, el espesor del acrílico y el nombre de los componentes que forman parte del módulo, al igual que en el módulo de fuente de alimentación. En la figura cincuenta y uno se ve la descripción de la tapa frontal del plano de corte laser del módulo de periferia descentralizada.

TAPA FRONTAL

ACRÍLICO TRANSPARENTE 3 mm h

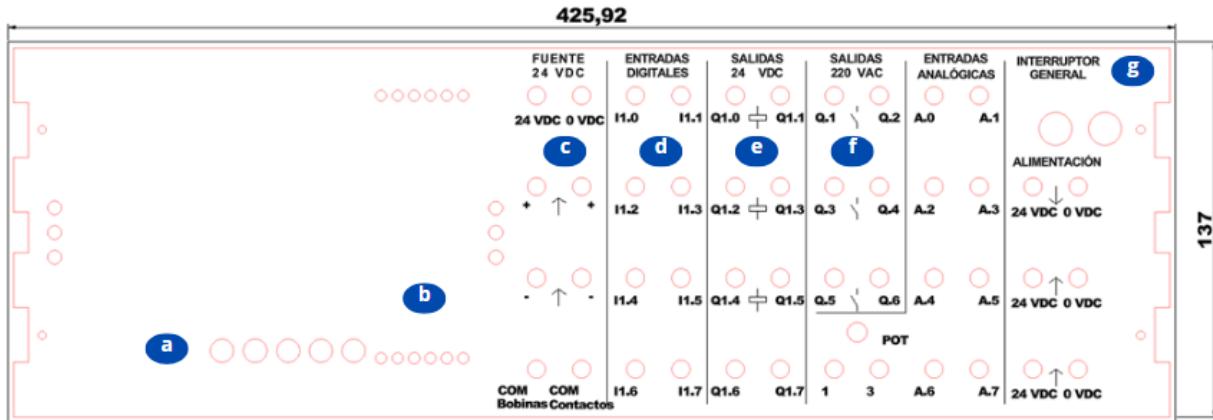


Figura 51. Descripción de la tapa frontal del plano de corte laser del módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).

- Zona para ensamblar el acoplador de bus EK9300 y el sistema de tarjetas de entradas y salidas digitales.
- Zona para ensamblar el sistema de relevadores auxiliares.
- Zona para instalar bornes de conexión correspondientes a la alimentación del acoplador de bus EK9300 y del sistema de tarjetas de entradas y salidas digitales.
- Zona para instalar bornes de conexión correspondientes a las entradas digitales.
- Zona para instalar bornes de conexión correspondientes a las salidas digitales.
- Zona para instalar bornes de conexión correspondientes a las salidas de 220 volts de corriente alterna del sistema de relevadores auxiliares.
- Zona para instalar bornes de conexión correspondientes a la alimentación general del módulo de periferia descentralizada.
- Se indica el área necesaria para realizar los cortes del acrílico y también el espesor necesario del mismo.

En la figura cincuenta y dos se ve la descripción de la tapa trasera del plano de corte laser del módulo de periferia descentralizada.

ACRÍLICO TRANSPARENTE 5 mm

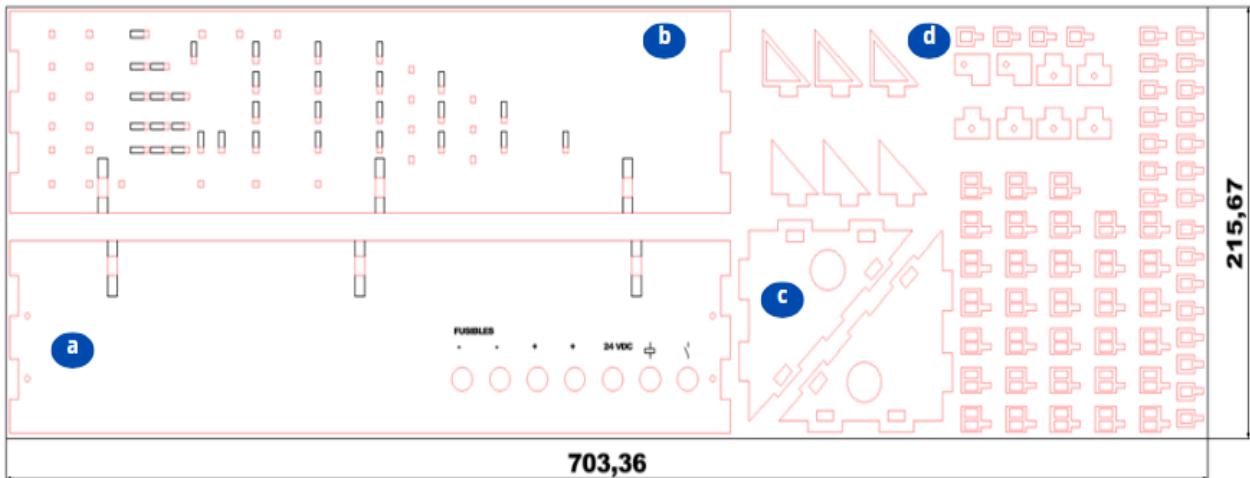


Figura 52. Descripción de la tapa trasera del plano de corte laser del módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).

- a) Tapa trasera del módulo.
- b) Tapa inferior del módulo.
- c) Tapas laterales del módulo
- d) Guías para los cables correspondientes a el módulo.
- e) Se indica el área necesaria para realizar los cortes del acrílico y también el espesor necesario del mismo.

3.3.1 Diagrama guía de conexiones del módulo de periferia descentralizada

Para poder realizar las conexiones del módulo de periferia descentralizada se necesitó del diagrama de conexiones del módulo. En la figura cincuenta y tres se ve el diagrama de conexiones del módulo de periferia descentralizada

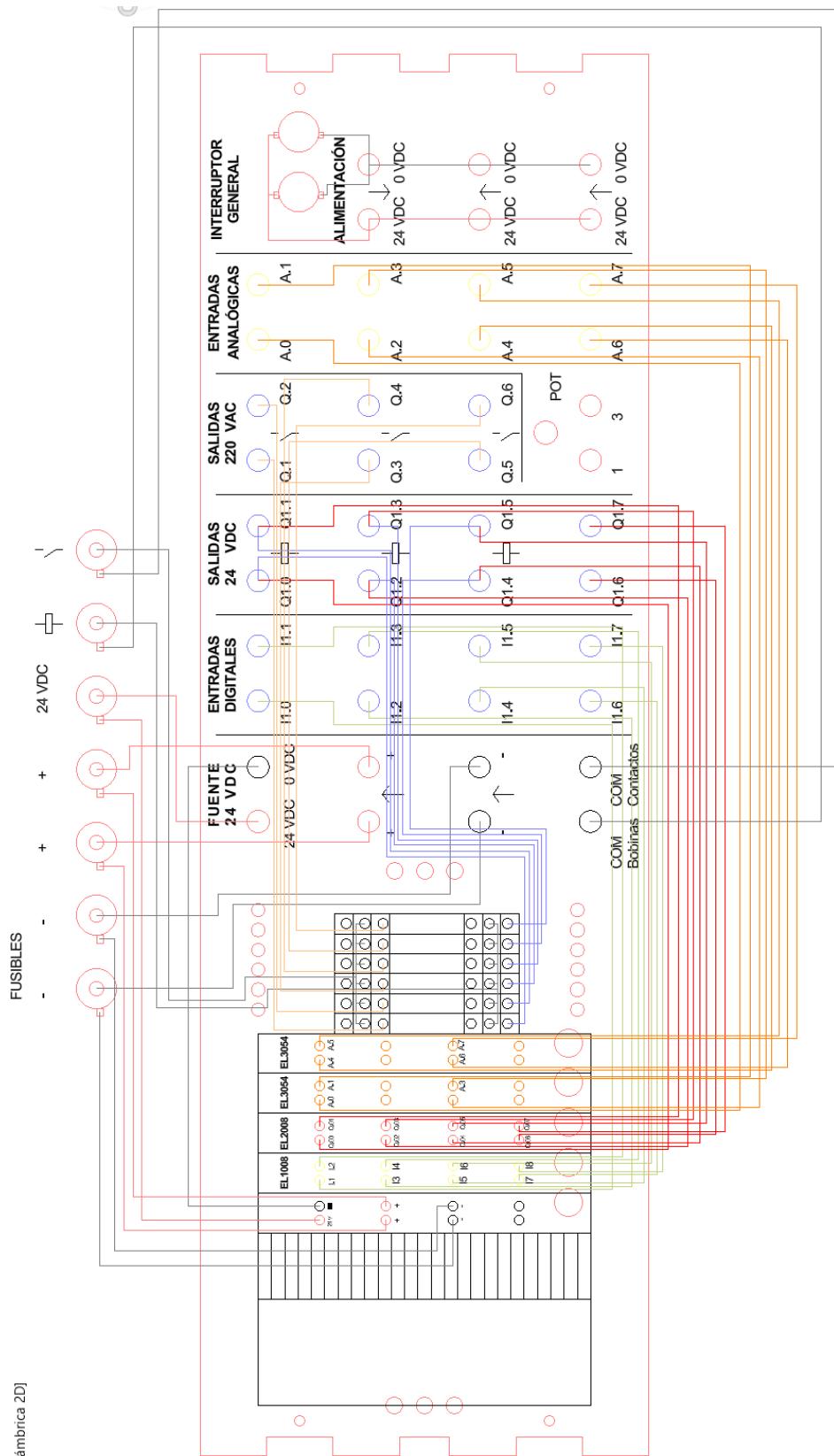


Figura 53. Diagrama de conexiones del módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).

En la presente imagen se aprecia el diagrama de conexiones que se utilizó para realizar las conexiones necesarias para el correcto funcionamiento del módulo de periferia descentralizada, en este diagrama se puede observar cómo es que se conectó cada uno de los componentes que conforma el módulo y de igual modo se puede notar el nombre de cada uno de los componentes que conforma el módulo.

3.3.2 Proceso de soldadura del cableado del módulo de periferia descentralizada

Tomando como referencia el diagrama de conexiones se realizó el proceso de soldadura del cableado de los bornes de conexión para cada componente del módulo de periferia descentralizada. En la figura cincuenta y cuatro se observa el soldado de cables del módulo.

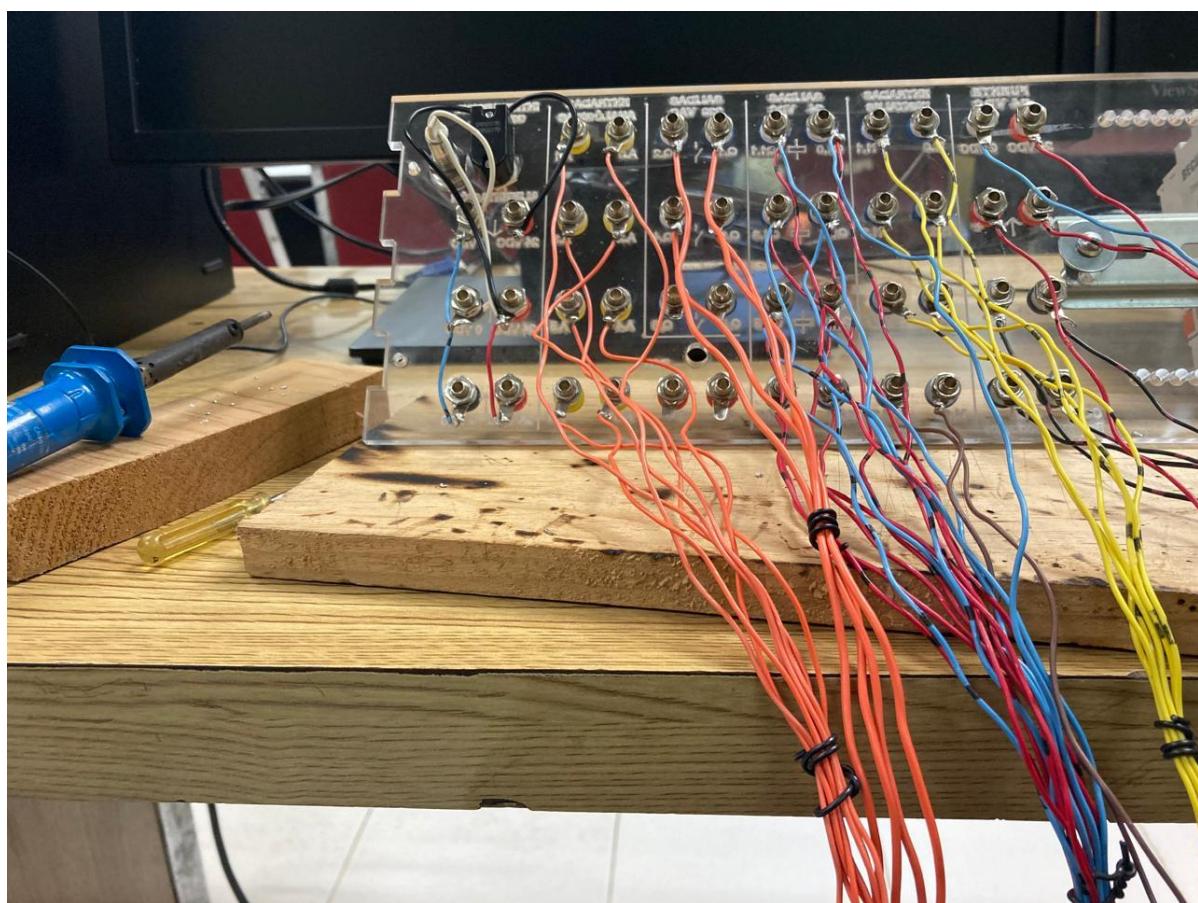


Figura 54. Soldado de cables (elaboración propia).

Se puede observar que se soldó cada uno de los bornes de conexión de cada uno de los componentes que conforman el módulo de periferia descentralizada, una vez que se tuvieron todos los cables soldados se procedió a realizar el planchado o peinado de los cables para que estos estuvieran lo más ordenados que se pudiese.

3.2.3 Pruebas de funcionamiento del acoplador de bus EK9300

Teniendo a disposición el acoplador de bus EK9300, se realizaron las pruebas correspondientes de funcionamiento. Para poder llevar a cabo las pruebas necesarias se requirió un diagrama de alimentación para hacer las conexiones físicas adecuadas para el encendido del EK9300, una vez que se tuvieron los diagramas necesarios para realizar las conexiones necesarias se procedió a realizar dichas conexiones, para posteriormente, poder comprobar que el acoplador de bus EK9300 prendiera. En la figura cincuenta y cinco se ve la prueba de funcionamiento del acoplador de bus EK9300.



Figura 55. Prueba de funcionamiento del acoplador de bus EK9300 (elaboración propia).

En la presente imagen se puede observar cómo es que se logró prender el acoplador de bus EK9300 y se puede observar como este cuenta con leds que indican el estado de este, una vez que se realizaron las conexiones necesarias se corroboró que este prendiera de manera correcta y sin errores.

3.2.4 Pruebas de comunicación del acoplador de bus EK9300.

Después de tener ensamblado el módulo de periferia descentralizada se procedió a realizar pruebas de comunicación entre el módulo de periferia descentralizada, el PLC y el software *TIA Portal*. Esta prueba en particular es muy importante ya que, si el

acoplador de bus EK9300 no logra comunicarse efectivamente, va a ser imposible que la periferia cumpla con su propósito de ser. En la figura cincuenta y seis se ve la prueba de comunicación del acoplador de bus EK9300 y el PLC S7-1200.

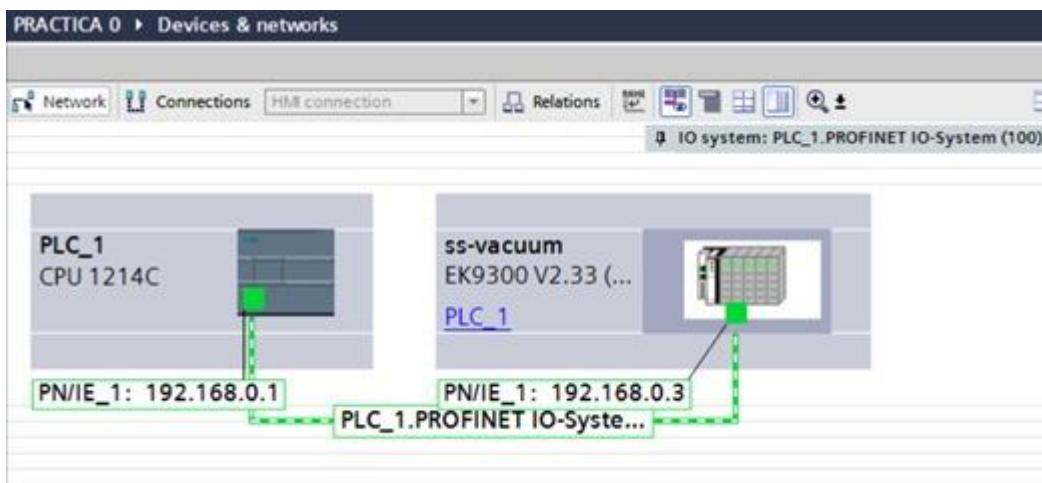


Figura 56. Prueba de comunicación del acoplador de bus EK9300 y el PLC S7-1200 (elaboración propia).

Se puede observar que una vez obtenidas las características del equipo *PROFINET* EK9300 mediante los archivos GSDML que contienen las características del acoplador de bus EK9300, este se comunicó de manera correcta con el PLC S7-1200 mediante el software *TIA Portal*.

3.4 Ensamblaje del módulo de periferia descentralizada

Posterior a que se comprobó que el acoplador de bus EK9300 prendiera y que se lograra comunicar de manera correcta con el PLC y el software *TIA Portal*, y de realizar el soldado del cableado de cada componente del módulo, se precedió a realizar el ensamblaje de este.

Para poder realizar el ensamblaje del módulo se necesitó que todos los bornes de conexión de cada elemento del módulo estuviesen bien soldados con su respectivo cable y que el mismo estuviese bien planchado o peinado, esto debido a que al ser muchos cables si estos no estaban peinados hacían muy complicado el correcto ensamblaje del módulo. En la figura cincuenta y siete se ve el ensamblaje del módulo de periferia descentralizada.

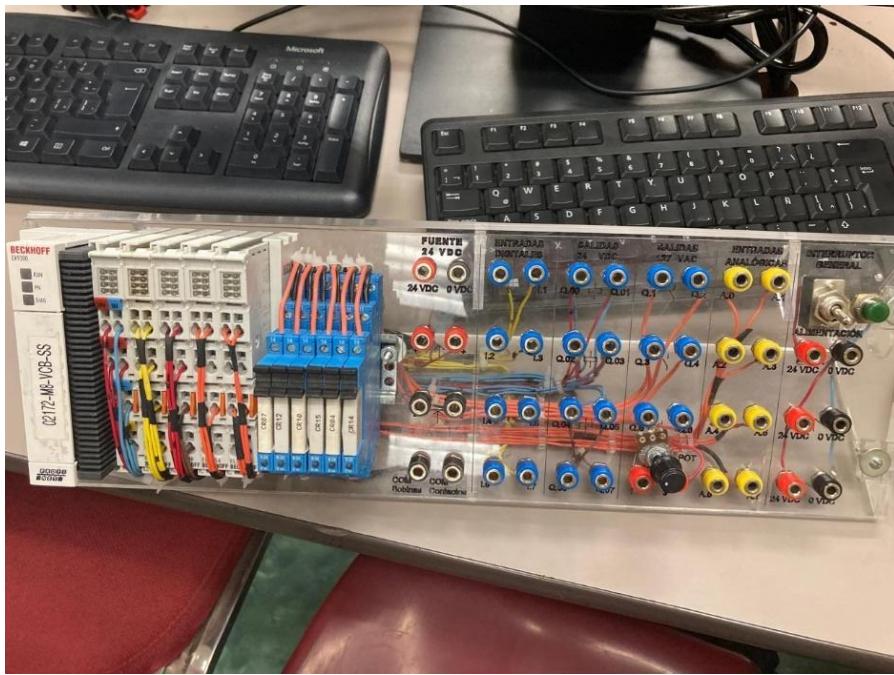


Figura 57. Ensamblaje del módulo de periferia descentralizada (elaboración propia).

Una vez que se comprobó que el acoplador de bus EK9300 prendiera y que contara con la capacidad de comunicarse mediante el protocolo de comunicación *PROFINET* se procedió a realizar el ensamblaje del módulo didáctico de periferia descentralizada para el desarrollo de las prácticas propuestas en el presente trabajo.

El capítulo 3 detalla el proceso de integración del módulo didáctico de periferia descentralizada EK9300, empleando el material disponible en el laboratorio. Describe paso a paso la construcción y ensamblaje de los componentes, incluyendo la fuente de alimentación, el acoplador de bus, las tarjetas de entradas y salidas digitales, y los relevadores. También se incluyen pruebas de funcionamiento para garantizar la operatividad de los elementos ensamblados y su adecuada comunicación mediante el protocolo *PROFINET*. Este capítulo demuestra la viabilidad técnica del módulo como una herramienta educativa, consolidando su utilidad para prácticas complementarias que amplíen el aprendizaje en automatización industrial.

Capítulo 4. Desarrollo de prácticas propuestas

En el presente capítulo, se realizará la propuesta y el desarrollo de las prácticas complementarias para el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, prácticas que abarcan los temas que se imparten dentro del programa de la materia en cuestión y donde, además, se realizará la implementación del protocolo de comunicación *PROFINET* y de la periferia descentralizada.

Se propone también una estructura sobre la cuál desarrollar las prácticas con el objetivo de que la información sea expuesta de forma explícita hacia los estudiantes.

1.1 Estructura de las prácticas

Para el desarrollo de las prácticas se tomó de referencia la estructura utilizada en el Manual de prácticas del laboratorio de Controladores Industriales Programables, mismas que pertenecen al laboratorio de automatización de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, emitido el 13 de septiembre del 2019 y que fue elaborado por el doctor Hoover Mujica Ortega, la maestra Gloria Correa Palacios y el ingeniero Jorge Calderón Mendoza⁸⁴. También se tomó de referencia el manual de Prácticas de la asignatura Automatización Industrial, del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Sevilla de la Escuela Politécnica Superior de España, elaborado por J. Barbancho, F.J Molina, A. Gómez, G. Miró y M.A Leal.

Se evaluaron e implementaron puntos importantes de cada estructura y además se propusieron otros desde la experiencia propia en el desarrollo de prácticas dentro del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, quedando de la siguiente manera:

1. Título. Se declarará el título de la práctica tomando en cuenta lo que se realizará y el equipo que se utilizará.
2. Panorama de la práctica. En este apartado se explicará brevemente la importancia de lo que se pone en práctica, así como la explicación de lo que se realizará.
3. Objetivo. Se establecerá el objetivo general de la realización de cada práctica.

⁸⁴ Hoover M. Gloria C. Calderón J. (2019). Manual de prácticas del laboratorio de Controladores Industriales Programables

4. Fundamentos teóricos. Aquí se desarrollarán los nuevos conceptos que los estudiantes necesitarán para el entendimiento y desarrollo de cada práctica.
5. Recursos. Se enlistarán los equipos, módulos y material necesario para el desarrollo de la práctica.
6. Seguridad en la ejecución de la actividad. Se realizará un análisis de riesgos, evaluando su peligro y medidas de seguridad a implementar para la realización de cada práctica.
7. Desarrollo. Se desarrollarán los pasos a seguir para la ejecución de las prácticas.
 - a. Alimentación del equipo. Se realizará la alimentación de los equipos siguiendo diagramas de conexión.
 - b. Comunicación del equipo. Se presentará el esquema de comunicación físico y los pasos de comunicación de los equipos dentro del software *TIA Portal*.
 - c. Tablas de etiquetas y direccionamiento. Se analizará la práctica para realizar la asignación de etiquetas y direccionamientos de las entradas y salidas correspondientes.
 - d. Programación. En este apartado se realizará la programación en escalera, desarrollando la lógica correspondiente respecto a las entradas y salidas.
 - e. Conexión.
 - i. Diagrama de control. Se realizarán diagramas y conexiones de control, conectando los componentes a las entradas y salidas de las tarjetas Beckhoff.
 - ii. Diagrama de fuerza. Se realizarán también los diagramas y conexiones de la etapa de fuerza, conectando el motor a la alimentación trifásica del tablero de control electromagnético y a sus respectivas protecciones.
 - f. Pruebas y resultados. Se expondrán las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en la parte física y de software.

8. Conclusiones. Se pedirá a los estudiantes que concluyan en base a los objetivos propuestos.

La propuesta consta de 5 prácticas divididas en dos temas principales: control electromagnético y variador de frecuencia. La tabla 1 explica de manera general la división de temas y lo que se realizará en cada práctica.

Tabla 1. Propuesta de prácticas complementarias de implementación de un módulo de periferia descentralizada y del protocolo de comunicación <i>PROFINET</i> (elaboración propia)		
Tema	Título de la práctica	¿Qué se realizará?
Control electromagnético	#0. Comunicación y pruebas de módulos S7-1200 y EK9300 con <i>TIA Portal</i> mediante el protocolo de comunicación <i>PROFINET</i> y archivos GSDML.	Se comunicará y probará el funcionamiento del módulo de periferia descentralizada y, posteriormente, se realizarán aplicaciones de automatización para el control de motores trifásicos por dos estaciones utilizando una interfaz humano-máquina.
	#1. Arranque, paro e inversión de giro de un motor por dos estaciones sin pasar por paro mediante un sistema de periferia descentralizada y utilizando HMI.	
	#2. Ciclado de 3 motores distribuidos mediante sistema de periferia descentralizada por dos estaciones utilizando HMI.	
Variador de frecuencia	#3. Comunicación y pruebas de módulos S7-1200 y CU-230P-2 con <i>TIA Portal</i> mediante el protocolo de comunicación <i>PROFINET</i> para realizar el control de un motor trifásico.	Se comunicará y probará el funcionamiento del módulo de variador de frecuencia para controlar la velocidad de un motor trifásico y posteriormente, se integrarán todos los módulos para realizar aplicaciones de automatización mediante el protocolo <i>PROFINET</i> y el módulo de periferia descentralizada.
	#4. Arranque, paro y control de velocidad de un motor trifásico mediante un sistema de periferia descentralizada integrando variador de frecuencia, S7-1200, tablero de control electromagnético y HMI.	

1.2 Prácticas de Control electromagnético.

1.2.1 Practica # 0

Título. Comunicación y pruebas de módulos S7-1200 y EK9300 con TIA Portal mediante el protocolo de comunicación PROFINET y archivos GSDML.

Panorama de la práctica.

La revista española dedicada a la automatización y control de procesos, en su artículo *Sistemas de periferia descentralizada para aplicaciones de Automatización Industrial*, publicación 559 de octubre del 2024, menciona que “tanto en la industria manufacturera como en la *industria* de procesos, la descentralización de señales supone un volumen importante en las empresas dedicadas al sector de la automatización industrial, ya sean fabricantes, ingenierías, integradores de sistemas o clientes finales, apreciándose una clara tendencia en la utilización de periferia descentralizada en todo tipo de clientes y sectores”⁸⁵. Es importante para los estudiantes conocer acerca de la descentralización de señales, las aplicaciones y la importancia que la periferia descentralizada tiene en la industria.

Esta práctica está enfocada en la introducción al módulo de periferia descentralizada disponible en el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* para las y los estudiantes de la ESIME Zácatenco. Para la realización de la presente práctica es necesario tener conocimientos previos en los temas de control electromagnético y controladores lógicos programables, de esta forma el estudiante será capaz de complementar sus conocimientos y habilidades en el ámbito de la automatización industrial.

Se comunicarán los módulos de controlador lógico programable S7-1200 y de periferia descentralizada EK9300 mediante el protocolo de comunicación de *PROFINET* utilizando el software *TIA Portal*. Posteriormente, se realizarán pruebas de funcionamiento en vacío del módulo de periferia descentralizada, realizando la

⁸⁵ <https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2733863/sistemas-periferia-descentralizada-aplicaciones-automatizacion-industrial> fecha de consulta: 07 de septiembre del 2024.

conexión de los botones pulsadores y contactores del tablero de control electromagnético a las tarjetas de entradas y salidas EL1008 y EL2008.

Objetivo.

- Comunicar el módulo de periferia descentralizada EK9300 de Beckhoff con el módulo de PLC *Siemens* para identificar el funcionamiento y la importancia de la periferia descentralizada en la automatización industrial.

Fundamentos Teóricos.

PERIFERIA DESCENTRALIZADA.

Actualmente los sistemas de automatización industrial son tan grandes que cuentan con una enorme cantidad de señales de entradas y salidas que interactúan al mismo tiempo, demandando cubrir distancias largas con una gran cantidad de cableado.

Las distancias largas entre controladores y componentes industriales traen consigo problemas como altos costos, problemas de tensado, pérdidas de señal, entre otros. Ante esta problemática, las grandes compañías de automatización crearon la periferia descentralizada. La periferia descentralizada controla las señales de entradas y salidas de sensores, actuadores y demás componentes industriales por medio de un mínimo cableado, normalmente por medio de una red industrial como lo puede ser *PROFINET*. Para que esto sea posible, se coloca un módulo de periferia descentralizada a pie de máquina encargado de centralizar la conexión de los diversos componentes industriales y de procesar la información recibida desde el controlador por medio de protocolos de comunicación⁸⁶.

PROFINET.

PROFINET (Process Field Network) red de campo de proceso, es un protocolo de comunicación desarrollado por la organización PROFIBUS & *PROFINET International* (PI) y diseñado para ser independiente del fabricante, lo que significa que los dispositivos de diferentes marcas pueden funcionar juntos sin inconvenientes.

⁸⁶ <https://www.autracen.com/blog/viajes-1/que-es-la-periferia-descentralizada-49> fecha de consulta: 12 de septiembre del 2024.

PROFINET proporciona soluciones innovadoras que hacen que las redes *PROFINET* sean ideales para entornos industriales modernos como lo son la detección automática de equipamiento, herramientas de diagnóstico avanzadas y recuperación rápida en caso de fallas.

El estándar *PROFINET* es una tecnología de red de campo para la comunicación entre equipos industriales y controladores. Está basado en Ethernet y se usa para interconectar dispositivos dentro de sistemas automatizados para el ahorro de tiempo, reducción de costes y mejora del rendimiento.

El estándar *PROFINET* ofrece los siguientes beneficios:

- a) Alta velocidad de comunicación a partir de 100 Mbps, lo que permite realizar múltiples tareas simultáneamente al mismo tiempo.
- b) Admite protocolos flexibles para permitir a los dispositivos compartir información sin conflictos.
- c) Ofrece una arquitectura escalable que permite añadir dispositivos fácilmente según sea necesario.
- d) Al estar basado en Ethernet (IEEE 802.3), es compatible con otros protocolos como TCP-UDP/IP, SNMP, LLDP, DHCP⁸⁷.

Archivos GSDML.

Para que el dispositivo EK9300 de Beckhoff pueda ser integrado dentro del software *TIA Portal* de *Siemens* y comunicarse mediante *PROFINET*, debido a que es un equipo de otro fabricante, es necesario realizar la instalación de los archivos GSDML del EK9300.

Los archivos GSD (General Station Description) descripción general de estación, contienen información acerca de las capacidades básicas de un dispositivo Profibus. Los archivos GSDML (General Station Description Markup Language) lenguaje de mercado de descripción de estación general, son archivos GSD escritos en formato XML que describen las características de los dispositivos *PROFINET*. El Lenguaje de mercado extensible (XML) es un formato de archivo que pueden leer tanto las

⁸⁷ Disponible en: https://profibus.com.ar/profinet-que-es-y-como-funciona/#Comparativa_de_PROFINET_vs_PROFIBUS, fecha de consulta: 23 de septiembre del 2024.

personas como las computadoras⁸⁸. Estos archivos contienen "perfils" con propiedades de dispositivos que son base para configurar la comunicación con dichos dispositivos⁸⁹.

Recursos.

- Tablero de control electromagnético
- Ordenador
- Módulo de PLC *Siemens S7-1200*
- Fuente de poder de 24 VCD
- Módulo de periferia descentralizada EK9300 de la marca Beckhoff
- Switch de Ethernet
- Cables de prueba P1036 banana-banana 4mm
- Cables de Ethernet CAT5 con conectores RJ45 de cobre.

Seguridad en la ejecución de la actividad.

Revise el artículo digital titulado “Riesgos eléctricos y seguridad eléctrica” de la plataforma digital australiana que ayuda a las organizaciones a mejorar la seguridad y calidad de sus procesos SafetyCulture⁹⁰ y el manual de “Riesgo eléctrico bajo control” de la Universidad Politécnica de Madrid⁹¹ para realizar un análisis de peligros, riesgos y medidas de control a tomar para realizar la práctica.

Tabla 2. Temas de seguridad (elaboración propia)		
Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control
Voltaje Continuo	Daño a equipo	Verificar polaridad antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo

⁸⁸ Disponible en: <https://www.infopl.net/documentacion/7-comunicaciones-industriales/1775-profibus-que-son-los-archivos-gsd#:~:text=Los%20archivos%20GSDML%20son%20archivos,para%20la%20descripci%C3%B3n%20de%20dispositivo>, fecha de consulta: 27 de septiembre del 2024.

⁸⁹ Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/29339880/which-gsdml-files-are-there-for-simatic-hmi-operator-panels-with-profinet-io-?dti=0&lc=en-MX>, fecha de consulta: 28 de septiembre del 2024.

⁹⁰ Disponible en: <https://safetyculture.com/es/temas/riesgos-electricos-y-seguridad-electrica/>, fecha de consulta: 28 de septiembre del 2024.

⁹¹ Disponible en: <https://www.upm.es/sfs/Rectorado/Gerencia/Prevencion%20de%20Riesgos%20Laborales/Informacion%20sobre%20Prevencion%20de%20Riesgos%20Laborales/Manuales/folleto%20laboratorios%20el%C3%A9ctricos%2021nov2006.pdf>, fecha de consulta: 28 de septiembre del 2024.

Responsables del análisis: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez

Desarrollo.

Etapa 1: Instalación de archivos GSDML.

1.- Ingrese al sitio web del equipo EK9300⁹², este sitio web proporcionará la información completa del dispositivo, así como archivos de configuración para usos específicos.

2.- Seleccione el apartado de ‘información del producto’, de clic en la opción de la ‘documentación y descargas’ (1) y despliegue opción de ‘archivos de configuración’ (2) donde se encuentran los archivos GSDML del dispositivo *PROFINET* EK9300.

En la figura cincuenta y ocho se observa el proceso de descarga de archivos GSDML.

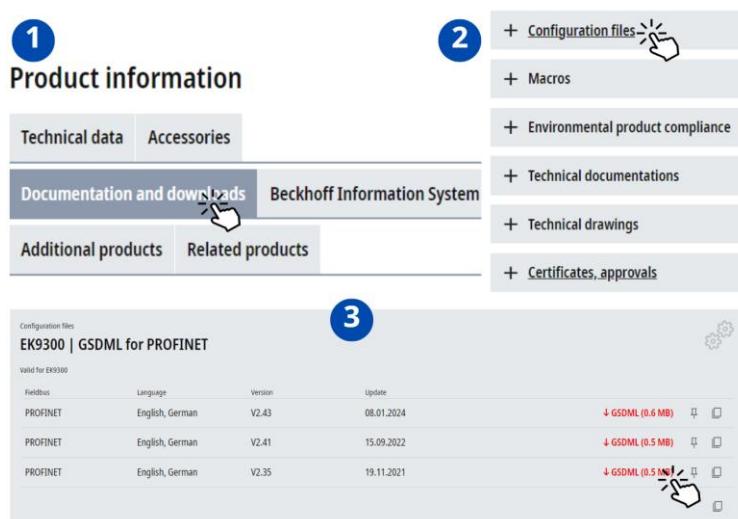


Figura 58. Descarga de archivos GSDML (elaboración propia).

3.- Descargue la versión 2.35 (3) para comprobar que su funcionamiento sea el adecuado en la comunicación del EK9300 con el que cuenta el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* y el software *TIA Portal*.

4.- Después de haber realizado la descarga, descomprima el archivo (4).

En la figura cincuenta y nueve se ve la descompresión de archivos GSDML.

⁹² Disponible en: <https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/ekxxxx-bus-coupler/ek9300.html>, fecha de consulta: 05 de octubre del 2024.

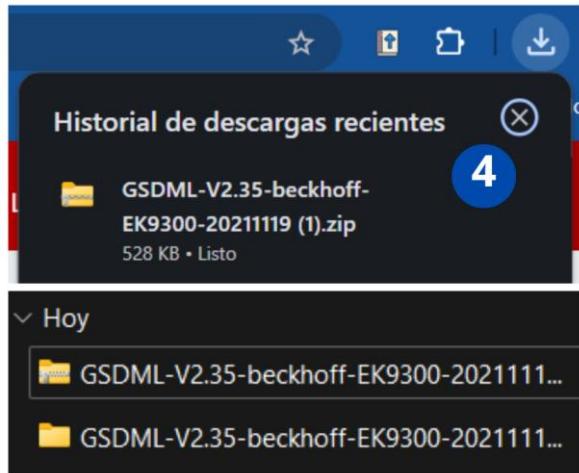


Figura 59. Descompresión de archivos GSDML (elaboración propia).

5.- Con el archivo descomprimido, creé un proyecto nuevo en el software *TIA Portal*, donde realizará la comunicación del PLC a disposición y el módulo de periferia descentralizada EK9300 de Beckhoff para realizar pruebas.

6.- Diríjase a la barra de menús, de clic en ‘opciones’ y seleccione la opción de ‘administrar archivos de descripción general de estación’ (5), dentro de esta opción el software permitirá instalar los archivos GSDML del dispositivo. En la figura sesenta se ve la selección del administrador de archivos de descripción general de la estación.

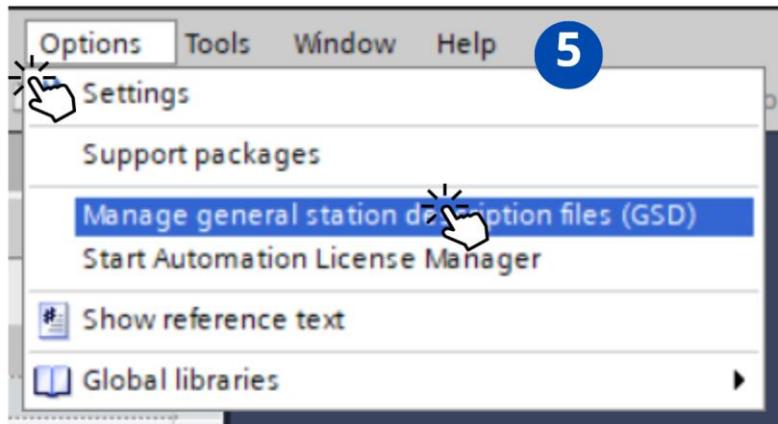


Figura 60. Selección del administrador de archivos de descripción general de la estación (elaboración propia).

7.- Para realizar la instalación, abra la ubicación del archivo de instalación descargado previamente y una vez que aparezca dentro de la tabla de ‘contenido de la ruta importada’, seleccione e instale (6).

NOTA. La instalación tarda unos minutos en ejecutarse.

8.- Compruebe que los archivos se hayan instalado correctamente revisando el ‘catálogo de hardware’ (7), dentro de ese apartado despliegue la pestaña de ‘otros dispositivos de campo’. Dicha pestaña permitirá revisar los archivos de dispositivos de otros fabricantes, en el caso del EK9300, un dispositivo de entradas y salidas de la marca Beckhoff Automation. En la figura sesenta y uno se observa la instalación del archivo GSDML.

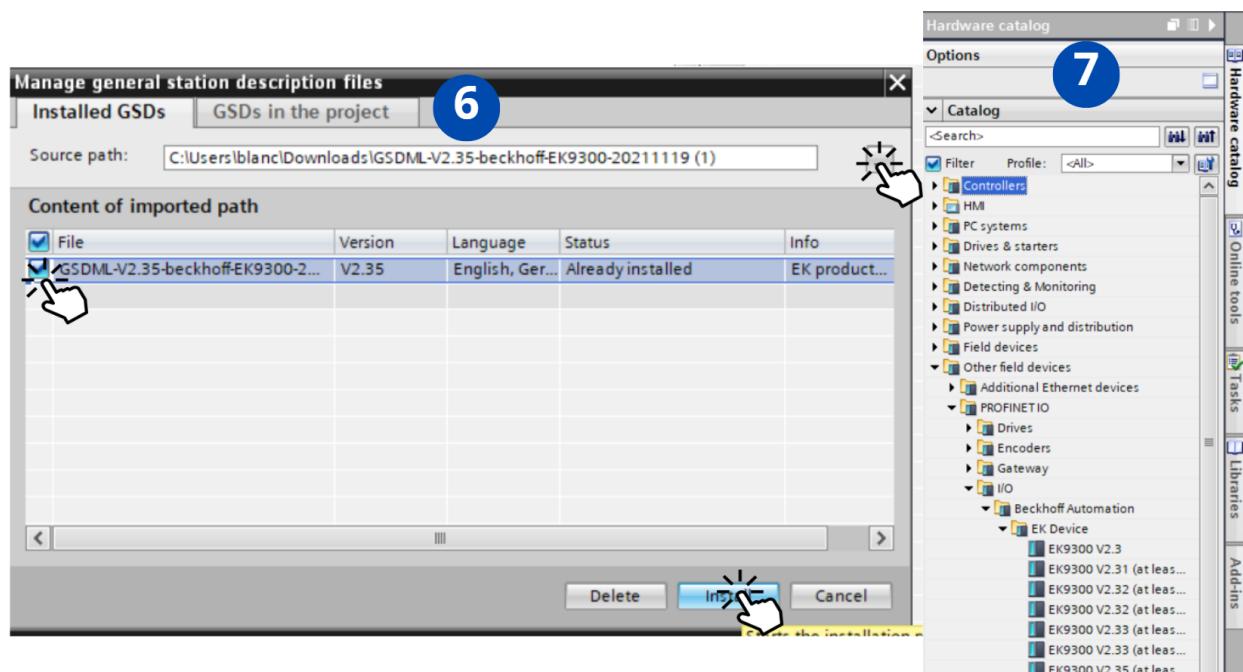


Figura 61. Instalación del archivo GSDML (elaboración propia).

Etapa 2: Alimentación del equipo.

1.- Conecte la fuente de poder de 24 VCD a 2 A energizada a los bornes correspondientes del módulo. Energice el acoplador de bus y al bus de alimentación de las tarjetas de entradas y salidas digitales como se muestra en el diagrama de la figura sesenta y dos, mientras que en la figura sesenta y tres se observa la alimentación física del módulo didáctico de periferia descentralizada.

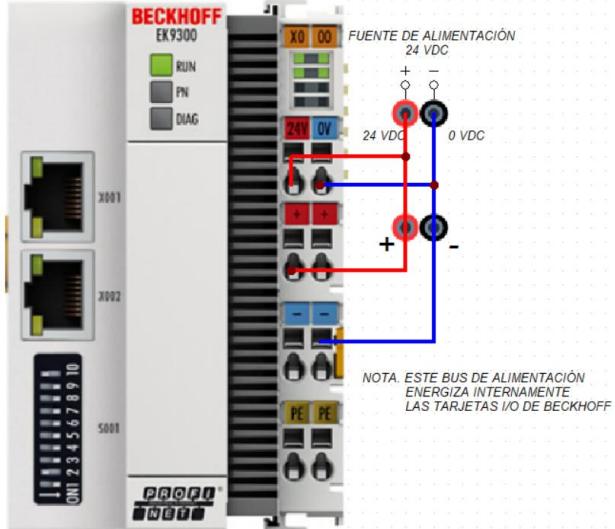


Figura 62. Esquema de alimentación del acoplador de bus EK9300 y las tarjetas de entradas y salidas digitales (elaboración propia).

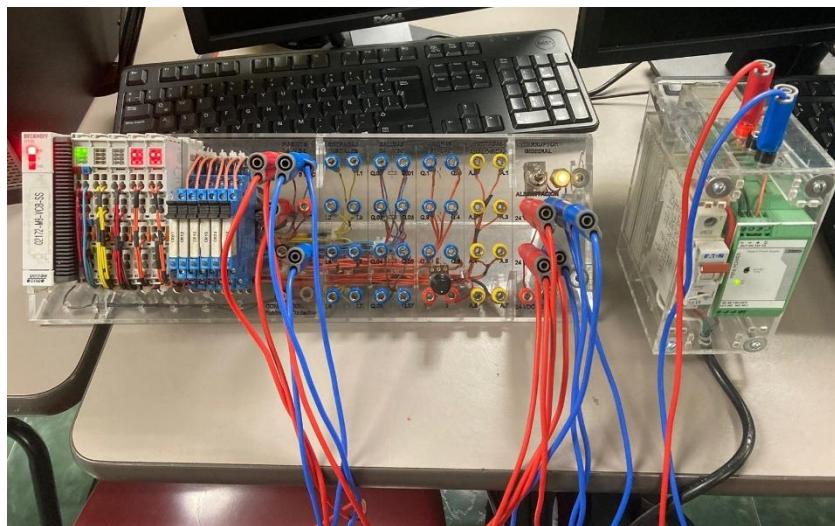


Figura 63. Alimentación física del módulo didáctico de periferia descentralizada (elaboración propia).

2.- Conecte el módulo de PLC a la alimentación de 127 VCA y realice las conexiones desde los bornes '127 VCA' a los bornes de 'L1' y 'N' de alimentación del PLC como se muestra en las figuras sesenta y cuatro, y sesenta y cinco.

NOTA. Si el PLC es un modelo diferente, realizar las conexiones de alimentación correspondientes.

En la figura sesenta y cuatro se observa un esquema de alimentación del PLC y en la figura sesenta y cinco se ven las conexiones físicas de alimentación del módulo de PLC.



Figura 64. Esquema de alimentación del PLC (elaboración propia).

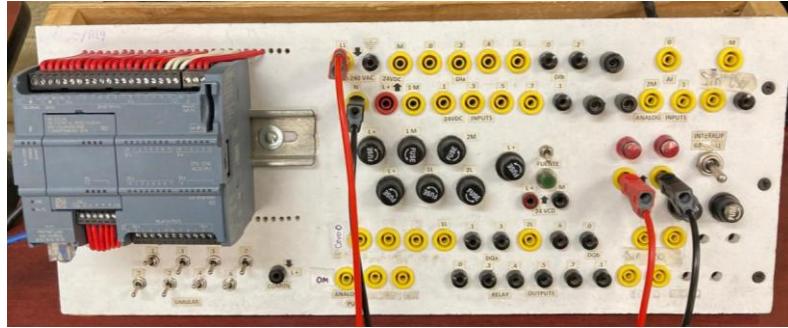


Figura 65. Conexiones físicas de alimentación del módulo de PLC (elaboración propia).

Etapa 3. Comunicación del EK9300, el PLC S7-1200 y el ordenador.

1.- Realice la comunicación física de los equipos conectando el PLC S7-1200, el acoplador de bus EK9300 y el ordenador a un conmutador (switch) por medio de cables de Ethernet para formar una topología de red en estrella que permita a los equipos enviar y recibir información al mismo tiempo como se muestra en la figura sesenta y seis, mientras que en la figura sesenta y siete se observan las conexiones físicas de comunicación *PROFINET* entre PLC, periferia descentralizada y ordenador.

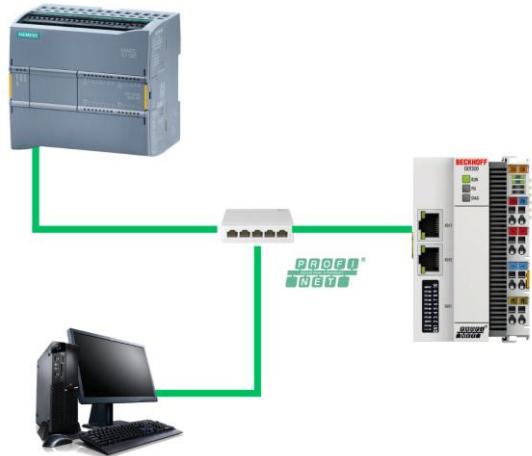


Figura 66. Esquema de red de comunicación PROFINET entre PLC, periferia descentralizada y ordenador (elaboración propia).



Figura 67. Conexiones físicas de comunicación PROFINET entre PLC, periferia descentralizada y ordenador (elaboración propia).

2.- Con los dispositivos conectados al conmutador, agregue el PLC a un proyecto nuevo (1) dando clic en ‘agregar nuevo dispositivo’ y dentro del apartado de ‘controladores’ (2) seleccione el PLC que utilizará (3) con su número de artículo correspondiente (4).

En la figura sesenta y ocho se observan las indicaciones para el alta de un controlador.

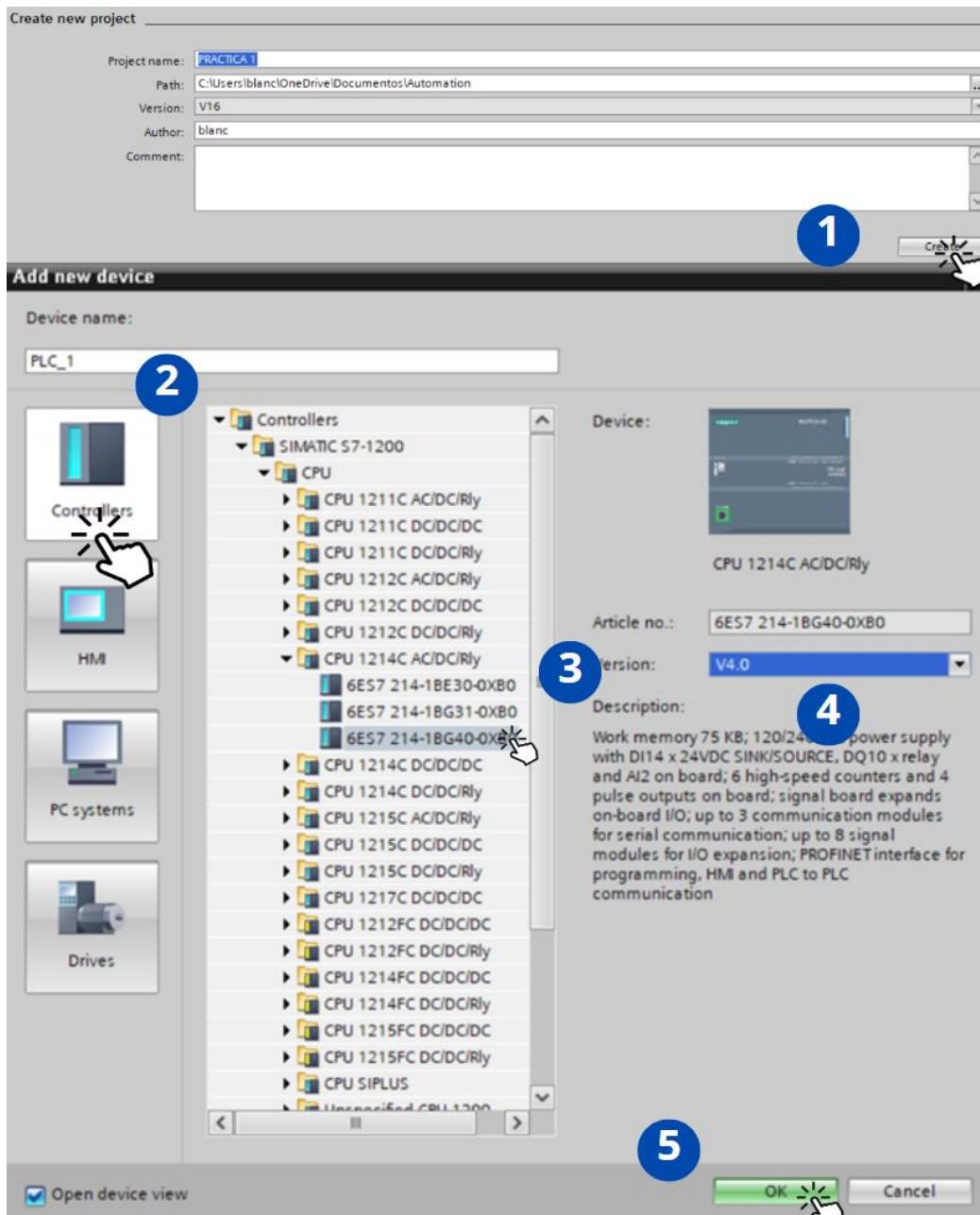


Figura 68. Indicaciones para el alta de un controlador (elaboración propia).

3.- Agregue el dispositivo EK9300 del módulo de periferia descentralizada.

NOTA. Existen dos formas de agregar el dispositivo en *TIA Portal* teniendo los archivos GSDML instalados. Una de esas formas es ubicar la carpeta de Beckhoff dentro del 'catálogo de hardware' y seleccionar la versión de EK9300 correspondiente, pero por cuestiones de practicidad se realizó de la siguiente manera.

4.- Con el dispositivo alimentado y conectado al switch junto con el PLC y el ordenador, diríjase a la barra de menús, de clic a la opción ‘online’ (1) y despliegue la opción de ‘detección de hardware’ (2), por último, seleccione ‘dispositivos PROFINET de la red’ (3).

En la figura sesenta y nueve se observan las indicaciones para el alta del módulo de periferia descentralizada EK9300.

