

Mireya Zapata
Kevin Valencia Aragón
Edgar Tipán

The background of the cover features a blue-tinted image of industrial automation equipment. On the left, a Siemens SIMATIC 37-1100 control cabinet is visible, with its HMI screen displaying an 'Overview' page for 'S7-1500'. To the right, another Siemens SIMATIC 300 control cabinet is shown, also with its HMI screen displaying a similar interface. The background is overlaid with a grid of glowing blue lines, suggesting a digital or networked environment.

Eficiencia y productividad

Aplicaciones industriales con
autómatas programables

**Eficiencia y productividad:
aplicaciones industriales
con autómatas programables**

Fecha de publicación: 01 de julio de 2024

Autoridades

Ing. Saúl Lara, Mg. – Canciller

Ing. Luis David Prieto, PhD – Rector

Ing. Janio Jadán, PhD – Vicerrector de Investigación

Lic. Nelly López, PhD – Vicerrectora académica y de vinculación

Ing. Aidé Naranjo, Mg. – Vicerrectora Administrativa y de Aseguramiento de la Calidad

© Autores: Mireya Zapata^{1,2}, Kevin Valencia-Aragón¹, Edgar Tipán³

¹ Centro de Investigación en Mecatrónica y Sistemas Interactivos (MIST), Universidad Indoamérica, Quito, Ecuador. Correo: mireyazapata@uti.edu.ec, kg.va1234@gmail.com

² Facultad de Ingeniería, Industria y Producción, Universidad Indoamérica, Quito, Ecuador.

³ Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Sangolquí, Ecuador. Correo: eftipan@espe.edu.ec

ISBN 978-9942-821-86-7

Registro SENADI: QUI-065801

Revisado y aprobado para su publicación por el Comité Editorial de la Universidad Tecnológica Indoamérica (Quito, Ecuador) y por los revisores: Ing. Jorge Álvarez-Tello, MSc (Consultor del Centro de Innovación Social y Desarrollo [CISDE], Ecuador) e Ing. Bernardo Vallejo-Mancero, MSc (Universitat Politècnica de Catalunya, España).

Editor: Ing. Hugo Arias Flores, MBA

Editorial de la Universidad Indoamérica. Quito, Ecuador.



Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la fotocopia y el tratamiento informático, sin autorización escrita del titular del copyright, bajo las sanciones previstas por las leyes.

Para citar este libro:

Zapata, M., Valencia-Aragón, K. y Tipán, E., (2024). *Eficiencia y productividad: aplicaciones industriales con autómatas programables*. Quito: Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica.

**Eficiencia y productividad:
aplicaciones industriales
con autómatas programables**

Mireya Zapata

Kevin Valencia-Aragón

Edgar Tipán



Índice de contenido

Prólogo	11
Introducción.....	13
Capítulo 1	
Introducción al PLC, entorno de TIA Portal y dispositivos del panel de entrenamiento	
15	
Introducción.....	17
Autómata programable PLC S7-1200	19
Aplicaciones con PLC S7-1200	21
Entorno de desarrollo Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal)	23
Vista del portal y vista del proyecto	23
Vista del portal	24
Vista del proyecto	25
Creación de un proyecto	26
Configuración de la dirección IP del PLC.....	27
Tipos de datos.....	30
Asignación de variables	31
Bloques de programación en un programa de PLC.....	33
Entorno de programación en Ladder.....	34
Compilación y carga del programa Ladder en el PLC.....	35
Comprobación del funcionamiento online.....	37
Plataforma de entrenamiento de automatización industrial	38
Módulo de alimentación AC	38
Módulo de alimentación DC	39

Módulo PLC.....	40
Módulo de mando y señalización	41
Módulo de relés de control	42
Módulo de contactores.....	43
Módulo de medición e indicación.....	44
Panel de operador HMI	46
Panel variador de frecuencia.....	47
Módulo IIoT Simatic 2040	48
Cuestionario.....	49

Capítulo 2

Lenguajes de programación Ladder y GRAFCET	51
Introducción.....	53
Lenguaje de programación de escalera o Ladder (LD).....	53
Simbología de programación en Ladder	53
Estructura de programación.....	54
Lenguaje de programación gráfico GRAFCET	55
Niveles de descripción	56
Elementos de GRAFCET	58
Etapas	58
Transición y receptividad.....	60
Líneas de enlace	60
Acciones asociadas	60
Bifurcaciones OR	62
Bifurcaciones AND.....	63
Macroetapas.....	63
Actividades experimentales	64
Automatización de una alarma contraincendios.....	64
Automatización de proceso de mezclado industrial.....	66
Cuestionario.....	67

Capítulo 3

Instrucciones en TIA Portal de programación básicas en Ladder	69
Introducción.....	71
Programación con instrucciones binarias.....	71
Instrucciones binarias.....	71
Contacto normalmente abierto	73
Contacto normalmente cerrado	73
Asignación o bobina	73
Negación de asignación	74
Inversión Not	74
Activación de salida SET	74
Desactivación de salida RESET	75
Activación y desactivación de mapa de bits SET_BF y RESET_BF	75
Detección de flanco ascendente y descendente.....	76
Flip Flop SR y RS.....	76
Programación con temporizadores y contadores.....	77
Temporizadores.....	77
Temporizador on-delay	78
Temporizador off-delay	79
Contadores.....	81
Contador ascendente	81
Contador descendente.....	81
Programación con operaciones de carga de datos	82
Instrucciones de carga o transferencia de datos.....	82
MOVE	83
MOVE_BLK.....	83
FILL_BLK.....	84
Instrucciones de desplazamiento y rotación.....	84
Instrucciones SHR y SHL.....	85
Instrucciones ROR y ROL.....	86

Programación con operaciones aritméticas	86
Instrucciones aritméticas	86
Instrucciones de comparación	87
Operaciones matemáticas	88
Operaciones lógicas	89
Bloques de datos DB.....	90
Actividades experimentales	91
Automatización de un sistema de control ON/OFF de tres motores	91
Planteamiento del problema.....	92
Cuestionario.....	93
Automatización de montacargas	93
Planteamiento del problema.....	94
Cuestionario	95
Sistema de juego de luces	96
Planteamiento del problema.....	96
Cuestionario.....	97
Automatización de un sistema de semaforización inteligente.....	97
Planteamiento del problema.....	98
Cuestionario.....	99

Capítulo 4

Programación de entradas y salidas analógicas e interfaz

humano-máquina (HMI)	101
Introducción.....	103
Identificación de entradas y salidas analógicas y sus direcciones	104
Configuración del signal board 6ES7232-4HA30-0XB0.....	106
Escalamiento de señales analógicas.....	107
Paneles de operador o interface humano máquina (HMI)	108
Comfort Panels.....	109

Basic Panels	109
Mobile Panels.....	109
Key Panels.....	109
Configuración del panel de operador	109
Creación de la interfaz gráfica en el panel de operador	111
Actividad experimental.....	122
Programación y diseño de interfaz HMI de un proceso de mezclado de dos químicos	122
Cuestionario.....	124
Capítulo 5	
Maximizando la eficiencia industrial: análisis y medición	125
Introducción.....	127
Análisis de procesos.....	127
Diagrama de flujo.....	128
Caracterización de proceso.....	129
Auditoría de procedimientos de trabajo.....	131
Medición de trabajo.....	131
Técnicas para medir el trabajo	131
Estudio de tiempos.....	131
Importancia del estudio de tiempo	132
Tiempo normal.....	132
Tiempo estándar	133
Tiempo improductivo	133
Actividad experimental.....	133
Programación y diseño de interfaz HMI de un proceso de mezclado de dos químicos con registro y análisis de tiempos	133
Cuestionario.....	134

Capítulo 6

Arranque de motor directo y arranque estrella triángulo desde un PLC	135
Introducción.....	137
Arranque directo.....	137
Arranque estrella triángulo.....	138
Actividades experimentales	140
Arranque directo de motor trifásico	140
Arranque de motor en configuración estrella triángulo	141
Cuestionario.....	143

Capítulo 7

Programación básica de variadores de velocidad SINAMIC V20	145
Introducción.....	147
Ventajas.....	148
Variadores SINAMICS V20	149
Puesta en marcha rápida	155
Puesta en marcha rápida a través del menú de configuración.....	155
Puesta en marcha rápida a través del menú de parámetros	159
Puesta en marcha rápida convencional (PMRC).....	159
Puesta en marcha rápida estimada (PMRE)	159
Conexiones.....	163
Conexión con el PLC.....	164
Actividades experimentales	164
Control de motor trifásico usando variador de frecuencia	164
Control del variador con botonera.....	166
Control del variador con PLC.....	167
Referencias bibliográficas	171

Prólogo

Es un honor introducir este libro que aborda un tema fundamental en el panorama industrial contemporáneo: la automatización y su influencia en el desarrollo tecnológico. En mi experiencia profesional en diversos proyectos nacionales e internacionales de desarrollo en máquinas especiales y de precisión, he sido testigo de los notables avances que la automatización ha traído consigo, tanto en términos de eficiencia productiva como de innovación tecnológica.

En la era actual, caracterizada por la acelerada evolución tecnológica, la automatización industrial se erige como el pilar fundamental para el progreso y la eficiencia en la producción de bienes y servicios. Este libro es un testimonio de la importancia crucial que la automatización tiene en el desarrollo industrial, destacando su papel como catalizador de la innovación tecnológica. Desde sus orígenes, la automatización ha experimentado una metamorfosis continua, transformándose de simples máquinas automatizadas a complejos sistemas basados en autómatas programables, como el PLC S7-1200, que se aborda en estas páginas. Este desarrollo tecnológico ha revolucionado la gestión de los procesos industriales y ha sido un impulsor esencial de la mejora de la producción, permitiendo la fabricación de productos más eficientes y de alta calidad.

En el contexto actual, donde la competitividad global es más feroz que nunca, la capacidad de un país para innovar y adoptar tecnologías de automatización avanzadas se ha convertido en un indicador crucial de su fortaleza industrial. La eficiencia y precisión que aporta la automatización no solo reduce costos, sino que abre nuevas fronteras para la creatividad y la excelencia en la producción. Este libro se presenta como una herramienta para aquellos que buscan no solo comprender los principios fundamentales de la automatización industrial, sino también aplicarlos para impulsar el desarrollo tecnológico de la región. En el ámbito más amplio, destaca el papel crucial de la automatización en la Revolución industrial del siglo XXI. Al abordar la programación avanzada y el desarrollo de casos prácticos aplicables en la industria, proporciona a los lectores las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos tecnológicos emergentes. El conocimiento adquirido no solo mejora la competitividad individual, sino que contribuye al desarrollo general de procesos productivos y, por ende, al progreso de la nación.

Al concluir estas líneas introductorias, se espera que este libro sirva como guía para aquellos que buscan no solo entender, sino liderar la revolución tecnológica que impulsa la automatización industrial. La aplicación efectiva de estos conocimientos mejora la producción y la eficiencia, además de contribuir con el florecimiento continuo de la innovación y la competitividad industrial. La automatización industrial, como se aborda en estas páginas, no es solo una herramienta; es un catalizador de cambio, un motor que impulsa el progreso y una fuerza vital para el futuro tecnológico de un país.

Me gustaría expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que colaboraron con los autores en la elaboración de este documento. A los asistentes, editores, colegas y amigos que contribuyeron con su esfuerzo, dedicación y conocimientos para hacer posible esta obra, les estoy profundamente agradecido. Sin su valiosa colaboración y apoyo, este proyecto no habría sido posible.

Finalmente, confío en que su lectura inspire a los lectores a explorar nuevas oportunidades y aplicaciones en este emocionante campo. Aspiro a que exhorte a aprovechar al máximo el potencial transformador de la automatización para impulsar la innovación y el progreso en la industria y la sociedad en general.

Jorge Álvarez-Tello

Centro de Innovación Social y Desarrollo (CISDE) en Ecuador

Introducción

La evolución constante en el ámbito industrial ha llevado a la automatización a desempeñar un papel crucial en la mejora de procesos y la eficiencia de la producción. En este contexto, el libro que presentamos se erige como un recurso de aprendizaje para aquellos interesados en profundizar en los fundamentos y aplicaciones prácticas de la automatización industrial, con un enfoque específico en el autómatas programable PLC S7-1200.

La primera sección se sumerge en el entorno de desarrollo denominado Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal). Desde la visión general del portal hasta la creación de proyectos, se abordan aspectos cruciales como la tipología de datos y la asignación de variables. Estos conocimientos sientan las bases para una programación efectiva del PLC, brindando a profesionales y estudiantes las herramientas necesarias para abordar desafíos complejos en el campo de la automatización. La comprensión profunda de la interfaz del TIA Portal es esencial para los desarrolladores de software y contribuye a una gestión más eficiente de proyectos de automatización, optimizando recursos y tiempos de desarrollo.

La segunda sección del libro aborda la Plataforma de Entrenamiento de Automatización Industrial IAM-S7-1200, que se erige como un símbolo tangible de la convergencia entre teoría y aplicación práctica. Aquí se examinan en detalle módulos que van desde la alimentación hasta dispositivos de control como relés y contactores. Se destaca la importancia de elementos clave como el panel de operador HMI y el panel variador de frecuencia, que son esenciales para la supervisión y el control efectivo de sistemas automatizados. Se proporciona información detallada sobre módulos específicos, como el IIoT Simatic 2040. Además, se abordan cuestiones relacionadas con la alimentación, la señalización y la medición, propiciando una base sólida para el diseño y la implementación de sistemas de automatización industrial avanzados. Este enfoque práctico se alinea perfectamente con la necesidad actual de profesionales y estudiantes de adquirir habilidades que no solo sean teóricas, sino también aplicables en entornos industriales dinámicos y desafiantes.

A continuación, se hace énfasis en los lenguajes de programación Ladder (LD) y GRAFCET. Se explora la simbología y estructura de programación en Ladder y se proporcionan ejemplos prácticos —como la automatización de una alarma contra incendios y el control de procesos de mezclado industrial—. Estos ejemplos específicos permiten a los lectores vincular la teoría con aplicaciones del mundo real, fortaleciendo así su comprensión y habilidades prácticas en la programación de PLC. Además, el estudio del GRAFCET agrega una capa de versatilidad al repertorio de habilidades del lector, permitiéndole abordar problemas complejos de automatización de manera eficiente. La capacidad de programar autómatas es fundamental para la optimización de procesos actuales y sienta las bases para la adaptabilidad futura a medida que la tecnología sigue avanzando.

Se abordan aspectos más avanzados de la programación, desde instrucciones binarias hasta el control de variadores de frecuencia SINAMICS V20. Los lectores se sumergen en la identificación de entradas y salidas analógicas, la configuración de señales y su escalado. La creación de interfaces gráficas en el panel de operador y la programación de variadores para controlar motores trifásicos ofrecen experiencias prácticas y aplicadas que consolidan el conocimiento adquirido a lo largo del libro. Este enfoque avanzado prepara a los lectores para enfrentar desafíos industriales complejos, equipándolos con habilidades que van más allá de la programación básica de PLC.

En conclusión, este libro es una guía completa y detallada para quienes desean explorar el mundo de la automatización industrial. Desde los conceptos fundamentales hasta las aplicaciones avanzadas, cada capítulo está diseñado para proporcionar un conocimiento integral y aplicable. Este material es valioso tanto para profesionales de la industria que buscan mejorar sus habilidades como para estudiantes que desean adentrarse en el campo de la automatización industrial. Al consolidar la teoría con ejemplos prácticos y aplicaciones del mundo real, este documento se convierte en una herramienta esencial para el desarrollo de competencias en programación y diseño de sistemas automatizados. Además, no solo aborda la tecnología actual, sino que sienta las bases para futuras exploraciones y desarrollos en el campo de la automatización industrial.

Capítulo 1

Introducción al PLC, entorno de TIA Portal y dispositivos del panel de entrenamiento



Introducción

En todas las industrias, se utiliza una variedad de máquinas, algunas simples y otras más complejas, para convertir las materias primas en un producto terminado, a través de un proceso y una serie de transformaciones. Con el fin de mejorar la calidad y eficiencia de estos productos, se han realizado esfuerzos significativos para automatizar los procesos industriales [1].

El término *automatización* viene del griego *autos*, que significa *por sí mismo*; y *maiomai*, *lanzar*. Traduciendo estos términos, automatización significa “actuar por sí mismo”. La automatización se basa en la utilización de tecnologías para monitorear y controlar varios tipos de máquinas o dispositivos. Para lograrlo, se puede recurrir a técnicas de control cableadas o a sistemas de electrónica programada.

La lógica programada sustituye a los elementos de mando convencionales —como relés eléctricos, contactores, temporizadores y contadores, entre otros— por autómatas programables, mejor conocidos como PLC’s (Programmable Logic Controllers). Para que un sistema pueda funcionar con lógica programada, es necesario desarrollar un programa en algún lenguaje de programación compatible con los PLC’s, los cuales están especificados en las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Los cambios en la programación no implican necesariamente una modificación en el cableado de las entradas y salidas del PLC [2].

Los PLC’s tienen su origen en 1968 ante un requerimiento de la empresa General Motors a sus proveedores de equipamiento eléctrico y desde entonces han evolucionado de forma paralela con la electrónica y las telecomunicaciones. En la actualidad, son dispositivos muy versátiles e indispensables dentro de la automatización de procesos industriales, los cuales pueden incluso monitorearse y controlar desde dispositivos remotos [3].

La norma IEC 61131-3 [4] determina la base para la programación, facilitando el entendimiento de programas desarrollados en diferentes marcas y modelos de PLC, estableciendo al denominado Ladder o “escalera” como su lenguaje de programación por excelencia, establecido de facto, para el desarrollo de aplicaciones. Sin embargo, puede ser programado en otros lenguajes de programación como bloques de funciones, GRAFCET o lista de instrucciones.

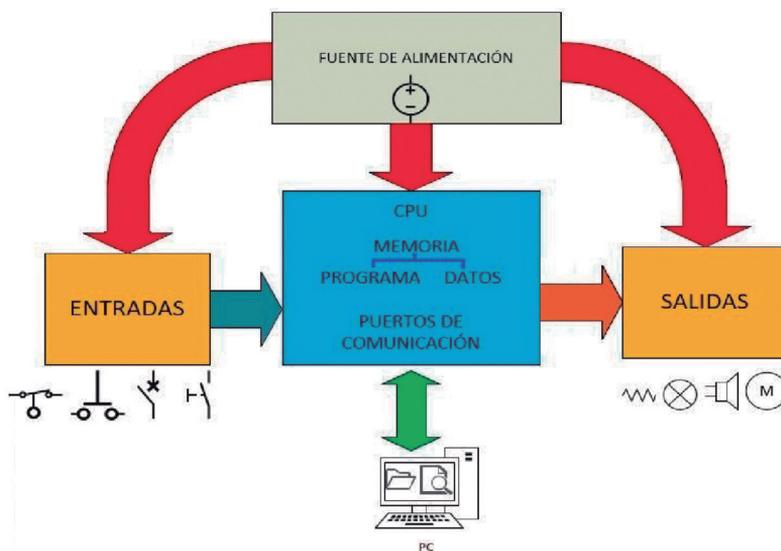


Figura 1. Arquitectura PLC. Tomado de [2].

Como se observa en la Figura 1, la arquitectura interna del PLC está compuesta por una unidad central de procesamiento (CPU), memorias de datos y programa, además de entradas, salidas y puertos de comunicación para su interacción con el entorno. El funcionamiento de un PLC requiere una fuente de alimentación que puede ser externa o integrada dependiendo del modelo y fabricante del equipo [5].

Siemens es una marca de PLC's y otros dispositivos de automatización de origen alemán con alta presencia en el mercado y reconocimiento internacional. Para este fabricante, los PLCs han evolucionado desde modelos como S7-200, S7-300 y S7-400 a los actuales S7-1200, orientados a aplicaciones compactas y sencillas, considerados entre gama micro o básica. La serie S7-1500 se emplea para aplicaciones básicas y avanzadas, como muestra la Figura 2.

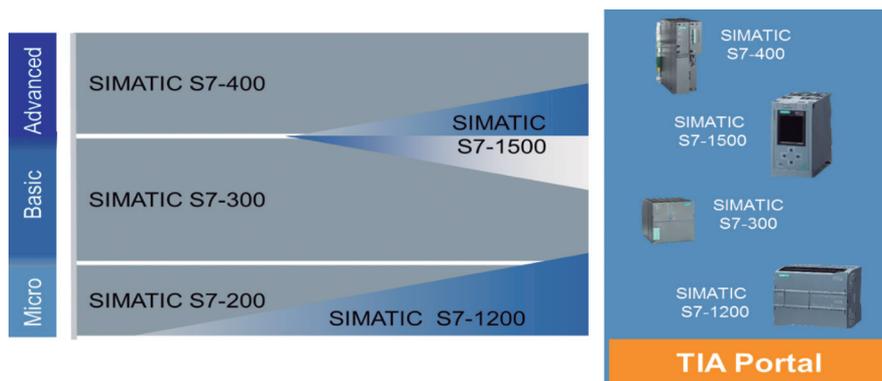


Figura 2. Familias de PLC Siemens. Tomado de [6].

Autómata programable PLC S7-1200

Es considerado como un PLC micro modular. Está compuesto por un CPU que incluye un limitado número de entradas y salidas, tanto digitales como analógicas. Tiene una alta escalabilidad, admitiendo hasta once módulos de expansión de E/S y hasta tres de comunicación (CM); dependiendo del CPU, estos pueden ser montados en un riel DIN y conectados a partir de un conector bus (ver Figura 3). Una característica distintiva del S7-1200 es la inclusión de un puerto de comunicación Profinet en su CPU. Este puerto permite la conexión del PLC a una red de datos y facilita su configuración y programación a través de una conexión en red con un ordenador. Además, este PLC es compatible con varios protocolos de comunicación industrial, como Profibus, RS-485, AS-Interface, RS-232, entre otros, gracias a la flexibilidad proporcionada por sus módulos de comunicación [7].

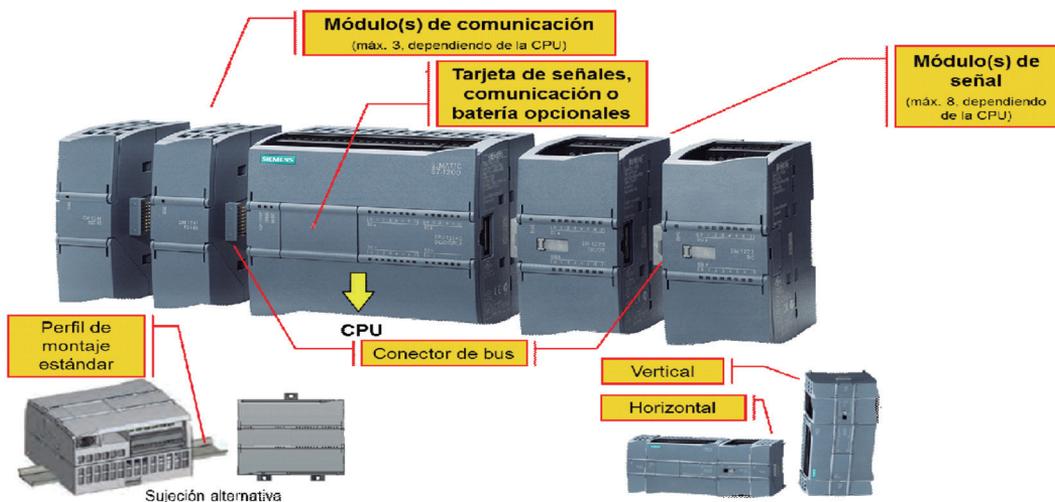


Figura 3. Configuración modular para el PLC S7-1200

La Tabla 1 presenta una comparativa de las principales características de los PLC's de la familia S7-1200.

Tabla 1. Características de CPU Familia S7-1200 [7]

CPU características	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C
Contadores rápidos	4 total	4 total	6 total
Fase simple	3 @ 100 kHz y 1 @ 30 kHz	3 @ 100 kHz y 1 @ 30 kHz	3 @ 100 kHz y 3 @ 30 kHz
Dos fases	3 @ 80 kHz y 1 @ 30 kHz	3 @ 80 kHz y 1 @ 30 kHz	3 @ 80 kHz y 3 @ 30 kHz
Salidas de pulsos	2 @ 100 kHz (salidas DC)/2 @ 1 Hz (salidas Relé)		
Entradas de capturas de pulsos	8	14	14
Interrupciones cíclicas	4 en total con resolución 1 ms		
Interrupciones por flancos	8 ascend. y 8 descend.	12 ascend. y 12 descend.	12 ascend. y 12 descend.
Precisión del reloj tiempo real	± 60 segundos/mes		
Remanencia reloj tiempo real	10 días típico/6 días mínimo a 40 °C. Supercondensador libre de mantenimiento		
Entradas/salidas discretas	8 entradas y 6 salidas	14 entradas y 10 salidas	14 entradas y 10 salidas
Entradas/salidas analógicas	2 entradas	2 entradas	2 entradas y 2 salidas

Dependiendo de su gama, un PLC puede contar con varias funciones tecnológicas, que permiten la automatización de procesos que requieren características específicas; por ejemplo, el procesamiento de señales o cálculos a alta velocidad, implementación de funciones de control, etc. A continuación, se listan las funciones más utilizadas para la familia S7-1200, que se basan en el uso de bloques de especializados para:

Conteo y medición:

- Admite hasta 6 contadores rápidos, 3 @ 100kHz y 3 @ 30kHz para encoders incrementales, conteo de frecuencia o conteo rápido para eventos de proceso.

Control de posición, velocidad o control del ciclo de trabajo:

- Incluye hasta dos salidas PWM (modulación de ancho de pulso), para aplicaciones como controlar la velocidad a la que se mueve un motor, el posicionamiento de una válvula o el ciclo de trabajo de una niquelina.

Control de velocidad y posición:

- Admite hasta dos salidas PTO @ 100kHz (salida de tren de pulsos).
- Proporciona un tren de pulsos para control en lazo abierto de servos o motores paso a paso.
- PLCopen Motion Control (estándar internacionalmente aceptado) utilizado para gestionar tareas de posicionamiento rápida y eficientemente, soporta movimiento absoluto, relativo y velocidad.

Control de proceso simple:

- Hasta 16 lazos de control PID.
- PID Autotuning que incluye panel de sintonía.

Aplicaciones con PLC S7-1200

El uso de PLC en sistemas de automatización ofrece muchas posibilidades en diversos campos; por ejemplo, el artículo de Huajin *et al.* [8] propone un sistema de emergencia para elevadores desarrollado en el software Siemens TIA Portal V15.1, con el objetivo de mejorar la seguridad y estabilidad de los elevadores. Se aborda la protección contra sobrepeso, sobrecorrido y fallas en el sistema de puertas, utilizando un controlador PLC S7-1200 de Siemens. Tras detallar la configuración del sistema y el diseño del software, se presentan los resultados de la simulación, demostrando la eficacia del sistema para prevenir y gestionar situaciones anómalas. Se destaca su alta compatibilidad para su implementación en sistemas de elevadores individuales o múltiples que utilizan PLC Siemens S7-1200 como controlador principal. Otras aplicaciones se basan en el desarrollo de sistemas IoT; por ejemplo, el trabajo presentado por Mellado y Núñez [9] busca desarrollar un sistema IoT-PLC para la Industria 4.0, diseñado como un nodo de capa de niebla (intermediario entre los dispositivos de campo y la nube), con interfaces de comunicación para sensores, actuadores y la nube. Su estructura modular basada en contenedores permite funciones virtuales de control y procesamiento de datos. La evaluación muestra capacidad de control inalámbrico, pero la migración en vivo afecta el rendimiento. Futuras investigaciones se centran en la compatibilidad con estándares industriales y la seguridad TI/OT. La necesidad de control inalámbrico también es aplicable en sistemas que usan PLCs; en Aebersold *et al.* [10], se presenta un sistema integrado para controlar y gestionar una máquina CNC industrial utilizando una tablet (Samsung Galaxy Tablet S2) como prueba de concepto para el control omnipresente de máquinas industriales. Se establece una arquitectura de control descentralizada utilizando un PLC Siemens Simatic S7-1200 interfazado con la tableta y otros dispositivos a través de

una Raspberry Pi 4. Además, se implementa un sistema de anulación con botones de parada de emergencia y de confirmación, transmitiendo las señales al PLC sobre TCP/IP. Se desarrolla un prototipo funcional para el control inalámbrico y omnipresente de la máquina CNC; lo que valida la viabilidad del PLC Siemens Simatic S7-1200 en esta arquitectura descentralizada.

Tian y Li [11] presentan el diseño de un sistema de control de alimentación inteligente destinado a la cría de cerdos, utilizando como componente central el PLC S7-1200 de Siemens. Este sistema busca mejorar la eficiencia y competitividad de las granjas porcinas al proporcionar un control preciso y automatizado del proceso de alimentación. Se selecciona el PLC S7-1200 como controlador principal y una pantalla táctil como interfaz hombre-máquina (HMI). Se detalla el diseño eléctrico, incluida la asignación de direcciones de entrada/salida, el diseño del circuito principal y del circuito de control, así como la programación del PLC. El sistema se implementa con éxito, logrando una operación estable, segura y confiable; así, se cumple con los objetivos previstos y muestra su potencial para su aplicación y difusión en el sector porcino.

También se han desarrollado sistemas interactivos que tienen la finalidad de que usuarios aprendan cómo funcionan los procesos de automatización con PLCs; por ejemplo, en Tapia *et al.* [12] se enfocan en el desarrollo de un ambiente virtual industrial diseñado para enseñar los procesos de automatización y control utilizados en la producción de vino. Se emplea la tecnología Hardware-in-the-Loop (HIL), realidad virtual y sistemas SCADA con el propósito de mejorar la experiencia educativa de los estudiantes. La combinación de software y hardware proporciona un entorno de aprendizaje interactivo y realista para quienes estudian automatización industrial. Se resalta la comunicación bidireccional entre tres programas de software y un PLC S7-1200 mediante KepServer, InTouch y protocolo Ethernet TCP/IP. Este sistema posibilita la supervisión y control en tiempo real del proceso a través de paneles de control físicos, SCADA y virtuales, ofreciendo un entorno virtual que reproduce con precisión las características físicas del proceso de elaboración del vino. Además, se introduce un avatar que facilita la navegación e interacción.

En el artículo de Salkić *et al.* [13] se explora el uso de los dispositivos PLC Siemens, como el S7-1200, en la automatización industrial. Resalta su comparación con otras alternativas y la importancia del respaldo de software como el TIA Portal. Se destaca su capacidad para controlar motores DC mediante diversas técnicas: control de revoluciones y PID. Además, se enfatiza la utilidad de la interfaz hombre-máquina (HMI) para la selección de modos de operación. Los autores resaltan la relevancia de la automatización en la industria y la versatilidad de los sistemas PLC en entornos dinámicos, subrayando la importancia de la interacción del usuario y el soporte de software para

una programación eficiente. En resumen, el artículo enfoca las aplicaciones potenciales de los PLC Siemens en la optimización de procesos industriales, especialmente en el control de motores DC.

Entorno de desarrollo Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal)

Constituye un entorno de trabajo para la ingeniería integrada, ya que permite la configuración y programación de dispositivos de automatización industrial, como los PLCs a través del entorno SIMATIC STEP 7, la configuración de paneles de operador a través de SIMATIC WinCC y sistemas de accionamiento, como variadores de velocidad mediante SIMATIC Startdrive, cubriendo una amplia gama de productos ofrecidos por Siemens [14]. El software asociado a este entorno de trabajo se encuentra disponible en varias versiones, diseñadas para satisfacer las necesidades específicas de los programadores, como ilustra la Figura 4.

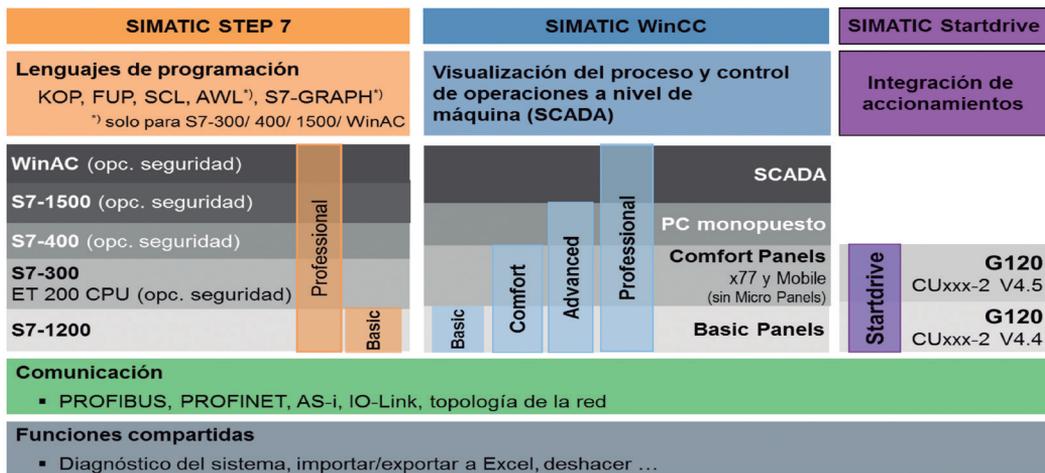


Figura 4. Software integrado en TIA Portal y dispositivos que se pueden programar. Tomado de [6].

Vista del portal y vista del proyecto

El software TIA Portal ofrece dos tipos de visualización de los proyectos (ver Figura 5):

- ① *Vista del portal*: Se utiliza cuando se realizan tareas orientadas al modo de trabajo y de entrada rápida al proyecto mediante una guía para el usuario y no para el programador.

- ② *Vista del proyecto:* Se presenta una estructuración jerárquica del proyecto a través de una vista en árbol que permite el acceso a los editores necesarios que se abren según la tarea específica que se requiere realizar. Se pueden visualizar todos los editores, parámetros y datos en la misma vista.

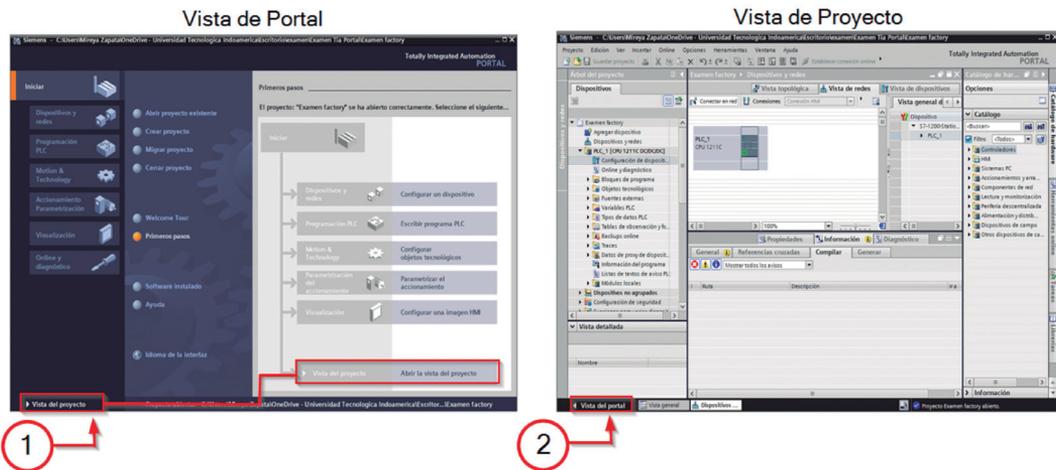


Figura 5. Vista del portal y del proyecto

Vista del portal

Como se observa en la Figura 6, mantiene tres secciones:

- ① *Portales* para cada tarea o componente seleccionado.
- ② *Acciones para el portal seleccionado.* Varían de acuerdo con el portal; muestran información complementaria para conocer su funcionamiento.
- ③ *Ventana de selección* para la acción disponible en todos los portales; se adapta a la opción que el usuario escoge.

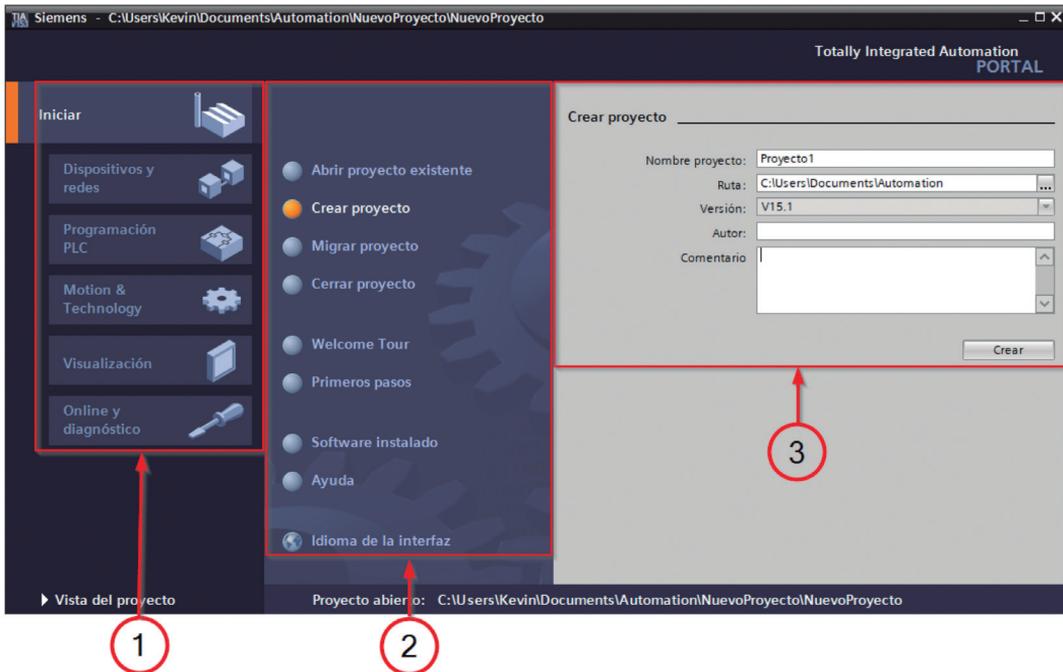


Figura 6. Vista del portal

Vista del proyecto

La Figura 7 muestra sus componentes; se describen a continuación:

- ① *Árbol de proyecto:* Contiene todos los componentes y los datos del proyecto para la aplicación automatizada que pueden ser abiertos desde aquí.
- ② *Área de trabajo:* Se emplea para la edición de los objetos abiertos, estos incluyen por ejemplo componentes de hardware, bloques, tabla de variables del PLC, imágenes de los dispositivos HMI, etc. Si varios objetos son abiertos a la vez, estos serán visualizados en las pestañas de barra de tareas.
- ③ *Vista detallada:* Muestra ayuda complementaria de los elementos seleccionados desde el árbol de proyecto. Puede utilizarse en el área de trabajo activada (arrastrando los elementos directamente).
- ④ *Pestañas de herramientas:* Proporcionan las herramientas para configurar o programar el contenido de las tareas, dependiendo de los objetos visualizados en el área de trabajo.
- ⑤ *Barra de tareas:* A medida que el usuario abre nuevos módulos o ventanas, la pestaña correspondiente va apareciendo en esta barra, lo que facilita la navegación rápida por el proyecto.

- ⑥ *Ventana de inspección:* Muestra información adicional de los objetos seleccionados o acciones ejecutadas. Las propiedades de los objetos seleccionados también pueden ser editados desde la ventana de inspección (por ejemplo, las propiedades de pantallas, objetos de pantallas, variables, etc.)

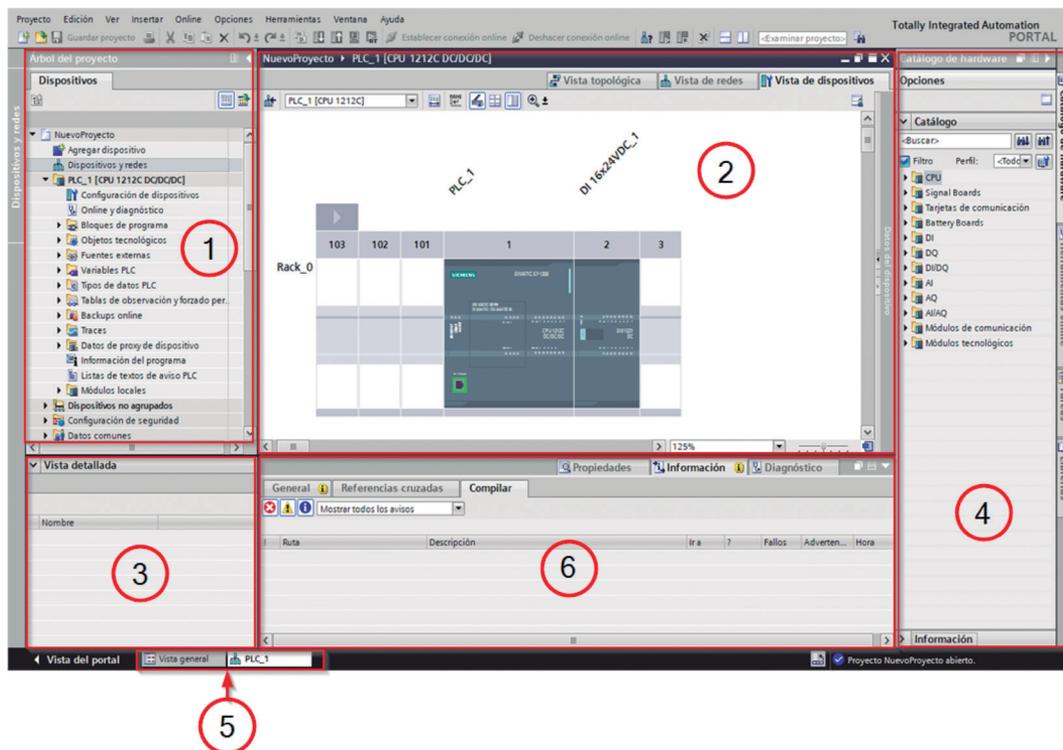


Figura 7. Vista del proyecto

Creación de un proyecto

La Figura 8 muestra los pasos que el usuario debe seguir para crear un proyecto en TIA Portal. Se detallan a continuación:

- ① En la barra de Windows, ir al buscador y seleccionar *TIA Portal*.
- ② Seleccionar con doble clic la opción *Abrir*.
- ③ Una vez abierto el programa, seleccionar *Crear proyecto*.
- ④ Digitar el nombre del proyecto; en este caso, Laboratorio 2.
- ⑤ Hacer clic en *Crear*.

- ⑥ Cambiar a *Vista del proyecto*.
- ⑦ En el árbol del proyecto, seleccionar la opción *Agregar dispositivo*.
- ⑧ Buscar y seleccionar el modelo del PLC a utilizar; en este caso, seleccionar un PLC CPU1215C DC/DC/DC modelo 6ES7 215-1AG40-0XB0.
- ⑨ En *Versión*, desplegar el menú y seleccionar el firmware versión V4.3.
- ⑩ Hacer clic en *Aceptar* para adicionar el dispositivo al proyecto.

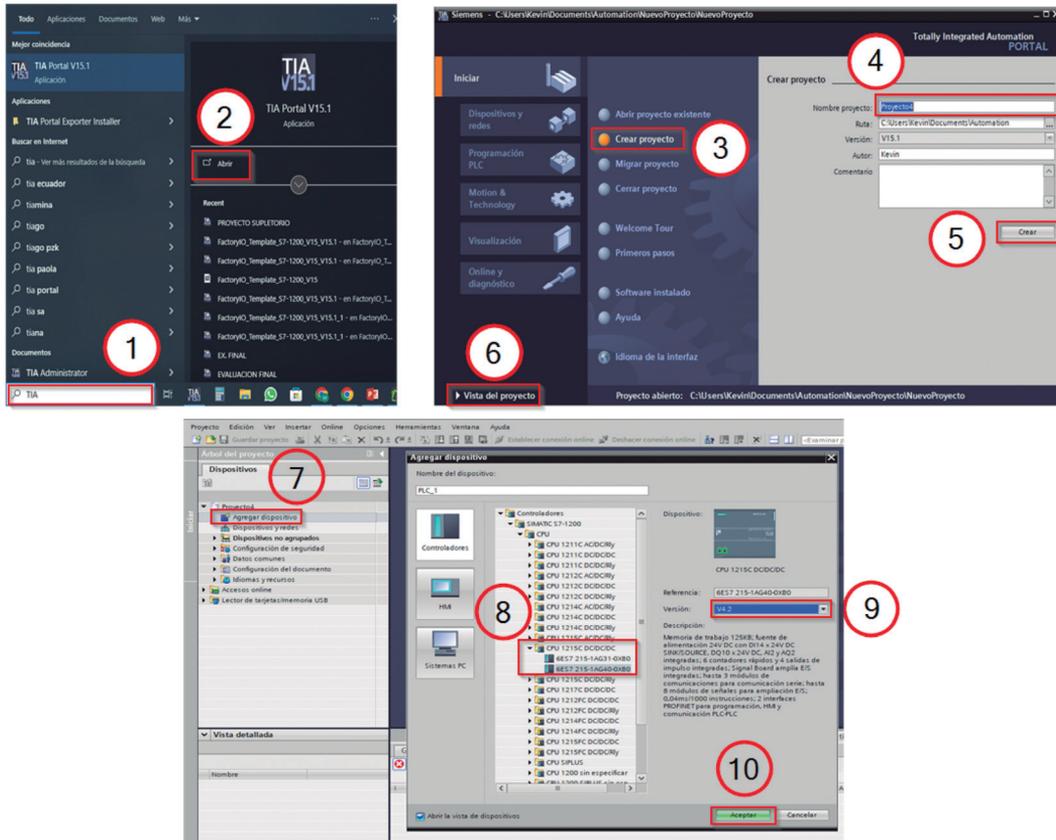


Figura 8. Creación del proyecto

Configuración de la dirección IP del PLC

Para configurar la dirección IP en un PLC, se debe considerar que todos los dispositivos conectados a la red se encuentren en la misma clase. Se recomienda direcciones de clase C en el rango 192.168.0.0 a 192.168.255.255 con máscara de red 255.255.255.0. Todos los elementos que se comunican en la red deben tener su propia

IP (dos dispositivos no pueden tener la misma dirección). Se puede utilizar el comando *ping* entre el equipo origen y destino para diagnosticar problemas de conexión.

Para una red básica PC – PLC, a continuación, se describe la configuración de la dirección IP en ambos dispositivos:

Configuración de PC: La Figura 9 ilustra los pasos.

- ① Abrir el explorador de Windows. Se pueden presionar las teclas *Windows* y *E* al mismo tiempo o seleccionar el ícono del explorador en la barra de Windows.
- ② En el árbol del explorador, buscar el ícono *Red* y pulsar el botón derecho del mouse.
- ③ Seleccionar la opción *Propiedades*.
- ④ En *Centro de redes y recursos compartidos*, seleccionar *Cambiar la configuración del adaptador*.
- ⑤ Buscar el ícono de la tarjeta de red de la computadora y verificar que sea la conexión Ethernet fija y no inalámbrica.
- ⑥ Seleccionar la opción *Propiedades*.
- ⑦ En la ventana de *Propiedades Ethernet*, buscar y seleccionar la opción *Internet Protocol Version 4 (TCP IPv4)*.
- ⑧ Presionar *Propiedades*.
- ⑨ Activar la opción *Usar la siguiente dirección IP* y configurar, en función de las direcciones IP de los dispositivos conectados a la red, los siguientes parámetros:
 - Dirección IP
 - Máscara de subred
- ⑩ Hacer clic en *Aceptar* y cerrar las ventanas abiertas.

Configuración del PLC: A continuación, se presentan los pasos para configurar la dirección IP del PLC (ver Figura 10).

- ① En el árbol del proyecto, seleccionar *Configuración de dispositivo*.
- ② En el gráfico del PLC, hacer doble clic en el puerto de red del PLC.
- ③ Configurar la dirección IP y la máscara de red.

Una vez realizados los cambios, tener en cuenta que se debe activar la opción *Cargar en dispositivo/Configuración hardware* en el menú desplegable del PLC para que la nueva dirección IP quede almacenada.