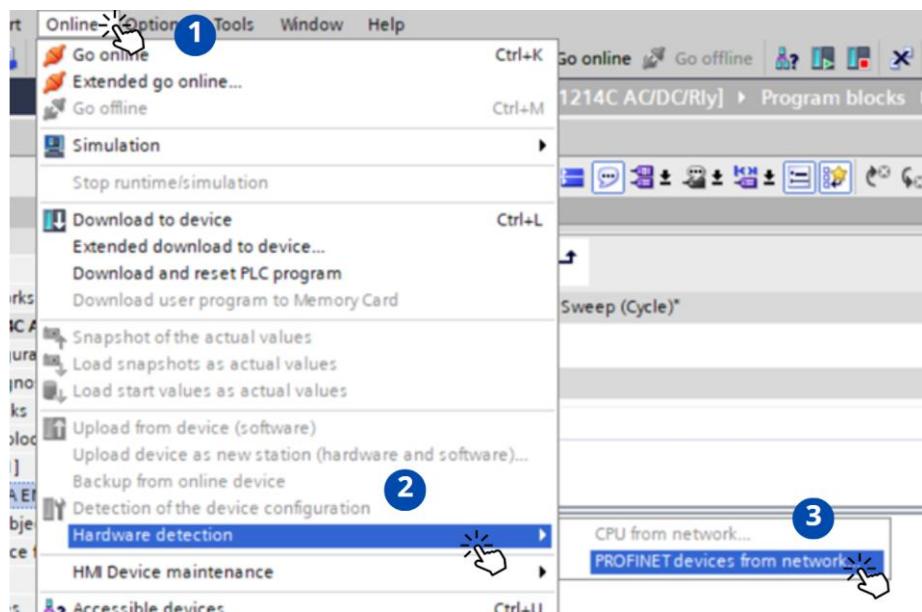


Figura 69. Indicaciones para el alta del módulo de periferia descentralizada EK9300 (elaboración propia).

5.- En la ventana de ‘detección de hardware de dispositivos PROFINET’, de clic en el botón de ‘iniciar búsqueda’ (4) y después de unos segundos el software arrojará que encontró un dispositivo EK, este dispositivo es el EK9300 conectado a la red, por lo tanto, seleccione (5) y agregue (6).

NOTA. Este procedimiento no es posible sin antes haber instalado los archivos GSDML del dispositivo, por lo tanto, se comprueba que los archivos instalados funcionan correctamente.

En la figura setenta se observa la búsqueda y adición del acoplador de bus EK9300 mediante el software *TIA Portal*.

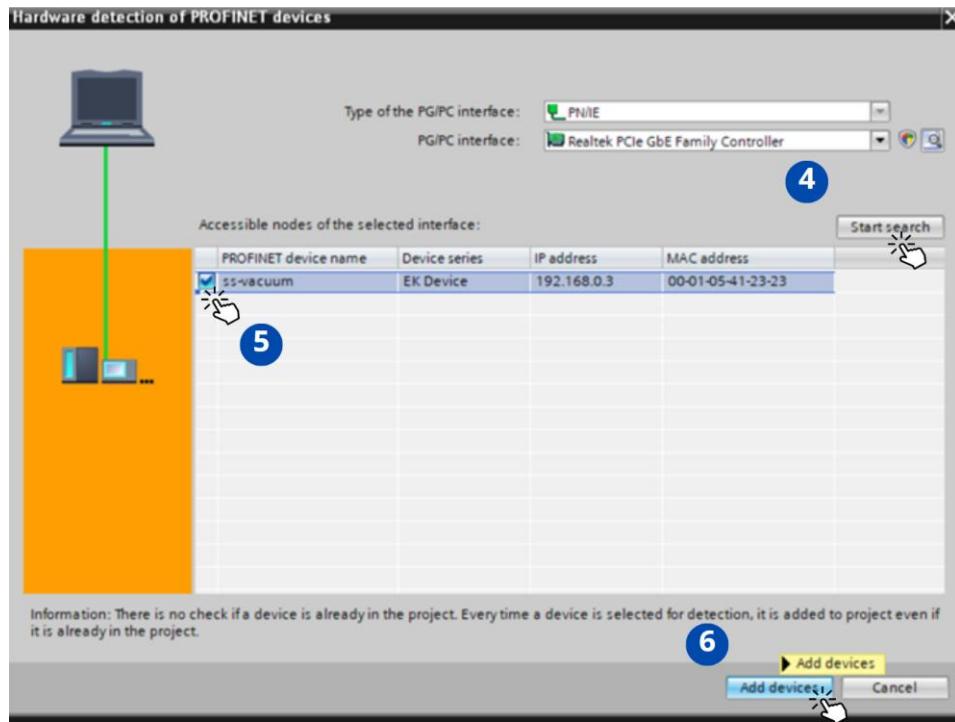


Figura 70. Búsqueda y adición del acoplador de bus EK9300 mediante el software *TIA Portal* (elaboración propia).

6.- Establezca la conexión entre el módulo de PLC S7-1200 y el módulo de periferia descentralizada EK9300 en el software *TIA Portal*. Dentro del árbol de proyecto, en el apartado de ‘dispositivos y redes’, se encuentran los dispositivos agregados previamente. Seleccione y arrastre el ratón desde el puerto de comunicación de un dispositivo al otro (7) y gráficamente el software indicará que se ha generado la comunicación entre ambos dispositivos, que están en la misma subred y que la periferia descentralizada está asignada al PLC en cuestión. En la figura setenta y uno se observa la comunicación entre el módulo de PLC S7-1200 y el módulo de periferia descentralizada EK9300.

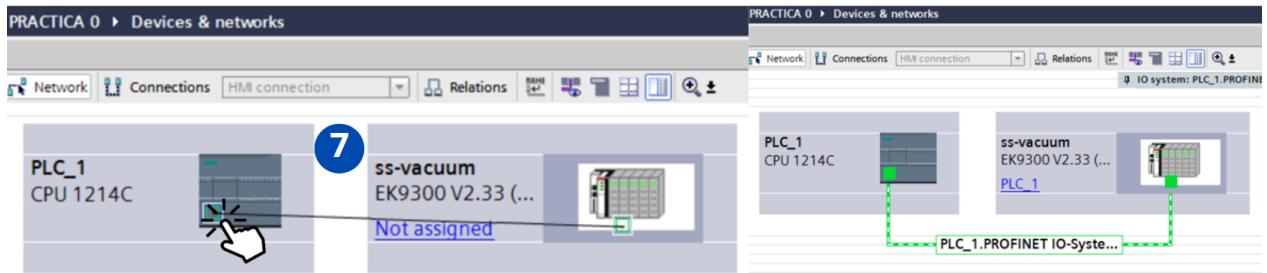


Figura 71. Comunicación entre el módulo de PLC S7-1200 y el módulo de periferia descentralizada EK9300 (elaboración propia).

7.- Observe y asegúrese de que los dispositivos no tengan la misma IP y que estén en la misma subred seleccionando la opción de ‘mostrar etiquetas de direcciones’ (8). En la figura setenta y dos se puede ver la verificación de direcciones IP.

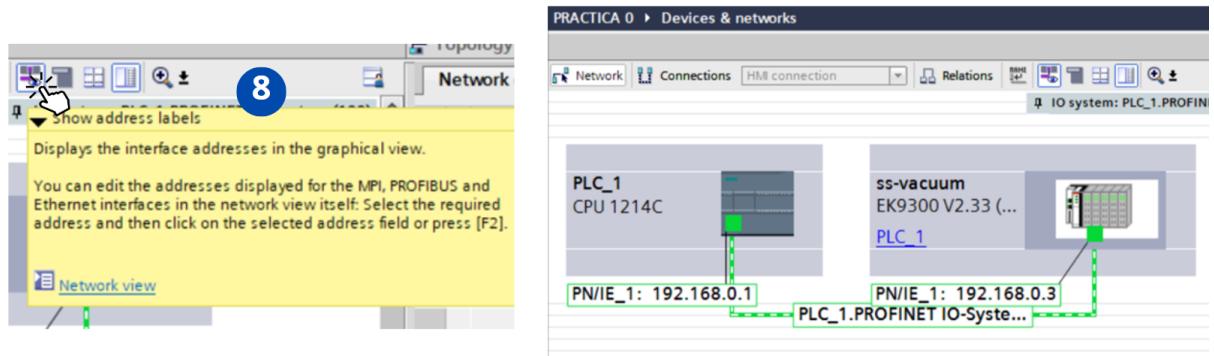


Figura 72. Verificación de direcciones IP (elaboración propia).

Etapa 4. Definición y etiquetado de elementos.

1.- Ubíquese en el apartado de ‘dispositivos y redes’ del árbol del proyecto y dé doble clic sobre el dispositivo EK9300 (1).

2.- Seleccione la pestaña de ‘vista de dispositivo’ y dentro de la ‘vista general del dispositivo’ observe las direcciones de entradas y salidas iniciales asignadas a las tarjetas EL1008 y EL2008 del dispositivo (2). Se asignan 8 direcciones a cada tarjeta debido a la cantidad de entradas y salidas que disponen.

En la figura setenta y tres se observa la vista general del dispositivo EK9300.

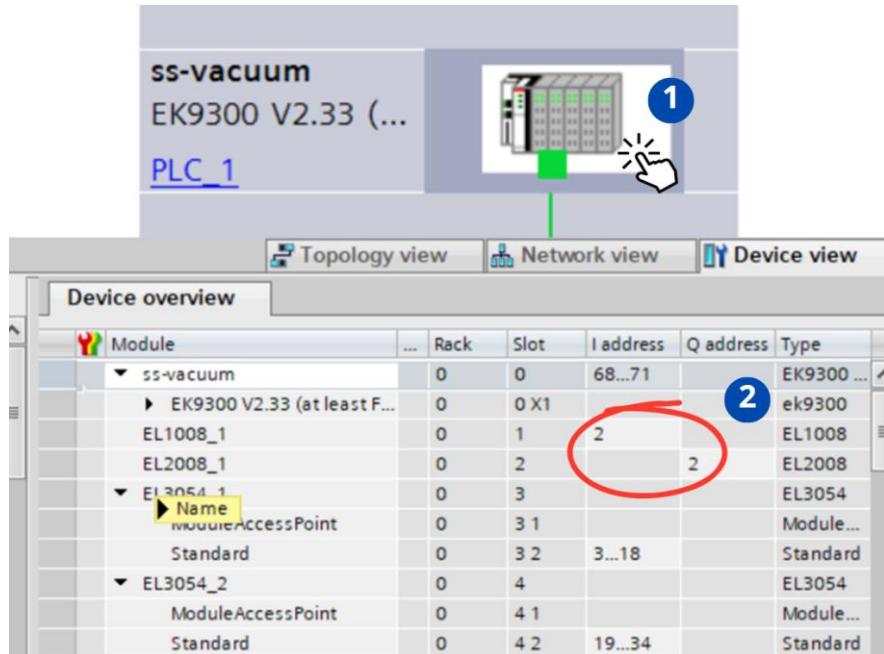


Figura 73. Vista general del dispositivo EK9300 (elaboración propia).

3.- Con base en las direcciones disponibles de entradas y salidas digitales de las tarjetas EL1008 y EL2008, realice el etiquetado de un programa que permita la activación de los tres contactores del módulo de control electromagnético por medio de tres botones pulsadores del mismo. Identifique los bornes del módulo que corresponden al direccionamiento asignado en el software *TIA Portal* de cada tarjeta. En la figura setenta y cuatro se observa el etiquetado y referencia de los botones pulsadores del tablero de control electromagnético, en la figura setenta y cinco se ven las referencias de los bornes de conexión de los contactores KM1, KM2 Y KM3 del tablero de control electromagnético y en la figura setenta y seis se observa el etiquetado de los contactores del tablero de control electromagnético.

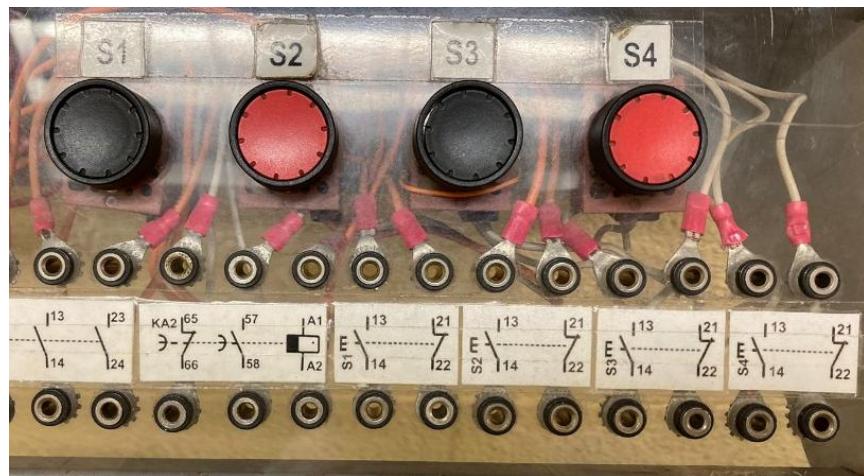


Figura 74. Etiquetado y referencia de los botones pulsadores del tablero de control electromagnético (elaboración propia).

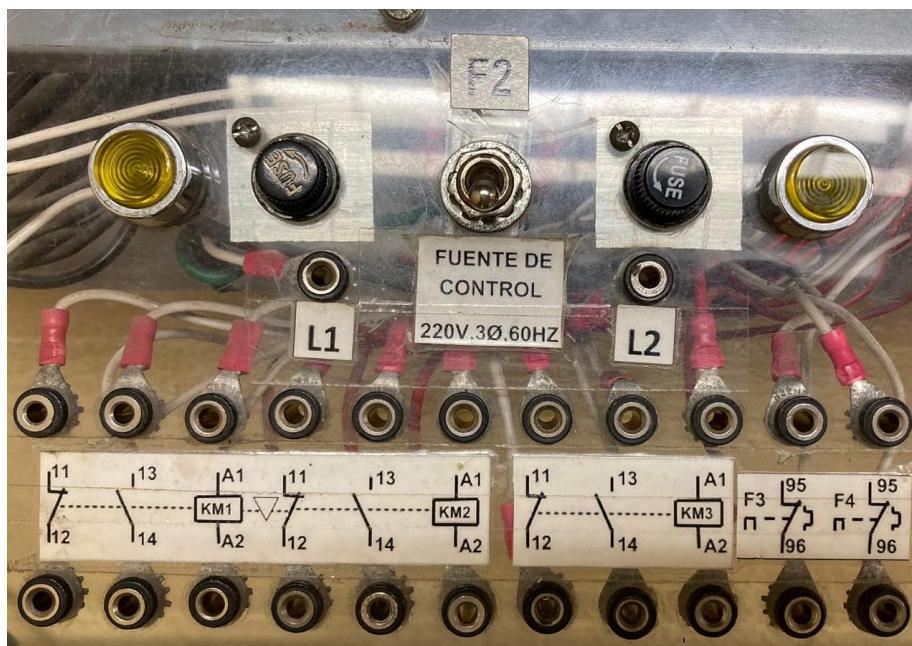


Figura 75. Referencia de los bornes de conexión de los contactores KM1, KM2 Y KM3 del tablero de control electromagnético (elaboración propia).



Figura 76. Etiquetado de los contactores del tablero de control electromagnético (elaboración propia).

Tabla 3. EL1008 (elaboración propia)		
Botón pulsador	Dirección en <i>TIA Portal</i>	Borne eléctrico de módulo
S1	%I2.0	I.0
S2	%I2.1	I.1
S3	%I2.2	I.2
EL2008		
Contactor	Dirección en <i>TIA Portal</i>	Borne de módulo
KM1	%Q2.0	Q.1
KM2	%Q2.1	Q.2
KM3	%Q2.2	Q.3

Responsables del etiquetado: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

4.- Valide su etiquetado con el profesor.

5.- Registre los datos en el apartado de ‘tags del PLC’ del software *TIA Portal*.

En la figura setenta y siete se ve el Etiquetado de entradas y salidas digitales en software *TIA Portal*.

PLC tags					
	Name	Tag table	Data type	Address	
1	S1	Default tag table	Bool	%I2.0	
2	KM1	Default tag table	Bool	%Q2.0	
3	S2	Default tag table	Bool	%I2.1	
4	KM2	Default tag table	Bool	%Q2.1	
5	S3	Default tag table	Bool	%I2.2	
6	KM3	Default tag table	Bool	%Q2.2	

Figura 77. Etiquetado de entradas y salidas digitales en software *TIA Portal* (elaboración propia).

Etapa 5. Programación.

1.- Desarrolle la programación en escalera que realice la activación de los contactores del tablero de control electromagnético asignando un botón pulsador a cada contactor.

En la figura setenta y ocho se ve la programación en lenguaje escalera.

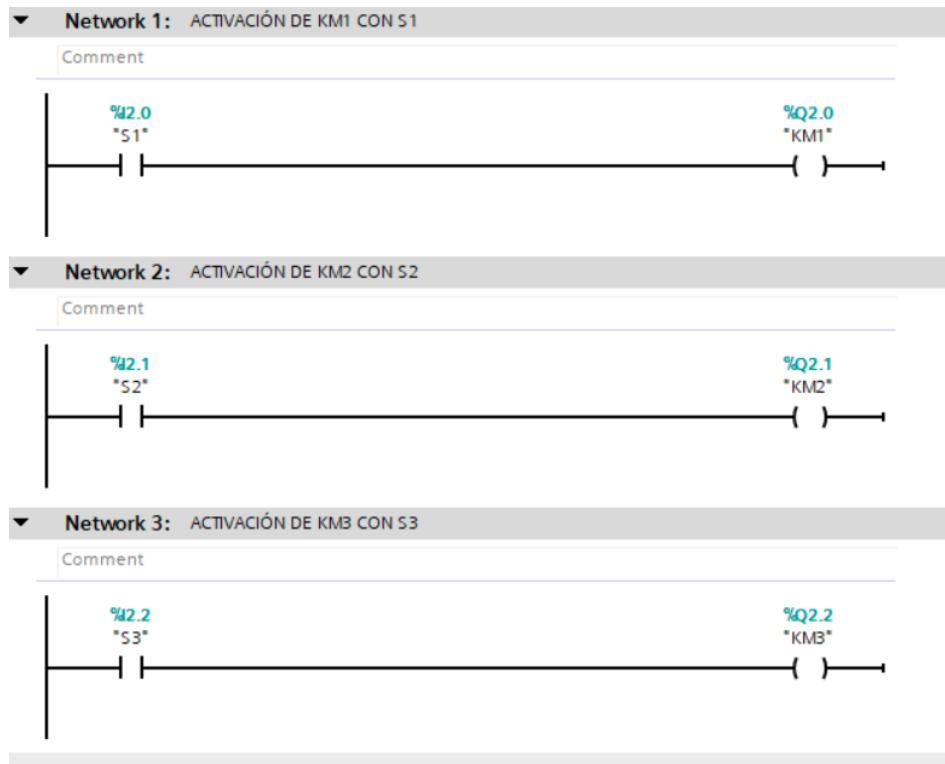


Figura 78. Programación en lenguaje escalera (elaboración propia).

Responsables de la programación: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

Etapa 6. Esquema de conexión de control.

1.- Realice el análisis y conexión entre los botones, contactores y los bornes correspondientes de las tarjetas EL1008 y EL2008 de los siguientes esquemas. En la figura setenta y nueve se observa el esquema de conexiones de la tarjeta de entradas digitales EL1008 y de la tarjeta de salidas EL2008 para práctica #0.

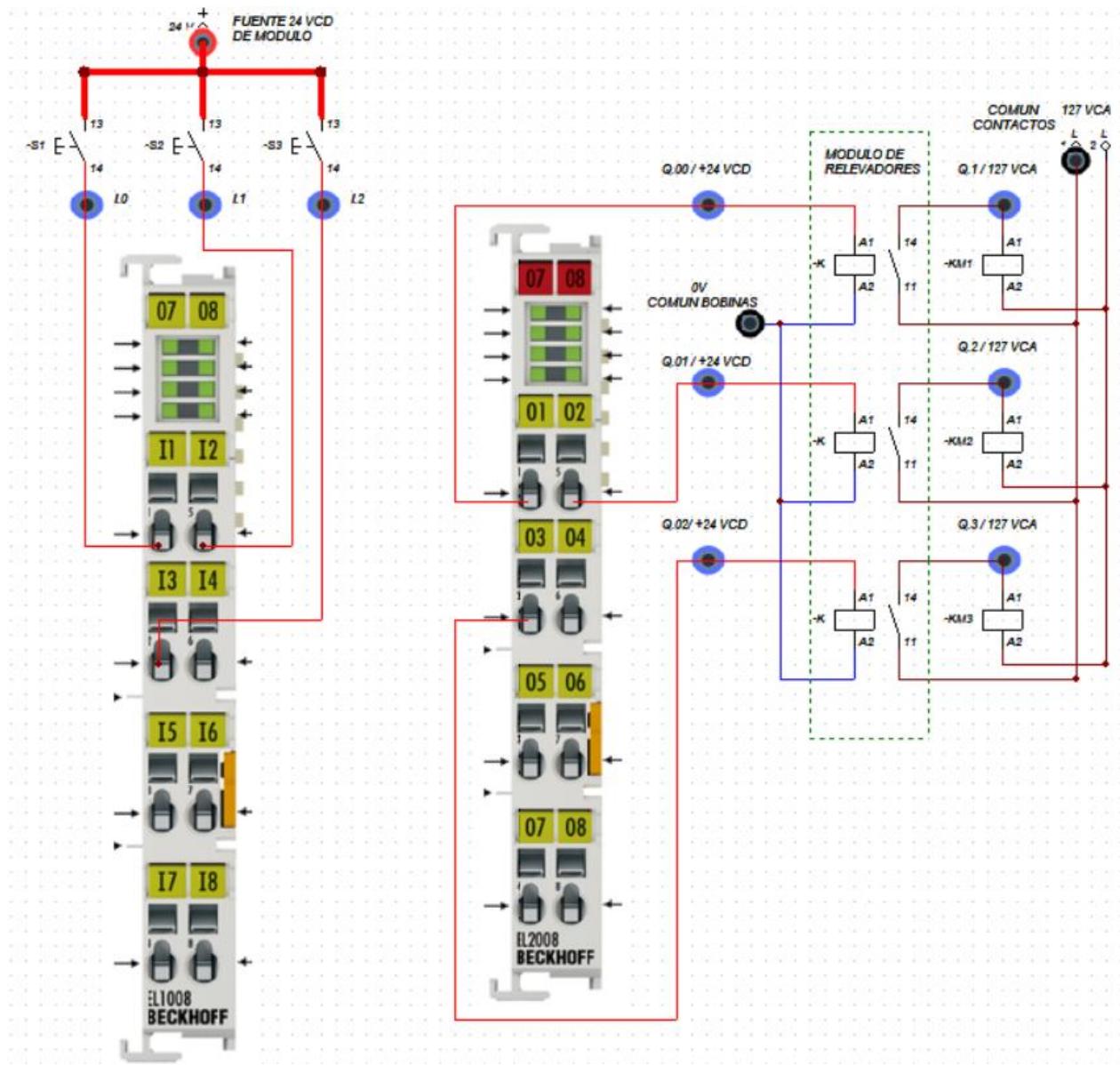


Figura 79. Esquema de conexiones de la tarjeta de entradas digitales EL1008 y de la tarjeta de salidas EL2008 para práctica #0 (elaboración propia).

2.- Muestre las conexiones realizadas a su profesor para validar que sean correctas.

Etapa 7. Compilar Descargar.

1.- Compile y descargue el programa en el PLC.

En la figura ochenta se ve la compilación y descarga del programa al PLC S7-1200.

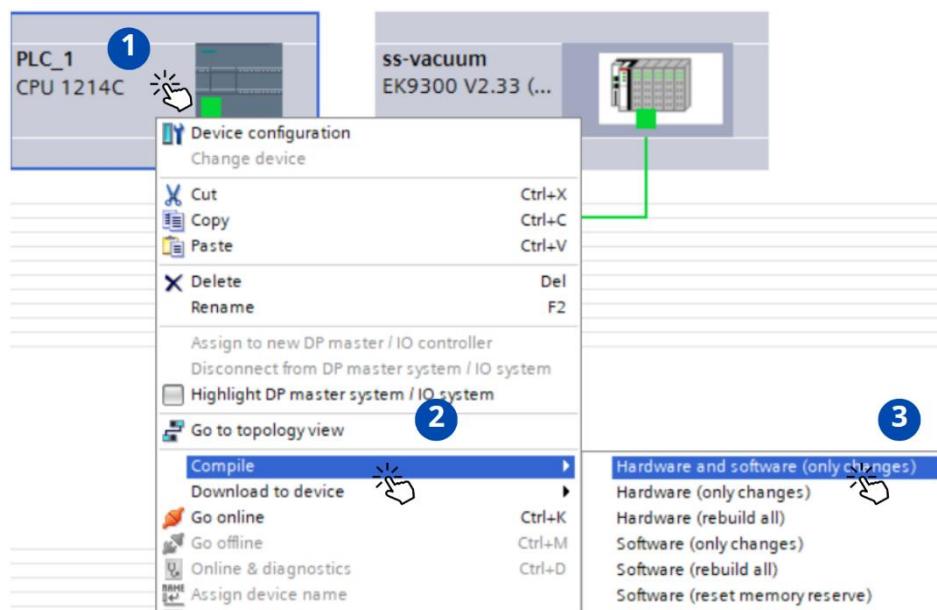


Figura 80. Compilación y descarga del programa al PLC S7-1200 (elaboración propia).

2.- Compile y descargue la configuración lógica de red en el acoplador de bus EK9300.

En la figura ochenta y uno se ve el proceso de compilación y descarga del acoplador EK9300.

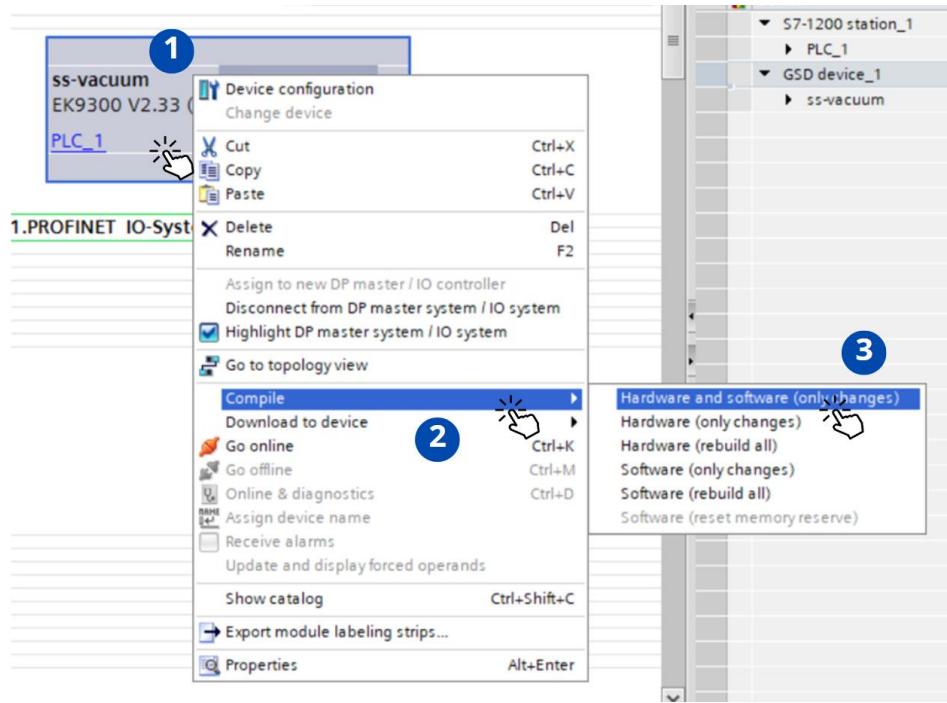


Figura 81. Proceso de compilación y descarga del acoplador EK9300 (elaboración propia).

Pruebas y resultados

1.- Realice las pruebas de funcionamiento probando la activación de entradas y salidas desde el tablero energizado y el software *TIA Portal*.

En la figura ochenta y dos se observa la activación de entradas y salidas desde tablero verificando los leds indicadores de cada tarjeta.

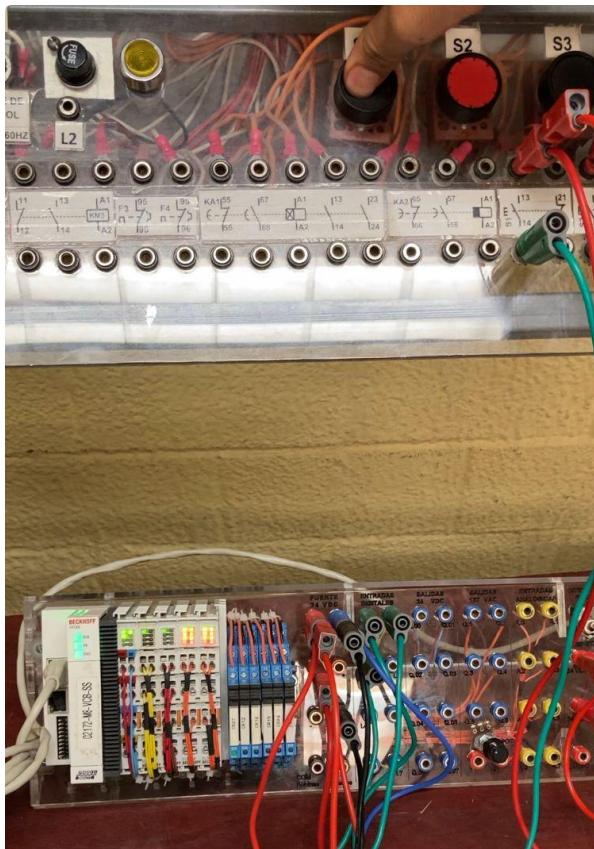


Figura 82. Activación de entradas y salidas desde tablero verificando los leds indicadores de cada tarjeta (elaboración propia).

En la figura ochenta y tres se puede observar la integración de módulos de PLC S7-1200, periferia descentralizada y tablero de control electromagnético.

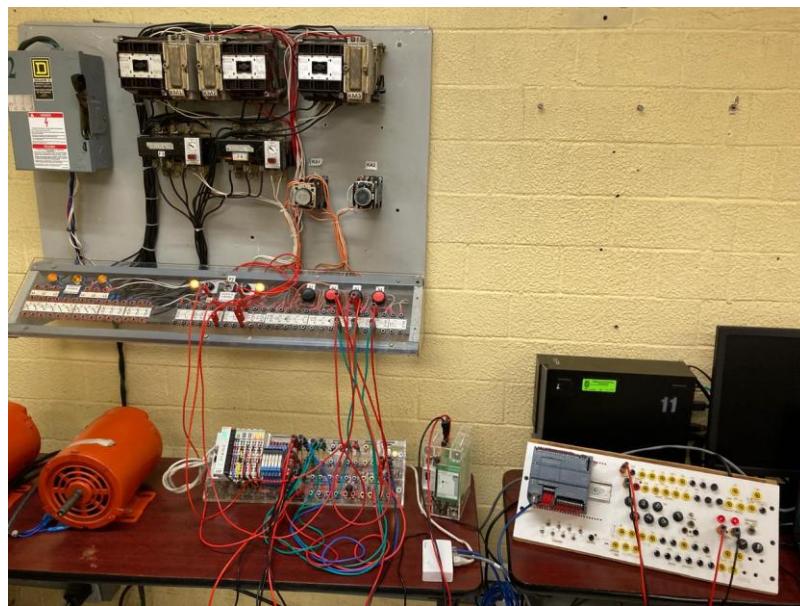


Figura 83. Integración de módulos de PLC S7-1200, periferia descentralizada y tablero de control electromagnético (elaboración propia).

En la figura ochenta y cuatro se observa el monitoreo en línea del programa en el Main.

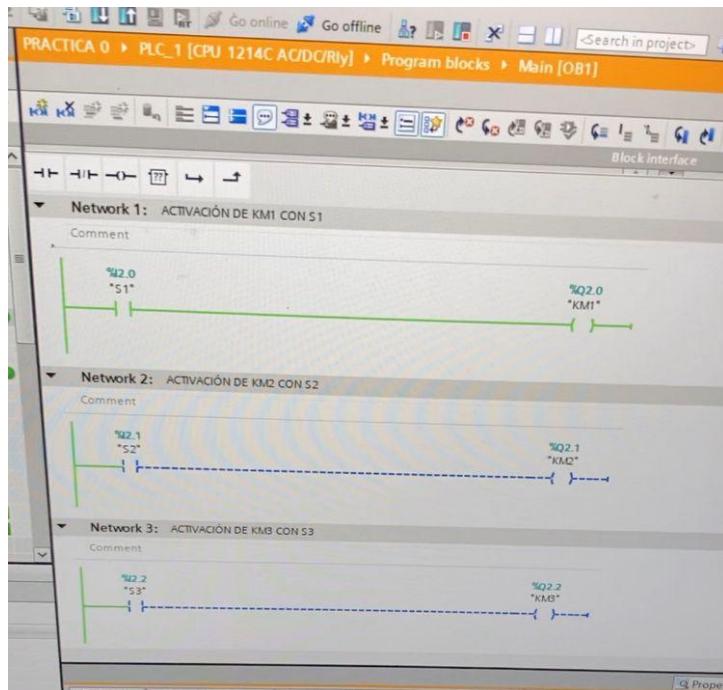


Figura 84. Monitoreo en línea del programa en el Main (elaboración propia).

2.- Escriba las similitudes y diferencias del módulo de entradas y salidas locales del PLC y las tarjetas de entradas y salidas EL1008 y EL2008 de la periferia descentralizada.

1.2.2 Práctica #1

Título. Arranque, paro e inversión de giro de un motor por dos estaciones sin pasar por paro mediante un sistema de periferia descentralizada utilizando HMI.

Panorama de la práctica.

Las plantas de producción pueden abarcar desde uno hasta más procesos para producir un producto o servicio, estas plantas están divididas por estaciones que pueden operar de manera independiente o en conjunto como parte de una línea de producción. Una estación de trabajo automatizada es un sistema que integra

maquinaria y tecnología de control para realizar una tarea específica⁹³. Es importante saber que las tareas automatizadas no ocurren siempre en una misma estación como se trabaja en las prácticas actuales del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, puesto que, para procesos de plantas grandes, intervienen más estaciones que pueden estar controladas por un mismo controlador lógico programable.

Está práctica está enfocada al control de un motor por dos estaciones, la primera estación será un HMI simulada que controlará el arranque, paro e inversión de giro de un motor ubicado en otra estación, la segunda estación controlará lo mismo, pero por botones pulsadores físicos del tablero de control electromagnético. El módulo de periferia descentralizada EK9300 recibirá y enviará las señales de entradas y salidas del tablero por medio del protocolo *PROFINET* al PLC, al HMI y al ordenador como se muestra en la figura ochenta y cinco.

Figura 85. Esquema de comunicación entre PLC S7-1200, HMI simulada, ordenador y el módulo de periferia descentralizada para control del tablero de control electromagnético y del motor trifásico (elaboración propia).

Objetivo.

- Controlar el arranque, paro e inversión de giro de un motor trifásico por dos estaciones, una con accionamientos físicos y otra desde una HMI simulada utilizando el módulo de periferia descentralizada.

Recursos.

- Módulo de PLC *Siemens S7-1200*
- Tablero de control electromagnético
- Ordenador
- Módulo de PLC *Siemens S7-1200*
- Fuente de poder de 24 VCD
- Módulo de periferia descentralizada EK9300 de la marca Beckhoff
- Switch de Ethernet
- Cables de prueba P1036 banana-banana 4mm

⁹³ <https://www.grupomadiver.com/post/estaciones-de-trabajo-automatizadas-el-coraz%C3%B3n-de-la-producci%C3%B3n-moderna-1#:~:text=Una%20estaci%C3%B3n%20de%20trabajo%20automatizada%20es%20un%20sistema%20integrado%20que,%C3%ADnea%20de%20producci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20amplia>.

- Cables de Ethernet CAT5 con conectores RJ45 de cobre.
- Motor trifásico de inducción abierto

Seguridad en la ejecución de la actividad.

1.- Identifique los riesgos de la presente práctica y llene la tabla con base a las referencias de la práctica anterior.

Tabla 4. Seguridad en la ejecución de la actividad (elaboración propia)		
Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control
Voltaje alterno 	Electrocución	Identificar los puntos energizados antes de realizar la actividad y evitar contacto.
Voltaje Continuo 	Daño a equipo	Verificar polaridad y nivel antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo
Motor trifásico	Daño físico	Sostener de manera segura el motor al arranque y evitar contacto con el eje.
Cables pelados o en mal estado	Electrocución	Cerciorarse que la instalación este en las condiciones adecuadas.

Desarrollo.

Etapa 1. Alimentación y comunicación del equipo.

1.- Realice la alimentación y comunicación de los equipos desde un proyecto nuevo de *TIA Portal* como se realizó en la práctica #0.

2.- Agregue el HMI al proyecto seleccionando la opción ubicada en el árbol de proyecto ‘agregar nuevo dispositivo’. De clic en la opción de ‘HMI’ y seleccione el HMI de 7” KTP700 Basic con conexión *PROFINET*.

En la figura ochenta y seis se ve como se hace la adición del HMI al proyecto.

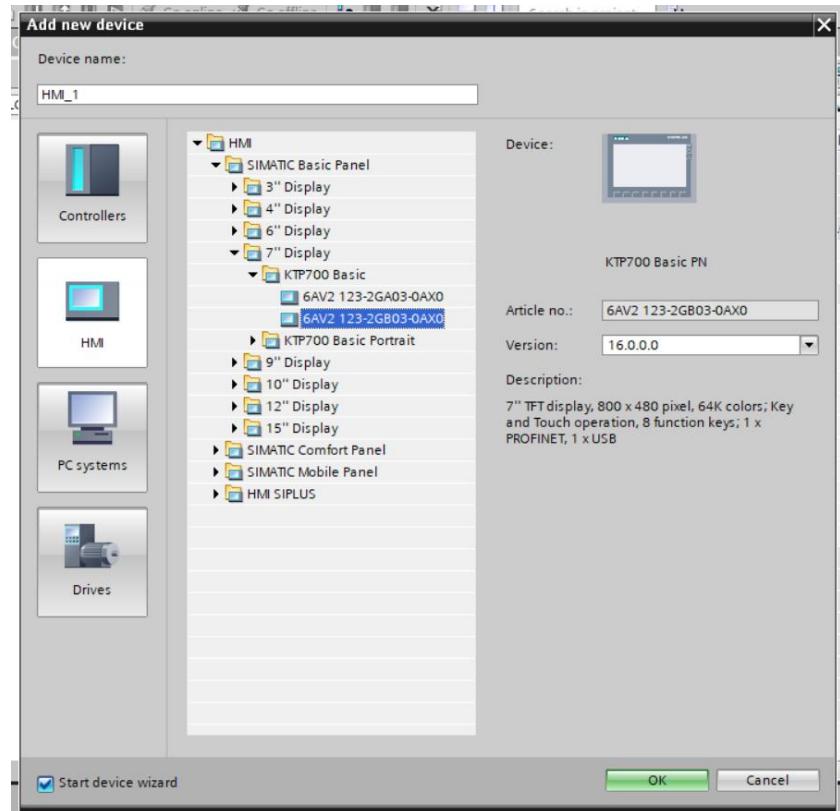


Figura 86. Adición del HMI al proyecto (elaboración propia).

3.- En el ‘wizard del dispositivo HMI KTP700 Basic PN’, seleccione desde ‘browse’ el PLC al cual será conectado el HMI. Configure los demás puntos con el objetivo de tener una pantalla en blanco para editar y de clic en el botón ‘finalizar’. En la figura ochenta y siete, y ochenta y ocho se observa la comunicación de HMI con PLC y la configuración del HMI respectivamente.

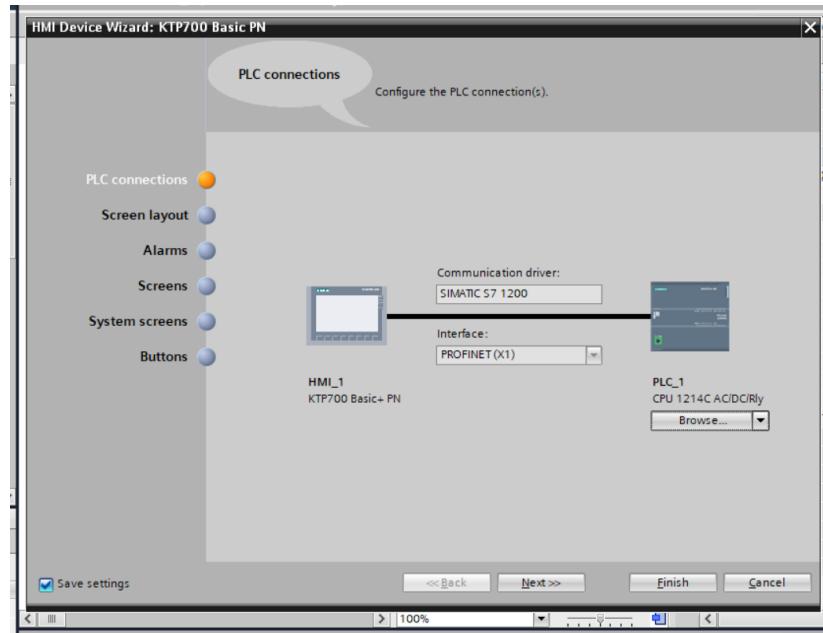


Figura 87. Comunicación de HMI con PLC (elaboración propia).

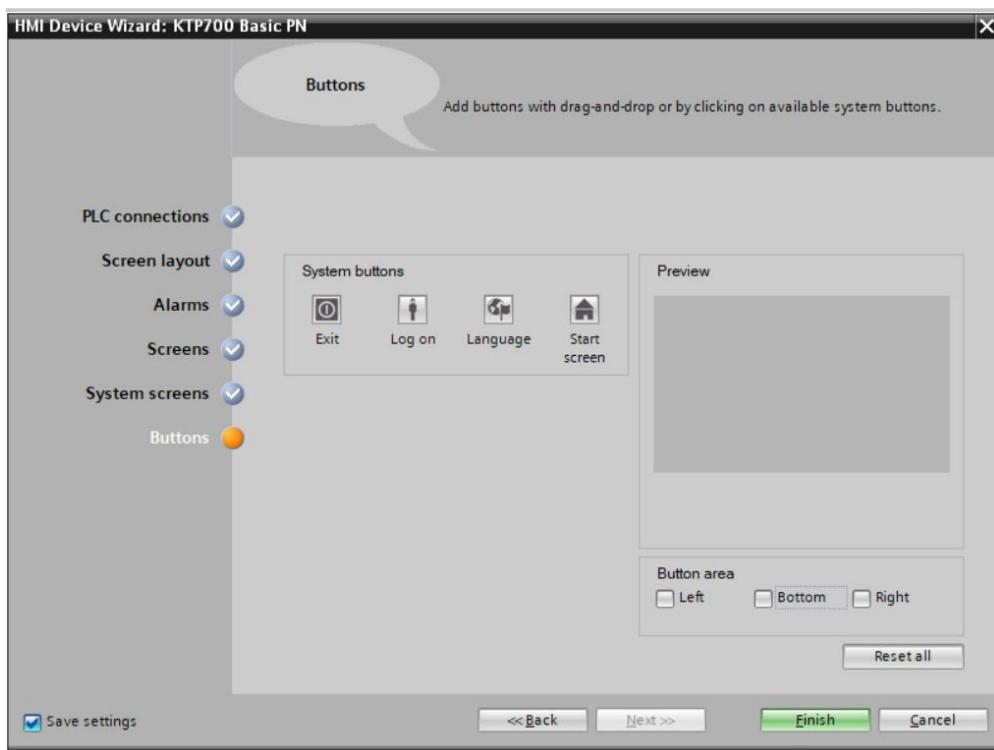


Figura 88. Configuración del HMI (elaboración propia).

4.- En la ventana de 'dispositivos y redes', adicione el HMI a la red *PROFINET* donde se ubica el PLC y el acoplador de bus.

En la figura ochenta y nueve se observa la Comunicación del PLC S7-1200, del acoplador de bus EK9300 y del HMI mediante el protocolo de comunicación *PROFINET*.

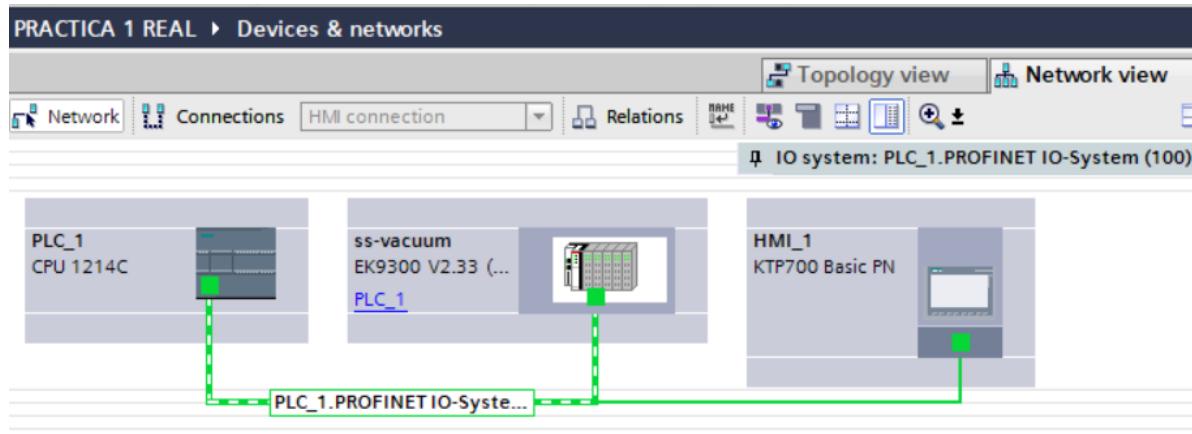


Figura 89. Comunicación del PLC S7-1200, del acoplador de bus EK9300 y del HMI mediante el protocolo de comunicación *PROFINET* (elaboración propia).

En la figura noventa se observa el esquema de conexión entre el ordenador, el PLC S7-1200, el HMI y el acoplador de bus EK9300.

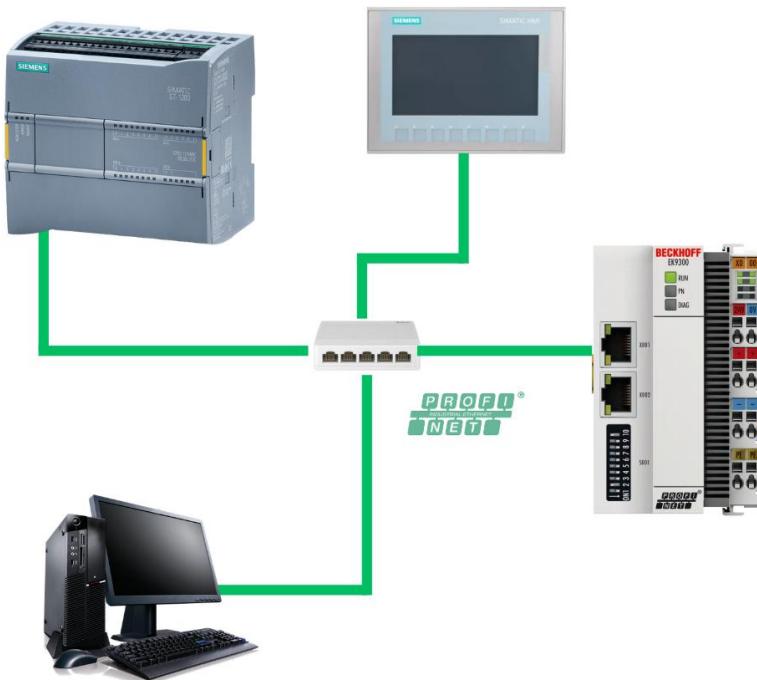


Figura 90. Esquema de conexión entre el ordenador, el PLC S7-1200, el HMI y el acoplador de bus EK9300 (elaboración propia).

Etapa 2. Condiciones de operación.

- El motor deberá arrancar hacia la dirección seleccionada e invertirá su giro sin pasar por el botón de paro.
- El botón de paro detendrá el motor independientemente de su dirección de giro.
- Los contactores deberán contar con una protección mecánica que no permita energizar los dos contactores al mismo tiempo, con la intención de evitar daños al motor trifásico.
- Tome en cuenta la señal del térmico de sobrecarga para el detenimiento y protección del proceso.

Etapa 3. Definición y etiquetado de elementos.

1.- Con base en las direcciones disponibles de entradas y salidas digitales de las tarjetas EL1008 y EL2008, realice el etiquetado de un programa que, mediante botones pulsadores del tablero de control electromagnético, ejecute el arranque y paro e inversión de giro de un motor trifásico.

Tabla 5. Entradas (elaboración propia)			
ELEMENTO DE TABLERO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE EL1008 EN TIA PORTAL	BORNE ELÉCTRICO DE MÓDULO
S1	Botón Derecha	%I2.0	I.0
S2	Botón Izquierda	%I2.1	I.1
S3	Paro	%I2.2	I.2
F3	Sobrecarga	%I2.3	I.3

SALIDAS			
ELEMENTO DE TABLERO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE EL2008 EN TIA PORTAL	BORNE ELÉCTRICO DE MÓDULO
KM1	Motor Derecha	%Q2.0	Q.1
KM2	Motor Izquierda	%Q2.1	Q.2

Responsables del etiquetado: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

2.- Realice el etiquetado de las marcas en función a las entradas para el diseño del HMI simulado.

Tabla 6. Marcas de HMI (elaboración propia)	
DIRECCIÓN EN TIA PORTAL	FUNCIÓN
%M1.0	Botón Derecha 2 HMI
%M1.1	Botón Izquierda 2 HMI
%M1.2	Paro 2 HMI

Responsables del etiquetado: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

4.- Registre los datos en el apartado de ‘tags del PLC’ del software *TIA Portal*, indicando su nombre, tipo de dato bool y asignando las direcciones correspondientes. En la figura noventa y uno se observa el Etiquetado de práctica #1 en software *TIA Portal*.

Default tag table				
	Name	Data type	Address	
1	BOTON DERECHA	Bool	%I2.0	▼
2	BOTON IZQUIERDA	Bool	%I2.1	
3	PARO	Bool	%I2.2	
4	SOBRECARGA	Bool	%I2.3	
5	BOTON DERECHA 2	Bool	%M1.0	
6	BOTON IZQUIERDA 2	Bool	%M1.1	
7	PARO 2	Bool	%M1.2	
8	MOTOR IZQUIERDA	Bool	%Q2.1	
9	MOTOR DERECHA	Bool	%Q2.0	

Figura 91. Etiquetado de práctica #1 en software *TIA Portal* (elaboración propia).

Etapa 4. Programación.

1.- Desarrolle la programación en escalera tomando en cuenta las condiciones de operación previamente mencionadas.

En la figura noventa y dos se observa la programación en escalera de la práctica #1.

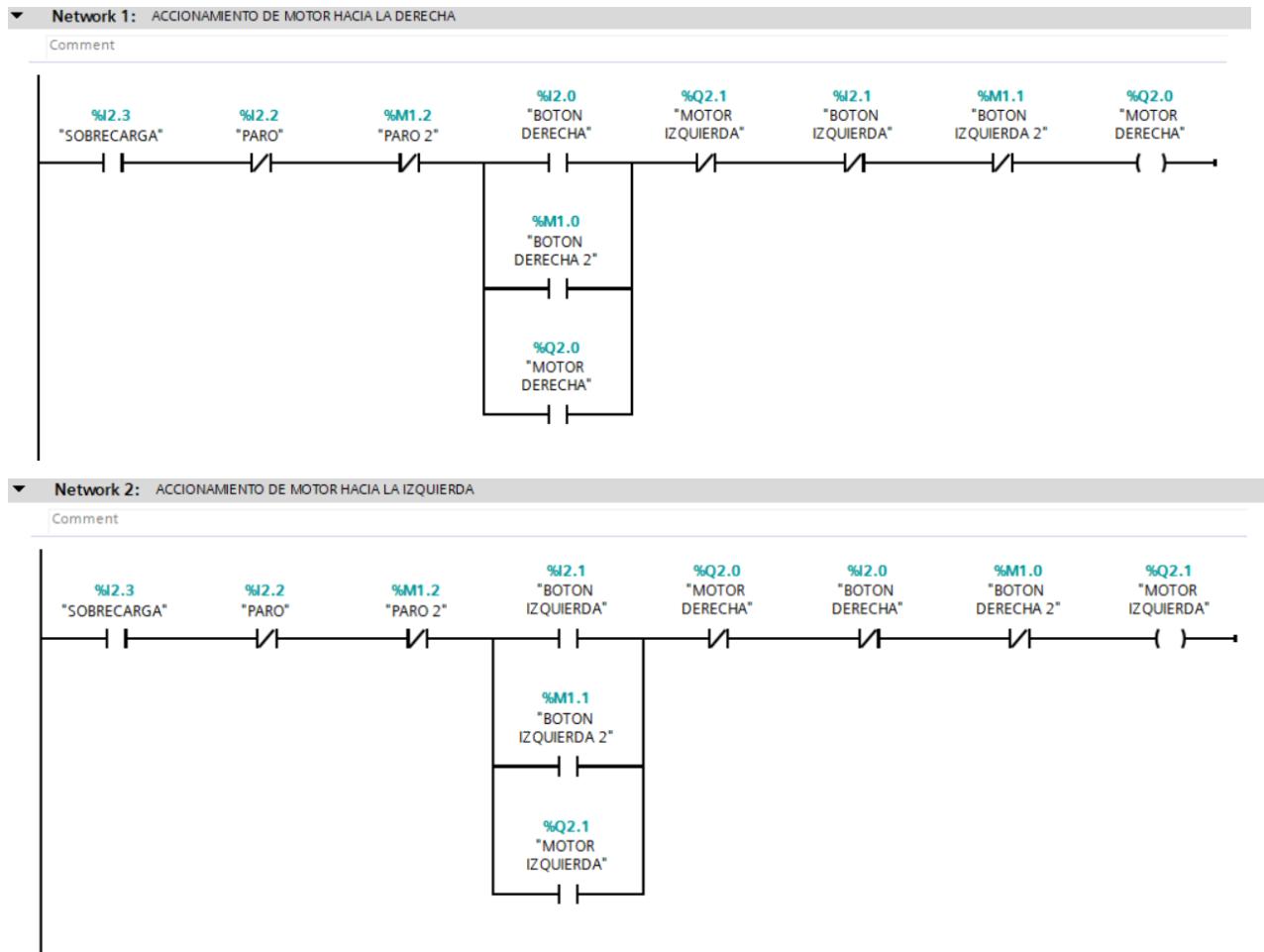


Figura 92. Programación en escalera de la práctica #1 (elaboración propia).