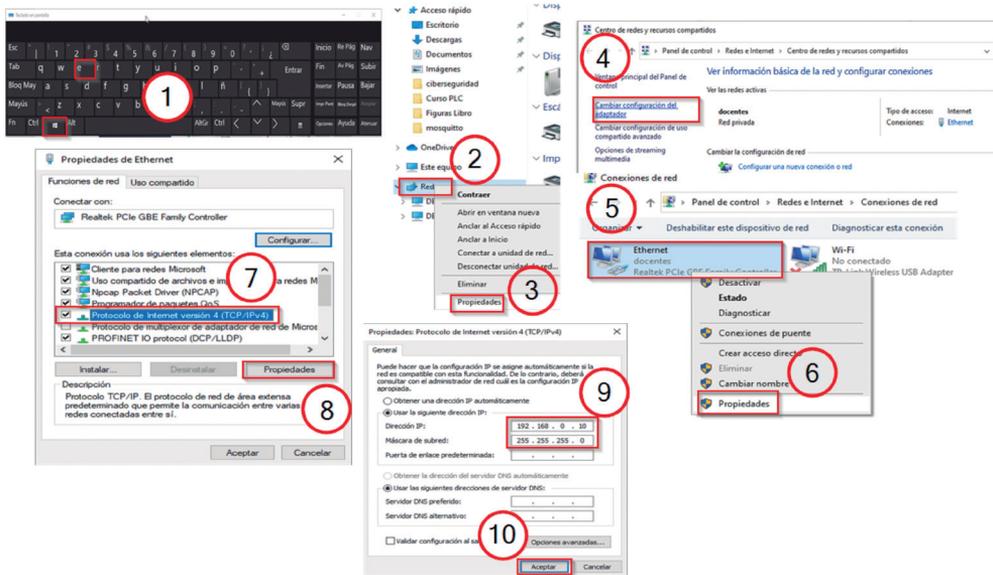


Figura 9. Configuración de dirección IP en la PC

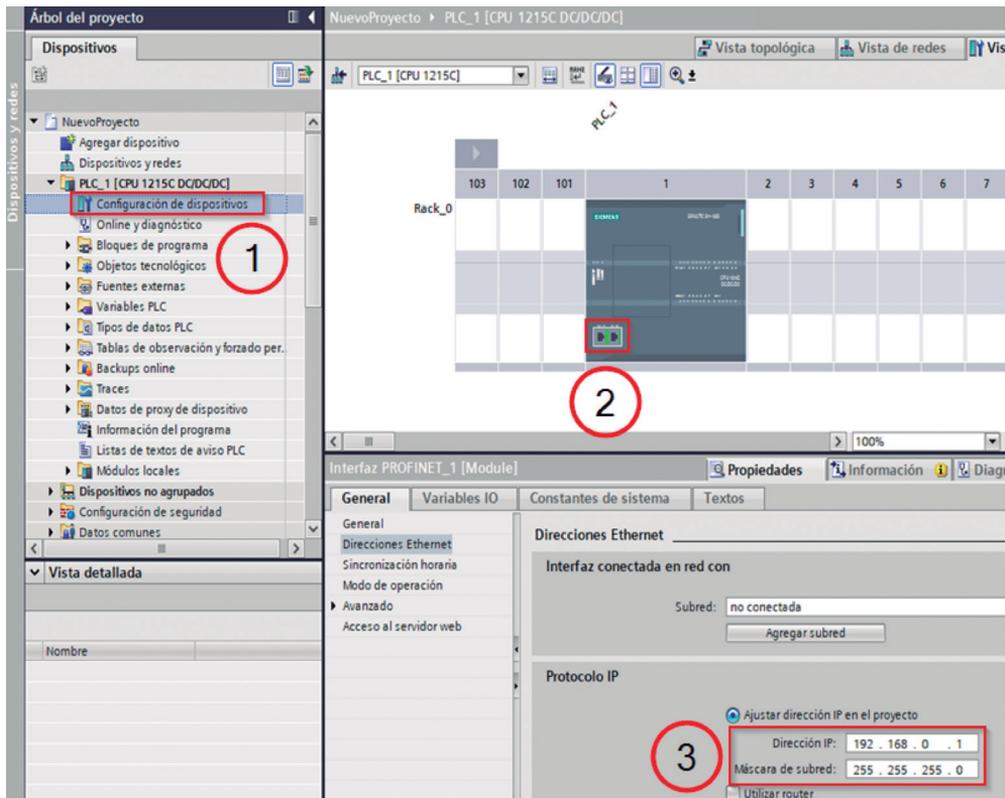


Figura 10. Configuración de dirección IP del PLC

Tipos de datos

TIA Portal ofrece instrucciones que requieren parámetros que son definidos mediante variables. Para su creación, se debe asignar un tipo de dato que determina sus características, por ejemplo, el formato y el área de memoria utilizada en la CPU, entre otros. Las variables se crean en la pestaña *Variables PLC* del árbol del proyecto o directamente en la interfaz de los bloques del programa [15].

Las variables predefinidas (I), (Q) y (M) representan entradas, salidas y marcas, respectivamente. Sin embargo, el usuario tiene la capacidad de crear tipos de datos personalizados a partir de bloques de datos (DB) globales. Los tipos de datos String, Struct, Array y Data-Time-Long (DTL) son casos especiales que se pueden instaurar solo a partir de una base de datos.

Para la definición de una variable PLC se requieren tres campos:

- Ubicación: M, direccionamiento de marcas en memoria; I, direccionamiento de las entradas; o Q, direccionamiento de las salidas.
- Tipo de datos: B, W, DW, entero y real, entre otros.
- Dirección (0 a 8191): Dependiendo del tipo de dato (bool, byte, word, double word, real, int, etc.), se define el rango de valores permitidos y su forma de representación.

La dirección de una variable identifica el lugar en la memoria donde se guarda su valor. Se debe evitar la superposición, para lo cual se debe considerar los espacios de memoria ocupados, por ejemplo, la palabra MW0 ocupa 16 bits o 2 bytes, está formada por los bytes MB0 y MB1, y el byte MB0 está compuesto por los bits que se utilizan para almacenar M0.0 a M0.7.

Se puede definir la ubicación de las variables entre entradas físicas (I), salidas físicas (Q) y marcas (M) acompañadas por el prefijo según el tipo de dato (bit, byte [B], palabra [W], palabra doble [DW]).

Un ejemplo de direccionamiento es M3.5, el cual se refiere a marcas (M), en la dirección de memoria 3 y en la posición del bit 5. Este formato se utiliza para almacenar variables de un bit en la marca correspondiente, como se observa en la Figura 11. Para los PLC S7-1200 1215C, se dispone de 8 K para el almacenamiento de marcas de cualquier tipo.

Existen otros tipos de variables, como tipo TIME y STRING, entre otros, que se emplean en bloques de función especializados que se tratarán más adelante en este libro.

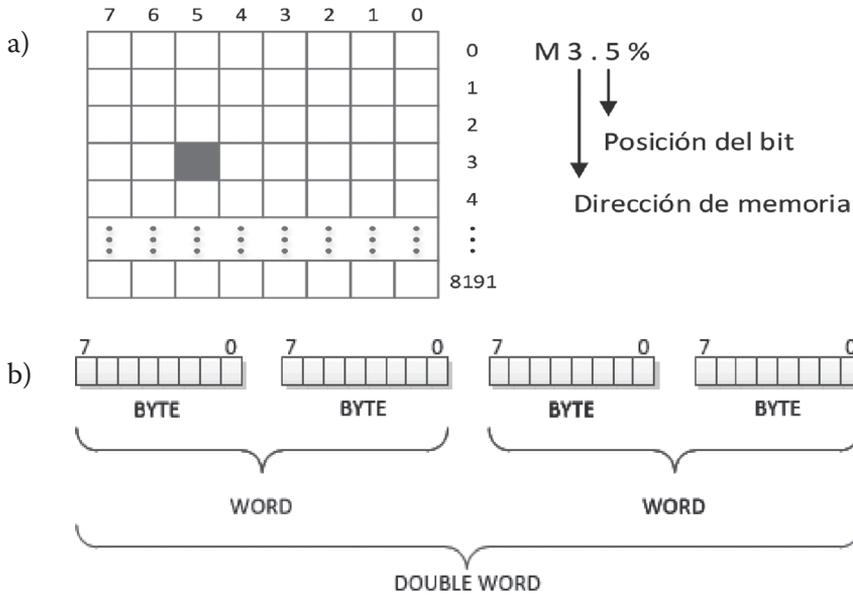


Figura 11. (a) Direccionamiento de memoria interna, (b) Equivalencia de tipo de datos. Tomado de [2].

Asignación de variables

La Figura 12 muestra los pasos para asignar variables en un proyecto.

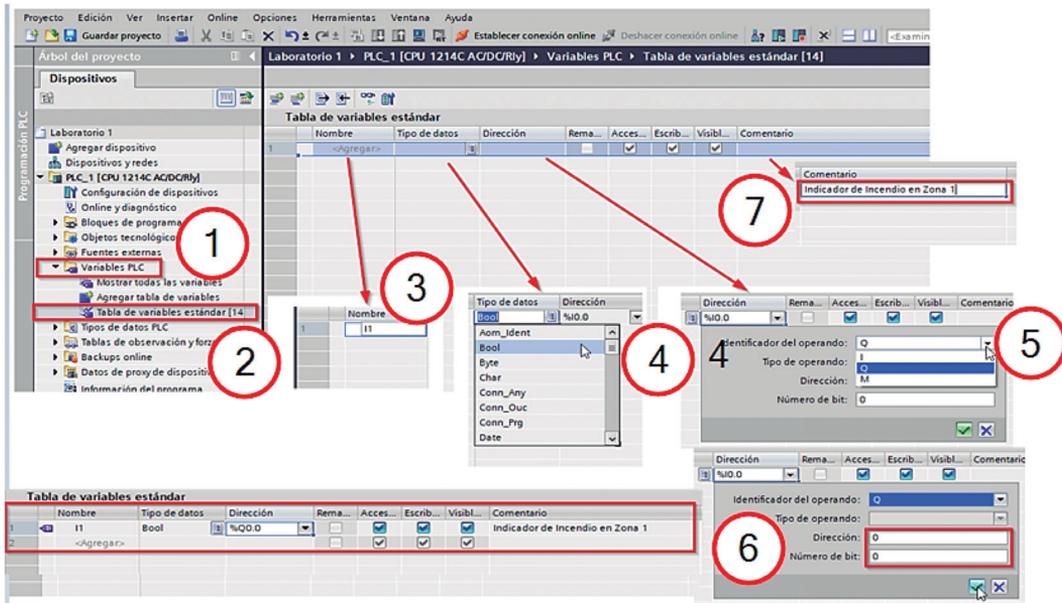


Figura 12. Creación y asignación de variables

- ① En árbol del proyecto, seleccionar *Variables del PLC*.
- ② Seleccionar *Agregar tabla de variables* o *Tabla de variables estándar*.
- ③ Se muestra una tabla en la cual se va a hacer clic en el cuadro *Agregar*, debajo de la columna *Nombre*. Digitar el nombre de la variable que se desea crear; en este caso, I1.
- ④ En la columna *Tipo de datos*, hacer clic en la primera celda libre y seleccionar el tipo de dato; en este caso, Bool, que representa un dato de tipo booleano que puede tener solo dos valores posibles: 1 o 0.
- ⑤ En la columna *Dirección*, hacer clic en la primera celda libre. Se habilitará una pestaña donde se deberá seleccionar el tipo de dato I (entradas), Q (salidas) o M (marcas internas). En este caso, seleccionar Q en *Identificador del operando*.
- ⑥ Asignar la dirección y el número de bit, como se muestra en la Figura 12; 0 en ambos casos. En referencia al byte 0 de salidas y dentro de este byte se asigna el bit 0 a la variable. Como resultado, se crea la variable I1 en la dirección Q0.0. En comentario, describir de manera opcional la variable; esto facilita revisiones o modificaciones posteriores.

Repetir los pasos 3 a 7 para crear todas las variables del sistema. Considerar el tipo y la asignación de dirección que cambia en cada variable, como se muestra en la Figura 13.

Se pueden crear o eliminar variables en cualquier instante, acorde con las necesidades del programador.

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario
1	K1	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Relé auxiliar de arranque del motor.
2	K2	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Relé auxiliar de giro Antihorario
3	K3	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Relé auxiliar de giro Horario
4	ON-OFF	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador de estado del motor
5	AH-H	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador de sentido de giro
6	FALLO	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador de fallo del relé térmico
7	START	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Pulsador de arranque del motor
8	STOP	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Pulsador de parada del motor
9	SENTAH	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Selector de giro Antihorario
10	SENT_H	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Selector de giro Horario
11	F1	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Contacto del Relé Térmico

Figura 13. Tabla de variables

Bloques de programación en un programa de PLC

TIA Portal permite utilizar los denominados bloques para estructurar la programación en subrutinas que se irán llamando secuencialmente. De esta manera, se consigue una organización modular, que ayudará al programador a tener una mejor comprensión de la lógica y facilitará la depuración en programas especialmente extensos [16]. TIA Portal soporta los siguientes tipos de bloques:

- **Bloques de organización OB:** Un programa debe tener al menos un OB. Aquí se define su estructura, cuya ejecución será siempre cíclica. Se puede crear varios OB; sin embargo, el bloque principal denominado “OB1 Main” es el de mayor prioridad y es aquí donde se insertan las principales instrucciones del programa; además, es el encargado de llamar al resto de bloques o a los otros OB.
- **Bloque de arranque:** Cuando se crea, todo lo que contenga se ejecutará una sola vez (un ciclo de SCAN) cuando el PLC se enciende o cuando pasa de modo STOP a RUN. Su uso es muy útil para inicializar variables, reiniciar etapas en una secuencia de programación GRAFCET, iniciar un valor en una interfaz HMI, etc.

Para crear un bloque de arranque, se debe seleccionar la opción *Bloque de organización OB* y el tipo *Startup*, como se muestra en la Figura 14. Por defecto es el OB100, pero puede asignarse un identificador mayor o igual a 123.

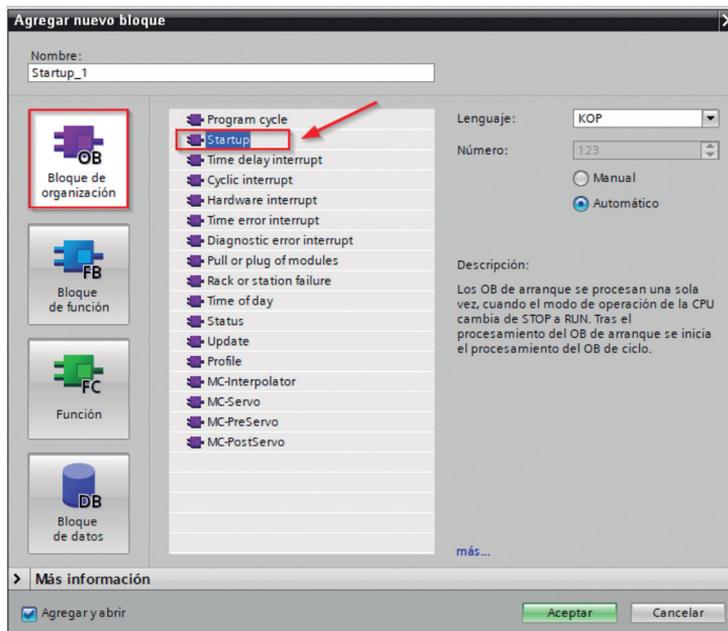


Figura 14. Bloque de arranque OB100

- **Función en TIA Portal (FC):** Se usa para crear módulos que contienen parte de la lógica de programación, separando y organizando de forma estructurada tareas.
- **Bloques de función (FB):** Funciona como un FC; sin embargo, emplea su propia memoria. Cuando se crea un FB se genera un DB para su funcionamiento.
- **Bloque de datos (DB):** Se encarga de almacenar datos a ser usados por un bloque de programa.

Entorno de programación en Ladder

Para la programación en TIA Portal utilizando el lenguaje Ladder, se deben añadir los elementos y asignar las variables respectivas acorde con la lógica de funcionamiento requerida [17]. Para adicionar instrucciones y asignar variables se siguen los pasos mostrados en la Figura 15:

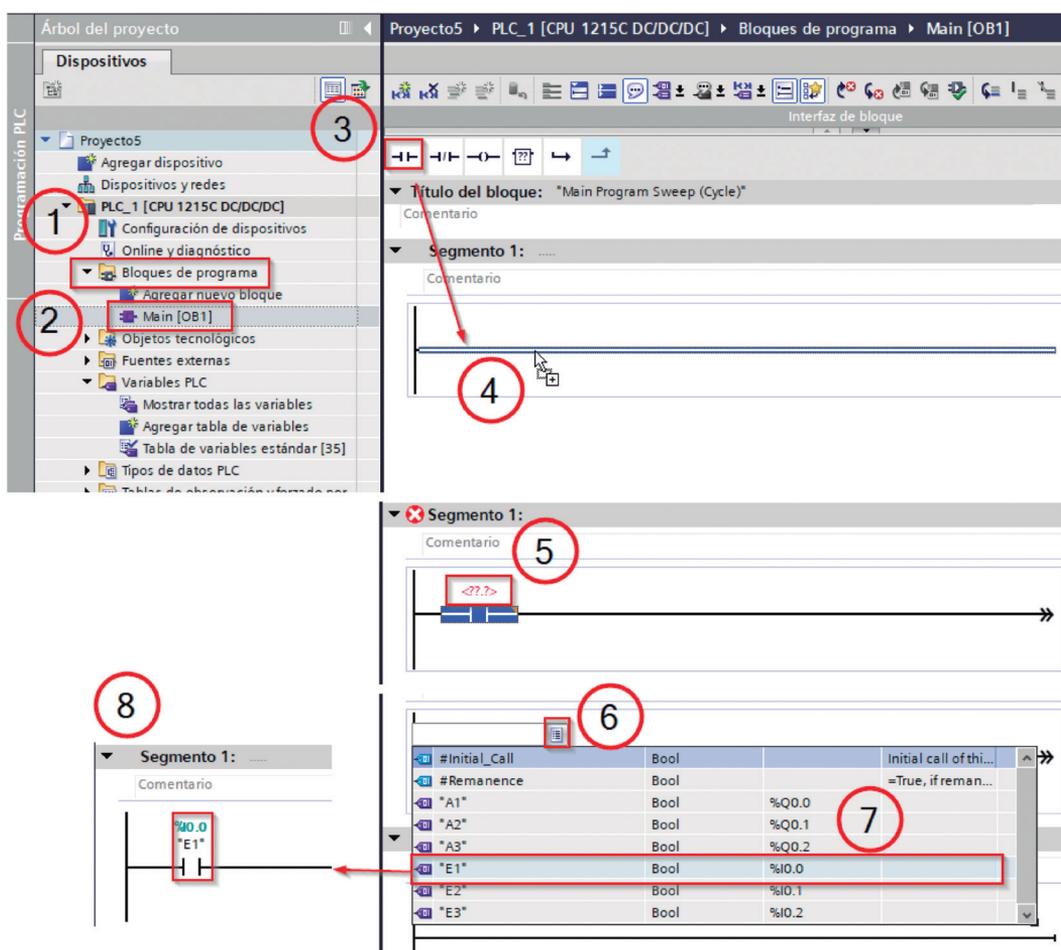


Figura 15. Adición de elementos en Ladder

- ① En el árbol del proyecto, seleccionar *Bloques de programa*.
- ② Seleccionar *Main [OB1]*.
- ③ En la barra de herramientas del *Main* se muestran los comandos básicos (favoritos) para programación booleana (se puede añadir instrucciones arrastrándolas desde *Menú de instrucciones del proyecto*); en este caso, se adiciona un contacto normalmente abierto, arrastrándolo hacia el Ladder.
- ④ Soltar el elemento en la ubicación requerida dentro del Ladder.
- ⑤ Hacer doble clic sobre el elemento adicionado en los signos <???.?>.
- ⑥ Seleccionar el ícono de tabla que se muestra a la derecha del cuadro de texto o digitar directamente el nombre o dirección de la variable.
- ⑦ Si se opta por hacer clic en el ícono, este desplegará la tabla de variables creada anteriormente en la cual seleccionar la variable a adicionar; en este caso, *E1*.
- ⑧ Verificar la asignación correcta de las variables.

Adicionar los elementos requeridos y en las ubicaciones correspondientes, acorde con la lógica de programación del sistema.

Compilación y carga del programa Ladder en el PLC

Una vez desarrollada la lógica de programación o en cualquier momento en la depuración se puede cargar el programa en el PLC para su comprobación (ver Figura 16). Tanto PC como PLC deben tener configurada una dirección IP en la misma red, así como ambos dispositivos deben mantener la conexión Ethernet directa con cable través de sus conectores RJ45.

A continuación, se muestran los pasos para grabar el PLC con el programa a ejecutarse en el PLC:

- ① En el árbol del proyecto, hacer clic derecho en el PLC.
- ② Seleccionar la opción *Compilar*.
- ③ Seleccionar la opción *Software (compilar todo)*, especialmente cuando se han realizado varios cambios en diferentes partes del proyecto; en caso de haber hecho cambios en *Main (OB1)*, hacer clic en el ícono  de la barra de herramientas. Comprobar en la *Ventana de inspección* que el programa no tenga errores antes de continuar. Tener en cuenta que si se activan características de hardware que no están habilitadas por defecto (por ejemplo, dirección IP, marcas de sistema y de ciclo), se debe seleccionar la opción *Hardware (compilar todo)* para que dichos cambios tengan efecto.
- ④ Hacer clic en el ícono  para cargar el programa en el PLC.

- ⑤ En la ventana emergente, seleccionar en el menú desplegable *Interface PG/PC*.
- ⑥ Seleccionar la tarjeta de red de la PC asociada a la conexión Ethernet utilizada para conectarse al PLC.
- ⑦ Hacer clic en *Iniciar búsqueda*.
- ⑧ Si el PLC y la PC se encuentran debidamente conectados, aparecerá el dispositivo como resultado de la búsqueda. Seleccionarlo.
- ⑨ Hacer clic en *Cargar*.
- ⑩ Según las características y configuración previa del PLC, pueden aparecer opciones y advertencias en la ventana emergente. Seleccionar las referidas al cambio y modificación del programa y configuración del PLC.
- ⑪ Hacer clic en *Cargar*.
- ⑫ Seleccionar la opción *Arrancar módulo*.
- ⑬ Hacer clic en el botón *Finalizar*.

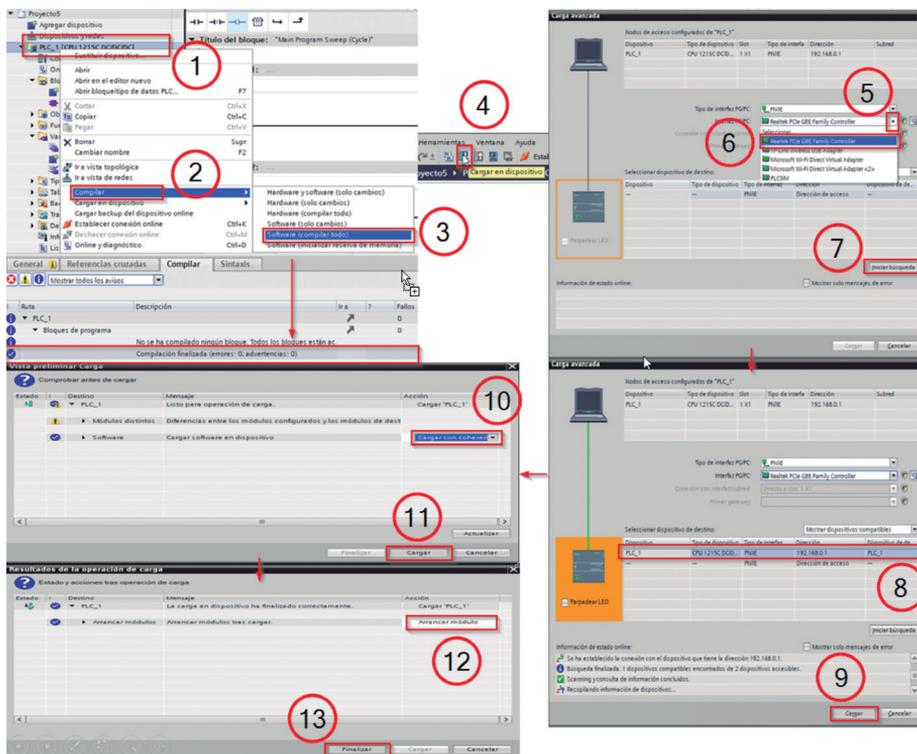


Figura 16. Proceso de compilación y carga de programa en el PLC

Comprobación del funcionamiento online

Una vez programado, cargado el PLC e implementado el sistema en la plataforma IAM-S7-1200, se puede verificar su funcionamiento. Como recurso, se tendrá la conexión online del PLC con el software TIA Portal, lo que permite la visualización e identificación del correcto funcionamiento del sistema. Para activar la visualización online se debe hacer clic en el ícono de visualización online (ver Figura 17).

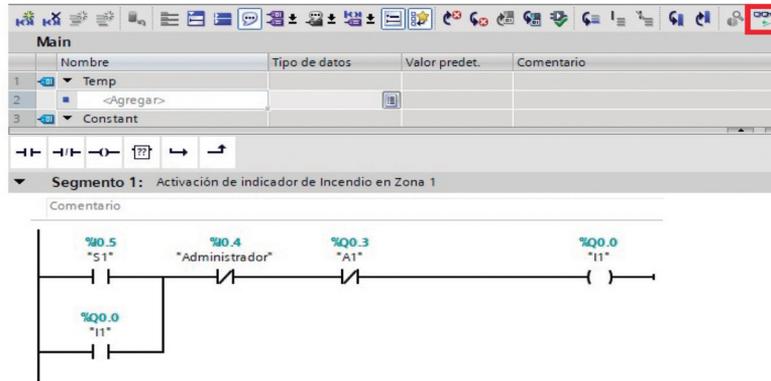


Figura 17. Activación de la visualización online

La visualización online es una herramienta muy útil que verifica el estado de las entradas y salidas físicas, así como su interacción con el resto del programa Ladder en tiempo real, lo que facilita al programador la depuración de errores (ver Figura 18). Así, se puede forzar el estado de las variables almacenadas en marcas haciendo clic derecho sobre ellas y seleccionando la opción *Forzar a 0*, o *Forzar a 1*.

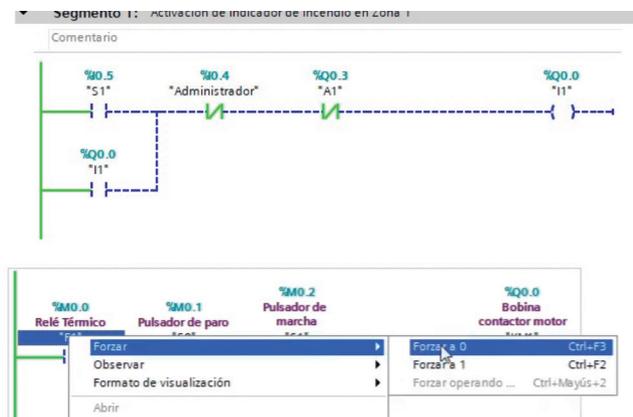


Figura 18. Visualización online

Plataforma de entrenamiento de automatización industrial

La plataforma de entrenamiento IAM-S7-1200 (Industrial Automation Module) mostrada en la Figura 19 dispone de varios módulos para la implementación de sistemas de automatización y control. Incluyen PLC S7-1215C, fuentes de alimentación monofásica, trifásica y DC, módulo de mando y señalización con botoneras e indicadores luminosos, módulo de relés de control, módulo de contactores, variador de frecuencia Sinamics V20 y panel de operador KTP700 para el desarrollo de un interfaz humano-máquina.

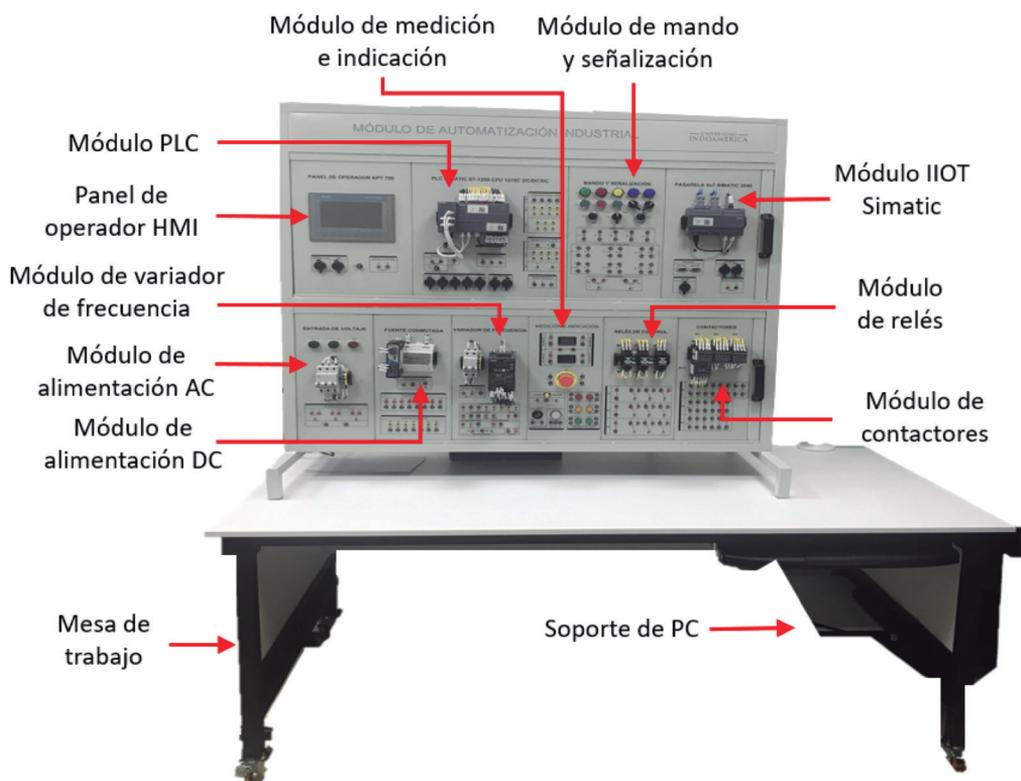


Figura 19. Plataforma de entrenamiento IAM-S7-1200

Módulo de alimentación AC

Es el único módulo fijo, no puede ser cambiado de ubicación. Ofrece alimentación monofásica y trifásica a partir de sus borneras. Cuenta con un breaker tripolar de protección y encendido e indicadores visuales de la tensión de alimentación fase-neutro, fase-fase y la frecuencia de la red eléctrica (ver Figura 20).

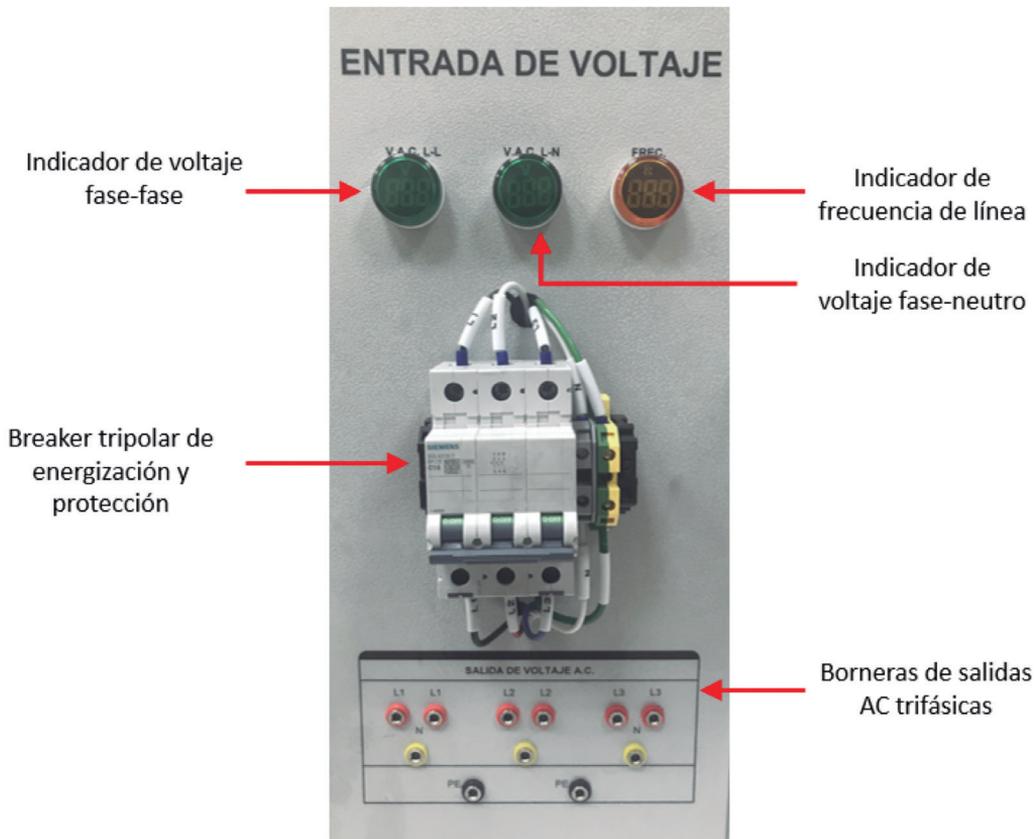


Figura 20. Módulo de alimentación AC trifásica

Módulo de alimentación DC

Este módulo requiere de una alimentación alterna de 120V y está formado por dos fuentes, una de 24 VDC —que se utiliza para alimentar a los dispositivos que funcionan con corriente continua, como el PLC y panel de operador HMI, entre otros— y otra de 10 VDC que se utiliza para alimentar a algunos elementos específicos; por ejemplo, las entradas analógicas del PLC. Al momento de conectar elementos a estas fuentes DC, se debe considerar que el voltaje sea el adecuado, según las características del elemento a conectar, ya que se pueden ocasionar daños por mala conexión, ya sea en el valor de voltaje requerido o en su polaridad (ver Figura 21).



Figura 21. Módulo de alimentación DC

Módulo PLC

El PLC cuenta con una entrada de alimentación de 24 VDC con fusible. Para su funcionamiento se debe polarizar el módulo PLC. Se dispone de 14 entradas de 24 VDC, 10 salidas de 24 VDC discretas, 2 entradas analógicas de voltaje 0-10 V, 2 salidas analógicas de corriente 0-20 mA y 2 puertos Profinet. Adicionalmente, tiene un switch industrial Scalance de 5 puertos para comunicación en red con otros dispositivos.

Todas las entradas y salidas del PLC están conectadas a los terminales del panel, así como las conexiones Ethernet. El equipo se encuentra sobre el panel y con marquillas en los cables, lo cual permite comprender intuitivamente cómo están cableadas las borneras del PLC hacia los bornes del panel (ver Figura 22).

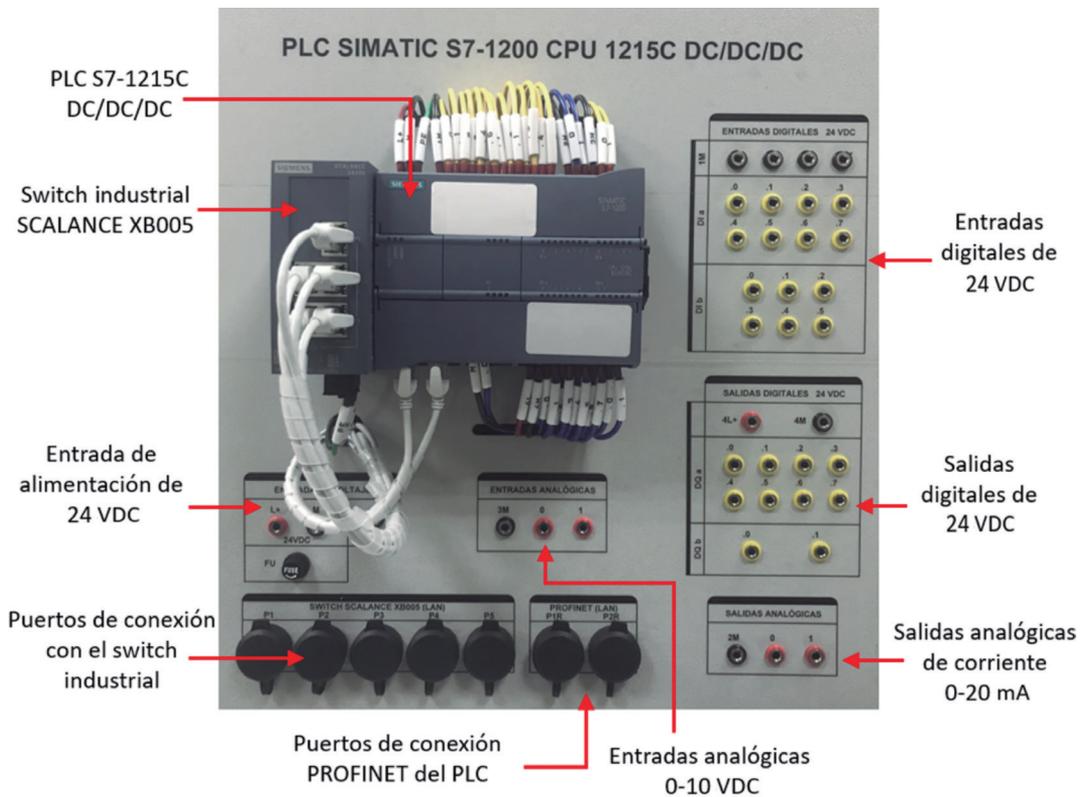


Figura 22. Módulo PLC

Módulo de mando y señalización

Diseñado para señales de entrada y salidas tipo on/off con pulsadores, interruptores y luces piloto respectivamente, cuenta con cinco luces piloto de 24 VDC, 3 pulsadores, 2 switch y 1 selector. Cada uno tiene un contacto normalmente cerrado y uno normalmente abierto, además de dos potenciómetros industriales de 5k Ω . Todos tienen sus respectivas borneras para su conexión con el resto de los módulos (ver Figura 23).

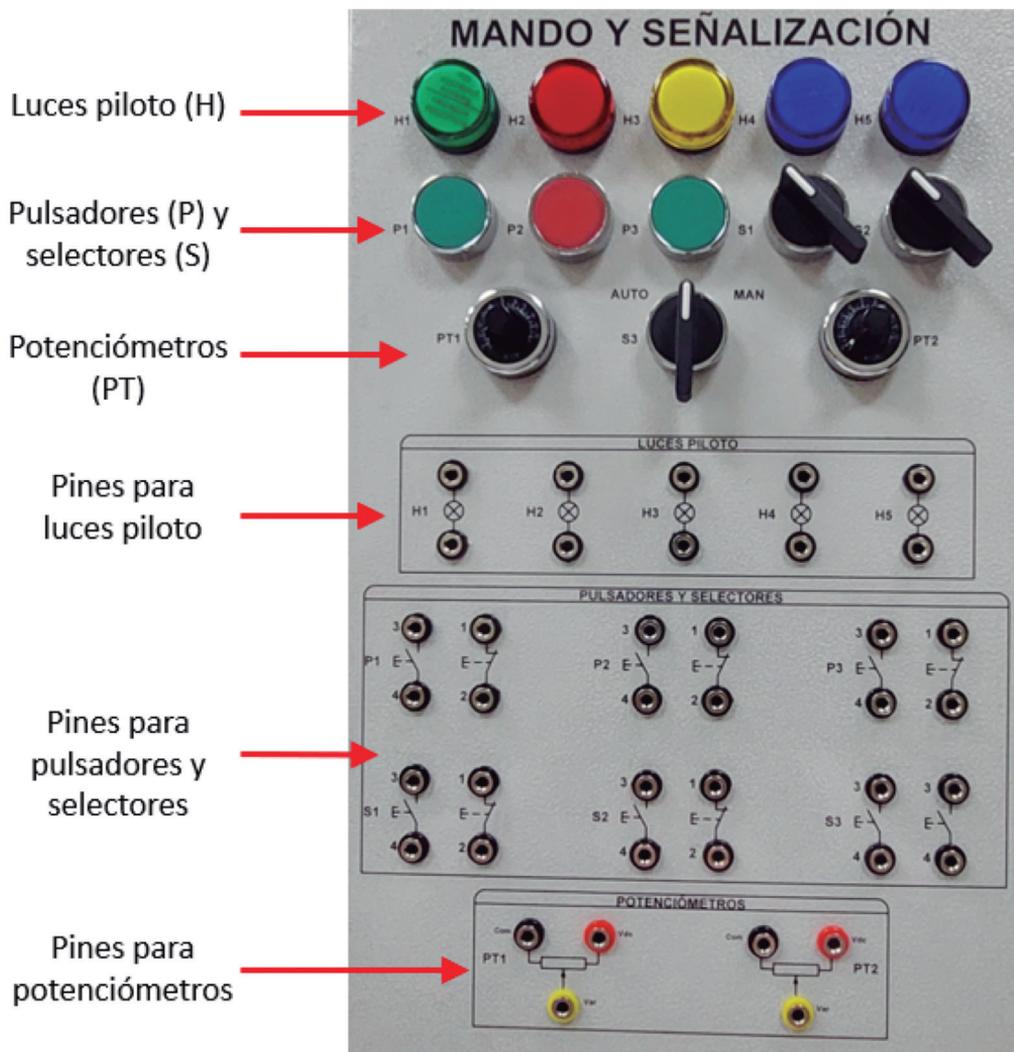


Figura 23. Módulo de mando y señalización

Módulo de relés de control

El módulo está conformado por tres relés R1, R2 y R3 con bobina de 24 VDC, montados sobre un riel DIN, cada uno con tres polos. Soportan una corriente máxima de 5 A por sus contactos. Todos cuentan con borneras para conectarse con otros módulos (ver Figura 24).

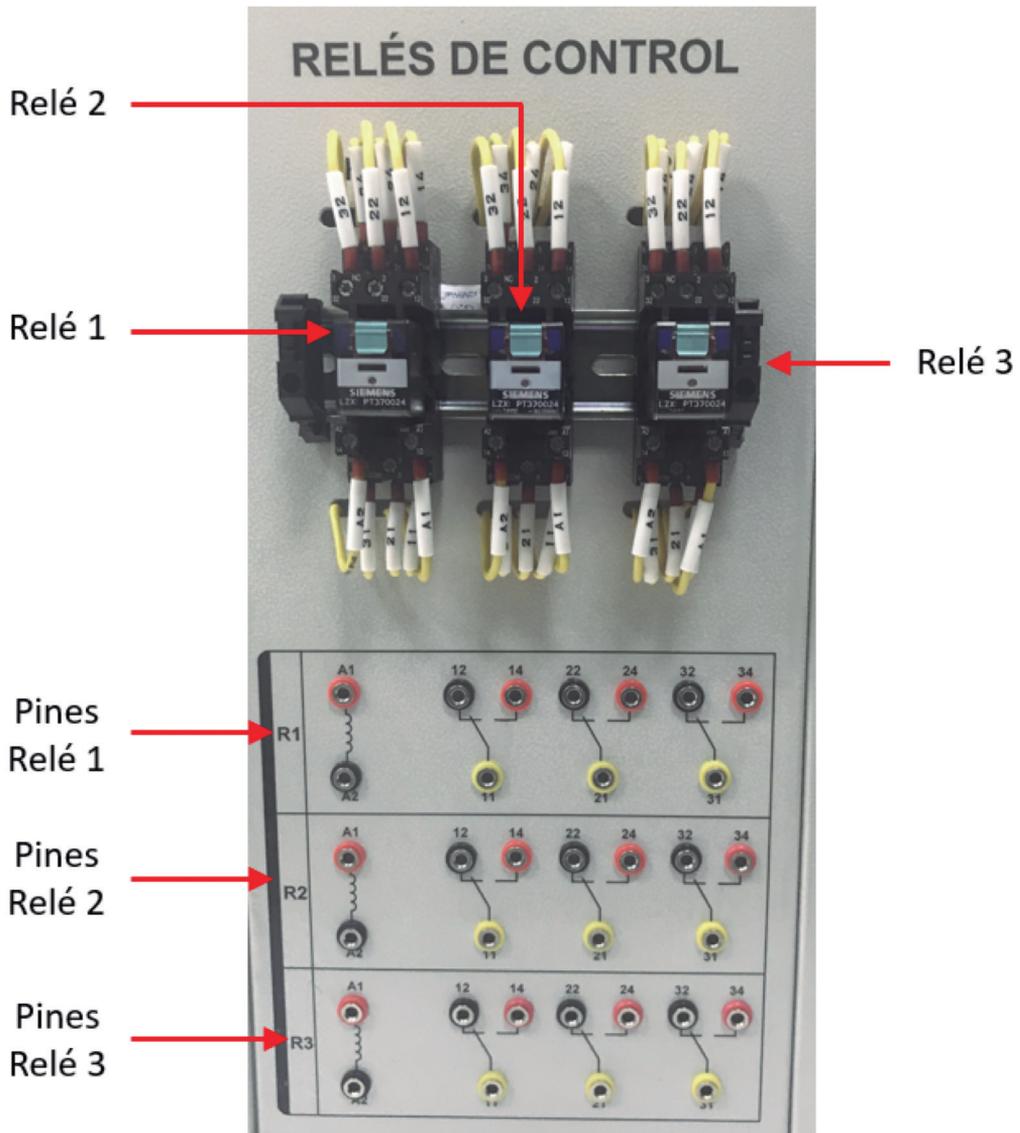


Figura 24. Módulo de relés

Módulo de contactores

El módulo cuenta con tres contactores K1, K2 y K3 montados sobre un riel DIN con bobina de 110 VAC y un relé térmico conectado directamente a K1; se utiliza para proteger los motores eléctricos de sobrecarga y calentamiento. El relé térmico, para su configuración, dispone de un botón de prueba de disparo, reinicio de contactos de potencia de salida, selector de rearme manual o automático del relé, ajuste de disparo, botón de

reinicio, un contacto auxiliar normalmente abierto y otro cerrado. Los contactores K1, K2 y K3 cuentan con cuatro contactos normalmente abiertos y uno normalmente cerrado, cada uno. Es importante considerar la correcta conexión de la alimentación de la bobina del contactor de 110 VAC, ya que cualquier error en la conexión puede dañarlo (ver Figura 25).

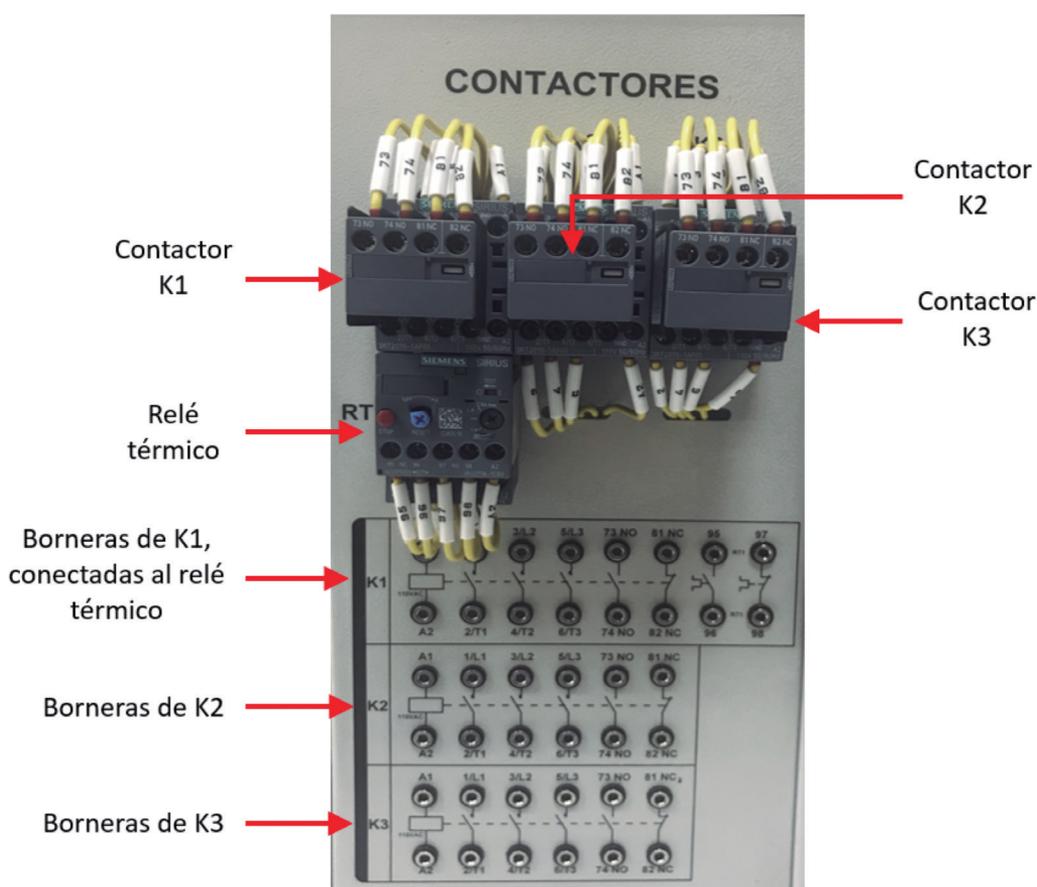


Figura 25. Módulo de contactores

Módulo de medición e indicación

Para indicación y medición cuenta con dos voltímetros y amperímetros DC que requieren una alimentación de 4-30 VDC para su funcionamiento, 6 luces piloto de 24 VDC, una sirena y una luz piloto bicolor de 110 VAC. Para la generación de señales cuenta con un sensor inductivo de tipo NPN y un botón tipo hongo de emergencia, cada uno con sus respectivas borneras de conexión. Se debe considerar las diferencias y los requerimientos de alimentación y conexión de cada dispositivo con el fin de evitar posibles daños (ver Figura 26).