Responsables de la programación: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

Etapa 5. Esquema de control.

1.- Realice el esquema de conexiones del control correspondiente a la programación de la presente práctica, tomando de referencia las conexiones realizadas en la práctica #0.

2.- Valide con su profesor.

En la figura noventa y tres se observa el esquema de conexiones de la tarjeta de entradas digitales EL1008 y de la tarjeta de salidas digitales EL2008 para la práctica #1.

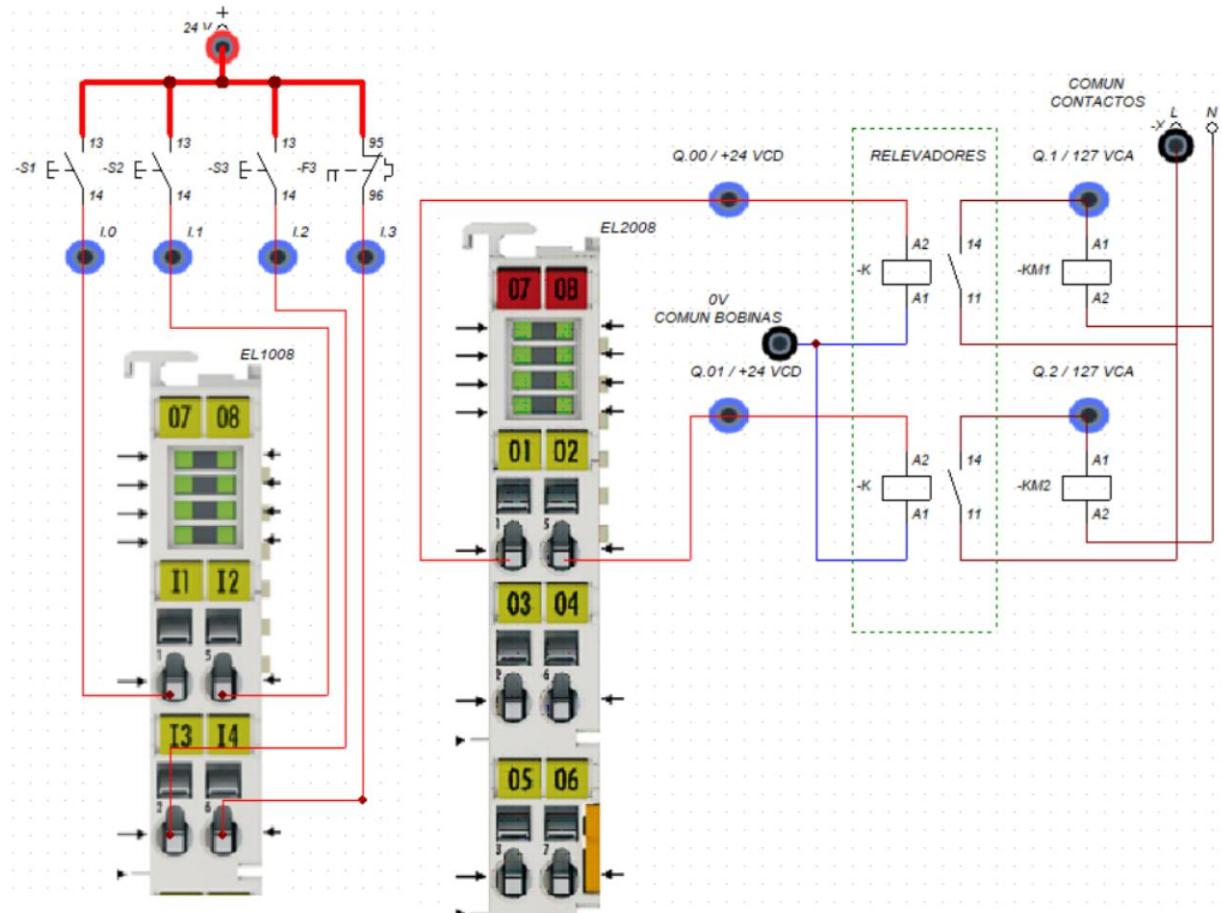


Figura 93. Esquema de conexiones de la tarjeta de entradas digitales EL1008 y de la tarjeta de salidas digitales EL2008 para la práctica #1 (elaboración propia).

Responsables del diseño: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

3.- Pruebe la lógica del programa en vacío apoyándose de los focos indicadores de cada tarjeta.

Etapa 6. Diagrama de fuerza.

- 1.- Realice el diagrama de conexiones de fuerza del tablero de control electromagnético correspondientes a la programación de la presente práctica.
- 2.- Valide con su profesor.

En la figura noventa y cuatro se observa el diagrama de fuerza de la práctica #1.

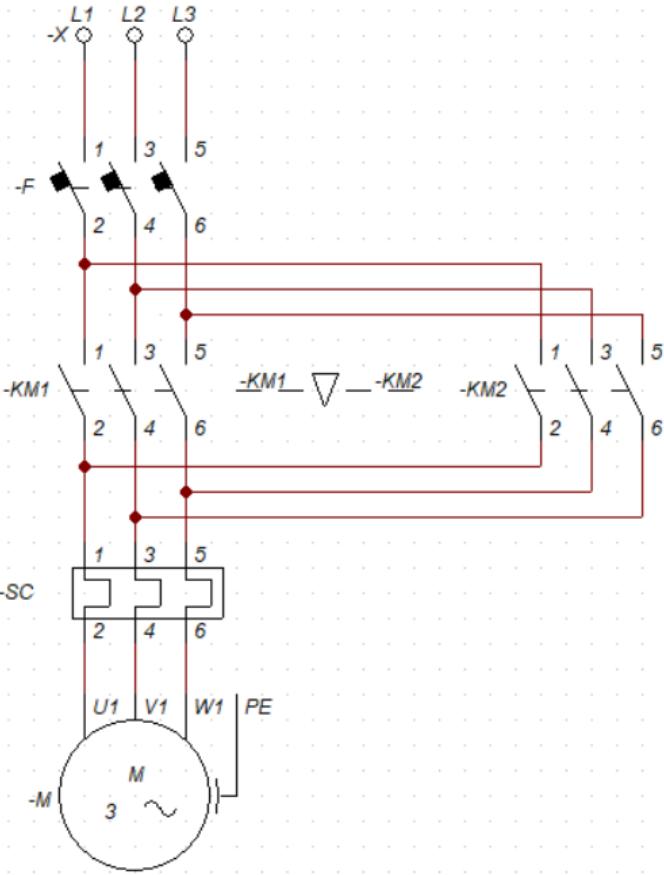


Figura 94. Diagrama de fuerza de la práctica #1 (elaboración propia).

Responsables del diagrama: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

Etapa 7. Compilar Descargar.

1.- Compile y descargue en el PLC S7-1200 y en el EK9300 como se realizó en la práctica #0.

Etapa 8. Diseño y simulación de HMI.

1.- Diríjase a la ventana de edición de la ‘pantalla raíz’ del HMI agregado, ubicado en el árbol del proyecto.

En la figura noventa y cinco se ve el árbol de proyecto.

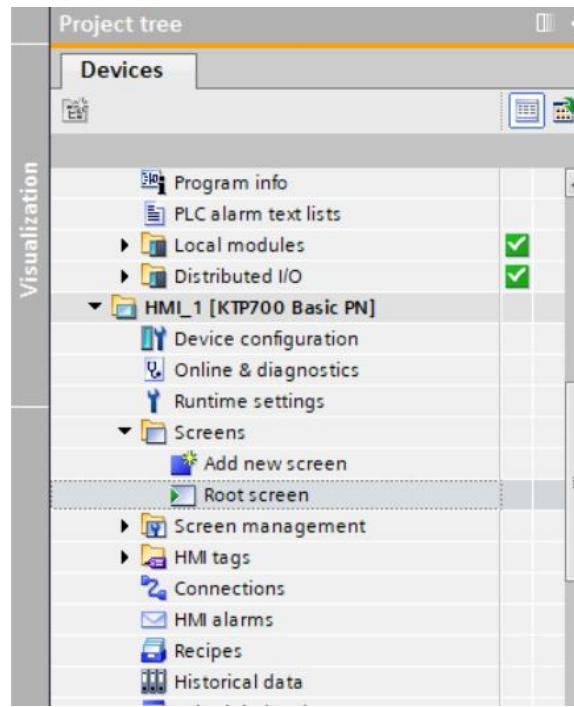


Figura 95. Árbol de proyecto (elaboración propia).

2.- Con la pantalla en blanco, adicione y nombre los botones asignando un evento de cambio ‘inversión de bit’ (4) y referencia su tag de entrada (5) para realizar la activación del botón en cuestión dentro de la programación del PLC.

En la figura noventa y seis se observan los pasos de configuración para los botones del HMI.

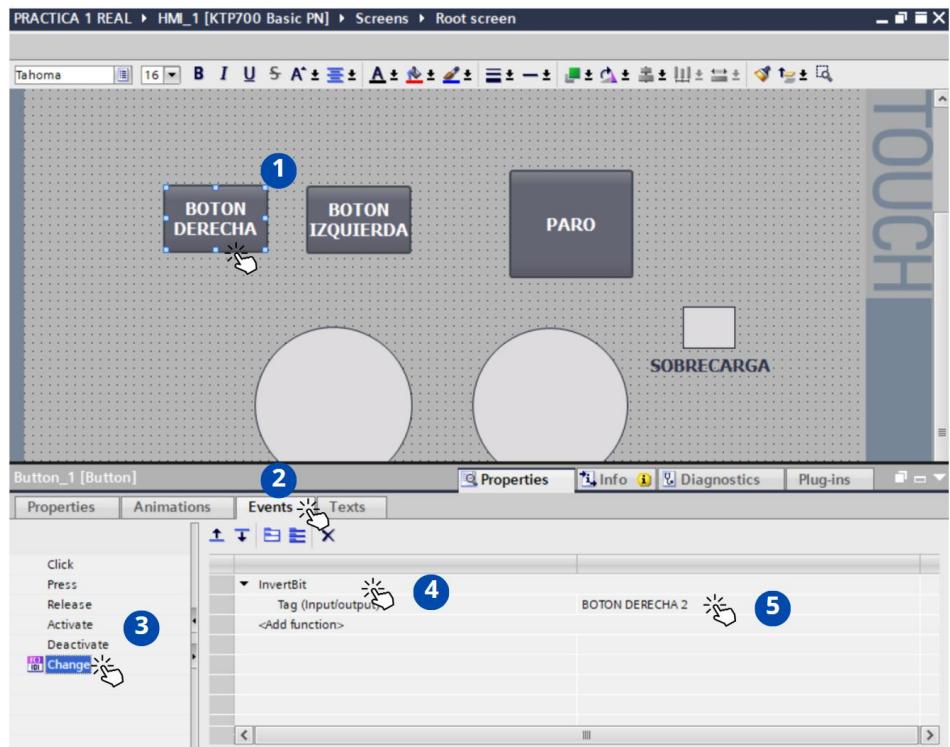


Figura 96. Pasos de configuración para los botones del HMI (elaboración propia).

3.- Adicione los indicadores correspondientes al giro del motor y a la sobrecarga, referenciando el tag de salida (2) y agregando un cambio de apariencia (3) que permita visualizar cuando el motor gira a un lado o al otro y cuando la sobrecarga esté activa. En la figura noventa y siete se ven los pasos de configuración de los indicadores del HMI.

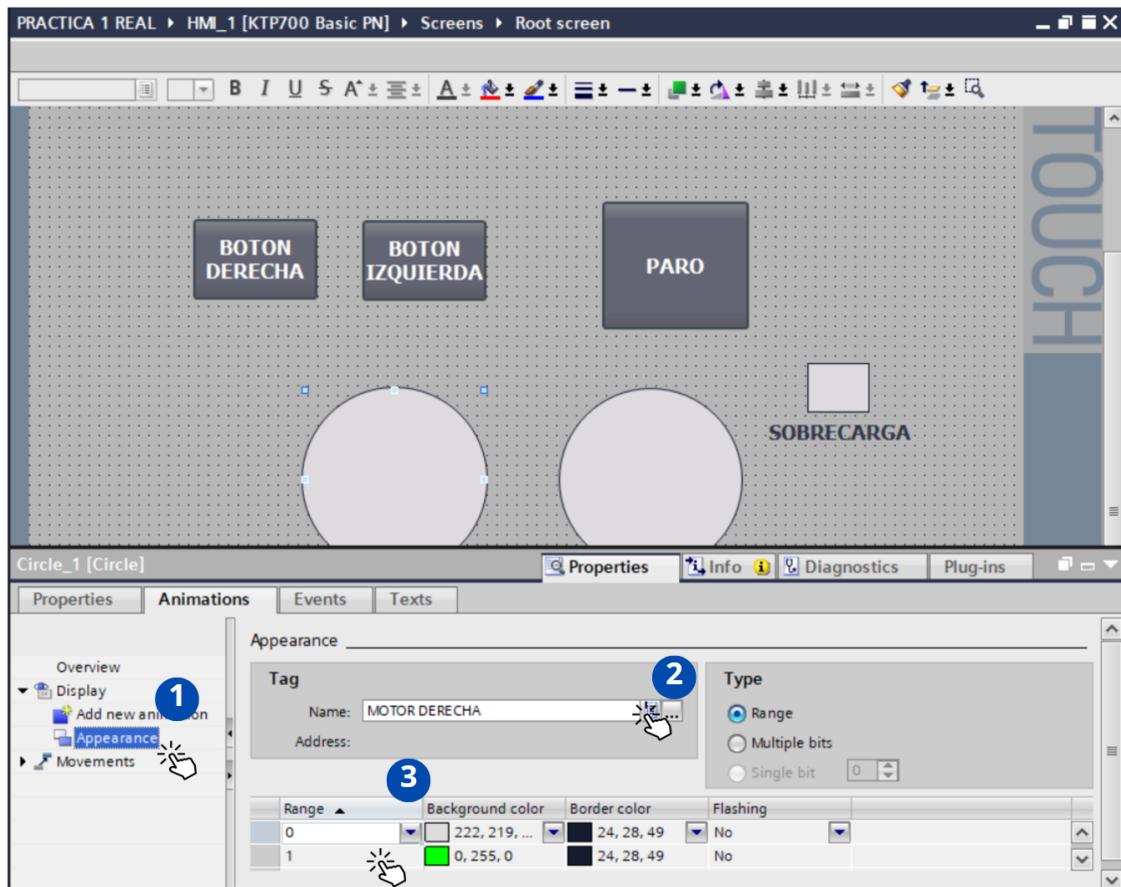


Figura 97. Pasos de configuración de los indicadores del HMI (elaboración propia).

4.- Una vez terminado el diseño, compile (1) e inicie la simulación (2) del HMI.

Nota. Para correr la simulación, es necesario tener instalado el WinCC y realizar los ajustes de configuración adecuados.

En la figura noventa y ocho se ven las indicaciones para compilar y simular la HMI.

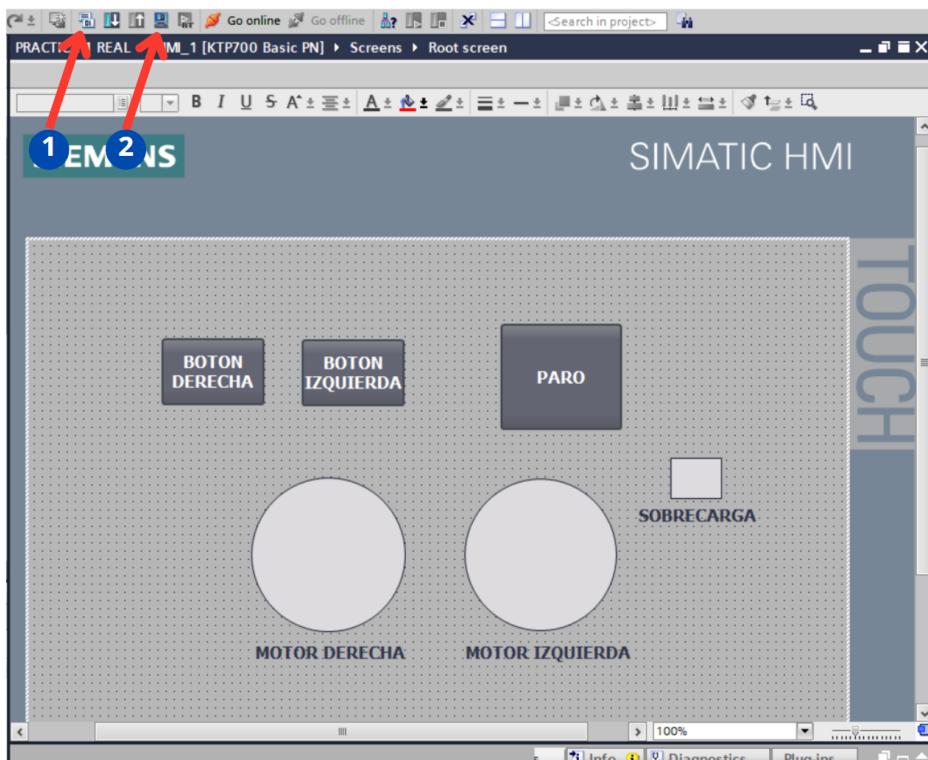


Figura 98. Indicaciones para compilar y simular la HMI (elaboración propia).

Pruebas y Resultados

- 1.- Verifique las conexiones con su profesor.
- 2.- Realice las pruebas de funcionamiento correspondientes poniendo en línea el PLC S7-1200 y comprobando que los accionamientos del tablero de control electromagnético funcionen al mismo tiempo que los de la HMI simulada.

En la figura noventa y nueve se observa el comportamiento inicial en el HMI simulada.

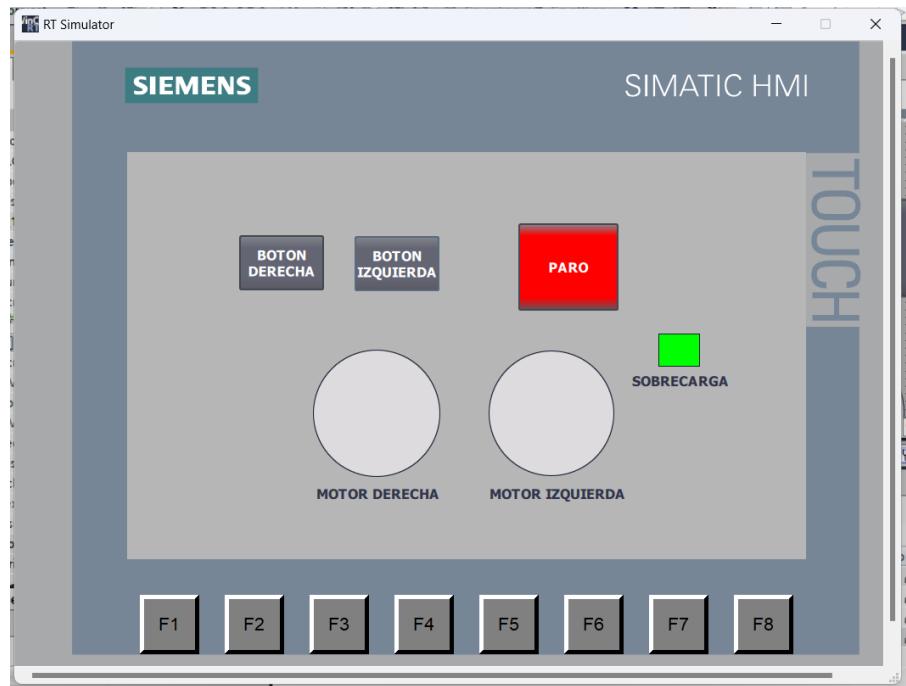


Figura 99. Comportamiento inicial en el HMI simulada (elaboración propia).

En la figura cien se observa el Comportamiento inicial del programa visualizada en el Main desde tablero.

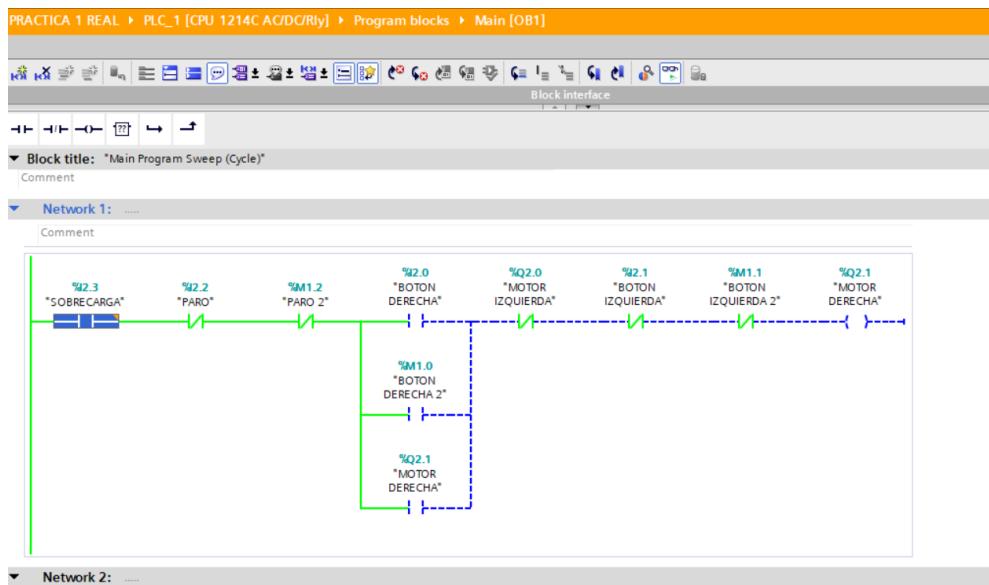


Figura 100. Comportamiento inicial del programa visualizada en el Main desde tablero (elaboración propia).

En la figura ciento uno se ve la visualización de activación desde tablero de giro hacia la derecha en HMI simulada.

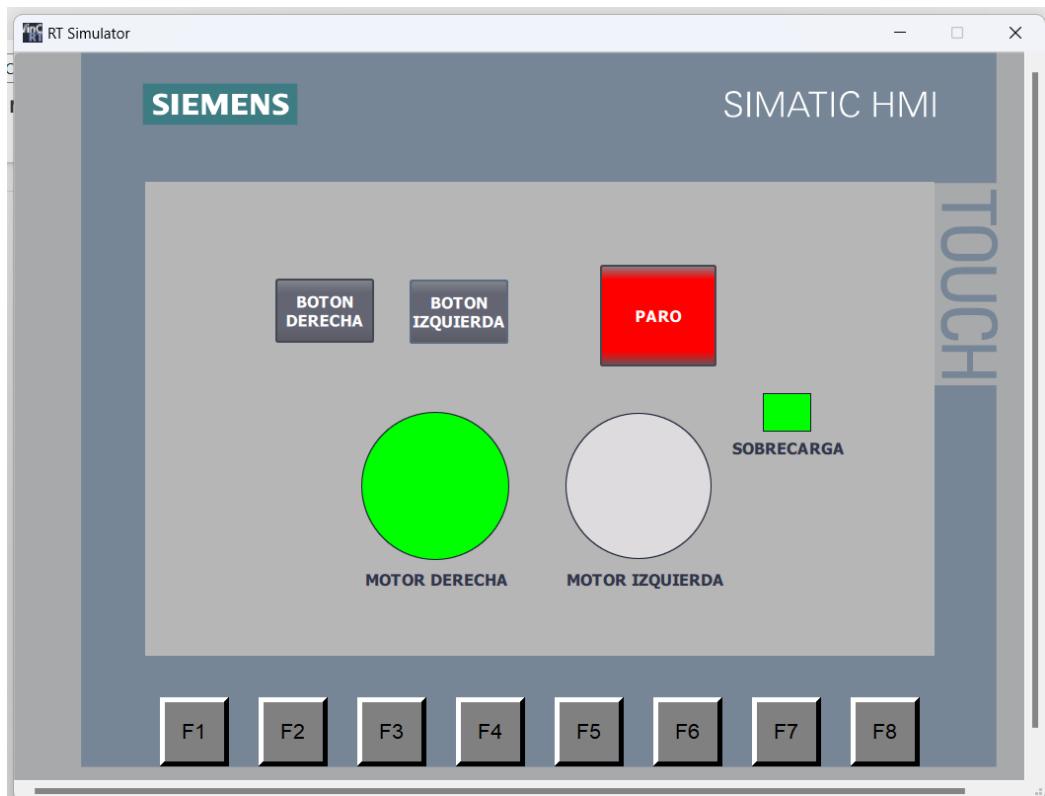


Figura 101. Visualización de activación desde tablero de giro hacia la derecha en HMI simulada (elaboración propia).

En la figura ciento dos se observa la activación de giro hacia la derecha visualizada en el Main desde tablero.

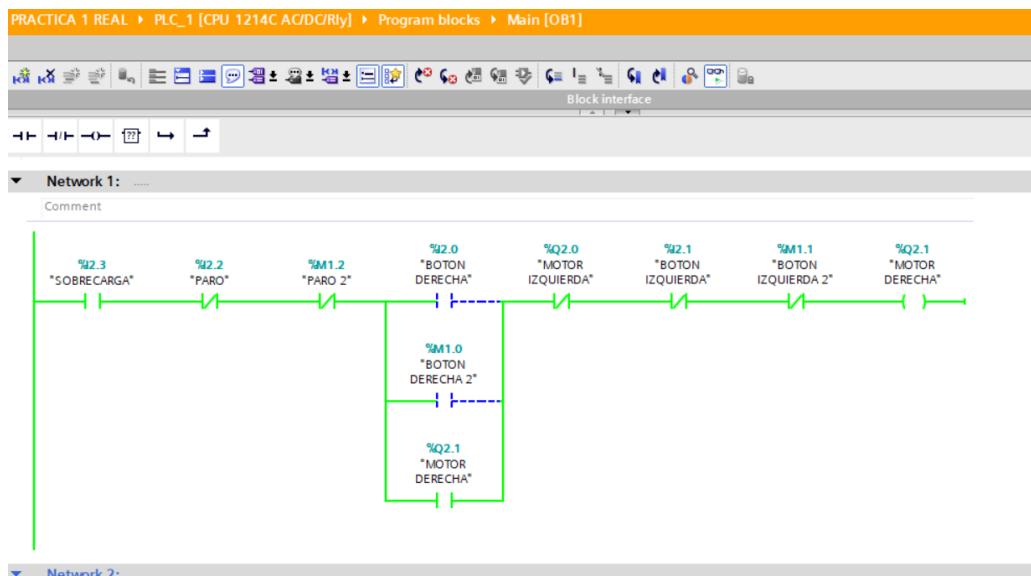


Figura 102. Activación de giro hacia la derecha visualizada en el Main desde tablero (elaboración propia).

En la figura ciento tres se observa la activación de giro hacia la izquierda en HMI simulada.

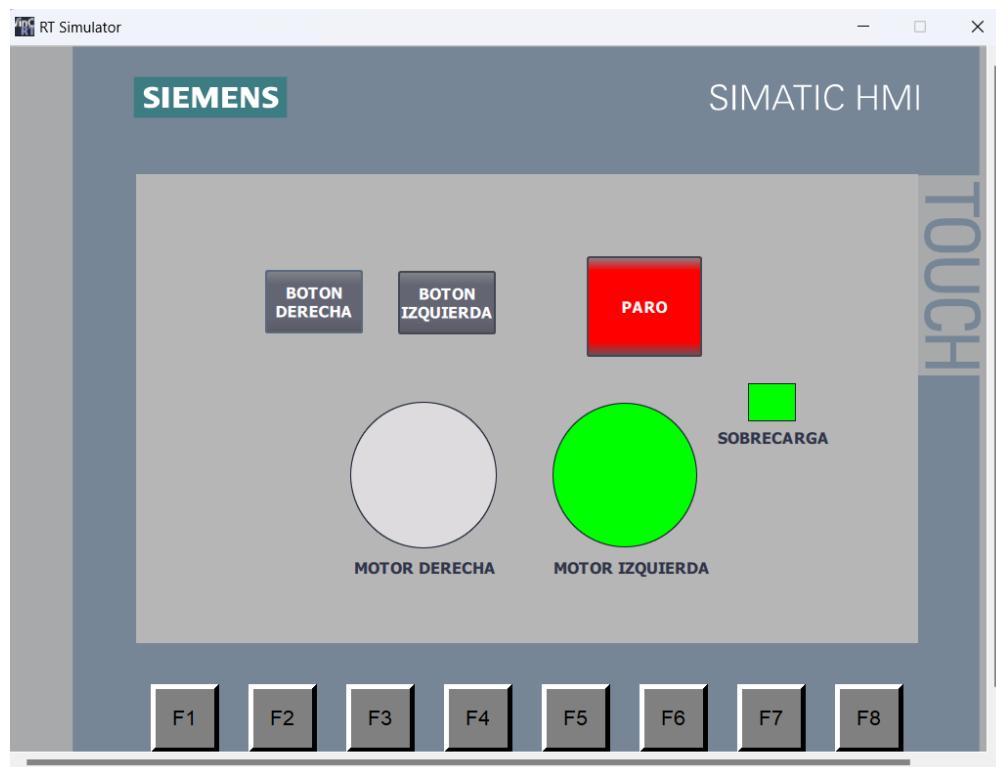


Figura 103. Activación de giro hacia la izquierda en HMI simulada (elaboración propia).

En la figura ciento cuatro se puede ver la activación de giro hacia la izquierda visualizada en el Main desde el tablero.

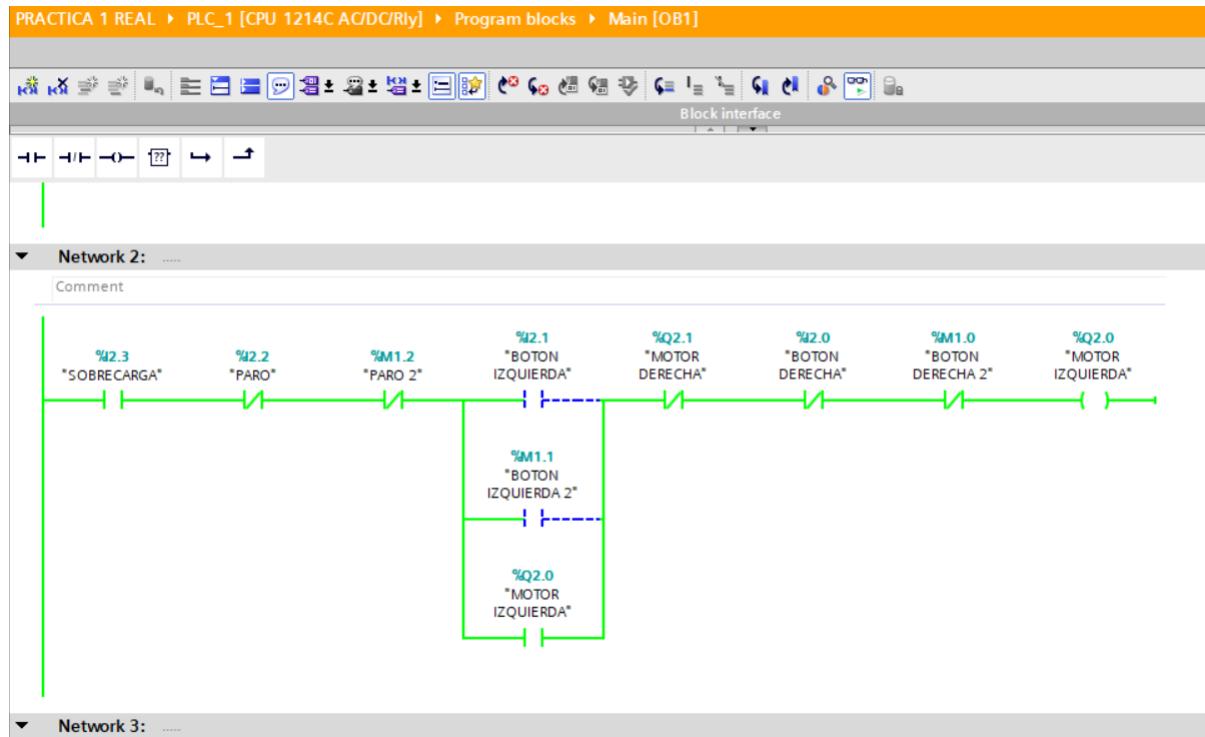


Figura 104. Activación de giro hacia la izquierda visualizada en el Main desde el tablero (elaboración propia).

2.- Compruebe que el funcionamiento de la sobrecarga es el adecuado simulando un disparo desde el tablero de control electromagnético.

En la figura ciento cinco se observa la sobrecarga disparada visualizada en el HMI simulada.

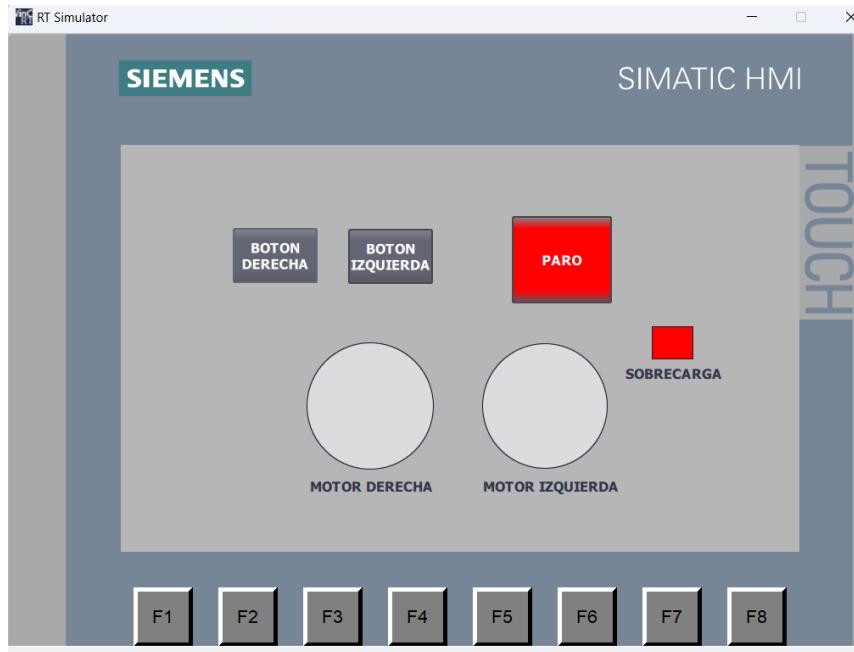


Figura 105. Sobre carga disparada visualizada en el HMI simulada (elaboración propia).

1.2.3 Práctica #2

Título. Ciclado de 3 motores distribuidos mediante sistema de periferia descentralizada por dos estaciones utilizando HMI.

Panorama de la práctica.

Los motores son utilizados en una amplia variedad de aplicaciones en la industria, son indispensables en la operación de gran cantidad de equipos y sistemas. Es importante conocer el alcance que tiene la manipulación de motores en la automatización industrial puesto que los motores tienen aplicaciones comunes como lo son:

- Bombas: Recirculación de fluidos
- Compresores: Sistemas HVAC y herramientas eléctricas neumáticas.
- Ventiladores: Sistemas de ventilación
- Sistemas de refrigeración.

Esta práctica está enfocada al control de 3 motores ciclados desde dos estaciones utilizando el módulo de periferia descentralizada. La primera estación activará y detendrá el ciclo desde un HMI y en la segunda estación estarán ubicados los motores y sus sobrecargas correspondientes. El ciclo durará 16 segundos, dentro de este tiempo, el primer motor se activará entre el primer segundo y el cuarto segundo del ciclo, el motor dos se activará desde el segundo seis hasta el nueve y el tercero desde el segundo diez hasta el catorce. Se programará utilizando un bloque de temporizador con retardo a la conexión (TON) y operaciones de comparación.

En la figura ciento seis se observa una referencia de tiempos del ciclado de los motores.

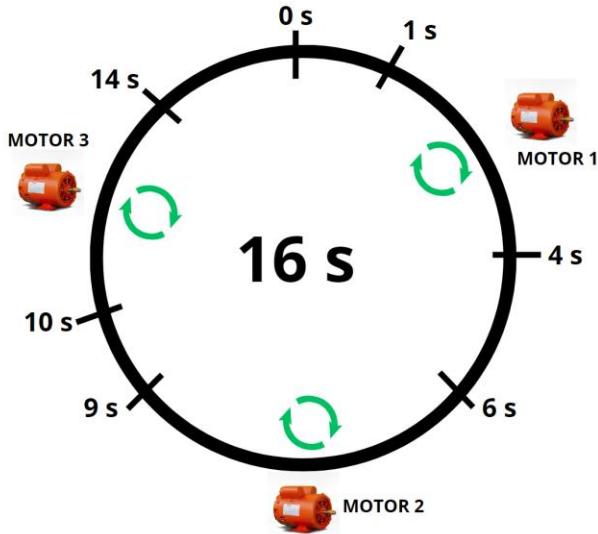


Figura 106. Referencia de tiempos del ciclado de los motores (elaboración propia).

Objetivo.

- Realizar el ciclado de tres motores por dos estaciones. Una estación donde se ubique el tablero de control electromagnético con los motores y otra donde una HMI simulada controle el arranque y paro del ciclado.

Recursos.

- Módulo de PLC *Siemens S7-1200*
- Tablero de control electromagnético
- Ordenador
- Módulo de PLC *Siemens S7-1200*
- Fuente de poder de 24 VCD
- Módulo de periferia descentralizada EK9300 de la marca Beckhoff
- Switch de Ethernet
- Cables de prueba P1036 banana-banana 4mm
- Cables de Ethernet CAT5 con conectores RJ45 de cobre.
- 3 motor trifásicos de inducción abierto

Seguridad en la ejecución de la actividad.

- 1.- Identifique los riesgos de la presente práctica y llene la tabla.

Tabla 7. Seguridad en la ejecución de la actividad (elaboración propia)

Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control
Voltaje alterno	Electrocución	Identificar los puntos energizados antes de realizar la actividad y evitar contacto.
Voltaje Continuo	Daño a equipo	Verificar polaridad y nivel antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo
Motor trifásico	Daño físico	Sostener de manera segura el motor al arranque y evitar contacto con el eje.
Materiales conductores energizados.	Electrocución, quemaduras.	Utilizar guantes aislantes.

Desarrollo.

Etapa 1. Alimentación y comunicación del equipo.

1.- Realice la alimentación y comunicación de los equipos desde un proyecto nuevo de *TIA Portal*.

2.- Agregue y comunique el HMI como se realizó en la práctica #1.

En la figura ciento siete se observa la comunicación de HMI en *TIA Portal*.

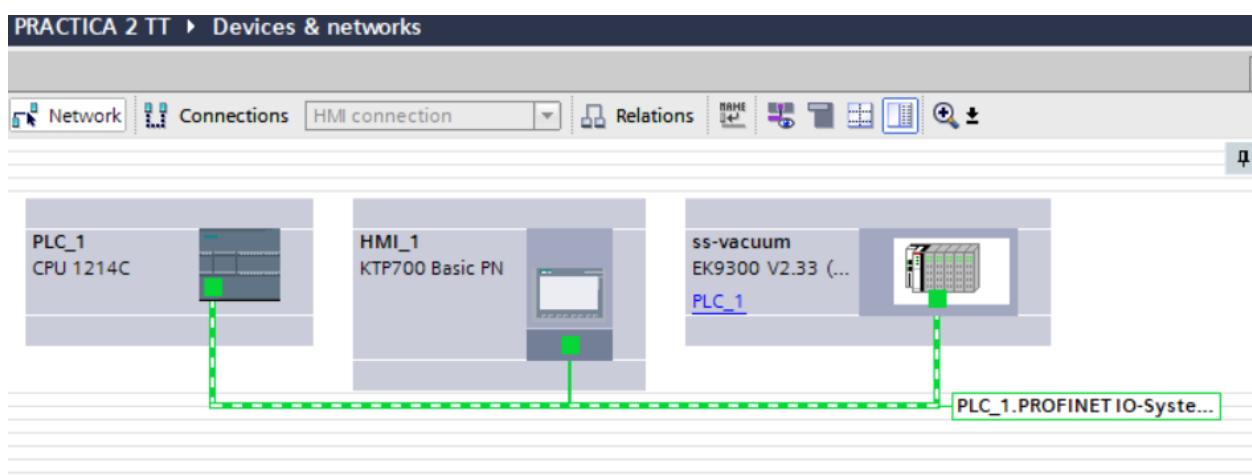


Figura 107. Comunicación de HMI en *TIA Portal* (elaboración propia).

En la figura ciento ocho se observa un esquema de comunicaciones entre PLC, HMI, ordenador y acoplador de bus.

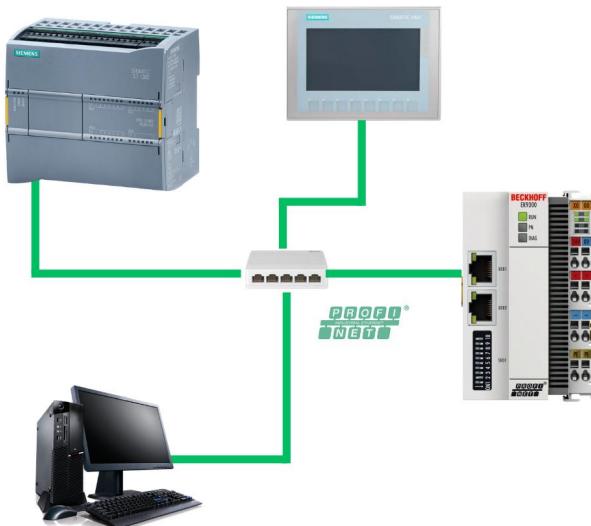


Figura 108. Esquema de comunicaciones entre PLC, HMI, ordenador y acoplador de bus (elaboración propia).

Etapa 2. Condiciones de operación.

- Solo un botón activa el ciclado y no se detendrá hasta que otro botón active el paro.
- Los motores tienen que permanecer activos solo en el intervalo del tiempo asignado.
- Tomar en cuenta las sobrecargas de cada motor. El tablero de control electromagnético solamente dispone de 2 térmicos de sobrecarga, así que, por cuestiones de pruebas, se simulará la tercera sobrecarga con un botón pulsador normalmente cerrado.
- Solo el HMI activará o detendrá el ciclado.

Etapa 3. Definición y etiquetado de elementos.

1.- Realice el etiquetado según las condiciones de operación.

Tabla 8. Definición y etiquetado de elementos (elaboración propia)			
ENTRADAS			
ELEMENTO DE TABLERO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE EL1008 EN TIA Portal	BORNE ELÉCTRICO DE MÓDULO
F3	Sobrecarga M1	%I2.0	I.0
F4	Sobrecarga M2	%I2.1	I.1
S3	Sobrecarga M3	%I2.2	I.2
SALIDAS			
ELEMENTO DE TABLERO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE EL2008 EN TIA Portal	BORNE ELÉCTRICO DE MÓDULO
KM1	Motor 1	%Q2.0	Q.1
KM2	Motor 2	%Q2.1	Q.2
KM3	Motor 3	%Q2.2	Q.3

Responsables del etiquetado: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

2.- Realice el etiquetado de las marcas en función a las entradas y acciones de control del HMI simulado.

Tabla 9. Etiquetado de las marcas en función a las entradas y acciones de control del HMI simulado (elaboración propia)	
DIRECCIÓN EN TIA Portal	FUNCIÓN
M2.0	Arranque
M2.1	Paro

Responsables del etiquetado: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

3.- Registre los datos en el apartado de 'tags del PLC' del software *TIA Portal*.

En la figura ciento nueve se observa la tabla de tags del PLC.

PLC tags				
	Name	Tag table	Data type	Address
1	ARRANQUE	Default tag table	Bool	%M2.0
2	PARO	Default tag table	Bool	%M2.1
3	MOTOR 1	Default tag table	Bool	%Q2.0
4	MOTOR 2	Default tag table	Bool	%Q2.1
5	MOTOR 3	Default tag table	Bool	%Q2.2
6	SOBRECARGA F3	Default tag table	Bool	%I2.0
7	SOBRECARGA F4	Default tag table	Bool	%I2.1
8	SOBRECARGA S1	Default tag table	Bool	%I2.2

Figura 109. Tabla de tags del PLC (elaboración propia).

Etapa 4. Programación.

1.- Desarrolle la programación correspondiente utilizando un temporizador con retardo a la conexión (TON) y bloques de comparación para realizar el ciclado con tiempo de los motores.

En la figura ciento diez se ve la programación en escalera.

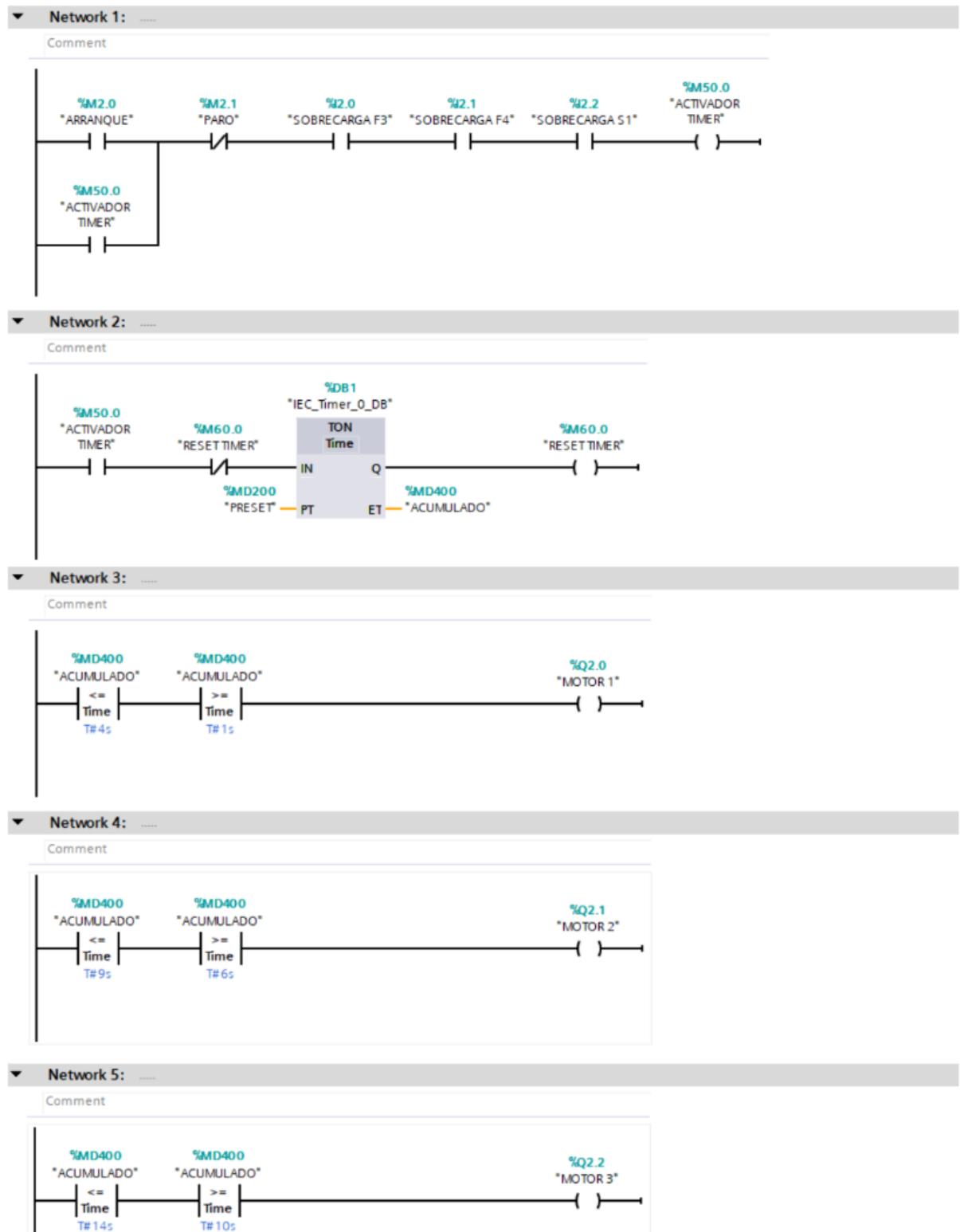


Figura 110. Programación en escalera (elaboración propia).

Responsables de la programación: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez

Etapa 5. Diagrama de control.

- 1.- Realice el esquema de conexiones del control correspondiente a la programación de la presente práctica.
- 2.- Valide con su profesor.

En la figura ciento once se ve un esquema de conexiones de las tarjetas de entradas y salidas.

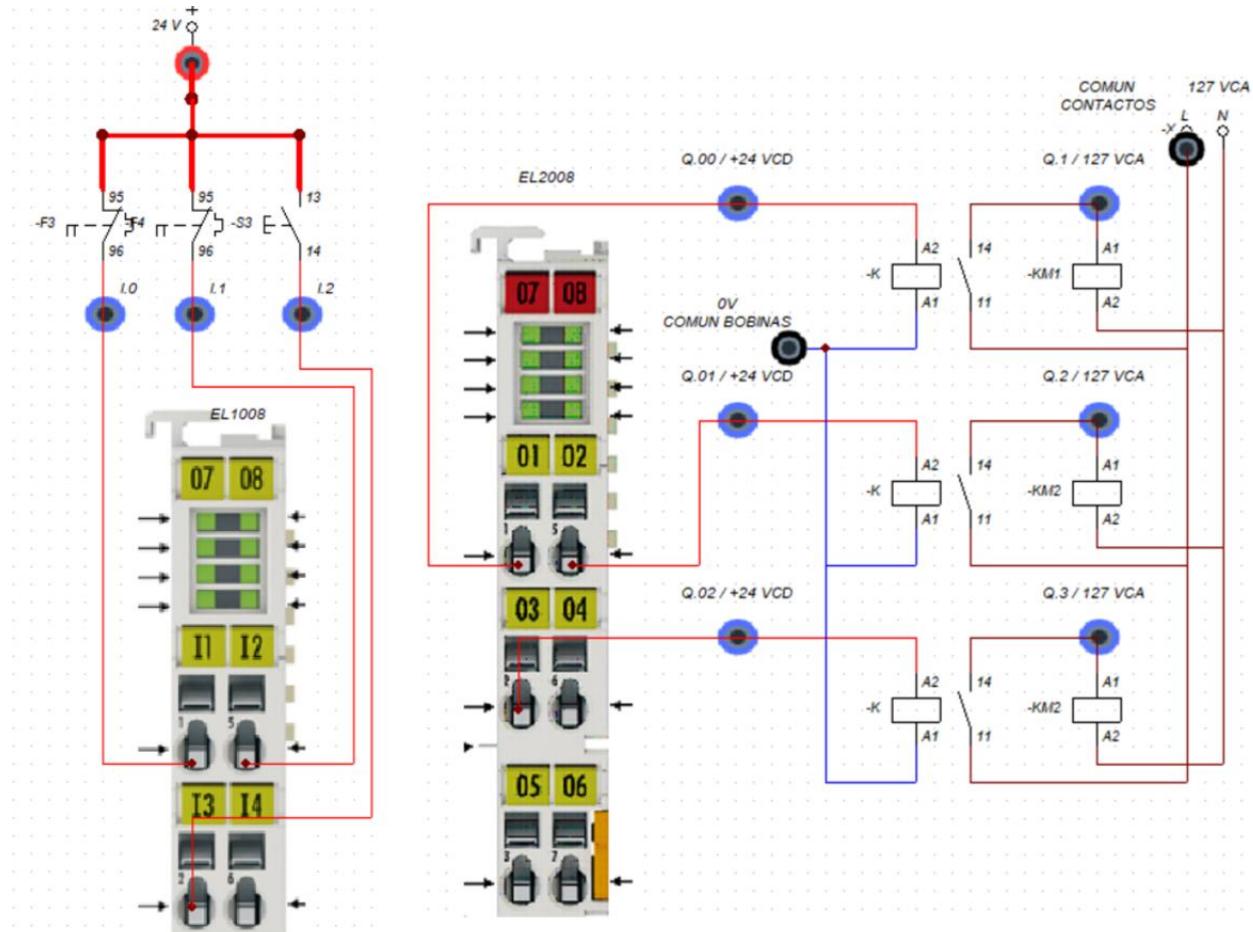


Figura 111. Esquema de conexiones de las tarjetas de entradas y salidas (elaboración propia).