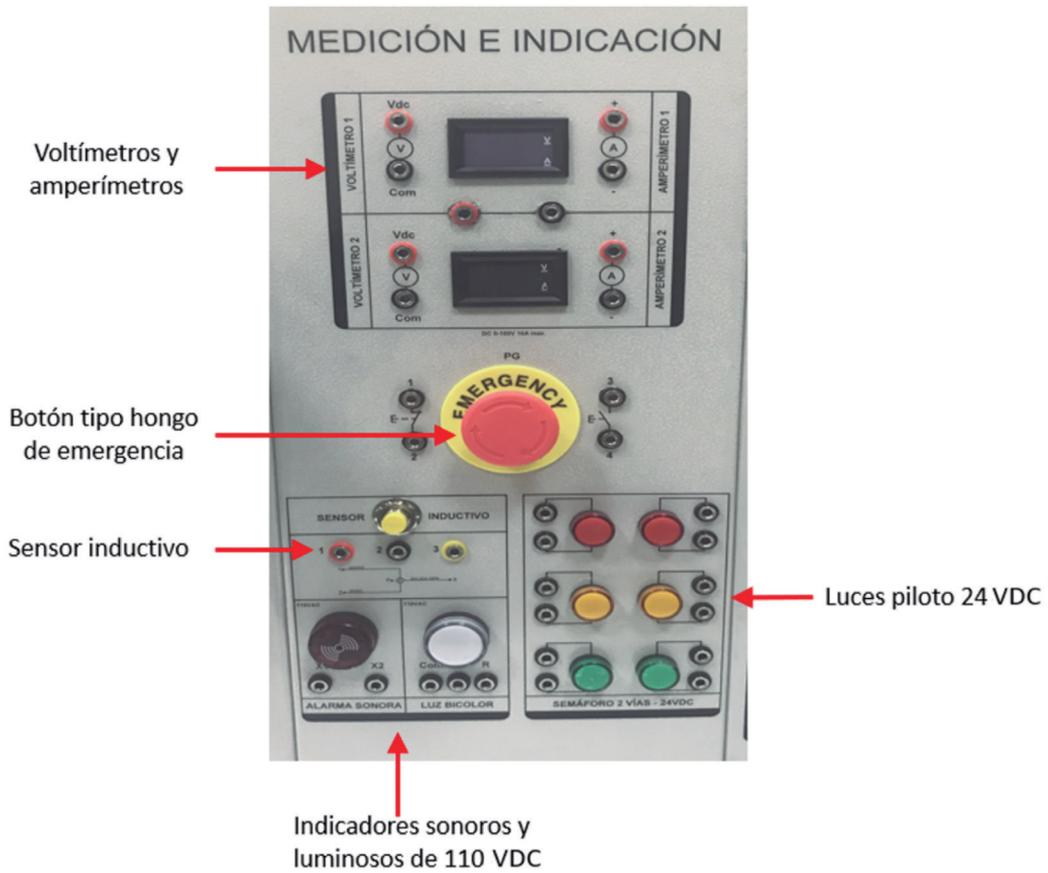


Figura 26. Módulo de medición e indicación

La Figura 27 ilustra la conexión del sensor inductivo a la entrada de un PLC S7-1200, así como la conexión del PLC a la alarma y luz bicolor mediante dos relés, dado que la alimentación es con 110 VAC.

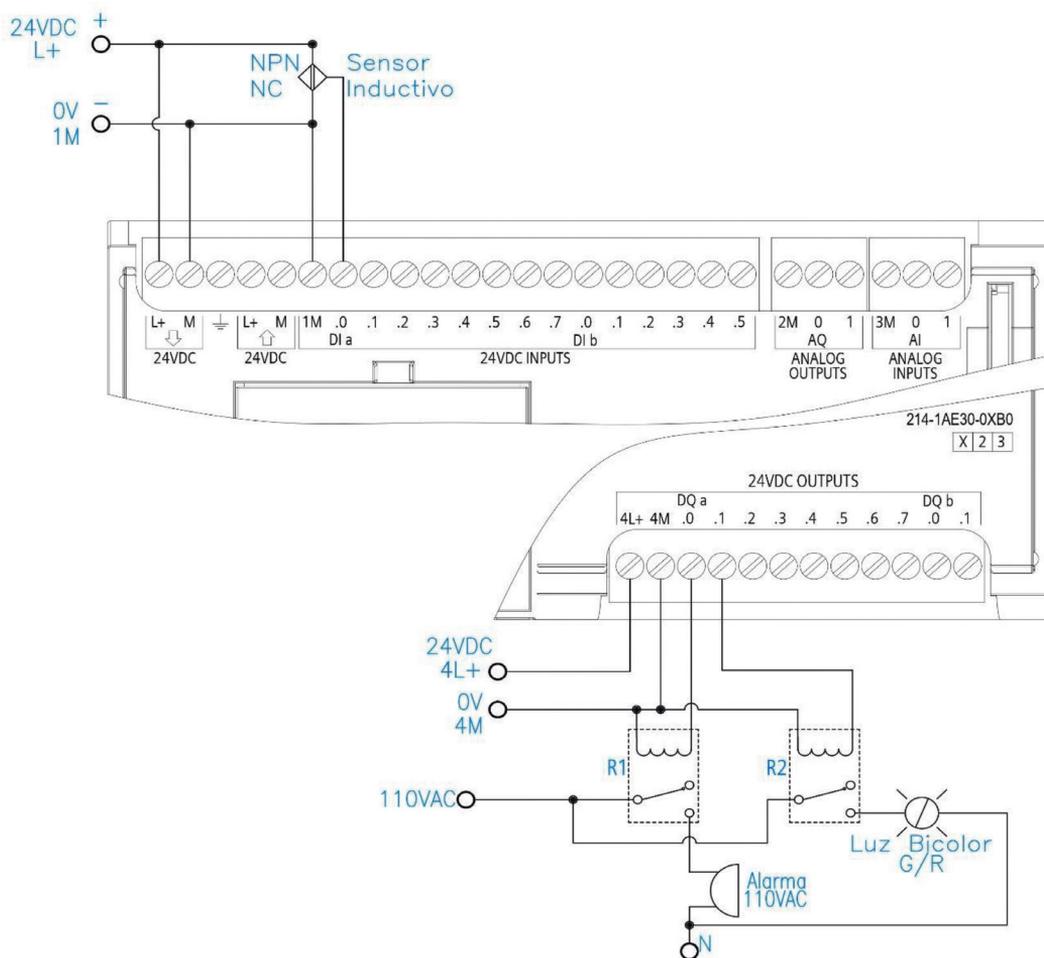


Figura 27. Conexión de sensor inductivo NPN, alarma y luz bicolor a un PLC S7-1200

Panel de operador HMI

Este módulo cuenta con el panel de operador Basic KTP700 [18] de 7 pulgadas a color táctil, con conexión a través de red Ethernet o USB y requiere de alimentación de 24 VDC; adicionalmente, tiene un fusible de protección (ver Figura 28).

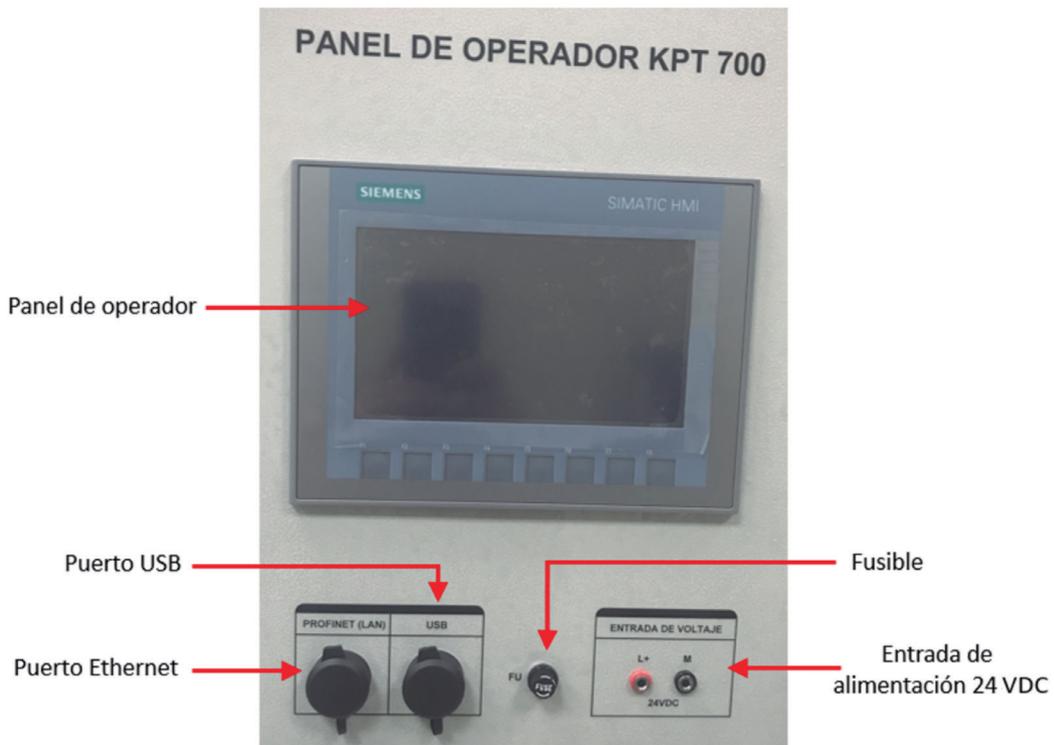


Figura 28. Módulo de panel de operador HMI

Panel variador de frecuencia

Este módulo (ver Figura 29) permite controlar la velocidad de un motor trifásico a partir del variador SINAMICS V20 [19], el cual está conformado por un breaker de encendido y protección, un variador SINAMICS V20 y las borneras necesarias para la conexión del variador tanto a la alimentación fase-fase de 220 VAC como para el motor y todas las entradas y salidas para la conexión con dispositivos externos de control o supervisión. Es un dispositivo muy sensible que se recomienda usar bajo la supervisión de un instructor o docente calificado. Se recomienda verificar de forma minuciosa las conexiones antes de iniciar y, de observar cualquier anomalía en su operación, reportar al instructor.

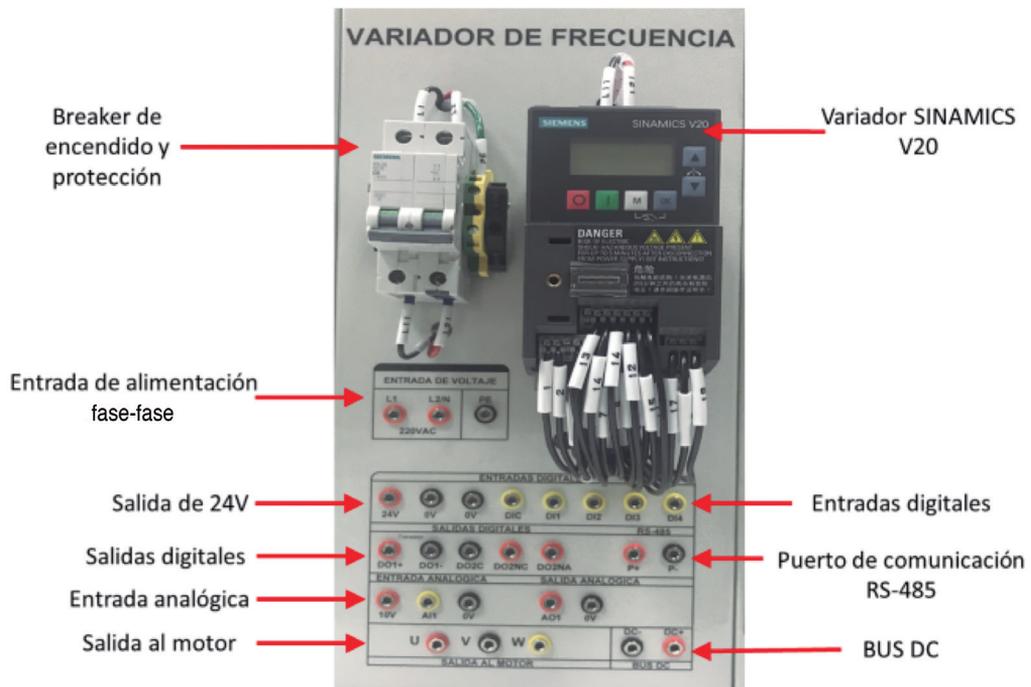


Figura 29. Módulo variador de frecuencia

Módulo IloT Simatic 2040

El módulo mostrado en la Figura 30 está destinado a la comunicación de datos entre módulos con el Internet de las Cosas Industriales (Industrial Internet of Things, IIoT). Cuenta con una pasarela industrial [20], puertos de comunicación Ethernet, serial, USB y bornera para la alimentación con 24 VDC.

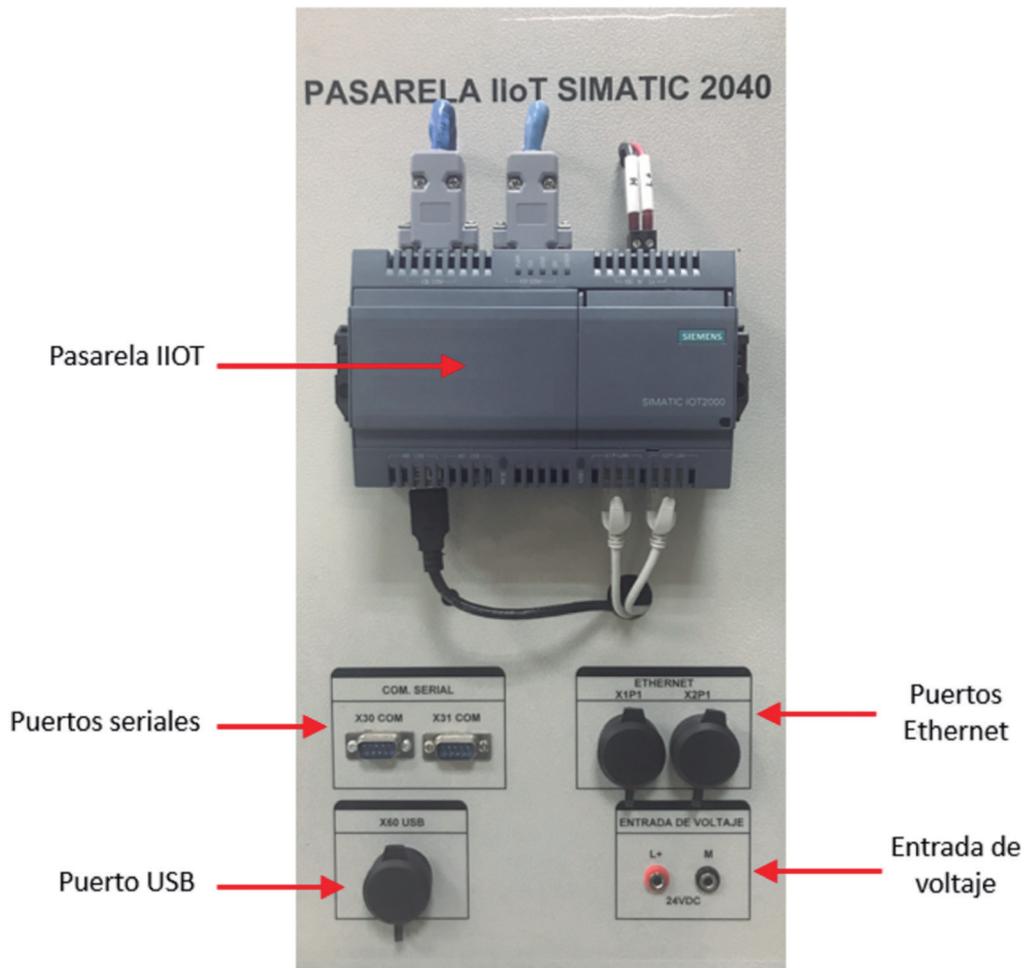


Figura 30. Módulo IIOT Simatic 2040

Cuestionario

- Describa a través de un gráfico la ubicación de memoria de las direcciones MB3, M4.2 y MW6.
- Liste diez características técnicas del PLC CPU1215C DC/DC/DC, modelo 6ES7 215-1AG40-0XB0.
- ¿Cuál es la última versión de TIA Portal lanzada por Siemens? Describa sus mejoras respecto a las versiones anteriores.
- Consulte módulos externos adicionales que sean compatibles con el PLC S7-1200.



Capítulo 2

Lenguajes de programación Ladder y GRAFCET



Introducción

Un lenguaje de programación constituye el medio de interacción entre el usuario y el sistema operativo compatible con el PLC. Aunque el estándar IEC 61131-3 [4] regula los lenguajes de programación de los autómatas programables, varios fabricantes de PLC proporcionan entornos de programación cada vez más complejos para el desarrollo de proyectos de automatización. Por ejemplo, Siemens TIA Portal permite a los programadores elegir lenguajes dependiendo del tipo de controlador configurado. La serie S27-1200 soporta los lenguajes mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Lenguajes de programación de un PLC S7-1200

Lenguaje de programación	S7-1200
Diagrama Ladder (LAD o KOP)	✓
Diagrama de bloques de funciones (FBD)	✓
Programación de control estructurado (SCL)	✓
Lista de instrucciones (IL o STL)	✗
Diagrama de funciones secuenciales (SFC)	✗

Lenguaje de programación de escalera o Ladder (LD)

Este lenguaje de programación ha sido estandarizado bajo la norma IEC 61131 [21, 4] y es uno de los más utilizados en la industria. Su estructura principalmente se conforma de conexiones de contactos eléctricos en serie o en paralelo.

Simbología de programación en Ladder

Los símbolos utilizados para programar en lenguaje Ladder se muestran en la Tabla 3, junto con sus descripciones.

Tabla 3. Símbolos fundamentales en la programación Ladder

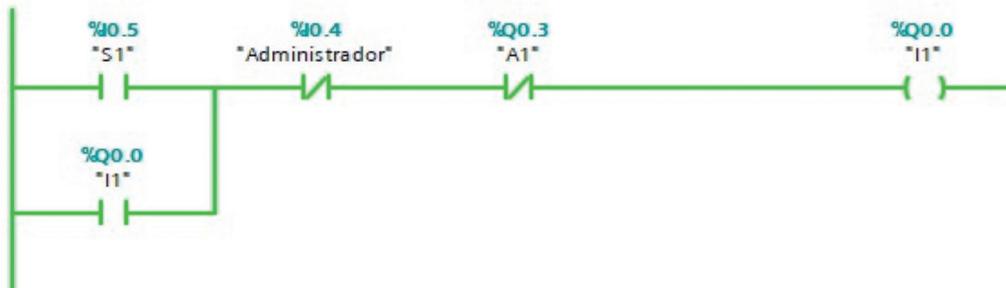
Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un 1 lógico en el elemento que representa. Esto es una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un 0 lógico en la entrada asociada, variable o bit del sistema.
	Bobina NA	Se produce su activación cuando la combinación presente en su entrada izquierda resulta en un valor lógico de 1. Su activación implica la presencia de un 1 lógico. Por lo general, se utiliza para representar elementos de salida, aunque también puede desempeñar el papel de una variable interna.
	Bobina NC	Su activación ocurre cuando la combinación presente en su entrada izquierda resulta en un valor lógico de 0; implica la presencia de un 0 lógico. Su funcionamiento es opuesto al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activada (establecida en 1), no puede ser desactivada (establecida en 0) a menos que se utilice la bobina RESET correspondiente. Su función principal es la de almacenar estados y, cuando se utiliza junto con la bobina RESET, proporciona versatilidad en la programación.
	Bobina RESET	Al recibir una señal de activación cambia o mantiene el estado de la variable en 0 lógico, hasta recibir un comando de SET.

Estructura de programación

La estructura general de la programación del lenguaje Ladder, acorde con lo establecido por la norma, está conformada por contactos NA o NC y otros elementos de entrada a la izquierda; a la derecha se colocan las bobinas, como se muestra en la Figura 31. Las líneas verticales representan la alimentación positiva y negativa y los contactos forman caminos con ramas en serie, paralelo o combinadas, por las cuales la señal fluye de

izquierda a derecha cerrando el circuito [22]. Cuando se cumplen las condiciones establecidas en cada escalón (rungs), se activa la bobina respectiva. El procesamiento de los programas es secuencial, por lo que terminada la evaluación del escalón se continúa con el siguiente en un flujo de arriba hacia abajo.

Figura 31. Estructura del Ladder



Lenguaje de programación gráfico GRAFCET

En 1979, un grupo de investigación francés que reunió a académicos e industriales, denominado AFCET (French Association for Economical and Applied Cybernetics), inventó GRAFCET bajo la premisa de ser un lenguaje robusto y aplicable a problemas de la vida real [23].

GRAFCET está definido bajo el estándar IEC 848 como “Sequential Functions Charts” (SFC) [24]. Es un lenguaje de programación gráfica que facilita la implementación de programación secuencial de procesos.

Según [2], las ventajas de utilizar el lenguaje de programación GRAFCET son:

- Facilidad para traducir a lenguajes de bajo nivel como Ladder, LIST o Assembler.
- La programación en GRAFCET es gráfica, concisa y tiene una sintaxis simple. Una sola página de GRAFCET puede ser equivalente a más de cinco de Ladder.
- Su metodología de diseño es top-down, lo que facilita la identificación y corrección de errores.
- GRAFCET permite incluir información técnica de sensores y actuadores en el mismo programa gracias a sus niveles de especificación.
- Es más fácil de explicar e interpretar para el personal técnico encargado de la automatización. Además, puede contribuir a mejorar el automatismo.

- No se requieren conocimientos avanzados de programación, ya que es un lenguaje de descripción gráfica.

Niveles de descripción

Un diagrama GRAFCET se puede definir en tres niveles de descripción, lo que según [25] facilita el flujo de información desde un nivel operativo hasta uno de especificación tecnológica [2]. Estos son:

- **Nivel 1, descripción funcional:** Se desarrolla el diagrama GRAFCET sin entrar en detalles técnicos o de manera independiente a la tecnología de los sensores y actuadores. Se centra en describir las acciones que el sistema automatizado debe llevar a cabo. No contiene ninguna referencia tecnológica. En la Figura 32 se puede observar un ejemplo de GRAFCET desarrollado en nivel de descripción funcional.

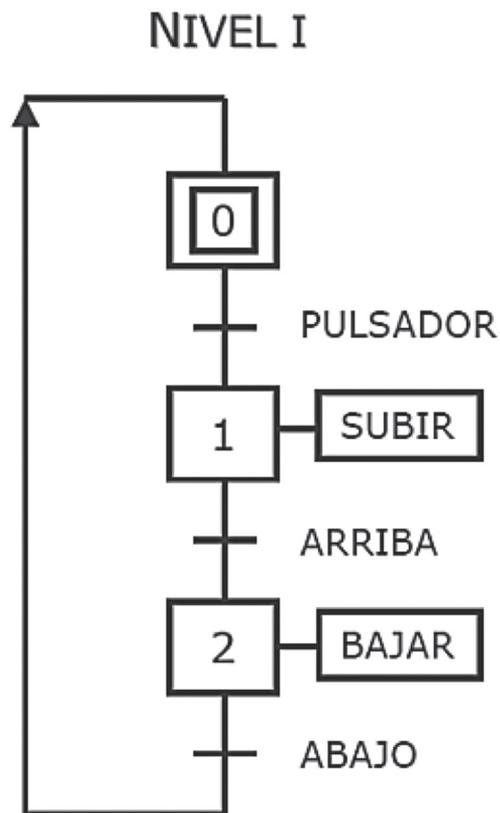


Figura 32. Ejemplo de GRAFCET en nivel de descripción funcional. Tomado de [26].

- **Nivel 2, descripción tecnológica:** Se incluyen los detalles operativos y tecnológicos de los elementos que conforman el automatismo en cada función que realizan. En la Figura 33 se puede observar un GRAFCET de descripción tecnológica.

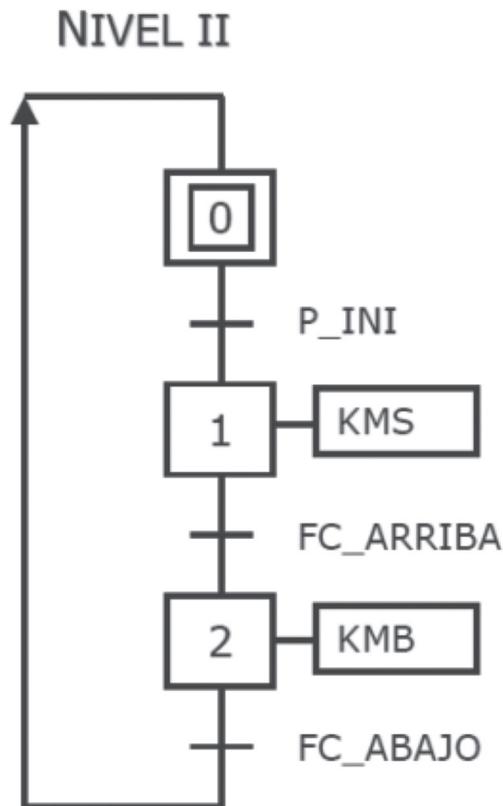


Figura 33. Ejemplo de GRAFCET en nivel 2 de descripción tecnológica. Tomado de [26].

- **Nivel 3, descripción operativa:** Se describen las señales de entrada y salida del controlador lógico programable (PLC) que están conectadas a los sensores y actuadores externos. Se incluyen las marcas internas que serán utilizadas para el control del sistema. En la Figura 34 se puede observar un ejemplo de un GRAFCET con nivel de descripción operativa.

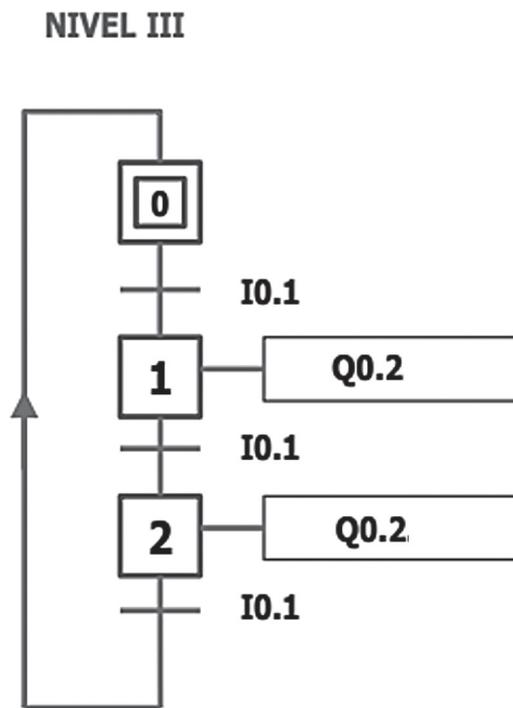


Figura 34. Ejemplo de GRAFCET en nivel 3 de descripción operativa. Tomado de [26].

Elementos de GRAFCET

Etapas

Un GRAFCET es una serie secuencial de etapas, que representan cada uno de sus estados y están asociadas a una o varias acciones [27]. Las etapas son representadas por un cuadro (a excepción de las iniciales, que lo están con un cuadro doble) y un número en su interior [28] (ver Figura 35).

Entre las principales características de las etapas tenemos las siguientes:

- Todo programa debe incluir al menos una etapa inicial.
- Las etapas iniciales se encuentran activas al inicio de la ejecución del programa.
- Las etapas normales se representan mediante un cuadrado, mientras que las iniciales, con un cuadrado doble.
- Cada etapa debe tener un número de identificación único, que no se repita en otras etapas. Este no implica un orden específico.

- Durante la ejecución, las etapas pueden estar activas o inactivas.
- Una vez iniciada la ejecución del programa, las etapas iniciales se comportan de la misma manera que las normales.
- Como se muestra en la Figura 36, las etapas pueden tener una o varias acciones asociadas. Sin embargo, también es posible que existan etapas sin acciones asociadas.
- Las etapas sin acciones asociadas se utilizan para introducir estados de espera o para cumplir con las reglas de programación de GRAFCET.

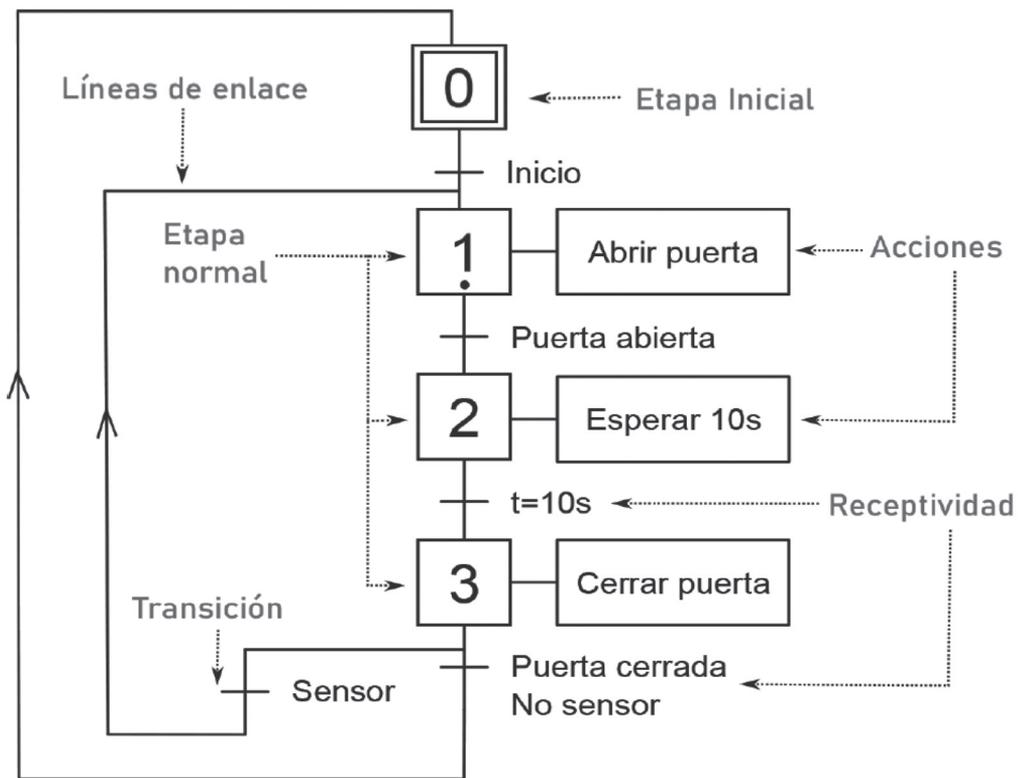


Figura 35. Elementos de un GRAFCET. Tomado de [2].

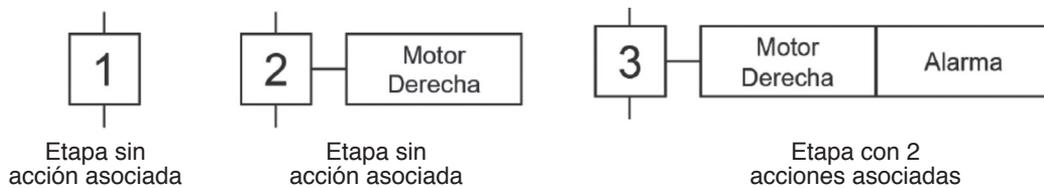


Figura 36. Etapas con y sin acciones asociadas. Tomado de [2].

Transición y receptividad

Las transiciones en GRAFCET son líneas horizontales que se ubican entre dos etapas. Cada una está asociada a una condición llamada receptividad, la cual debe cumplirse para permitir el avance a la siguiente etapa. Estas condiciones pueden ser señales lógicas o señales de sensores, contadores, temporizadores, etc.

Líneas de enlace

Las conexiones entre las etapas y las transiciones y viceversa se establecen mediante líneas de enlace. Siempre se dibujan de arriba hacia abajo, a menos que se especifique lo contrario, utilizando flechas de dirección.

Acciones asociadas

Son una o varias acciones por realizar en el proceso, dependiendo de la activación de la etapa a la que estén ligados. Están representadas por un rectángulo conectado al lado derecho de una etapa y dentro se indica, ya sea de manera literal o simbólica, las acciones a realizar en el proceso [2].

La norma IEC 848 [24] define los siguientes tipos de acciones:

- (C) Una acción condicionada (ver Figura 37): Es aquella que necesita que se cumpla una condición adicional además de la activación de la etapa correspondiente.



Figura 37. Acción condicionada. Tomado de [2].

- (D) Acción retardada (ver Figura 38): Es una acción que se activa después de un retardo.



Figura 38. Acción retardada. Tomado de [2].

- (L) Acción limitada (ver Figura 39): Es una acción que se activa por un periodo temporal definido cada vez que se activa la etapa.

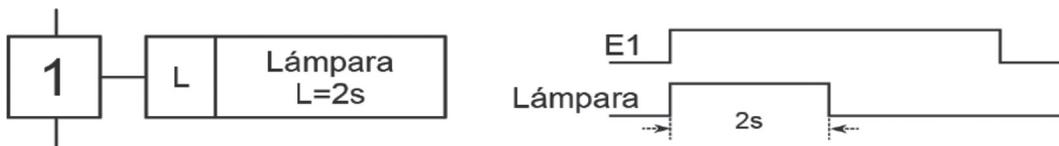


Figura 39. Acción limitada. Tomado de [2].

- (P) Acción impulsional (ver Figura 40): Se refiere a una acción que se ejecuta en forma de impulso.

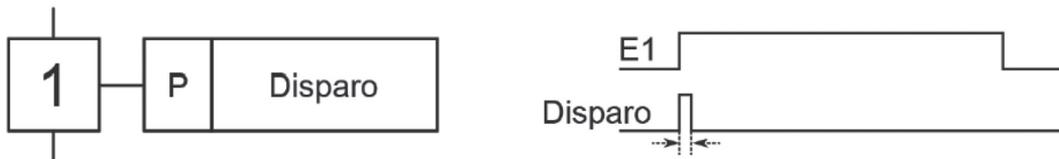


Figura 40. Acción impulsional. Tomado de [2].

- (S) Acción memorizada (ver Figura 41): Se refiere a una acción que se activa cuando la etapa correspondiente también se activa. Para desactivarla, se requiere otra acción memorizada de reset en una etapa posterior. La acción memorizada mantendrá su estado incluso si la etapa se desactiva.

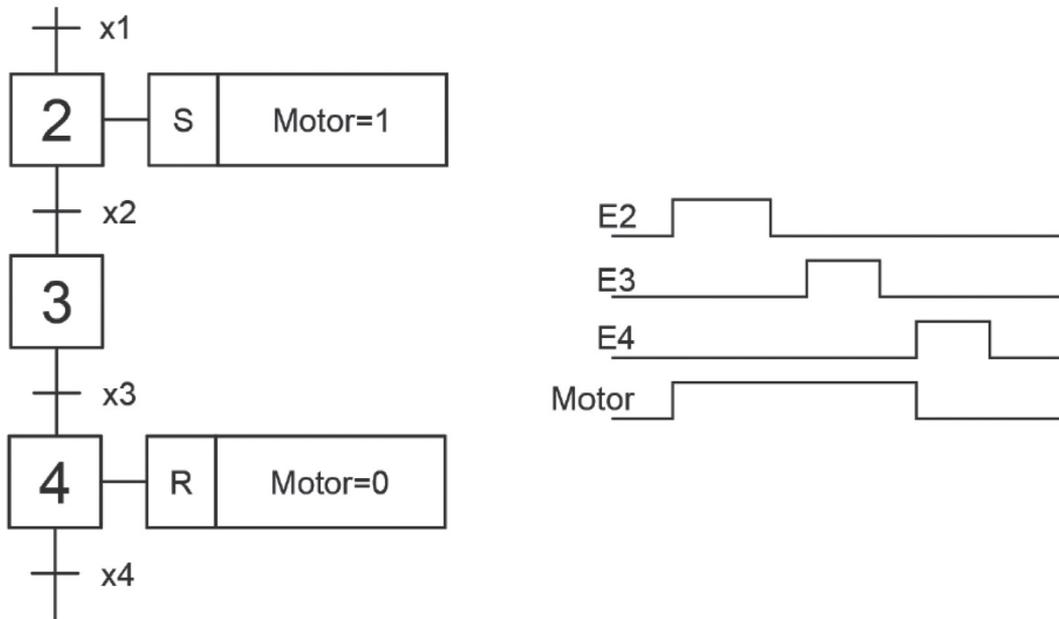


Figura 41. Acción memorizada. Tomado de [2].

Bifurcaciones OR

Para este caso, una transición permite que se active una rama a la vez, por lo que estas deben ser excluyentes entre sí y no tienen la necesidad de contar con el mismo número de etapas (Ver Figura 42).

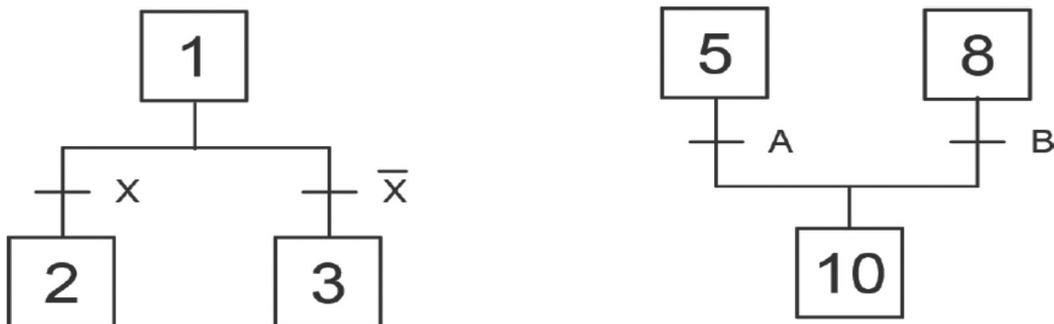


Figura 42. Ejemplo de bifurcación OR. Selección de secuencia. Tomado de [2].

Bifurcaciones AND

Se emplean para representar situaciones en las que una transición permite la activación de múltiples ramas que continúan su ejecución de manera paralela. Estas bifurcaciones también se utilizan para sincronizar la finalización de la evolución de dichas ramas. Como se muestra en la Figura 43, al finalizar cada rama, todas las etapas de espera deben estar activas para permitir la continuación del programa.

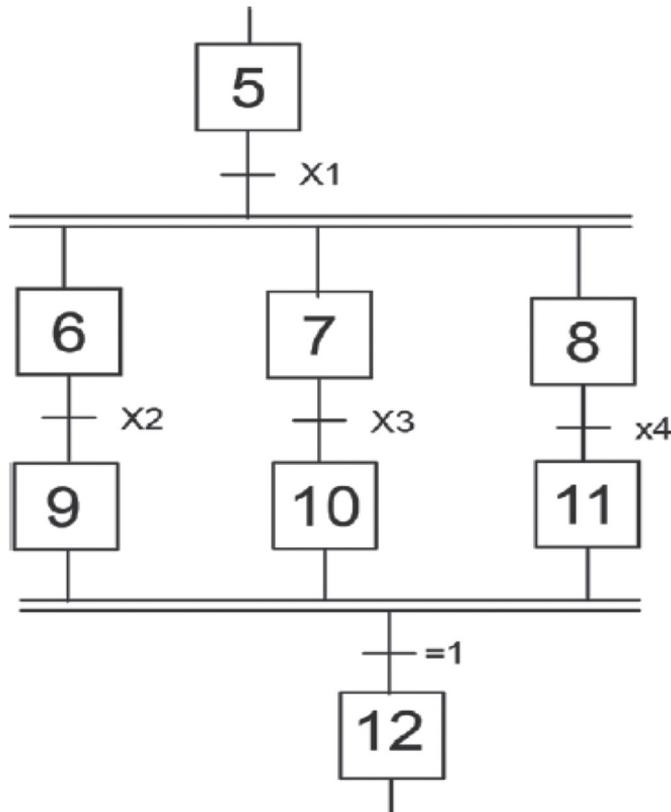


Figura 43. Ejemplo de bifurcación AND. Secuencias paralelas. Tomado de [2].

Macroetapas

Son utilizadas para representar subrutinas en un programa. Se emplean cuando un bloque de etapas se repite varias veces. Se representan como cuadrados con una doble línea horizontal y siguen la regla de tener una única etapa de entrada y de salida (ver Figura 44).

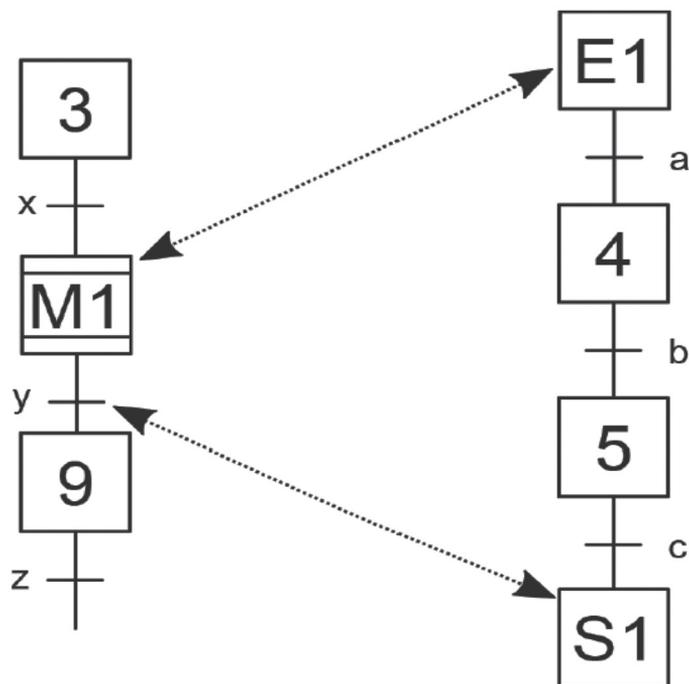


Figura 44. Macroetapas en diagramas GRAFCET. Tomado de [2].

Actividades experimentales

Objetivo

- Familiarizarse con los lenguajes de programación Ladder y GRAFCET para la programación de dispositivos industriales de automatización.

Automatización de una alarma contra incendios

Para programar e implementar un sistema de alarma contra incendios en una fábrica, se utiliza un panel de control (Figura 45), que consta de dos lámparas indicadoras de incendio (I1 e I2), dos indicadores de atención (A1 y A2) y una sirena. Además, cuenta con cuatro botones: uno de RESET y dos de ENTERADO (uno para cada área, E1 y E2), así como una llave de administrador.

Se colocan dos sensores/detectores de llama (S1 y S2) en cada área principal de la fábrica. Cuando cualquiera se activa, se enciende la lámpara indicadora de incendio correspondiente y suena la sirena. Al presionar el botón de ENTERADO, se apaga el indicador de incendio y se enciende el de atención.

Las luces de ENTERADO y la sirena pueden ser apagadas mediante el botón de RESET, siempre y cuando los sensores ya estén desactivados, el controlador lógico programable (PLC) siga recibiendo una señal de presencia de llama o si no se ha presionado previamente el botón de ENTERADO. Si hay una operación indebida con el botón de RESET, el sistema se bloquea y mantiene activadas las alarmas y los indicadores de atención correspondientes. Para desbloquear el sistema, se requiere utilizar la llave del administrador. En la Figura 46 se muestra el esquema de conexiones. Realizar la programación en Ladder.



Figura 45. Sistema de alarma contra incendios

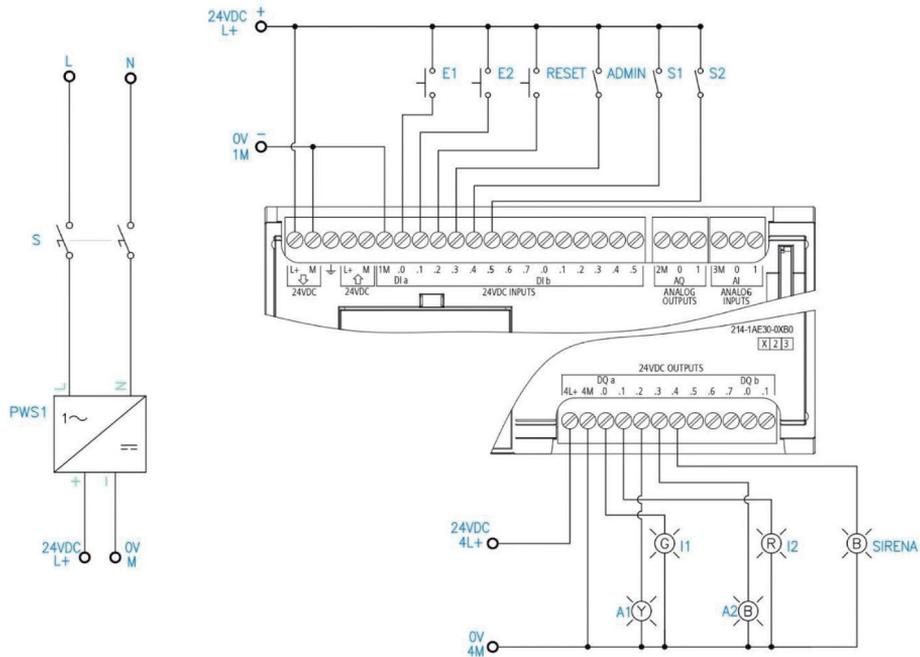


Figura 46. Esquema de conexiones del sistema de alarma contra incendios

Automatización de proceso de mezclado industrial

En el proceso de mezclado de dos líquidos industriales (Figura 47), al presionar el botón *Inicio* y el nivel de líquido en N1, se vierte el primero activando la válvula V1 hasta que llegue a N2. Entonces, la válvula V1 se desactiva, mientras que la V2 se activa; esto permite el paso del segundo líquido y, al mismo tiempo, el motor M comienza a mover las paletas para mezclar los líquidos. En cuanto la mezcla llega al nivel N3, la válvula V2 y el motor M se desactivan y empieza el vaciado, accionando la válvula V3. El vaciado termina cuando el nivel en el tanque llega a N1; se cierra la válvula V3 y el sistema vuelve a empezar el ciclo presionando el botón *Inicio*. El sistema debe contar con un botón BPARO que permita detener el proceso en cualquier momento; para continuar se pulsa el botón *Inicio*; además, se requiere de un indicador *Paro*. La Figura 48 exhibe el esquema de conexiones eléctrico. Desarrollar el diagrama GRAFCET e implementar con Ladder.