Responsables del esquema: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

Etapa 6. Diagrama de fuerza.

- 1.- Realice el diagrama de conexiones de fuerza del tablero de control electromagnético correspondientes a la programación de la presente práctica.
- 2.- Valide con su profesor.

En la figura ciento doce se puede ver un diagrama de fuerza.

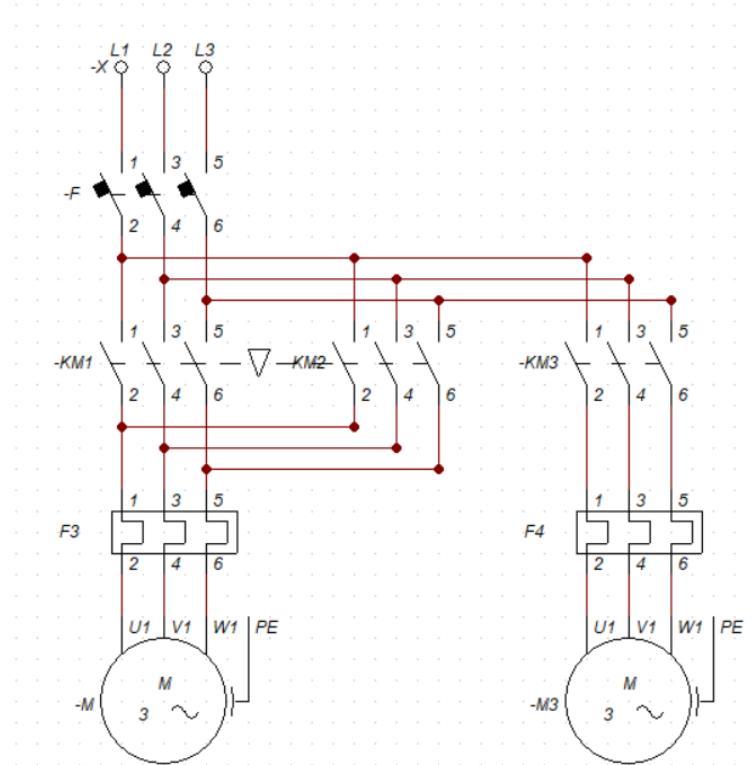


Figura 112. Diagrama de fuerza (elaboración propia).

Responsables del diagrama: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras. Validado por: Ing. Humberto Soto Ramírez.

Etapa 7. Compilar Descargar.

- 1.- Compile y descargue en el PLC S7-1200 y en el EK9300.

Diseño y simulación de HMI.

- 1.- Diseñe el HMI correspondiente con dos botones que permitan el arranque y paro del ciclado, tres indicadores de activación para cada motor y para cada sobrecarga.
- 2.- Compile (1) y simule (2) el HMI.

En la figura ciento trece se ve la compilación y simulación del HMI.

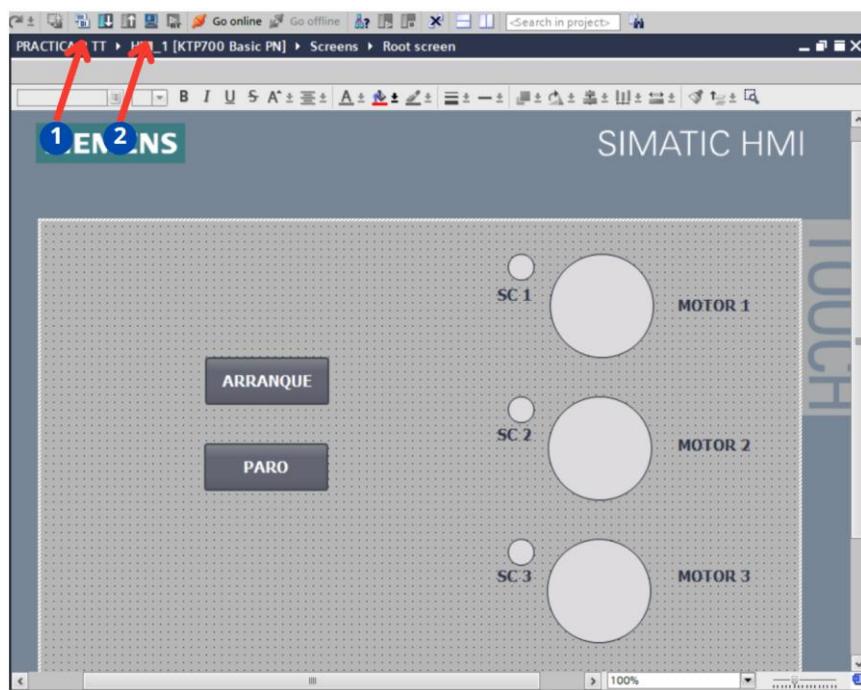


Figura 113. Compilación y simulación del HMI (elaboración propia).

Pruebas y resultados

- 1.- Realice las pruebas de funcionamiento correspondientes comprobando que la HMI controle el arranque y paro, así como que los motores se activen en el tiempo programado.
- 2.- Compruebe que el funcionamiento de las sobrecargas es el adecuado simulando disparos desde el tablero de control electromagnético.

En la figura ciento catorce se observa el cableado físico de la práctica.

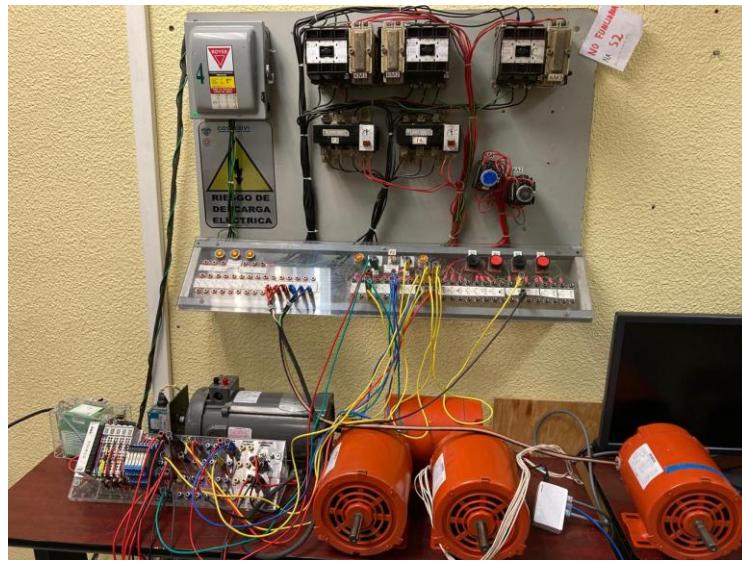


Figura 114. Cableado físico de la práctica (elaboración propia).

En la figura ciento quince se observan los resultados de la programación.

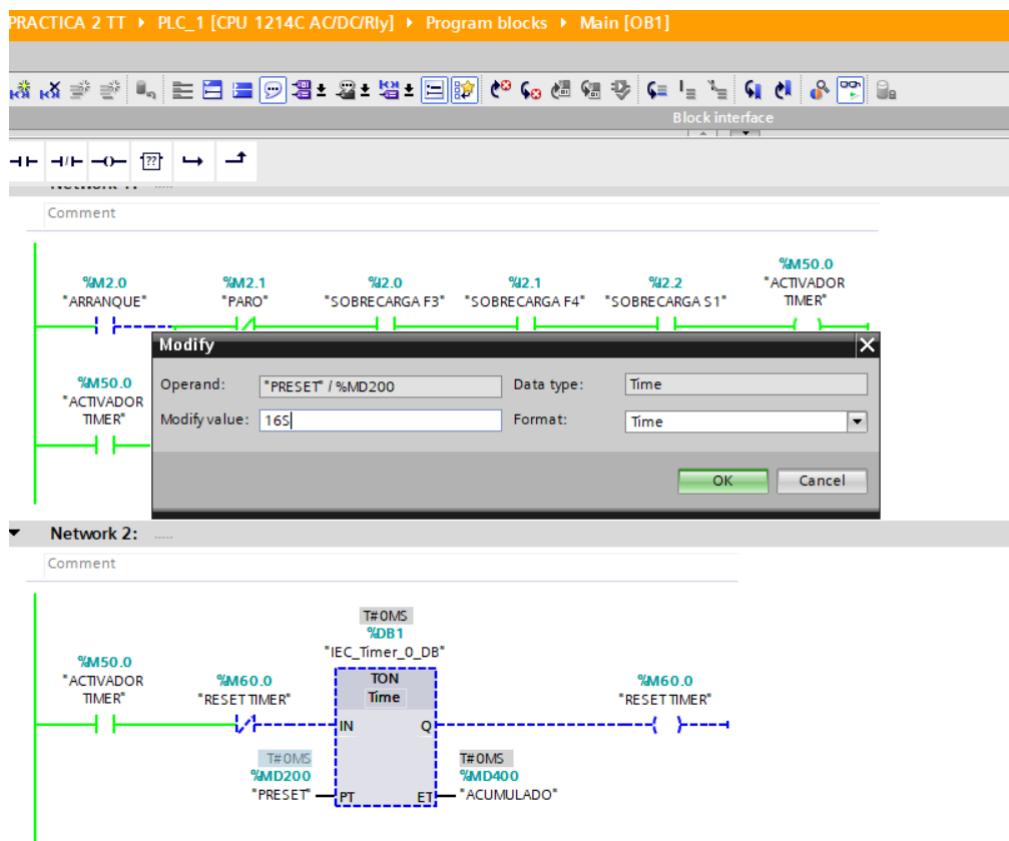


Figura 115. Resultados de la programación (elaboración propia).

En la figura siento diez y seis se observan los resultados del HMI simulada.



Figura 116. Resultados del HMI simulada (elaboración propia).

1.3 Prácticas de Variador de frecuencia

1.3.1 Práctica #3

Título. Comunicación y puesta en marcha de un motor por variador de frecuencia mediante PROFINET.

Panorama de la práctica.

Los variadores de frecuencia son un complemento de suma importancia para los motores eléctricos. Los variadores de frecuencia maximizan el ciclo de vida de los motores mediante la reducción del consumo energético gracias a la conversión de la distribución de la electricidad en una proporción ideal. Actualmente, la reducción de consumo energético es prioridad para muchas empresas, por lo cual, el variador de frecuencia es una herramienta útil y con muchas ventajas para la disminución de gastos de consumo y mantenimientos⁹⁴. Además, tiene muchas aplicaciones en la industria gracias a que proporcionan un control robusto y preciso, necesario para operaciones industriales exigentes⁹⁵.

Esta práctica está enfocada en realizar la conexión del variador de frecuencia con el ordenador por medio de *PROFINET* para realizar pruebas de control de velocidad de un motor trifásico, configurando parámetros y controlando el variador desde el software de *TIA Portal*.

Objetivo.

- Comunicar el variador de frecuencia con el ordenador desde el software *TIA Portal* e identificar las especificaciones de un motor trifásico que permitan la parametrización del variador de frecuencia para controlar el arranque, paro y velocidad de un motor trifásico desde el software *TIA Portal*.

⁹⁴ Disponible en: <https://www.dimaticperu.com/2022/06/la-importancia-de-los-variadores-de-frecuencia-para-la-integridad-de-los-motores-electricos/> fecha de consulta:07 de noviembre del 2024.

⁹⁵ Disponible en: <https://suministrosparalaindustria.com/que-son-los-variadores-de-frecuencia/> fecha de consulta: 07 de noviembre del 2024.

Fundamentos teóricos

1.- Realice una investigación previa de para qué sirven los telegramas en el software TIA Portal.

Telegramas.

Los telegramas en *TIA Portal* se utilizan para el cambio cíclico de datos entre el PLC y los accionamientos SINAMICS. Existen distintos telegramas que contienen distintos parámetros cíclicos y, por lo tanto, se utilizan para distintos tipos de aplicaciones.

Para el control de velocidad simple (encendido de variador y ajuste de velocidad desde PLC) se puede utilizar el telegrama estándar 1. *TIA Portal* tiene bloques de funciones listos para algunos de los telegramas⁹⁶.

Responsables de la investigación: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras.

Recursos.

- Ordenador
- Módulo de variador de frecuencia
- Tablero de control electromagnético
- Switch de Ethernet
- Cables de prueba P1036 banana-banana 4mm
- Cables de Ethernet CAT5 con conectores RJ45 de cobre.

Seguridad en la ejecución de la actividad.

1.- Identifique los riesgos de la presente práctica y llene la tabla.

⁹⁶ Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/forum/mx/en/posts/what-is-telegram-in-drive/203191>, fecha de consulta: 12 de noviembre del 2024.

Tabla 10. Seguridad en la ejecución de la actividad (elaboración propia)		
Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control
Voltaje alterno 	Electrocución	Identificar los puntos energizados antes de realizar la actividad y evitar contacto.
Voltaje Continuo 	Daño a equipo	Verificar polaridad y nivel antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo
Motor trifásico	Daño físico	Sostener de manera segura el motor al arranque y evitar contacto con el eje.
Materiales conductores energizados.	Electrocución, quemaduras.	Utilizar guantes aislantes.

Desarrollo.

Etapa 1. Alimentación y comunicación del ordenador y el variador de frecuencia.

1.- Verifique que el controlador a utilizar contenga un módulo de potencia SINAMICS PM240-2; un módulo controlador CU-230P-2 PN y una pantalla de operación IOP-2. Además de todos los elementos de protección y de control necesarios para desarrollar la conexión y operación del controlador.

2.- Realice las conexiones de alimentación correspondientes para alimentar el módulo de variador de frecuencia y enciéndalo.

3.- Conecte el motor y verifique con su profesor.

En la figura siento diez y siete se observa un esquema de conexiones del variador de frecuencia.

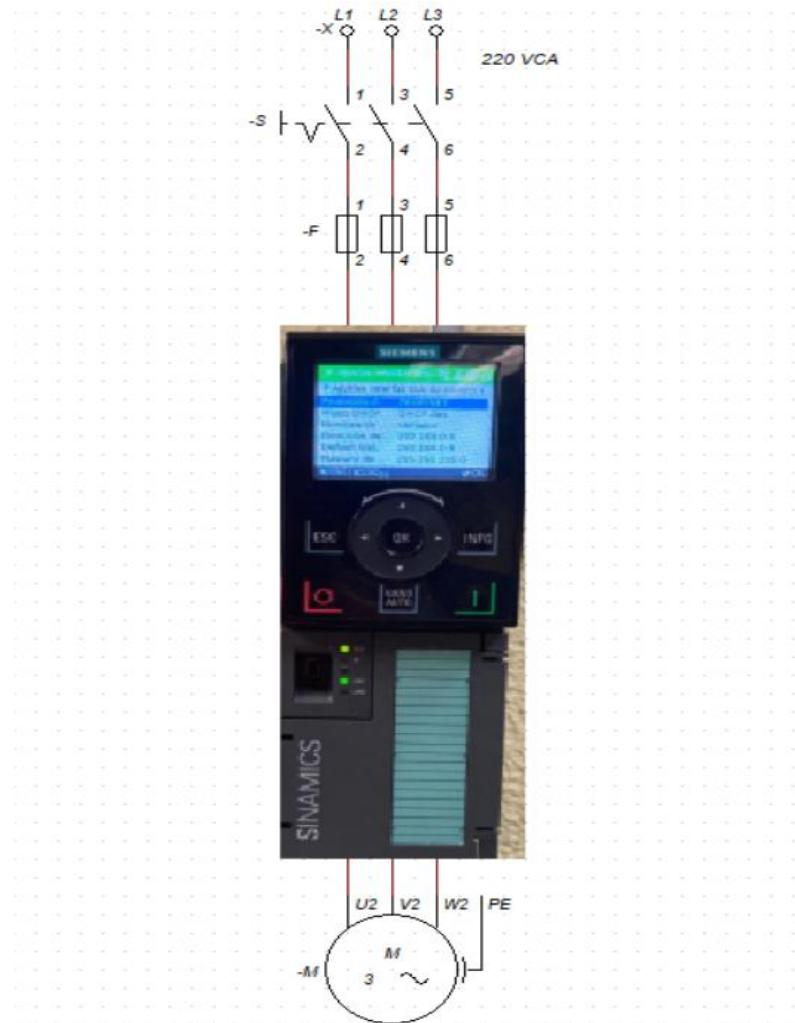


Figura 117. Esquema de conexiones del variador de frecuencia (elaboración propia).

2.- Realice la conexión de comunicación física del módulo de variador de frecuencia con el ordenador.

En la figura ciento diez y ocho se observa un esquema de comunicación del ordenador y el variador de frecuencia SINAMICS G120.

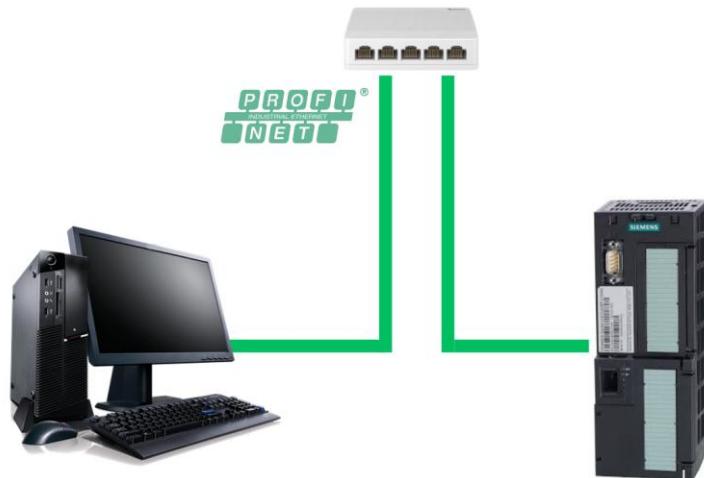


Figura 118. Esquema de comunicación del ordenador y el variador de frecuencia SINAMICS G120 (elaboración propia).

En la figura ciento diez y nueve se ve la comunicación física del ordenador, el variador de frecuencia SINAMICS G120, el PLC S7-1200 y el ordenador.



Figura 119. Comunicación física del ordenador, el variador de frecuencia SINAMICS G120, el PLC S7-1200 y el ordenador (elaboración propia).

Etapa 2. Configuración y parametrización del variador y el motor.

1.- Restablezca los ajustes de fabrica del variador de frecuencia desde la pantalla de operación.

En la figura ciento veinte se observa la configuración y parametrización del variador de frecuencia SINAMICS G120.



Figura 120. Configuración y parametrización del variador de frecuencia SINAMICS G120 (elaboración propia).

2.- Abra un proyecto nuevo en *TIA Portal* y diríjase a la barra de menús, de clic en ‘opciones’ y seleccione la opción de ‘dispositivos disponibles’ (1). Dentro de la ventana, de clic en el botón ‘iniciar búsqueda’ (2), seleccione el variador de frecuencia detectado y de clic en el botón de ‘mostrar’.

En la figura ciento veinte y uno se ve la detección del variador de frecuencia SINAMICS G120.

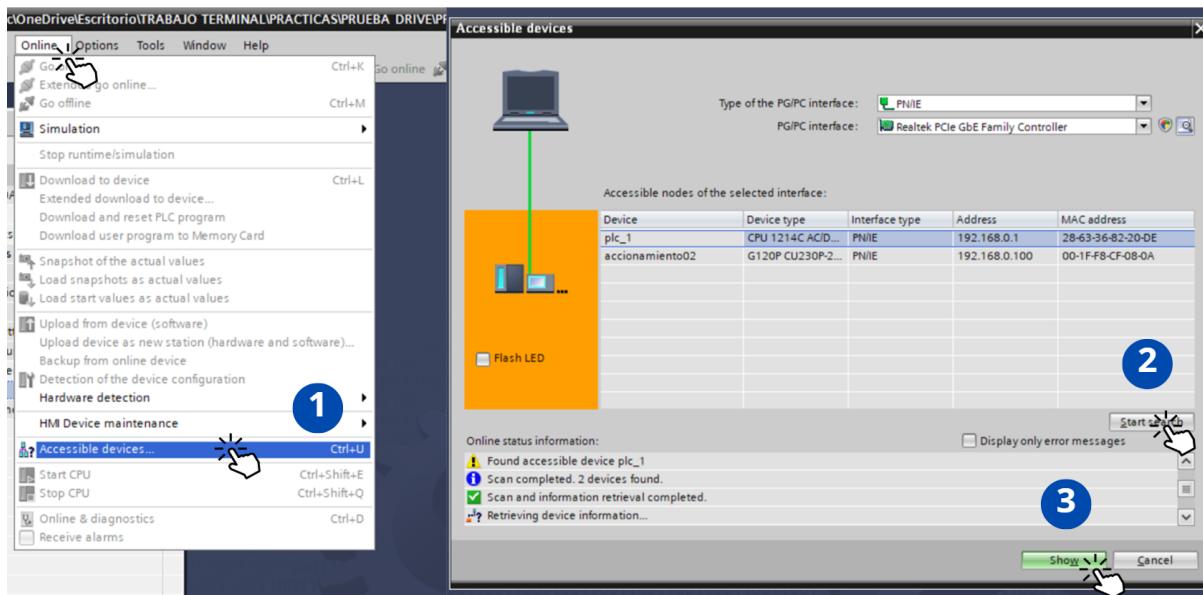


Figura 121. Detección del variador de frecuencia SINAMICS G120 (elaboración propia).

En la figura ciento veinte y dos se observa la ubicación del variador de frecuencia SINAMICS G120 en el árbol de proyecto.

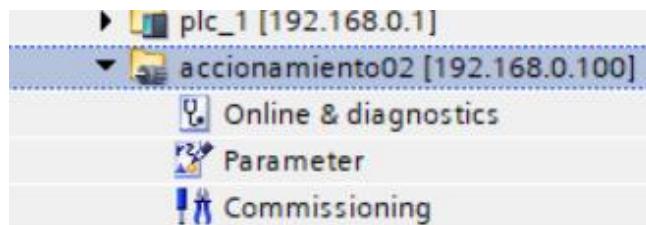


Figura 122. Ubicación del variador de frecuencia SINAMICS G120 en el árbol de proyecto (elaboración propia).

3.- Con el variador mostrado en el árbol de proyecto, seleccione el apartado de ‘diagnósticos y en línea’. Seleccione la función de ‘asignar nombre’ (1), asígnele un nombre (2) y posteriormente de clic en el botón (3) para guardar los cambios.

4.- Del mismo modo asigne una dirección de IP (4) con el mismo identificador de red que el ordenador y un número de host distinto (5).

En la figura ciento veinte y tres se ve la asignación de nombre y de IP del variador de frecuencia.

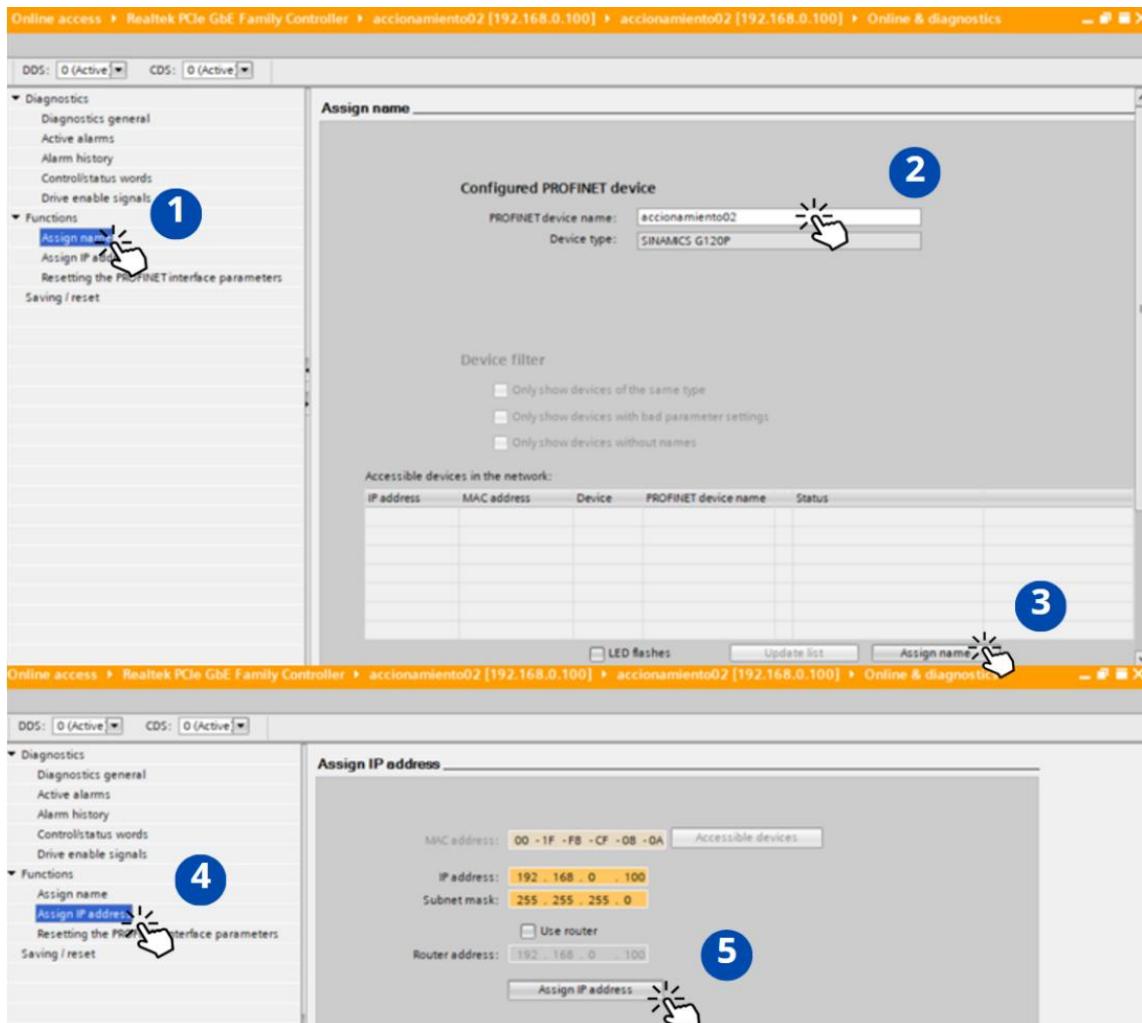


Figura 123. Asignación de nombre y de IP del variador de frecuencia (elaboración propia).

6.- Verifique que los cambios se hayan ejecutado correctamente dirigiéndose a los 'ajustes de interfaz de bus de campo' del variador de frecuencia.

5.- Cargue el dispositivo como una nueva estación, dando clic derecho y seleccionando la opción de 'cargar dispositivo como nueva estación'.

En la figura veinte y cuatro se observa la carga del dispositivo como una nueva estación.

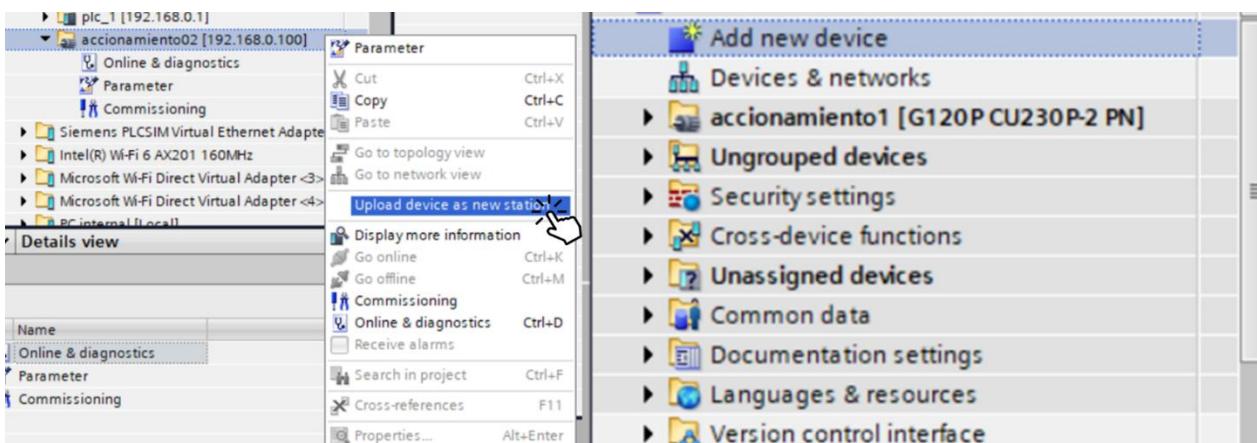


Figura 124. Carga del dispositivo como una nueva estación (elaboración propia).

6.- Una vez cargado como estación en el árbol de proyecto, seleccione la opción de 'puesta en servicio', y abra el wizard de la puesta en servicio.

En la figura ciento veinte y cinco se observa la ubicación del Wizard en el árbol de proyecto.

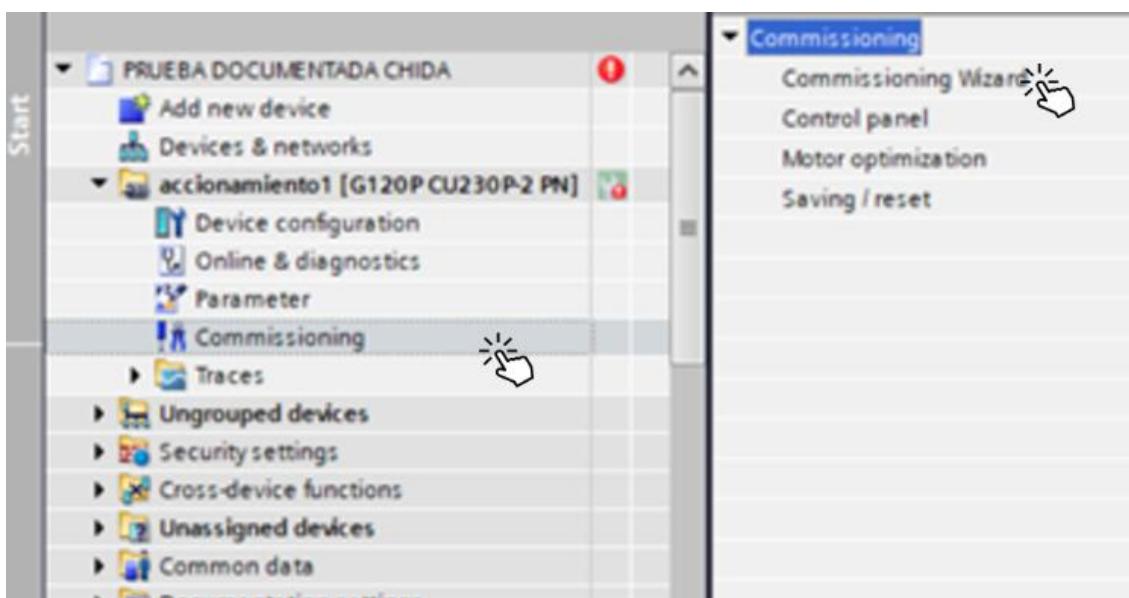


Figura 125. Ubicación del Wizard en el árbol de proyecto (elaboración propia).

7.- Configure los parámetros de acuerdo con las especificaciones del motor y su alimentación. Para más información consulte la Documentación didáctica / para cursos de formación de Siemens⁹⁷.

⁹⁷ Disponible en: <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/drives/sce-062-101-frequency-converter-g120-pn-s7-1500-r1909-es.pdf>, fecha de consulta: 24 de noviembre del 2024.

8.- Seleccione una clase de aplicación de control de dispositivo estándar. Diríjase al Anexo B.

9.- En ‘especificación de consigna’ seleccione la opción de intercambio de datos entre PLC y variador de frecuencia, puesto que para la aplicación de la práctica #4, el PLC intercambiará datos con el variador.

9.- Seleccione la configuración de entradas y salidas por bus de campo ya que se controlará por *PROFINET*. Seleccione el telegrama 1 para la configuración del telegrama.

10.- Parametrice en base a la información de la placa del motor que esté utilizando. En la figura ciento veinte y seis se ve la clase de aplicación.

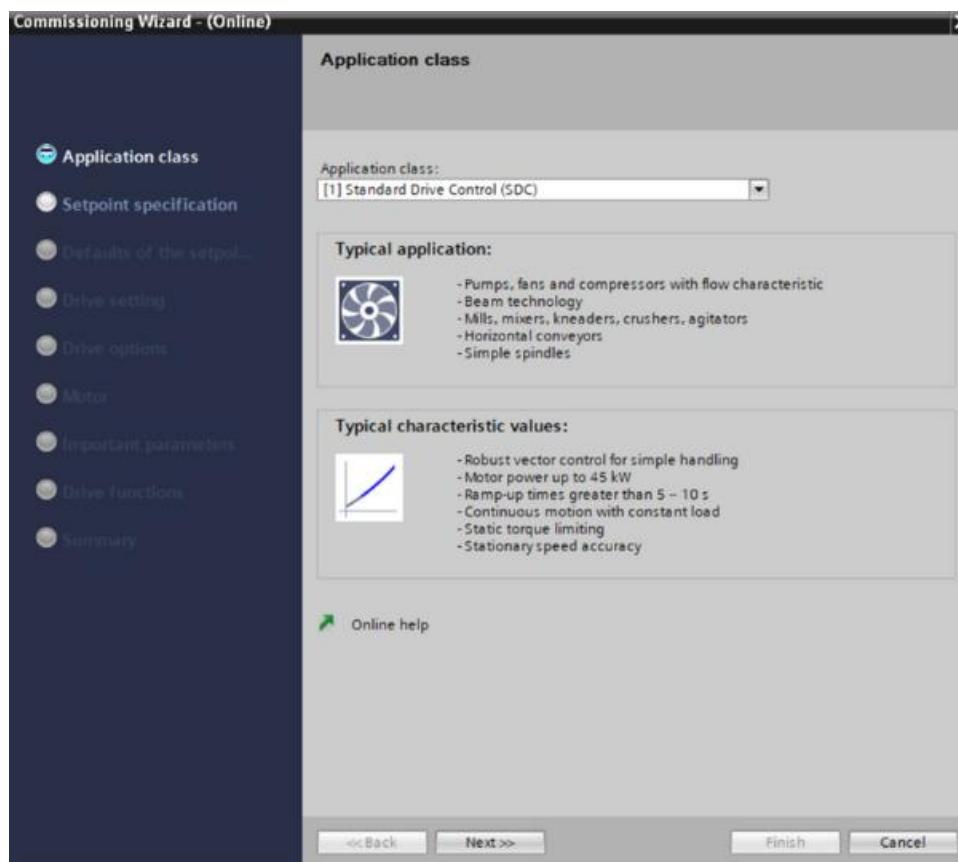


Figura 126. Clase de aplicación (elaboración propia).

En la figura ciento veinte y siete se ve la especificación del setpoint.

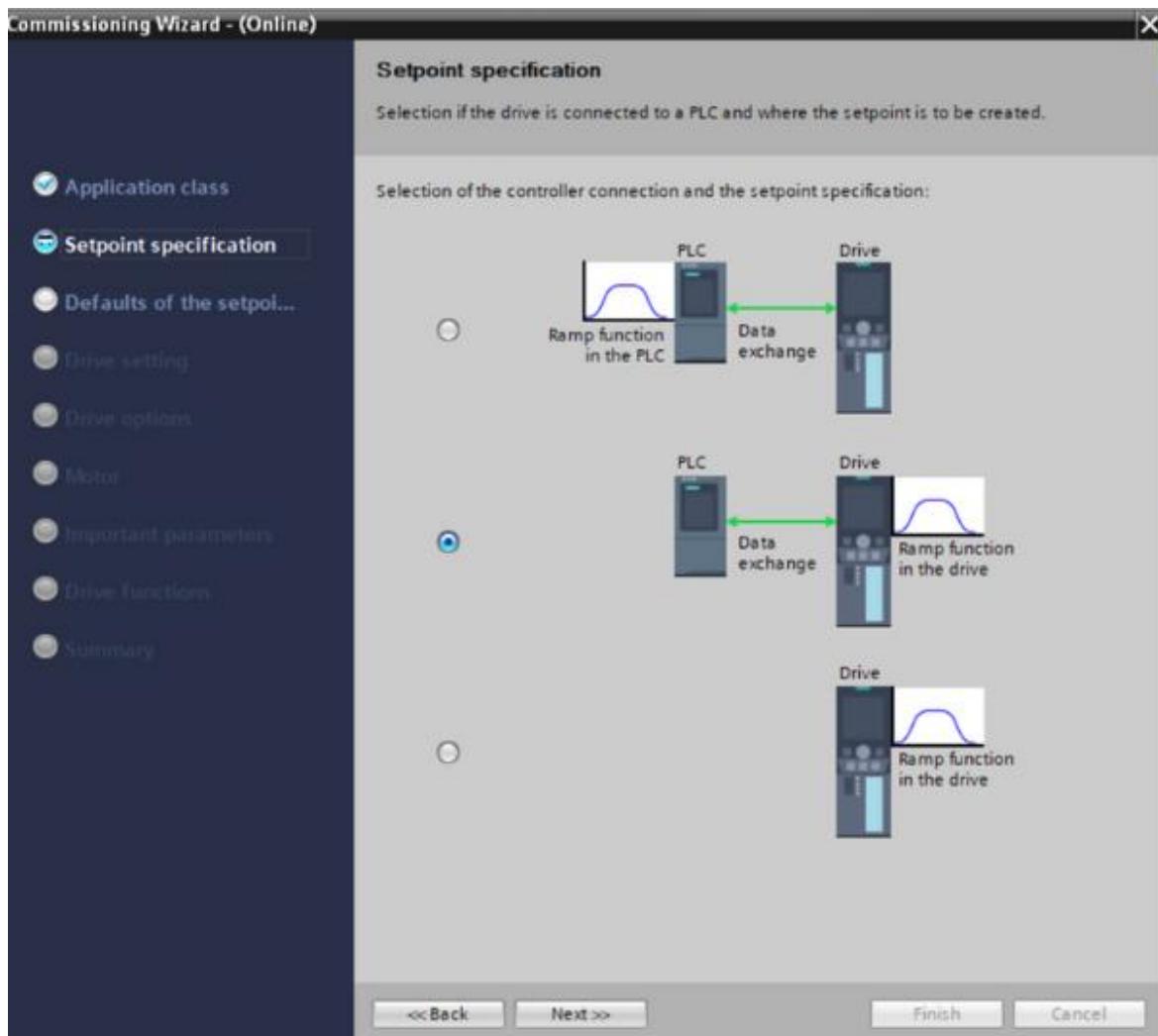


Figura 127. Especificación de setpoint (elaboración propia).

En la figura ciento veinte y ocho se observa la selección de telegrama.

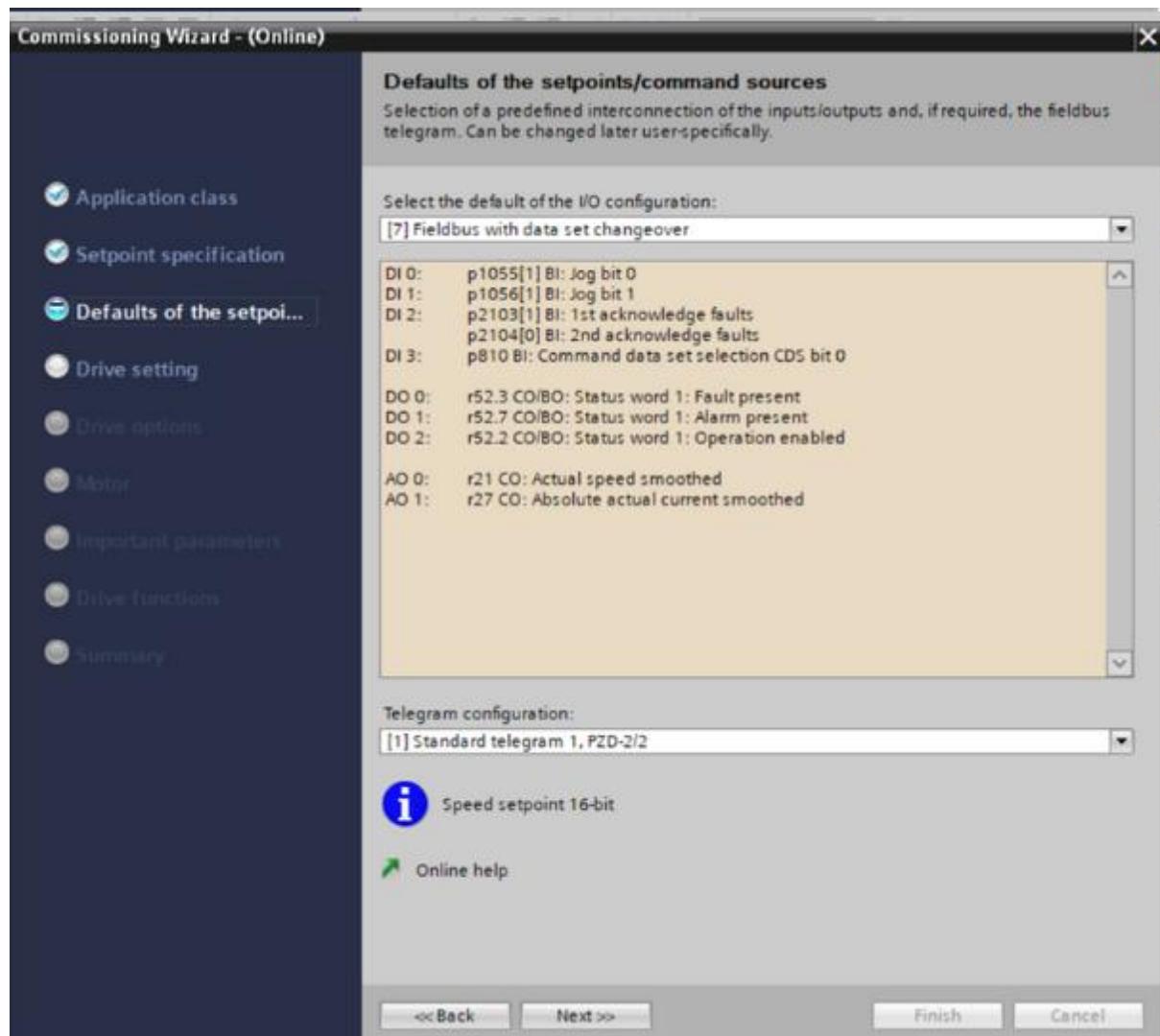


Figura 128. Selección de telegrama (elaboración propia).

En la figura ciento veinte y nueve se observa la elección de estándar y voltaje.

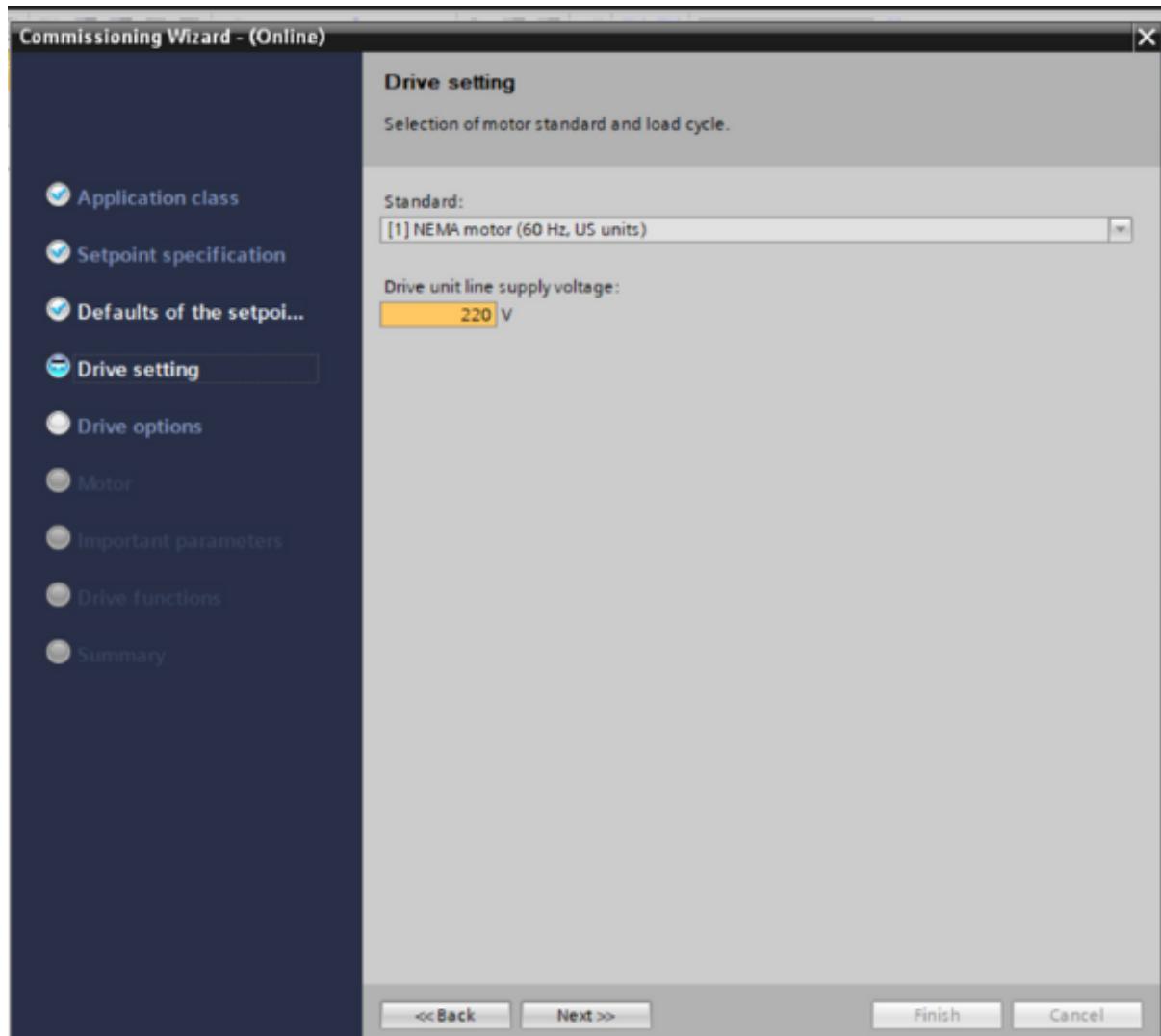


Figura 129. Elección de estándar y voltaje (elaboración propia).

En la figura ciento treinta se observa la elección del filtro.

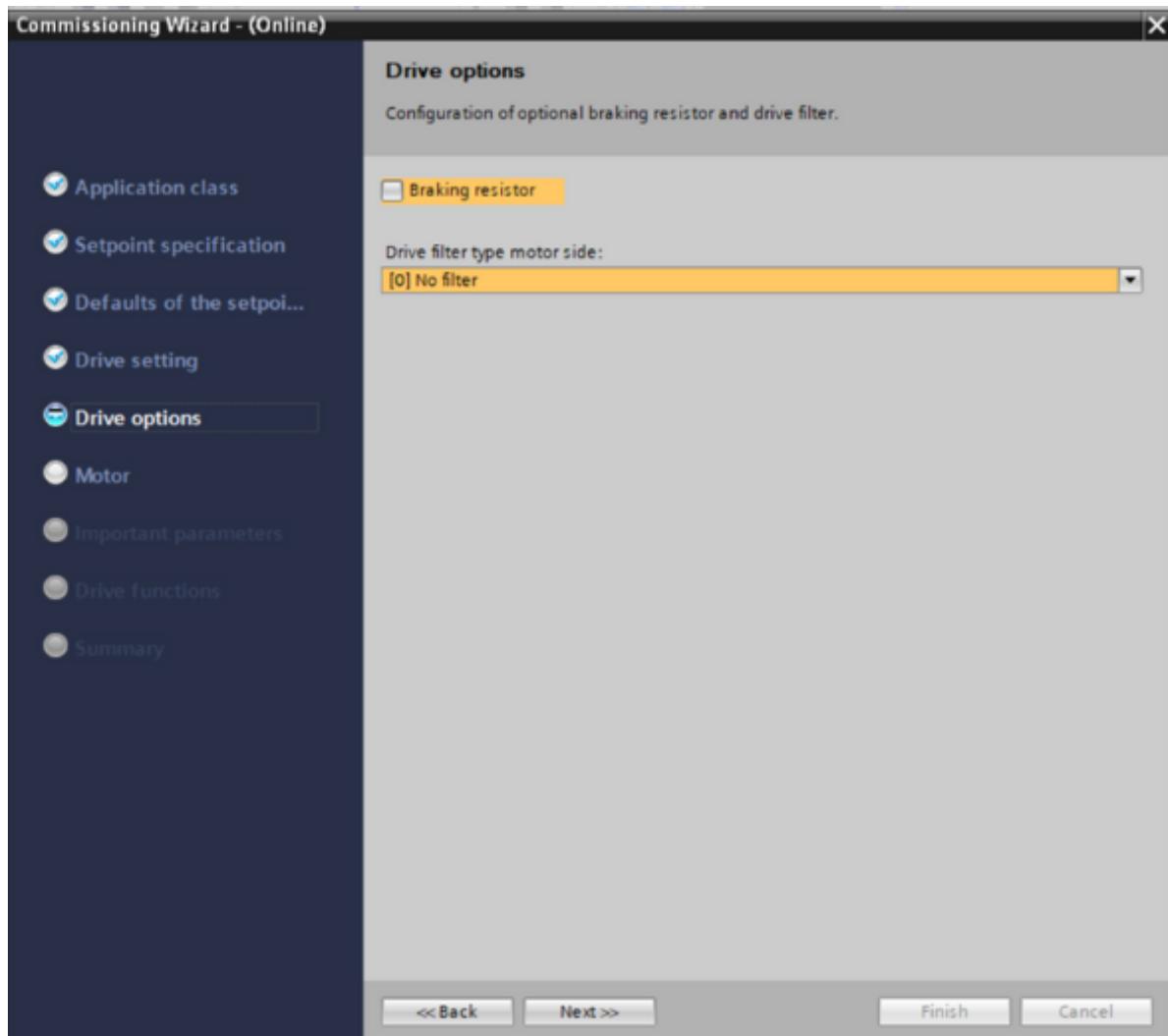


Figura 130. Elección de filtro (elaboración propia).

En la figura ciento treinta y uno se observan los parámetros del motor.

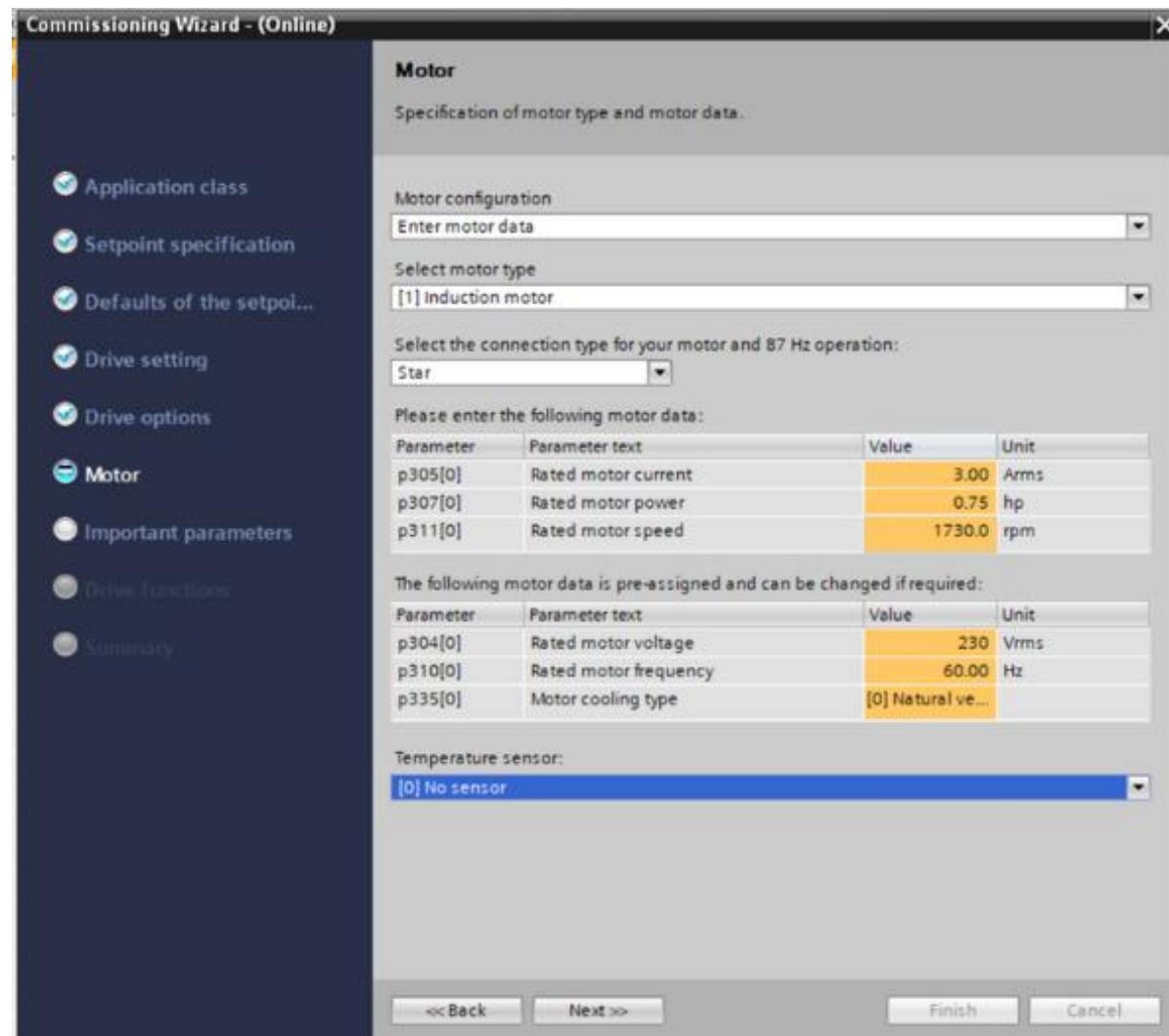


Figura 131. Parámetros de motor (elaboración propia).