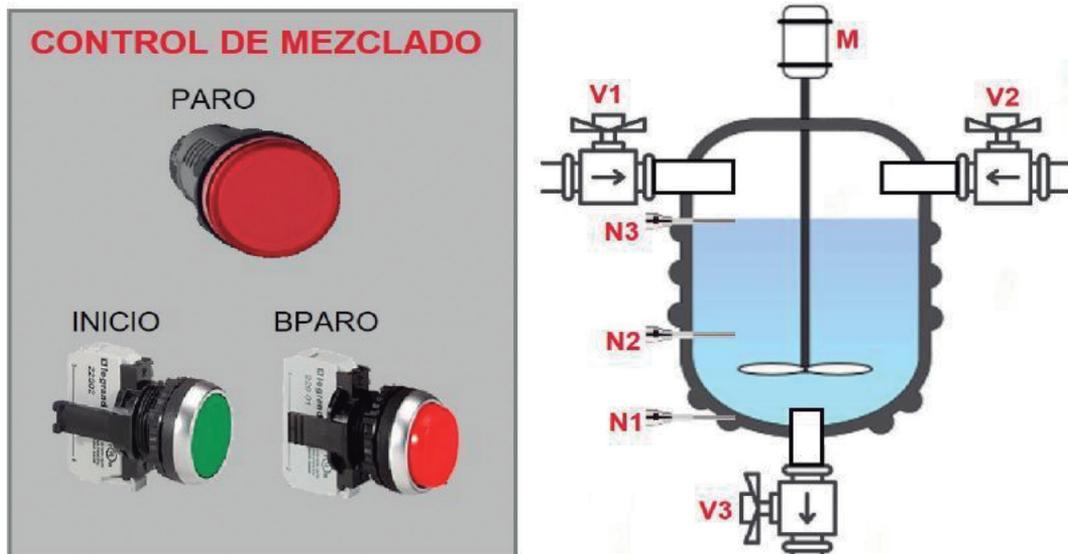


Figura 47. Sistema de control de mezcla de líquidos

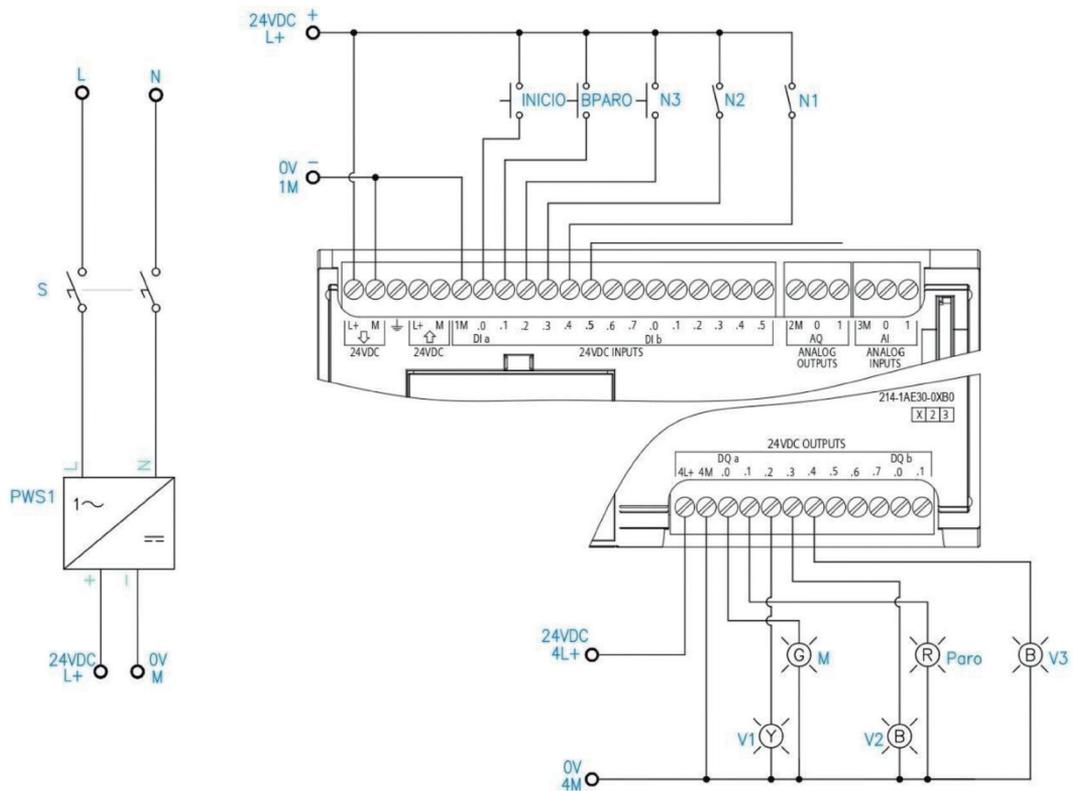
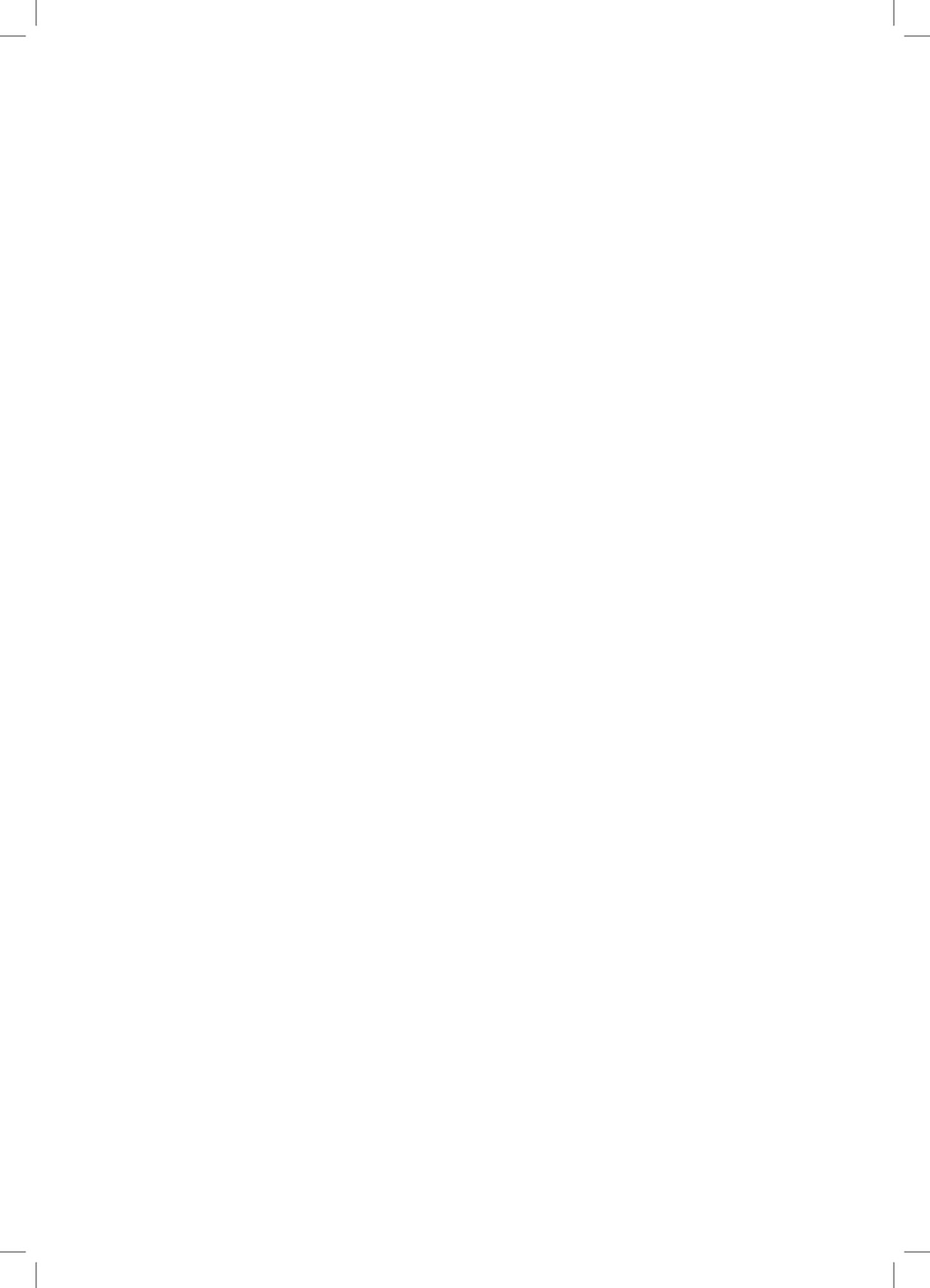


Figura 48. Esquema de conexiones del sistema de control de mezcla de líquidos

Cuestionario

- Establezca el GRAFCET y Ladder de un sistema de arranque y parada de un motor a partir de un pulsador de arranque y otro de parada.
- Identifique los elementos del GRAFCET en la solución de la pregunta anterior.
- Enumere las principales diferencias entre Ladder y GRAFCET.
- Investigue los pasos para transformar un GRAFCET a Ladder.



Capítulo 3

Instrucciones en TIA Portal de programación básicas en Ladder



Introducción

En este capítulo se abordarán los principales tipos de programación en Ladder. Se mostrarán las características de varios de los componentes que TIA Portal ofrece para facilitar la programación de los PLCs.

Programación con instrucciones binarias

Dentro de un sistema de automatización industrial, muchos de los sensores, actuadores e indicadores utilizados son de tipo discreto o binarios (2 posibles valores: “1” o “0”; “todo” o “nada”; “prendido” o “apagado”; “abierto” o “cerrado”, o cualquier otro tipo de identificador que se le quiera dar a un evento que tiene solo dos posibles estados).

En nuestra vida cotidiana es frecuente encontrarse con este tipo de elementos; por ejemplo, al entrar en una habitación oscura se presiona un interruptor (evento discreto) a partir del cual se enciende un foco (evento discreto); cosa similar sucede al salir de la habitación y apagar la luz [29].

Lo mismo ocurre dentro de entornos industriales, con la diferencia de que en muchos casos la presión del interruptor es reemplazada por sensores que detectan la presencia de un elemento o variable de interés. Este cambio en el estado de un sensor es manifestado por el controlador o PLC y genera la ejecución de una lógica de programación acorde con el requerimiento del proceso ante este cambio.

De manera general, a todos los comandos que permiten el trabajo con variables de este tipo se identifican como instrucciones binarias. A continuación, se presentan estas y sus posibles combinaciones dentro de la programación de PLC en Ladder.

Instrucciones binarias

Dentro de los recursos con los que cuenta TIA Portal para programar un PLC, hay varias instrucciones binarias. Estas pueden ser insertadas en un programa, seleccionando la pestaña *Instrucciones básicas*, en el árbol *Operaciones lógicas con bits* que se despliega (ver Figura 49).

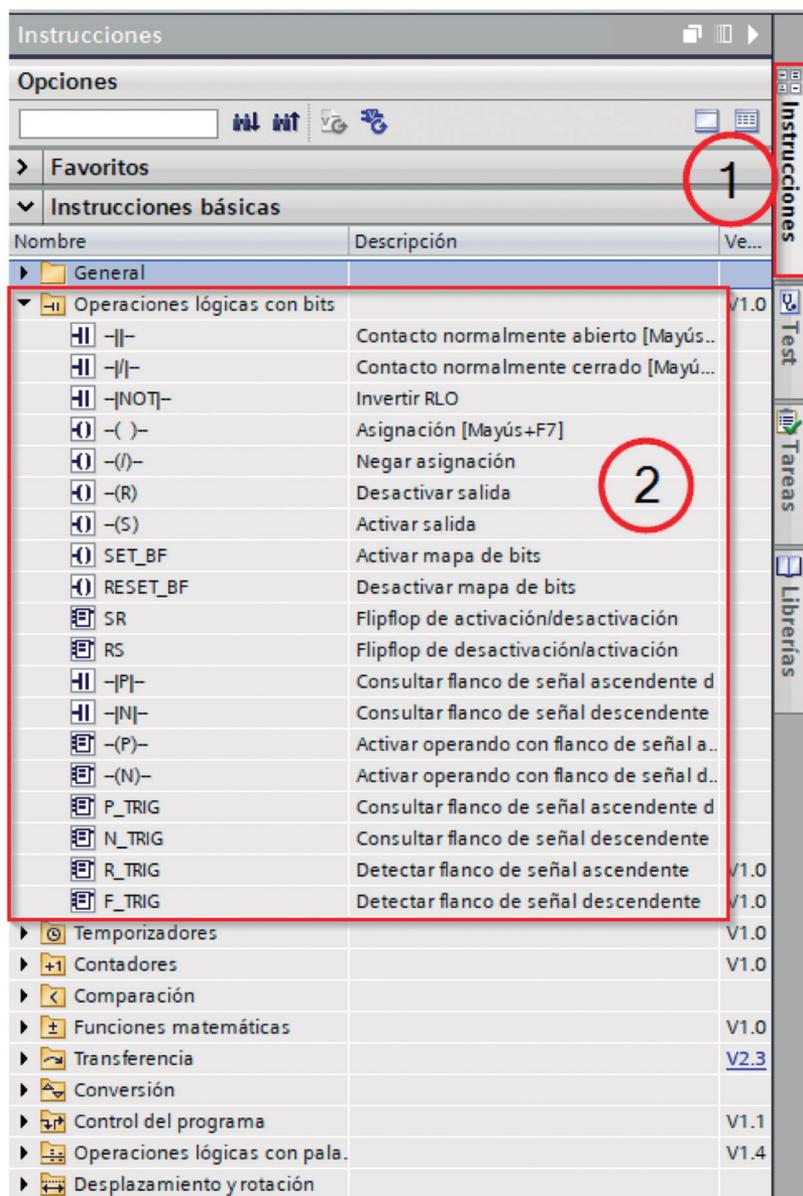


Figura 49. Lista de instrucciones binarias

Las instrucciones se arrastran hacia el Ladder y se insertan en la lógica del programa, se asigna la variable, que debe adicionarse o definirse previamente en la tabla de variables; de esta forma, se desarrolla la lógica de funcionamiento de un sistema. A continuación, se describirán las instrucciones más utilizadas y se darán ejemplos de funcionalidad.

Contacto normalmente abierto

Como su nombre lo indica, es un elemento que en su estado normal o inicial está abierto (NA) y, cuando recibe o detecta una señal, activa o cierra su contacto, mientras la señal de excitación no cambie de estado. Si esta retorna a cero, el contacto vuelve a su estado inicial abierto. Los contactos NA utilizan variables de entrada, salida o marcas. Pueden estar conectados en serie (operación AND), paralelo (Operación OR), combinaciones mixtas o con otros bloques de instrucción con el fin de establecer una lógica de funcionamiento. En la Figura 50 se muestra el uso del contacto normalmente abierto.

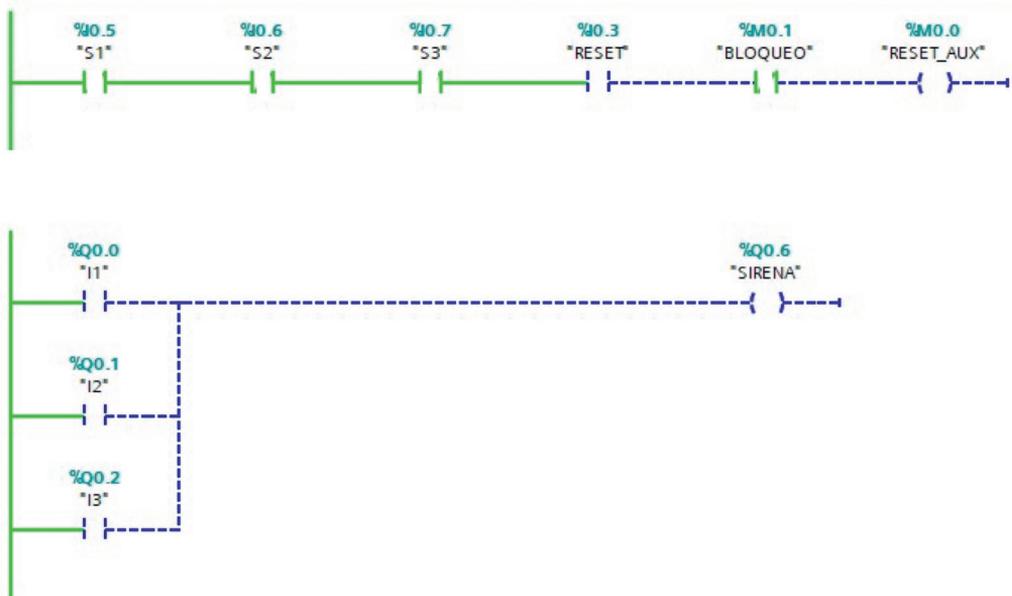


Figura 50. Utilización de contacto normalmente abierto en serie y paralelo

Contacto normalmente cerrado

Como su nombre lo indica, es un elemento que en su estado normal o inicial está cerrado (NC). Cuando recibe o detecta una señal, se activa o abre su contacto, mientras la señal exista; al desaparecer la excitación, retorna a su estado inicial cerrado.

Asignación o bobina

Es un elemento de salida que se coloca al extremo derecho del Ladder y que representa la variable a activar o desactivar por la secuencia lógica desarrollada. Las bobinas

pueden ser asignadas a variables de salida o marcas, pero no a entradas. Debe tenerse mucho cuidado de utilizar una sola *asignación* por variable, ya que, si bien es cierto que esto no es detectado como error por el programa, puede generar conflictos en la activación o desactivación de la variable. En la Figura 51 se muestra el ejemplo de un enclavamiento realizado con una bobina/asignación.

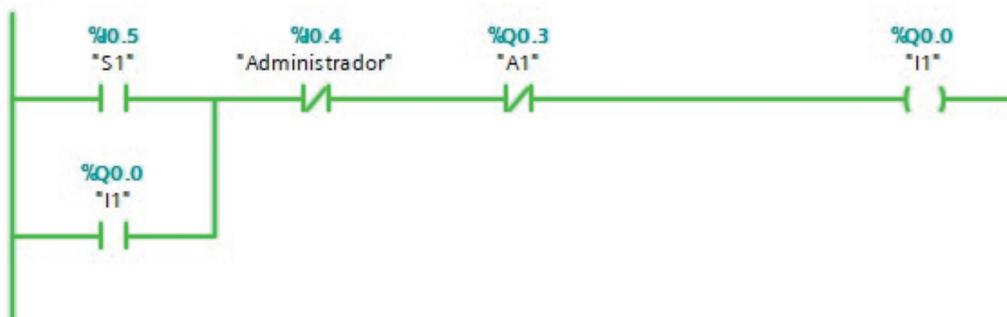


Figura 51. Utilización de la asignación

Negación de asignación

Es similar al de asignación, con la diferencia de que al activarse la secuencia lógica, la variable se apaga y viceversa. Ver ejemplo en la Figura 52.

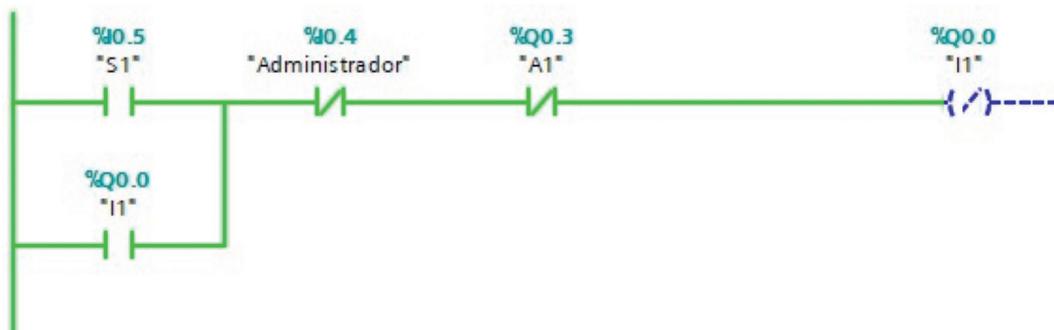


Figura 52. Utilización de la negación de asignación

Inversión Not

Cambia el estado lógico de una variable de entrada, pasándola de 0 a 1 o viceversa.

Activación de salida SET

Al recibir una señal de activación, mantiene el estado de la variable de salida en "1". Si la señal de excitación retorna a 0, la salida no cambia (mantiene su valor) hasta recibir un comando de RESET.

Desactivación de salida RESET

Al recibir una señal de activación, cambia el estado de la variable de salida a “0” (ver Figura 53). Las bobinas SET y RESET, al estar asociadas, deben ser asignadas a la misma variable o marca.

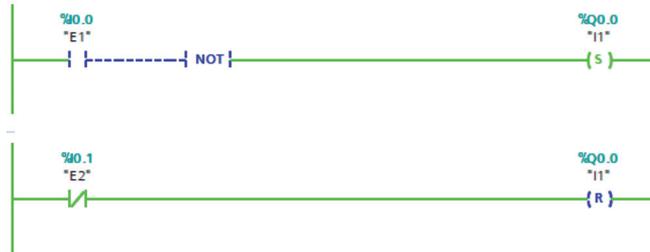


Figura 53. Utilización de instrucciones NOT, SET y RESET

Activación y desactivación de mapa de bits SET_BF y RESET_BF

Estas instrucciones permiten activar o desactivar un número determinado de bits a partir de una dirección específica. Mantienen dos parámetros: el primero se coloca encima de la instrucción y corresponde al bit inicial desde donde se quiere modificar; el segundo se coloca debajo de la instrucción e indica cuántos bits serán modificados. En la Figura 54 se presenta un ejemplo que permite activar y desactivar 3 bits a partir de la dirección de marca M1.0. Al accionar el contactor *Activar*, las marcas correspondientes a M1.0, M1.1 y M1.2 se habilitarán (set) simultáneamente, permitiendo que las salidas Q0.0, Q0.1 y Q0.2 también se activen. Para desactivar las salidas, se habilita la variable *Desactivar*, la cual apaga (reset) las marcas M1.0, M1.1 y M1.2.

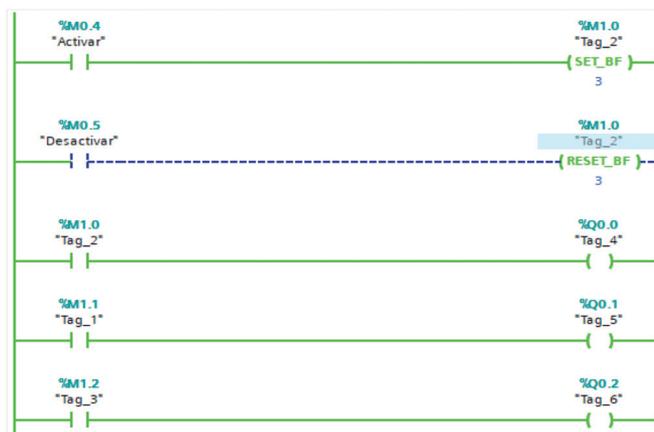


Figura 54. Utilización de instrucciones SET_BF y RESET_BF

Detección de flanco ascendente y descendente

Permite detectar el cambio de 0 a 1 en su entrada. Es denominado como flanco ascendente; esta señal permanece en 1 solo durante el ciclo de máquina en el que es detectado. Se utiliza cuando hay señales de cambio rápido, para evitar la inserción de ruido. Esta instrucción requiere de dos variables, una de entrada —que corresponde a la señal sobre la cual se va a detectar el flanco—, colocada en la parte superior; y otra de salida, que mantiene o copia el estado lógico de la variable de entrada que se sitúa en la parte inferior. De forma similar funciona el detector de flancos descendente, el cual permite la detección del cambio de la señal de entrada de 1 a 0 (flanco descendente). La Figura 55 ejemplifica el programa para detección de flancos.

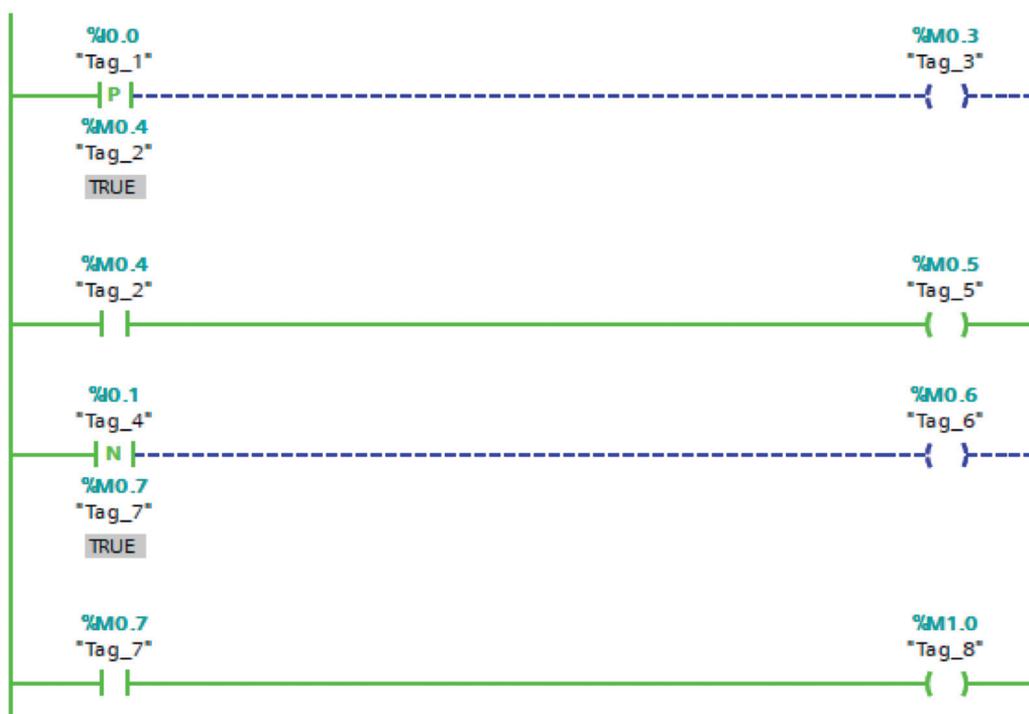


Figura 55. Detección de flanco ascendente (`|P|`) y descendente (`|N|`)

Flip Flop SR y RS

En ambos casos, las instrucciones colocan su salida Q a 1, cuando en su entrada S o S1 (set) se detecta una señal de activación. Q se mantiene encendida hasta recibir una señal de reset. Sin embargo, ante la activación simultánea de set y reset, la de mayor prioridad es el reset, por lo que coloca la salida Q en 0 (ver Figura 56).

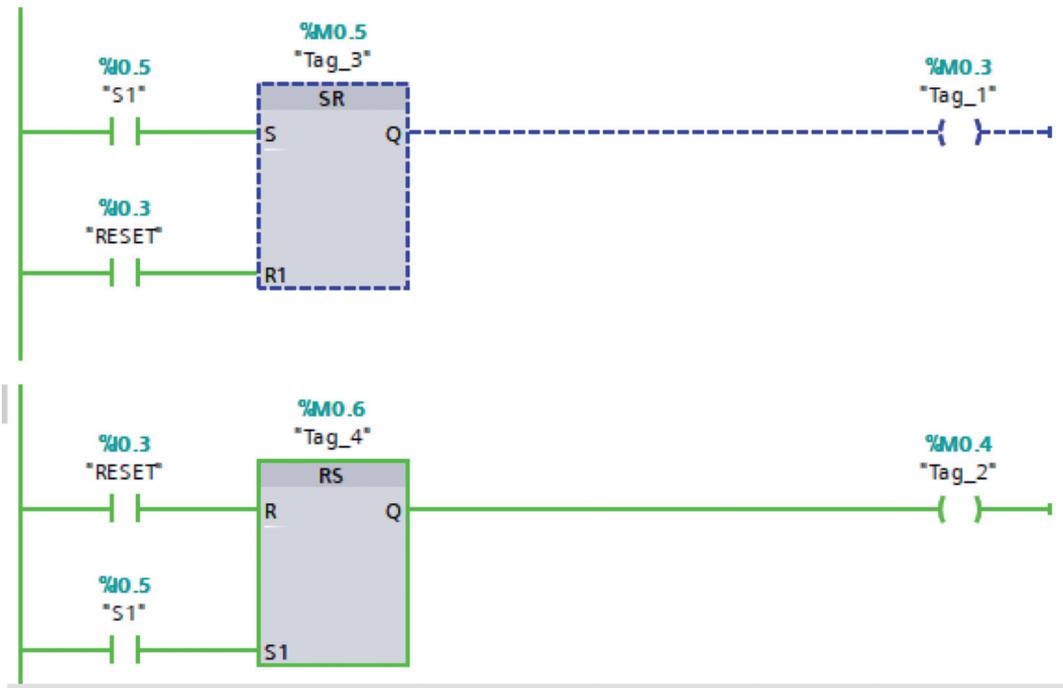


Figura 56. Flip Flop SR y RS

Programación con temporizadores y contadores

En un sistema de automatización industrial, muchos de los procesos requieren de tiempos de ejecución o espera bajo determinadas condiciones. Para ello, el uso de los temporizadores es muy común en ambientes industriales y procesos automatizados, por lo que existen varios tipos de instrucciones para implementar retardos.

Asimismo, es muy útil en procesos industriales contar con sistemas de conteo que permitan identificar las cantidades de producto terminado, materia prima ingresada, piezas con determinadas características y piezas con fallas, entre otras, por lo que el uso de contadores es muy común. Ambos tipos de recursos se van a tratar en este capítulo, con la finalidad de aprender su funcionamiento y aplicación en ambientes industriales.

Temporizadores

La utilización de los temporizadores es habitual dentro de algunos procesos, dado que existen varias acciones que requieren ser controladas o supervisadas en función del tiempo. En este sentido, los temporizadores son elementos programables que utilizan

un registro interno para almacenar el valor de temporización. Es de tipo doble entero con signo de 32 bits —con lo cual, el valor máximo de temporización posible es 24 días, 20 horas, 31 minutos, 23 segundos y 647 milisegundos—. Así también, el número máximo de temporizadores en un programa depende del tamaño de la memoria del CPU.

En la Figura 57 se pueden observar los tipos de temporizadores que están disponibles en TIA Portal con una breve descripción de su funcionamiento.

Temporizadores	
TP	Impulso
TON	Retardo al conectar
TOF	Retardo al desconectar
TONR	Acumulador de tiempo
-(TP)-	Arrancar temporizador como impulso
-(TON)-	Arrancar temporizador como retardo a la conexión
-(TOF)-	Arrancar temporizador como retardo a la desconexión
-(TONR)-	Acumulador de tiempo
-(RT)-	Inicializar temporizador
-(PT)-	Cargar tiempo

Figura 57. Tipos de temporizadores en TIA Portal

Temporizador on-delay

El temporizador de retardo a la conexión (ver Figura 58) inicia al recibir un flanco ascendente de una señal conectada a la entrada IN del bloque. Cuando se detecta este evento, comienza la temporización durante el valor fijado en la entrada tiempo preestablecido (PT). La salida tiempo transcurrido (ET) opcionalmente puede asignarse a una variable para ser utilizada en otra sección del programa. El valor de temporización se establece según el formato de tipo de datos TIME: T#(días)d(horas)h(minutos)m(segundos)s(milisegundos)ms. Por ejemplo, T#5h10m, T#2d5h10m30s5ms. Cuando no se especifica ninguna unidad de tiempo, el valor configurado se asumirá por defecto en milisegundos.

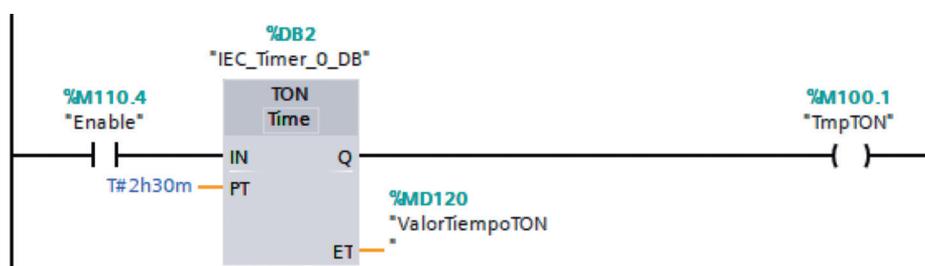


Figura 58. Bloque de programación de temporizador con retardo a la conexión

Un ejemplo para comprender el funcionamiento de este temporizador se puede observar en el diagrama de la Figura 59. Cuando la terminal IN se energiza en los tiempos T1, T4 y T6, el conteo del temporizador (ET) empieza; sin embargo, la salida Q no se activa ya que aún no se ha cumplido el tiempo PT. En los tiempos T2 y T7, el tiempo de ET llega a ser igual PT, lo que genera la activación de la salida Q hasta cuando se desconecte la entrada IN en los tiempos T3 y T8, en donde tanto PT como Q se resetean. Es importante observar lo que sucede entre T4 y T5, ya que IN no permanece suficiente tiempo activado, lo que genera que ET nunca llega al nivel de PT y la salida Q no se llega a activar.

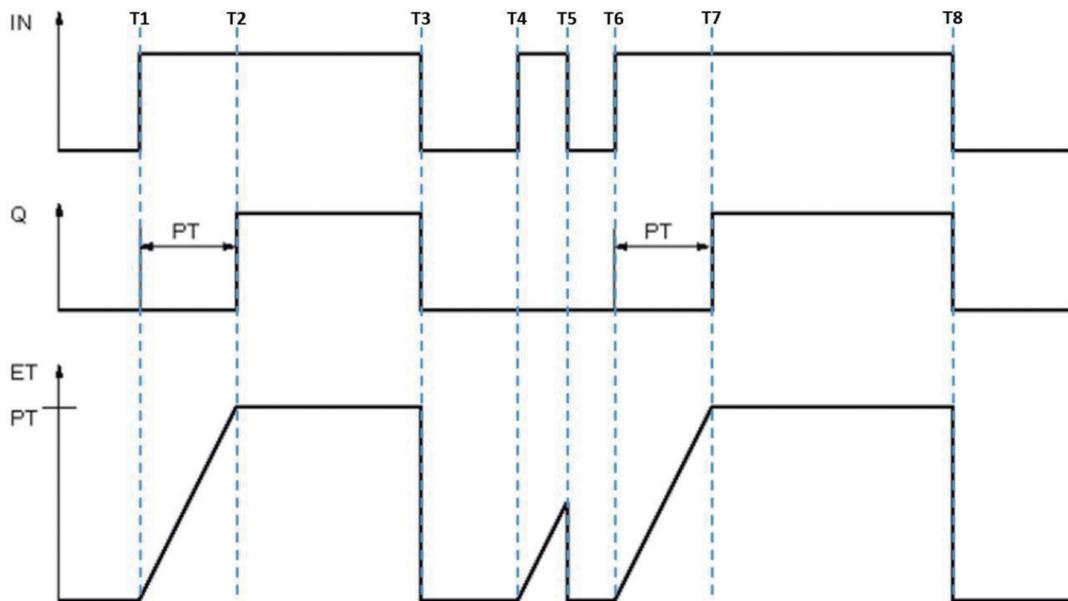


Figura 59. Diagrama de tiempos con retardo a la conexión. Tomado de [6].

Temporizador off-delay

El temporizador de retardo a la desconexión se activa con el flanco descendente de una señal conectada a la entrada IN del bloque. Al igual que en el caso anterior, el valor a temporizar se fija en la entrada PT, siguiendo el formato de datos tipo TIME. El símbolo del temporizador off-delay se muestra en la Figura 60.

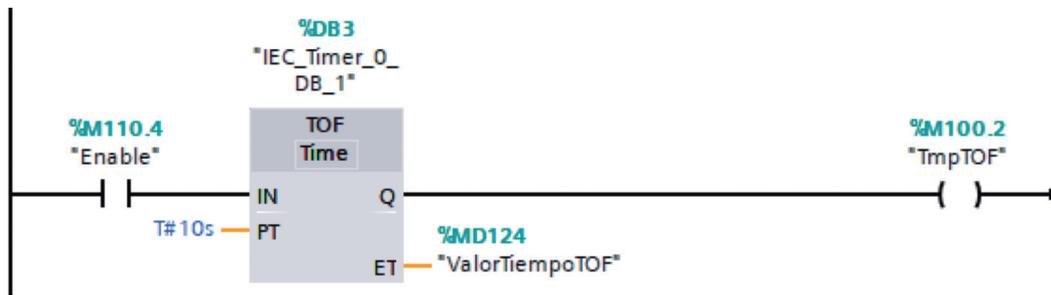


Figura 60. Bloque de programación del temporizador con retardo a la desconexión en TIA Portal

Un ejemplo sencillo para comprender el funcionamiento de este temporizador se puede visualizar en el diagrama de la Figura 61. Cuando la terminal IN se energiza en T1, T4 y T6, la salida Q se activa. Una vez que IN se desactiva en los tiempos T2, T5 y T7 empieza el conteo de tiempo ET. Si ET llega al valor del tiempo asignado PT (T3 y T8), entonces la salida Q se apagará; caso contrario, si ET no llega a ser igual que PT, la salida Q no se apagará (de T5 a T6).

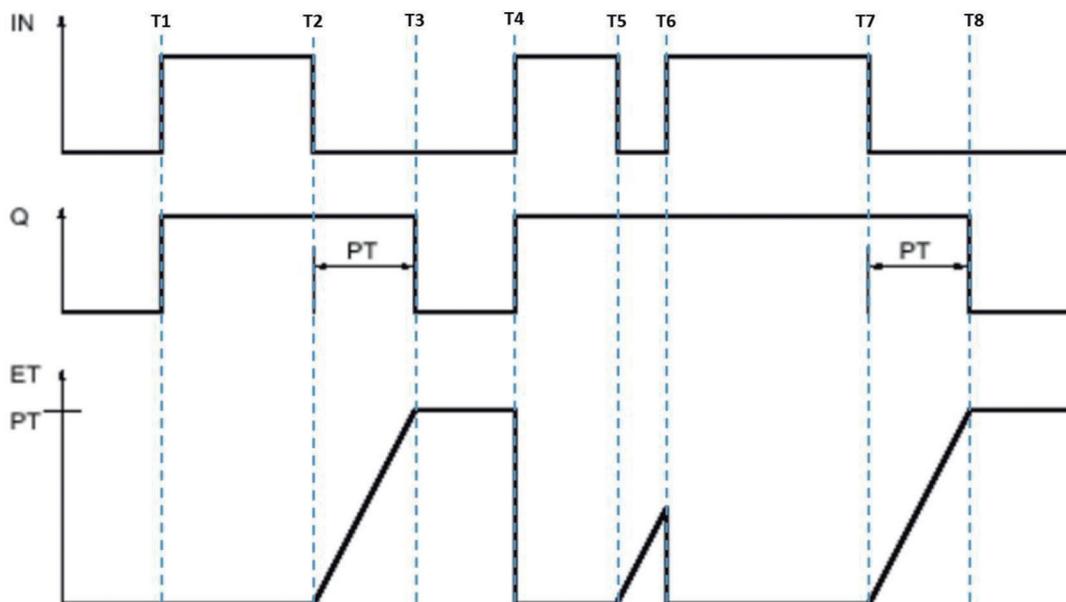


Figura 61. Diagrama de tiempos con retardo a la desconexión. Tomado de [2].

Contadores

Los contadores son variables internas que permiten realizar la cuenta de acontecimientos internos o externos en un PLC. En la Figura 62 se presentan los tipos que existen en TIA Portal. Los datos permitidos con los que puede trabajar un contador para la serie S7-1200 son Int, Sint, DInt, USInt, UInt, UDInt.

 Contadores	
 CTU	Contador ascendente
 CTD	Contador descendente
 CTUD	Contador ascendente - descendente

Figura 62. Tipos de contadores en TIA Portal

Contador ascendente

Este tipo de contador, cada vez que detecta un flanco ascendente en la entrada CU, se encarga de incrementar el valor de la cuenta en una unidad en la variable CV, iniciando en 0. Cuando el valor en la variable de salida CV es igual o mayor que el asignado en las entradas PV, se activará la salida Q del bloque del contador; se mantendrá en este estado hasta que se realice un reset mediante la entrada R, que a su vez coloca el contador en cero. El símbolo del contador ascendente se muestra en la Figura 63.

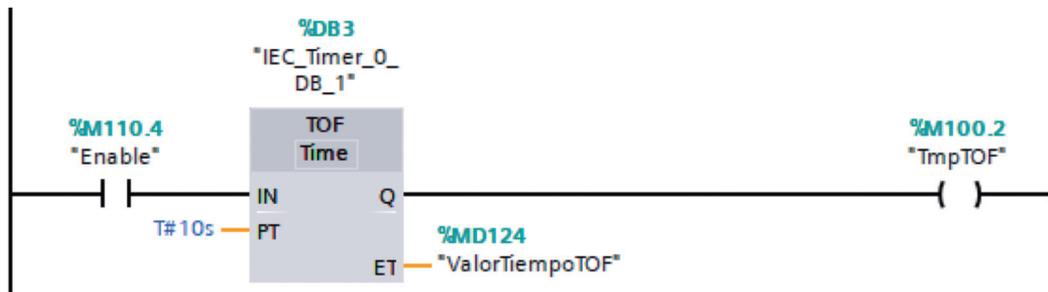


Figura 63. Contador tipo CTU

Contador descendente

Este contador (ver Figura 64) se encarga de decrementar en una unidad el valor de la variable CV cuando se detecta un flanco ascendente en la entrada CD. Para iniciar la cuenta descendente se debe dar un pulso en la entrada LD para cargar el valor fijado en PV en la variable de cuenta CV; caso contrario, se inicia el decremento desde 0. La salida Q se activa cuando el valor de CV es menor o igual a cero.

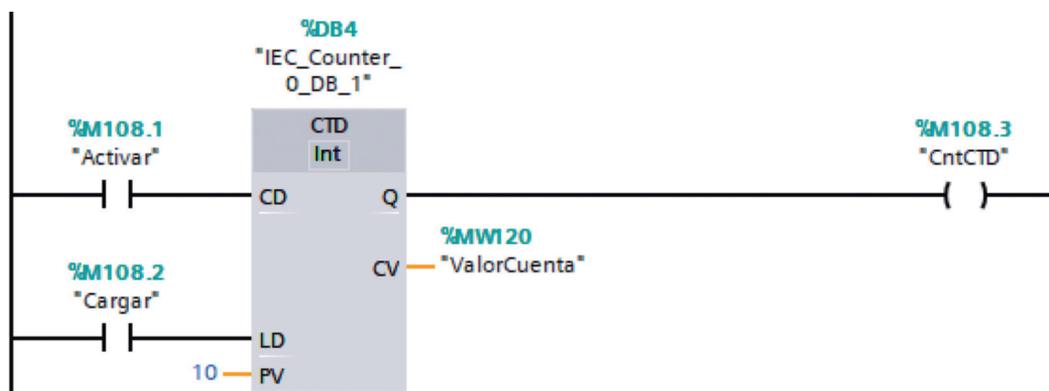


Figura 64. Contador tipo CTD

Programación con operaciones de carga de datos

Dentro de procesos industriales, bajo ciertas condiciones, puede requerirse configurar una máquina o proceso para la elaboración de determinado modelo de producto con características definidas —como tamaño, peso, color, número de partes, etc.— que, a su vez, conectan varias categorías. Dado que estas características no podrían ser reflejadas a partir de un bit, requieren de un valor numérico para ser identificadas, para lo cual se utilizan otros tipos de variables, como int, real, word, byte o doble word. Los valores de estas variables se transfieren a la memoria del PLC a través de las instrucciones de carga, que son de mucha utilidad en los casos descritos.

Instrucciones de carga o transferencia de datos

Dentro de los recursos de programación con que cuenta un PLC en TIA Portal se encuentran varias instrucciones de carga. Se localizan en las herramientas de programación que pueden ser insertadas en un programa. Para ello, se debe seleccionar la pestaña *Instrucciones básicas*, en el árbol que se despliega, y elegir la opción *Transferencia*. En la Figura 65 se observan las operaciones que se pueden realizar; por ejemplo, movimiento de datos, relleno, inicialización de variables y bloques de datos, entre otros.

▼	Transferencia	
☒	MOVE	Copiar valor
☒	Deserialize	Deserializar
☒	Serialize	Serializar
☒	MOVE_BLK	Copiar área
☒	MOVE_BLK_VARIANT	Copiar área
☒	UMOVE_BLK	Copiar área sin interrupciones
☒	FILL_BLK	Rellenar área
☒	UFILL_BLK	Rellenar área sin interrupciones
☒	SCATTER	Dispersión de una secuencia de bits en bits individuales
☒	SCATTER_BLK	Dispersión de elementos de un ARRAY of secuencia de bits en bits individuales
☒	GATHER	Recopilación de bits individuales en una secuencia de bits
☒	GATHER_BLK	Recopilación de bits individuales en varios elementos de un ARRAY of secuencia de bits
☒	SWAP	Cambiar disposición
▶	Variant	
▶	Array[*]	
▶	Legacy	

Figura 65. Instrucciones de carga

MOVE

Esta instrucción permite copiar un dato ubicado en una dirección origen a una dirección destino. Puede realizarse de forma continua o a partir de la activación de la entrada de habilitación (EN). Al terminar la operación de carga, se activa la salida ENO. Asimismo, se debe considerar que la instrucción puede tener destino múltiple, adicionando destinos y seleccionando el símbolo de asterisco, el cual se visualiza en la parte inferior central de la instrucción (Figura 66). El tipo de variable se ajusta a diferentes tipos, como word, doble word, int, real, entre otros, los cuales se ajustan al seleccionar el dato origen. La instrucción MOVE también permite extraer caracteres individuales de una cadena, donde la posición del carácter se debe indicar entre corchetes.

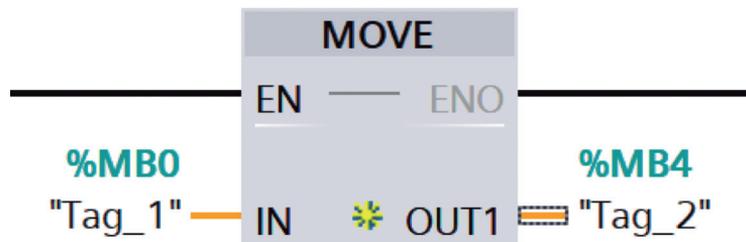


Figura 66. Instrucción MOVE

MOVE_BLK

Este bloque es similar a la instrucción MOVE, con la diferencia de que copia un bloque de datos origen a un bloque de datos destino, estableciendo la dirección inicial de origen y destino. Mediante el operando de entrada CONT, se define la cantidad de datos a copiar. Esta instrucción requiere de arreglos de datos (ver Figura 67).

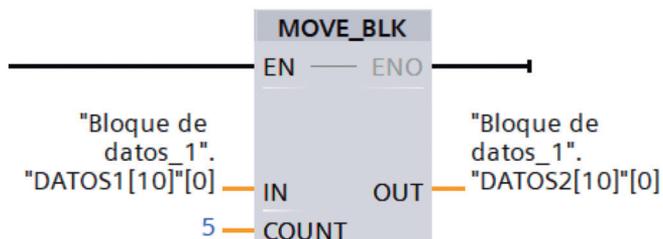


Figura 67. Instrucción MOVE_BLK

FILL_BLK

Permite inicializar o cargar un arreglo de datos con un valor predeterminado o constante definido en la entrada IN. El parámetro de entrada COUNT determina el número de datos dentro del arreglo a llenar (ver Figura 68).

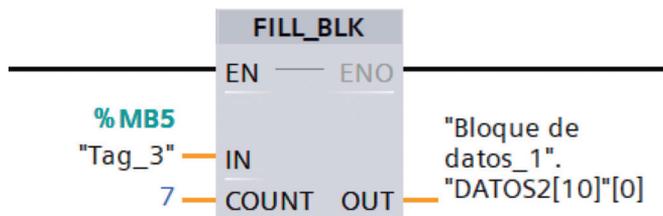


Figura 68. Instrucción FILL_BLK

Instrucciones de desplazamiento y rotación

En determinadas aplicaciones, se puede requerir realizar operaciones de desplazamiento o rotación de un determinado valor y sentido para realizar una acción o indicar el avance de un proceso de producción. Para esto, en TIA Portal se cuenta con las instrucciones que se muestran en la Figura 69.

Desplazamiento y rotación	
SHR	Desplazar a la derecha
SHL	Desplazar a la izquierda
ROR	Rotar a la derecha
ROL	Rotar a la izquierda

Figura 69. Instrucciones de desplazamiento y rotación

Instrucciones SHR y SHL

Estas instrucciones permiten el desplazamiento de un determinado número de bits hacia la derecha (SHR) o la izquierda (SHL). Dichas operaciones admiten varios tipos de datos y requieren de un flanco ascendente en la entrada de habilitación EN para operar (ver Figura 70). El registro a operar se asigna a la entrada IN y el número de bits a desplazar corresponde al parámetro N. Por ejemplo, si su valor es 1, el valor de Tag_9 almacenado en MD100 se desplazará de bit en bit. Para el caso del desplazamiento a la derecha (SHR), el valor del bit de signo se asigna a los bits que quedan libres, como se observa en la Figura 70. En el desplazamiento a la izquierda (SHL), a los bits que quedan libres se les asigna un valor de 0. La salida ENO se activa cuando la operación ha finalizado y el resultado se encuentra listo en la salida OUT.

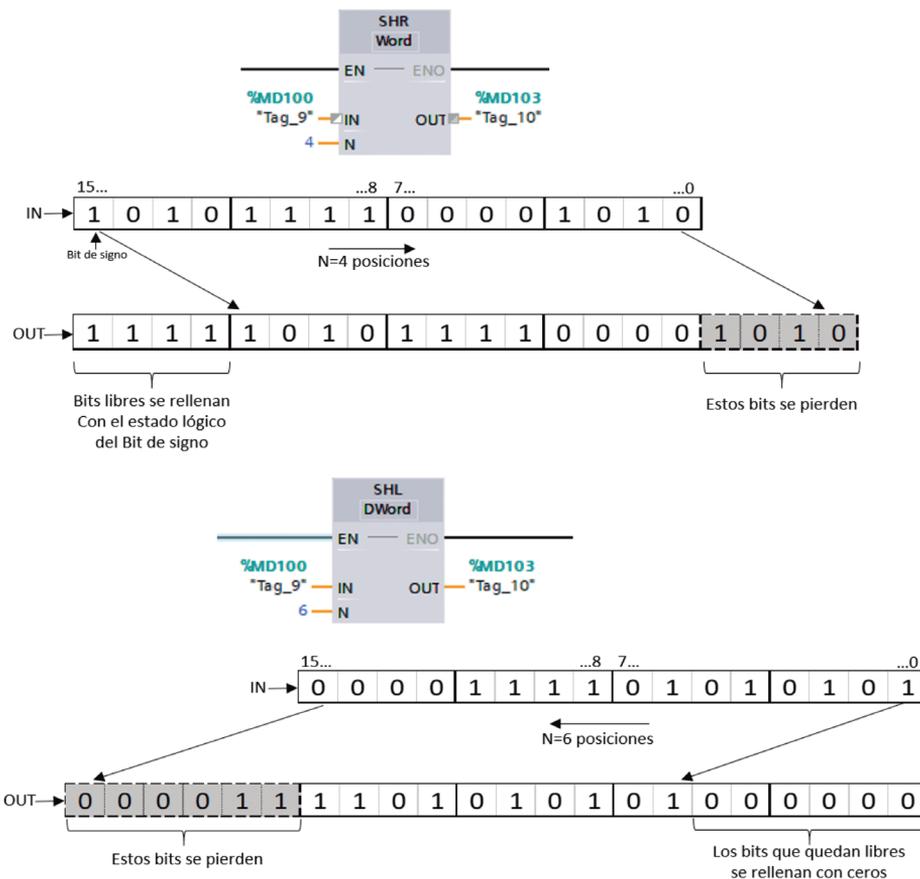


Figura 70. Instrucciones de desplazamiento

Instrucciones ROR y ROL

Estas instrucciones permiten la rotación de un determinado número de bits definido en el parámetro N, hacia la derecha (ROR) o la izquierda (ROL). El tipo de dato se debe definir como parte de los parámetros de configuración. A diferencia de las instrucciones SHR o SHL, los bits desplazados no se pierden, sino que ingresan nuevamente al registro (Figura 71).



Figura 71. Instrucción de rotación

Programación con operaciones aritméticas

Dentro de procesos industriales, en determinados casos, puede requerirse del uso de operaciones aritméticas para cálculos de tiempos de accionamiento, parámetros de control, valores de variables, volúmenes de materia prima, temperatura de hornos, etc. Los PLC's cuentan con una amplia gama de operaciones aritméticas y lógicas que trabajan con determinados tipos de variables. Así, una de las principales consideraciones al momento de utilizar estas instrucciones es considerar que los tipos de datos sean compatibles entre sí y aceptados por la instrucción.