En la figura ciento treinta y dos se ve la configuración de rampas.

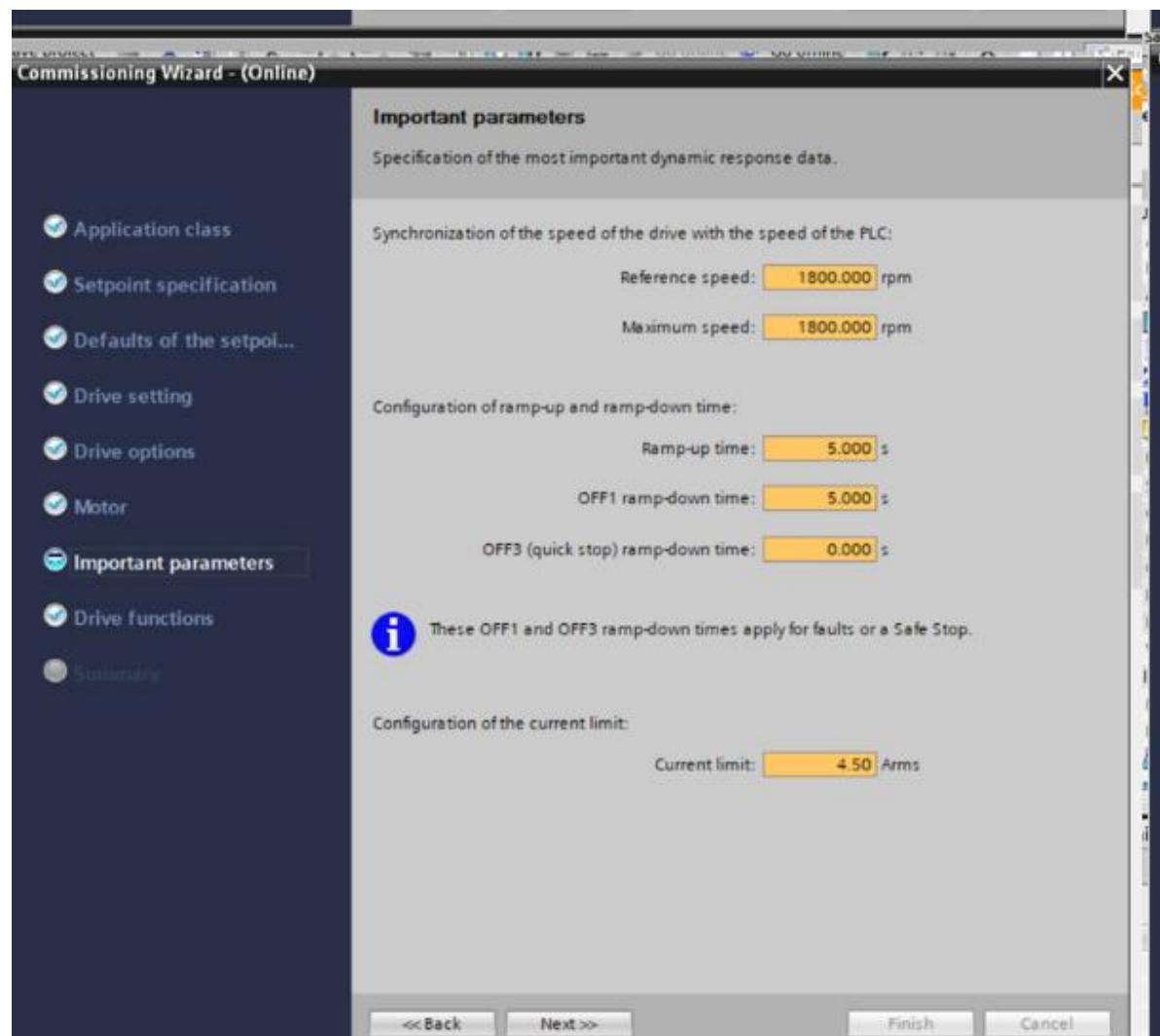


Figura 132. Configuración de rampas (elaboración propia).

En la figura ciento treinta y tres se observan las funciones del drive.

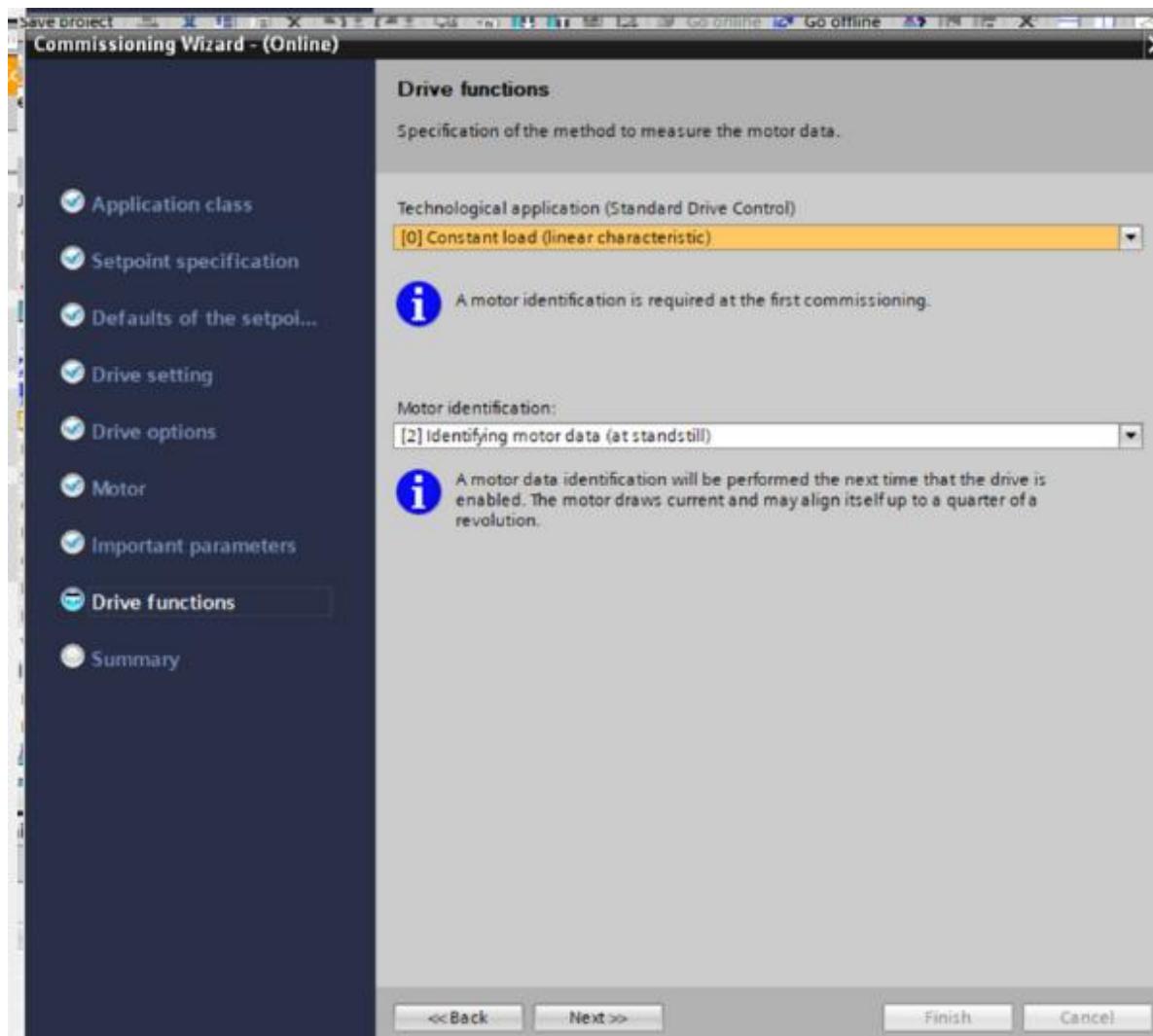


Figura 133. Funciones del drive (elaboración propia).

En la figura ciento treinta y cuatro se ve el resumen de puesta en servicio.

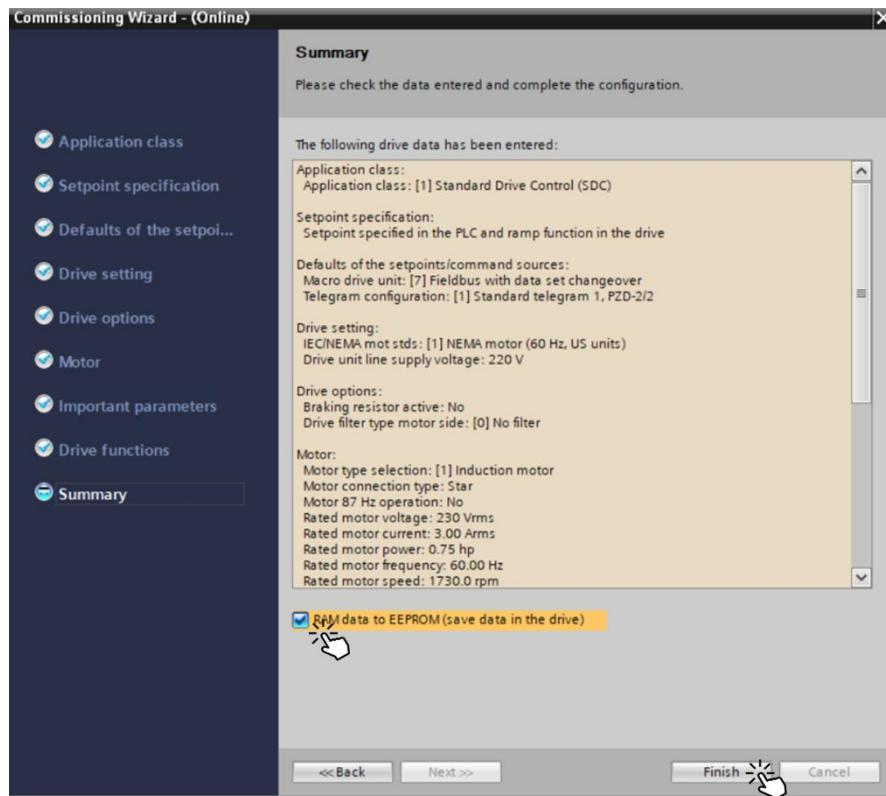


Figura 134. Resumen de puesta en servicio (elaboración propia).

8.- Después de finalizar la configuración de parámetros, diríjase a la opción de 'panel de control'. Compile y descargue en el variador de frecuencia, posteriormente active el 'control maestro'.

9.- Realice pruebas de habilitación, arranque, paro y ajuste de velocidad y compruebe que el funcionamiento y control sean los adecuados.

En la figura ciento treinta y cinco se observan las pruebas de habilitación, arranque, paro y ajuste de velocidad.

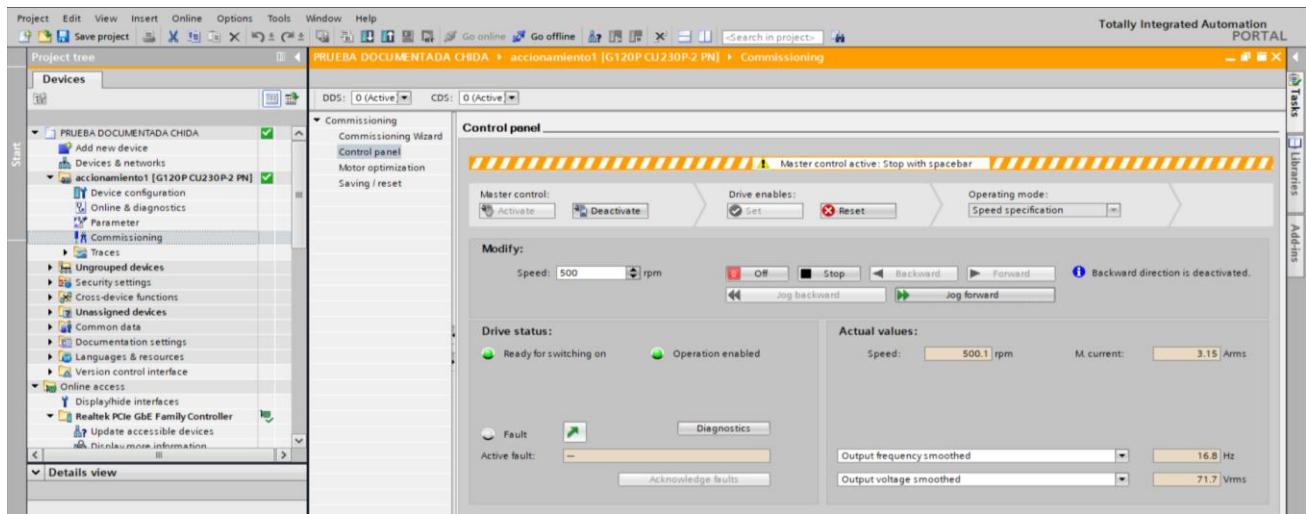


Figura 135. Pruebas de habilitación, arranque, paro y ajuste de velocidad (elaboración propia).

Pruebas y resultados

1.- Realice los siguientes ajustes en la velocidad desde el panel de control y verifique que los datos coincidan con la pantalla del variador de frecuencia.

Tabla 11. Pruebas y resultados (elaboración propia)	
Velocidad en panel de control	Velocidad en pantalla de variador de frecuencia
250 rpm	200.1
400 rpm	359
500 rpm	500.1

Responsables de los ajustes: Fernando Moises Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras.

En la figura ciento treinta y seis se ven los resultados del variador de frecuencia y en la figura ciento treinta y siete se observan los resultados del motor.



Figura 136. Resultados del variador de frecuencia (elaboración propia).



Figura 137. Resultados del motor (elaboración propia).

1.3.2 Práctica #4

Título. Arranque, paro y control de velocidad de un motor controlado por variador de frecuencia mediante un sistema de periferia descentralizada.

Panorama de la práctica.

Esta práctica se enfoca a la integración de los módulos y temas que se imparten en la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* utilizando el protocolo de comunicación *PROFINET* y el módulo de periferia descentralizada.

También, se utilizará el bloque ‘SINA_SPEED’ para el desarrollo de un programa y una HMI que controlen un motor trifásico con variador de frecuencia desde dos estaciones. Una estación será el tablero de control electromagnético, donde dos botones pulsadores arrancan y paran el motor. La segunda estación será el HMI que permitirá ajustar la velocidad del motor, así como su paro y arranque.

Objetivo.

- Identificar la importancia de la periferia descentralizada y el protocolo de comunicación *PROFINET* para la integración de equipos de automatización y conocimientos adquiridos en la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* en una sola tarea de automatización.

Recursos.

- Módulo de PLC *Siemens S7-1200*
- Tablero de control electromagnético
- Ordenador
- Fuente de poder de 24 VCD
- Módulo de periferia descentralizada EK9300 de la marca Beckhoff
- Switch de Ethernet
- Cables de prueba P1036 banana-banana 4mm
- Cables de Ethernet CAT5 con conectores RJ45 de cobre.
- 3 motor trifásicos de inducción abierto
- Módulo de variador de frecuencia

Fundamentos teóricos.

Bloque SINA SPEED.

El bloque de función “SINA_SPEED” se utiliza para controlar cíclicamente un accionamiento SINAMICS G120 con el telegrama estándar 1⁹⁸.

En la figura ciento treinta y ocho se observa el bloque Sina Speed.

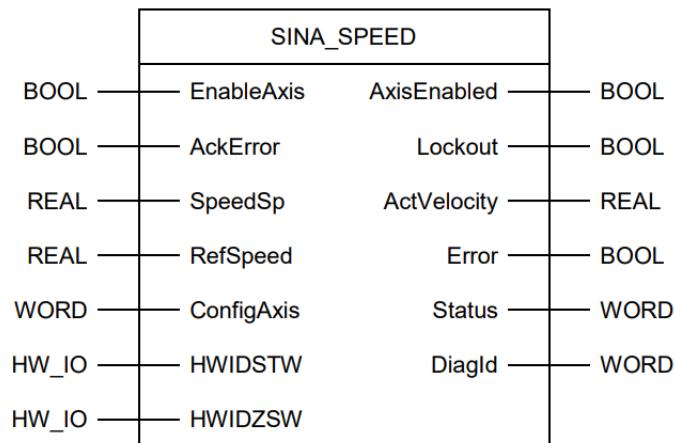


Figura 138. Bloque Sina Speed.

98 Siemens Industry Online Support, SINAMICS G: Control de velocidad de eje con el bloque “SINA_SPEED”, pág. 10-11.

Tabla 12. “SINA_SPEED” Parámetros de entrada (elaboración propia)			
Nombre	Tipo de dato	Valor inicial	Función
EnableAxis / Habilitar eje	Booleano	FALSE	Arranque y paro del accionamiento
AckError / Reconocimiento de errores	Booleano	FALSE	Reconocimiento de errores en el accionamiento (asignación de palabra de control del accionamiento 1 bit 7)
SpeedSp / Setpoint de velocidad	Real	0.0	Velocidad esperada
RefSpeed / Velocidad de referencia	Real	0.0	Velocidad de referencia del variador. (La entrada debe ser idéntica al parámetro p2000 del variador)
ConfigAxis / Configuración de eje	Word	16#003F	Asignación de la palabra de control del accionamiento (parámetro del accionamiento r2090).
HwidSTW	HW_IO	0	Valor de ajuste de ID de hardware (consulte la sección ranura de telegrama)
HwidZSW	HW_IO	0	Valor actual de ID de hardware (consulte la sección Ranura de telegrama)

Tabla 13. “SINA_SPEED” Parámetros de salida (elaboración propia)			
Nombre	Tipo de dato	Valor inicial	Función
AxisEnabled / Eje habilitado	Booleano	FALSE	Funcionamiento de la unidad habilitado
Lockout / Bloqueado	Booleano	FALSE	Bloqueo de la unidad está activa
ActVelocity / Velocidad Actual	Real	0.0	Velocidad actual real
Error	Booleano	FALSE	Falla de unidad activa
Status / Estado	Word	0	Valores de estado
DiagId	Word	0	Fallo de comunicación ampliado (error al llamar comando)

Seguridad en la actividad.

Tabla 14. Seguridad en la actividad (elaboración propia)		
Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control
Voltaje alterno  Corriente alterna (AC)	Electrocución	Identificar los puntos energizados antes de realizar la actividad y evitar contacto.
Voltaje Continuo  Corriente continua (CC)	Daño a equipo	Verificar polaridad y nivel antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo
Motor trifásico	Daño físico	Sostener de manera segura el motor al arranque y evitar contacto con el eje.
Materiales conductores energizados.	Electrocución, quemaduras.	Utilizar guantes aislantes.

Desarrollo

Etapa 1. Alimentación y comunicación del tablero de control electromagnético, el módulo de PLC S7-1200, el módulo de periferia descentralizada EK9300 y el variador de frecuencia.

1.- Alimente el módulo de PLC S7-1200, el módulo de periferia descentralizada EK9300, el tablero de control electromagnético y el módulo de variador de frecuencia.

2.- Comunique los dispositivos con el switch.

3.- Abra un proyecto nuevo en el software *TIA Portal* y agregue y comunique los equipos tomando de referencia las prácticas anteriores.

En la figura ciento treinta y nueve se observa la comunicación del PLC S7-1200, el acoplador de bus EK9300 y el variador de frecuencia SINAMICS G120 mediante el protocolo de comunicación *PROFINET*.

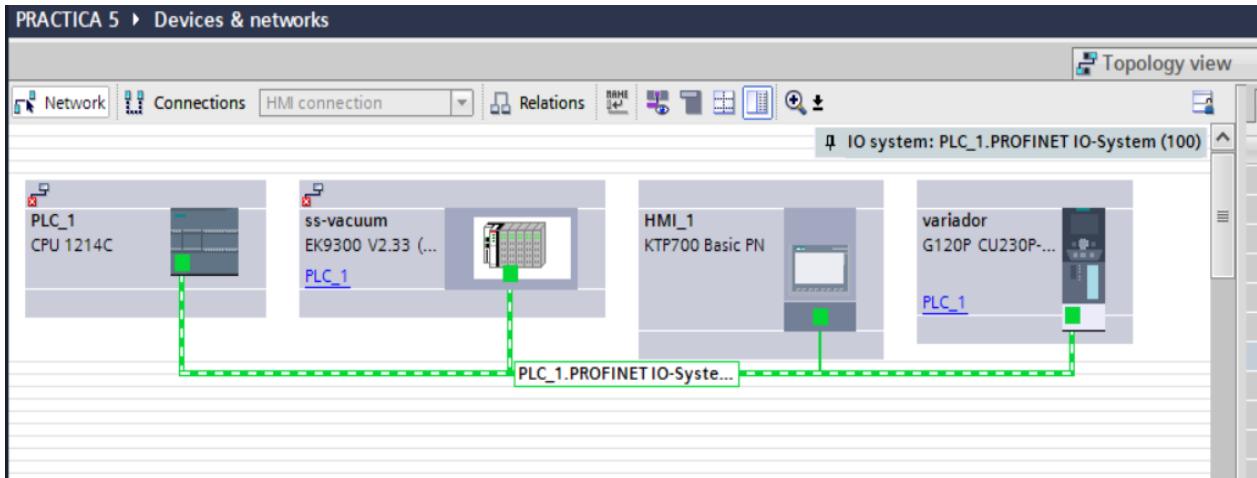


Figura 139. Comunicación del PLC S7-1200, el acoplador de bus EK9300 y el variador de frecuencia SINAMICS G120 mediante el protocolo de comunicación *PROFINET* (elaboración propia).

Etapa 2. Condiciones de operación.

- Dos botones pulsadores del tablero de control electromagnético arrancarán y pararán el motor.
- Una HMI permitirá ajustar la velocidad del motor al igual que accionar su paro y arranque.

Etapa 3. Definición y etiquetado de elementos.

1.- Identifique los elementos físicos y parámetros del bloque que requiere para realizar la programación. **NOTA.** Revise el tipo de dato de cada parámetro.

Tabla 15. ENTRADAS (ELABORACIÓN PROPIA)			
ELEMENTO DE TABLERO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE EL1008 EN TIA <i>Portal</i>	BORNE ELÉCTRICO DE MÓDULO
S1	Arranque	%I2.0	I.0
S2	Paro	%I2.1	I.1

Tabla 16. SINA_SPEED (ELABORACIÓN PROPIA)		
PARAMETRO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN EN <i>TIA Portal</i>
EnableAxis	Arranque/Paro	%M0.0
SpeedSP	Introducir velocidad	%MD2
AxisEnabled	Indicador de eje habilitado	%M0.2
ActVelocity	Velocidad actual	%MD6

2.- Identifique las marcas necesarias para los accionamientos del HMI.

Tabla 17. Identificación de marcas en HMI (elaboración propia)	
DIRECCIÓN EN <i>TIA Portal</i>	FUNCIÓN
%M0.5	Arranque
%M0.6	Paro

3.- Registre los datos en el apartado de ‘tags del PLC’ del software *TIA Portal*.

Etapa 4. Programación.

1.- Realice la programación correspondiente a lo que se pide.

En la figura ciento cuarenta se observa la programación en escalera.

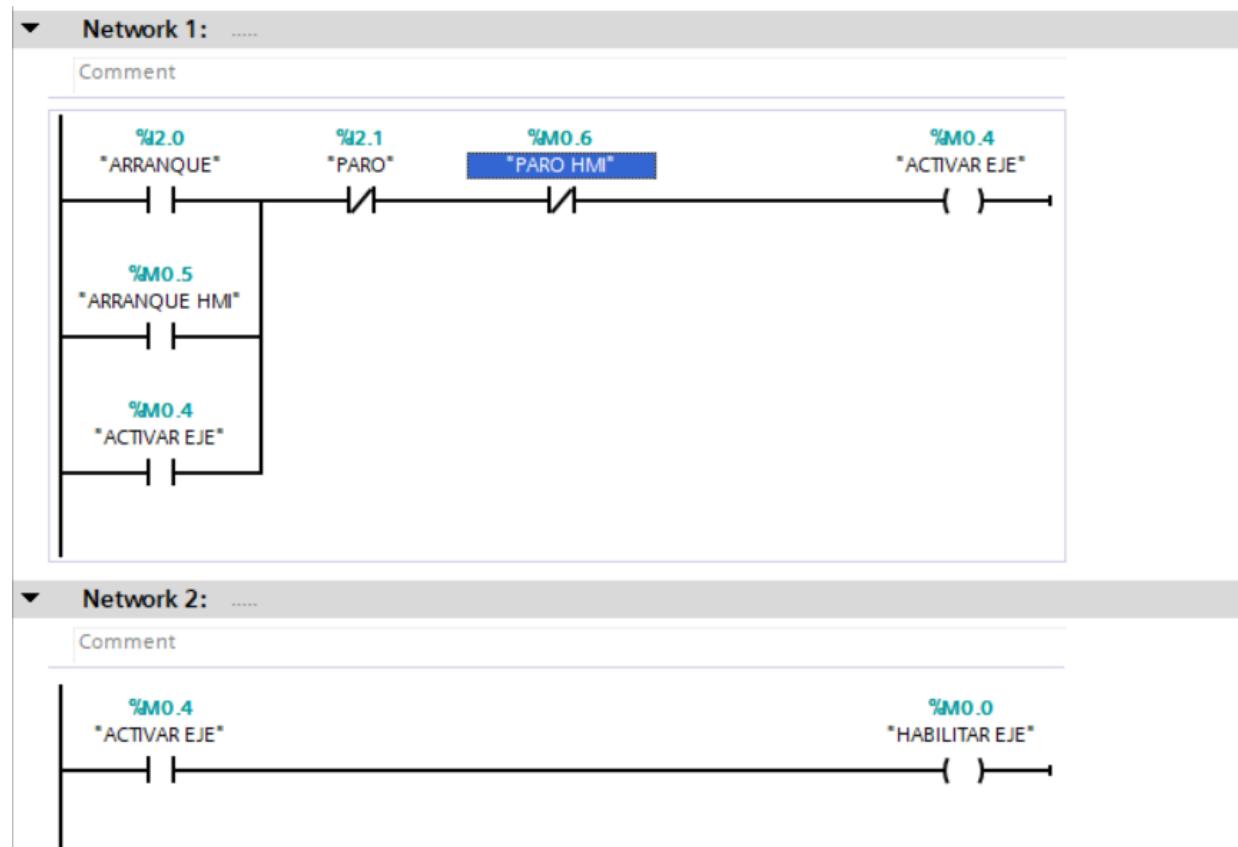


Figura 140. Programación en escalera (elaboración propia).

2.- Verifique en las propiedades del dispositivo del variador de frecuencia que la configuración del telegrama esté configurada para enviar y recibir al PLC. **NOTA**. En caso de no estarlo, configure para enviar y recibir como se muestra en la figura ciento cuarenta y uno.

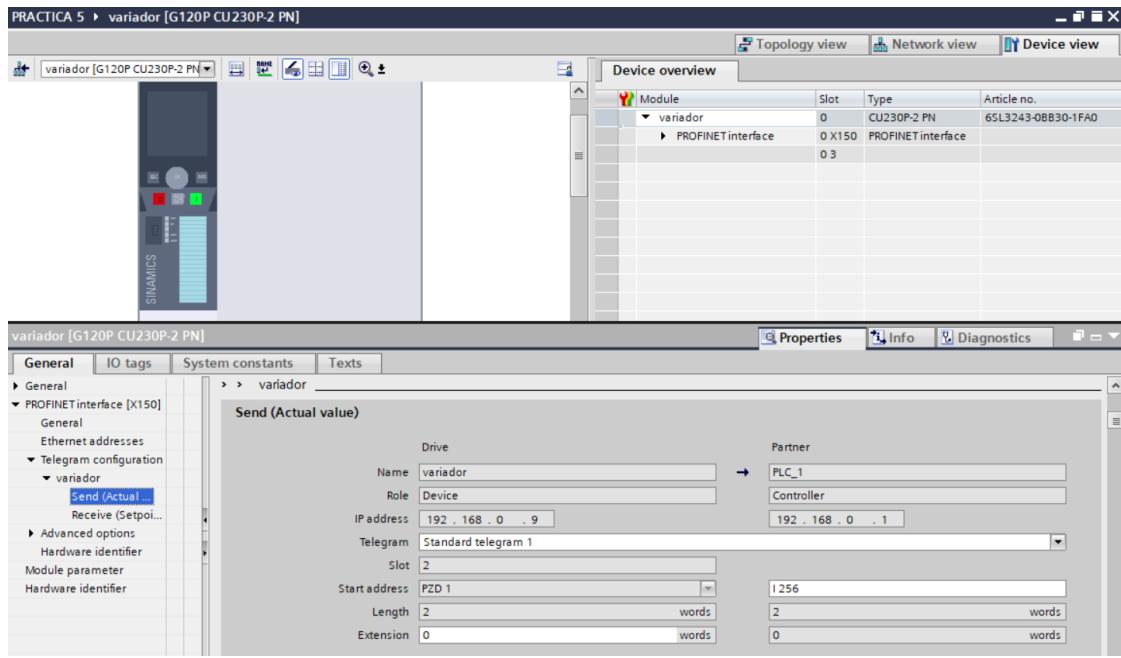


Figura 141. Verificación de las propiedades del variador de frecuencia (elaboración propia).

3.- Dentro del ‘Main’, despliegue la opción de ‘instrucciones’ a lado derecho de la interfaz. Busque en la carpeta de ‘paquetes opcionales’ la carpeta de ‘SINAMICS’. Seleccione el bloque ’SINA_SPEED’ y arrástrelo programa.

En la figura ciento cuarenta y dos se observa la ubicación del bloque Sina Speed

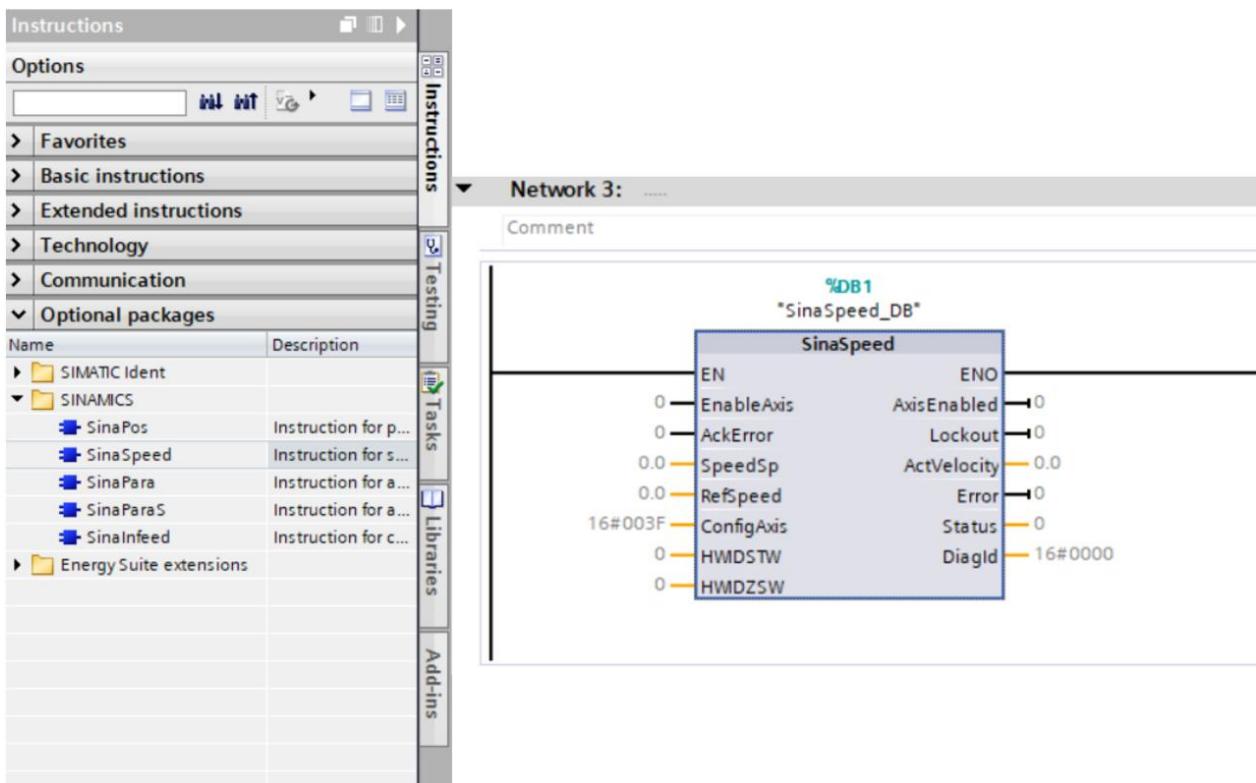


Figura 142. Ubicación del bloque Sina Speed (elaboración propia).

4.- Defina los tags de acuerdo con el análisis de la etapa 3 y el tipo de dato correspondiente al programa desarrollado.

5.- Seleccione el telegrama 1 en el parámetro HWDSTW y HWDZSW.

En la figura ciento cuarenta y tres se observa la configuración del bloque Sina Speed.

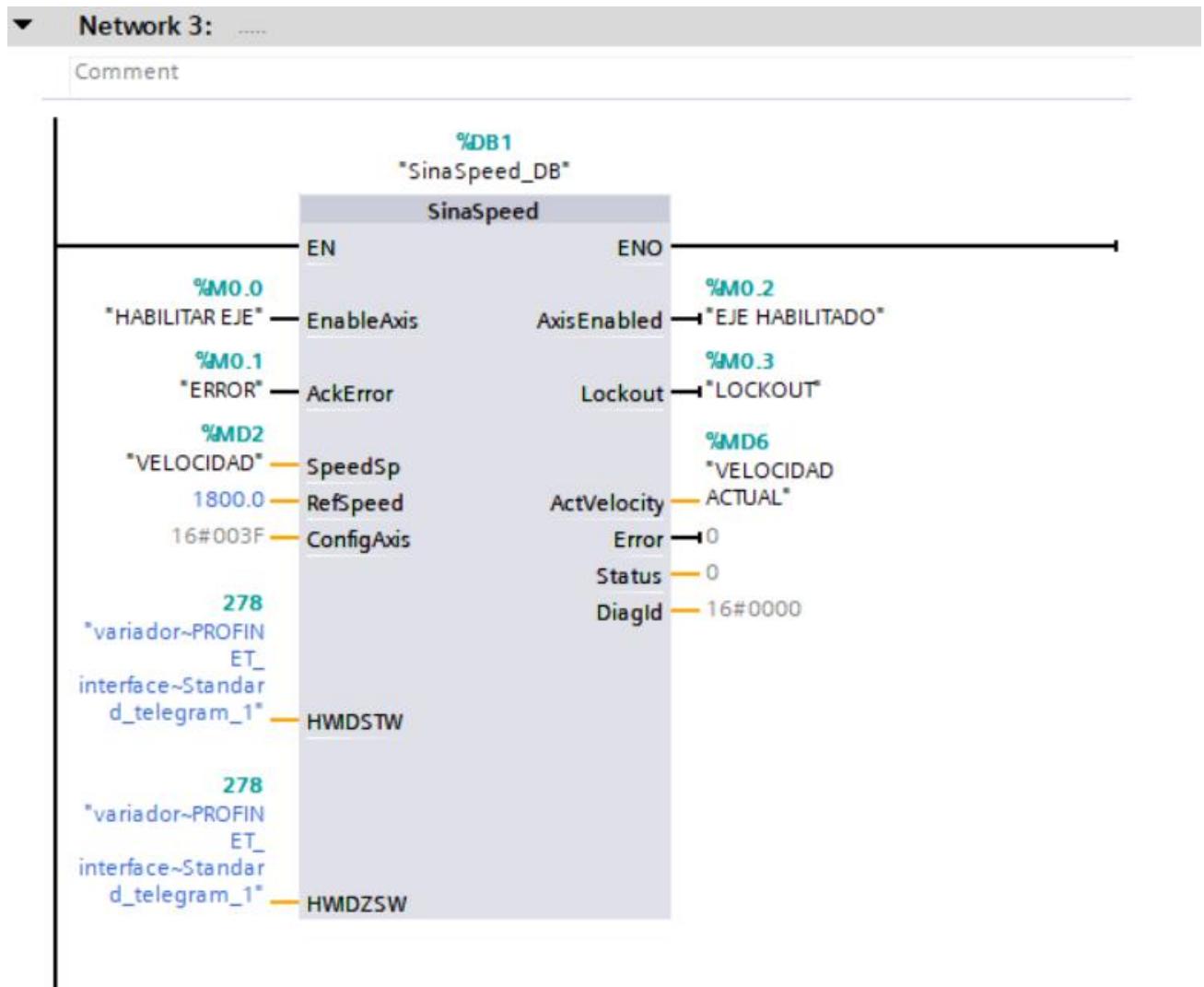


Figura 143. Configuración del bloque *Sina Speed* (elaboración propia).

Etapa 5. Esquema de control.

- 1.- Realice el esquema de control correspondiente.
- 2.- Valide con su profesor.

En la figura ciento cuarenta y cuatro se observa un esquema de alimentación de tarjeta de entradas digitales.

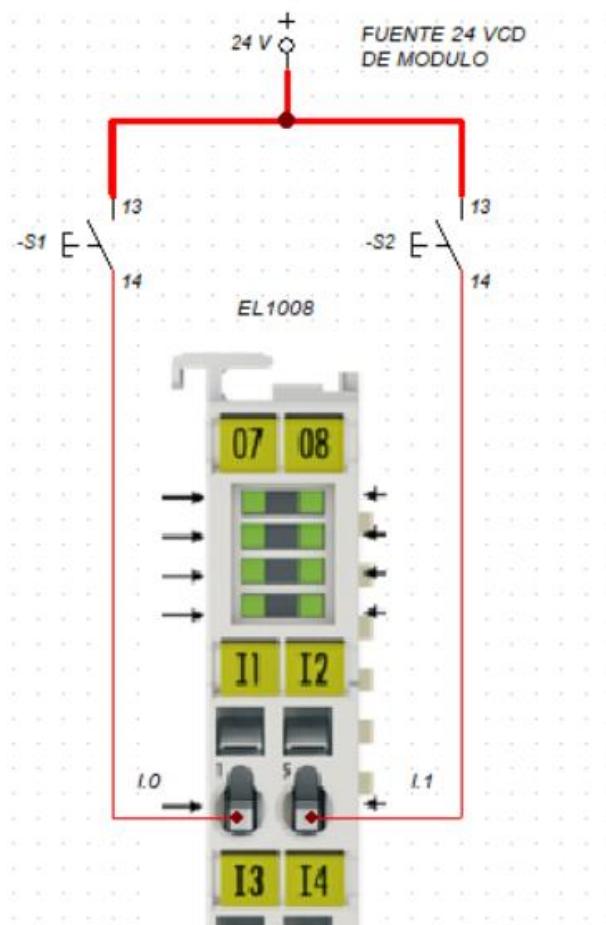


Figura 144. Esquema de alimentación de tarjeta de entradas digitales (elaboración propia).

Etapa 6. Esquema de fuerza.

- 1.- Realice el esquema de fuerza correspondiente.
- 2.- Valide con su profesor.

En la figura ciento cincuenta y cinco se ve un esquema de conexión del variador de frecuencia SINAMICS G120.

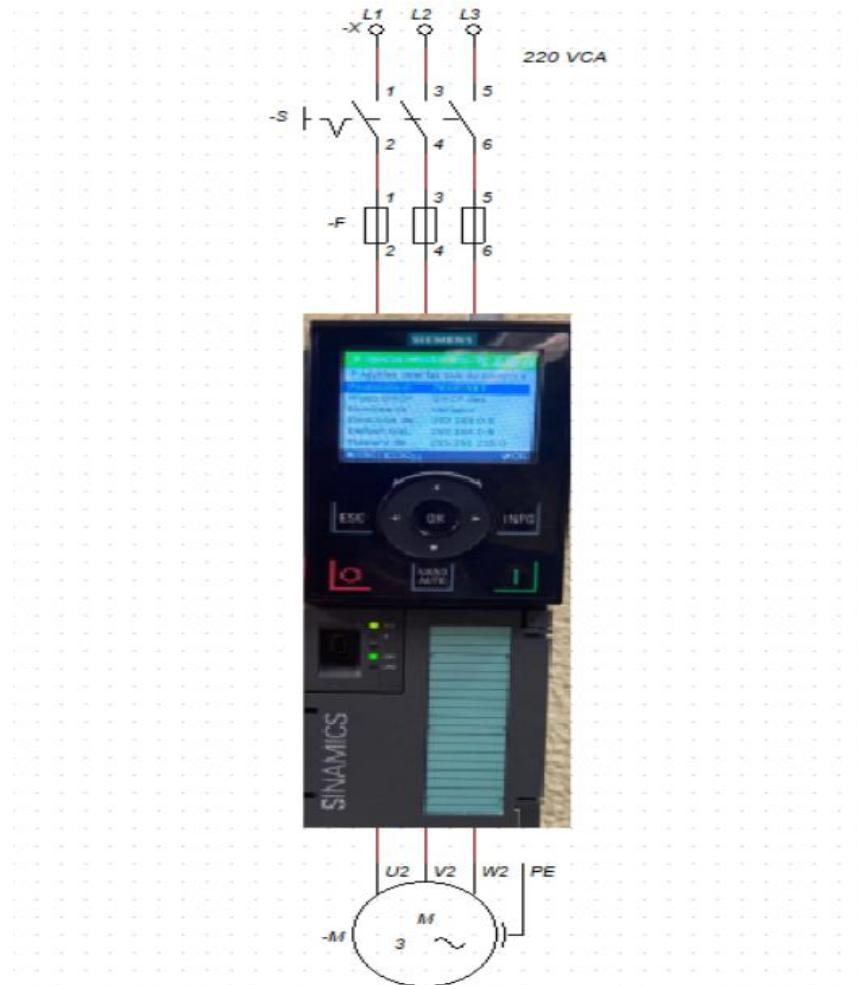


Figura 145. Esquema de conexión del variador de frecuencia SINAMICS G120 (elaboración propia).

Etapa 7. Compilar y descargar.

1.- Compile y descargue en el PLC S7-1200 y en el EK9300.

Etapa 8. Diseño y simulación de HMI.

1.- Realice el HMI correspondiente con un botón de encendido y otro de apagado, un indicador de activación del motor y dos campos de entradas y salidas.

2.- El primer campo será para ingresar la velocidad deseada, por lo tanto, el tag asociado deberá ser el de la asignación de velocidad. El segundo será para visualizar la velocidad actual del motor. Configure de la siguiente manera según su etiquetado: En la figura ciento cuarenta y seis, y ciento cuarenta y siete se ve la configuración del display del setpoint en el HMI.

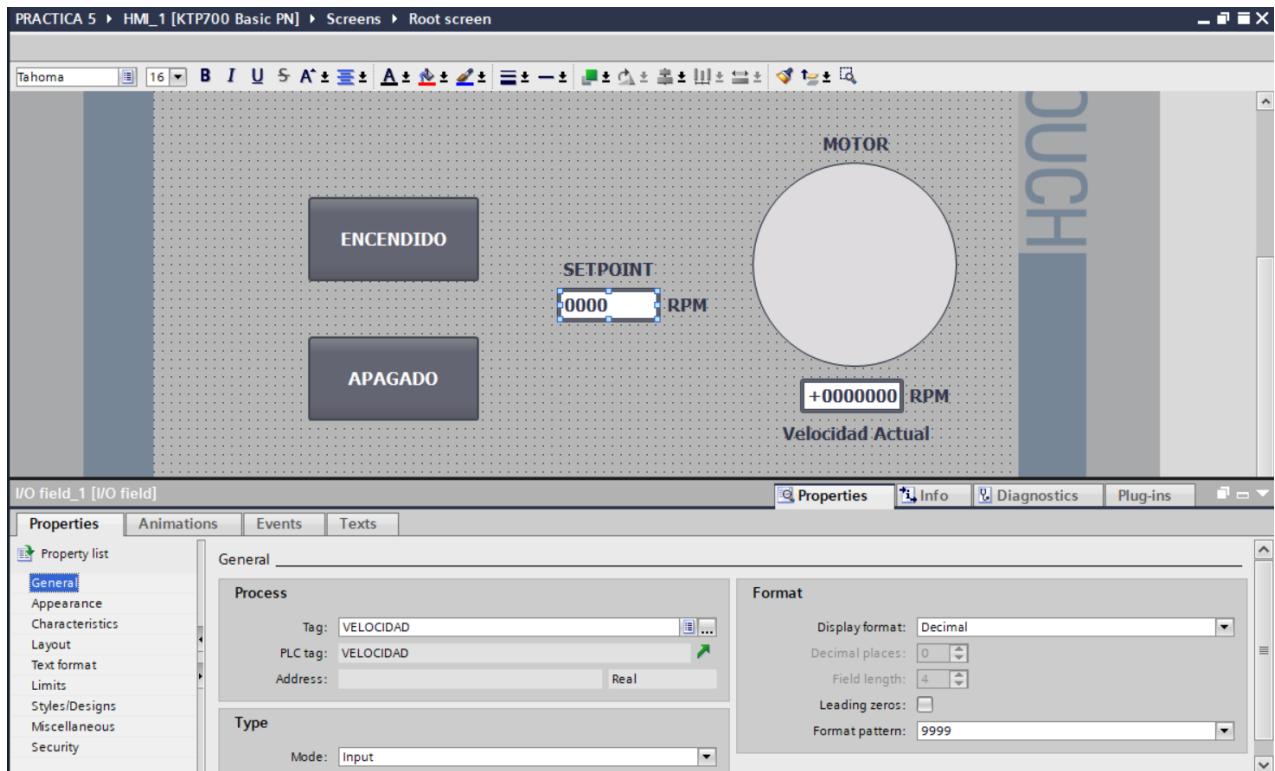


Figura 146. Configuración del display del setpoint en el HMI (elaboración propia).

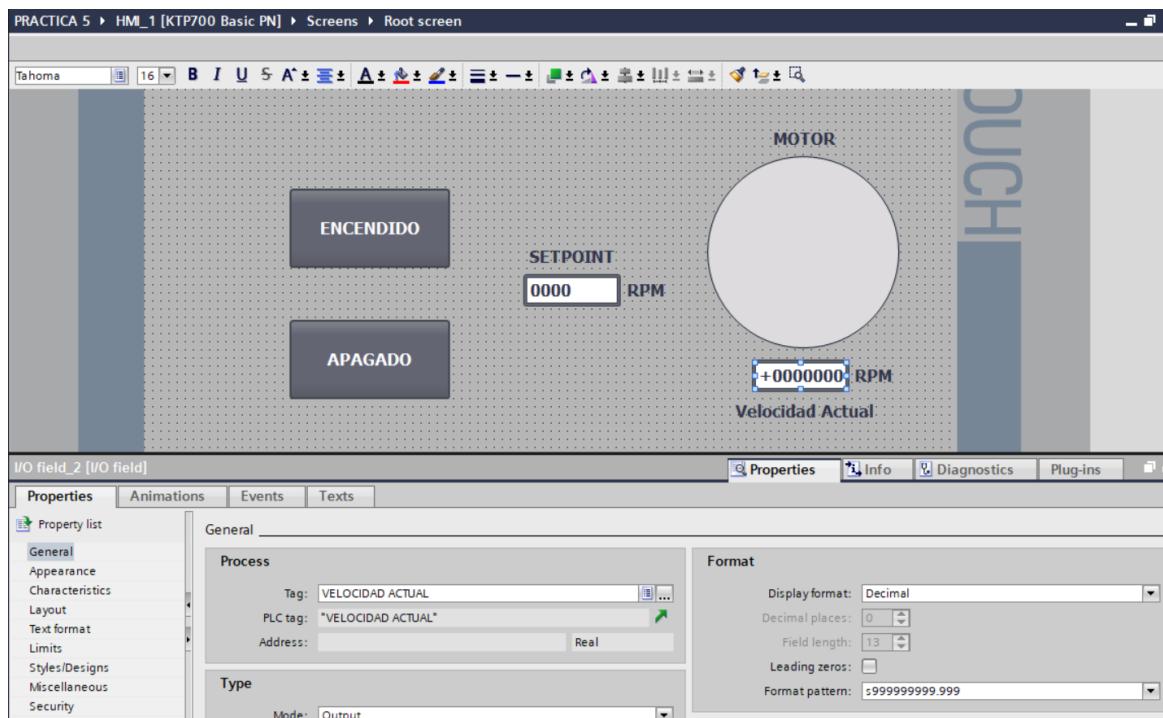


Figura 147. Configuración del display de la velocidad actual del motor en el HMI (elaboración propia).

En la figura ciento cuarenta y ocho se ven los resultados del HMI.

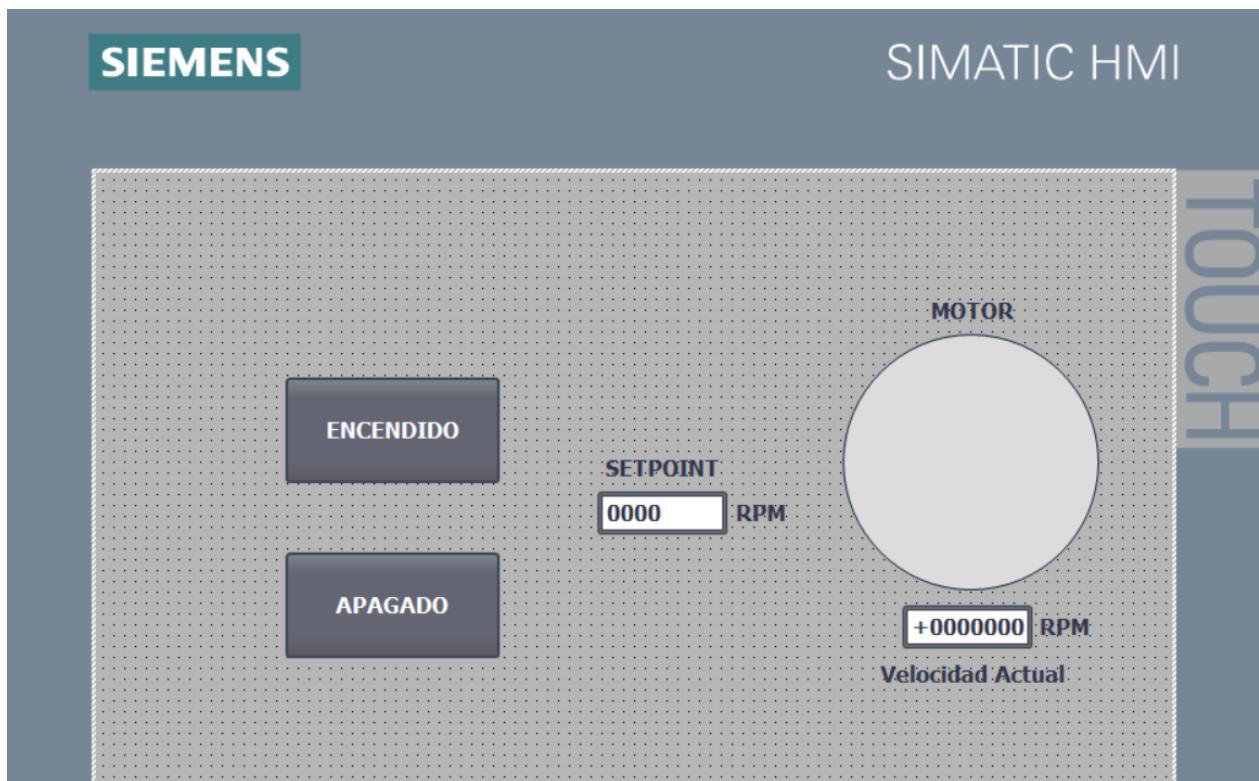


Figura 148. Resultado del HMI (elaboración propia).

Pruebas y resultados.

1.- Realice los siguientes ajustes en la velocidad desde la HMI y verifique que los datos coincidan con la pantalla del variador de frecuencia y la velocidad del motor.

Velocidad en panel de control	Velocidad en pantalla de variador de frecuencia
500 rpm	499.988
600 rpm	649.951
750 rpm	749.725

Pruebas realizadas por: Fernando Moisés Blanco Alvarez y José Mauricio Hernández Contreras

El capítulo 4 se enfoca en el desarrollo y estructura de las prácticas propuestas, diseñadas para complementar el aprendizaje en automatización industrial dentro de la asignatura *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*. Estas prácticas integran temas como control electromagnético, uso de variadores de frecuencia y comunicación *PROFINET*, utilizando el módulo didáctico de periferia descentralizada EK9300. Cada práctica está diseñada para fomentar habilidades prácticas en configuración y programación de sistemas automatizados, alineándose con los requerimientos de la industria moderna. El capítulo concluye que las prácticas no solo refuerzan conceptos teóricos, sino que también proporcionan experiencia aplicada, mejorando significativamente la preparación de los estudiantes.