Instrucciones aritméticas

Dentro de los recursos de programación de TIA Portal se encuentran varias instrucciones aritméticas y lógicas seleccionando la pestaña *Instrucciones* en el árbol que se despliega. Como se observa en la Figura 72, se dispone de instrucciones de *Comparación*, *Funciones matemáticas* u *Operaciones lógicas con palabras*.

Comparación		Matemáticas		Lógicas	
▼ C	Comparación	▼ F	Funciones matemáticas	▼ L	Operaciones lógicas con pala.
HI	CMP ==	IC	CALCULATE	IC	AND
	Igual		Calcular		Operación lógica Y
HI	CMP <>	IC	ADD	IC	OR
	Diferente		Sumar		Operación lógica O
HI	CMP >=	IC	SUB	IC	XOR
	Mayor o igual		Restar		Operación lógica O exclusiva
HI	CMP <=	IC	MUL	IC	INVERT
	Menor o igual		Multiplicar		Complemento a 1
HI	CMP >	IC	DIV	IC	DECO
	Mayor		Dividir		Descodificar
HI	CMP <	IC	MOD	IC	ENCO
	Menor		Obtener resto de división		Codificar
HI	IN_Range	IC	NEG	IC	SEL
	Valor dentro del rango		Generar complemento a dos		Seleccionar
HI	OUT_Range	IC	INC	IC	MJX
	Valor fuera del rango		Incrementar		Multiplexar
HI	~OK	IC	DEC	IC	DEMUX
	Comprobar validez		Decrementar		Desmultiplexar
HI	~NOT_OK	IC	ABS		
	Comprobar invalidez		Calcular valor absoluto		
		IC	MIN		
			Determinar mínimo		
		IC	MAX		
			Determinar máximo		
		IC	LIMIT		
			Ajustar valor limite		
		IC	SQR		
			Calcular cuadrado		
		IC	SQRT		
			Calcular raíz cuadrada		
		IC	LN		
			Calcular logaritmo natural		
		IC	EXP		
			Calcular valor exponencial		
		IC	SIN		
			Calcular valor de seno		
		IC	COS		
			Calcular valor de coseno		
		IC	TAN		
			Calcular valor de tangente		
		IC	ASIN		
			Calcular valor de arcoseno		
		IC	ACOS		
			Calcular valor de arcocoseno		
		IC	ATAN		
			Calcular valor de arcotangente		
		IC	FRAC		
			Determinar decimales		
		IC	EXPT		
			Elevar a potencia		

Figura 72. Instrucciones aritméticas

Instrucciones de comparación

Permiten realizar comparaciones comúnmente utilizadas en diferentes lenguajes de programación como el igual, mayor que, menor que, mayor o igual que, dentro de rango, fuera de rango, entre otros. Este tipo de operaciones requiere de dos parámetros (operando A y operando B); la diferencia radica en el tipo de comparación asignada. Por lo general, la salida que presentan es de tipo booleano; es decir, indica si se cumple o no la condición de comparación.

Se debe tener en cuenta el tipo de dato de las variables. En la lista desplegable (ver Figura 73) se puede configurar como word, doble word, entero, real, etc. Estos aparecen al hacer doble clic en la instrucción. Ambos operandos deben ser del mismo tipo.

Un caso particular son las instrucciones IN_RANGE y OUT_RANGE, que permiten determinar si el valor de una variable está dentro o fuera de un rango, ya que esta admite una señal de activación y tiene tres operandos de entrada: Valor Max, Valor Min y Valor de Entrada (ver Figura 74).

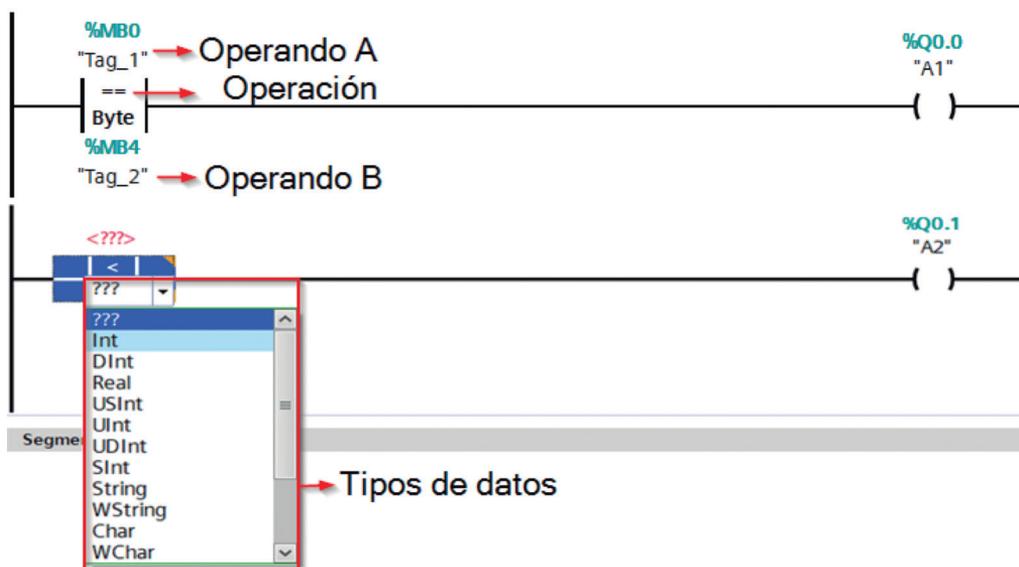


Figura 73. Instrucciones de comparación

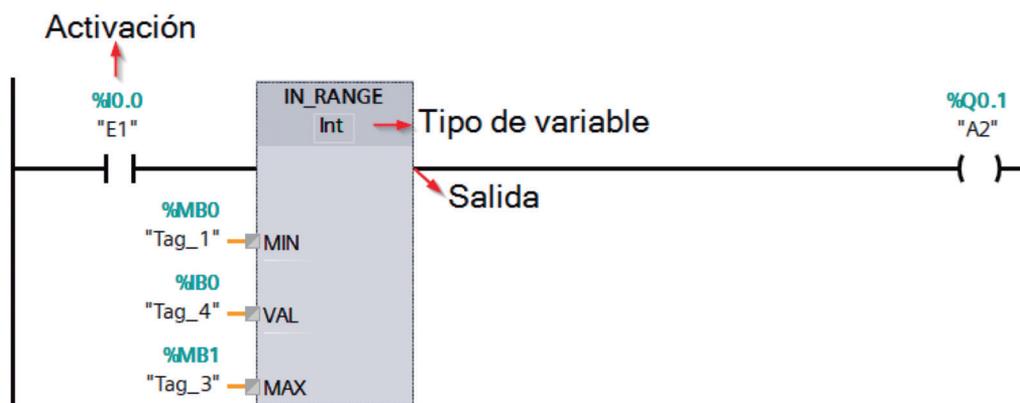


Figura 74. Instrucción IN_RANGE

Operaciones matemáticas

Las operaciones matemáticas que soporta TIA Portal para la serie S7-1200 y S7-1500 más comunes son suma, resta, multiplicación, división, potenciación, radicación, funciones trigonométricas, etc.

Existen operaciones —como la suma— que admiten más de dos variables y otras que admiten únicamente dos —como la división—. Esto está limitado a las propias características de la operación. El tipo de salida también cambia en función de la operación y, en algunos casos, puede definirse como auto; es decir que el software en el momento

de realizar la operación la definirá de mejor manera con base en los tipos de variables de entrada.

La entrada de habilitación (EN) y la salida de la operación (ENO) permite establecer una secuencia de ejecución (definición de orden) de operaciones aritméticas.

Para implementar una ecuación matemática, la instrucción CALCULATE es muy útil. Esta permite definir un conjunto de operaciones a realizar con las variables de entrada y ofrece un resultado único (ver Figura 75).

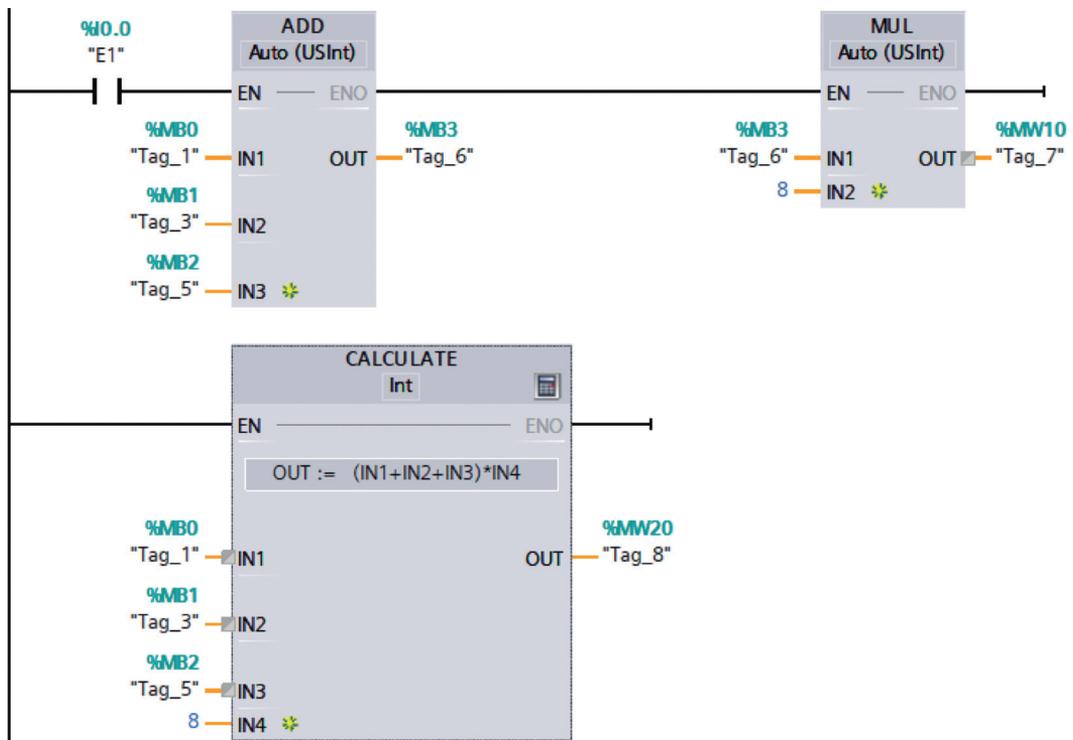


Figura 75. Operaciones aritméticas

Operaciones lógicas

Las operaciones lógicas básicas AND, OR, XOR e INVERT se realizan con bytes; también se cuenta con operaciones de multiplexación y demultiplexación. Las condiciones de configuración son similares a las de las operaciones matemáticas en lo referente a habilitación (EN), fin de operación (ENO), adición de elementos de entrada, operandos de entrada y salida (ver Figura 76).

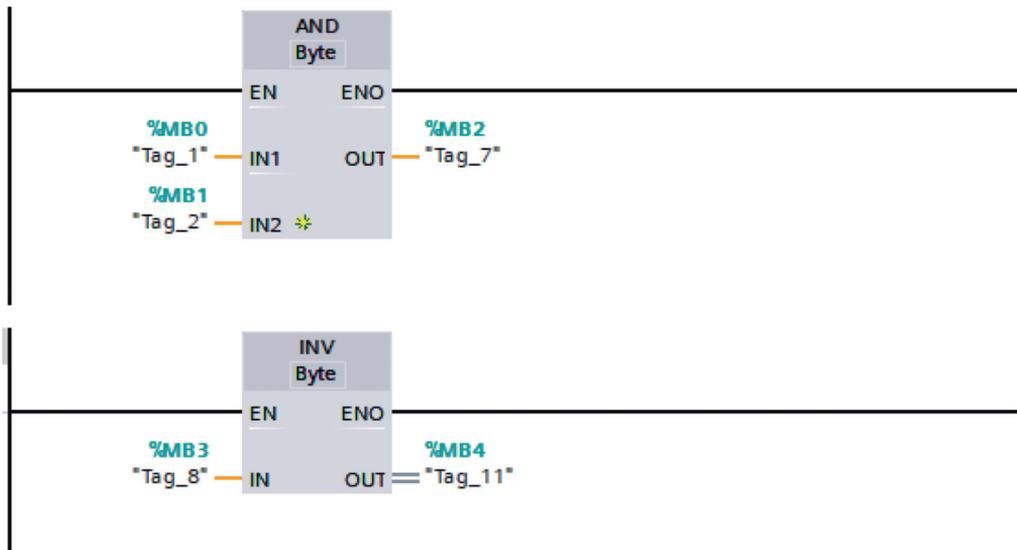


Figura 76. Operaciones lógicas

Bloques de datos DB

Los DB globales son espacios de memoria dentro del PLC, donde el programador puede declarar diferentes tipos de datos que pueden ser llamados en cualquier instante. Se diferencian de las marcas de memoria en que en este espacio las variables que se declaran pueden ser de tipo más diverso, ya que aparte de los comunes como byte, word, int, real, time, entre otras, pueden soportar variables tipo string, cadena de caracteres date, entre otros. Mientras, que las marcas de memoria pueden declarar datos principalmente definidos por su tamaño como byte, word, doble word, int, real, entre otros. Por lo tanto, los DB corresponden a un espacio de memoria que se identifica y puede ser utilizado en cualquier instante por el programador, pero no están en la memoria de datos del PLC, sino dentro de la del programa. Su utilidad radica en mantener un orden y, en un caso determinado, ayuda a evitar el solapamiento de direcciones.

A continuación, se presentan los pasos para crear bloques de datos DB (ver Figura 77):

- ① En el árbol del proyecto, seleccionar en *Bloques de programa*, la opción *Agregar nuevo bloque*.
- ② Seleccionar *Bloque de datos DB*.
- ③ Digitar el nombre a asignar al nuevo bloque.
- ④ Dar clic en *Aceptar*.

- ⑤ Crear las variables de forma muy similar a la tabla de variables, estableciendo los tipos de datos con base en los requerimientos del programa.

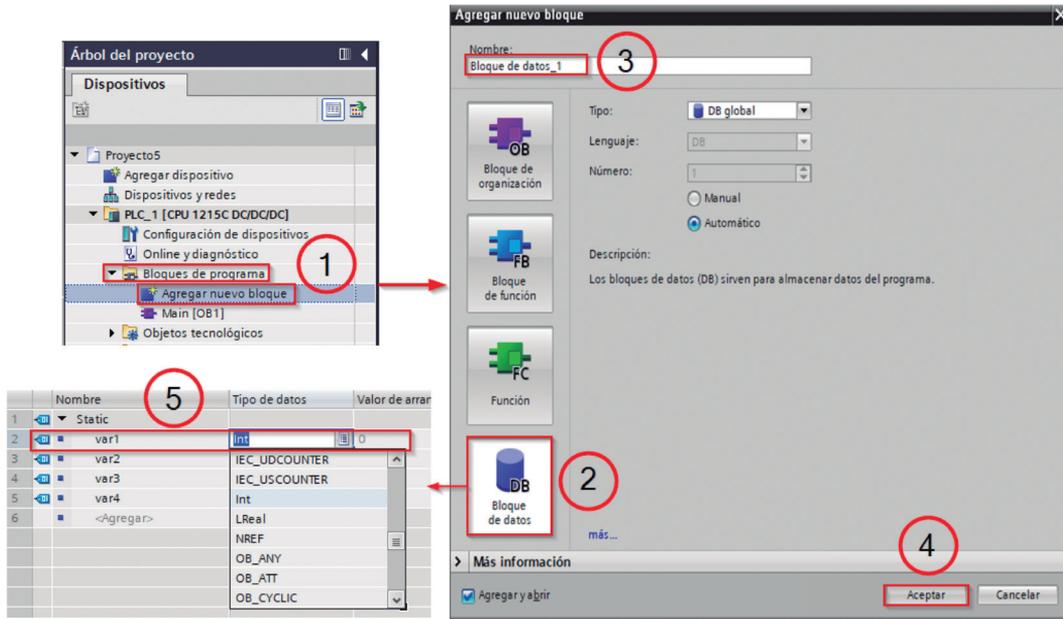


Figura 77. Creación de bloque de datos

Actividades experimentales

A continuación, se proponen actividades de aplicación en escenarios industriales de los temas tratados en este capítulo. Se busca poner en práctica los conocimientos adquiridos sobre las instrucciones de programación básicas en Ladder usando TIA Portal.

Automatización de un sistema de control ON/OFF de tres motores

La siguiente actividad tiene como objetivos:

- Identificar las instrucciones binarias, sus elementos y funcionalidad.
- Utilizar las instrucciones binarias dentro del desarrollo de programas en Ladder.
- Familiarizarse con el uso y manejo de las instrucciones binarias en Ladder.
- Programar aplicaciones utilizando instrucciones binarias, acorde con requerimientos planteados.

Planteamiento del problema

En la Figura 78 se muestran tres motores controlados por un solo botón de ENCENDIDO/APAGADO, un botón de RESET y un interruptor de BLOQUEO. El objetivo es que cada vez que se presione el botón de ENCENDIDO/APAGADO, los motores se enciendan en la siguiente secuencia: primero, el motor M1; luego, el motor M2 y, por último, el motor M3. Para la secuencia de apagado, se desea que el motor M2 lo haga primero, seguido por el motor M1 y, finalmente, el motor M3. En cualquier momento, si se presiona el botón de RESET, se apagan todos los motores y el interruptor de BLOQUEO desactiva el botón de ENCENDIDO/APAGADO.

No es posible activar o desactivar los motores en una secuencia diferente a la mencionada anteriormente. Para visualizar el funcionamiento, el sistema cuenta con dos indicadores: uno que muestra que el sistema está en proceso de encendido y otro, que el apagado está en ejecución. Si ambos indicadores están apagados, significa que el sistema está listo para arrancar. La Figura 79 muestra el esquema de conexiones.



Figura 78. Esquema de control de motores

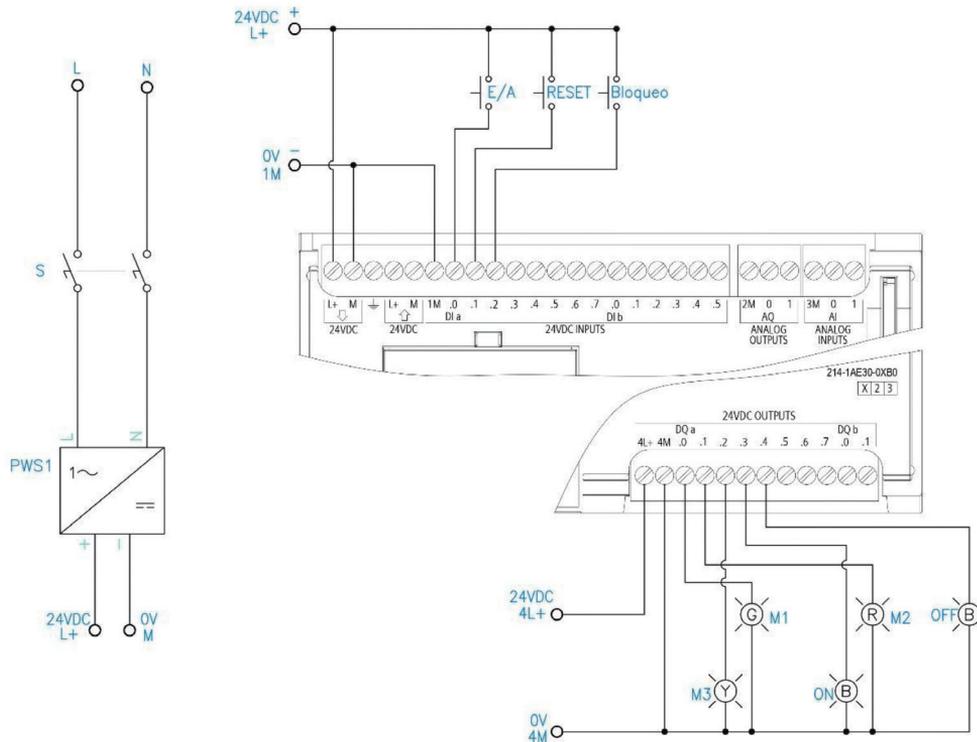


Figura 79. Esquema de conexión de entradas y salidas al PLC. Las salidas corresponden a las señales de control que comandan el circuito de fuerza conectado a los motores

Cuestionario

- Implemente un sistema de enclavamiento con contactos normalmente abiertos y cerrados, (S) y (R) y Flip Flop RS.
- Cree una tabla comparativa donde se muestre la implementación de compuertas “and” y “or” en Ladder utilizando enclavamientos y bobinas (S) y (R).
- Responda de acuerdo con su criterio, ¿qué puede provocar que una salida no se encienda, pese a que la lógica de un segmento establezca que debe encenderse?
- Conteste. ¿En qué casos debe utilizarse un detector de flanco (P)?

Automatización de montacargas

Los objetivos de esta actividad son:

- Analizar e identificar las características de temporizadores y contadores.

- Identificar los tipos de temporizadores y contadores con los que cuenta el programa TIA Portal.
- Programar una aplicación de control utilizando instrucciones de conteo y temporización.

Planteamiento del problema

Se requiere automatizar el movimiento de dos montacargas y que el movimiento ascendente y descendente tengan sincronismo, como se puede observar en la Figura 80. Para dar inicio al movimiento de los montacargas, hay un solo pulsador INICIO. Para el ascenso simultáneo se debe verificar que los dos montacargas se encuentren en la posición inicial (a, b), esperar 5 segundos y empezar el movimiento ascendente. En el caso del descenso simultáneo, ambos deben estar en la posición final (c, d), esperar 4 segundos y empezar el descenso hasta la posición inicial (a, b). Este proceso se debe repetir 5 veces. El sistema debe contar con un botón de paro BPARO, para detener el movimiento en cualquier momento del proceso, y con el pulsador de INICIO se da continuidad al proceso. Además, se cuenta con luces indicadoras de movimiento (FUN), paro (PARO), ascenso (ASC) y descenso (DESC). El esquema de conexiones se puede ver en la Figura 81.

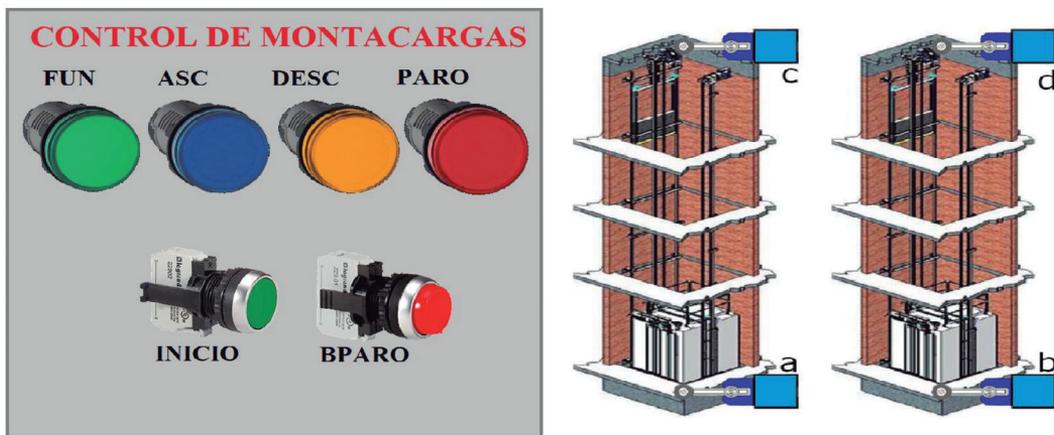


Figura 80. Sistema de control de montacargas

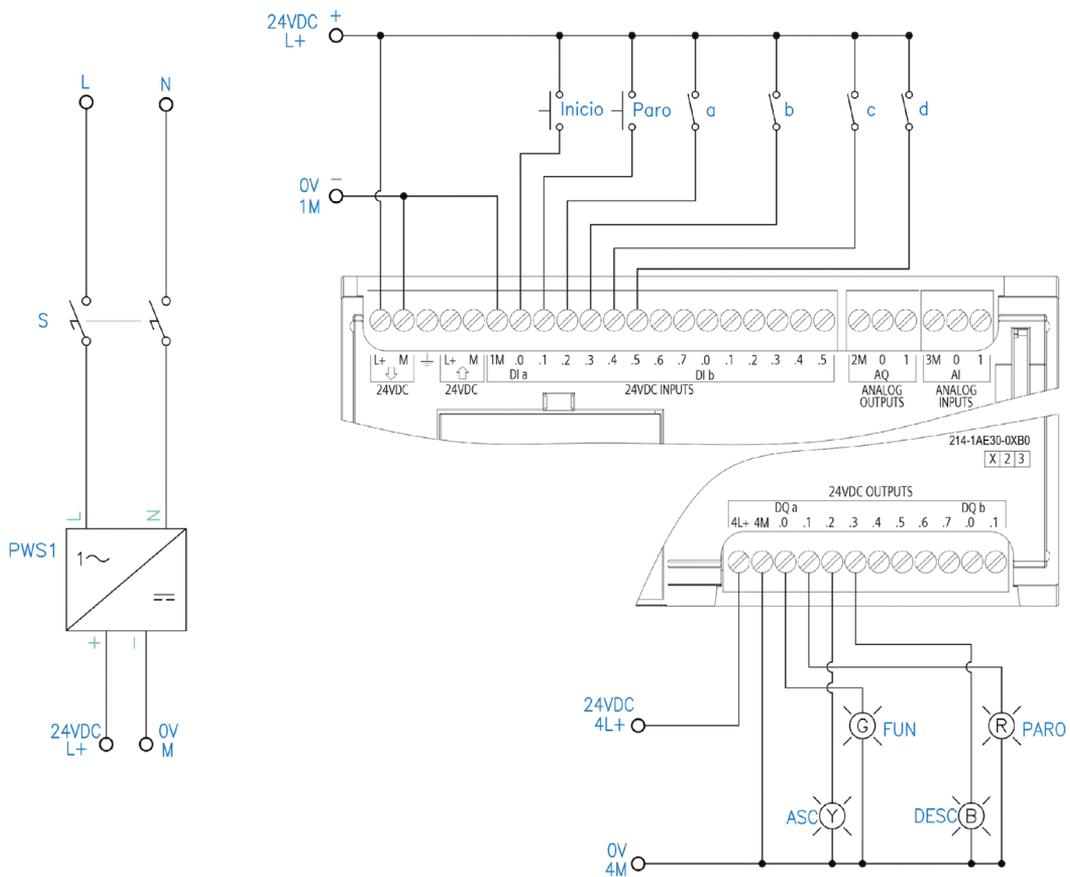


Figura 81. Esquema de conexiones del sistema de control de montacargas

Cuestionario

- Consulte la funcionalidad de los temporizadores TP y TONR disponibles en TIA Portal.
- Implemente un sistema de temporizado, el cual, una vez recibida la señal de activación, espere 5 segundos para activar la salida correspondiente.
- Establezca un sistema de conteo que indique la finalización del llenado de una caja después de que el contador llegue a 6.
- Describa el funcionamiento de un contador CTUD y describa una aplicación en la cual se requiera utilizar este bloque.

Sistema de juego de luces

Los objetivos de esta actividad son:

- Identificar las instrucciones de carga de datos y su funcionalidad.
- Utilizar las instrucciones de carga de datos dentro del desarrollo de programas en Ladder.
- Conocer el uso y manejo de las instrucciones de carga de datos en Ladder.
- Programar aplicaciones utilizando instrucciones de carga de datos según los requerimientos planteados.

Planteamiento del problema

Diseñar un programa que permita ingresar dos números A y B de 8 bits cada uno por IB0. Para diferenciar el ingreso de A y B se requiere presionar los pulsadores CARGA A para A y CARGA B para B. Al presionar el botón INICIO, se debe rotar el número B las veces indicadas por A hacia la derecha con retardos entre rotación de 200 ms. Posteriormente, se debe encender y apagar B el número de veces indicado por A con retardo de 300 ms entre encendido y apagado, luego de lo cual el programa finaliza su ejecución. La salida se visualiza por la salida QB0. Si cualquier número A o B es igual a cero, se enciende una lámpara indicadora de ERROR y no se ejecuta la secuencia. Para desenclavar la condición de error e ingresar nuevamente los valores de A y B, se requiere la presión del botón ERROR_B (ver Figuras 82 y 83).



Figura 82. Esquema de sistema de juego de luces

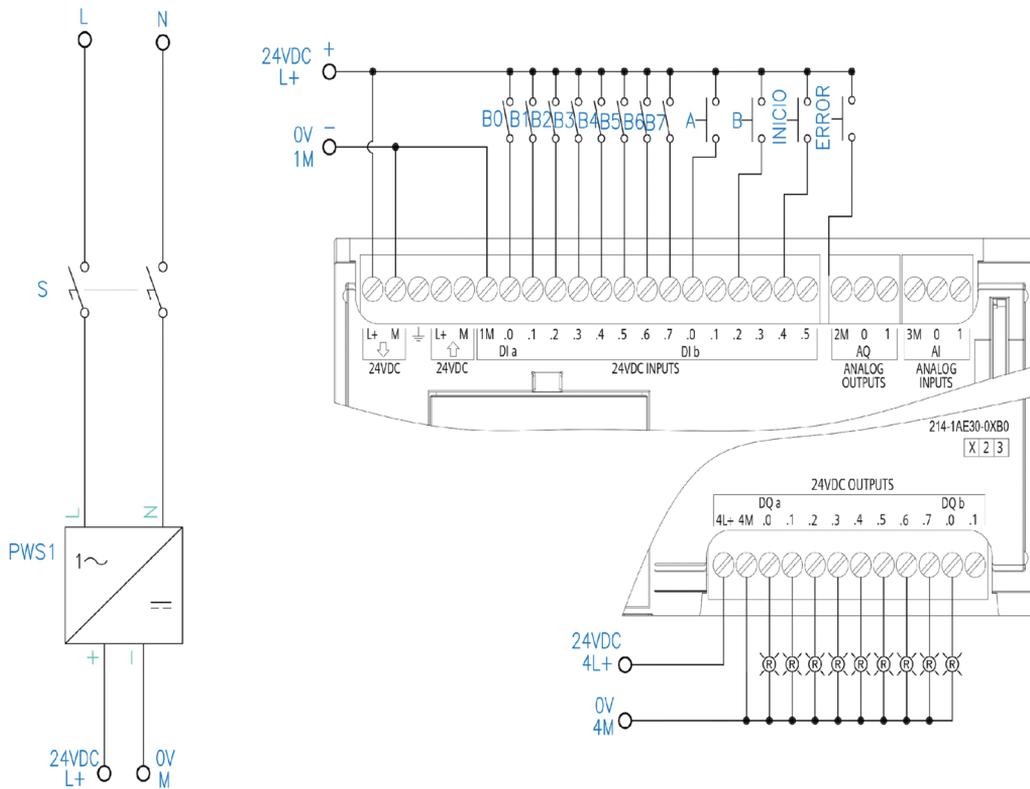


Figura 83. Esquema de conexiones del sistema de juego de luces

Cuestionario

- Responda. ¿Cuáles son las ventajas de utilizar un bloque de datos DB?
- Conteste. ¿Cómo se crea un arreglo de 10 variables tipo INT?
- Inicialice el arreglo determinado en la pregunta anterior; los 5 primeros valores con 1 y los 5 últimos con 10. Utilice MOVE, MOVE_BLK y FILL_BLK.
- Consulte cuáles son las instrucciones de carga de datos que más se utilizan en aplicaciones industriales.

Automatización de un sistema de semaforización inteligente

Los objetivos de esta actividad son:

- Identificar las instrucciones aritméticas y su funcionalidad.
- Utilizar las instrucciones aritméticas dentro del desarrollo de programas en Ladder.

- Programar aplicaciones utilizando instrucciones aritméticas, de acuerdo con los requerimientos planteados.

Planteamiento del problema

Se desea implementar un sistema de semaforización inteligente en una intersección (una vía principal y una secundaria) de la ciudad que funcione bajo los siguientes criterios:

Cuenta con un sensor inductivo ubicado en un lado de la vía principal, 20 metros antes de la intersección que contabiliza el número de vehículos que cruzan. Esto configura el tiempo en verde, de acuerdo con la siguiente condición: tiempo en verde de la vía principal $t_{vp} = \# \text{ de vehículos} * 5$, con un valor máximo de 90 segundos (18 vehículos) y un mínimo de 30 segundos (6 vehículos).

En la vía secundaria se establece un tiempo en verde de $2/3$ del de la vía principal, siempre y cuando el tiempo en verde de la principal esté entre 90 y 60 segundos o mitad de este si el tiempo de la principal está entre 59.9 y 30 segundos.

El tiempo en amarillo en ambos sentidos es de 5 segundos. La duración es calculada al momento de colocarse en verde a la vía principal.

Al encenderse el semáforo, este hará parpadear su luz amarilla por 30 segundos antes de iniciar la secuencia con la luz en verde para la vía principal (ver Figura 84 y Figura 85).

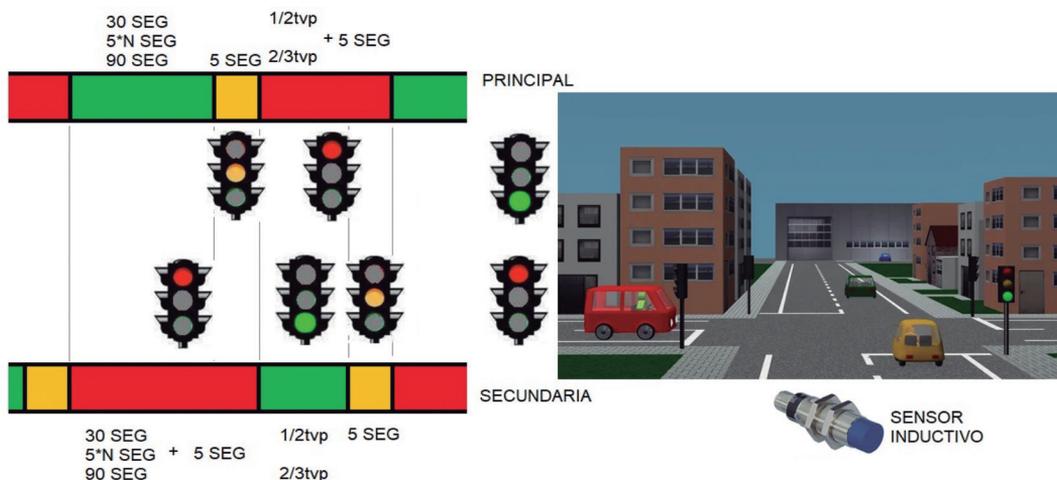


Figura 84. Esquema de semáforo inteligente

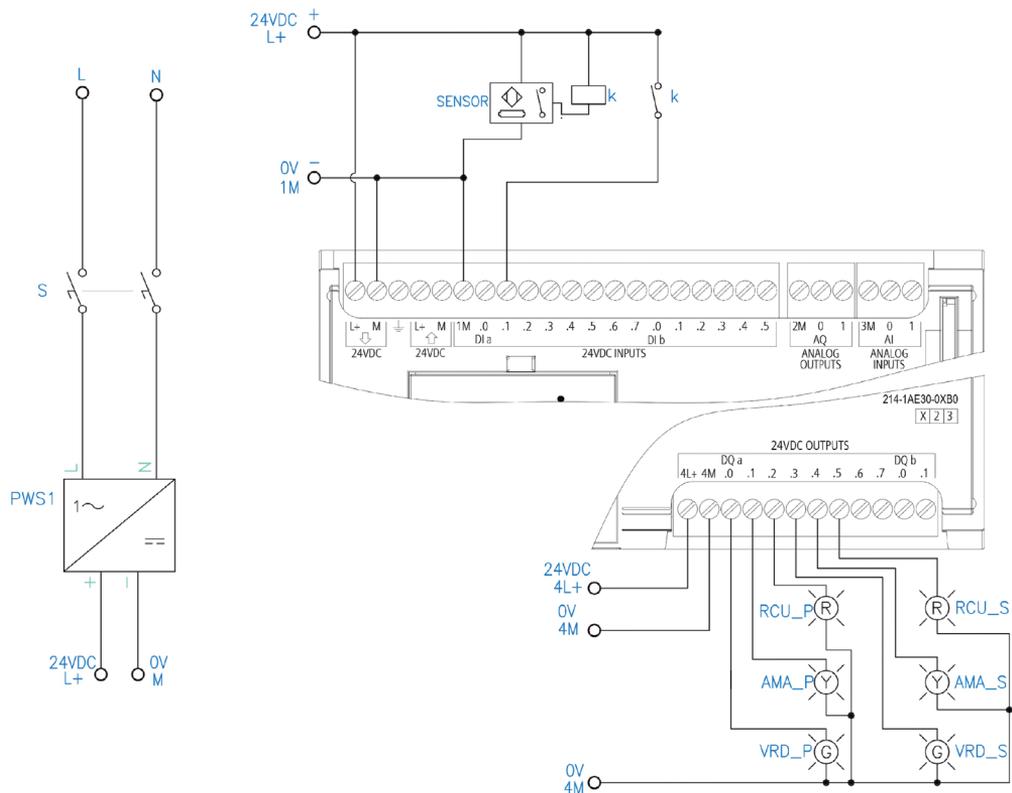


Figura 85. Esquema de conexiones del semáforo inteligente

Cuestionario

- Conteste. ¿Qué tipos de variables de entrada y salida admiten las instrucciones de suma, resta, multiplicación y división?
- Conteste. ¿Qué formas considera que se pueden utilizar para encerrar una variable?
- Usando instrucciones aritméticas, implemente la ecuación. Realice la misma operación mediante la instrucción CALCULATE.
- Consulte cuáles son las instrucciones aritméticas más comúnmente utilizadas en aplicaciones industriales.



Capítulo 4

Programación de entradas y salidas analógicas e interfaz humano-máquina (HMI)



Introducción

Una señal analógica es un valor que experimenta cambios continuos dentro de un rango específico, que va desde un máximo hasta un mínimo. Por ejemplo, una señal analógica de 0 a 5 voltios puede tener cualquier valor entre dicho rango, como 3.7 V o 4.3 V. Esto difiere de una señal digital, que solo puede tomar los valores de 0 y 1 lógicos. Un controlador lógico programable (PLC) por sí solo no puede trabajar con señales analógicas, por lo que su función es convertirlas en digitales para procesarlas, como se muestra en la Figura 86.

Existen procesos y variables que no pueden ser identificadas a partir de señales discretas o binarias, por lo que para su control y medición requieren de una variable analógica. Al leer estas señales se pueden definir las acciones de control o la lógica de funcionamiento a ejecutarse de acuerdo con el valor de la variable. Algunos ejemplos típicos de variables que requieren esta identificación dentro de procesos industriales son la temperatura, la presión, el caudal, el peso, entre otras, que requieren de sensores analógicos para su funcionamiento. Un PLC para procesar este tipo de señales debe soportar entradas analógicas, las cuales pueden ser de voltaje o de corriente.

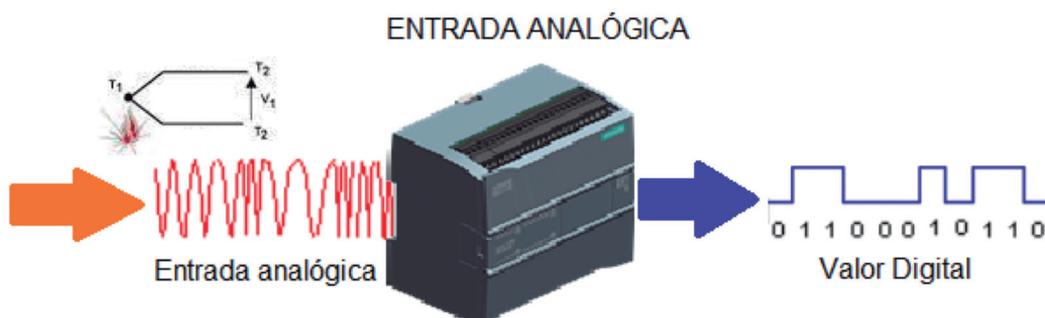


Figura 86. Entradas analógicas

De igual manera, existen actuadores que admiten señales analógicas para su funcionamiento; es decir, reciben valores variables de voltaje o corriente según los cuales generan un porcentaje de accionamiento que está directamente relacionado con el valor

de la señal recibida. Para controlar estos actuadores se requiere que el PLC posea salidas analógicas (ver Figura 87).

Dentro de su funcionamiento interno, el PLC lleva a cabo una conversión de señales digitales a analógicas, dado que su operación se basa exclusivamente en señales digitales. A través de estas salidas se pueden controlar elementos como variadores de velocidad, válvulas proporcionales, reguladores de temperatura, etc. [2].

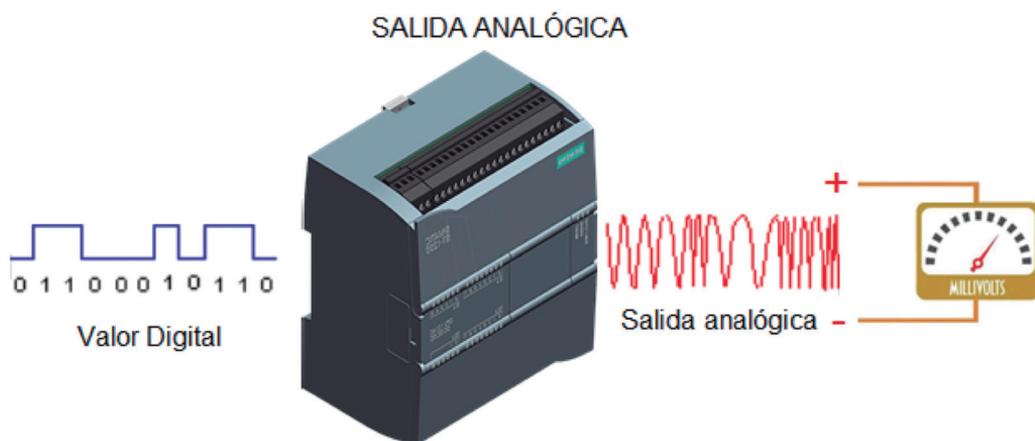


Figura 87. Salidas analógicas

Estas entradas o salidas están incluidas en el PLC o pueden ser agregadas a partir de módulos de expansión junto con un número determinado de entradas o salidas digitales y determinadas características de funcionamiento, ya sea por corriente o voltaje.

La serie del PLC S7-1200 incluye dos entradas analógicas (no permiten configuración para entradas de corriente) con entrada de voltaje normalizadas de 0 a 10 V con una resolución de 0 a 27 648. Dependiendo del modelo del PLC, cuentan con dos salidas analógicas de corriente en un rango de 0 a 20 mA.

Identificación de entradas y salidas analógicas y sus direcciones

En caso de que el PLC posea entradas o salidas analógicas, estas tienen asociadas direcciones específicas en las cuales se almacena el valor digital. Para consultar dichas direcciones, el programador deberá ejecutar los pasos que muestra la Figura 88:

- ① En el árbol del proyecto, hacer clic derecho en el PLC.

- ② Seleccionar la opción *Propiedades*.
- ③ En la ventana emergente, se despliega la pestaña *AI 1/AQ 2*.
- ④ Desplegar la pestaña *Entradas analógicas*.
- ⑤ Seleccionar *Canal 0* y verificar la dirección del canal, en este caso IW64. Seleccionar el canal 1 y verificar que la dirección sea IW66.
- ⑥ Desplegar la pestaña *Salidas analógicas*.
- ⑦ Seleccionar *Canal 0* y verificar la *Dirección del canal*, en este caso QW64. Seleccionar el Canal 1 y verificar que la dirección es QW66. Hacer clic en *Aceptar*.

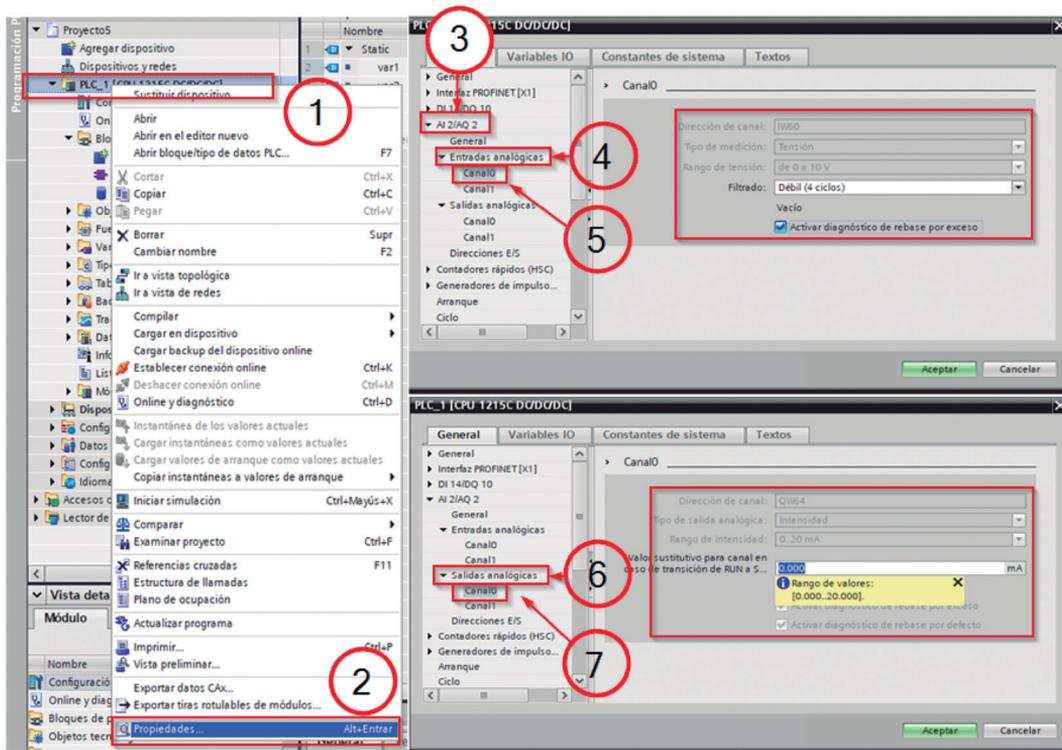


Figura 88. Identificación de direcciones de entradas y salidas analógicas

Se puede identificar el tipo de señal y su rango. El PLC 1215 DC/DC/DC dispone de dos entradas de tensión (de 0 a 10 V) y dos salidas de corriente (0 a 20 mA). Una alternativa para contar con salidas de voltaje (0 a 10 V) es el módulo signal board 6ES7232-4HA30-0XB0.

Configuración del signal board 6ES7232-4HA30-0XB0

Es un módulo externo que se debe adquirir de manera independiente. Una vez conectado el signal board 6ES7232-4HA30-0XB0 al PLC, se deben seguir los pasos mostrados en la Figura 89 para añadirlo al proyecto y configurarlo:

- ① En el árbol del proyecto, dar clic derecho en *Configuración del dispositivo*. Esto abre la vista del PLC.
- ② Seleccionar en la pestaña *Catálogo de hardware*, *Signal board*, pestaña *AQ*, pestaña *AQ x 12bits* y seleccionar el Signal board 6ES7232-4HA30-0XB0.
- ③ Añadir el nuevo hardware al PLC. Para esto, arrastrar el Signal board 6ES7232-4HA30-0XB0 y colocarlo sobre el PLC, en el sitio mostrado en la Figura 89.
- ④ Para configurarlo, se debe dar doble clic en el signal board agregado para abrir las propiedades del dispositivo.
- ⑤ Dar clic en la pestaña *Canal 0/Tipo de señal analógica*. Se puede seleccionar el tipo de salida, de tensión o corriente; en este caso, se selecciona la opción *Tensión*.
- ⑥ Finalmente, en la pestaña *Dirección E/S*, se puede verificar la dirección asignada para el módulo; en este caso, es la dirección 80.

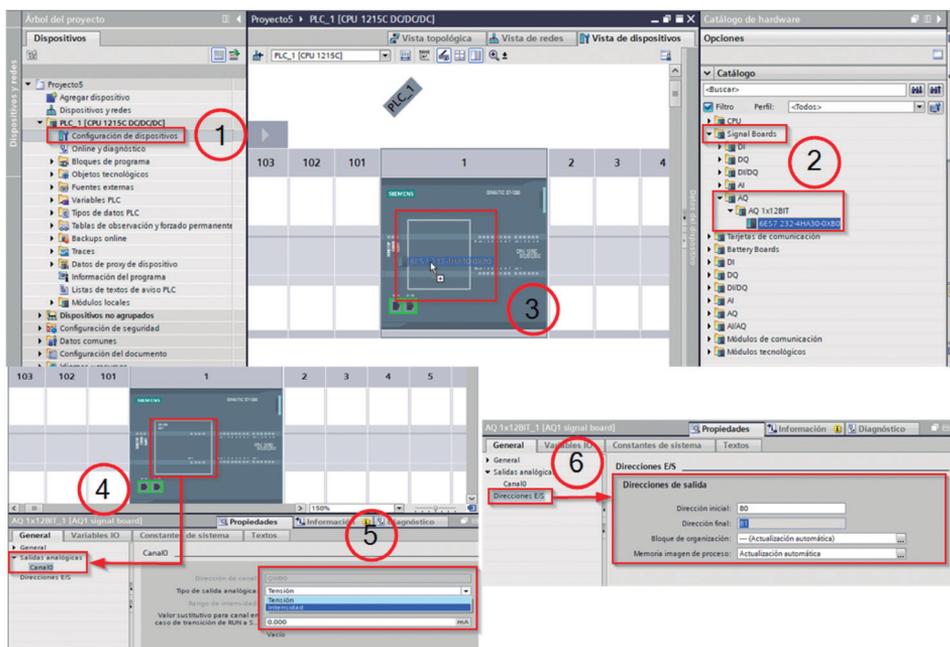


Figura 89. Añadir y configurar un signal board a un proyecto

Escalamiento de señales analógicas

Si se necesita leer, por ejemplo, la señal de tipo lineal de un sensor de presión que entregue valores lineales entre 3 y 15 psi, es posible utilizar una ecuación matemática (ecuación de la recta) para adquirir esta señal a través de las entradas analógicas del PLC. Esto puede hacerse fácilmente mediante las instrucciones *Scale X* y *Norm X*, como se puede ver en la Figura 90.