Capítulo 5. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras haber construido el módulo didáctico de periferia descentralizada y haber desarrollado las prácticas propuestas. Cada práctica fue puesta en marcha y se probó que el funcionamiento de lo que se buscaba fuera el adecuado. Para la práctica #0 se logró comunicar el módulo de periferia descentralizada EK9300 con el módulo de PLC S7-1200 mediante el protocolo de comunicación *PROFINET*. También se pudieron realizar pruebas de funcionamiento de las tarjetas de entradas y salidas digitales *EL1008* y *EL2008* con los accionamientos del tablero de control electromagnético.

En la figura ciento cuarenta y nueve se puede observar la conexión de módulo de periferia descentralizada, módulo de PLC y tablero de control electromagnético.



Figura 149. Conexión de módulo de periferia descentralizada, módulo de PLC y tablero de control electromagnético (elaboración propia).

Para la práctica #1 y #2 se pudieron integrar los motores para realizar el control de estos desde las entradas y salidas del módulo de periferia descentralizada.

En la figura ciento cincuenta se observa la conexión de módulo de periferia descentralizada con el tablero de control electromagnético.



Figura 150. Conexión de módulo de periferia descentralizada con el tablero de control electromagnético (elaboración propia).

En las últimas dos prácticas se logró integrar el variador de frecuencia a la comunicación *PROFINET* de los módulos utilizados previamente. Estás prácticas lograron integrar y comunicar todos los módulos presentados, además de implementar los conocimientos previos y complementarios de control electromagnético, controlador

lógico programable, variador de frecuencia, *PROFINET* y módulo de periferia descentralizada.

En la figura ciento cincuenta y uno se ve la conexión física de módulo de periferia descentralizada, módulo de PLC, tablero de control electromagnético, módulo de variador de frecuencia y motor trifásico.

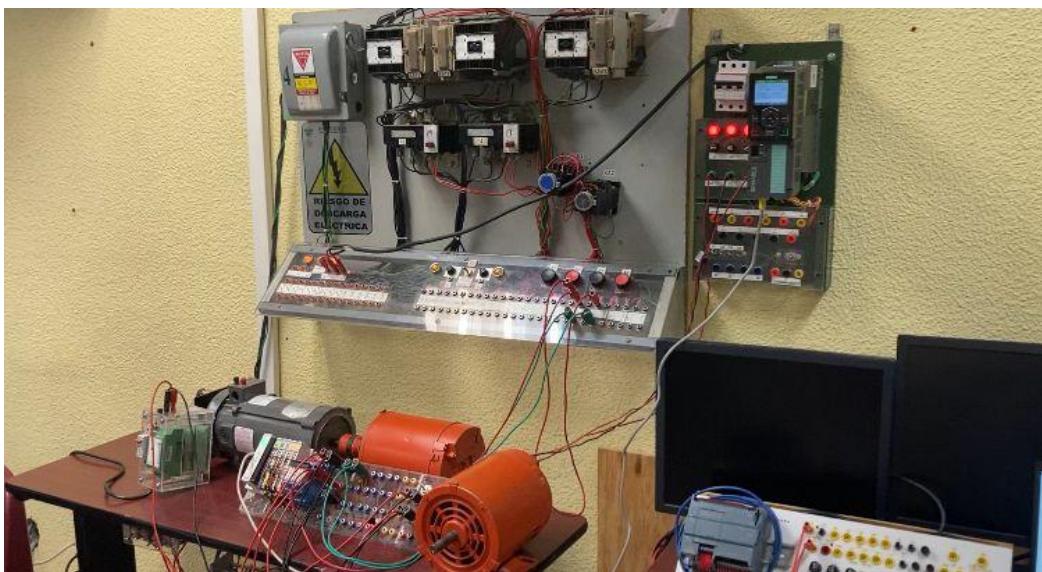


Figura 151. Conexión física de módulo de periferia descentralizada, módulo de PLC, tablero de control electromagnético, módulo de variador de frecuencia y motor trifásico (elaboración propia).

Como resultado final se tiene el desarrollo de un manual de prácticas complementarias del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* agregado al presente trabajo en el apartado de anexos. La construcción del módulo fue efectiva ya que permitió ejecutar las prácticas propuestas.

Capítulo 6. Costos

En este capítulo, se presenta desarrollo de los costos que involucra el ensamblaje de un módulo de periferia descentralizada dentro de alguna empresa que cuente con procesos automatizados, por tal motivo, se presentan los posibles costos que podría tener cada una de las actividades necesarias para el desarrollo de un módulo. Para obtener una estimación de los costos que tendría la realización de cada actividad, se buscaron salarios de diferentes puestos que puedan llevar a cabo cada una de las

actividades necesarias para el desarrollo de un módulo didáctico de periferia descentralizada.

De igual modo se desarrolló una lista de materiales donde se mencionan la cantidad de piezas que se requiere de cada material y el costo de dicho material.

Mediante el proceso de ensamblaje del módulo de periferia descentralizada para el desarrollo de las prácticas complementarias propuestas en el presente trabajo se estimó cuantas horas hombre son necesarias para la construcción de un módulo de periferia descentralizada, esta estimación se dividió por actividad.

6.1 Listado de materiales

Debido a que en el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* había material disponible para el desarrollo del módulo didáctico de periferia descentralizada no se hizo ningún gasto, sin embargo, se realizó la búsqueda del precio de cada uno de los materiales necesarios para el ensamblaje de un módulo de periferia descentralizada, incluyendo el módulo de fuente de alimentación para energizar al módulo de periferia descentralizada, los precios que se muestran en la siguiente tabla esta información se encuentra en la siguiente tabla:

**Tabla 18. Listado de materiales para el desarrollo de un módulo de periferia descentralizada
(elaboración propia).**

Descripción	Unidad	Precio unitario (1)	Cantidad	Precio unitario final (\$)	Subtotal (\$)
Acoplador de bus EK93000	Pieza	\$6,200.00	1	\$6,200.00	\$15,150.50
Tarjeta de entradas digitales EL1008	Pieza	\$1,390.00	1	\$1,390.00	
Tarjeta de salidas digitales EL2008	Pieza	\$1,600.00	1	\$1,600.00	
Tarjeta de salidas analógicas EL3094	Pieza	\$1,527.00	2	\$3,054.00	
Relevador auxiliar FINDER	Pieza	\$310.00	6	\$1,860.00	
Fusible de 10A 250VCA	Pieza	\$4.00	7	\$28.00	
Porta fusible de rosca	Pieza	\$9.00	7	\$63.00	
Bornes de conexión	Pieza	\$3.50	47	\$164.50	
Interruptor de dos tiros	Pieza	\$40.00	1	\$40.00	
Foco indicador 24VCD	Pieza	\$22.00	1	\$22.00	
Potenciómetro	Pieza	\$9.00	1	\$9.00	
Cable bornes de conexión	Metro	\$15.00	7	\$105.00	
Cable relevadores	Metro	\$5.00	5	\$25.00	
Cable fusibles	Metro	\$5.00	2	\$10.00	
Acrílico transparente de 3mm	Lamina	\$250	1	\$250	
Acrílico transparente de 5mm	Lamina	\$330	1	\$330	

En esta tabla se puede observar cuales los materiales que se necesitan para la elaboración y ensamblaje de un módulo de periferia descentralizada y de fuente de alimentación.

6.2 Horas hombre para el ensamblaje del módulo de periferia descentralizada

Para poder llevar a cabo el ensamblaje del módulo de periferia descentralizada fue necesario llevar a cabo diversas actividades las cuales demandaron tiempo, a continuación, se presenta una tabla donde se pueden ver reflejadas las horas que se ocuparon para el ensamblaje del módulo de periferia descentralizada del presente trabajo.

Tabla 19. Tiempo en horas hombre para el ensamblaje de nuestro módulo de periferia descentralizada (elaboración propia)

Actividad	Tiempo de desarrollo en horas	Total de horas
Corte de acrílico	24	92
Cableado del módulo de periferia descentralizada	6	
Ensamblaje del módulo de periferia descentralizada	12	
Cableado del módulo de fuente de poder	2	
Ensamblaje del módulo de fuente de poder	8	
Desarrollo de prácticas	25	
Prueba de prácticas	15	

6.3 Costo del desarrollo de las actividades necesarias para el ensamblaje de un módulo de periferia descentralizada dentro de una empresa.

Con fines de tener una noción más clara de cuánto dinero se necesita para llevar a cabo cada una de las actividades que involucran el ensamblado de un módulo de periferia descentralizada dentro de una empresa, se realizó una búsqueda de que puestos podrían llevar a cabo cada una de las actividades y de igual modo, se buscó cuento se paga por cada uno de los puestos necesarios, esta información se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 20. Costos de las actividades necesarias para el desarrollo de un módulo de periferia descentralizada (elaboración propia)

Actividad	Puesto	Costo (\$)
Corte laser del acrílico.	Técnico en corte laser	\$16,000 - \$20,000 al mes o \$49.23 por hora
Ensamblaje de módulo.	Obrero	\$4,634 - \$6,056 al mes o \$28.52 por hora
Cableado de cada módulo.	Técnico electricista	\$8,000 - 10,000 al mes o \$49.23 por hora
Implementación del módulo de periferia descentralizada.	Programador de PLC	\$12,000 - \$25,000 al mes o \$73.85 por hora

Para determinar cuánto se cobra por cada uno de los puestos seleccionados para el ensamblaje del módulo de periferia descentralizada, se realizó una búsqueda en la plataforma global de origen canadiense de búsqueda de empleo y reclutamiento *Talent.com* y de la página del *Gobierno de México* en la sección de economía, dichas páginas brindaron la información necesaria para estimar los costos que tendría el desarrollo de cada una de las actividades mencionadas en la tabla.

Tabla 21.Costos de las actividades necesarias para el desarrollo de un módulo de periferia descentralizada (elaboración propia)

Actividad	Puesto	Horas	Costo por hora (\$)	Costo por mes (\$)	Costo total (\$)	Subtotal (\$)
Corte de acrílico.	Técnico en corte laser	24	\$49.23	\$16,000	\$17,181	
Ensamblaje de cada módulo.	Obrero	20	\$28.52	\$4,634	\$5,204.4	
Cableado de cada módulo.	Técnico electricista	8	\$49.23	\$8,000	\$8,393.84	\$45,733.24
Implementación del módulo de periferia descentralizada.	Programador de PLC	40	\$73.85	\$12,000	\$14,954	

En este sexto capítulo se mostró una búsqueda de los costos que se requieren para el desarrollo y ensamblaje de un módulo de periferia descentralizada, un análisis de las horas necesarias para llevar a cabo cada una de las actividades para el desarrollo del módulo y una búsqueda de los posibles puestos que pudiesen desarrollar las actividades mencionadas, dicha búsqueda sirvió para tener una noción del recurso que se requiere para llevar a cabo cada una de las actividades necesarias y para la adquisición del material necesario para el desarrollo de dicho módulo, el cual en pesos mexicanos (MXN) tiene un costo de \$45,733.24 para la realización del módulo de periferia descentralizada y \$15,150.50 para la adquisición de los materiales del módulo de periferia descentralizada, dicha búsqueda permite tener una noción de cuánto dinero se requiere para hacer un módulo de periferia descentralizada como el que se realizó en el presente trabajo, con el análisis de las horas necesarias para llevar a cabo las actividades para la elaboración del módulo de periferia descentralizada se puede estimar los costos que se tendrían que contemplar para hacer el desarrollo de cada una de las actividades mencionadas mediante las horas totales que se requieren para la elaboración de cada actividad, el cual es un total de 92 horas las cuales se reparten a lo largo de un mes.

Si el módulo quisiera ser adquirido para cubrir intereses educativos de alguna empresa o institución, se agregaría un porcentaje de ganancia del 30% al costo de elaboración del módulo. Por lo que se tendría lo siguiente:

$$\text{Costo de elaboración} = \$45,733.24 + \$15,150.5 = \$60,883.74$$

$$\text{Costo total de venta} = \$60,883.74 + (\$60,833.74 * 0.3) = \$79,133.862$$

Conclusiones.

Se llevó a cabo la construcción de un módulo didáctico de periferia descentralizada con el material que estaba disponible dentro del laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* de la ESIME Zacatenco, por lo cual se logró cumplir con el primer objetivo específico.

Se configuró y se realizó la programación para comunicar el acoplador de bus *PROFINET IO* de *Beckhoff* con el controlador lógico programable mediante el software *TIA Portal* cumpliendo el segundo objetivo específico.

Se elaboraron los diagramas y esquemas eléctricos de control y fuerza del módulo didáctico de periferia descentralizada y del tablero de control electromagnético utilizando el software *CADe SIMU*, *mismo* que permitieron la adecuada manipulación de operación de motores eléctricos mediante el protocolo *PROFINET*, por lo que se logró cumplir con el tercer objetivo específico.

Los módulos de controlador lógico programable, variador de frecuencia y el tablero de control electromagnético disponibles en el laboratorio, fueron integrados y comunicados mediante el módulo de periferia descentralizada y el protocolo de comunicación *PROFINET* satisfactoriamente, logrando cumplir el cuarto objetivo específico.

Además, se elaboraron interfaces humano-máquina simuladas que permitieron el monitoreo y manipulación del módulo didáctico de periferia descentralizada *EK9300* y de los motores eléctricos mediante el protocolo de comunicación *PROFINET* y el software *TIA Portal*, cumpliendo con el quinto objetivo específico.

Por lo anterior, se cumplió con la elaboración de un módulo didáctico de periferia descentralizada funcional que permitió realizar prácticas complementarias de control electromagnético, controlador lógico programable y variadores de frecuencia para la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* del programa de *ICA* de la *ESIME ZACATENCO*.

Recomendaciones y trabajos futuros

En este apartado, se presentan las áreas de oportunidad para la mejora de la construcción del módulo de periferia descentralizada para realizar prácticas complementarias. Mejoras que podrían enriquecer el uso del módulo didáctico y la ejecución de las prácticas como las siguientes:

1. Desarrollar prácticas con el módulo de periferia descentralizada integrando el módulo de accionamientos neumáticos y las HMI físicas disponibles en el laboratorio de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* de la *ESIME ZACATENCO*.

2. Desarrollar módulos de periferia descentralizada de otros fabricantes y comunicar dispositivos con distintos protocolos de comunicación.
3. Introducir la periferia descentralizada como un tema que sea parte de la impartición de la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*.

Glosario.

PLC. Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller)

TIA Portal. Portal de Automatización Totalmente Integrado (Totally Integrated Automation Portal)

HMI. Interfaz Humano-Máquina (Human Machine Interface)

IEC. Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission)

NOM. Normas Oficiales Mexicanas.

TON. Temporizador de retardo a la conexión (Timer On Delay)

Profinet. Red de campo de proceso (Process Field Network)

Profibus. Bus de campo de proceso (Process Field Bus)

TCP/IP. Protocolo de Control de Transmisión / Protocolo de Internet.

IEEE. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

WAN. Red de área amplia (Wide Area Network)

LAN. Red de área local (Local Area Network)

EtherCAT. Tecnología de automatización de control (Ethernet Ethernet Control Automation Technology)

VCA. Voltaje de corriente alterna.

VCD. Voltaje de corriente directa

RLY. Relé.

RJ45. Enchufe registrado 45 Registered Jack 45.

Fuentes de consulta

- Beckhoff (2023), *Documentation EK9300 PROFINET-Bus Coupler for EtherCAT Terminals*, 3.3.5, Pp. 19
- Siemens Industry Online Support, SINAMICS G: Control de velocidad de eje con el bloque “SINA_SPEED”. Pp. 10-11
- Irving L. Kosow (1977) *Control de máquinas eléctricas*. Editorial Reverté. Pp. 1.
- Ordoñez, S. Resabala, B. (2020) *Control Eléctrico Industrial. Análisis, Diseño y Ejercicios Resueltos*. Editorial Académica Española. Pp. 65
- Schneider Electric S.A (1999). Manual electrotécnico, Telesquemario, Telemecanique. España.
- Enríquez Harper (2003) El ABC del control electrónico de las maquinas eléctricas. Editorial Limusa. Pp. 184
- Barceló Ordinas J. M. Íñigo Griera J. (2004) *Redes de computadores*. Editorial: UOC. Pp. 55
- Miguel Zabalza (2004). La enseñanza universitaria. El escenario y sus protagonistas. Madrid, Editorial Narcea, S.A. Pág.107.
- Juan Escudero y Luis Gómez. (2006). La formación del profesorado y la mejora de la educación. Políticas y prácticas. España: Octaedro.
- Roberto Hernández Sampieri y otros (2016). Metodología de la investigación. 4a Edición, Ciudad de México, Editorial McGraw Hill. Pág. 4. Versión electrónica disponible en: <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%A1Da%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>, fecha de consulta 07 de abril del 2024.
- Héctor Luis Ávila Baray (2006). Introducción a la metodología de la investigación. Ciudad Cuauhtémoc, Editorial Eumed.net. Pág. Versión electrónica disponible en: <https://www.eumed.net/libros-gratis/2006c/203/>, fecha de consulta 07 de abril del 2024.
- Roberto Hernández Sampieri y otros (2016). Metodología de la investigación. Óp. Cit. Pág. 40.

- Daniel Moreno Garrido y José Vicente Salcedo Romero de Ávila (2020). Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómata SIEMENS S7-1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI. Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Valencia, España, trabajo de grado para obtener el título de master en ingeniería industrial. Versión electrónica disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/174612>, fecha de consulta 10 de abril del 2024.
- Javier Villanueva Tena (2014). Comunicación y control de hardware SIEMENS S.A. a través de PLC S7-1500. Madrid, Universidad Carlos III de Madrid, trabajo de fin de grado para obtener el grado en ingeniería electrónica industrial y automática. Versión electrónica disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/25063>, fecha de consulta 10 de abril del 2024.
- Rotherick Jordán Dávila y José Pulgar Alarcón (2018). Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento de una red de comunicación industrial mediante controladores lógicos programables (PLC's) y variadores de velocidad, utilizando el estándar de PROFINET. Tacna, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna, Perú, trabajo para obtener el título profesional de ingeniero electrónico. Versión electrónica disponible en: <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1076>, fecha de consulta 10 de abril del 2024.
- Secretaría Académica, Dirección de educación superior, Programa Sintético de la asignatura *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos*, Instituto Politécnico Nacional.
- SIEMENS (2017), *Instrucciones de servicio resumidas SINAMICS G120P Control Units CU230P-2, 01/2017*.
- Beckhoff (2023), *Documentation EK9300 PROFINET-Bus Coupler for EtherCAT Terminals*, 3.3.5, pág. 19
- Saúl Joshel Lozada Polo y Marco Antonio Méndez Vargas (2024). Desarrollo de un módulo didáctico con PLC y tablero de control electromagnético para la actualización de prácticas en la materia de Control de Máquinas y Procesos

Eléctricos. Ciudad de México, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) unidad Zácatenco, trabajo terminal para obtener el título de ingenieros en control y automatización.

- Beckhoff (2023), *Documentation EK9300 PROFINET-Bus Coupler for EtherCAT Terminals*, 3.3.5, pág. 19
- Beckhoff (2024), EL2008 | EtherCAT Terminal, 8 channel digital input, 24 V DC, 3 ms, pág. 1
- Beckhoff (2024), EL2008 | EtherCAT Terminal, 8 channel digital output, 24 V DC, 0.5 A, pág. 1
- Phoenix Contact (2024), MINI-PS-100-240AC/24DC/2 – Fuente de Alimentación, pág. 2
- Hoover M. Gloria C. Calderón J. (2019). Manual de prácticas del laboratorio de Controladores Industriales Programables
- <https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/>, fecha de consulta 19 de marzo del 2024.
- http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas_calidad/causaefecto.htm, fecha de consulta 25 de marzo del 2024.
- <https://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-el-diagrama-de-ishikawa-o-diagrama-de-causa-efecto/>, fecha de consulta 04 de abril del 2024.
- <https://www.autracen.com/blog/viajes-1/que-es-la-periferia-descentralizada-49>, fecha de consulta 04 de abril del 2024.
- <https://profibus.com.ar/profinet-que-es-y-como-funciona/>, fecha de consulta 05 de abril del 2024.
- <https://blog.ganttpro.com/es/alcance-del-proyecto/>, fecha de consulta 07 de abril del 2024.
- <https://www.noedu.com/periferia-es-centralizada-vs-periferia-es-descentralizada-capitulo-2/>, fecha de consulta 07 de abril del 2024.
- <https://www.ferrovial.com/es/stem/sistemas-de-control-electrico/#:~:text=Se%20trata%20de%20un%20conjunto,necesita%20para%20su%20correcto%20funcionamiento>, fecha de consulta 15 de abril del 2024.

- <https://www.ferrovial.com/es/stem/electromagnetismo/>, fecha de consulta 15 de abril del 2024.
- <https://www.redeweb.com/actualidad/que-es-un-relevador/>, fecha de consulta 16 de abril del 2024.
- <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>, fecha de consulta: 16 de abril del 2024.
- <https://www.motor.es/que-es/motor>, fecha de consulta 20 de abril del 2024.
- <https://www.ferrovial.com/es/stem/motores/>, fecha de consulta 22 de abril del 2024.
- <https://sdindustrial.com.mx/blog/motores-electricos/>, fecha de consulta 27 de abril del 2024.
- <https://grupoors.com.mx/2023/05/23/normas-oficiales-mexicanas-la-nom-001-sede-y-su-importancia-para-la-seguridad-electrica/>, fecha de consulta 03 de mayo del 2024.
- <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/512096/NOM-001-SEDE-2012.pdf>, fecha de consulta 03 de mayo del 2024.
- <https://www.c3controls.com/es/documento-tecnico/reles-de-sobrecarga-tipos-y-disparos-que-es-la-proteccion-contra-sobrecarga/>, fecha de consulta 03 de mayo del 2024.
- <https://www.dell.com/support/kbdoc/es-mx/000145629/informaci%C3%B3n-sobre-protectores-contra-sobrecarga-y-c%C3%B3mo-funcionan-art%C3%ADculo-de-la-base-de-conocimientos-120517>, fecha de consulta 03 de mayo del 2024.
- <https://www.dreym.com/es/2021/12/10/fallo-a-tierra-vs-cortocircuito-las-diferencias/>, fecha de consulta 07 de mayo del 2024.
- <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/control-y-proteccion-de-motores/contactores-tripolares-y-reles-de-sobrecarga/reles-termicos-de-sobrecarga>, fecha de consulta 07 de mayo del 2024.
- <https://frigoristas.wordpress.com/cade-simu/>, fecha de consulta: 15 de mayo del 2024.

- <https://www.infoplcn.com/noticias/item/101743-ek9300-acoplador-bus-profinet-io-conecta-distintas-redes>, fecha de consulta: 20 de mayo del 2024.
- <https://sdindustrial.com.mx/blog/fuentes-de-poder/>, fecha de consulta 06 de junio del 2024.
- <https://guide.directindustry.com/es/que-fuente-de-alimentacion-electrica-elegir/>, fecha de consulta 06 de junio del 2024.
- <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-bus-de-campo/>, fecha de consulta: 06 de junio del 2024.
- <https://www.sicma21.com/bus-de-campo-aplicaciones-en-la-industria/#:~:text=Entre%20los%20distintos%20tipos%20de,Bus%2C%20Ethernet%2C%20entre%20otros>, fecha de consulta 08 de junio del 2024.
- https://www.beckhoff.com/es-mx/support/download-finder/search-result/?download_group=37146368&download_item=93518154, fecha de consulta: 08 de junio del 2024.
- <https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/el1xxx-digital-input/el1008.htm>, fecha de consulta: 12 de junio del 2024.
- https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/el1xxx-digital-input/?fq=pf_value_range_digital:562476966, fecha de consulta: 12 de junio del 2024.
- <https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/el2xxx-digital-output/el2008.html>, fecha de consulta: 15 de junio del 2024.
- <https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/el2xxx-digital-output/>, fecha de consulta: 20 de junio del 2024.
- <https://www.infoplcn.com/documentacion/7-comunicaciones-industriales/1775-profibus-que-son-los-archivos-gsd>, fecha de consulta: 20 de junio del 2024.
- <https://imepi.com.mx/que-es-un-plc-una-introduccion-a-los-controladores-logicos-programables-y-su-papel-en-la-automatizacion-industrial/>, fecha de consulta: 22 de junio del 2024.
- <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/tipos-de-plc>, fecha de consulta: 25 de junio del 2024.

- <https://www.cursoaula21.com/tia-portal/>, fecha de consulta: 29 de julio del 2024
- <https://www.industriasasociadas.com/protocolos-de-comunicacion-en-la-industria/#:~:text=Un%20protocolo%20de%20comunicaci%C3%B3n%20industrial,a%20trav%C3%A9s%20de%20diversas%20variables>, fecha de consulta 03 de julio del 2024.
- https://profibus.com.ar/profibus_que_es_y_como_funciona/#:~:text=PROFIBUS%20es%20un%20est%C3%A1ndar%20industrial,la%20seguridad%20de%20los%20datos, fecha de consulta 03 de julio del 2024.
- <https://ogenica.com/gestion/los-5-lenguajes-de-programacion-estandarizados-para-plcs-segun-la-normativa-iec-61131-3/>, fecha de consulta 05 de julio del 2024.
- <https://ingelearn.com/temporizadores-en-tia-portal-como-funcionan/>, fecha de consulta 10 de julio del 2024.
- <https://www.programacionmultidisciplinar.com/curso-de-tia-portal/temporizadores-tia-portal/temporizador-tonr-tia-portal/>, fecha de consulta: 12 de julio del 2024.
- <https://www.burkert.es/es/servicio-asistencia/centro-de-documentacion/glosario/PROFINET-el-estandar-de-comunicacion-seguro-para-las-redes-industriales>, fecha de consulta 17 de julio del 2024.
- <https://profibus.com.ar/profinet-que-es-y-como-funciona/>, fecha de consulta 18 de julio del 2024.
- <https://www.ionos.mx/digitalguide/servidores/know-how/ethernet-ieee-8023/>, fecha de consulta: 18 de julio del 2024.
- https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/small-business/resource-center/networking/network-switch-how.html, fecha de consulta 22 de julio del 2024.
- <https://community.fs.com/es/article/definicion-y-tipos-de-switch-de-red.html>, fecha de consulta: 02 de agosto del 2024.
- <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>, fecha de consulta 05 de agosto del 2024.

- <https://automatizacioncavanilles.blogspot.com/2021/04/bibliotecas-simatic-inverter.html>, fecha de consulta 06 de agosto del 2024.
- <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/#:~:text=HMI%20son%20las%20siglas%20de,para%20las%20de%20entornos%20industriales>, fecha de consulta 06 de agosto del 2024.
- <https://www.euroinnova.com/nuevas-tecnologias/articulos/tipos-hmi>, fecha de consulta 06 de agosto del 2024.
- <https://www.ipn.mx/oferta-educativa/educacion-superior/ver-carrera.html?lq=es&id=7> fecha de consulta: 10 de agosto de 2024
- <https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2733863/sistemas-periferia-descentralizada-aplicaciones-automatizacion-industrial> fecha de consulta: 07 de septiembre del 2024.
- <https://www.autracen.com/blog/viajes-1/que-es-la-periferia-descentralizada-49> fecha de consulta: 12 de septiembre del 2024.
- https://profibus.com.ar/profinet-que-es-y-como-funciona/#Comparativa_de_PROFINET_vs_PROFIBUS, fecha de consulta: 23 de septiembre del 2024.
- <https://www.infopl.net/documentacion/7-comunicaciones-industriales/1775-profibus-que-son-los-archivos-gsd#:~:text=Los%20archivos%20GSDML%20son%20archivos,para%20la%20descripci%C3%B3n%20de%20dispositivo>, fecha de consulta:27 de septiembre del 2024.
- <https://support.industry.siemens.com/cs/document/29339880/which-gsdml-files-are-there-for-simatic-hmi-operator-panels-with-profinet-io-?dti=0&lc=en-MX>, fecha de consulta: 28 de septiembre del 2024.
- <https://safetyculture.com/es/temas/riesgos-electricos-y-seguridad-electrica/>, fecha de consulta: 28 de septiembre del 2024.
- <https://www.upm.es/sfs/Rectorado/Gerencia/Prevencion%20de%20Riesgos%20Laborales/Informacion%20sobre%20Prevencion%20de%20Riesgos%20La>

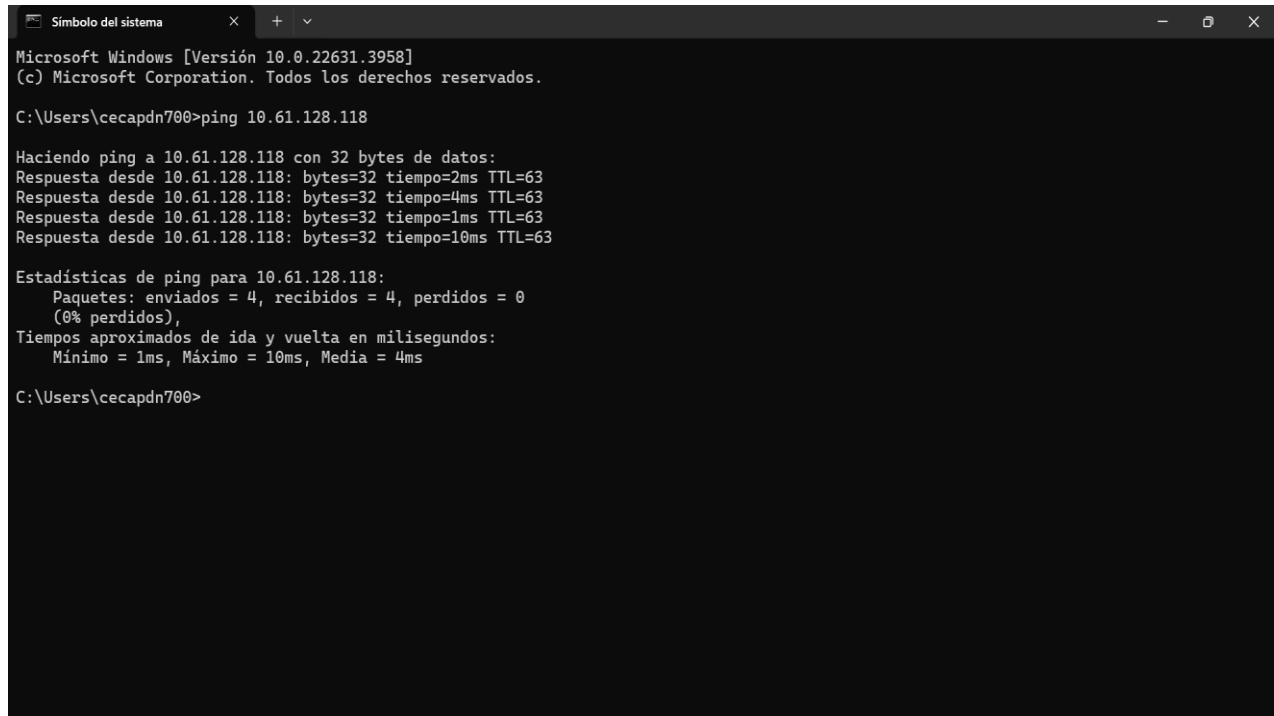
[borales/Manuales/folleto%20laboratorios%20el%C3%A9ctricos%2021nov200](#)

[6.pdf](#), fecha de consulta: 28 de septiembre del 2024.

- [https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/ekxxxx-bus-coupler/ek9300.html](#), fecha de consulta: 05 de octubre del 2024.
- [https://www.grupomadiver.com/post/estaciones-de-trabajo-automatizadas-el-coraz%C3%B3n-de-la-producci%C3%B3n-moderna-1#:~:text=Una%20estaci%C3%B3n%20de%20trabajo%20automatizada%20es%20un%20sistema%20integrado%20que,%C3%ADnea%20de%20producci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20amplia.](#)
- [https://www.dimaticperu.com/2022/06/la-importancia-de-los-variadores-de-frecuencia-para-la-integridad-de-los-motores-electricos/](#) fecha de consulta:07 de noviembre del 2024.
- [https://suministrosparalaindustria.com/que-son-los-variadores-de-frecuencia/](#) fecha de consulta: 07 de noviembre del 2024.
- [https://support.industry.siemens.com/forum/mx/en/posts/what-is-telegram-in-drive/203191](#), fecha de consulta: 12 de noviembre del 2024.
- [https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/drives/sce-062-101-frequency-converter-g120-pn-s7-1500-r1909-es.pdf](#), fecha de consulta: 24 de noviembre del 2024.
- [https://www.vanguardia-industrial.net/la-automatizacion-industrial-en-siete-anos-crecer-a-71-a-nivel-global-mexico-attractivo/](#), fecha de consulta 18 de marzo del 2024.
- [https://www.freelancermap.com/blog/es/que-hace-ingeniero-automatizacion/#Habilidades](#), fecha de consulta 18 de marzo del 2024.

Anexos.

Anexo A. Ejemplo para hacer ping.



```
Símbolo del sistema x + Microsoft Windows [Versión 10.0.22631.3958]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\cecapdn700>ping 10.61.128.118

Haciendo ping a 10.61.128.118 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 10.61.128.118: bytes=32 tiempo=2ms TTL=63
Respuesta desde 10.61.128.118: bytes=32 tiempo=4ms TTL=63
Respuesta desde 10.61.128.118: bytes=32 tiempo=1ms TTL=63
Respuesta desde 10.61.128.118: bytes=32 tiempo=10ms TTL=63

Estadísticas de ping para 10.61.128.118:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
                (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 10ms, Media = 4ms

C:\Users\cecapdn700>
```

Anexo B. Puesta en marcha rápida utilizando el panel de mando BOP-2.

5.4.4 Elegir clase de aplicación⁹⁹

Clase de aplicación	Standard Drive Control	Dynamic Drive Control
Características	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de compensación típico tras un cambio de velocidad: 100 ms ... 200 ms Tiempo de compensación típico tras un golpe de carga: 500 ms <ul style="list-style-type: none"> Standard Drive Control es adecuado para los siguientes requisitos: <ul style="list-style-type: none"> Potencias de motor < 45 kW Tiempo de aceleración 0 → velocidad asignada (en función de la potencia asignada del motor): 1 s (0,1 kW) ... 10 s (45 kW) Aplicaciones con par de carga constante, sin golpes de carga Standard Drive Control no se ve afectado por los ajustes imprecisos de los datos del motor 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo típico de compensación tras un cambio de velocidad: < 100 ms Tiempo de compensación típico tras un golpe de carga: 200 ms Dynamic Drive Control regula y limita el par motor Precisión de par alcanzable: ± 5 % para 15 % ... 100 % de la velocidad asignada Se recomienda Dynamic Drive Control para las siguientes aplicaciones: <ul style="list-style-type: none"> Potencias de motor > 11 kW En caso de golpes de carga 10 % ... >100 % del par asignado del motor Se requiere Dynamic Drive Control para un tiempo de aceleración 0 → velocidad asignada (dependiendo de la potencia asignada del motor): < 1 s (0,1 kW) ... < 10 s (132 kW).
Ejemplos de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> Bombas, ventiladores y compresores con característica flujo-velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> Bombas y compresores con máquinas de desplazamiento positivo
Motores utilizables	Motores asincrónicos	Motores asincrónicos y síncronos
Frecuencia de salida máxima	550 Hz	240 Hz
Regulación de par	Sin regulación de par	Regulación de velocidad con regulación de par subordinada
Puesta en marcha	<ul style="list-style-type: none"> A diferencia de "Dynamic Drive Control", no es necesario ajustar ningún regulador de velocidad En comparación con el ajuste "EXPERT": <ul style="list-style-type: none"> Puesta en marcha simplificada mediante datos de motor preasignados Volumen de parámetros reducido Standard Drive Control está preajustado para convertidores de tamaño A ... tamaño C 	<ul style="list-style-type: none"> Número de parámetros reducido en comparación con el ajuste "EXPERT" Dynamic Drive Control está preajustado para convertidores de tamaño D ... tamaño F

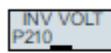
⁹⁹ SIEMENS (2019), Instrucciones de servicio SINAMICS G120X, Versión 1.0.

5.4.5 Standard Drive Control



Ajuste la norma de motor:

- KW / 50HZ: IEC
- HP / 60HZ: NEMA, unidades US
- KW / 60HZ: NEMA, unidades SI



Ajuste la tensión de conexión del convertidor.



Ajuste el tipo de motor. Si la placa de características del motor lleva impreso un código de motor de 5 cifras, seleccione el tipo de motor con código de motor que corresponda.

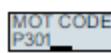
Motores sin código de motor en la placa de características:

- INDUCT: Motor asíncrono no Siemens
- 1L... IND: Motores asíncronos 1LE1, 1LG6, 1LA7, 1LA9

Motores con código de motor en la placa de características:

- 1LE1 IND 100: 1LE1 . 9
- 1PC1 IND: 1PC1

Dependiendo del convertidor, es posible que la lista de motores disponible en el BOP-2 no coincida con la lista referida anteriormente.

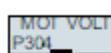


Si ha elegido un tipo de motor con código de motor, ahora debe introducir el código del motor. El convertidor preasigna los siguientes datos de motor de acuerdo con el código de motor.

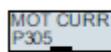
Si no conoce el código del motor, ajuste el código de motor = 0 e introduzca los datos de motor a partir de p0304 según la placa de características.



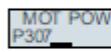
Funcionamiento del motor a 87 Hz. El BOP-2 muestra este paso solo si se ha seleccionado IEC como norma de motor (EUR/USA, P100 = kW 50 Hz).



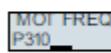
Tensión asignada del motor



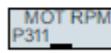
Intensidad asignada del motor



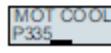
Potencia asignada del motor



Frecuencia asignada del motor



Velocidad asignada del motor



Refrigeración del motor:

- SELF: Refrigeración natural
- FORCED: Refrigeración independiente

- LIQUID: Refrigeración por líquido

- NO FAN: Sin ventilador

TEC APPL
P501

Elija el ajuste básico de la regulación de motor:

- VEC STD: Carga constante

- PUMP FAN: Carga en función de la velocidad

MAc PAr
P15

Seleccione el ajuste predeterminado de interfaces del convertidor adecuado para su aplicación.

Ajustes de fábrica de la interfaz (Página 101)

MIN RPM
P1080

MAX RPM
P1082

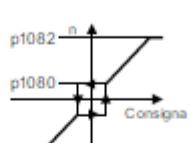


Figura 5-7 Velocidades mínima y máxima del motor

RAMP UP
P1120

RAMP DWN
P1121

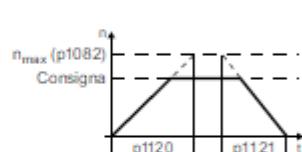


Figura 5-8 Tiempos de aceleración y deceleración del motor

OFF3 RP
P1135

Tiempo de deceleración después del comando DES3

MOT ID
P1900

Identificación de datos del motor. Seleccione el método según el cual el convertidor mide los datos del motor conectado:

- OFF: sin identificación de los datos del motor
- STIL ROT: medir datos de motor en parada y con el motor en giro.
Tras la identificación de los datos del motor, el convertidor desconecta el motor.
- STILL: ajuste recomendado: Medir datos del motor en parada.
Tras la identificación de los datos del motor, el convertidor desconecta el motor.
Seleccione este ajuste si el motor no puede girar libremente.
- ROT: Medir datos del motor en giro.
Tras la identificación de los datos del motor, el convertidor desconecta el motor.
- ST RT OP: Ajuste como STIL ROT.
Tras la identificación de los datos del motor, el motor acelera hasta la consigna actual.
- STILL OP: Ajuste como STILL.
Tras la identificación de los datos del motor, el motor acelera hasta la consigna actual.

FINISH

Finalice la puesta en marcha rápida de la siguiente manera:

1. Cambie la indicación con una tecla de flecha: nO → YES

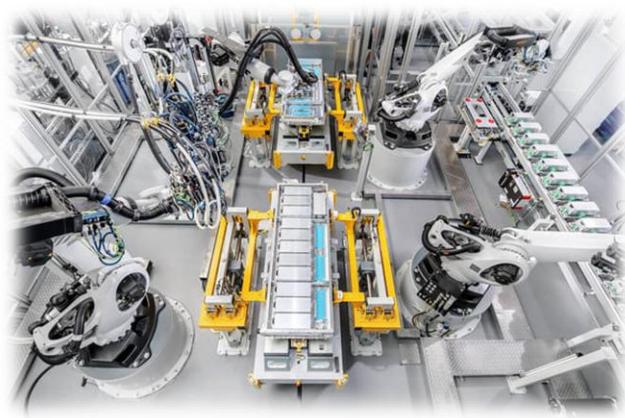
2. Pulse la tecla OK.



ANEXO C.

MANUAL DE PRÁCTICAS COMPLEMENTARIAS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE MAQUINAS Y PROCESOS ELÉCTRICOS

INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
CONTROL DE MÁQUINAS Y PROCESOS ELÉCTRICOS



Elaborado por:	Revisado por:
Fernando Moises Blanco Alvarez José Mauricio Hernández Contreras	Fernando Moises Blanco Alvarez José Mauricio Hernández Contreras



INDICE

II. PRÁCTICAS DE CONTROL ELECTROMAGNÉTICO	225
Práctica #0	225
Panorama de la práctica	225
Objetivo.....	226
Fundamentos teóricos	226
Recursos.....	226
Seguridad en la ejecución de la actividad	227
Desarrollo	228
ETAPA 1: Instalación de archivos GSDML.....	228
ETAPA 2: Alimentación del equipo EK9300 y PLC S7-1200	230
ETAPA 3: Comunicación del EK9300, PLC S7-1200 y ordenador.	232
ETAPA 4: Definición y etiquetado de elementos.	236
ETAPA 5: Programación.....	237
ETAPA 6. Esquema de conexión de control.....	238
ETAPA 7: Compilar y descargar.....	239
Pruebas y resultados	240
Conclusiones.....	240
Práctica #1	241
Panorama de la práctica	241
Objetivo.....	242
Recursos.....	242
Seguridad en la ejecución de la actividad	243
Desarrollo	244
ETAPA 1: Alimentación y comunicación del equipo EK9300, PLC S7-1200, HMI y ordenador.	244
ETAPA 2: Condiciones de operación.	246
ETAPA 3: <i>Definición y etiquetado de elementos.</i>	247
ETAPA 4: Programación.....	248
ETAPA 5: Esquema de control.	248
ETAPA 6. Diagrama de fuerza.....	249



ETAPA 7: Compilar y descargar.....	250
ETAPA 8: Diseño y simulación de HMI	250
Pruebas y resultados	252
Conclusiones.....	252
Práctica #2	253
Panorama de la práctica	253
Objetivo.....	254
Recursos.....	254
Seguridad en la ejecución de la actividad	255
Desarrollo	256
ETAPA 1: Alimentación y comunicación del equipo.....	256
ETAPA 2: Condiciones de operación.	256
<i>ETAPA 3: Definición y etiquetado de elementos.</i>	257
ETAPA 4: Programación.....	258
ETAPA 5: Esquema de control.	258
ETAPA 6. Esquema de fuerza.....	259
ETAPA 7: Compilar y descargar.....	260
ETAPA 8: Diseño y simulación de HMI.	260
Pruebas y resultados	260
Conclusiones.....	260
II.- PRÁCTICAS DE VARIADOR DE FRECUENCIA.....	261
Práctica #3	261
Panorama de la práctica	261
Objetivo.....	261
Fundamentos teóricos.....	262
Recursos.....	262
Seguridad en la ejecución de la actividad	262
Desarrollo	263
ETAPA 1: Alimentación y comunicación del módulo de variador de frecuencia.....	263
Pruebas y resultados	271
Conclusiones.	271



Práctica #4	272
Panorama de la práctica	272
Objetivo.....	272
Recursos.....	272
Fundamentos teóricos	273
Seguridad en la ejecución de la actividad	275
Desarrollo	276
ETAPA 1: Alimentación y comunicación del del tablero de control electromagnético, el módulo de PLC S7-1200, el módulo de periferia descentralizada EK9300 y el variador de frecuencia.....	276
ETAPA 2: Condiciones de operación.	276
<i>ETAPA 3: Definición y etiquetado de elementos.</i>	276
ETAPA 4: Programación.....	277
ETAPA 5: Esquema de control.	279
ETAPA 6. Esquema de fuerza del variador de frecuencia.	280
ETAPA 7: Compilar y descargar.....	280
ETAPA 8: Diseño y simulación de HMI	280
Pruebas y resultados	282
Conclusiones.....	282



II. PRÁCTICAS DE CONTROL ELECTROMAGNÉTICO

Práctica #0.

COMUNICACIÓN Y PRUEBAS DE MÓDULOS S7-1200 Y EK9300 CON TIA PORTAL MEDIANTE EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN PROFINET Y ARCHIVOS GSDML.

Panorama de la práctica

La revista española dedicada a la automatización y control de procesos, en su artículo *Sistemas de periferia descentralizada para aplicaciones de Automatización Industrial*, publicación 559 de octubre del 2024, menciona que “tanto en la industria manufacturera como en la industria de procesos, la descentralización de señales supone un volumen importante en las empresas dedicadas al sector de la automatización industrial, ya sean fabricantes, ingenierías, integradores de sistemas o clientes finales, apreciándose una clara tendencia en la utilización de periferia descentralizada en todo tipo de clientes y sectores”¹. Es importante para las y los estudiantes conocer acerca de la descentralización de señales, las aplicaciones y la importancia que la periferia descentralizada tiene en la industria.

Esta práctica está enfocada en la introducción al módulo de periferia descentralizada disponible en el laboratorio de control de máquinas y procesos eléctricos para las y los estudiantes de la ESIME Zacatenco. Para la realización de la presente práctica es necesario tener conocimientos previos en los temas de control electromagnético y controladores lógicos programables, de esta forma el estudiante será capaz de complementar sus conocimientos y habilidades en el ámbito de la automatización industrial.

¹ <https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2733863/sistemas-periferia-descentralizada-aplicaciones-automatizacion-industrial>



Se comunicarán los módulos de controlador lógico programable S7-1200 y de periferia descentralizada EK9300 mediante el protocolo de comunicación de PROFINET utilizando el software TIA Portal. Posteriormente, se realizarán pruebas de funcionamiento en vacío del módulo de periferia descentralizada, realizando la conexión de los botones pulsadores y contactores del tablero de control electromagnético a las tarjetas de entradas y salidas EL1008 y EL2008.

Objetivo

Comunicar el módulo de periferia descentralizada EK9300 de Beckhoff con el módulo de PLC Siemens para identificar el funcionamiento y la importancia de la periferia descentralizada en la automatización industrial.

Fundamentos teóricos

1.- Realice una investigación previa de los siguientes temas:

- EK9300
- Periferia descentralizada
- PROFINET
- Archivos GSDML

Recursos

- Tablero de control electromagnético
- Ordenador
- Módulo de PLC Siemens S7-1200
- Fuente de poder de 24 VCD
- Módulo de periferia descentralizada EK9300 de la marca Beckhoff
- Switch de Ethernet
- Cables de prueba P1036 banana-banana 4mm
- Cables de Ethernet CAT5 con conectores RJ45 de cobre.



Seguridad en la ejecución de la actividad

- 1.- Revise el artículo digital “Riesgos eléctricos y seguridad eléctrica” de la plataforma digital australiana que ayuda a las organizaciones a mejorar la seguridad y calidad de sus procesos SafetyCulture² y el manual de “Riesgo eléctrico bajo control” de la Universidad Politécnica de Madrid.
- 2.- En base a las referencias realice un análisis de peligros, riesgos y medidas de control a tomar para realizar la práctica

Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control
Voltaje Continuo	Daño a equipo	Verificar polaridad antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo

² <https://safetyculture.com/es/temas/riesgos-electricos-y-seguridad-electrica/>



Desarrollo

ETAPA 1: Instalación de archivos GSDML

- 1.- Ingrese al sitio web del equipo EK9300³, este sitio web proporcionará la información completa del dispositivo, así como archivos de configuración para usos específicos.
- 2.- Seleccione el apartado de ‘información del producto’, de clic en la opción de la ‘documentación y descargas’ (1) y despliegue opción de ‘archivos de configuración’ (2) donde se encuentran los archivos GSDML del dispositivo PROFINET EK9300.

The screenshot shows three main sections:

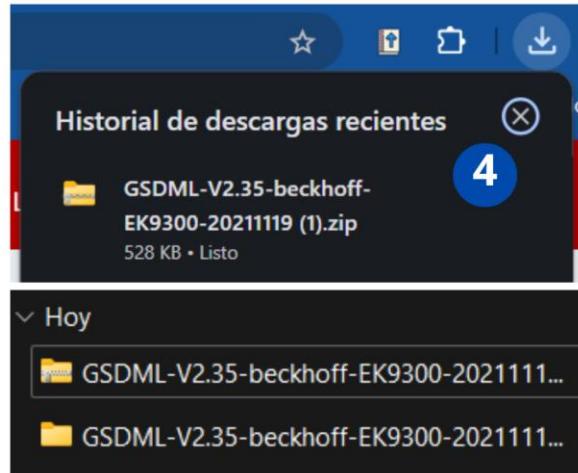
- 1 Product information**: A sidebar with tabs for "Technical data" and "Accessories". Below these are two main categories: "Documentation and downloads" (which is highlighted with a mouse cursor) and "Beckhoff Information System". Under "Documentation and downloads" are links for "Additional products" and "Related products".
- 2 Configuration files**: A list of expandable items:
 - + Configuration files (with a mouse cursor pointing at it)
 - + Macros
 - + Environmental product compliance
 - + Technical documentations
 - + Technical drawings
 - + Certificates, approvals
- 3 EK9300 | GSDML for PROFINET**: A table listing GSDML files valid for EK9300. It includes columns for Fieldbus, Language, Version, Update, and download links.

Fieldbus	Language	Version	Update	
PROFINET	English, German	V2.43	08.01.2024	↓ GSDML (0.6 MB)
PROFINET	English, German	V2.41	15.09.2022	↓ GSDML (0.5 MB)
PROFINET	English, German	V2.35	19.11.2021	↓ GSDML (0.5 MB)

Descarga de archivos GSDML

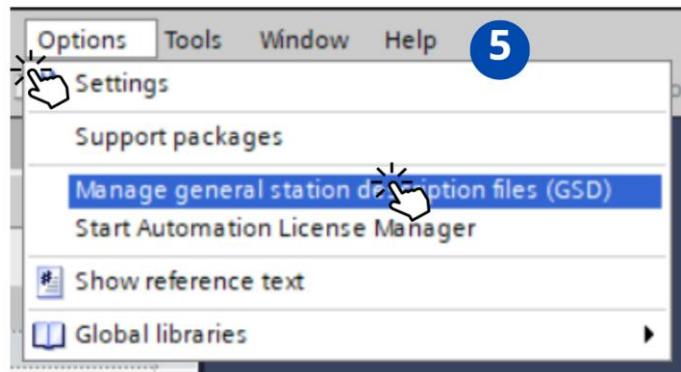
- 3.- Descargue la versión 2.35 (3) para comprobar que su funcionamiento sea el adecuado en la comunicación del EK9300 con el que cuenta el laboratorio de control de máquinas y procesos eléctricos y el software TIA Portal.
- 4.- Después de haber realizado la descarga, descomprima el archivo (4).

³ <https://www.beckhoff.com/es-mx/products/i-o/ethercat-terminals/ekxxxx-bus-coupler/ek9300.html>



Descompresión de archivos GSDML.

- 5.- Con el archivo descomprimido, creé un proyecto nuevo en el software TIA Portal, donde realizará la comunicación del PLC a disposición y el módulo de periferia descentralizada EK9300 de Beckhoff para realizar pruebas.
- 6.- Diríjase a la barra de menús, de clic en ‘opciones’ y seleccione la opción de ‘administrar archivos de descripción general de estación’ (5), dentro de esta opción el software permitirá instalar los archivos GSDML del dispositivo.