La instrucción *Norm X* mediante un escalamiento lineal permite normalizar el valor de la variable de entrada VALUE. Como se muestra en la Tabla 4, los parámetros MIN y MAX dependen del rango de variación analógico de voltaje o corriente que soporta el PLC.

Tabla 4. Valores de conversión para señales analógicas de voltaje

Señal analógica		Valor de conversión
MIN	0 V	0
MAX	10 V	27 648

En el ejemplo de la Figura 90 se establecen los parámetros MIN y MAX de 0 a 27 648, que son los valores de conversión para una señal de entrada analógica de 0 a 10 V. El resultado es un valor REAL que se presenta en la salida OUT en una escala que estará en el rango de variación de 0 a 1.

La instrucción *Scale X* se encarga de escalar el valor de la entrada VALUE a un rango determinado. Es necesario especificar los valores MIN y MAX que se desean utilizar para la escala; en este caso, de 3 a 15 psi. El resultado de esta operación es un valor real dentro del rango configurado, que se entrega a través de la salida OUT.

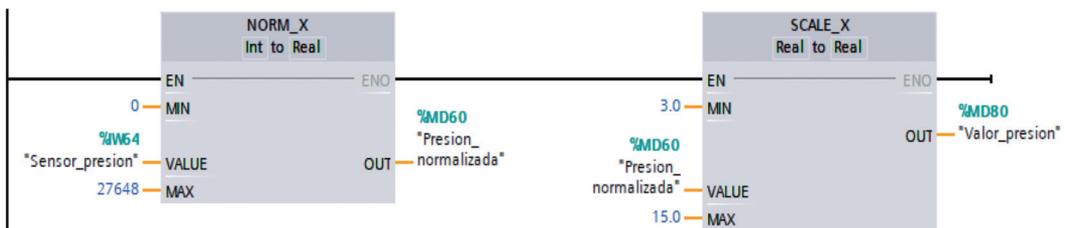


Figura 90. Instrucciones SCALE_X y NORM_X

Paneles de operador o interface humano máquina (HMI)

Un HMI (por sus siglas en inglés, Human Machine Interface) es un dispositivo para desarrollar aplicaciones gráficas que sirven de interfaz entre un sistema de automatización industrial y los operarios [30, 31].

Mediante el uso de una pantalla táctil, es posible visualizar de manera gráfica el estado de los dispositivos industriales, simulando sus características y comportamiento. Esto incluye la capacidad de representar motores, válvulas, pulsadores, pilotos luminosos, actuadores analógicos y otros elementos [32]. Además, la pantalla táctil puede ser configurada para mostrar información sobre niveles, temperatura, presión, secuencias, contadores y gráficos interactivos, entre otras opciones. Esta herramienta permite a los supervisores de las líneas de producción recolectar datos, llevar históricos, realizar diagnósticos y monitorear el estado de ciertas variables, así como controlar su evolución en un ciclo de control [2].

Una interfaz hombre-máquina (HMI) puede emplearse en una planta industrial que necesite llevar a cabo operaciones de monitorización y control en tiempo real —como procesos de almacenamiento, montaje, embotellado, pasteurización, dosificación y ensamblaje, entre otros—. Los paneles HMI Siemens proporcionan una interfaz gráfica que permite una visualización fácil y eficiente; esta funcionalidad se presenta alternativamente en cuatro tipos de paneles SIMATIC, como se muestra en la Figura 91.



Figura 91. Paneles de operador Simatic. Tomado de [33].

Comfort Panels

Siemens ha desarrollado los Comfort Panels para cumplir con las tareas más desafiantes. Estos paneles SIMATIC HMI presentan pantallas de alta resolución y formato panorámico y ofrecen la opción de control táctil o a través de un teclado. Gracias a su alta resolución, proporcionan un entorno visual de calidad superior y cuentan con la capacidad de abrir documentos.

Basic Panels

Siemens ha desarrollado la opción de Basic Panels para lograr un equilibrio entre costos y calidad. Son ideales para aplicaciones HMI simples, pero que necesitan una visualización de alta resolución en tamaños de 4" a 12". Los Basic Panels cuentan con una interfaz gráfica moderna, sin necesidad de configuración, y ofrecen control táctil. Además, su interfaz permite la conexión con múltiples PLC.

Mobile Panels

Este panel ha sido diseñado con la idea de facilitar el manejo y la movilidad en máquinas e instalaciones *in situ*. Los paneles portátiles ofrecen importantes ventajas y flexibilidad. Disponen de funciones de control independientes de la ubicación, sin comprometer la seguridad durante la conexión. Su interfaz visual proporciona una imagen clara con brillo personalizable. Una de las características más destacadas es la inclusión de un botón de parada de emergencia y una tecla de aprobación para aplicaciones inalámbricas.

Key Panels

Se ha introducido una nueva generación de paneles convencionales que han sido especialmente diseñados para instalaciones rápidas, lo que resulta en un ahorro de tiempo del 60 % durante este proceso. Estos paneles ofrecen comodidad y flexibilidad, con teclas mecánicas de gran tamaño y LED de diferentes colores. Además, permiten realizar conexiones directas a dispositivos de parada de emergencia y otros sensores de seguridad [26].

Configuración del panel de operador

Para este caso, la plataforma de automatización industrial IAM-S7-1200 cuenta con un Basic Panel KTP700 modelo 6AV 123-2GB03-0AX0, que es una pantalla táctil de

7 pulgadas que es enlazada mediante conexión PROFINET y 8 teclas de función (ver Figura 92).

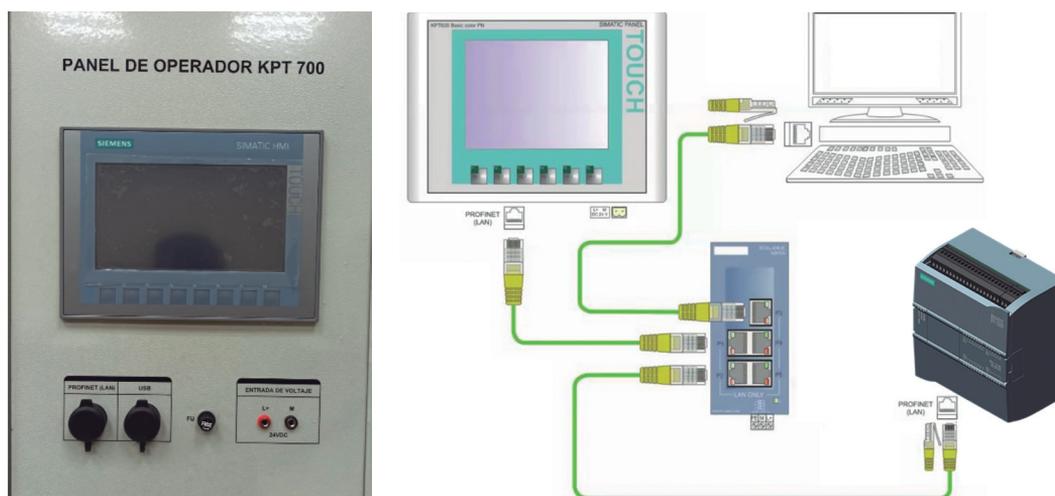


Figura 92. Panel de operador KTP700 Basic 6AV 123-2G03-0AX0

Para agregar un panel de operador a un proyecto, se deben seguir los pasos de la Figura 93:

- ① En un proyecto ya agregado el PLC, dar clic en *Agregar dispositivo*.
- ② Hacer clic en HMI, seleccionar *SIMATIC Basic Panel* y hacer clic en *7" Display*.
- ③ Seleccionar el modelo *KTP700 Basic/6AV 123-2GB03-0AX0* con comunicación Profinet.
- ④ Elegir la versión 15.1.0.0; aunque esto dependerá de la versión del sistema operativo que también puede actualizarse en algún momento y depende del panel con el que se va a trabajar.
- ⑤ Desactivar, en la parte inferior de la ventana, la opción *Iniciar el asistente de dispositivos*.
- ⑥ Hacer clic en *Aceptar*.
- ⑦ En el árbol del proyecto, hacer clic en *Dispositivos y redes*.
- ⑧ Deben aparecer tanto el PLC como el HMI en verde. En ambos equipos, se debe visualizar el puerto de red; el programador debe colocar el ratón sobre el puerto Ethernet del PLC y arrastrar el puntero hasta conectarlo al puerto del HMI. Se colocará una línea verde que indica que ambos dispositivos están conectados en red.
- ⑨ En la misma ventana, en la parte superior, dar clic en la etiqueta *Conexiones*.
- ⑩ Repetir el paso 8 conectando los mismos puertos de red del PLC y el HMI.

- ⑪ Verificar la conexión de ambos equipos con los puertos en una tonalidad verde; esto indica que el PLC es el que se comunicará con el HMI, siendo este asignado como esclavo en la comunicación entre los dos dispositivos.
- ⑫ Hacer doble clic en el puerto Ethernet del HMI.
- ⑬ En *Propiedades*, seleccionar *Comunicación Ethernet*, asignar la dirección IP 192.168.0.2 y la Máscara de Subred 255.255.255.0. Con esto se termina el proceso de configuración.

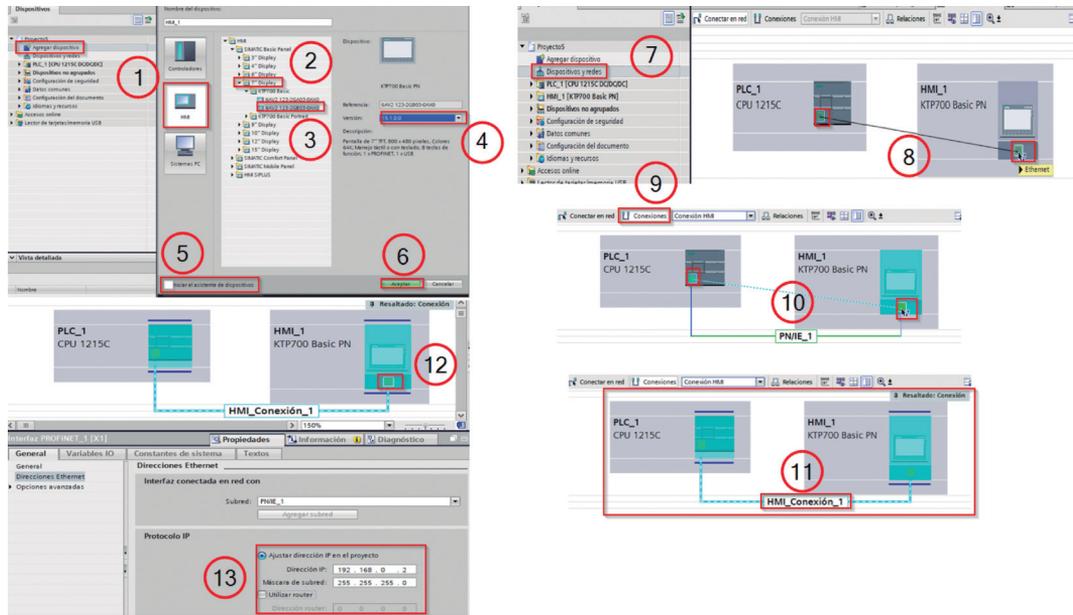


Figura 93. Agregar y configurar un panel de operador en un proyecto

Una vez agregado el panel de operador al proyecto se procede a añadir los elementos para establecer el funcionamiento y asociar a las variables del PLC. La interfaz gráfica debe construirse de tal forma que refleje el funcionamiento esperado tanto del proceso como del monitoreo y control desde el Panel de Operador. Cada objeto insertado en el HMI se puede asociar a las variables del programa tanto analógicas como digitales que son leídas o escritas por el PLC.

Creación de la interfaz gráfica en el panel de operador

Para explicar las opciones que ofrece TIA Portal para la creación de un HMI se parte de un ejemplo de proceso industrial de mezclado de químicos —como el que se muestra

en la Figura 94—. Se debe vincular la HMI con las variables del programa de control del PLC para intercambiar datos en tiempo real; en este caso, se debe crear previamente las variables del PLC descritas en la Tabla 5, para realizar la asignación a los objetos de la interfaz.

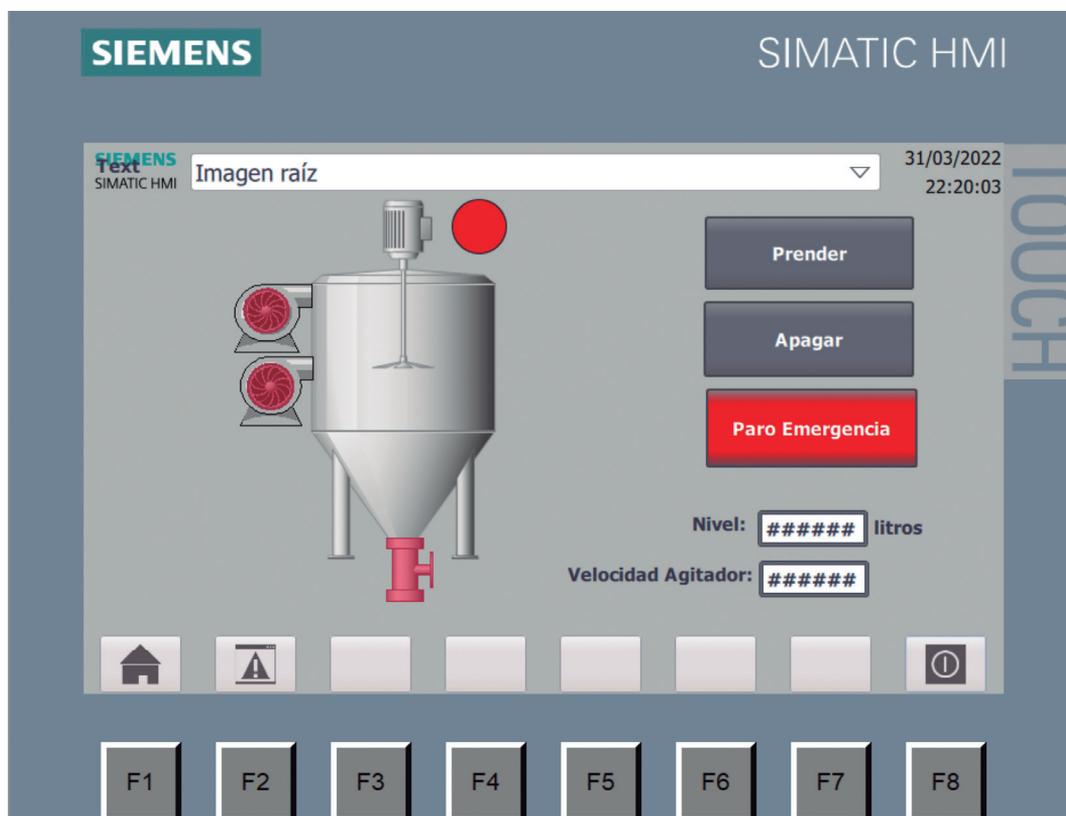


Figura 94. HMI para un proceso industrial de mezclado de químicos

Tabla 5. Variables de control del PLC asociadas al HMI

Variable	Tipo	Descripción
PRENDER	Bool	Pulsador para prender el sistema
APAGAR	Bool	Pulsador para apagar el sistema
PARO_EMER	Bool	Pulsador para activar paro de emergencia
QUIM_A	Bool	Ingreso del químico A
QUIM_B	Bool	Ingreso del químico B
VAL_DES	Bool	Válvula de descarga
AGITADOR	Bool	Motor del agitador
NIVEL	Int	Variable para mostrar el nivel del tanque
VEL_AGITADOR	Int	Variable para mostrar la velocidad del agitador

Para iniciar la creación de la interfaz de usuario, es necesario definir los tipos de objetos (botones, indicadores, gráficos, alarmas, etc.), número de pantallas y funcionalidades que se requiere implementar en función de la interactividad e información que se necesita leer o escribir. A continuación, se describen los pasos para iniciar la programación del panel del operador, tal como se muestra en la Figura 95.

- ① Abrir el árbol del proyecto el HMI.
- ② Dentro del listado que se despliega, seleccionar *Imágenes*.
- ③ Elegir *Imagen raíz* o, en caso de querer establecer un sistema de múltiples imágenes o pantallas, seleccionar *Agregar imagen*.



Figura 95. Apertura de la imagen del panel

Este proceso abre una ventana en la cual se visualiza la imagen del panel, donde se van a agregar los elementos, los cuales deben ser asociados a las variables del PLC para establecer una comunicación y relación entre lo que muestra el Panel de operador y lo que ejecuta el PLC. Los elementos principalmente se ubican con dos propósitos: el de escribir variables en el PLC o el de leerlas, aunque pueden ubicarse elementos con otras funcionalidades.

A continuación, se muestra un ejemplo (ver Figura 96) de cómo agregar elementos de escritura en el PLC en el Panel de Operador:

- ① En la pestaña *Herramientas*, en la etiqueta *Elementos*, seleccionar el ícono de *botón* y arrastrarlo hacia *Panel de operador*. Soltarlo en la ubicación donde quiere colocarse.
- ② Con el ratón, ajustar el tamaño del botón.
- ③ Dar clic en el texto y personalizarlo.
- ④ En la pestaña *Propiedades*, se puede modificar las características de apariencia del botón, como color, tamaño del texto y tipo de letra, entre otros.
- ⑤ Para darle una funcionalidad al botón, dar clic en la pestaña *Eventos*.
- ⑥ Se despliega una lista de eventos que pueden ser seleccionados; elegir *Pulsar*.
- ⑦ Desplegar el menú de *Agregar función*.
- ⑧ Se muestra una lista de funciones que pueden agregarse; en este ejercicio, seleccionar *Procesamiento por bits*.
- ⑨ En el menú que se despliega, seleccionar *ActivarBitMientrasTeclaPulsada*.
- ⑩ Desplegar el menú de *Variable (entrada/salida)*.
- ⑪ Seleccionar *Variables del PLC y Tabla de variables*.
- ⑫ Se despliega la lista de variables creadas en el PLC. Elegir la variable *PRENDER*.
- ⑬ Hacer clic en el ícono de visto verde .

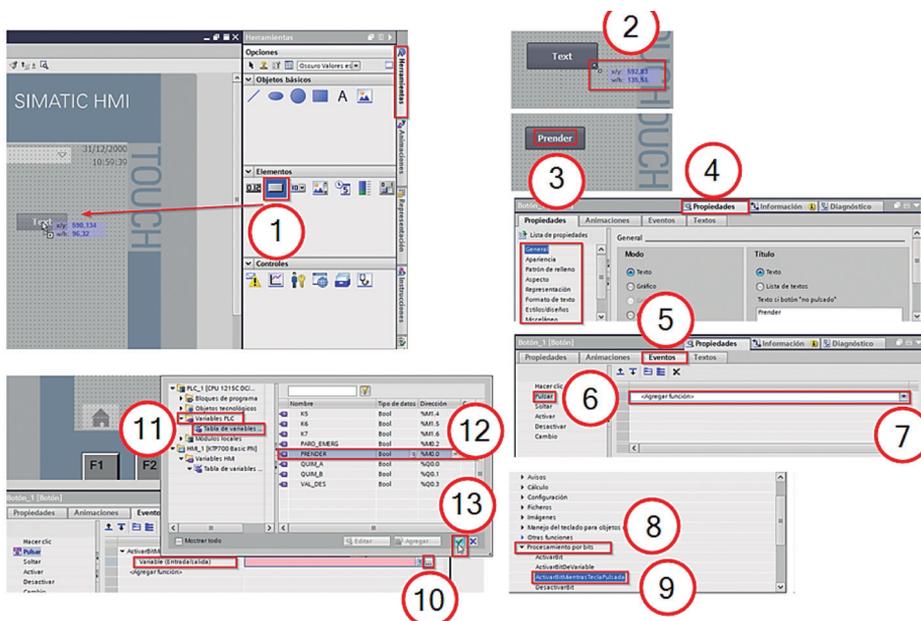


Figura 96. Añadir y asignar en el panel elementos de escritura en el PLC

Repetir el mismo proceso agregando los botones de *Apagado* y *Paro de Emergencia* como se muestra Figura 97 y asignarlos al evento *ActivarBitMientrasTeclaPulsada*. Asociar a las variables del PLC APAGAR y PARO_EMER.



Figura 97. Añadir los botones al panel de operador

Para agregar elementos gráficos en el panel de operador, se puede utilizar los disponibles en varias librerías que contienen representaciones de elementos industriales, como se muestra en la Figura 98. A continuación, se detallan los pasos para insertar los gráficos de un tanque, mezclador y bombas en el HMI:

- ① En la pestaña *Herramientas*, seleccionar la etiqueta *Gráficos*.
- ② Desplegar la carpeta *Automation [SVG]*.
- ③ Seleccionar la carpeta *Tanks*.
- ④ Seleccionar, en la parte inferior, el modelo de tanque que se desea adicionar y arrastrar hacia el panel. Puede seleccionar y abrir las carpetas y buscar los elementos de preferencia, ya que contiene varias figuras que representan elementos de procesos industriales que pueden ser añadidos al panel.
- ⑤ Con el ratón, ajustar el tamaño y ubicación del elemento.

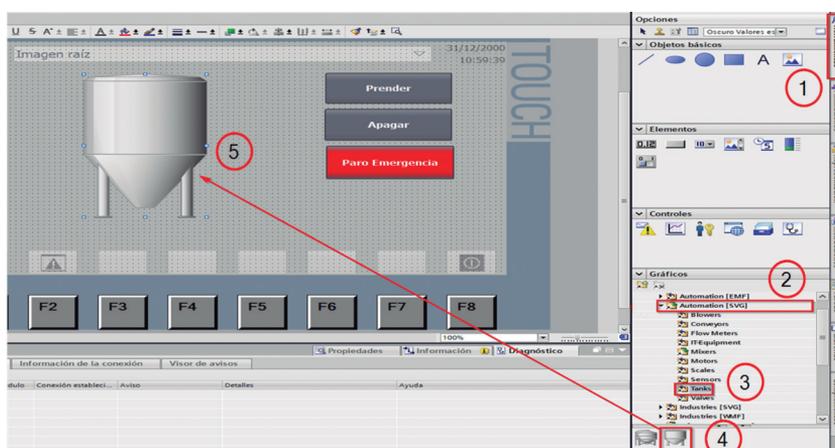


Figura 98. Añadir elementos gráficos en el panel de operador

Repetir el proceso, seleccionando la carpeta *Mixer*, añadir el mezclador y colocar sobre el tanque.

Repetir y añadir dos bombas de la etiqueta *Other Equipment's* en la carpeta *Pumps* y colocarlas junto al tanque (ver Figura 99).

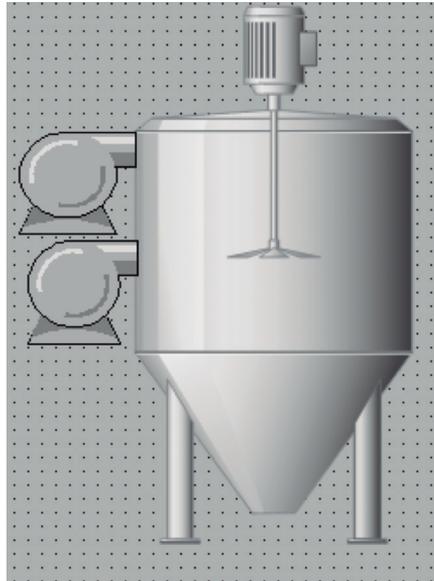


Figura 99. Agregar las bombas y mezclador al panel

Para añadir recursos gráficos con animación o representación del estado de una variable, se deben seguir los siguientes pasos (ver Figura 100):

- ① Seleccionar la carpeta *Automation EMF/Valves*.
- ② Buscar y arrastrar al panel dos elementos de la misma apariencia, pero de diferente color, acorde con lo que se quiere representar.
- ③ Ajustar con el ratón el tamaño de los elementos, procurando que ambos tengan las mismas dimensiones.
- ④ Seleccionar el elemento que quiere asignarse al estado activo de la variable; en este caso, la válvula verde.
- ⑤ En la pestaña *Animación*, seleccionar *Agregar una animación* de tipo *Visibilidad*.
- ⑥ En *Variable*, seleccionar la variable del PLC que se quiere representar; en este caso *VAL_DES*.

- ⑦ En *Rango*, dado que se trata de una variable booleana, el rango sería de 1 a 1.
- ⑧ En visibilidad, seleccionar *Visible*.
- ⑨ Elegir el elemento que quiere asignarse al estado inactivo de la variable; en este caso, la válvula roja; en la pestaña *Animación*, seleccionar *Agregar una animación* de tipo *Visibilidad*.
- ⑩ En *Variable*, seleccionar la que se quiere representar; para este ejemplo, la misma *VAL_DES*.
- ⑪ En *Rango*, dado que se trata de una variable booleana, sería de 0 a 0.
- ⑫ En *Visibilidad*, seleccionar *Visible*.
- ⑬ Colocar la válvula en su ubicación final.
- ⑭ Colocar la segunda válvula encima de la primera.

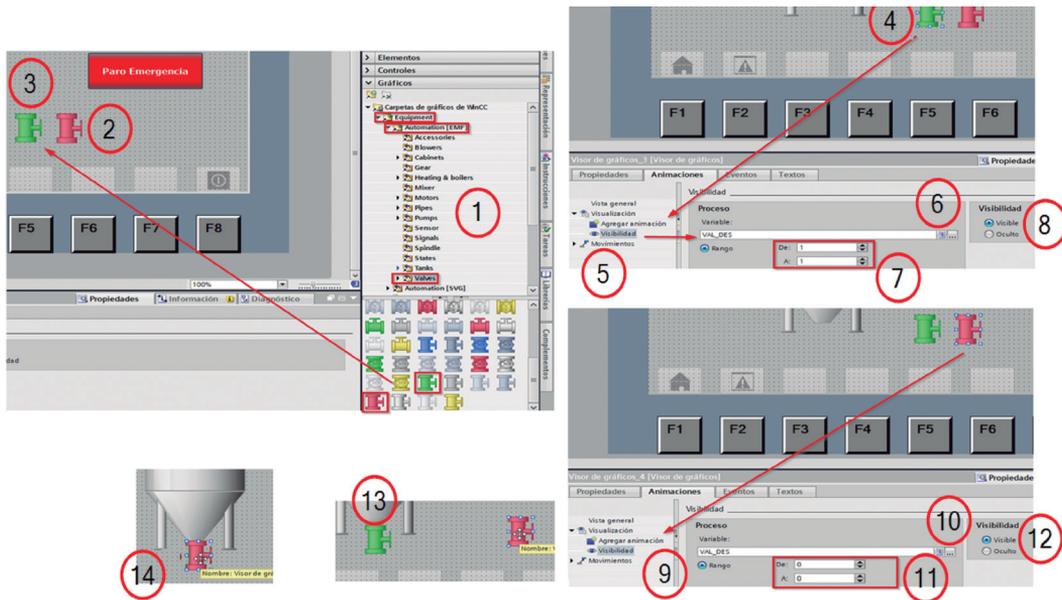


Figura 100. Animación de elementos gráficos

Repetir el proceso añadiendo y asignando los elementos a las variables del PLC QUIM_A a la bomba de la parte superior y QUIM_B a la bomba de la parte inferior. Tomar los elementos de la carpeta *Automation [EMF]*, carpeta *Pumps/Animate* (ver Figura 101).

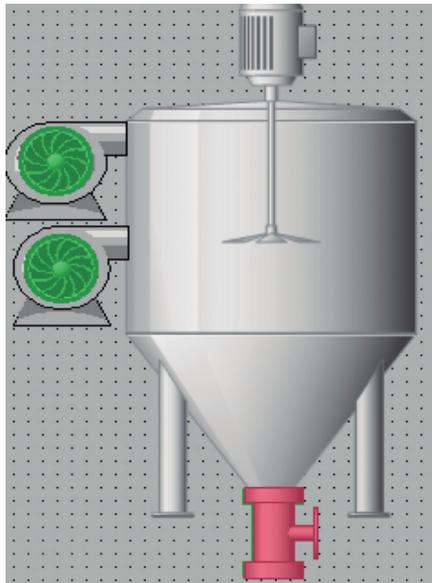


Figura 101. Añadir animación a las bombas

Para visualizar el estado del mezclador se va a agregar un indicador, como se muestra en la Figura 102. Los pasos son los siguientes:

- ① En la pestaña *Herramientas*, en la etiqueta *Objetos básicos*, seleccionar el ícono de círculo y arrastrarlo hacia el panel de operador; soltarlo en la ubicación donde quiere colocarse.
- ② En la pestaña *Propiedades*, en *Animaciones*, seleccionar *Agregar animación*.
- ③ Añadir *Apariencia*.
- ④ En *Variable*, seleccionar el nombre de la variable del PLC *AGITADOR*.
- ⑤ En *tipo*, seleccionar *Rango*.
- ⑥ En la lista asignar un color de relleno para 0, que indica que el agitador está apagado y para 1, otro color que indica que el agitador está apagado.

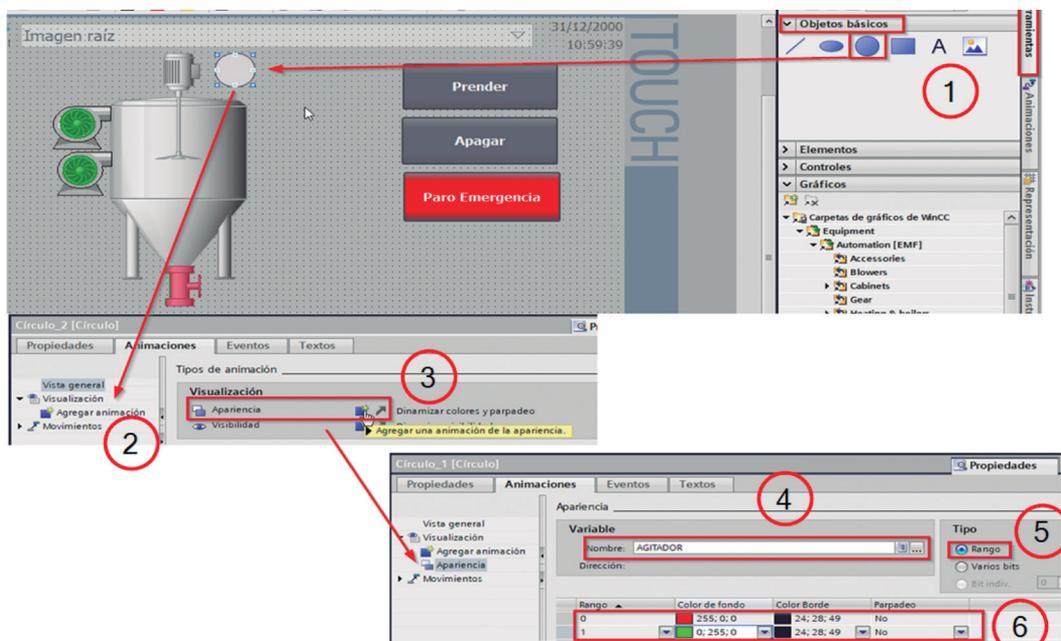


Figura 102. Animación de objetos básicos

Para agregar un indicador numérico del nivel del tanque (ver Figura 103), se deben seguir los siguientes pasos:

- ① En la pestaña *Herramientas*, en la etiqueta *Elementos*, seleccionar el ícono de *Indicador numérico* y arrastrarlo hacia el panel de operador. Soltarlo en la ubicación donde se quiera colocarlo.
- ② En la pestaña *Propiedades*, en *Animaciones*, seleccionar *Añadir conexiones de variables*.
- ③ En la ventana emergente, seleccionar *Valor del proceso* y dar clic en *Aceptar*.
- ④ En *Variable*, seleccionar *NIVEL*.

Repetir el proceso para añadir un indicador de la velocidad del agitador. En este caso, asignar la variable del PLC VEL_AGITADOR.

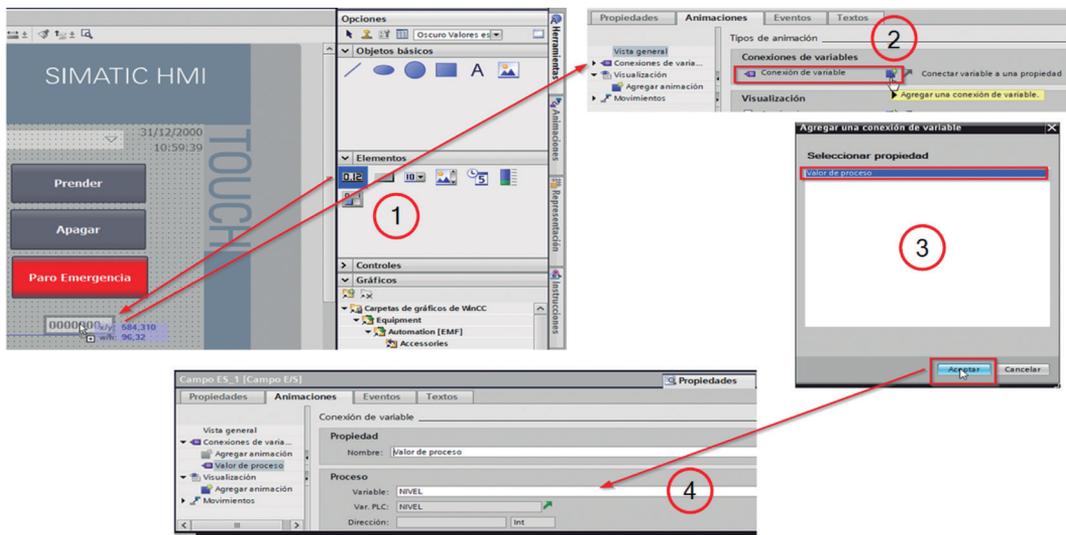


Figura 103. Añadir indicador numérico

Finalmente, agregar etiquetas, para lo cual se deben seguir los siguientes pasos (ver Figura 104):

- ① En la pestaña *Herramientas*, en la etiqueta *Objetos básicos*, seleccionar el ícono de A y arrastrarlo hacia el panel de operador. Soltarlo en la ubicación deseada.
- ② Digitar el texto que se quiere visualizar; en este caso, *Nivel*.
- ③ Repetir los pasos 1 y 2 colocando el resto de las etiquetas.

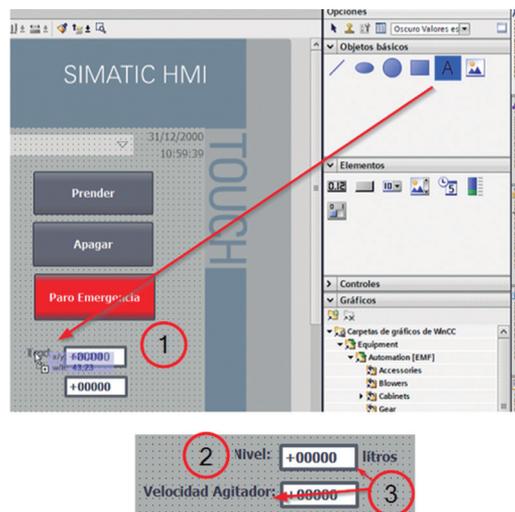


Figura 104. Añadir etiquetas al panel

Con esto, el panel se visualiza similar a como se muestra en la Figura 94. Para cargar el diseño en la HMI se deben seguir los pasos ilustrados en la Figura 105.

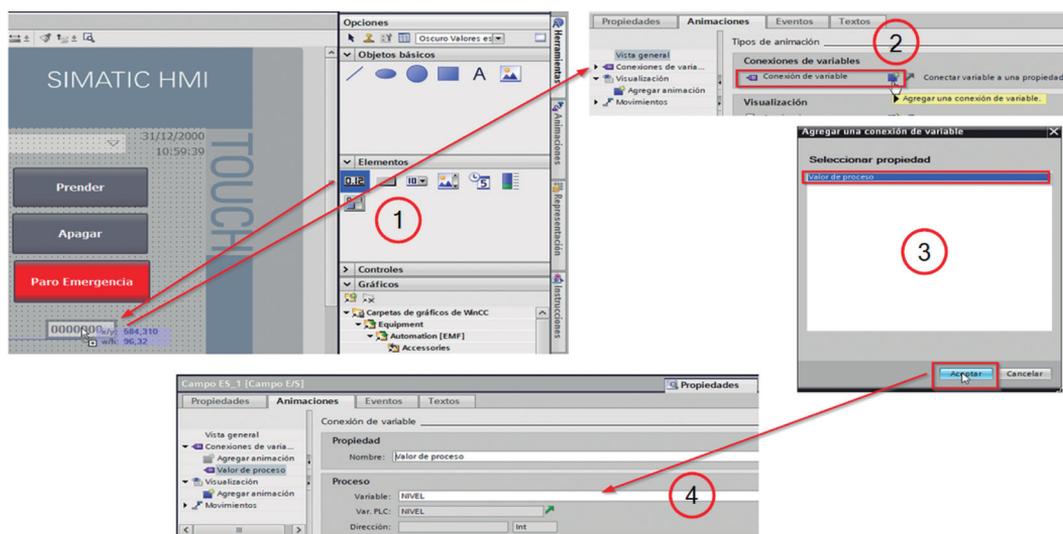


Figura 105. Carga del programa en el panel de operador

- ① En el árbol del proyecto, en el *HMI_1*, dar clic derecho.
- ② En el menú que se despliega, buscar la opción *Compilar* y seleccionar *Software (Compilar todo)*, en caso de ser la primera carga del programa; caso contrario, seleccionar *Software (solo cambios)*.
- ③ Verificar que no existan errores; pueden existir advertencias, pero, de no haber errores, se puede continuar con la carga.
- ④ En el árbol del proyecto, en el *HMI_1*, dar clic derecho.
- ⑤ En el menú que se despliega, buscar la opción *Cargar en dispositivo*. Seleccionar *Software (Cargar todo)*, en caso de ser la primera carga del programa; caso contrario, seleccionar *Software (solo cambios)*.
- ⑥ En la ventana emergente que se despliega, configurar los parámetros de la tarjeta de red del PC que está conectada al panel de operador.
- ⑦ Dar clic en *Iniciar búsqueda*, lo que comenzará el proceso de búsqueda del dispositivo en la red correspondiente.
- ⑧ El dispositivo debe aparecer en la lista. Seleccionarlo con un clic.
- ⑨ Dar clic en *Cargar*.

- ⑩ En la ventana emergente, seleccionar *Sobrescribir todo*.
- ⑪ Dar clic en *Cargar*.

Actividad experimental

Los objetivos en esta práctica son:

- Identificar la funcionalidad de las entradas y salidas analógicas.
- Desarrollar un HMI básico reconociendo los elementos y su función en el panel de operador.
- Familiarizarse con el uso y manejo de HMI dentro de procesos industriales.
- Programar aplicaciones utilizando entradas y salidas analógicas, acorde con los requerimientos planteados en Ladder.

Programación y diseño de interfaz HMI de un proceso de mezclado de dos químicos

Se tiene un tanque de mezclado de dos químicos en estado líquido que dispone de dos bombas de accionamiento eléctrico para cargar el químico A y B, una electroválvula de descarga de la mezcla y un agitador para homogenizar la mezcla (Figura 106). El volumen del líquido en el tanque es monitoreado por un sensor analógico que representa el volumen del tanque de 0 a 10 V y de 0 a 800 litros. El químico A es ingresado primero, hasta alcanzar un volumen del 60 % del total; el resto del tanque es llenado con el químico B. Una vez colmado el tanque, se activa el agitador por 10 segundos al 25 % de su velocidad, 15 segundos al 50 % y 10 segundos al 100 %. Esto es controlado a partir de una tarjeta electrónica conectada al PLC a través de la salida analógica de 0 a 10 V del signal board, antes de abrir la válvula de descarga hasta detectar el vaciado del sistema y reiniciar el proceso. El sistema cuenta con un HMI que muestra el funcionamiento del sistema y tiene un botón de encendido, otro de apagado (que detiene el sistema al completar el proceso), y uno de paro, de emergencia, que en cualquier instante detiene el proceso y vacía el tanque. La Figura 107 muestra el esquemático de conexión para este ejercicio.

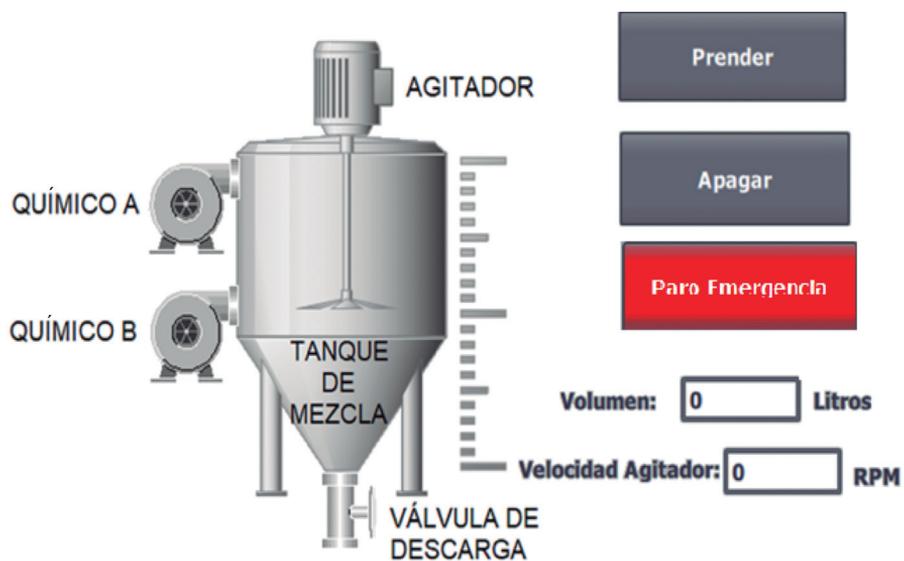


Figura 106. Sistema de mezclado de químicos

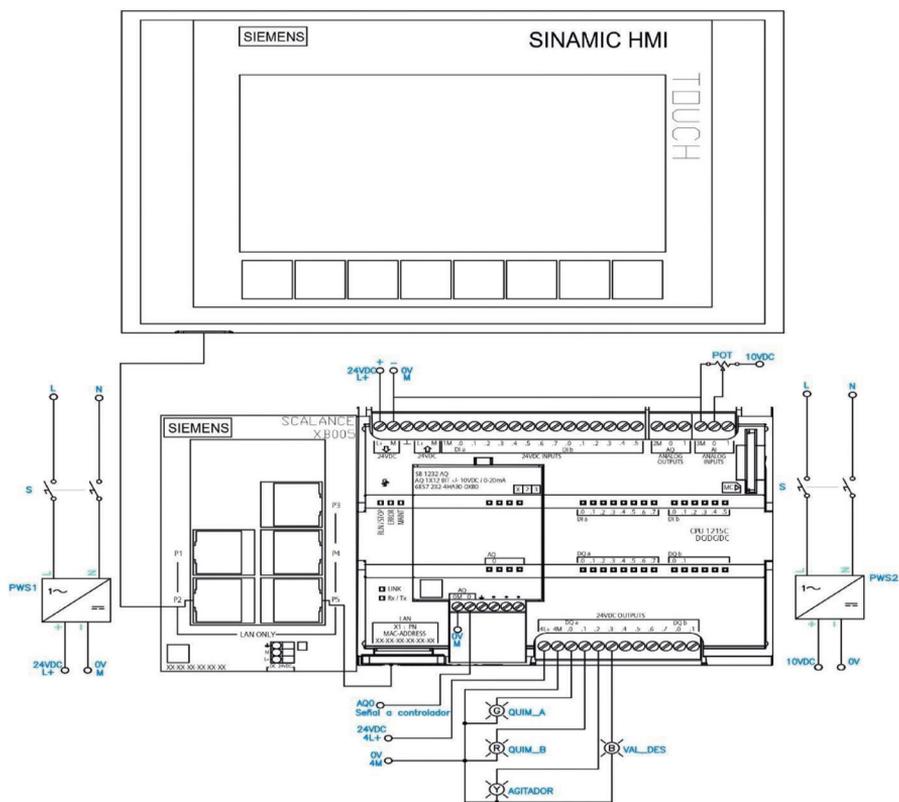


Figura 107. Esquema de conexiones del sistema de mezclado de químicos

Questionario

- Consulte las especificaciones técnicas de la signal board 6ES7232-4HA30-0XB0.
- Consulte cinco tipos de sensores y clasifíquelos en una tabla, dependiendo de si son de voltaje o de corriente y sus rangos de medición.
- ¿Cómo utilizaría la función MOVE para interactuar con salidas analógicas?
- Implemente la lectura de una entrada analógica que requiere un escalamiento de conversor 0 a 27 648 en un valor entero de 10 a 200 litros.
- Enumere cinco ventajas de utilizar una HMI en un entorno industrial.

Capítulo 5

Maximizando la eficiencia industrial: análisis y medición



Introducción

El PLC es en la actualidad un recurso muy utilizado dentro de los procesos industriales. La facilidad de programación, versatilidad, precio y reducción de mantenimiento, entre otros factores han ayudado a su posicionamiento dentro del sector industrial. El PLC —al ser el dispositivo encargado de activar o desactivar los equipos y recursos que entran en contacto directo con la materia prima en procesos de elaboración de productos y su conexión a sensores que miden variables usadas para el control de determinadas condiciones de producción— hace que los datos que se pueden extraer sean muy útiles en el análisis del desempeño de los procesos. Así, los autómatas programables son frecuentemente empleados en la actualidad dentro de la ingeniería industrial, con fines de optimización de recursos, reducción de tiempos, incremento de la calidad de un producto, entre otros beneficios del procesamiento de información [34].

El aporte que puede dar un PLC al análisis de procesos es esencial y mucho más a partir del surgimiento del procesamiento de datos y conexión con equipos informáticos, como plantea la Industrial 4.0, lo que en la actualidad ha dado origen al surgimiento de una serie de aplicaciones que analiza los procesos a partir de la adquisición de información en tiempo real, así como de datos históricos.

Análisis de procesos

El análisis de procesos implica desglosar todas las etapas que conforman un proceso con el fin de estudiarlas y determinar si se están llevando a cabo de acuerdo con lo esperado. En esta evaluación se busca comprender cómo se están realizando las actividades y si están cumpliendo con los objetivos establecidos. Analizar un proceso implica, por tanto, inspeccionar y comprobar que las tareas o prácticas (los procesos) en una organización se están desarrollando como se han planteado inicialmente [35].

Realizar un análisis de procesos brinda diversas ventajas, como:

- Identificar discrepancias entre las prácticas actuales de una organización y las ideales.

- Descubrir posibles debilidades en los pasos de un proceso que podrían resultar en fallos o errores (riesgos en los procesos).
- Establecer una base sólida para implementar cambios en los procesos después de identificar problemas o posibles áreas de mejora.
- Evaluar la eficiencia de una organización al examinar los pasos necesarios para ejecutar un proceso de manera controlada y determinar si se pueden reducir, automatizar, eliminar, agilizar, etc.
- Adoptar un enfoque orientado a los procesos dentro de la organización, lo que promueve una mayor eficacia y eficiencia en las operaciones [35].

Existen tres herramientas altamente útiles y de fácil manejo para llevar a cabo un análisis de procesos en una organización:

- Diagrama de flujos: Permite visualizar gráficamente la secuencia de actividades en un proceso, facilitando la comprensión y detección de posibles mejoras.
- Caracterización de procesos: Consiste en recopilar información detallada sobre cada paso del proceso, identificando responsables, tiempos y recursos utilizados, lo cual brinda una visión completa de su funcionamiento.
- Auditoría de procedimientos de trabajo: Implica revisar exhaustivamente los procedimientos establecidos, asegurándose de que se sigan adecuadamente y de que cumplan con los estándares de calidad y eficiencia establecidos.

Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo —como el mostrado en la Figura 108— es una ilustración que muestra de manera gráfica la secuencia de pasos o etapas de un proceso. Se trata de representar los pasos a cumplirse desde que inicia hasta que termina un proceso. Para ello, se utiliza una serie de elementos visuales que ayudan a esquematizar gráficamente cada etapa [36].