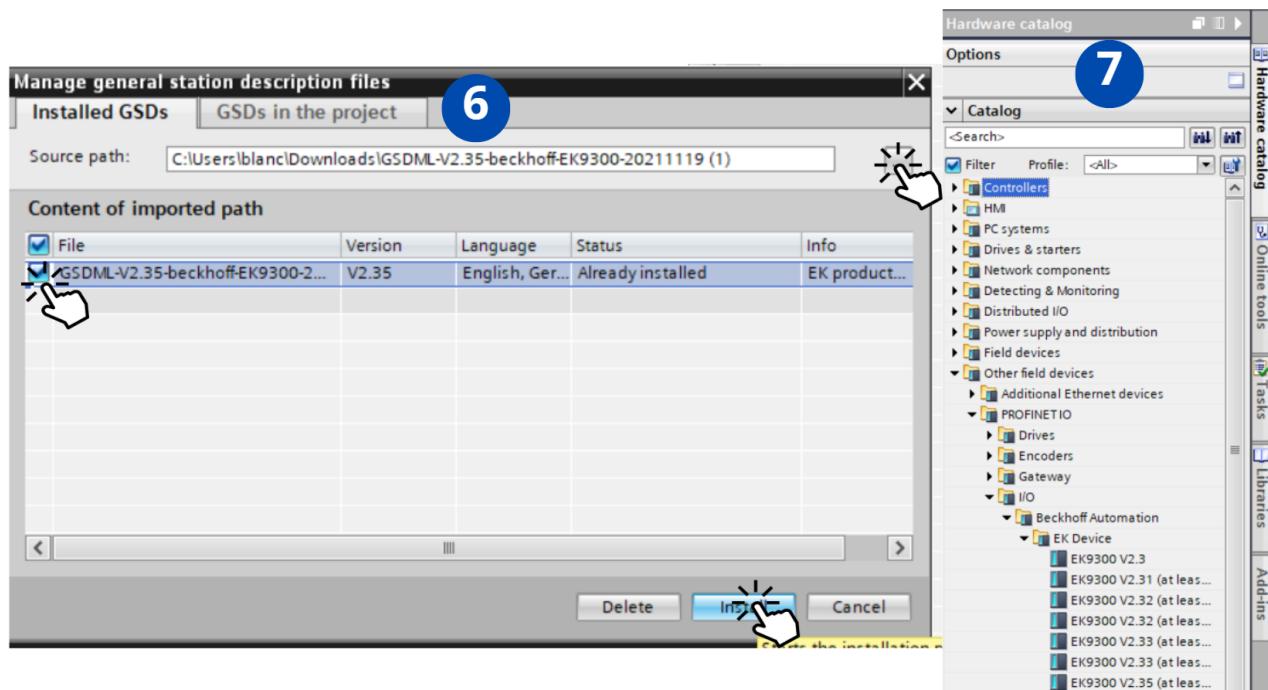


Selección del administrador de archivos de descripción general de la estación.

- 7.- Para realizar la instalación, abra la ubicación del archivo de instalación descargado previamente y una vez que aparezca dentro de la tabla de ‘contenido de la ruta importada’, seleccione e instale (6).

NOTA. La instalación tarda unos minutos en ejecutarse.

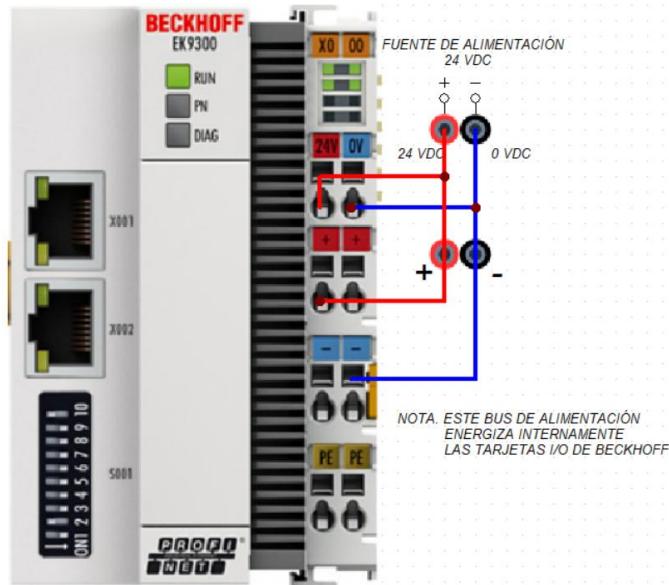
8.- Compruebe que los archivos se hayan instalado correctamente revisando el ‘catálogo de hardware’ (7), dentro de ese apartado despliegue la pestaña de ‘otros dispositivos de campo’. Dicha pestaña permitirá revisar los archivos de dispositivos de otros fabricantes, en el caso del EK9300, un dispositivo de entradas y salidas de la marca Beckhoff Automation.



Instalación del archivo GSDML

ETAPA 2: Alimentación del equipo EK9300 y PLC S7-1200.

1.- Conecte la fuente de poder de 24 VCD a 2A energizada a los bornes correspondientes del módulo. Energice el acoplador de bus y al bus de alimentación de las tarjetas de entradas y salidas digitales como se muestra en el esquema de la siguiente.



Esquema de alimentación del acoplador de bus y las tarjetas de entradas y salidas digitales.

2.- Conecte el módulo de PLC a la alimentación de 127 VCA y realice las conexiones desde los bornes ‘127 VCA’ a los bornes de ‘L1’ y ‘N’ de alimentación del PLC como se muestra en la siguiente imagen.

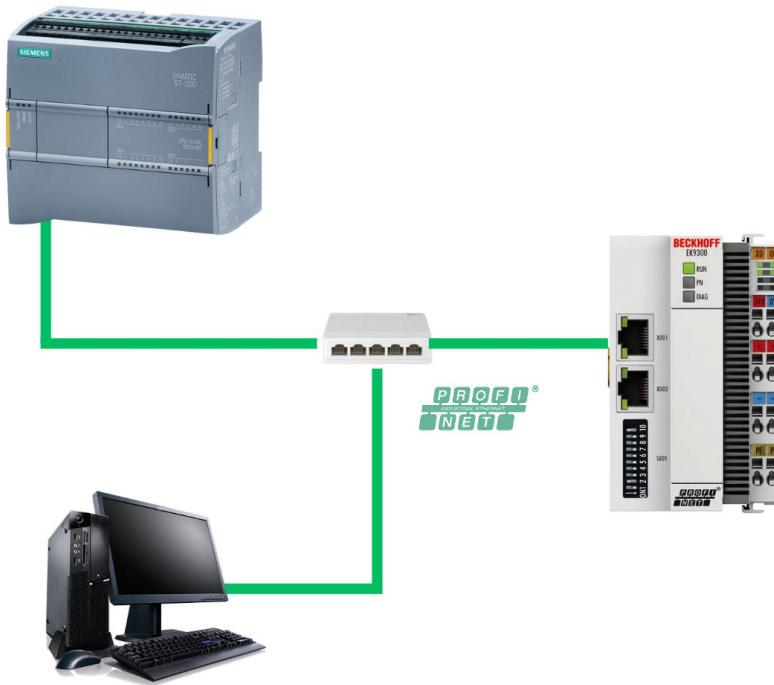


Esquema de alimentación del PLC

NOTA. Si el PLC es un modelo diferente, realizar las conexiones de alimentación correspondientes.

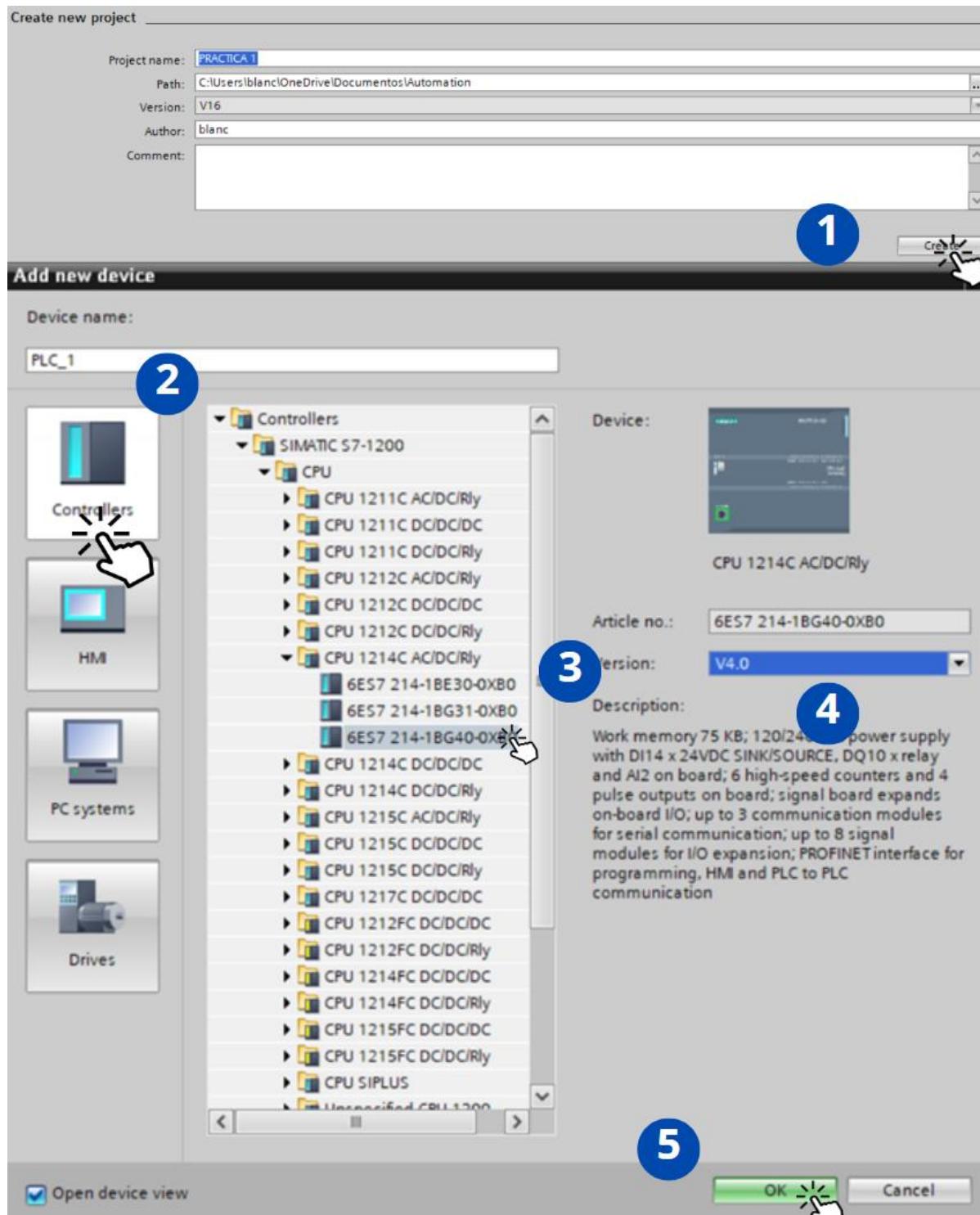
ETAPA 3: Comunicación del EK9300, PLC S7-1200 y ordenador.

1.- Realice la comunicación física de los equipos conectando el PLC S7-1200, el acoplador de bus EK9300 y el ordenador a un commutador (switch) por medio de cables de Ethernet para formar una topología de red en estrella que permita a los equipos enviar y recibir información al mismo tiempo como se muestra en la siguiente imagen:



Esquema de comunicación PROFINET

2.- Con los dispositivos conectados al commutador, agregue el PLC a un proyecto nuevo (1) dando clic en ‘agregar nuevo dispositivo’ y dentro del apartado de ‘controladores’ (2) seleccione el PLC que utilizará (3) con su número de articulo correspondiente (4).

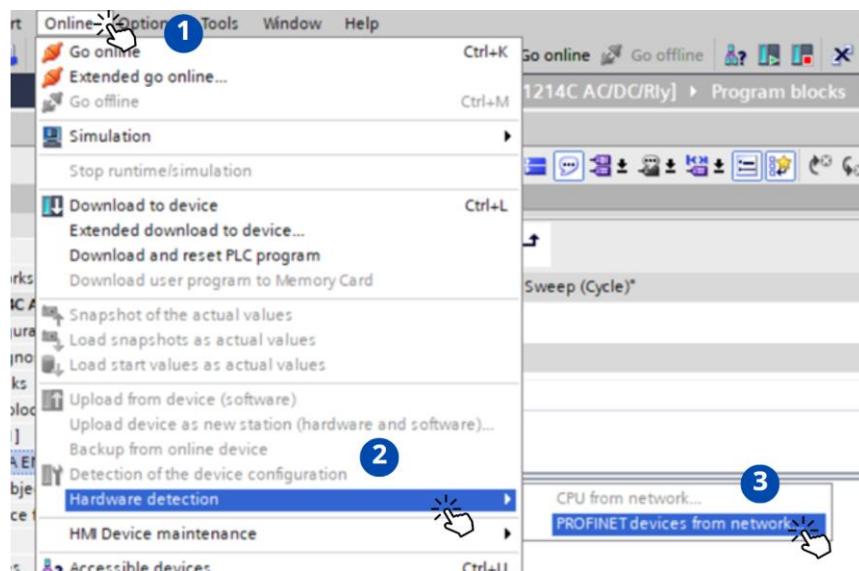


Indicaciones para el alta de un controlador.

3.- Agregue el dispositivo EK9300 del módulo de periferia descentralizada.

NOTA. Existen dos formas de agregar el dispositivo en TIA Portal teniendo los archivos GSDML instalados. Una de esas formas es ubicar la carpeta de Beckhoff dentro del ‘catálogo de hardware’ y seleccionar la versión de EK9300 correspondiente, pero por cuestiones de practicidad se realizó de la siguiente manera:

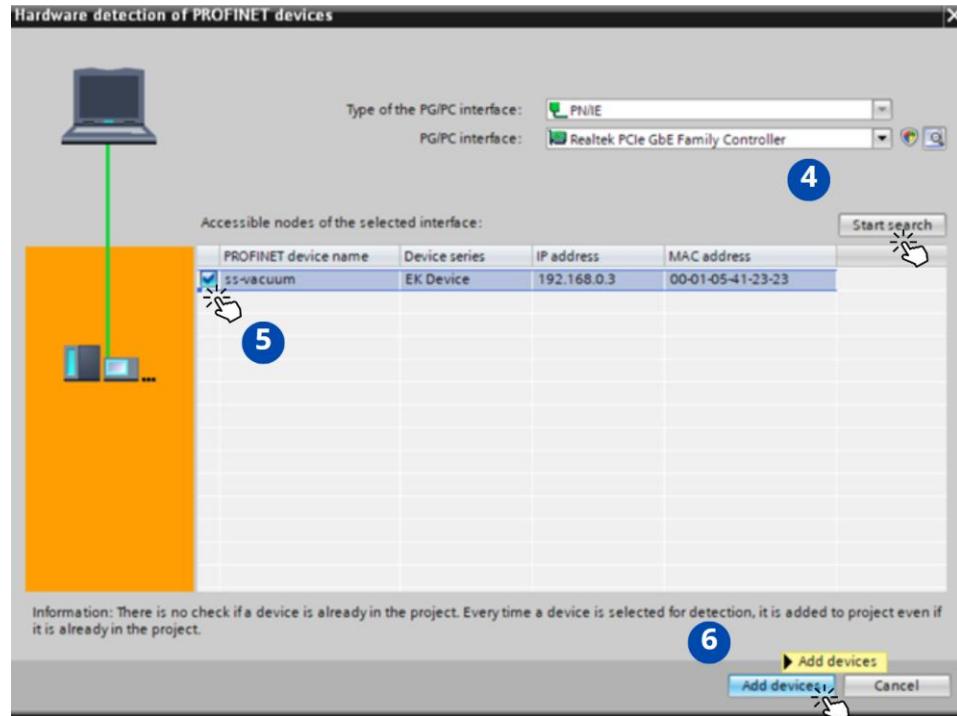
4.- Con el dispositivo alimentado y conectado al switch junto con el PLC y el ordenador, diríjase a la barra de menús, de clic a la opción ‘online’ (1) y despliegue la opción de ‘detección de hardware’ (2), por último, seleccione ‘dispositivos PROFINET de la red’ (3).



Indicaciones para el alta del módulo de periferia descentralizada EK9300

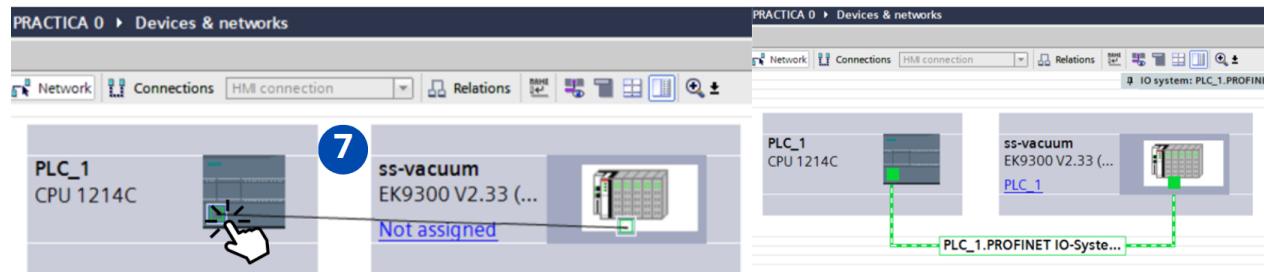
5.- En la ventana de ‘detección de hardware de dispositivos PROFINET’, de clic en el botón de ‘iniciar búsqueda’ (4) y después de unos segundos el software arrojará que encontró un dispositivo EK, este dispositivo es el EK9300 conectado a la red, por lo tanto, seleccione (5) y agregue (6).

NOTA. Este procedimiento no es posible sin antes haber instalado los archivos GSDML del dispositivo, por lo tanto, se comprueba que los archivos instalados funcionan correctamente.



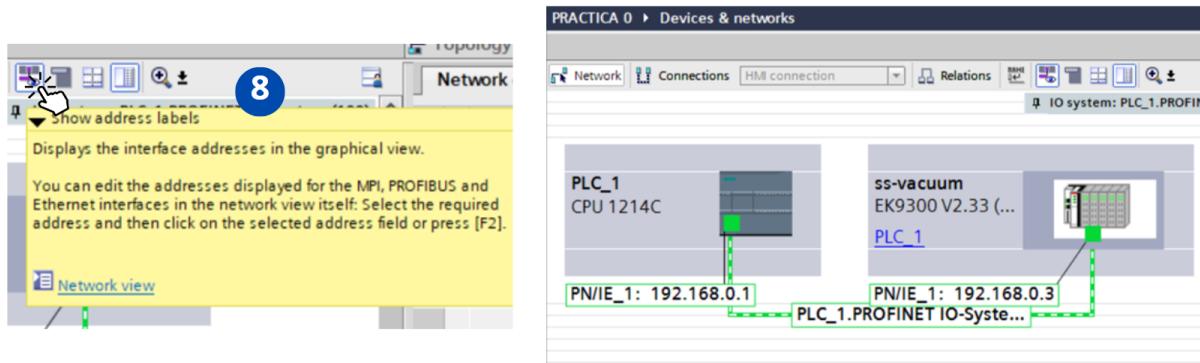
Búsqueda y adición del acoplador de bus EK9300 mediante el software TIA Portal.

6.- Establezca la conexión entre el módulo de PLC S7-1200 y el módulo de periferia descentralizada EK9300 en el software TIA Portal. Dentro del árbol de proyecto, en el apartado de 'dispositivos y redes', se encuentran los dispositivos agregados previamente. Seleccione y arrastre el ratón desde el puerto de comunicación de un dispositivo al otro (7) y gráficamente el software indicará que se ha generado la comunicación entre ambos dispositivos, que están en la misma subred y que la periferia descentralizada está asignada al PLC en cuestión.



Comunicación entre el módulo de PLC S7-1200 y el módulo de periferia descentralizada EK9300

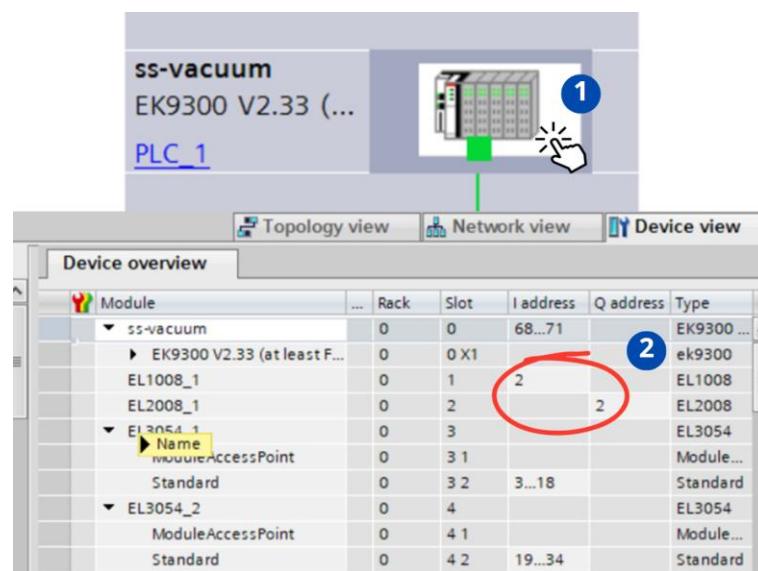
7.- Observe y asegúrese de que los dispositivos no tengan la misma IP y que estén en la misma subred seleccionando la opción de ‘mostrar etiquetas de direcciones’ (8).



Verificación de direcciones IP

ETAPA 4: Definición y etiquetado de elementos.

- 1.- Ubíquese en el apartado de ‘dispositivos y redes’ del árbol del proyecto y dé doble clic sobre el dispositivo EK9300 (1).
- 2.- Seleccione la pestaña de ‘vista de dispositivo’ y dentro la ‘vista general del dispositivo’ observe las direcciones de entradas y salidas iniciales asignadas a las tarjetas EL1008 y EL2008 del dispositivo (2). Se asignan 8 direcciones a cada tarjeta debido a la cantidad de entradas y salidas que disponen (I2.0 – I2.7 / Q2.0 – Q2.7)



Vista general del dispositivo EK9300



3.- Con base en las direcciones disponibles de entradas y salidas digitales de las tarjetas EL1008 y EL2008, realice el etiquetado de un programa que permita la activación de los tres contactores del módulo de control electromagnético por medio de tres botones pulsadores del mismo. Identifique los bornes del módulo que corresponden al direccionamiento asignado en el software TIA Portal de cada tarjeta.

EL1008		
Botón pulsador	Dirección en TIA Portal	Borne eléctrico de módulo

EL2008		
Contactor	Dirección en TIA Portal	Borne de módulo

4.- Valide su etiquetado con el profesor.

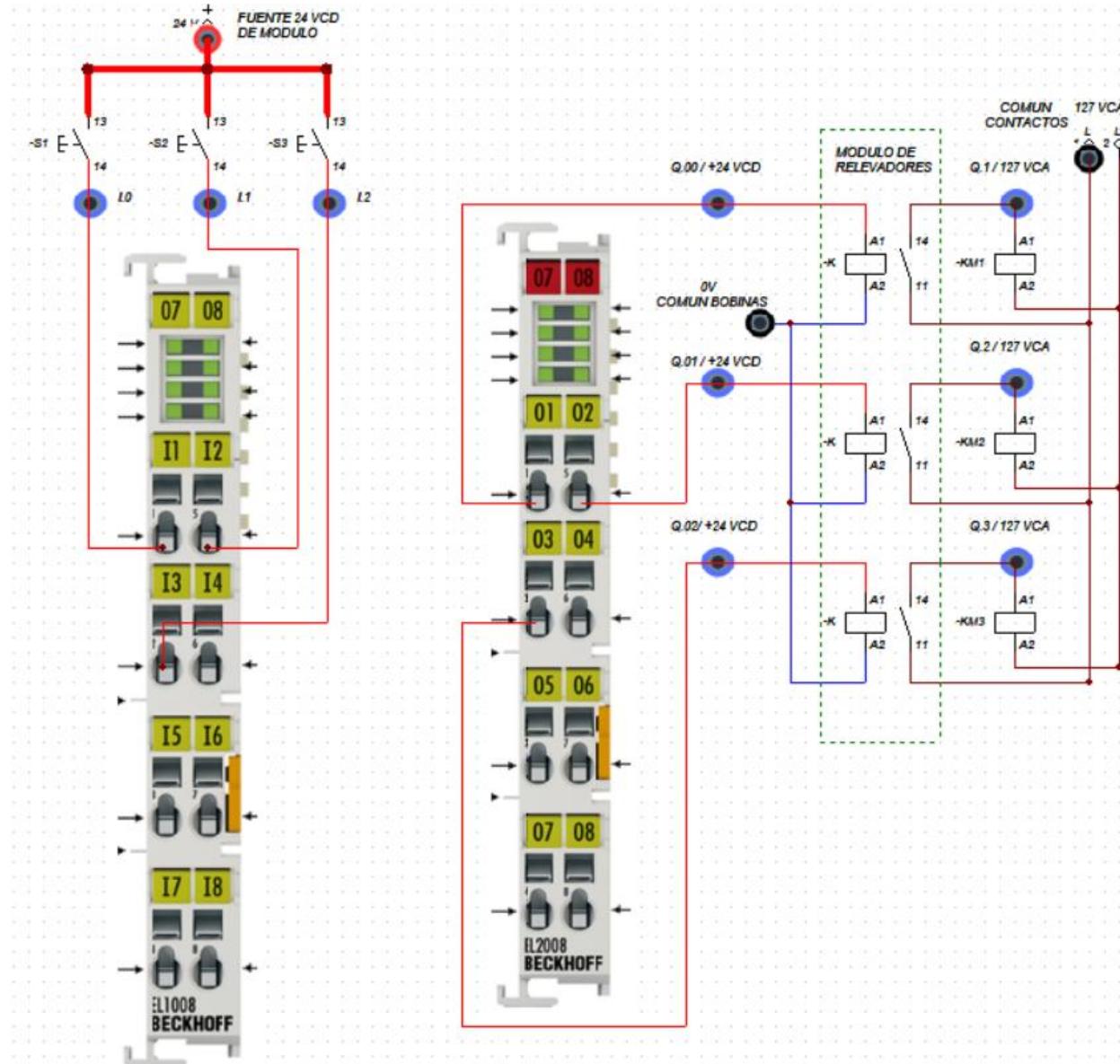
5.- Registre los datos en el apartado de 'tags del PLC' del software TIA Portal.

ETAPA 5: Programación

1.- Desarrolle la programación en escalera que realice la activación de los contactores del tablero de control electromagnético asignando un botón pulsador a cada contactor.

ETAPA 6. Esquema de conexión de control.

1.- Realice el análisis y conexión entre los botones, contactores y los bornes correspondientes de las tarjetas EL1008 y EL2008 de los siguientes esquemas.

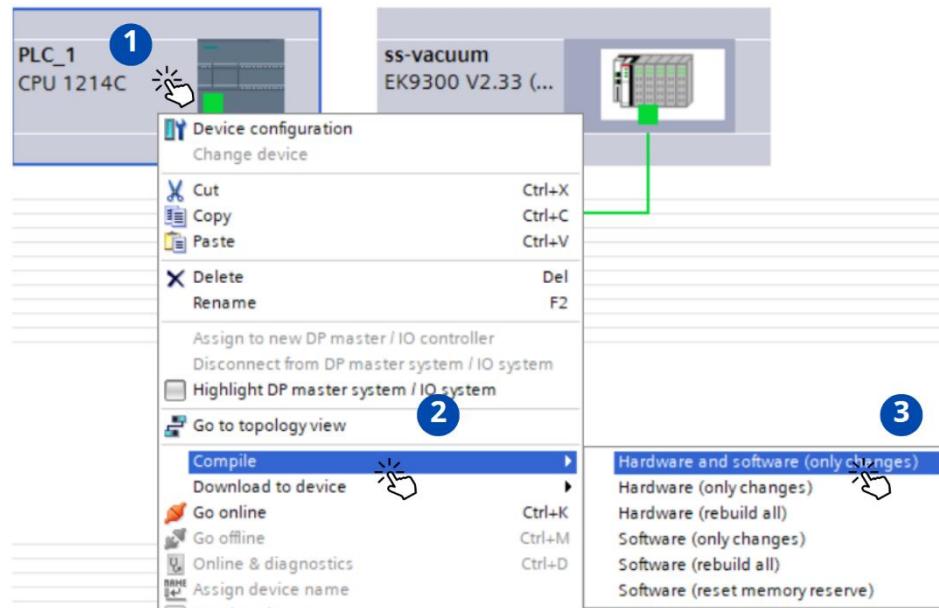


Esquema de conexiones de control de tarjetas EL1008 y EL2008 para práctica #0

2.- Muestre las conexiones realizadas a su profesor para validar que sean correctas.

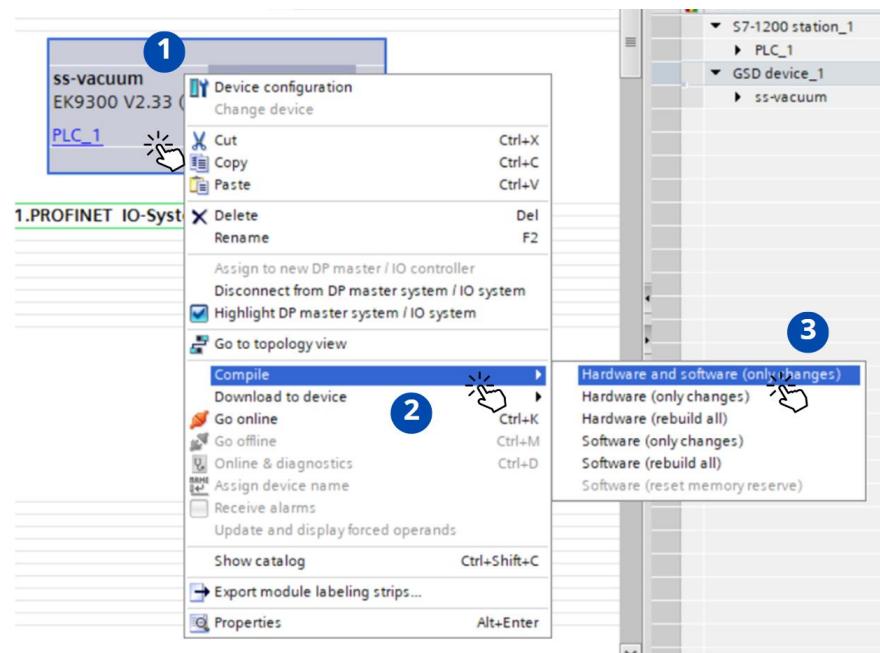
ETAPA 7: Compilar y descargar.

1.- Compile y descargue el programa en el PLC.



Proceso de compilación y descarga del PLC S7-1200

2.- Compile y descargue la configuración lógica de red en el acoplador de bus EK9300.



Proceso de compilación y descarga del acoplador EK9300



Pruebas y resultados

- 1.- Realice las pruebas de funcionamiento probando la activación de entradas y salidas desde el tablero energizado y el software TIA Portal y valide con el profesor.
- 2.- Escriba las similitudes y diferencias del módulo de entradas y salidas locales del PLC y las tarjetas de entradas y salidas EL1008 y EL2008 de la periferia descentralizada.

Conclusiones

- 1.- Realice un análisis de situaciones donde la periferia descentralizada resolvería problemas de la industria y en base a los objetivos concluya.



Práctica #1

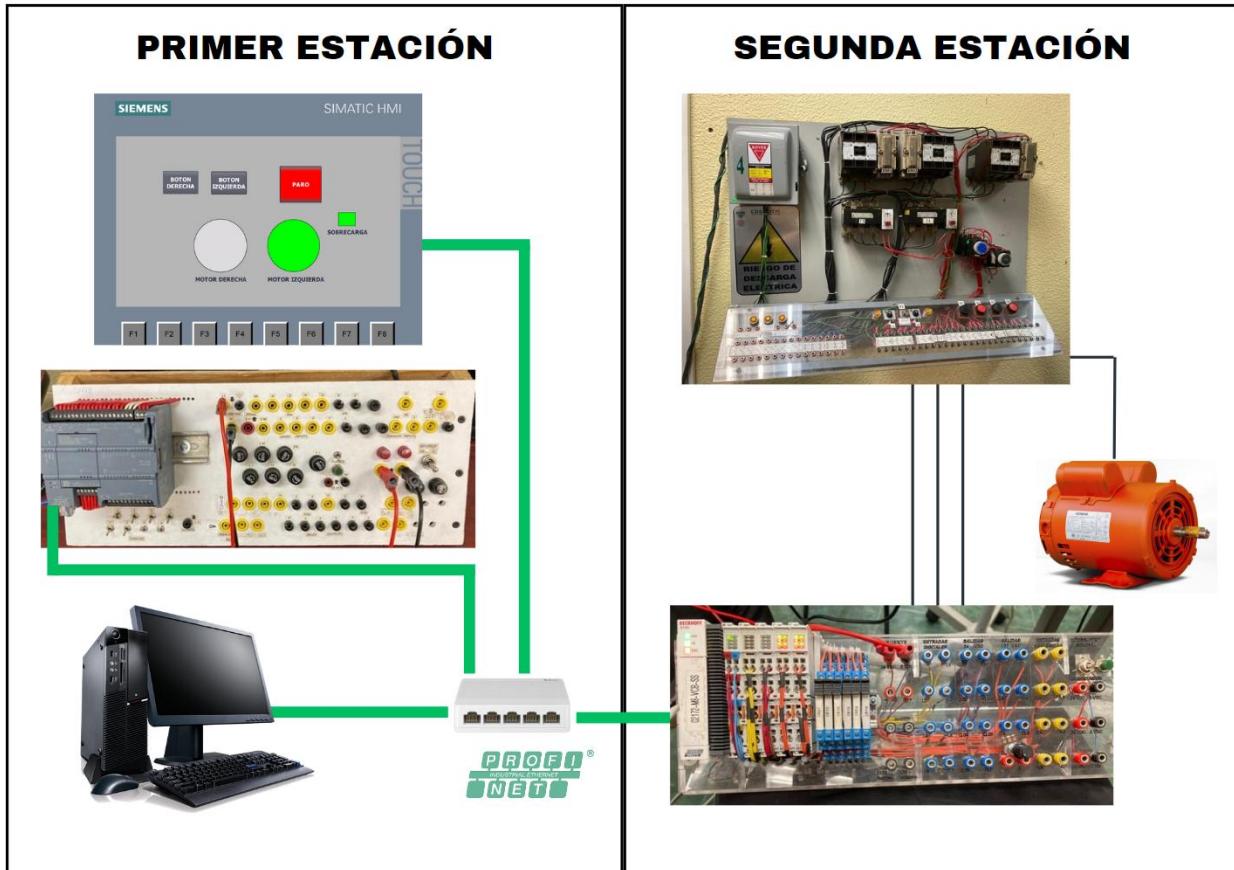
ARRANQUE, PARO E INVERSIÓN DE GIRO DE UN MOTOR POR DOS ESTACIONES SIN PASAR POR PARO MEDIANTE UN SISTEMA DE PERIFERIA DESCENTRALIZADA UTILIZANDO HMI.

Panorama de la práctica

Las plantas de producción pueden abarcar desde uno hasta más procesos para producir un producto o servicio, estas plantas están divididas por estaciones que pueden operar de manera independiente o en conjunto como parte de una línea de producción. Una estación de trabajo automatizada es un sistema que integra maquinaria y tecnología de control para realizar una tarea específica⁴. Es importante saber que las tareas automatizadas no ocurren siempre en una misma estación como se trabaja en las prácticas actuales del laboratorio de control de máquinas y procesos eléctricos, puesto que, para procesos de plantas grandes, intervienen más estaciones que pueden estar controladas por un mismo controlador lógico programable.

Esta práctica está enfocada al control de un motor por dos estaciones, la primera estación será un HMI simulada que controlará el arranque, paro e inversión de giro de un motor ubicado en otra estación, la segunda estación controlará lo mismo, pero por botones pulsadores físicos del tablero de control electromagnético. El módulo de periferia descentralizada EK9300 recibirá y enviará las señales de entradas y salidas del tablero por medio del protocolo PROFINET al PLC, al HMI y al ordenador como se muestra en la siguiente imagen:

⁴ <https://www.grupomadiver.com/post/estaciones-de-trabajo-automatizadas-el-coraz%C3%B3n-de-la-producci%C3%B3n-moderna-1#:~:text=Una%20estaci%C3%B3n%20de%20trabajo%20automatizada%20es%20un%20sistema%20integrado%20que,%C3%A1rea%20de%20producci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20amplia>.



Esquema de comunicación entre PLC S7-1200, HMI simulada, ordenador y el módulo de periferia descentralizada para control del tablero de control electromagnético y del motor trifásico.

Objetivo

Controlar el arranque, paro e inversión de giro de un motor trifásico por dos estaciones, una con accionamientos físicos y otra desde una HMI simulada utilizando el módulo de periferia descentralizada.

Recursos

- Módulo de PLC Siemens S7-1200
- Tablero de control electromagnético
- Ordenador
- Módulo de PLC Siemens S7-1200
- Fuente de poder de 24 VCD



- Módulo de periferia descentralizada EK9300 de la marca Beckhoff
- Switch de Ethernet
- Cables de prueba P1036 banana-banana 4mm
- Cables de Ethernet CAT5 con conectores RJ45 de cobre.
- Motor trifásico de inducción abierto

Seguridad en la ejecución de la actividad

1.- Identifique los riesgos de la presente práctica y llene la tabla con base a las referencias de la práctica anterior.

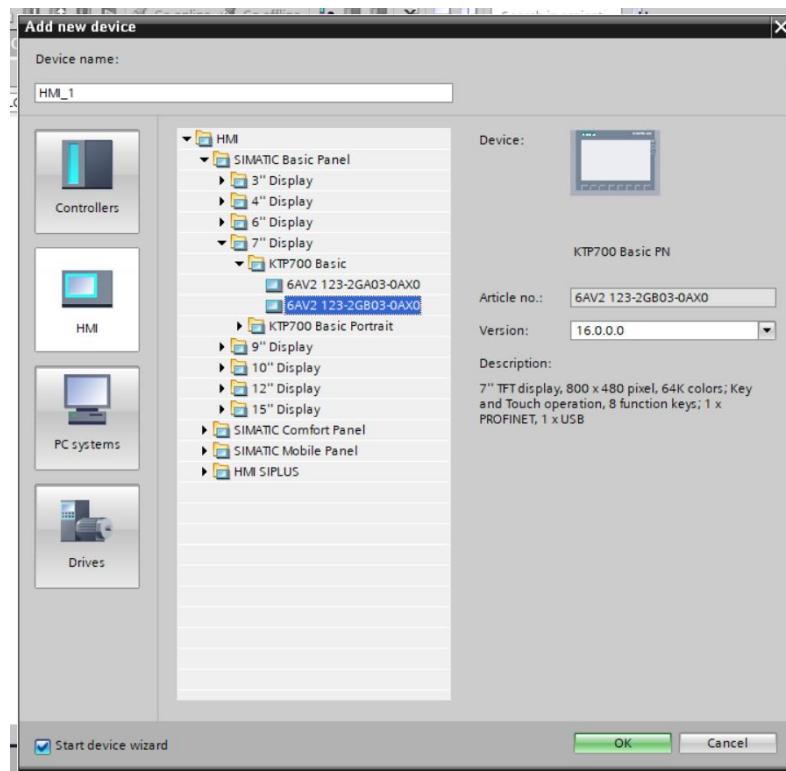
Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control



Desarrollo

ETAPA 1: Alimentación y comunicación del equipo EK9300, PLC S7-1200, HMI y ordenador.

- 1.- Realice la alimentación y comunicación de los equipos desde un proyecto nuevo de TIA Portal como se realizó en la práctica #0.
- 2.- Agregue el HMI al proyecto seleccionando la opción ubicada en el árbol de proyecto ‘agregar nuevo dispositivo’. De clic en la opción de ‘HMI’ y seleccione el HMI de 7” KTP700 Basic con conexión PROFINET.

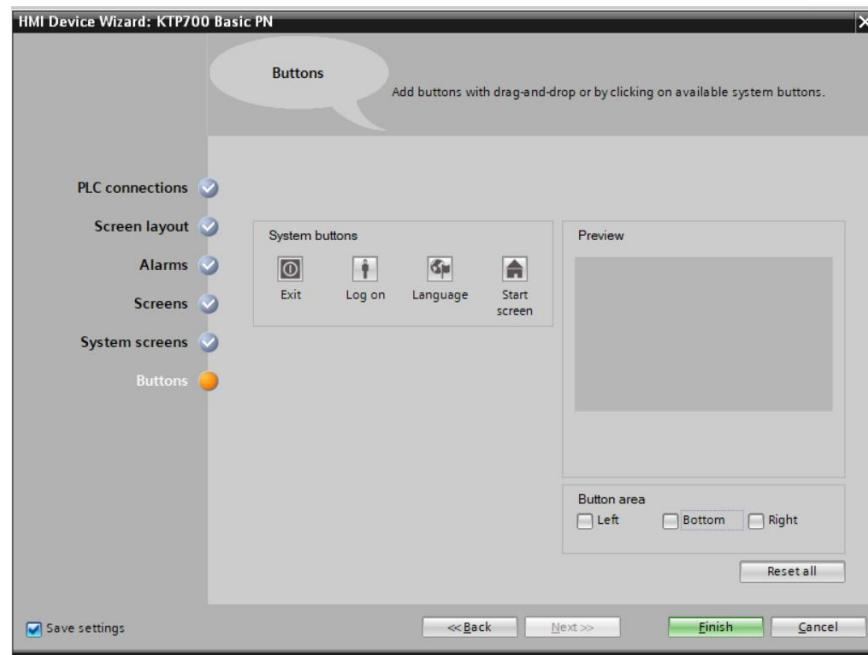
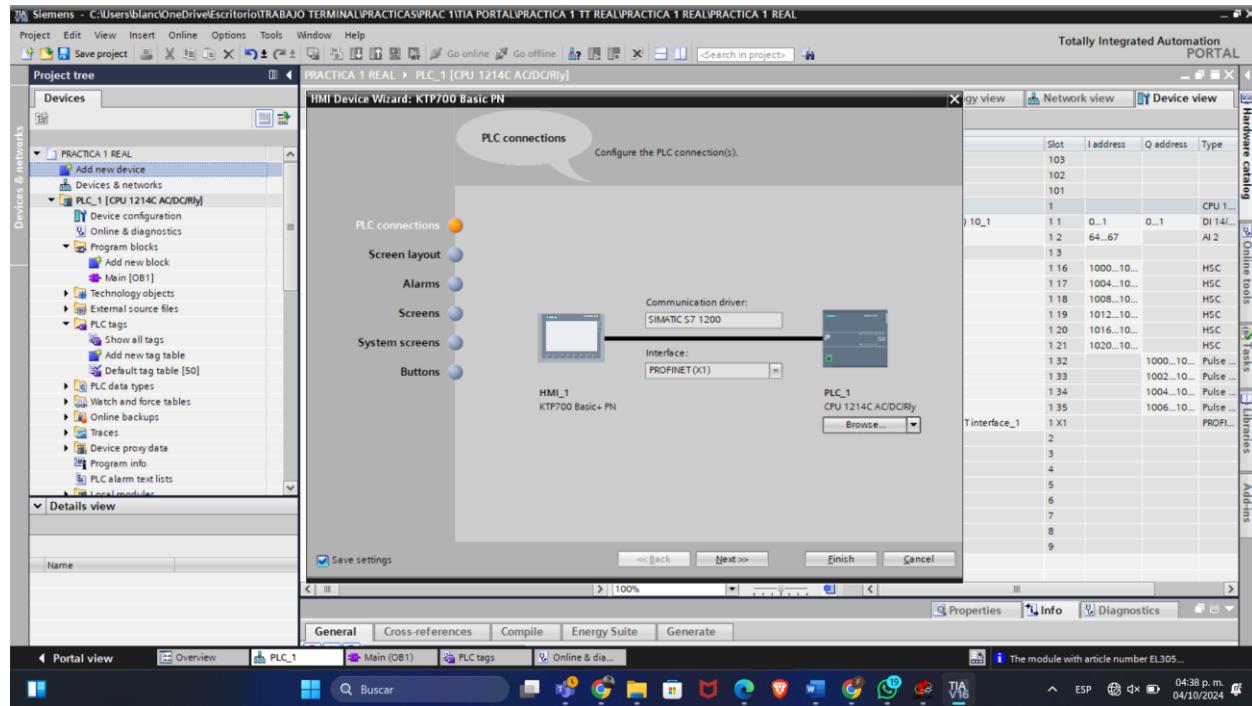


Adición de HMI al proyecto de TIA Portal.

- 3.- En el ‘wizard del dispositivo HMI KTP700 Basic PN’, seleccione desde ‘browse’ el PLC al cual será conectado el HMI. Configure los demás puntos con el objetivo de tener una pantalla en blanco para editar y de clic en el botón ‘finalizar’.

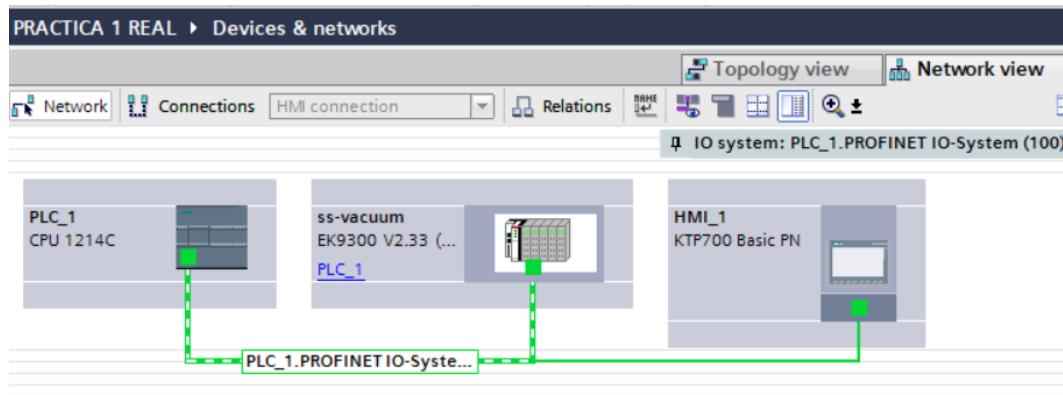


**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD ZACATENCO**

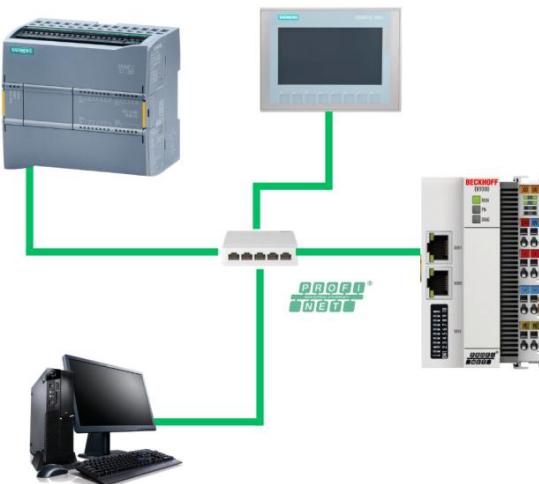


Ejemplo de pantalla en blanco de HMI

4.- En la ventana de 'dispositivos y redes', adicione el HMI a la red PROFINET donde se ubica el PLC y el acoplador de bus.



Comunicación PROFINET en software TIA Portal.



Esquema de comunicación de práctica #1.

ETAPA 2: Condiciones de operación.

- El motor deberá arrancar hacia la dirección seleccionada e invertirá su giro sin pasar por el botón de paro.
- El botón de paro detendrá el motor independientemente de su dirección de giro.
- Los contactores deberán contar con una protección mecánica que no permita energizar los dos contactores al mismo tiempo, con la intención de evitar daños al motor trifásico.
- Tome en cuenta la señal del térmico de sobrecarga para el detenimiento y protección del proceso.



ETAPA 3: Definición y etiquetado de elementos.

1.- Con base en las direcciones disponibles de entradas y salidas digitales de las tarjetas EL1008 y EL2008, realice el análisis y etiquetado de un programa que, mediante botones pulsadores del tablero de control electromagnético, ejecute el arranque y paro e inversión de giro de un motor trifásico.

ENTRADAS			
ELEMENTO DE TABLERO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE EL1008 EN TIA PORTAL	BORNE ELÉCTRICO DE MODULO

SALIDAS			
ELEMENTO DE TABLERO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE EL2008 EN TIA PORTAL	BORNE ELÉCTRICO DE MODULO

2.- Realice el etiquetado de las marcas en función a las entradas para el diseño del HMI simulado.

DIRECCIÓN EN TIA PORTAL	FUNCIÓN



4.- Registre los datos en el apartado de ‘tags del PLC’ del software TIA Portal, indicando su nombre, tipo de dato bool y asignando las direcciones correspondientes.

ETAPA 4: Programación

1.- Desarrolle la programación en escalera tomando en cuenta las condiciones de operación previamente mencionadas.

ETAPA 5: Esquema de control.

1.- Realice el esquema de conexiones del control correspondiente a la programación de la presente práctica, tomando de referencia las conexiones realizadas en la práctica #0.

2.- Valide con su profesor.

3.- Pruebe la lógica del programa en vacío apoyándose de los focos indicadores de cada tarjeta.



ETAPA 6. Diagrama de fuerza.

- 1.- Realice el Esquema de conexiones de fuerza del tablero de control electromagnético correspondientes a la programación de la presente práctica.
- 2.- Valide con su profesor.

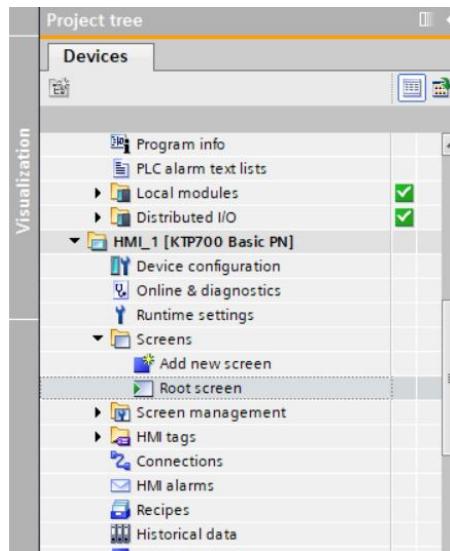


ETAPA 7: Compilar y descargar.

1.- Compile y descargue en el PLC S7-1200 y en el EK9300 como se realizó en la práctica #0.

ETAPA 8: Diseño y simulación de HMI

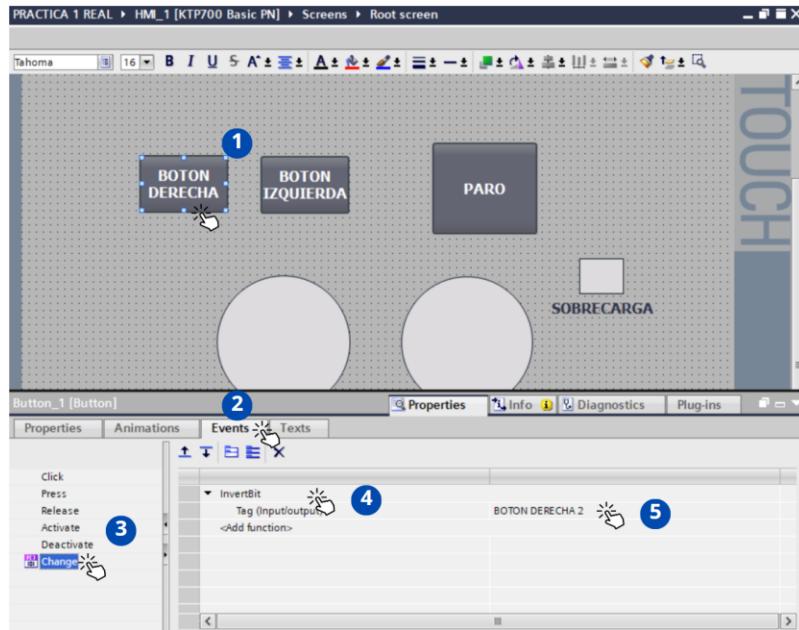
1.- Diríjase a la ventana de edición de la 'pantalla raíz' del HMI agregado, ubicado en el árbol del proyecto.



2.- Con la pantalla en blanco, adicione y nombre los botones asignando un evento de cambio 'inversión de bit' (4) y referencie su tag de entrada (5) para realizar la activación del botón en cuestión dentro de la programación del PLC.

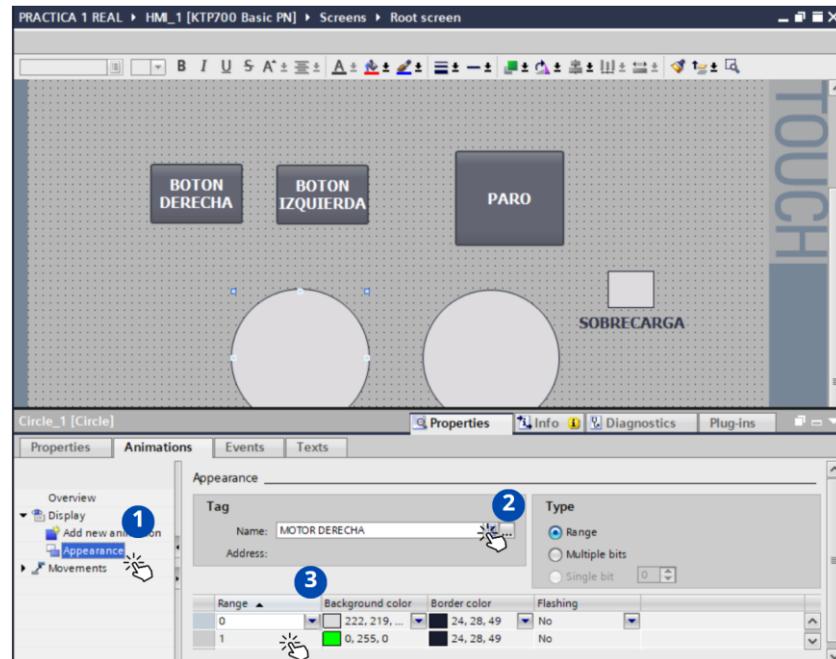


INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD ZACATENCO



Pasos para asignación de evento

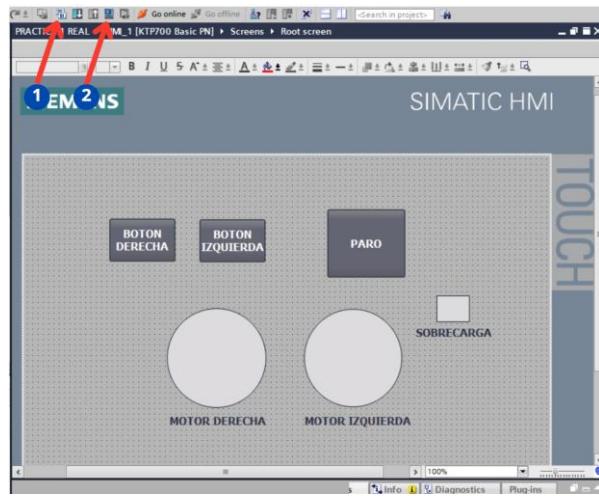
3.- Adicione los indicadores correspondientes al giro del motor y a la sobrecarga, referenciando el tag de salida (2) y agregando un cambio de apariencia (3) que permita visualizar cuando el motor gira a un lado o al otro y cuando la sobrecarga esté activa.