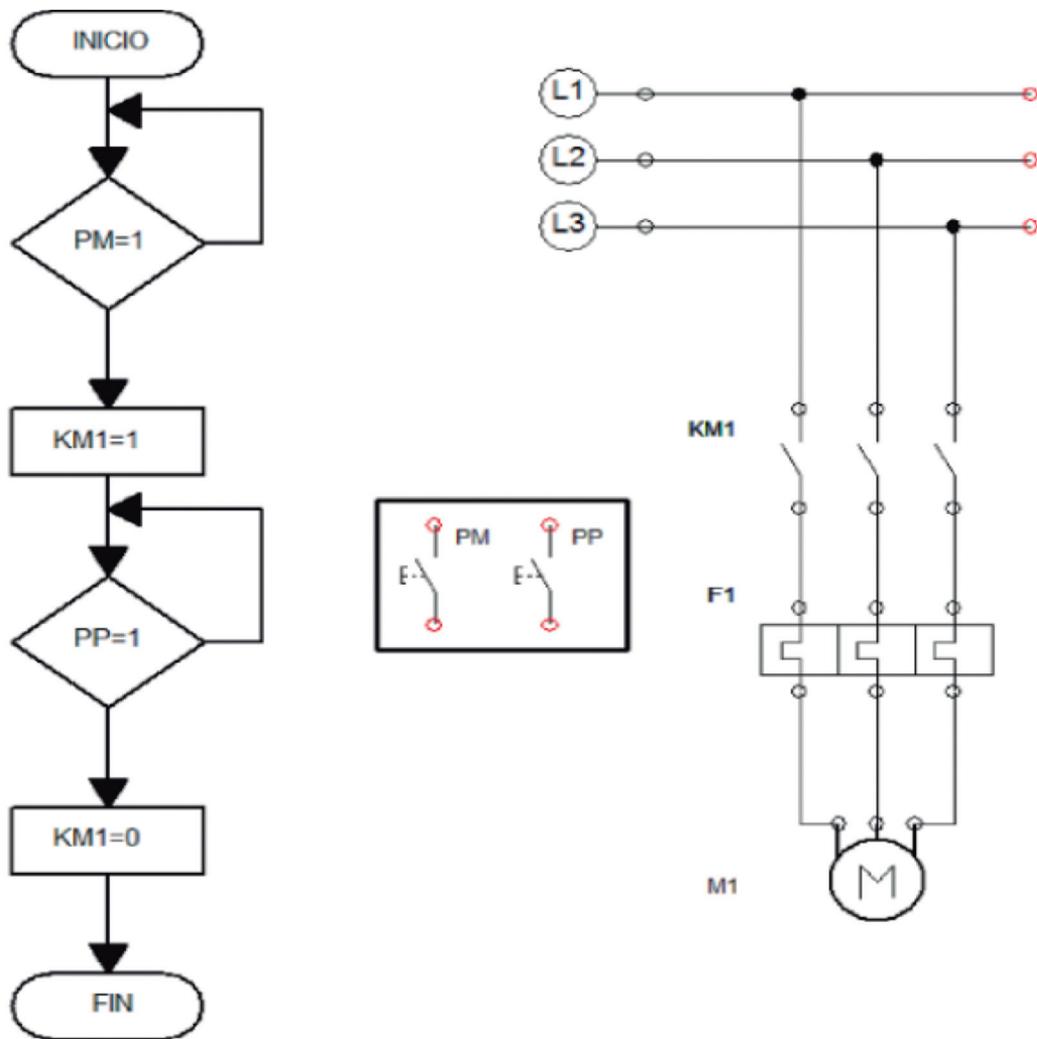


Figura 108. Ejemplo de diagrama de flujo. Tomado de [36].

Caracterización de proceso

La caracterización implica realizar un análisis exhaustivo de los procesos, teniendo en cuenta los elementos que determinan su inicio y finalización, además de los elementos de entrada y salida (Figura 109). Mediante la caracterización de procesos también se estudian aspectos como:

- El propósito del proceso, es decir, la razón por la cual se crea.
- El momento en que se inicia y se finaliza el proceso.
- Los responsables involucrados en el proceso.

- Las partes interesadas que participan en el proceso.
- Los controles implementados para garantizar la correcta ejecución del proceso, ya sea a través de controles documentales o visuales.
- Los documentos o registros de control asociados al proceso para asegurar su correcta ejecución.
- Los indicadores de gestión relacionados con el proceso que ayudan a evaluar su rendimiento y desempeño.
- Las tareas o actividades secuenciales que conforman el propio proceso.
- Los posibles riesgos que podrían afectar el correcto funcionamiento del proceso.

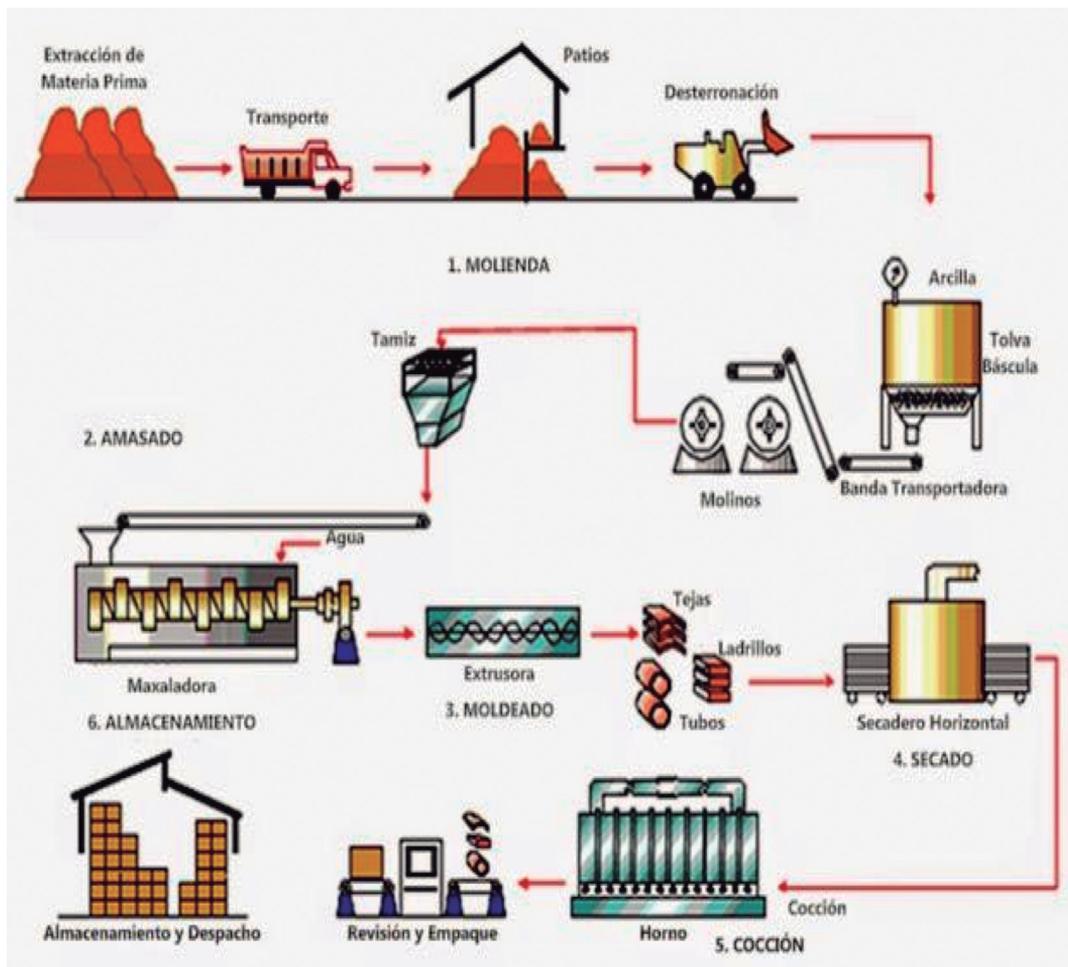


Figura 109. Caracterización de procesos

Auditoría de procedimientos de trabajo

Esta auditoría desempeña un papel fundamental en el análisis de procesos, ya que permitirá mejorar la gestión empresarial de un negocio. Mediante esta auditoría se podrá:

- Identificar oportunidades de mejora.
- Aumentar la eficiencia de los procedimientos.
- Identificar prácticas arraigadas por inercia, simplemente porque se han hecho de esa manera “siempre”.

Medición de trabajo

La medición del trabajo se refiere a la aplicación de técnicas para determinar el tiempo empleado en una tarea específica siguiendo una norma de ejecución establecida previamente.

Una de las técnicas fundamentales utilizadas en la medición del trabajo es el estudio de tiempo. Su objetivo principal es conocer el tiempo real empleado en cada proceso involucrado en la producción de un producto o en la prestación de un servicio. En este sentido, el PLC desempeña un papel relevante al estar conectado a sensores y actuadores del proceso; esto permite recopilar datos precisos que pueden ser utilizados por los ingenieros industriales para medir y optimizar los procesos.

Técnicas para medir el trabajo

Existen dos métodos para la observación de trabajo: observación directa y observación indirecta. Los métodos directos incluyen el estudio de tiempos —en el cual se utiliza un cronómetro para medir los tiempos de trabajo—, y el muestreo de trabajo —que implica registrar observaciones aleatorias de personas o equipos durante su labor.

Estudio de tiempos

El estudio de tiempo es una técnica utilizada para establecer un tiempo estándar permitido para llevar a cabo una actividad. Mediante la definición de estándares o asignando holguras para la fatiga o retrasos personales inevitables, se generan oportunidades para resolver problemas relacionados con el proceso o la fabricación.

En la actualidad, el estudio de tiempo se utiliza ampliamente en las empresas para determinar el tiempo requerido por cada proceso y así evitar altos niveles de improductividad que afectan la eficiencia laboral. Se realiza con el objetivo de aprovechar al máximo los recursos disponibles.

Es importante destacar que el estudio de tiempo se lleva a cabo una vez que se ha establecido la mejor forma o los pasos para ejecutar un trabajo específico dentro de una empresa.

Generalmente, el estudio de tiempo implica el uso de un cronómetro para medir el tiempo que una persona tarda en realizar una tarea determinada y así identificar los tiempos improductivos que reducen la eficiencia de producción. Sin embargo, al utilizar los recursos del PLC, se pueden medir y registrar automáticamente los tiempos de un proceso, lo que reduce la necesidad de tener a una persona realizando estas mediciones.

Importancia del estudio de tiempo

La importancia del estudio de tiempo radica en su aplicación precisa para determinar el tiempo necesario que una persona, familiarizada con su tarea, debe asignar para llevar a cabo una actividad específica. Este tiempo debe ajustarse a un método de trabajo establecido y debe ser justo y equitativo tanto para el trabajador como para la empresa. El estudio de tiempo es efectivo en una amplia gama de entornos, incluyendo procesos industriales, trabajos de oficina, mantenimiento, cirugía y otras actividades. Las técnicas del estudio de tiempo pueden aplicarse en cualquier campo, ya que ayuda a establecer los procedimientos necesarios para desarrollar las actividades de manera rápida y eficiente.

Las ventajas del estudio de tiempo incluyen:

- Minimizar el tiempo requerido para realizar trabajos.
- Ahorrar recursos y reducir costos.
- Proyectar la producción, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos energéticos.
- Entregar productos cada vez más confiables y de alta calidad.
- Eliminar o reducir movimientos ineficientes y acelerar los eficientes.

Tiempo normal

Se refiere al tiempo necesario para que un operario estándar realice una operación a una velocidad estándar, sin demoras, debido a razones personales o circunstancias inevitables. En otras palabras, es el tiempo neto requerido para la producción de un bien

o producto, sin tener en cuenta el tiempo improductivo o las tolerancias que puedan surgir durante el proceso a medida que transcurre el tiempo.

Tiempo estándar

Se obtiene mediante la suma del tiempo normal junto con holguras adicionales para cubrir necesidades personales, como descansos para ir al baño o tomar café, las demoras inevitables en el trabajo, como averías en los equipos o falta de materiales, y la fatiga del trabajador, ya sea física o mental. Abarca todo el tiempo necesario para cada proceso productivo hasta llegar al producto final, incluyendo el improductivo que pueda surgir a lo largo del ciclo de producción.

Tiempo improductivo

Este factor representa un desafío importante para una organización, ya que no solo implica una pérdida económica para el centro o la empresa, sino que también puede ser un problema que afecte negativamente el progreso y desarrollo de la organización, si está causado por factores externos al trabajador.

Actividad experimental

Los objetivos de esta práctica son:

- Evaluar la eficiencia de un proceso industrial.
- Identificar áreas de mejora en los procesos.
- Medir y registrar tiempos de trabajo, comparar tiempos estándar y tiempos reales.
- Identificar posibles riesgos en el proceso.

Programación y diseño de interfaz HMI de un proceso de mezclado de dos químicos con registro y análisis de tiempos

En base al ejercicio del capítulo anterior (sección 4.8.1.) se plantea que el sistema cuente con una pantalla de supervisión en la cual se visualicen los últimos cinco tiempos de producción, el mayor y menor tiempo que ha tomado el proceso desde el encendido del sistema, el último tiempo de para del sistema, el mayor tiempo de para y el número de mezclas realizadas.

Cuestionario

- Investigue los estándares de calidad que se pueden aplicar para mejorar la eficiencia del proceso de la actividad experimental.
- Suponiendo que el proceso de la actividad experimental está implementado físicamente, ¿qué podría mejorar para aumentar la eficiencia?
- ¿Qué utilidad le puede dar a las medidas de tiempos realizadas en la actividad experimental?
- ¿Qué riesgos pueden existir en la implementación del proceso?
- Describa un proceso de manufactura implementado en la industria nacional e identifique los problemas o cuellos de botella. Proponga una alternativa de optimización a través de técnicas de automatización industrial que permitan mejorar la productividad.

Capítulo 6

Arranque de motor directo y arranque estrella triángulo desde un PLC



Introducción

Existen distintas metodologías y configuraciones para el arranque de motores trifásicos, cada una con sus propias peculiaridades y utilidades. En este capítulo se describen las dos más utilizadas en la industria: arranque directo y arranque estrella triángulo.

Arranque directo

El arranque directo es la forma más básica de iniciar el funcionamiento de un motor trifásico de inducción. Consiste en conectar los devanados estatóricos directamente con el cierre de contactos de potencia (contactores) [37].

En este tipo de arranque se producen grandes corrientes de arranque, de cuatro a seis veces la corriente nominal, lo cual puede causar efectos sobre la red a la que se encuentra conectado. Pese a esta desventaja, este método, al ser simple y económico, es el preferido si la red y el accionado lo admiten, especialmente, cuando el trabajo del motor implica un número reducido de arranques diarios del motor y el motor es de una potencia inferior a los 3 HP [38].

El motor trifásico de inducción con rotor de jaula de ardilla experimenta una corriente de arranque de aproximadamente cinco a siete veces la corriente nominal. El bloqueo del rotor, debido a una falla mecánica, representa un problema grave que puede llevar a la destrucción térmica y dieléctrica del motor. Para evitar este riesgo, es necesario incluir un dispositivo de protección en el suministro eléctrico del motor que detecte y prevenga la sobrecarga térmica. Una solución eficiente y económica es instalar un relé térmico en serie con la alimentación del motor (como se muestra en la Figura 110), también conocido como guardamotor o relé de protección de motores [39].

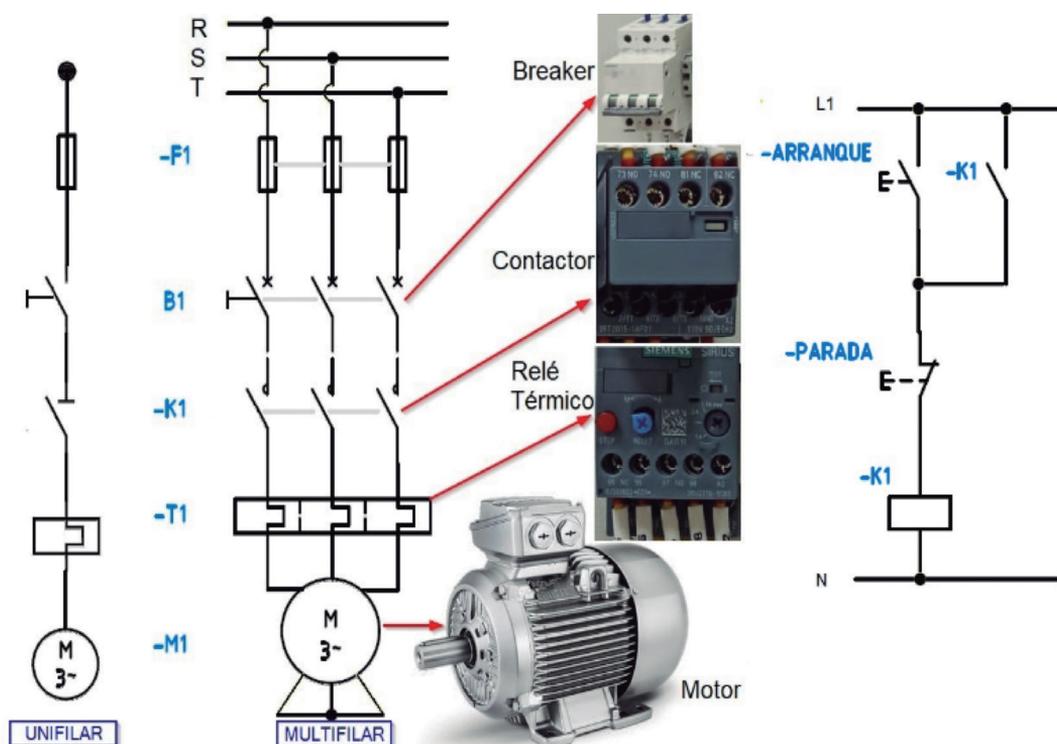


Figura 110. Arranque directo

Arranque estrella triángulo

El arranque estrella triángulo consiste en arrancar el estator del motor conectado en conexión estrella y, cuando la velocidad se estabiliza luego de un tiempo, conmutarlo a conexión triángulo, completándose así la aceleración y el proceso de arranque (ver Figura 111) [40, 41].

Cuando se realiza la conexión inicial en estrella, la tensión aplicada a cada bobina es aproximadamente $1/\sqrt{3}$ en comparación con la conexión en triángulo. Este método de arranque es adecuado para motores con carga inicialmente reducida, que aumenta con la velocidad —como ventiladores, compresores, bombas rotativas y otras máquinas que arrancan en vacío—. Una ventaja adicional de la conexión estrella triángulo es que, si el motor opera con carga baja o en vacío durante períodos prolongados, se puede cambiar a la configuración en estrella, lo que mejora significativamente el factor de potencia y la eficiencia. Durante el arranque en la conexión estrella, primero se conectan los terminales U2, V2, W2 mediante un contactor en configuración de estrella. Luego, el contactor principal aplica la tensión de línea a los terminales U1, V1, W1 del motor.

Una vez que se alcanza el tiempo establecido, un relé temporizador emite una orden de apertura al contactor en estrella y una de cierre al contactor en triángulo, para conectar los terminales U2, V2, W2 a la tensión de red [38, 42, 43].

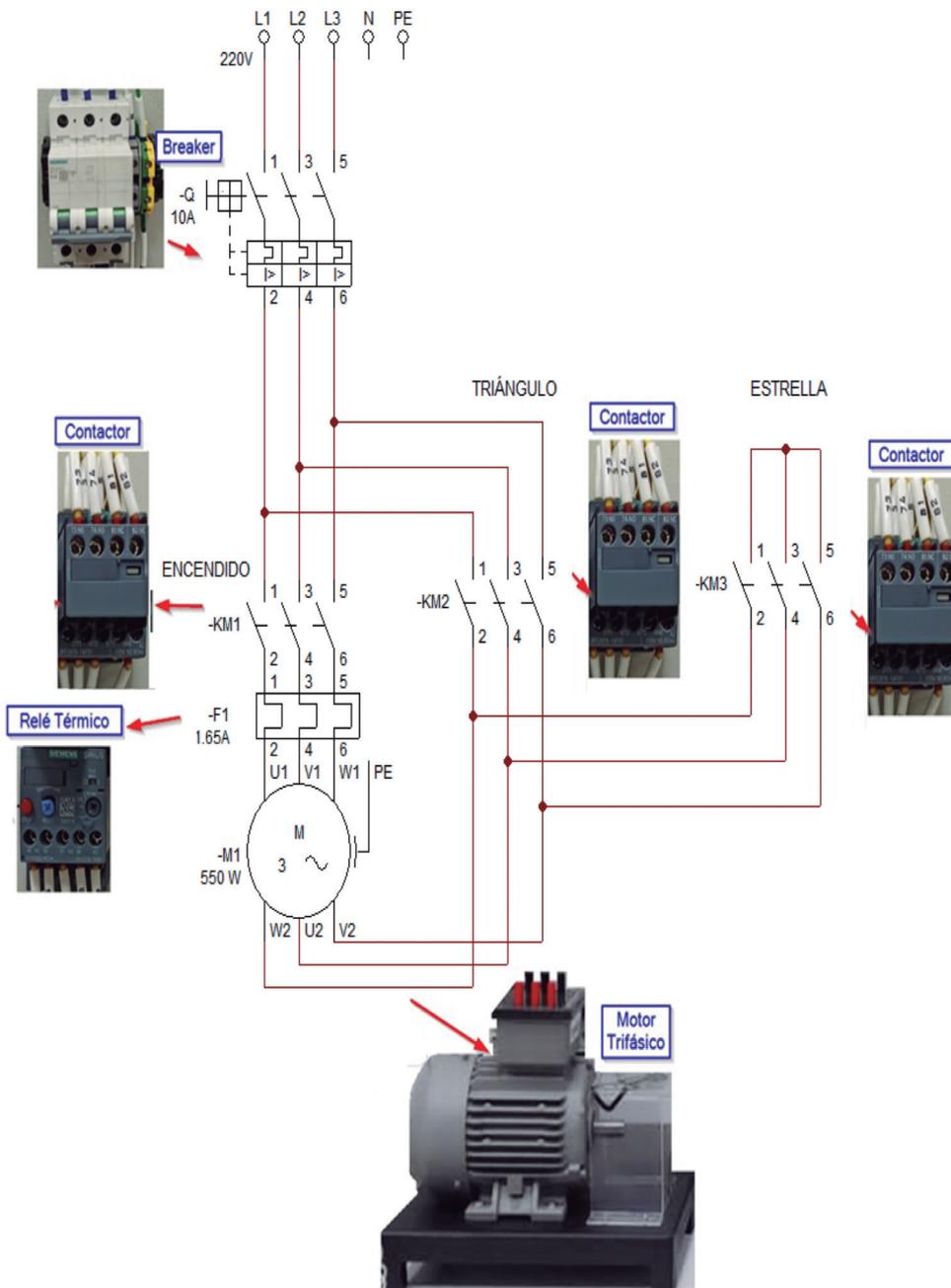


Figura 111. Arranque estrella triángulo

Actividades experimentales

Los objetivos de estas actividades son:

- Identificar los elementos de maniobra y mando de la plataforma IAM-S7-1200, su función y conexión con un motor trifásico.
- Programar aplicaciones utilizando instrucciones de bits, acorde con los requerimientos planteados.
- Utilizar un temporizador para arrancar un motor mediante conexión estrella triángulo.

Arranque directo de motor trifásico

Para implementar el control de arranque directo de un motor trifásico asíncrono de inducción con inversión de giro mediante un PLC, el sistema cuenta con dos pulsadores de arranque y parada, un interruptor de sentido de giro (horario: encendido; y anti-horario: apagado) y luces indicadoras de encendido, sentido de giro y fallo por el relé térmico (Figura 112). La Figura 113 muestra el diagrama esquemático de conexión para este ejercicio.

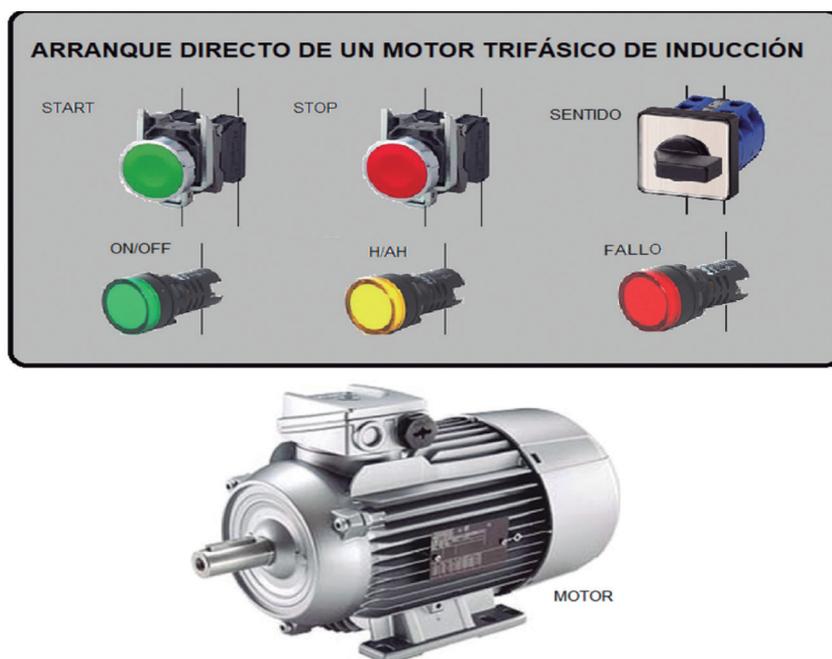


Figura 112. Sistema de arranque directo de motor trifásico de inducción

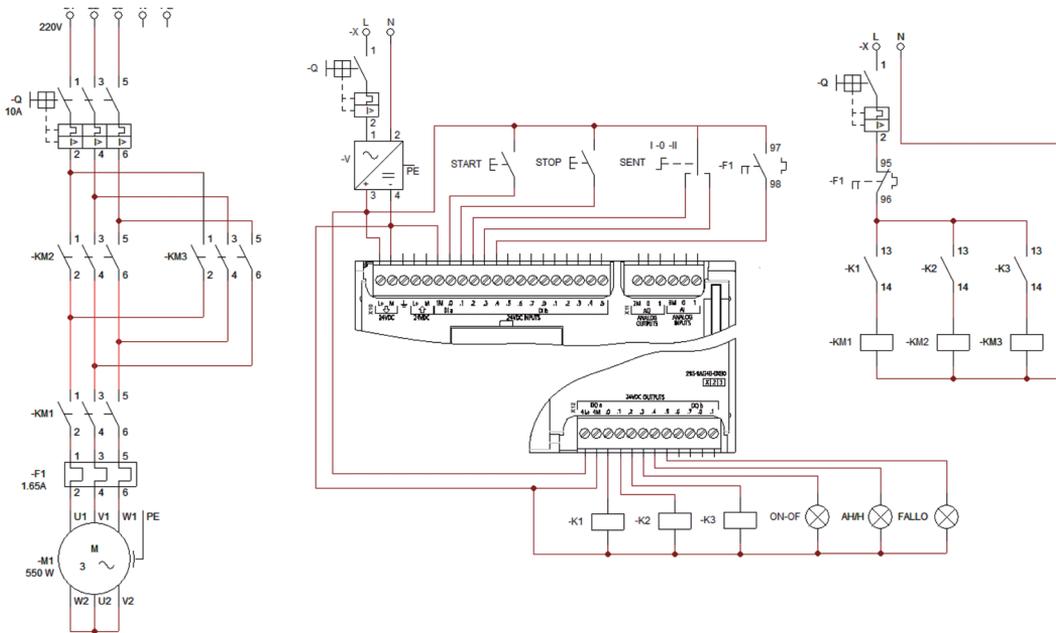


Figura 113. Esquema de conexiones del sistema de arranque directo a implementar

Arranque de motor en configuración estrella triángulo

Para implementar en el PLC un sistema de arranque estrella triángulo temporizado de un motor trifásico asincrónico de inducción, el sistema cuenta con dos pulsadores de arranque y parada; un temporizador de 5 segundos realiza el cambio automático de estrella a triángulo y, durante este tiempo, el motor no podrá ser apagado. Una vez hecho el cambio, el motor permanecerá en este estado hasta que se accione el pulsador de parada.

El sistema cuenta luces indicadoras de encendido, arranque completo y fallo por el relé térmico, como se muestra en la Figura 114. La Figura 115 ilustra el diagrama esquemático de conexión para este ejercicio.

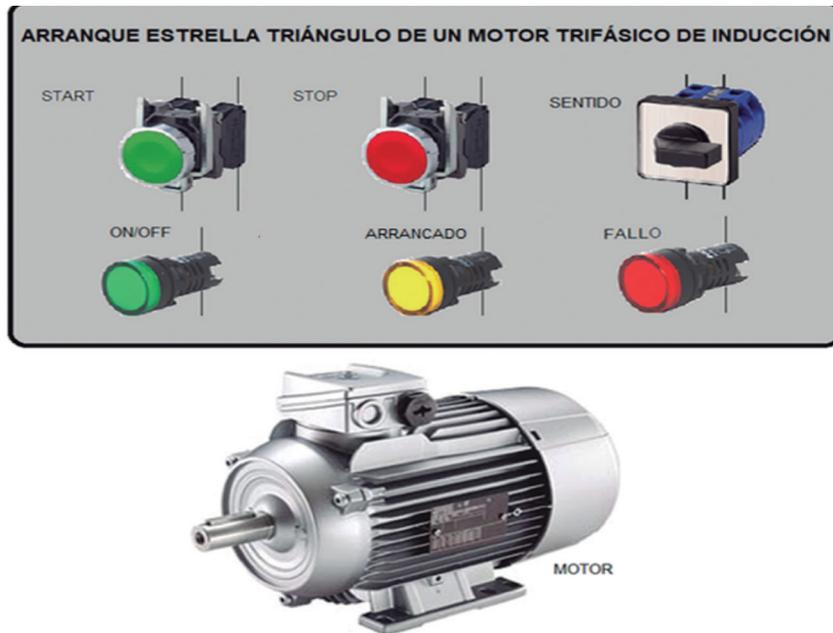


Figura 114. Sistema de arranque estrella triángulo de motor trifásico de inducción

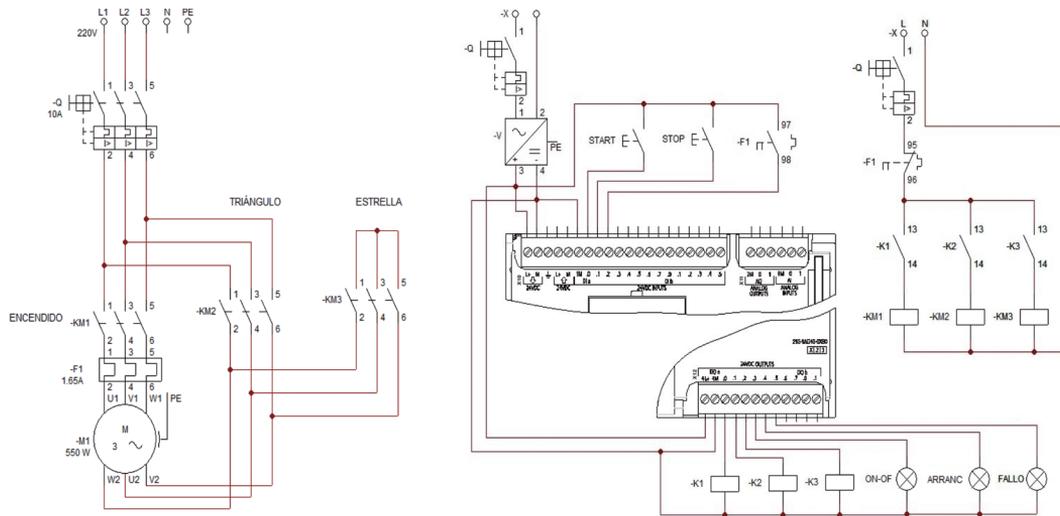


Figura 115. Diagrama del sistema de arranque a implementar

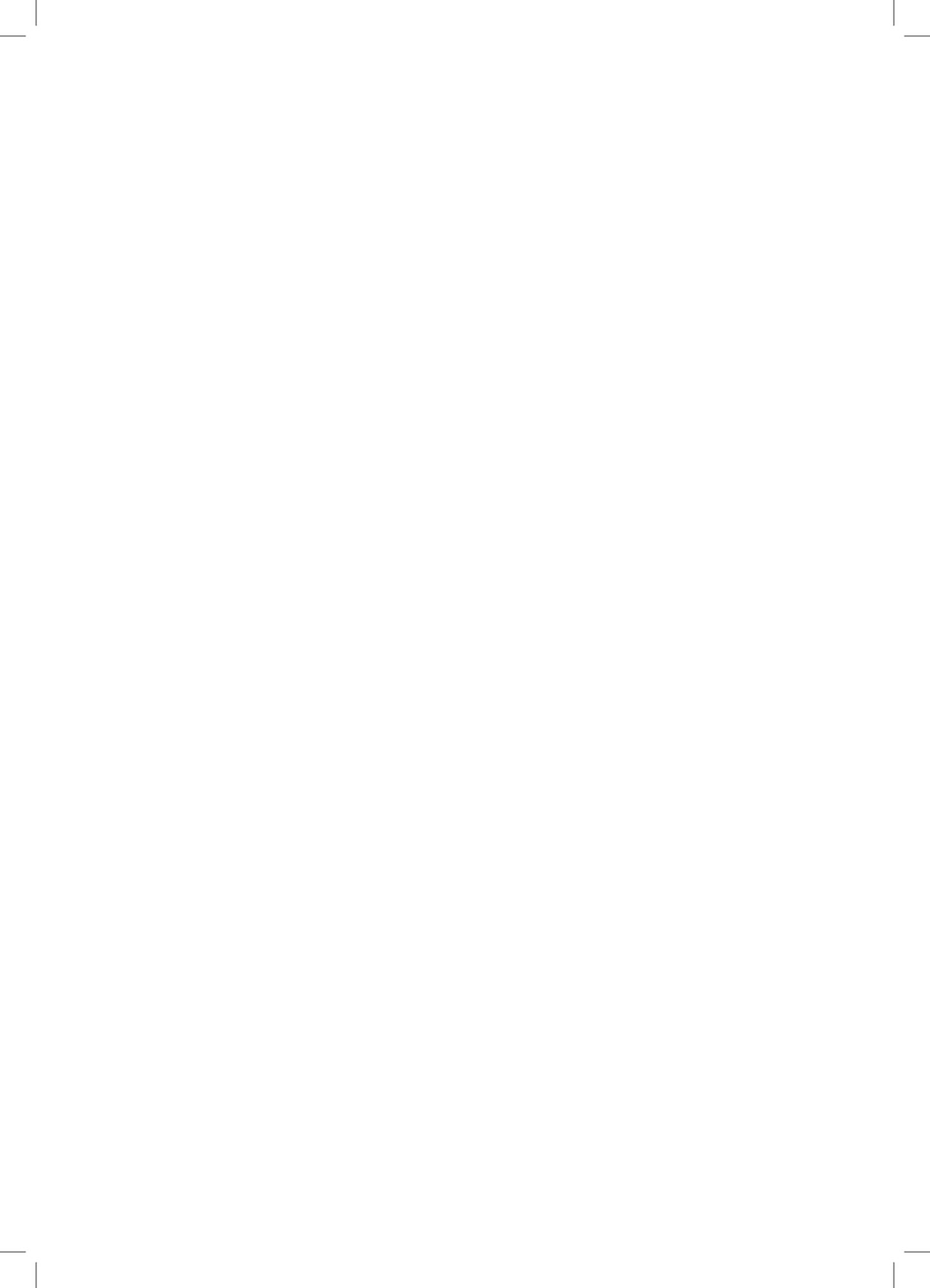
Cuestionario

- Describa el funcionamiento de un guardamotor.
- Enumere las ventajas y desventajas del arranque directo.
- Enumere las ventajas y desventajas de arranque de motores estrella triángulo.
- Realice una infografía de los tipos de arranque de motores trifásicos de inducción.



Capítulo 7

Programación básica de variadores de velocidad SINAMIC V20



Introducción

Un variador de velocidad como el que se muestra en la Figura 116 es un dispositivo que controla el voltaje y la frecuencia de entrada para manejar la velocidad y el torque del motor. Su objetivo es lograr una armonía entre la velocidad del motor y los requisitos de salida de la máquina que se está utilizando.

Durante el arranque, el variador aumenta gradualmente la frecuencia desde 0 Hz hasta la frecuencia nominal de la red, que generalmente es de 60 Hz. A medida que el variador aplica diferentes frecuencias al motor, este gira a la velocidad correspondiente a la frecuencia aplicada, lo que permite disponer del torque nominal desde el inicio y mantener una corriente cercana a la nominal proveniente de la red eléctrica [44].

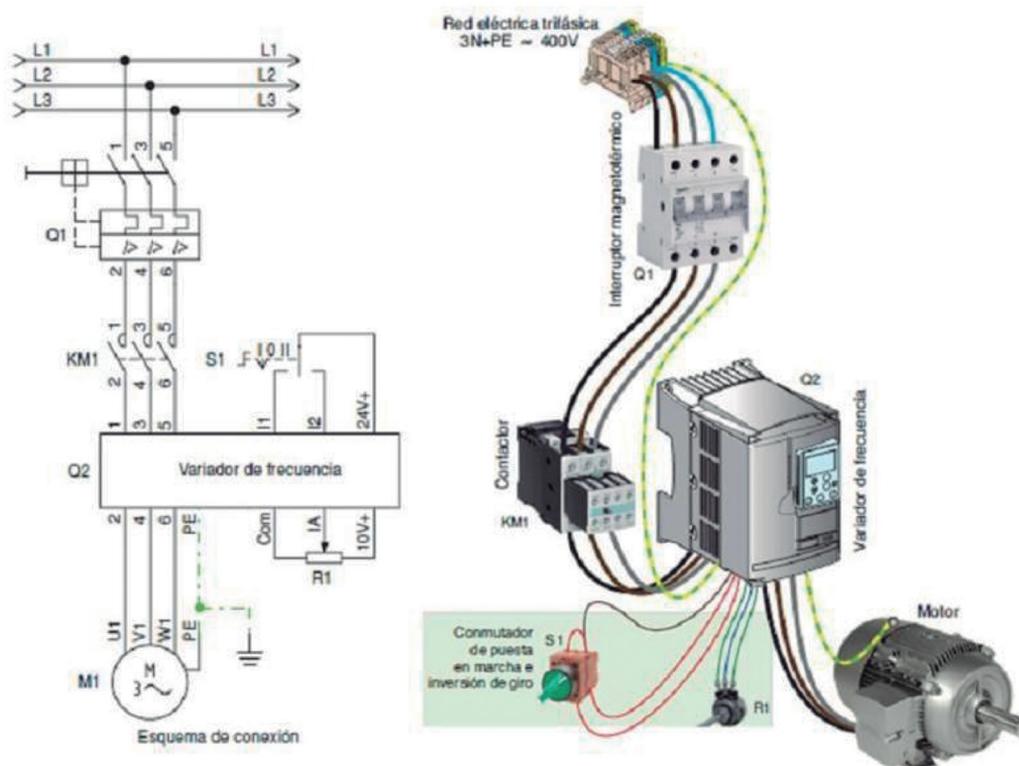


Figura 116. Variador de velocidad. Tomado de [44].

El uso de variadores de frecuencia permite regular la velocidad de los motores eléctricos de acuerdo con las demandas reales de la aplicación, lo que resulta en un ahorro de energía de entre un 20 % y un 70 % en comparación con el funcionamiento a velocidad fija. Sin embargo, estos dispositivos tienen un costo inicial elevado. Para elegir adecuadamente un variador de velocidad, es necesario conocer la tensión de alimentación disponible (monofásica o trifásica), la corriente y potencia del motor, la velocidad nominal, la eficiencia del motor, el tipo de máquina que se va a accionar (ventilador, bomba, compresor, etc.), si se esperan sobrecargas y el rango de velocidad de giro aproximado del motor, para asegurar una adecuada ventilación a bajas velocidades [44].

Ventajas

Los variadores de velocidad ofrecen al usuario una serie de ventajas que incluyen:

- Ahorro de energía
- Evadir picos de corriente
- Reducción del número de elementos de accionamiento eléctrico para su conexión
- Eliminación de gastos elevados en componentes de accionamiento mecánico
- Incremento de la vida útil del motor al permitir arranques y frenados suaves, progresivos y sin saltos
- Menores esfuerzos mecánicos
- Arranque continuo y sin escalones
- Reducción del nivel de alteraciones en las líneas de energía
- Flexibilidad y adaptabilidad a procesos y requerimientos cambiantes
- Permite movimientos complejos y secuencias de funcionamiento en función de ciertos parámetros del entorno
- Reducción de riesgo de daños en el motor durante el encendido y el apagado

Existen cuatro categorías de variadores de velocidad eléctrico-electrónicos:

- Variadores diseñados para motores de corriente continua, que fueron ampliamente utilizados en las décadas de 1980 y 1990 para lograr un mejor control de torque y velocidad.
- Variadores de velocidad basados en corrientes de Eddy, que tuvieron muy pocas aplicaciones y han sido reemplazados por los variadores de frecuencia.

- Variadores de deslizamiento que han tenido un uso limitado debido a su baja eficiencia.
- Variadores diseñados para motores de corriente alterna, también conocidos como variadores de frecuencia; son los más utilizados en la actualidad en el mercado [45].

Variadores SINAMICS V20

Los variadores de frecuencia Sinamics V20 de Siemens 6sl3210-5bb15-5uv1 [19] son dispositivos compactos diseñados especialmente para aplicaciones estándar en la automatización de procesos. Con una gama de potencia que va desde 0.12 kW hasta 15 kW y disponibles en seis tamaños, estos variadores ofrecen robustez, facilidad de uso y eficiencia energética, lo que resulta en ahorro de costos. Además, hay opciones de instalación y conexión para facilitar su puesta en marcha.



Figura 117. Variador de frecuencia SINAMICS V20

Los variadores de frecuencia —como el de la Figura 117— se utilizan para controlar la velocidad de los motores eléctricos. Estos dispositivos modifican la frecuencia y amplitud de la corriente alterna con el objetivo de optimizar procesos y reducir la carga mecánica de las máquinas. Son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales, como bombas, ventiladores, compresores, cintas transportadoras y automatización de edificios [46].

Como se muestra en la Figura 118, el variador dispone de borneras para la conexión de los elementos externos, los cuales cumplen diferentes funciones.

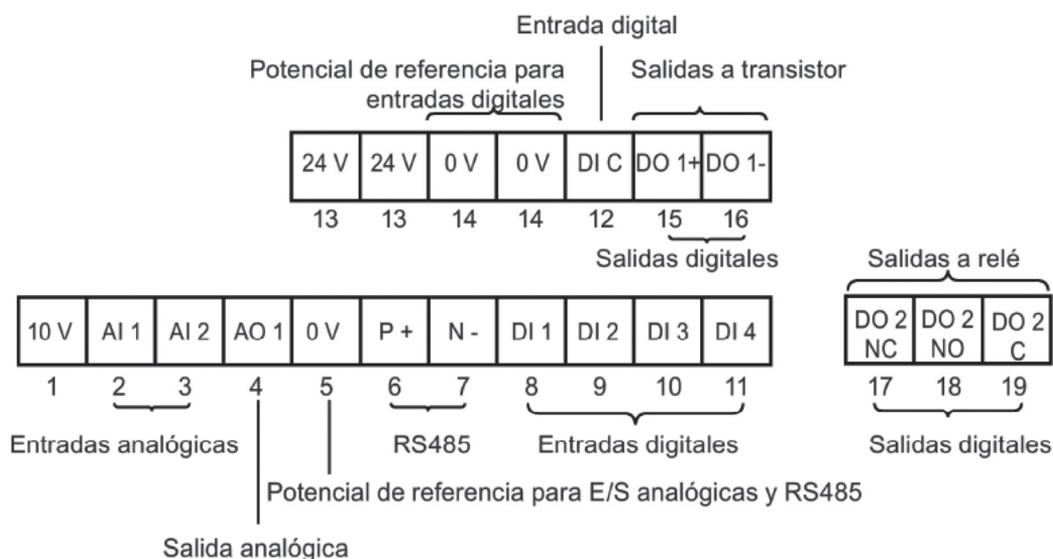


Figura 118. Borneras de usuario del variador SINAMICS V20. Tomado de [19].

Para su configuración, el variador cuenta con un panel de operador básico integrado (Basic Operator Panel BOP) como el que se muestra en la Figura 119.

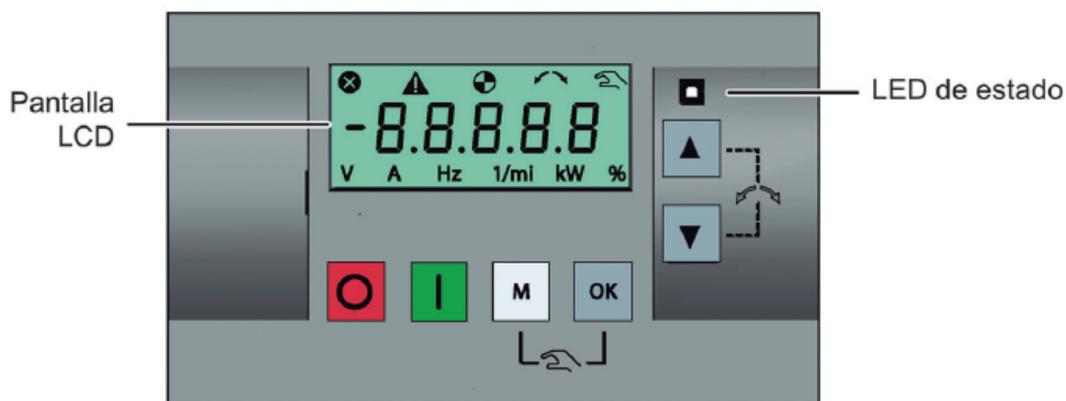


Figura 119. Panel de operador básico Tomado de [19].

Las funciones de los botones se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Funciones de los botones del BOP del variador

Botón	Función	
	Detiene el variador	
	Una pulsación	Reacción parada OFF1 en modo HAND. Excepción: En caso de que el convertidor esté configurado para el control desde bornes o mediante el protocolo USS/MODBUS en RS485 (P0700 = 2 o P0700 = 5) y se encuentre en modo AUTO, el botón estará desactivado.
	Pulsación doble (< 2 s) o pulsación larga (> 3 s)	La función de parada OFF2 del convertidor permite que el motor se detenga de forma natural sin necesidad de utilizar ningún tiempo de desaceleración.
	Inicia el variador en modo HAND/JOG/AUTO. Excepción: Este botón no estará activo si el convertidor está configurado para el control a través de bornes o USS/MODBUS en RS485 (P0700 = 2 o P0700 = 5) y se encuentra en modo AUTO.	
	Botón multifunción	
	Pulsación breve (< 2 s)	<ul style="list-style-type: none"> . Accede al menú de configuración de parámetros o avanza a la siguiente pantalla del menú de configuración. . Reinicia la edición del elemento seleccionado, permitiendo modificar los valores dígito a dígito. . Regresa a la visualización de códigos de error. . Pulsa dos veces en la edición dígito a dígito para cancelar los cambios y volver atrás.
	Pulsación larga (> 2 s)	<ul style="list-style-type: none"> . Regresa a la pantalla de estado. . Accede al menú de configuración.

Botón	Función	
	Pulsación breve (< 2 s)	<ul style="list-style-type: none"> . Alterna entre los diferentes valores de estado disponibles. . Ingresa al modo de edición de valores o cambia al siguiente dígito. . Elimina los fallos registrados. . Regresa a la visualización de códigos de error.
	Pulsación larga (> 2 s)	<ul style="list-style-type: none"> . Realiza una edición rápida de valores o números de parámetros. . Accede a los datos de información de fallos.
 + 	Presione para alternar entre los modos HAND (con un ícono de mano), JOG (con un ícono de mano parpadeante) y AUTO (sin ícono). Nota: El modo JOG solo estará disponible si el motor está detenido.	
	<ul style="list-style-type: none"> . Desplaza la selección hacia arriba en un menú o aumenta un valor o consigna. . Mantén presionado durante más de 2 segundos para desplazarte rápidamente hacia arriba en los valores. 	
	<ul style="list-style-type: none"> . Desplaza la selección hacia abajo en un menú o disminuye un valor o consigna. . Se mantiene presionado durante más de 2 segundos para desplazarse rápidamente hacia abajo en los valores. 	
 + 	Invierte la dirección de rotación del motor.	

Tomado de [19].

El estado del variador puede identificarse mediante íconos en la pantalla, cuya simbología y descripción se lista en la Tabla 7:

Tabla 7. Íconos de estado del variador

Ícono	Significado
	El variador tiene como mínimo un fallo pendiente.
	El variador tiene como mínimo una alarma pendiente.

Ícono	Significado	
		El variador está funcionando (la frecuencia del motor puede ser 0 rpm).
	 (parpadea)	El variador se puede energizar de forma inesperada (por ejemplo, en modo de protección antiescarcha).
	El motor gira en la dirección inversa.	
		El variador está en modo HAND.
	 (parpadea)	El variador está en modo JOG.

Tomado de [19].