4.- Una vez terminado el diseño, compile (1) e inicie la simulación (2) del HMI.

Nota. Para correr la simulación, es necesario tener instalado el WinCC y realizar los ajustes de configuración adecuados.



Pruebas y resultados

- 1.- Verifique las conexiones con su profesor.
- 2.- Realice las pruebas de funcionamiento correspondientes comprobando que los accionamientos del tablero de control electromagnético funcionen al mismo tiempo que los de la HMI simulada.
- 3.- Compruebe que el funcionamiento de la sobrecarga es el adecuado simulando un disparo desde el tablero de control electromagnético.

Conclusiones

- 1.- Explique en qué aplicaciones en la industria podría aplicar lo que ejecutó en la presente práctica.



Práctica #2

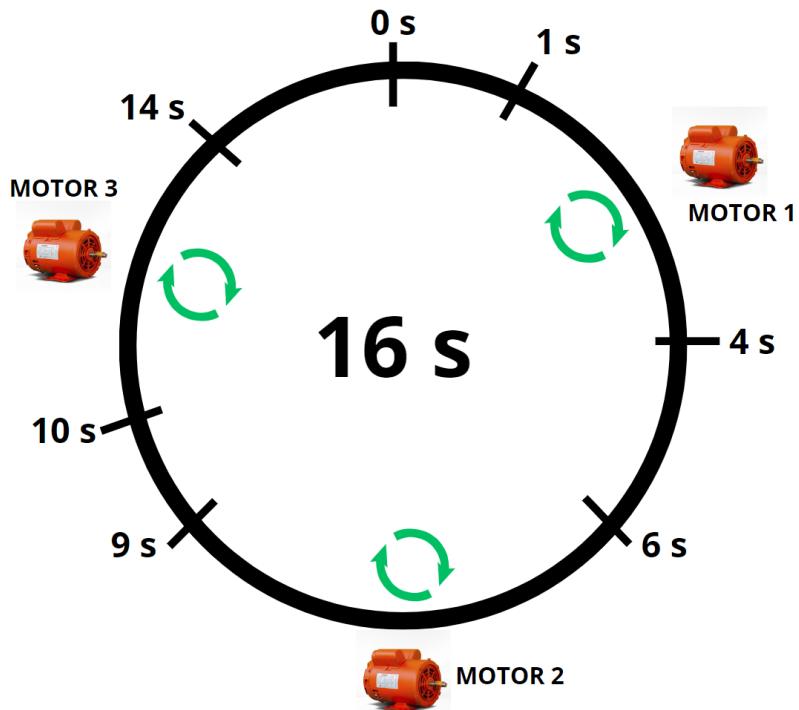
CICLADO DE 3 MOTORES DISTRIBUIDOS MEDIANTE SISTEMA DE PERIFERIA DESCENTRALIZADA POR DOS ESTACIONES UTILIZANDO HMI.

Panorama de la práctica

Los motores son utilizados en una amplia variedad de aplicaciones en la industria, son indispensables en la operación de gran cantidad de equipos y sistemas. Es importante conocer el alcance que tiene la manipulación de motores en la automatización industrial puesto que los motores tienen aplicaciones comunes como lo son:

- Bombas: Recirculación de fluidos
- Compresores: Sistemas HVAC y herramientas eléctricas neumáticas.
- Ventiladores: Sistemas de ventilación
- Sistemas de refrigeración.

Esta práctica está enfocada al control de 3 motores ciclados desde dos estaciones utilizando el módulo de periferia descentralizada. La primera estación activará y detendrá el ciclo desde un HMI y en la segunda estación estarán ubicados los motores y sus sobrecargas correspondientes. El ciclo durará 16 segundos, dentro de este tiempo, el primer motor se activará entre el primer segundo y el cuarto segundo del ciclo, el motor dos se activará desde el segundo seis hasta el nueve y el tercero desde el segundo diez hasta el catorce. Se programará utilizando un bloque de temporizador con retardo a la conexión (TON) y operaciones de comparación.



Referencia de tiempos del ciclado de los motores.

Objetivo

Realizar el ciclado de tres motores por dos estaciones. Una estación donde se ubique el tablero de control electromagnético con los motores y otra donde una HMI simulada controle el arranque y paro del ciclado.

Recursos

- Módulo de PLC Siemens S7-1200
- Tablero de control electromagnético
- Ordenador
- Módulo de PLC Siemens S7-1200
- Fuente de poder de 24 VCD
- Módulo de periferia descentralizada EK9300 de la marca Beckhoff
- Switch de Ethernet



- Cables de prueba P1036 banana-banana 4mm
- Cables de Ethernet CAT5 con conectores RJ45 de cobre.
- 3 motor trifásicos de inducción abierto

Seguridad en la ejecución de la actividad

1.- Identifique los riesgos de la presente práctica y llene la tabla.

Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control

Desarrollo

EAPA 1: Alimentación y comunicación del equipo.

- 1.- Realice la alimentación y comunicación de los equipos desde un proyecto nuevo de TIA Portal.
- 2.- Agregue y comunique el HMI como se realizó en la práctica #1.

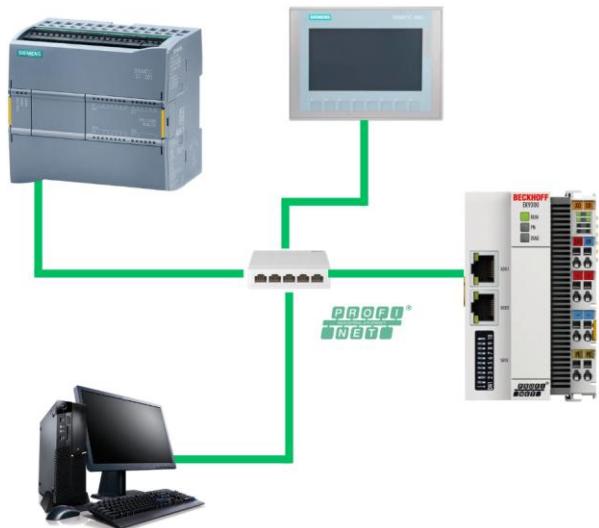


Diagrama de comunicaciones entre PLC, HMI, ordenador y acoplador de bus.

ETAPA 2: Condiciones de operación.

- Solo un botón activa el ciclado y no se detendrá hasta que otro botón active el paro.
- Los motores tienen que permanecer activos solo en el intervalo del tiempo asignado.
- Tomar en cuenta las sobrecargas de cada motor. El tablero de control electromagnético solamente dispone de 2 térmicos de sobrecarga, así que, por cuestiones de pruebas, se simulará la tercera sobrecarga con un botón pulsador normalmente cerrado.
- Solo el HMI activará o detendrá el ciclado.



ETAPA 3: Definición y etiquetado de elementos.

1.- Realice el etiquetado según las condiciones de operación.

ENTRADAS			
ELEMENTO DE TABLERO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE EL1008 EN TIA PORTAL	BORNE ELÉCTRICO DE MODULO

SALIDAS			
ELEMENTO DE TABLERO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE EL2008 EN TIA PORTAL	BORNE ELÉCTRICO DE MODULO

2.- Realice el etiquetado de las marcas en función a las entradas y acciones de control del HMI simulado.

DIRECCIÓN EN TIA PORTAL	FUNCIÓN
M2.0	Arranque
M2.1	Paro

3.- Registre los datos en el apartado de 'tags del PLC' del software TIA Portal.



ETAPA 4: Programación

1.- Desarrolle la programación correspondiente utilizando un temporizador con retardo a la conexión (TON) y bloques de comparación para realizar el ciclado con tiempo de los motores.

ETAPA 5: Esquema de control.

1.- Diseñe el diagrama de conexiones del control correspondiente a la programación de la presente práctica.
2.- Valide con su profesor.



ETAPA 6. Esquema de fuerza.

- 1.- Realice el diagrama de conexiones de fuerza del tablero de control electromagnético correspondientes a la programación de la presente práctica.
- 2.- Valide con su profesor.



ETAPA 7: Compilar y descargar.

1.- Compile y descargue en el PLC S7-1200 y en el EK9300.

ETAPA 8: Diseño y simulación de HMI.

- 1.- Diseñe el HMI correspondiente con dos botones que permitan el arranque y paro del ciclado, tres indicadores de activación para cada motor y para cada sobrecarga.
- 2.- Compile (1) y simule (2) el HMI.

Pruebas y resultados

- 1.- Realice las pruebas de funcionamiento correspondientes comprobando que la HMI controle el arranque y paro, así como que los motores se activen en el tiempo programado.
- 2.- Compruebe que el funcionamiento de las sobrecargas es el adecuado simulando disparos desde el tablero de control electromagnético.

Conclusiones



II.- PRÁCTICAS DE VARIADOR DE FRECUENCIA

Práctica #3

COMUNICACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN MOTOR POR VARIADOR DE FRECUENCIA MEDIANTE *PROFINET*.

Panorama de la práctica

Los variadores de frecuencia son un complemento de suma importancia para los motores eléctricos. Los variadores de frecuencia maximizan el ciclo de vida de los motores mediante la reducción del consumo energético gracias a la conversión de la distribución de la electricidad en una proporción ideal. Actualmente, la reducción de consumo energético es prioridad para muchas empresas, por lo cual, el variador de frecuencia es una herramienta útil y con muchas ventajas para la disminución de gastos de consumo y mantenimientos⁵. Además, tiene muchas aplicaciones en la industria gracias a que proporcionan un control robusto y preciso, necesario para operaciones industriales exigentes⁶.

Esta práctica está enfocada en realizar la conexión del variador de frecuencia con el ordenador por medio de *PROFINET* para realizar pruebas de control de velocidad de un motor trifásico, configurando parámetros y controlando el variador desde el software de TIA Portal.

Objetivo

Comunicar el variador de frecuencia con el ordenador desde el software TIA Portal e identificar las especificaciones de un motor trifásico que permitan la parametrización del

⁵ <https://www.dimaticperu.com/2022/06/la-importancia-de-los-variadores-de-frecuencia-para-la-integridad-de-los-motores-electricos/>

⁶ <https://suministrosparalaindustria.com/que-son-los-variadores-de-frecuencia/>



variador de frecuencia para controlar el arranque, paro y velocidad de un motor trifásico desde el software TIA Portal.

Fundamentos teóricos.

1.- Realice una investigación previa de para qué sirven los telegramas en el software TIA Portal.

Recursos

- Ordenador
- Módulo de variador de frecuencia
- Tablero de control electromagnético
- Switch de Ethernet
- Cables de prueba P1036 banana-banana 4mm
- Cables de Ethernet CAT5 con conectores RJ45 de cobre.

Seguridad en la ejecución de la actividad

1.- Identifique los riesgos de la presente práctica y llene la tabla.

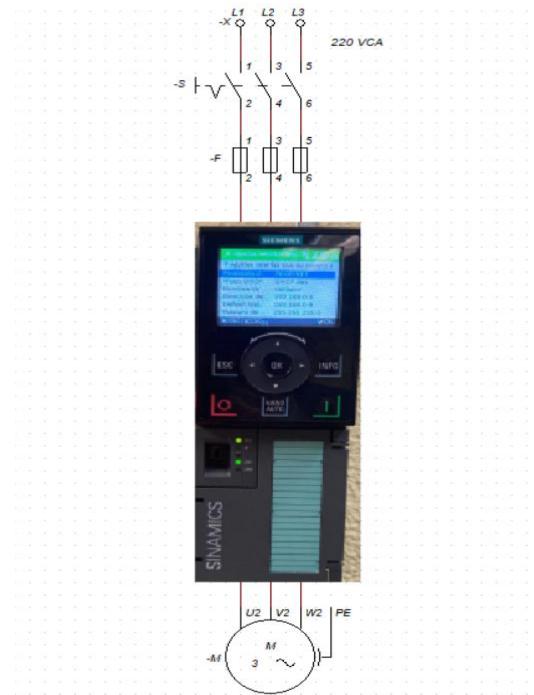
Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control



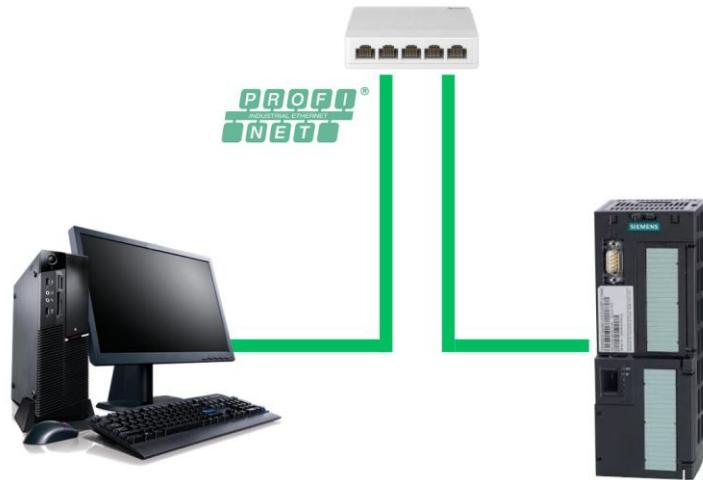
Desarrollo

ETAPA 1: Alimentación y comunicación del módulo de variador de frecuencia.

- 1.- Verifique que el controlador a utilizar contenga un módulo de potencia SINAMICS PM240-2; un módulo controlador CU-230P-2 PN y una pantalla de operación IOP-2. Además de todos los elementos de protección y de control necesarios para desarrollar la conexión y operación del controlador.
- 2.- Realice las conexiones de alimentación correspondientes para alimentar el módulo de variador de frecuencia y enciéndalo.
- 3.- Conecte el motor y verifique con su profesor.



Esquema de alimentación de variador de frecuencia



Esquema de comunicación de ordenador y variador de frecuencia por PROFINET.

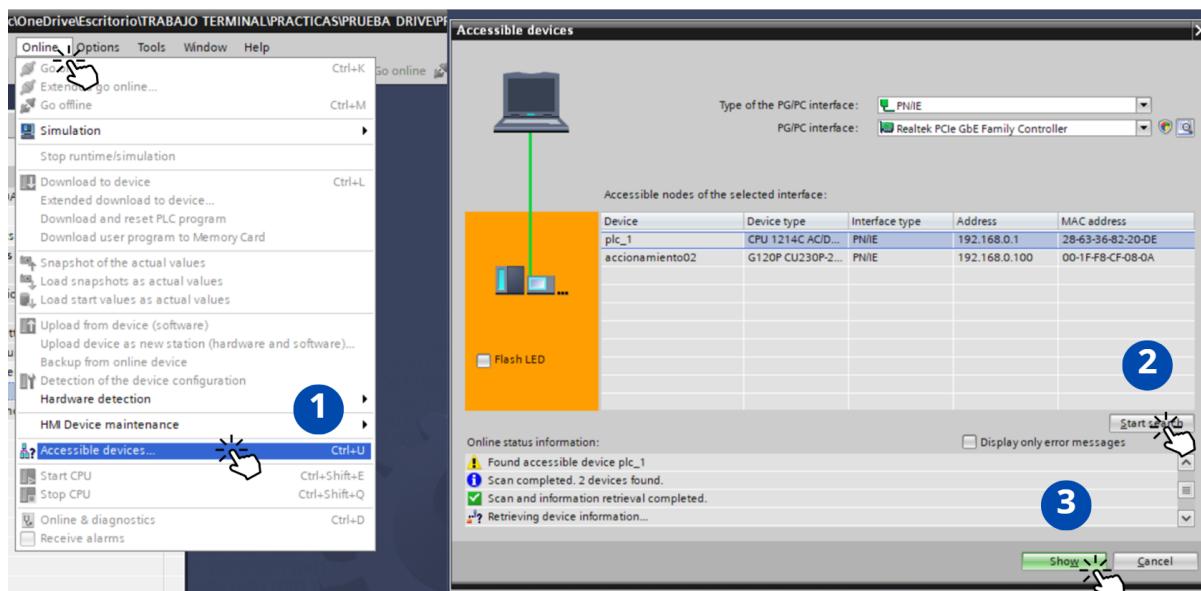
Etapa 2. Configuración y parametrización del variador y el motor.

- 1.- Restablezca los ajustes de fabrica del variador de frecuencia desde la pantalla de operación.



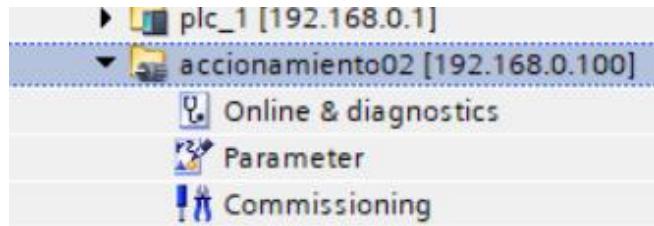
Reseteo de valores de fabrica desde variador.

2.- Abra un proyecto nuevo en TIA Portal y diríjase a la barra de menús, de clic en ‘opciones’ y seleccione la opción de ‘dispositivos disponibles’ (1). Dentro de la ventana, de clic en el botón ‘iniciar búsqueda’ (2), seleccione el variador de frecuencia detectado y de clic en el botón de ‘mostrar’.

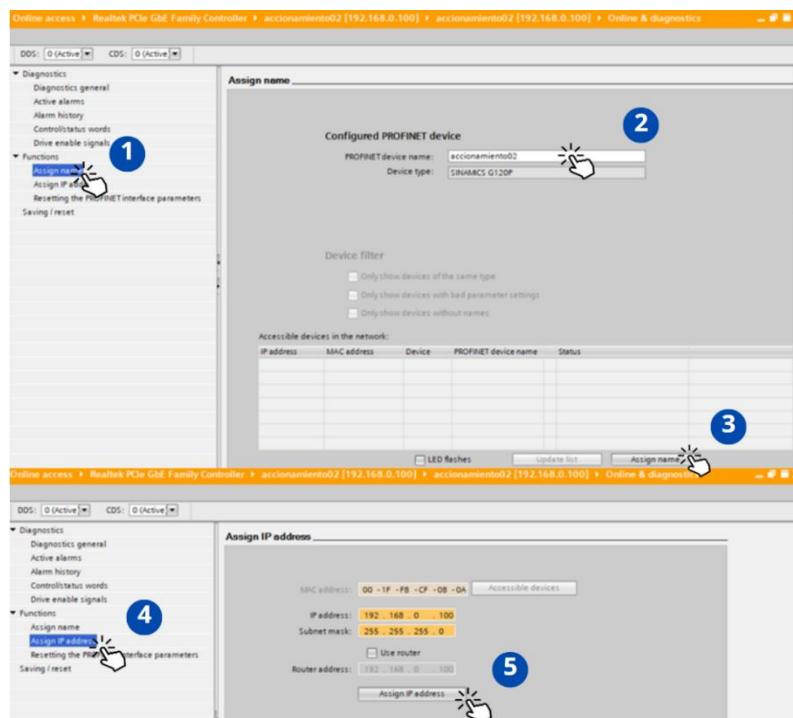




**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD ZACATENCO**



- 3.- Con el variador mostrado en el árbol de proyecto, seleccione el apartado de 'diagnósticos y en línea'. Seleccione la función de 'asignar nombre' (1), asígnele un nombre (2) y posteriormente de clic en el botón (3) para guardar los cambios.
- 4.- Del mismo modo asigne una dirección de IP (4) con el mismo identificador de red que el ordenador y un número de host distinto (5).

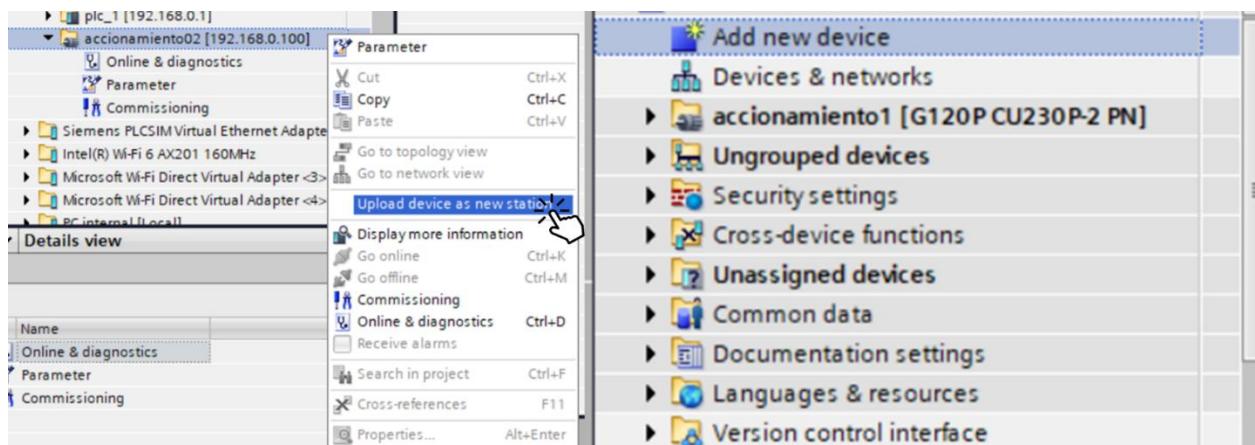


Asignación de nombre e IP a variador de frecuencia.

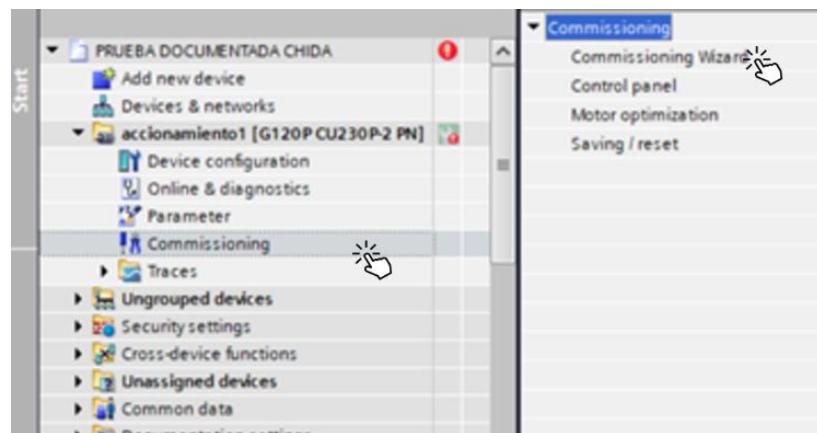
- 6.- Verifique que los cambios se hayan ejecutado correctamente dirigiéndose a los 'ajustes de interfaz de bus de campo' del variador de frecuencia.



5.- Cargue el dispositivo como una nueva estación, dando clic derecho y seleccionando la opción de ‘cargar dispositivo como nueva estación’.



6.- Una vez cargado como estación en el árbol de proyecto, seleccione la opción de ‘puesta en servicio’, y abra el wizard de la puesta en servicio.



7.- Configure los parámetros de acuerdo con las especificaciones del motor y su alimentación. Para más información consulte la Documentación didáctica / para cursos de formación de Siemens⁷.

8.- Seleccione una clase de aplicación de control de dispositivo estándar. Diríjase al Anexo B.

⁷ <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/drives/sce-062-101-frequency-converter-g120-pn-s7-1500-r1909-es.pdf>



9.- En 'especificación de consigna' seleccione la opción de intercambio de datos entre PLC y variador de frecuencia, puesto que para la aplicación de la práctica #4, el PLC intercambiará datos con el variador.

9.- Seleccione la configuración de entradas y salidas por bus de campo ya que se controlará por *PROF/NET*. Seleccione el telegrama 1 para la configuración del telegrama.

10.- Parametrice en base a la información de la placa del motor que esté utilizando.

The screenshots illustrate the configuration process through four windows:

- Application class:** Set to "Standard Drive Control (SDC)". Typical application: "Pumps, fans and compressors with flow characteristic". Typical characteristic values: Robust vector control for simple handling, Motor power up to 45 kW, Ramp-up times: greater than 5 – 10 s, Continuous motion with constant load, Static torque limiting, Stationary speed accuracy.
- Setpoint specification:** Set to "Data exchange" between PLC and Drive. Options: "Ramp function in the PLC", "Ramp function in the drive", and "Ramp function in the drive".
- Defaults of the setpoints/command sources:** Selects "Fieldbus with data set changeover". I/O configuration: DI 0: p105[1] Bit: jog bit 0; DI 1: p105[1] Bit: 1st acknowledge faults; DI 2: p210[1] Bit: 2nd acknowledge faults; DI 3: p810 Bit: Command data set selection CDS bit 0. DO 0: r52.3 COBO: Status word 1: Fault present; DO 1: r52.7 COBO: Status word 1: Alarm present; DO 2: r52.2 COBO: Status word 1: Operation enabled. AO 0: r21 CO: Actual speed smoothed; AO 1: r27 CO: Absolute actual current smoothed. Telegram configuration: "Standard telegram 1, PZD-2/2".
- Drive setting:** Standard: "NEMA motor (60 Hz, US units)". Drive unit line supply voltage: "220 V".



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD ZACATENCO



The image displays four windows from the TIA Portal Commissioning Wizard - (Online) interface:

- Drive options:** Configuration of optional braking resistor and drive filter. It shows a checkbox for "Braking resistor" and a dropdown for "Drive filter type motor side" set to "[0] No filter".
- Motor:** Specification of motor type and motor data. It includes a "Motor configuration" section with "Enter motor data" and a dropdown for "Select motor type" set to "[1] Induction motor". Below it is a table for "Please enter the following motor data:":

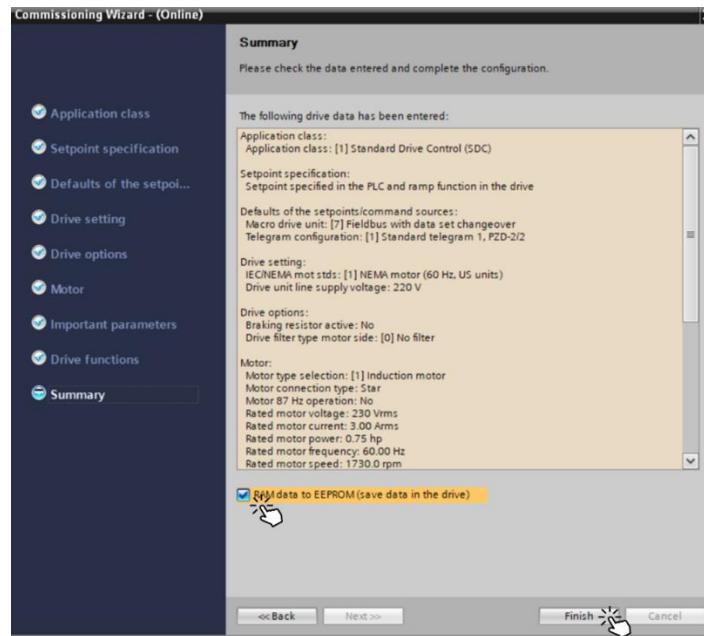
Parameter	Parameter text	Value	Unit
p305[0]	Rated motor current	3.00	Arms
p307[0]	Rated motor power	0.75	hp
p311[0]	Rated motor speed	1730.0	rpm

The following motor data is pre-assigned and can be changed if required:

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p304[0]	Rated motor voltage	230	Vrms
p310[0]	Rated motor frequency	60.00	Hz
p335[0]	Motor cooling type	[0] Natural ve...	

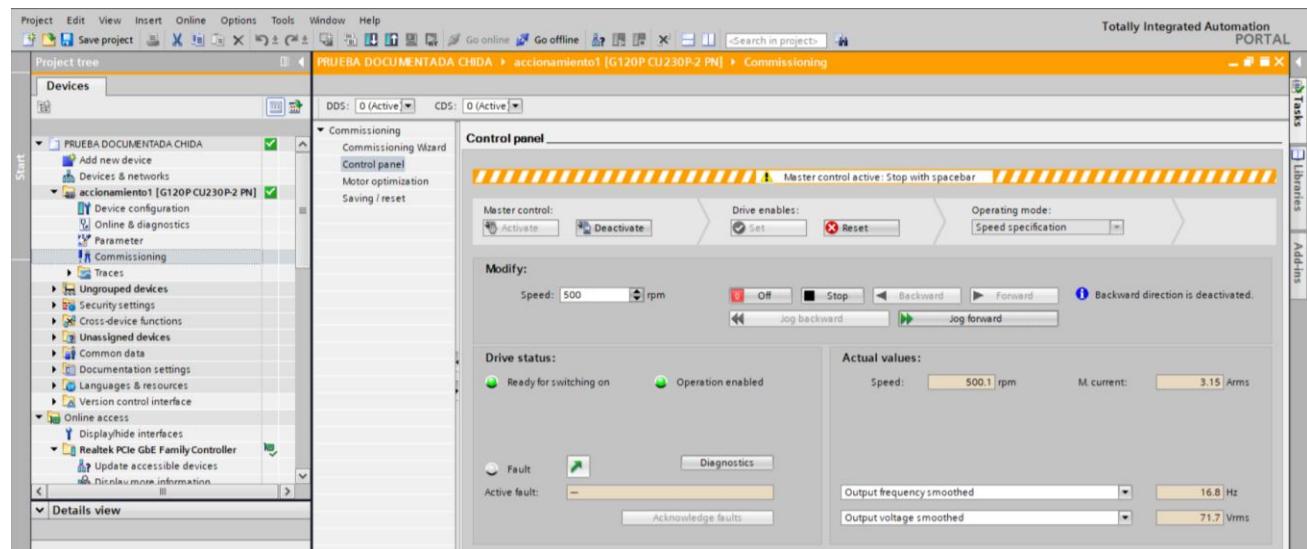
Temperature sensor: [0] No sensor
- Important parameters:** Specification of the most important dynamic response data. It includes sections for PLC synchronization (Reference speed: 1800.000 rpm, Maximum speed: 1800.000 rpm), ramp-up and ramp-down times (Ramp-up time: 5.000 s, OFF1 ramp-down time: 5.000 s, OFF3 (quick stop) ramp-down time: 0.000 s), and current limit (Current limit: 4.50 Arms). A note states: "These OFF1 and OFF3 ramp-down times apply for faults or a Safe Stop."
- Drive functions:** Specification of the method to measure the motor data. It includes a dropdown for "Technological application (Standard Drive Control)" set to "[0] Constant load (linear characteristic)". A note says: "A motor identification is required at the first commissioning." Another note states: "A motor data identification will be performed the next time that the drive is enabled. The motor draws current and may align itself up to a quarter of a revolution."

Parametrización en software TIA Portal.



8.- Después de finalizar la configuración de parámetros, diríjase a la opción de 'panel de control'. Compile y descargue en el variador de frecuencia, posteriormente active el 'control maestro'.

9.- Realice pruebas de habilitación, arranque, paro y ajuste de velocidad y compruebe que el funcionamiento y control sean los adecuados.



Panel de control de variador de frecuencia.



Pruebas y resultados

1.- Realice los siguientes ajustes en la velocidad desde el panel de control y verifique que los datos coincidan con la pantalla del variador de frecuencia.

Velocidad en panel de control	Velocidad en pantalla de variador de frecuencia
250 rpm	
400 rpm	
500 rpm	

Conclusiones.

1.- Explique la importancia de comunicar un variador de frecuencia y cuál es la diferencia entre parametrizar desde el variador físico y el software TIA Portal.



Práctica #4

ARRANQUE, PARO Y CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR CONTROLADO POR VARIADOR DE FRECUENCIA MEDIANTE UN SISTEMA DE PERIFERIA DESCENTRALIZADA.

Panorama de la práctica

Esta práctica se enfoca a la integración de los módulos y temas que se imparten en la asignatura de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* utilizando el protocolo de comunicación *PROFINET* y el módulo de periferia descentralizada.

También, se utilizará el bloque ‘SINA_SPEED’ para el desarrollo de un programa y una HMI que controlen un motor trifásico con variador de frecuencia desde dos estaciones. Una estación será el tablero de control electromagnético, donde dos botones pulsadores arrancan y paran el motor. La segunda estación será el HMI que permitirá ajustar la velocidad del motor, así como su paro y arranque.

Objetivo

Identificar la importancia de la periferia descentralizada y el protocolo de comunicación *PROFINET* para la integración de equipos de automatización y conocimientos adquiridos en la materia de *Control de Máquinas y Procesos Eléctricos* en una sola tarea de automatización.

Recursos

- Módulo de PLC Siemens S7-1200
- Tablero de control electromagnético
- Ordenador
- Fuente de poder de 24 VCD
- Módulo de periferia descentralizada EK9300 de la marca Beckhoff

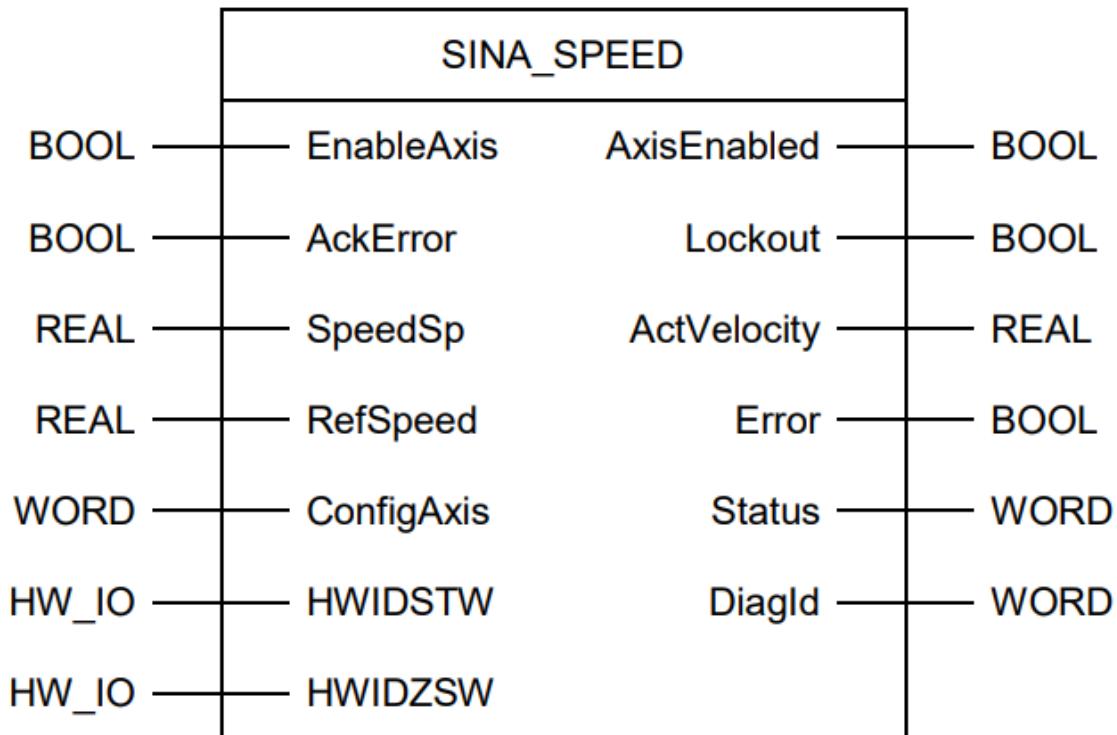


- Switch de Ethernet
- Cables de prueba P1036 banana-banana 4mm
- Cables de Ethernet CAT5 con conectores RJ45 de cobre.
- 3 motor trifásicos de inducción abierto
- Módulo de variador de frecuencia

Fundamentos teóricos

Bloque SINA_SPEED.

El bloque de función “SINA_SPEED” se utiliza para controlar cíclicamente un accionamiento SINAMICS G120 con el telegrama estándar 1⁸.



Representación de bloque SINA_SPEED

⁸ Siemens Industry Online Support, SINAMICS G: Control de velocidad de eje con el bloque “SINA_SPEED”, pág. 10-11



“SINA_SPEED” Parámetros de entrada			
Nombre	Tipo de dato	Valor inicial	Función
EnableAxis / Habilitar eje	Booleano	FALSE	Arranque y paro del accionamiento
AckError / Reconocimiento de errores	Booleano	FALSE	Reconocimiento de errores en el accionamiento (asignación de palabra de control del accionamiento 1 bit 7)
SpeedSp / Setpoint de velocidad	Real	0.0	Velocidad esperada
RefSpeed / Velocidad de referencia	Real	0.0	Velocidad de referencia del variador. (La entrada debe ser idéntica al parámetro p2000 del variador)
ConfigAxis / Configuración de eje	Word	16#003F	Asignación de la palabra de control del accionamiento (parámetro del accionamiento r2090).
HWIDSTW	HW_IO	0	Valor de ajuste de ID de hardware (consulte la sección ranura de telegrama)
HWIDZSW	HW_IO	0	Valor actual de ID de hardware (consulte la sección Ranura de telegrama)



“SINA_SPEED” Parámetros de salida			
Nombre	Tipo de dato	Valor inicial	Función
AxisEnabled / Eje habilitado	Booleano	FALSE	Funcionamiento de la unidad habilitado
Lockout / Bloqueado	Booleano	FALSE	Bloqueo de la unidad está activa
ActVelocity / Velocidad Actual	Real	0.0	Velocidad actual real
Error	Booleano	FALSE	Falla de unidad activa
Status / Estado	Word	0	Valores de estado
DiagId	Word	0	Fallo de comunicación ampliado (error al llamar comando)

Seguridad en la ejecución de la actividad

Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control



--	--	--

Desarrollo

ETAPA 1: Alimentación y comunicación del tablero de control electromagnético, el módulo de PLC S7-1200, el módulo de periferia descentralizada EK9300 y el variador de frecuencia.

- 1.- Alimente el módulo de PLC S7-1200, el módulo de periferia descentralizada EK9300, el tablero de control electromagnético y el módulo de variador de frecuencia.
- 2.- Comunique los dispositivos con el switch.
- 3.- Abra un proyecto nuevo en el software TIA Portal y agregue y comunique los equipos tomando de referencia las prácticas anteriores.

ETAPA 2: Condiciones de operación.

- Dos botones pulsadores del tablero de control electromagnético arrancarán y pararán el motor.
- Una HMI permitirá ajustar la velocidad del motor al igual que accionar su paro y arranque.

ETAPA 3: Definición y etiquetado de elementos.

- 1.- Identifique los elementos físicos y parámetros del bloque que requiere para realizar la programación. **NOTA.** Revise el tipo de dato de cada parámetro



ENTRADAS			
ELEMENTO DE TABLERO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN DE EL1008 EN TIA <i>Portal</i>	BORNE ELÉCTRICO DE MODULO

SINA_SPEED		
PARAMETRO	FUNCIÓN	DIRECCIÓN EN TIA <i>Portal</i>
EnableAxis		
SpeedSP		
AxisEnabled		
ActVelocity		

2.- Identifique las marcas necesarias para los accionamientos del HMI.

DIRECCIÓN EN TIA <i>Portal</i>	FUNCIÓN
%M0.5	Arranque
%M0.6	Paro

3.- Registre los datos en el apartado de 'tags del PLC' del software TIA Portal.

ETAPA 4: Programación

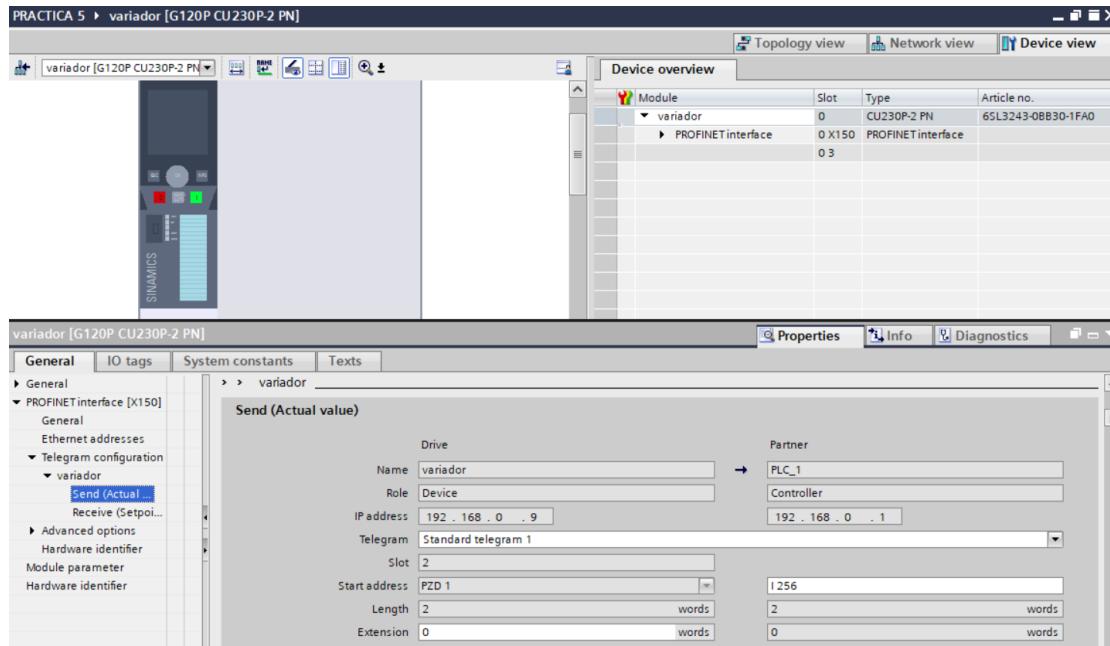
1.- Realice la programación correspondiente a lo que se pide.



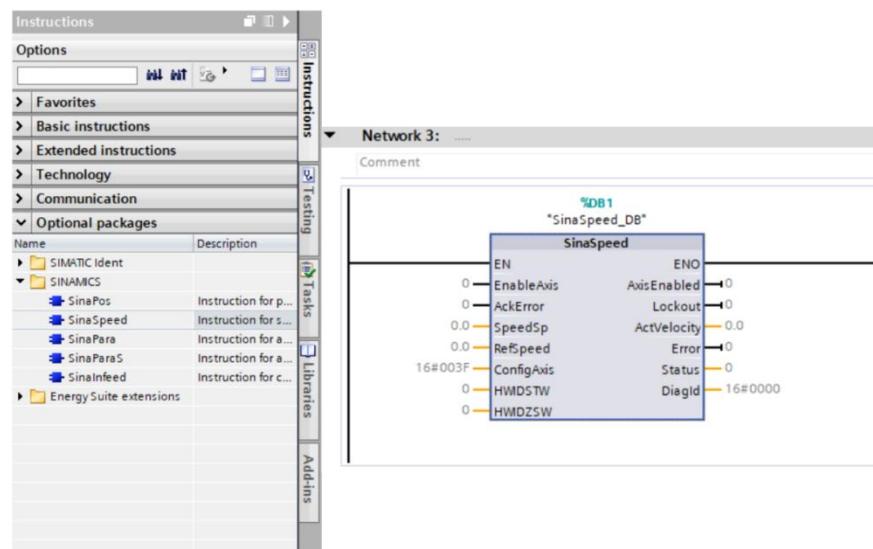
**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD ZACATENCO**



2.- Verifique en las propiedades del dispositivo del variador de frecuencia que la configuración del telegrama esté configurada para enviar y recibir al PLC. **NOTA.** En caso de no estarlo, configure para enviar y recibir información como se muestra en la siguiente imagen:



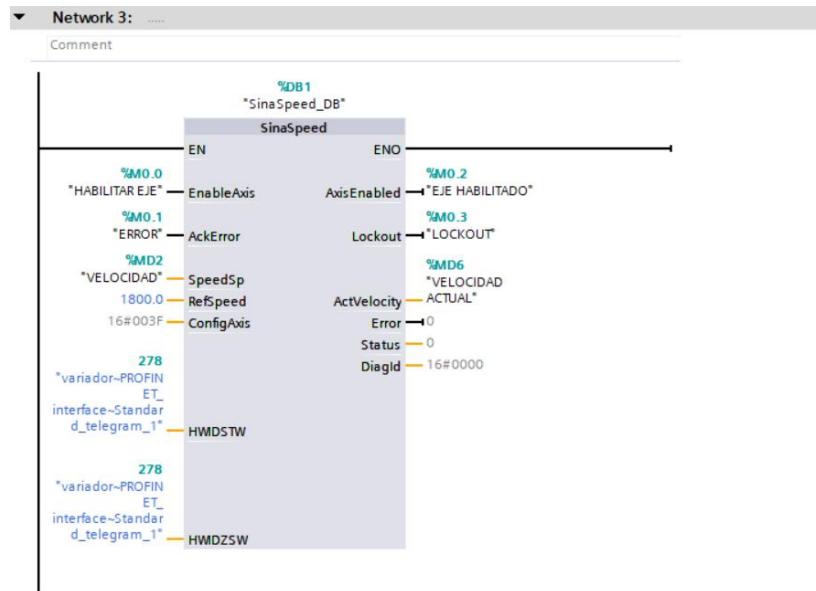
3.- Dentro del ‘Main’, despliegue la opción de ‘instrucciones’ a lado derecho de la interfaz. Busque en la carpeta de ‘paquetes opcionales’ la carpeta de ‘SINAMICS’. Seleccione el bloque ‘SINA_SPEED’ y arrástrelo programa.





4.- Defina los tags de acuerdo con el análisis de la etapa 3 y el tipo de dato correspondiente al programa desarrollado.

5.- Seleccione el telegrama 1 en el parámetro HWDSTW y HWDZSW.



ETAPA 5: Esquema de control.

1.- Realice el esquema de control correspondiente.



ETAPA 6. Esquema de fuerza del variador de frecuencia.

1.- Realice el esquema de fuerza correspondiente del variador de frecuencia.

ETAPA 7: Compilar y descargar.

1.- Compile y descargue en el PLC S7-1200 y en el EK9300.

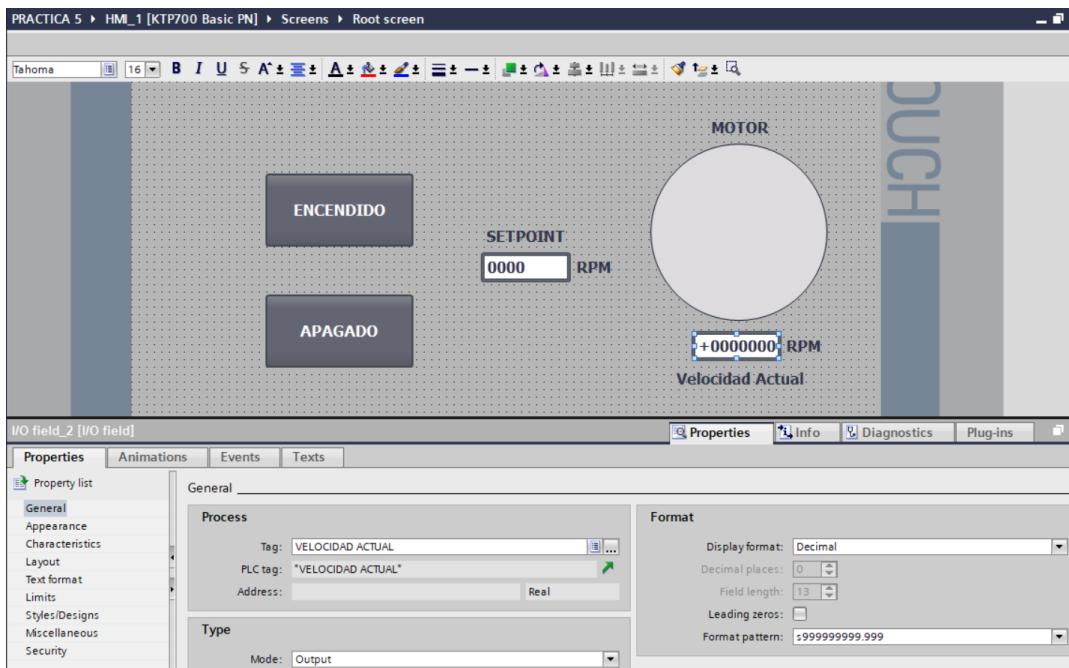
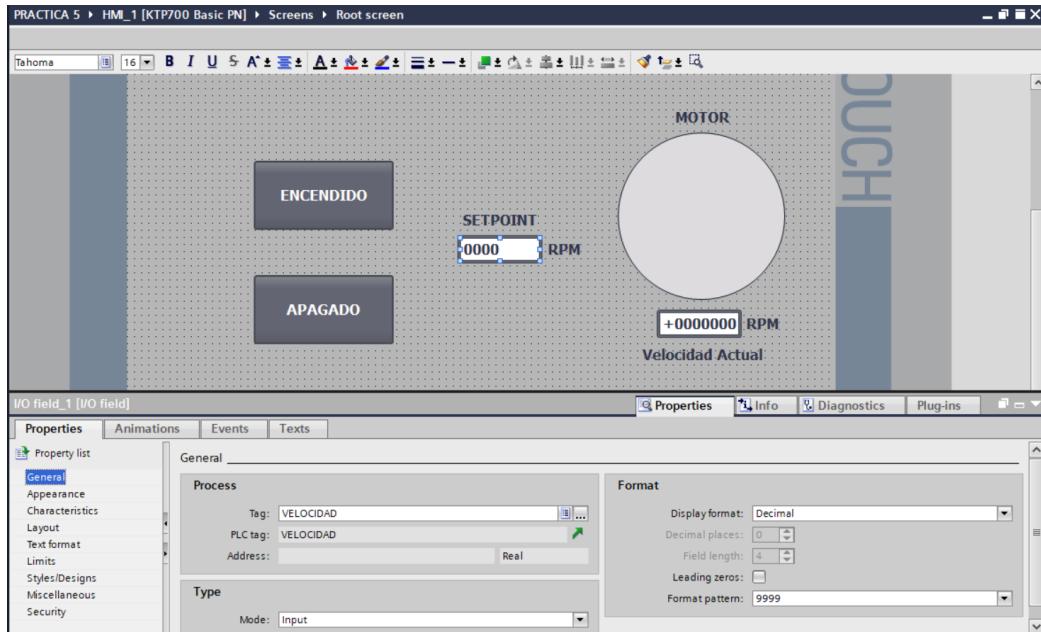
ETAPA 8: Diseño y simulación de HMI

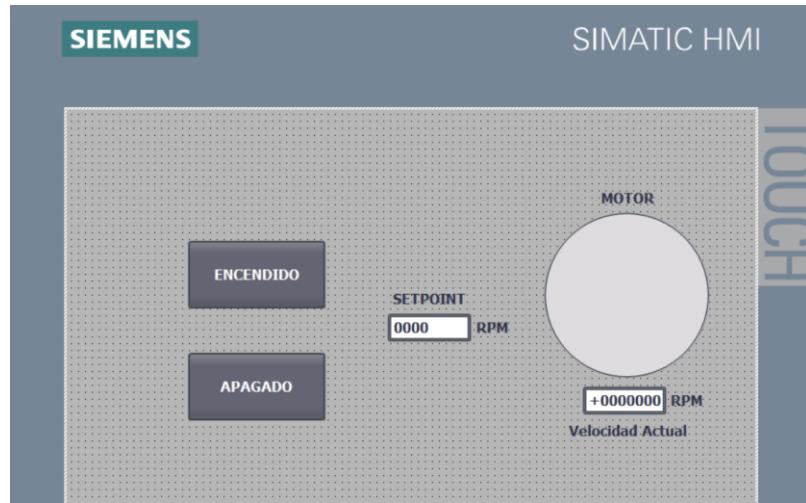
1.- Realice el HMI correspondiente con un botón de encendido y otro de apagado, un indicador de activación del motor y dos campos de entradas y salidas.

2.- El primer campo será para ingresar el setpoint de velocidad, por lo tanto, el tag que se le asigne deberá ser el de la asignación de velocidad del bloque 'SINA_SPEED' y el segundo para visualizar la velocidad actual del motor. Configure de la siguiente manera según su etiquetado:



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD ZACATENCO





Pruebas y resultados

1.- Realice los siguientes ajustes en la velocidad desde la HMI y verifique que los datos coincidan con la pantalla del variador de frecuencia y la velocidad del motor.

Velocidad en panel de control	Velocidad en pantalla de variador de frecuencia
500 rpm	
600 rpm	
750 rpm	

Conclusiones

1.- Mencione la importancia de la periferia descentralizada en la integración de los módulos y tableros del laboratorio y qué beneficios trae consigo.