Para la configuración, se debe manejar la estructura de menús del variador, para lo cual cuenta con tres tipos de menús: de visualización, configuración y de parámetros (como se muestra en la Figura 120).

La configuración del variador se da a partir del menú de configuración mostrado en la Figura 121. Se deben establecer valores predeterminados en los parámetros (P) que admite el variador, los cuales están numerados y deben ser modificados acorde con la configuración que se quiere dar al variador.

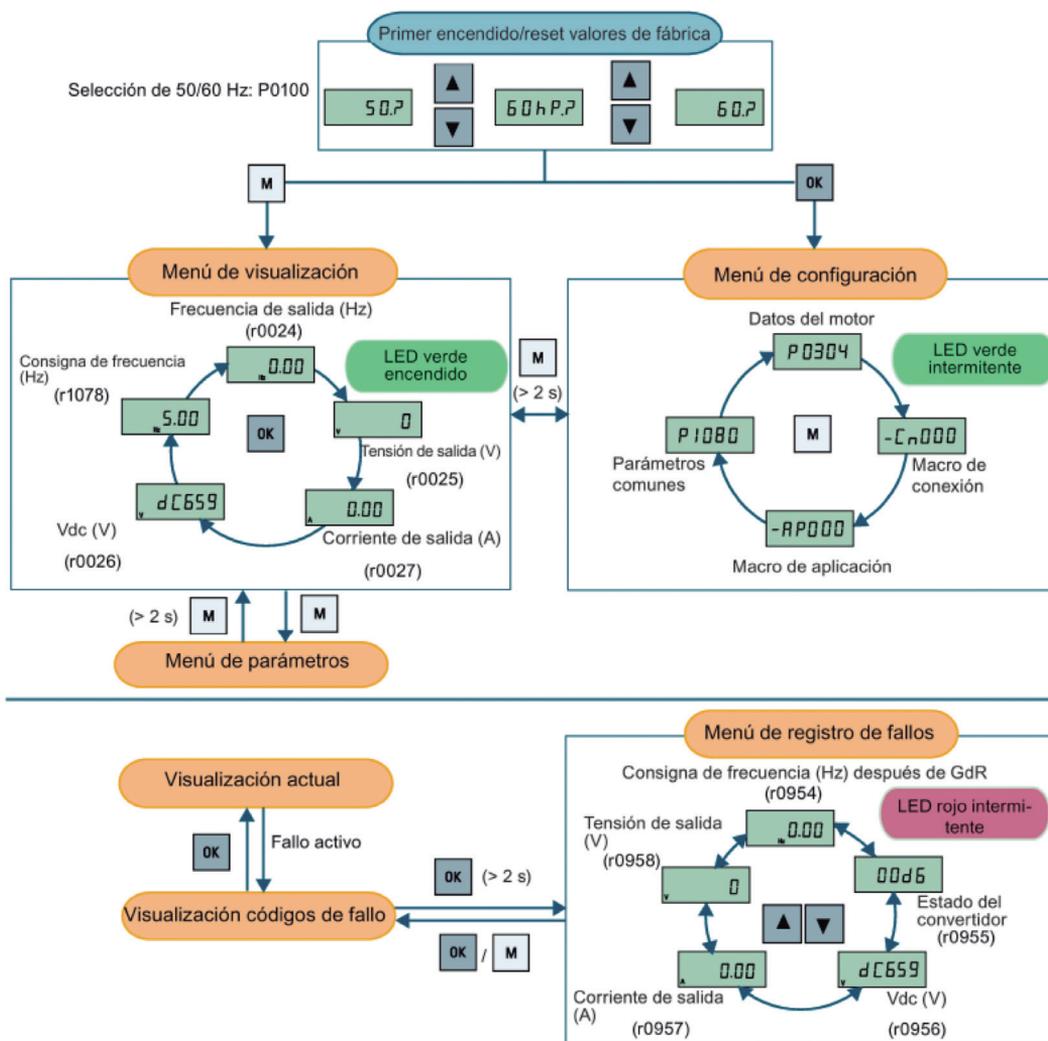


Figura 120. Estructura de menús. Tomado de [19].

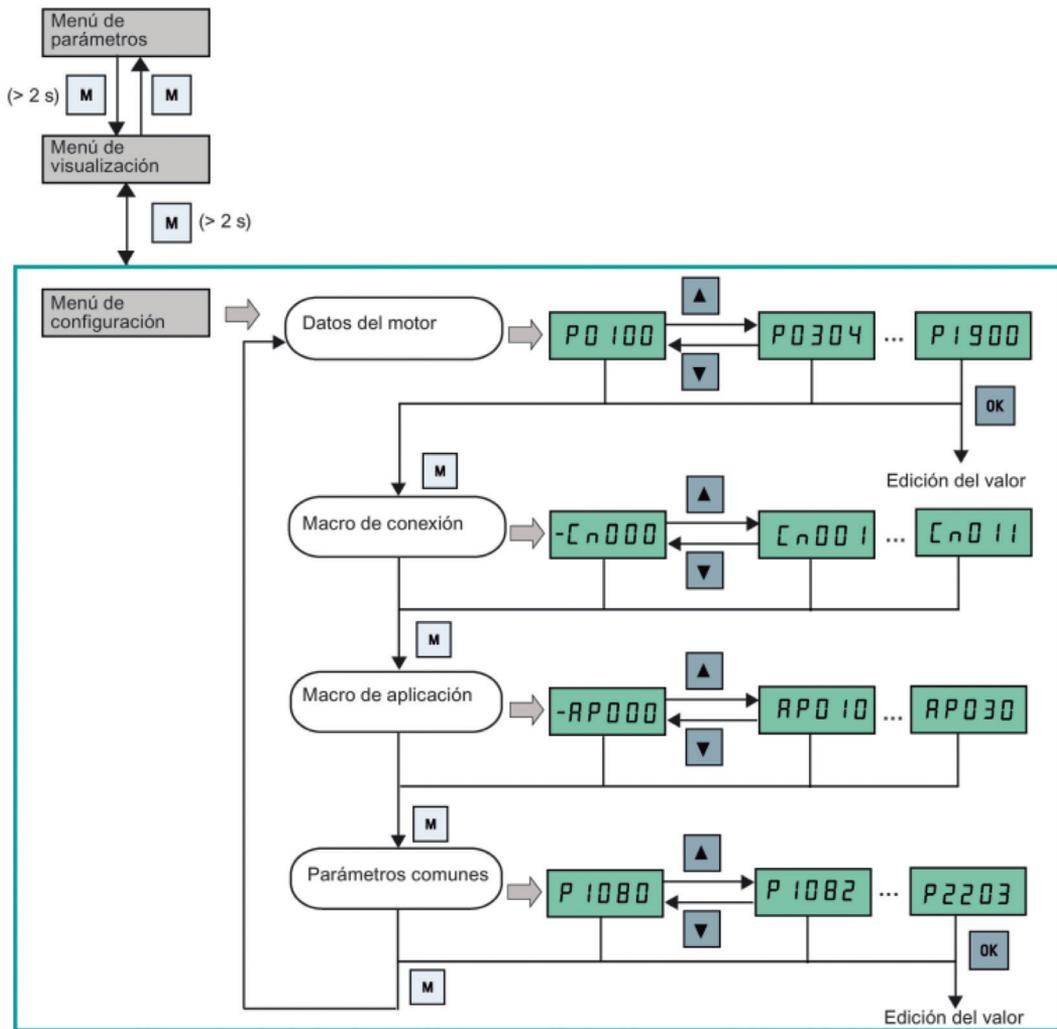


Figura 121. Menú de configuración. Tomado de [19].

Puesta en marcha rápida

El variador de frecuencia Siemens Sinamics V20 puede acceder de dos formas a la funcionalidad de puesta en marcha rápida: a través del menú de configuración y del menú de parámetros.

Puesta en marcha rápida a través del menú de configuración

El menú de configuración (ver Figura 121) es una guía de los pasos necesarios para la puesta en marcha rápida del convertidor. Se compone de los cuatro submenús siguientes:

- Datos de motor: Define los parámetros nominales del motor para la puesta en marcha rápida.
- Macro de conexión: Define las macros necesarias para las disposiciones de cableado estándar.
- Macro de aplicación: Define las macros necesarias para determinadas aplicaciones comunes.
- Parámetros comunes: Define los parámetros requeridos para la optimización del rendimiento del convertidor.

Macro de conexión

Este menú es seleccionado para realizar el cableado en el variador. Cada macro define un modo de trabajo del variador y la conexión de los elementos requeridos para el funcionamiento del macro seleccionado. La Tabla 8 muestra la lista de macros y la Figura 122, las conexiones de cada macro.

Tabla 8. Lista de macros de conexión

MACRO	DESCRIPCIÓN	MACRO	DESCRIPCIÓN
Cn000	No hay macro de conexión elegida	Cn006	Control con pulsador externo
Cn001	BOP como la única fuente de regulación	Cn007	Pulsadores externos con control analógico
Cn002	Control desde los bornes (PNP/NPN)	Cn008	Regulación PID con referencia analógica
Cn003	Velocidades fijas	Cn009	Regulación PID con referencia de valor fija
Cn004	Velocidades fijas en modo binario	Cn010	Regulación USS
Cn005	Entrada analógica y frecuencia fija	Cn011	Regulación MODBUS RTU

Tomado de [19].

<p>Cn001: BOP como la única fuente de control</p> <p>Velocidad Funcionamiento Fallo</p> <p>0~20 mA=0~50/60 Hz</p>	<p>Cn002: control desde los bornes (PNP/NPN)</p> <p>Control externo: potenciómetro con consigna.</p> <p>Tanto NPN como PNP se pueden realizar con los mismos parámetros. Puede cambiar la conexión del borne común de entrada digital a 24 V o 0 V para decidir el modo.</p> <p>Velocidad Funcionamiento Fallo</p> <p>0~20 mA = 0~50/60 Hz PNP</p>
<p>Cn003: velocidades fijas</p> <p>Tres velocidades fijas con ON/OFF</p> <p>Si varias entradas digitales se activan conjuntamente, se suman las frecuencias seleccionadas, por ejemplo, FF1 + FF2 + FF3.</p> <p>Velocidad Funcionamiento Fallo</p> <p>0~20 mA=0~50/60 Hz</p>	<p>Cn004: velocidades fijas en modo binario</p> <p>Velocidades fijas con orden ON en modo binario</p> <p>Hasta 16 valores de frecuencia fija diferentes (0 Hz, P1001 a P1015) se pueden seleccionar por medio de los selectores de frecuencia fija (P1020 a P1023).</p> <p>Velocidad Funcionamiento Fallo</p> <p>0~20 mA=0~50/60 Hz</p>
<p>Cn005: entrada analógica y frecuencia fija</p> <p>La entrada analógica funciona como una consigna adicional.</p> <p>Si la entrada digital 2 y la entrada digital 3 están activas al mismo tiempo, las frecuencias seleccionadas se suman, es decir, FF1 + FF2.</p> <p>Velocidad Funcionamiento Fallo</p> <p>0~20 mA = 0~50/60 Hz</p>	<p>Cn006: control con pulsador externo</p> <p>Tenga en cuenta que las fuentes de señales de mando son señales de impulsos.</p> <p>Velocidad Funcionamiento Fallo</p> <p>0~20 mA=0~50/60 Hz</p>
<p>Cn007: pulsadores externos con control analógico</p> <p>Tenga en cuenta que las fuentes de señales de mando son señales de impulsos.</p> <p>Velocidad Funcionamiento Fallo</p> <p>0~20 mA=0~50/60 Hz</p>	<p>Cn008: control PID con referencia analógica</p> <p>Si se desea una consigna negativa para el control PID, cambie la consigna y el cableado de realimentación según sea necesario.</p> <p>Velocidad Funcionamiento Fallo</p> <p>0~20 mA=0~50/60 Hz</p>

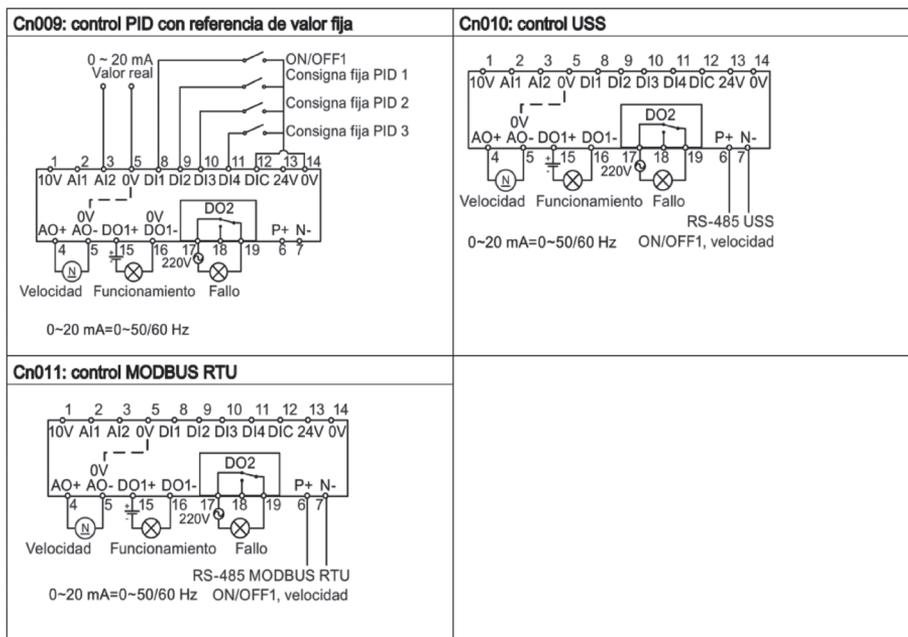


Figura 122. Diagrama de conexiones de los macros de conexión. Tomado de [19].

Macro de aplicación

Solo se selecciona para aplicaciones comunes, con parámetros específicos para aplicaciones determinadas como las mostradas en la Tabla 9. Luego de seleccionar esta macro se configuran los parámetros correspondientes.

Tabla 9. Lista de macros de aplicación

MACRO	DESCRIPCIÓN
AP000	Ajuste predeterminado de fábrica
AP010	Aplicaciones de bombas sencillas
AP020	Aplicaciones de ventiladores sencillas
AP021	Aplicaciones de compresores
AP030	Aplicaciones de cintas transportadoras

Tomado de [19].

Puesta en marcha rápida a través del menú de parámetros

Como alternativa a la puesta en marcha rápida a través del menú de configuración, se puede optar por la puesta en marcha usando el menú de parámetros, para lo cual existen dos métodos que se describen a continuación:

Puesta en marcha rápida convencional (PMRC)

Este procedimiento implica realizar la configuración inicial rápida utilizando todos los datos del motor mencionados en la Tabla 10 de ajuste de parámetros.

Puesta en marcha rápida estimada (PMRE)

Este enfoque simplificado facilita el proceso de configuración inicial rápida con información limitada del motor. En lugar de ingresar todos sus datos, se introduce la potencia nominal del motor (P0301, en kW). Luego, el convertidor estima y establece automáticamente los valores restantes de los datos del motor, que incluyen P0304, P0305, P0307, P0308, P0310 y P0311.

Tabla 10. Parámetros de arranque rápido

Parámetros PMRC (Convencional)	Parámetros PMRE (Estimado)	Función	Configuración
P0003 = 3	P0003 = 3	Nivel de acceso de usuario	= 3 (nivel de acceso experto)
P0010 = 1	P0010 = 1	Parámetro de puesta en marcha	= 1 (puesta en marcha rápida)
P0100	P0100 = 0	Selección de 50/60 Hz	Establecer un valor, si es necesario: = 0: Europa [kW], 50 Hz (valor predeterminado de fábrica) = 1: Norteamérica [hp], 60 Hz = 2: Norteamérica [kW], 60 Hz Nota: Ajuste este parámetro a 0 si desea llevar a cabo la puesta en marcha rápida estimada.

Parámetros PMRC (Convencional)	Parámetros PMRE (Estimado)	Función	Configuración
P0301 = 0	P0301 > 0	Potencia nominal del motor [kW]	Rango: De 0 a 2 000 = 0: Puesta en marcha rápida convencional (ajuste predeterminado de fábrica) > 0: Puesta en marcha rápida estimada. Cuando haya ajustado este parámetro a un valor distinto de cero, solo tiene que introducir la potencia nominal del motor; después, el convertidor calcula y ajusta los valores del resto de los datos del motor (P0304, P0305, P0307, P0308, P0310 y P0311).
P0304[0] -	-	Tensión nominal del motor [V]	Rango: De 10 a 2 000 Nota: La entrada de los datos de la placa de características tiene que coincidir con el cableado del motor (en estrella triángulo)
P0305[0]	-	Corriente nominal del motor [A]	Rango: De 0.01 a 10 000 Nota: La entrada de los datos de la placa de características tiene que coincidir con el cableado del motor (en estrella triángulo).
P0307[0]	-	Potencia nominal del motor [kW/hp]	Rango: De 0.01 a 2 000 Nota: Si P0100 = 0 o 2, unidad de potencia del motor = [kW] Si P0100 = 1, unidad de potencia del motor = [hp]
P0308[0]	-	Factor de potencia nominal del motor (cosφ)	Rango: De 0.000 a 1 000 Nota: Este parámetro es visible solamente cuando P0100 = 0 o 2.
P0309[0]	-	Eficiencia nominal del motor [%]	Rango: De 0.0 a 99.9 Nota: Visible solamente cuando P0100 = 1 El ajuste 0 produce el cálculo interno del valor.
P0310[0]	-	Frecuencia nominal del motor [Hz]	Rango: De 12.00 a 550.00

Parámetros PMRC (Convencional)	Parámetros PMRE (Estimado)	Función	Configuración
P0311[0]	-	Velocidad nominal del motor [RPM]	Rango: De 0 a 40 000
P0335[0]	P0335[0]	Refrigeración del motor	Establecer según el método real de refrigeración del motor: = 0: Ventilación natural (ajuste predeterminado de fábrica) = 1: Ventilación forzada = 2: Ventilación natural y ventilador interno = 3: Ventilación forzada y ventilador interno
P0640[0]	P0640[0]	Factor de sobrecarga del motor [%]	Rango: De 10.0 a 400.0 (ajuste predeterminado de fábrica: 150.0) Nota: El parámetro define el límite de corriente de sobrecarga del motor en relación con P0305 (corriente nominal del motor).
P0700[0]	P0700[0]	Selección de la fuente de señales de mando	= 0: Ajuste predeterminado de fábrica = 1: Panel de mando (ajuste predeterminado de fábrica) = 2: Borne = 5: USS/MODBUS por RS 485
P1000[0]	P1000[0]	Selección de consigna de frecuencia	Rango: De 0 a 77 (ajuste predeterminado de fábrica: 1) = 0: Sin consigna principal = 1: Consigna MOP = 2: Consigna analógica 1 = 3: Frecuencia fija = 5: USS/MODBUS por RS 485 = 7: Consigna analógica 2
P1080[0]	P1080[0]	Frecuencia mínima [Hz]	Rango: De 0.00 a 550.00 (ajuste predeterminado de fábrica: 0.00) Nota: El valor configurado aquí es válido para ambos sentidos de giro, horario y antihorario.
P1082[0]	P1082[0]	Frecuencia máxima [Hz]	Rango: De 0.00 a 550.00 (ajuste predeterminado de fábrica: 50.00) Nota: El valor configurado aquí es válido para ambos sentidos de giro, horario y antihorario.

Parámetros PMRC (Convencional)	Parámetros PMRE (Estimado)	Función	Configuración
P1120[0]	P1120[0]	Tiempo de aceleración [s]	Rango: De 0.00 a 650.00 (ajuste predeterminado de fábrica: 10.00) Nota: El valor configurado aquí simboliza el tiempo que tarda el motor en acelerar estando parado hasta la frecuencia máxima del motor (P1082) cuando no se utiliza redondeo.
P1121[0]	P1121[0]	Tiempo de desaceleración [s]	Rango: De 0.00 a 650.00 (ajuste predeterminado de fábrica: 10.00) Nota: El valor configurado aquí simboliza el tiempo que tarda el motor en decelerar desde la frecuencia máxima del motor (P1082) hasta quedarse parado cuando no se utiliza redondeo.
P1300[0]	P1300[0]	Modo de regulación	= 0: U/f con característica lineal (ajuste predeterminado de fábrica) = 1: U/f con FCC = 2: U/f con característica cuadrática = 3: U/f con característica programable = 4: U/f con eco lineal = 5: U/f para aplicaciones textiles = 6: U/f con FCC para aplicaciones textiles = 7: U/f con eco cuadrático = 19: Modo U/f con consigna de tensión independiente
P3900 = 3	P3900 = 3	Fin de la puesta en marcha rápida	= 0: Sin puesta en marcha rápida (ajuste predeterminado de fábrica) = 1: Fin de la puesta en marcha rápida con restablecimiento de los ajustes de fábrica = 2: Fin de la puesta en marcha rápida = 3: Fin de la puesta en marcha rápida e inicio de cálculo de datos del motor Nota: Tras finalizar los cálculos, P3900 y P0010 se restablecen automáticamente a su valor original, 0. El convertidor muestra "8.8.8.8", lo que indica que está ocupado con el procesamiento de datos interno.

Parámetros PMRC (Convencional)	Parámetros PMRE (Estimado)	Función	Configuración
P1900 = 2	P1900 = 2	Selección de la identificación de datos del motor	= 0: Deshabilitada = 2: Identificación e todos los parámetros en parada

Tomado de [19].

Conexiones

El variador Sinamics V20 cuenta con una bornera a partir de la cual se pueden conectar adicionalmente a la alimentación AC y al motor trifásico varios elementos de entrada y salida. Estos pueden ser utilizados, con la debida configuración del variador, en elementos de control del funcionamiento del motor, como botoneras y potenciómetro en las entradas y elementos de visualización como luces piloto en las salidas. La Figura 123 muestra la distribución de funciones en la bornera del variador Sinamics V20; la Figura 124 ilustra la distribución de las entradas y salidas en la bornera del variador.

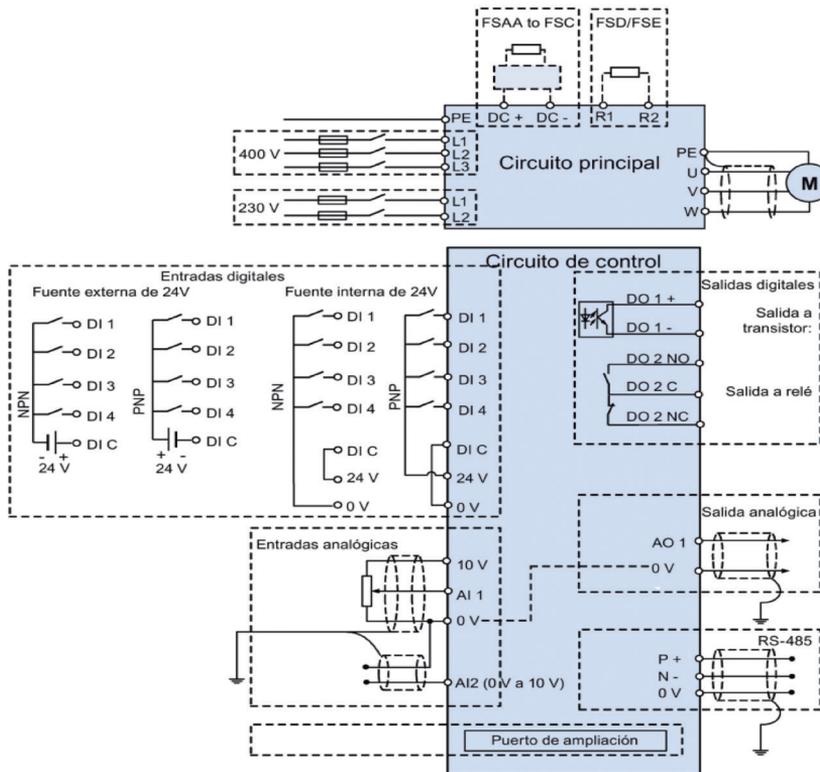


Figura 123. Diagrama de cableado. Tomado de [19].

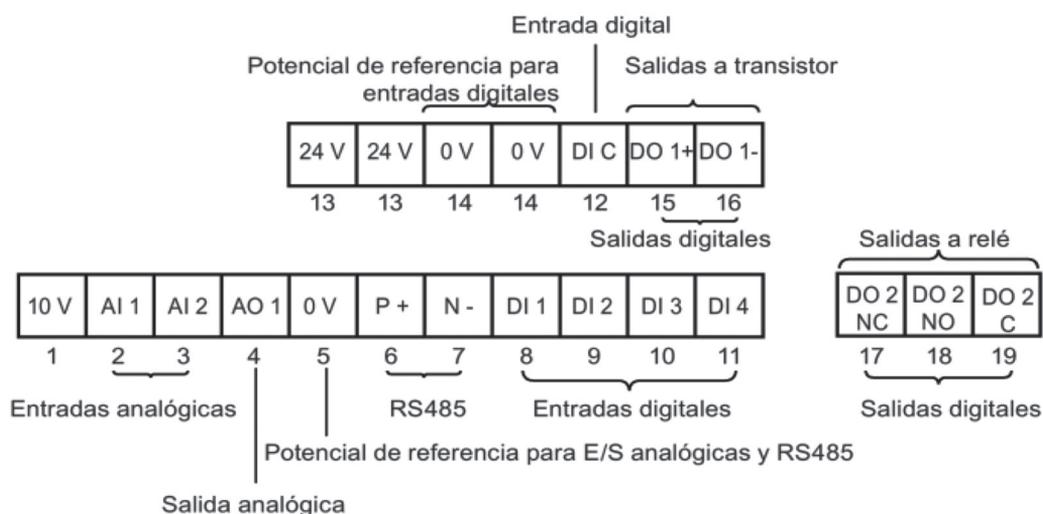


Figura 124. Distribución de entradas y salidas en la bornera del variador Sinamics V20. Tomado de [19].

Conexión con el PLC

La comunicación entre el PLC y el variador puede darse a partir de dos opciones: un bus de comunicaciones Modbus o USS (protocolo universal de interfaz en serie) y la conexión de las entradas y salidas del PLC a los terminales de bornera del variador con su respectiva configuración.

En este caso, por la disponibilidad y características del PLC y sus módulos, se opta por la segunda opción.

Actividades experimentales

Los objetivos de estas prácticas son:

- Identificar las funcionalidades de un variador de velocidad.
- Configurar un variador de velocidad a partir de sus funciones básicas.
- Familiarizarse con el uso y manejo de variadores de velocidad.
- Realizar configuraciones para conectar el variador de frecuencia.

Control de motor trifásico usando variador de frecuencia

Conectar el motor trifásico al variador (Figura 125) y configurarlo para que el control del motor se logre desde el panel de operador del variador, con botón de arranque,

parada, variación de velocidad e inversión de giro. El diagrama de control se muestra en la Figura 126.



Figura 125. Variador y motor

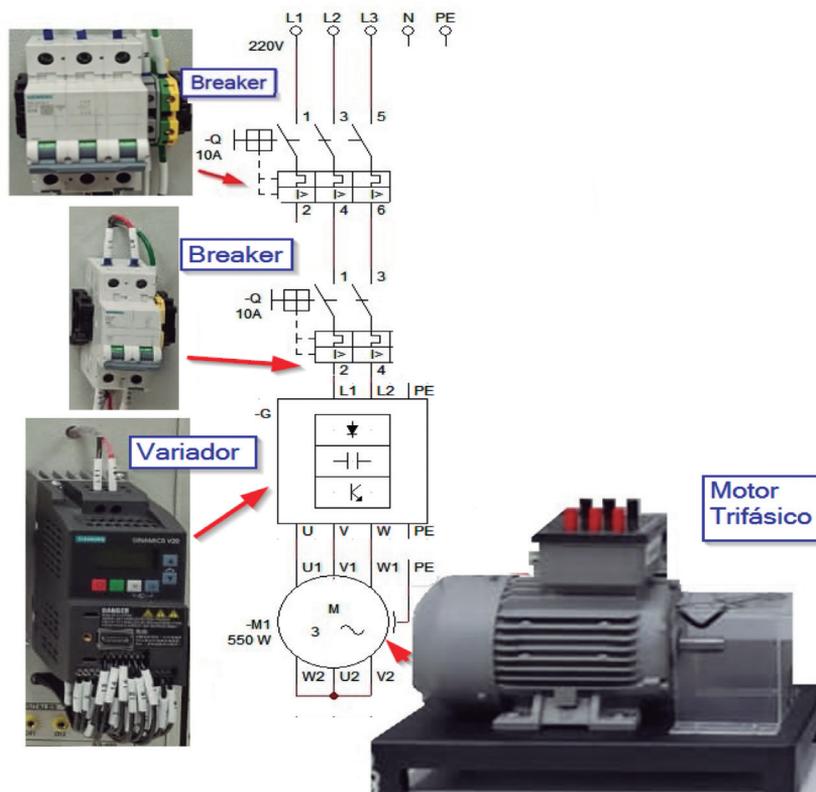


Figura 126. Diagrama de conexión

Control del variador con botonera

Se tiene una banda transportadora como la mostrada en la Figura 127, la cual utiliza un motor trifásico para impulsar el sistema. Para evitar daño en el producto transportado por la banda, se instala un variador de velocidad para controlar el arranque y parada del motor y regular la velocidad de desplazamiento, a partir de los siguientes requerimientos:

- Disponer de tres interruptores: arranque/parada, inversión de giro y confirmación de fallo.
- Mediante un potenciómetro se regula la velocidad de desplazamiento de la banda.
- La frecuencia mínima será de 0 Hz y máxima de 60 Hz.
- Rampa de aceleración de 5 segundos.
- Rampa de desaceleración de 3 segundos.
- Dos indicadores, uno de funcionamiento y otro de fallo.

La Figura 128 presenta el diagrama esquemático de conexión de control y potencia para este ejercicio.

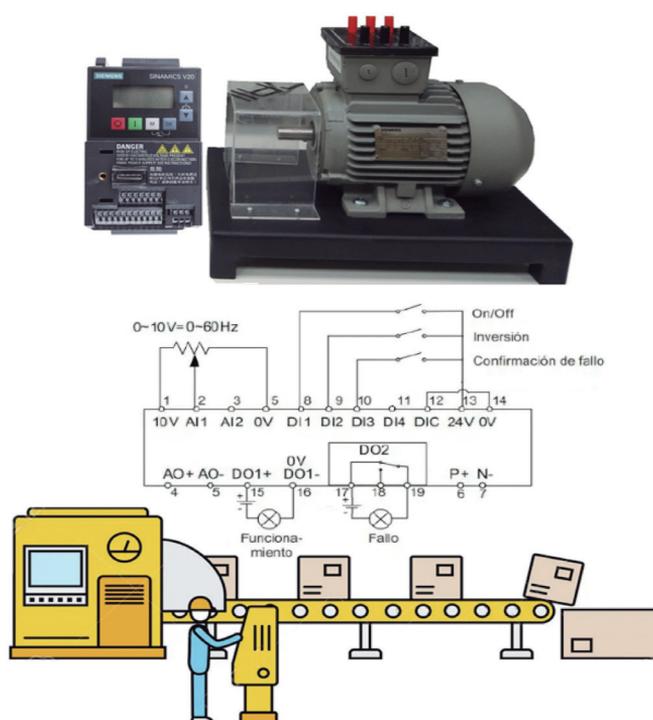


Figura 127. Sistema de control de banda transportadora

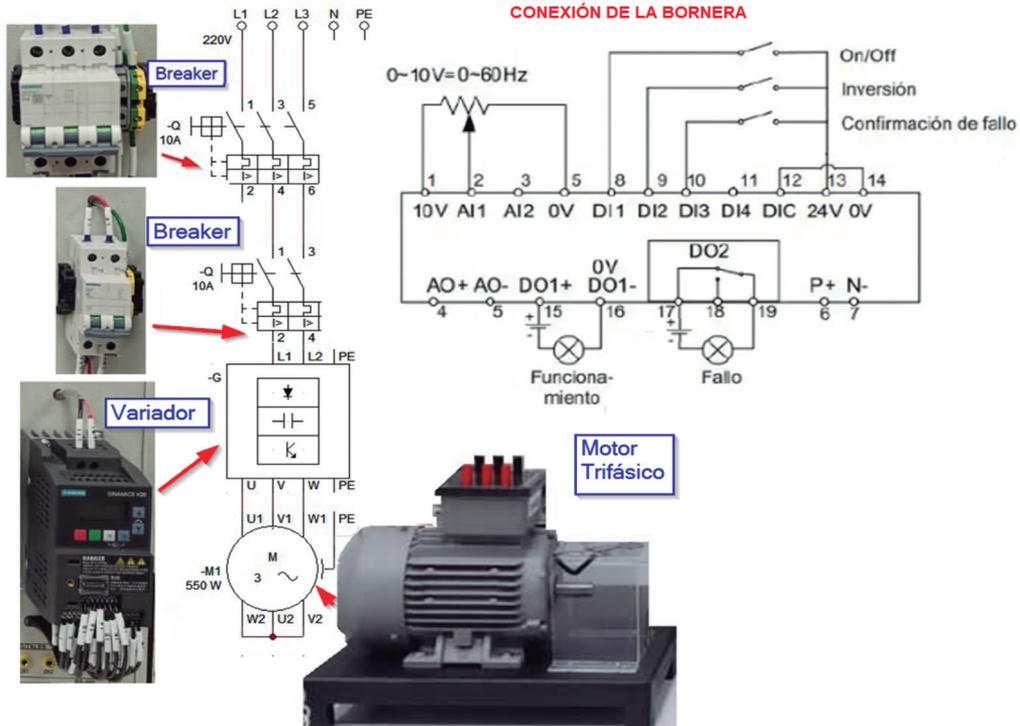


Figura 128. Esquema de conexión de control y potencia

Control del variador con PLC

Como se muestra en la Figura 129, un proceso dispone de un agitador de mezcla de líquidos, el cual utiliza un motor trifásico. Para su control se dispone de un PLC, el cual se conecta a un variador de velocidad. El sistema debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Disponer de un pulsador de arranque y un pulsador de parada.
- Mediante un potenciómetro conectado a una entrada analógica del PLC, regular la velocidad, a través de una salida analógica del PLC conectada al variador.
- Mediante un selector, controlar el sentido de giro.
- Rampa de aceleración de 2 segundos.
- Rampa de desaceleración de 4 segundos.
- Indicador de encendido.
- El sistema debe apagarse automáticamente a los 20 segundos de funcionamiento continuo.

La Figura 130 presenta el diagrama esquemático de conexión de control y potencia para este ejercicio.

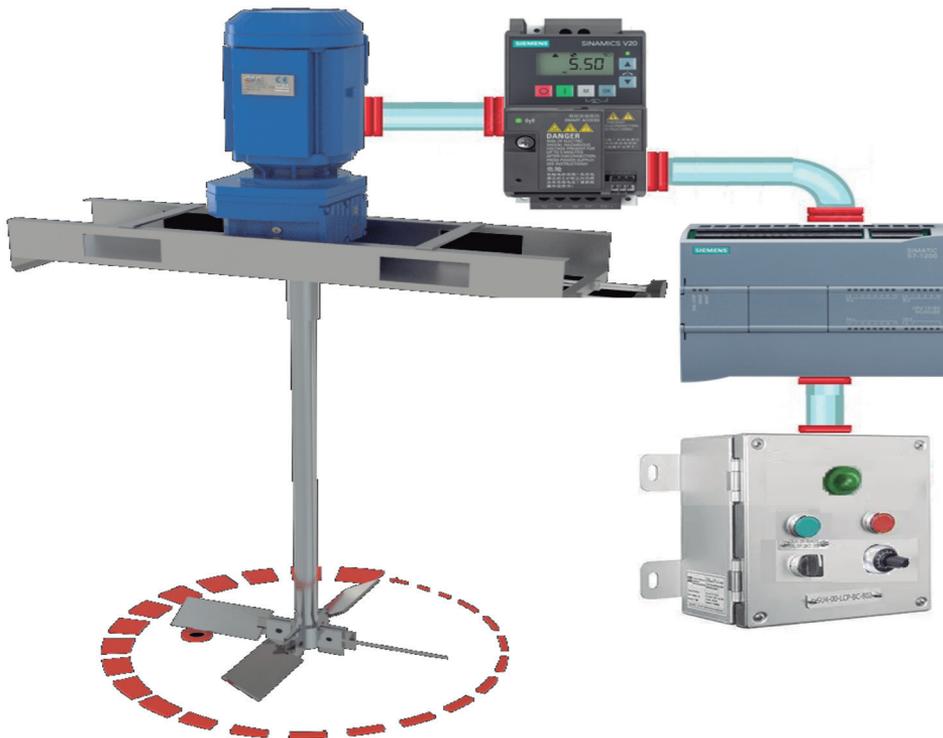


Figura 129. Esquema del agitador

Cuestionario

- Enumere las características técnicas del variador SINAMICS V20 de la plataforma de automatización IAM-S7-1200.
- Describa las principales funciones de un variador de frecuencia.
- Defina rampa de arranque y de parada de motores.
- Enumere las ventajas y desventajas de un variador de velocidad.
- Defina macro de conexión.
- Defina macro de aplicación.
- Describa la función de los bornes del variador Sinamics V20.
- Responda. ¿Qué conexión se configura en el macro de conexión Cn006?

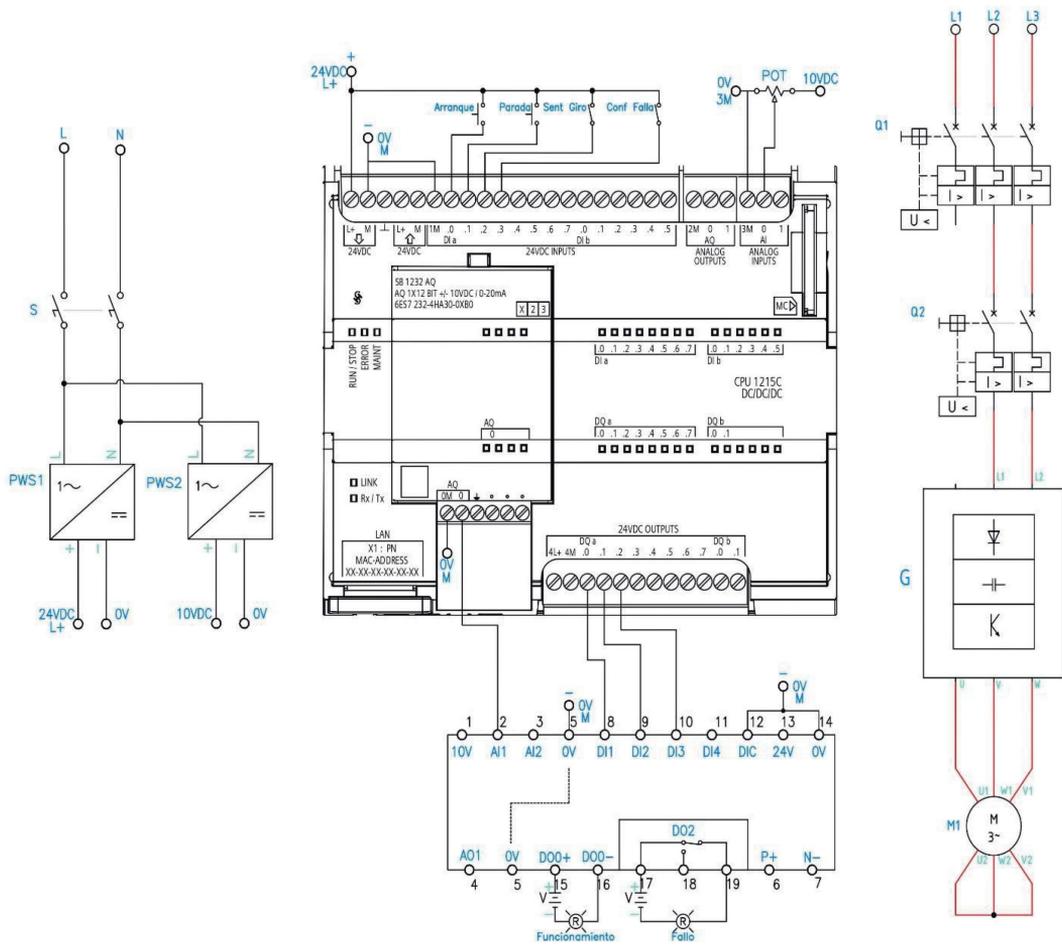


Figura 130. Esquema de conexión del agitador con el PLC (potencia y control)



Referencias bibliográficas



- [1] G. Barona y L. Velasteguí, «Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0», *Alpha Publicaciones*, vol. 3, N.º 3.1, pp. 98-115, 2021.
- [2] M. Zapata, L. Topón y E. Tipán, *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*, Quito: Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica, 2021.
- [3] J. Domingo y J. Segura, «Revisión histórica de los PLC, en el 50 aniversario», Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2018.
- [4] International Electrotechnical Commission, «IEC-61131», 2003. [En línea]. Disponible en: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61131-1%7Bed2.0%7Den.pdf.
- [5] E. García Moreno, «Autómatas Programables Industriales», de *Automatización de Procesos Industriales*, Valencia, Universitat Politècnica de Valencia, 2020, pp. 167-175.
- [6] Siemens, TIA Portal Programación 1, Siemens AG, 2013.
- [7] Siemens, «SIMATIC S7-1200 Programmable controller-System Manual», Abril 2012. [En línea]. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf.
- [8] H. Huajin, L. Yinxin y Y. Wei, «Design and Simulation of Elevator Emergency System Based on TIA Portal V15.1», *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1802, N.º 042089, 2021.
- [9] J. Mellado y F. Núñez, «Design of an IoT-PLC: A containerized programmable logical controller for the industry 4.0», *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 25, N.º 100250, 2021.

- [10] S. Aebersold, M. Akinsolu, S. Monir y M. Jones, «Ubiquitous Control of a CNC Machine: Proof of Concept for Industrial IoT Applications», *Information*, vol. 12, N.º 529, 2021.
- [11] F. Tian y G. Li, «Design of Intelligent Feeding Control System Based on S7-1200 PLC», de *5th International Conference on Advances in Energy, Environment and Chemical Science (AEECS 2021)*, 2021.
- [12] D. Tapia, D. Illescas, W. Santamaría y J. Ortiz, «Wine Production through Virtual Environments with a Focus on the Teaching–Learning Process», *Applied Sciences*, vol. 13, N.º 19, p. 10823, 2023.
- [13] A. Salkić, H. Muhović y D. Jokić, «Siemens S7-1200 PLC DC Motor control capabilities», *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, N.º 4, pp. 103-108, 2022.
- [14] L. Echeverría, «Trabajando con PLCs», 2 de marzo de 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.lawebdelprogramador.com/pdf/15584-Trabajando-con-PLCs.html>.
- [15] TecnoPLC, «Tipos de datos tia portal definición ejemplos y estructura», 23 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnopl.com/tipos-de-datos-tia-portal-definicion-ejemplos-y-estructura/>.
- [16] Siemens, «Programming Guideline for S7-1200/S7-1500», 2017. [En línea]. Disponible en: https://media.automation24.com/manual/fr/90885040_81318674_Programming_guideline_DOC_v15_en.pdf.
- [17] A. Brunete, P. San y R. Herrero, *Introducción a la Automatización Industrial*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2020.
- [18] Siemens, «SIMATIC HMI - Paneles de operador Basic Panels 2nd Generation», 2021. [En línea]. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/350/90114350/att_904653/v1/HWBasicPanels2GesES_es-ES.pdf.

- [19] Siemens, «Convertidor SINAMICS V20», Mayo 2020. [En línea]. Disponible en: https://media.automation24.com/manual/es/103596507_v20_operating_instructions_complete_es-ES_es-ES.pdf.
- [20] Siemens, «SIMATIC IOT, SIMATIC IOT2020, SIMATIC IOT2040 - Operating Instructions», Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/81f1/0900766b81542941.pdf>.
- [21] J. Quezada, E. Flores, A. Solís y V. Quezada, «IEC-61131 Controladores Programables», [En línea]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tizayuca/n2/r1.html#:~:text=El%20est%C3%A1ndar%20internacional%20IEC%2D61131,y%20responsables%20de%20procesos%20industriales>.
- [22] J. M. Villar, «Diagrama de escalera», *Automatización en fabricación mecánica*, Dextra Editorial, 2017, pp. 384-397.
- [23] P. Baracos, *Grafset Step-by-Step, tutorial and reference Guide to the Grafset Language*, St. Laurent, Quebec: Famic Automation, Inc., 1992.
- [24] International Electrotechnical Commission, «IEC-848», 1988. [En línea]. Disponible en: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM265/GRAFSET_utfpr_iec_848.pdf.
- [25] J. Balcells y Romeral, *Autómatas Programables*, Barcelona: Marcombo, 2009.
- [26] Universidad de Oviedo, «Automatización Industrial. GRAFCET», [En línea]. Disponible en: http://isa.uniovi.es/~alonsog/Automatas_M340/T02_GRAFCET.pdf.
- [27] A. Burgos, M. Alvarez, N. Iriondo y I. Sarachaga, «Metodología para la transformación de diseños en GRAFCET a código IEC 61131-3», *Información tecnológica*, vol. 31, N.º 6, pp. 133-146, 2020.
- [28] J. Guerrero, *Programación estructurada de autómatas programables con Grafset*, Madrid: Ediciones Paraninfo, 2019.

- [29] J. M. Villar, «Álgebra de Boole», de *Automatización en fabricación mecánica*, Dextra Editorial, 2017, pp. 57-80.
- [30] IngeLearn, «¿Qué es un HMI? Automatización Industrial», 7 de julio 2021. [En línea]. Disponible en: <https://ingelearn.com/que-es-un-hmi-automatizacion-industrial/>.
- [31] F. R. Ramos Jiménez, *Las interfaces humano-máquina (HMI) y su importancia en el control de procesos industriales*, 2012.
- [32] F. M. Antúnez Soria, «Puesta en marcha de sistemas de automatización industrial», vol. ELEM0311, IC Editorial, 2018.
- [33] Genera Creative Group, «HMI Siemens: tipos de paneles de operador SIMATIC», 7 de junio de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.autycom.com/hmi-siemens-tipos-de-paneles-de-operador-simatic/>.
- [34] R. Langmann y L. Rojas-Peña, «A PLC as an Industry 4.0 component», de *3th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, Madrid, 2016.
- [35] I. Torres, «IVE Consultores», 2021. [En línea]. Disponible en: <https://iveconsultores.com/analisis-de-procesos/>.
- [36] J. Villar, «Diagramas de flujo», de *Automatización en fabricación mecánica*, Dextra Editorial, 2017, pp. 359-364.
- [37] M. Rodríguez, *Arranque de motores asíncronos*, Universidad de Cantabria, 2017.
- [38] Universidad Nacional de Mar del Plata, «Motor trifásico de inducción - Métodos de arranque», 2019. [En línea]. Disponible en: http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/maquinasyaccionamientos/subir/1.Teoria_apuntes_de_catedra/mae_2019_apunte_catedra7_continuacion_mti_metodos_de_arranque.pdf.

- [39] G. Bernal, «¿Qué es un guardamotor y para qué se usa?», 22 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.erarelmo.com/post/qu%C3%A9-es-un-guardamotor-y-para-qu%C3%A9-se-usa>.
- [40] A. Nuevo y J. Escaño, *Sistemas eléctricos y electrónicos*, Ediciones Paraninfo, S. A., 2021.
- [41] A. Farina, «Motores eléctricos trifásicos: arranque e inversión del giro», *Revista Ingeniería Eléctrica*, N.º 334, agosto 2018.
- [42] Tecnoia, «Tipos de Arranque de Motores: DOL, estrella-triángulo y más», 12 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://tecnoia.com/conceptos-basicos-y-metodos-de-arranque-de-un-motor>.
- [43] J. Pérez, «Configuración estrella triángulo. Aplicación industrial», Universitat Politècnica de València, Valencia, 2012.
- [44] Industrias GLS, «Variador de velocidad», 8 de junio de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/variador-de-velocidad>.
- [45] Motorex, «Motorex: Motores Eléctricos», 30 de diciembre de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.motorex.com.pe/blog/motor-trifasico-asincrono-partes-principales-y-ventajas/>. [Último acceso: 4 Julio 2023].
- [46] R. A. Quispe, «Variadores de Velocidad», *Cite Energía*, 2016.







En esta obra se presentan los principios fundamentales de la automatización industrial y la programación de controladores lógicos programables (PLCs), mediante el uso del entorno de desarrollo Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal). Se abordan en detalle los lenguajes de programación Ladder y GRAFCET, así como la configuración y programación de dispositivos como el PLC S7-1200 de Siemens, las interfaces humano -máquina (HMI) y variadores de frecuencia. Los autores, con amplia experiencia en el ámbito de la automatización industrial, ofrecen una sólida base teórica complementada con ejercicios resueltos y propuestos, cuestionarios de evaluación, y una guía exhaustiva para la implementación de proyectos reales en TIA Portal. Esta obra constituye una fuente de referencia para estudiantes y profesionales que desean incursionar en este campo. Invitamos al lector a profundizar en el contenido de este libro y a descubrir herramientas valiosas para el desarrollo de soluciones avanzadas de automatización con autómatas programables.

