



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN
DE UN SISTEMA HIL PARA
ENTRENAMIENTO EN
AUTOMATIZACION EN LA ESCUELA
DE ELECTROTECNIA EN SENATI,
AREQUIPA 2025**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
DOCENCIA PROFESIONAL TECNOLÓGICA

CUNO VELASQUEZ VLADIMIR AMERICO
QQUEA ADCO XAVIER ARNULFO

LIMA – PERÚ

2025

ASESOR

Mg. Alejandro Charre Montoya

JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DRA. MARIELLA MARGOT QUIPAS BELLIZZA

PRESIDENTE

MG. MARINA FANY POBLETE ROBLES

VOCAL

MG. LISSY CANAL ENRIQUEZ

SECRETARIO (A)

DEDICATORIA.

A mi padre Américo, que me enseñó la importancia del estudio, la
disciplina y el sacrificio que conlleva.

A mi madre Marina, que me enseñó con el ejemplo el camino
productivo y la rectitud.

A mi esposa Vieli, por su constante apoyo, guía y comprensión.

A Lucía, por ser la luz que ilumina mis días

Vladimir Cuno Velasquez

DEDICATORIA.

A mis padres, por ser el pilar sobre el que se construyó mi vida.
A mi esposa, mi compañera de vida, por ser mi mayor apoyo y mayor
alegría. Gracias por tu amor, tu paciencia y por ser mi refugio en los
días difíciles.

A mis hijos, mi razón de ser. Cada sonrisa suya ilumina mis días y da
sentido a todo lo que hago. Ustedes son mi legado y mi mayor orgullo.

AGRADECIMIENTOS.

A nuestro asesor, por su invaluable orientación, dedicación
y apoyo a lo largo del desarrollo de este trabajo de
investigación.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Trabajo de investigación Autofinanciado

Xavier A. Qquea Adco

DECLARACIÓN DE AUTOR			
FECHA			
APELLIDOS Y NOMBRES DEL EGRESADO	Cuno Velasquez Vladimir Americo Qquea Adco Xavier Arnulfo		
PROGRAMA DE POSGRADO	MAESTRÍA EN DOCENCIA PROFESIONAL TECNOLÓGICA		
AÑO DE INICIO DE LOS ESTUDIOS			
TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE GRADO	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIL PARA ENTRENAMIENTO EN AUTOMATIZACION EN LA ESCUELA DE ELECTROTECNIA EN SENATI, AREQUIPA 2025		
MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO	Trabajo de Investigación		
Declaración del Autor El presente Trabajo de Grado es original y no es el resultado de un trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.			
Teléfono de contacto (fijo / móvil)	959311524		
E-mail	vladimir.cuno.v@upch.pe		



Cuno Velasquez Vladimir
Americo
DNI 29543973



Qquea Adco Xavier Arnulfo
DNI 41567109

ÍNDICE

RESUMEN ABSTRACT

I.	INTRODUCCION	1
1.1.	Antecedentes	1
1.1.1.	Antecedentes nacionales	1
1.1.2.	Antecedentes internacionales	2
1.2	Planteamiento del problema	4
1.3	Justificación	7
1.4	Pregunta de investigación.	8
II	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivo general	9
2.2	Objetivos específicos	9
III	DESARROLLO DEL ESTUDIO	10
3.1.	Método, Técnicas e instrumentos	10
3.1.1.	Enfoque y tipo de investigación	10
3.1.2.	Método de Investigación	11
3.1.3.	Técnicas e Instrumentos	11
3.1.4.	Instrumentos	11
3.2.	Fundamentos teóricos y prácticos del estudio.	12
3.2.1.	Bases teóricas	12
3.2.1.1.	Automatización Industrial	12
3.2.1.2.	Entrenamiento Virtual en Automatización	13
3.2.1.3.	Sistema HIL (Hardware-in-the-Loop)	16
3.2.1.3.1.	Características del Sistema HIL	17
3.2.1.3.2.	Utilidad y Aplicaciones de los sistemas HIL	17
3.2.1.3.3.	Componentes del Sistema HIL	18
3.2.2.	Uso y Potencialidades Didácticas	19
3.2.3.	SENATI y su Escuela de Electrotecnia	19
3.2.3.1.	Escuela de Electrotecnia	20
3.2.3.2.	La especialidad de Electrotecnia Industrial	20
3.2.3.3.	Curso de Sistemas de Control	21
3.2.3.3.1.	Contenidos del curso de Sistemas de Control	23
3.3.	Desarrollo del estudio	32
3.3.1.	Identificación de las tareas, operaciones y aprendizajes clave de automatización a ser desarrollados mediante el sistema HIL	32
3.3.1.1.	Metodología para la identificación de tareas del curso de Sistemas de Control a ser realizadas con el sistema HIL	33

3.3.1.1.1.	Análisis del contenido curricular del curso de Sistemas de Control para la identificación de los aprendizajes en automatización y competencias relacionadas	34
3.3.1.1.2.	Aplicación de criterios técnicos para la selección de las tareas del curso de Sistemas de Control a realizarse con la plataforma HIL	36
3.3.1.1.3.	Justificación de los criterios designados	37
3.3.1.2.	Resultados del diagnóstico: Tareas seleccionadas para la intervención con HIL	39
3.3.2.	Diseño de la arquitectura de un sistema HIL integrando los programas informáticos FluidSIM, RSLogix 500 y Movicon, para el entrenamiento de aplicaciones en automatización del curso de Sistemas de Control de Electrotecnia Industrial	40
3.3.2.1.	Requerimientos del sistema HIL	41
3.3.2.2.	Arquitectura y Principios de Funcionamiento del Sistema HIL Propuesto	42
3.3.2.2.1.	Capa Física Emulada (Planta Virtual)	42
3.3.2.2.2.	Capa de Control Emulada (Controlador Lógico)	43
3.3.2.2.3.	Capa de Supervisión (Interfaz Humano-Máquina)	44
3.3.2.2.4.	Integración sistémica y flujo de datos mediante OPC	45
3.3.2.3.	Procedimiento técnico para la contextualización y desarrollo de tareas de automatización bajo el sistema HIL	46
3.3.2.3.1.	Metodología Propuesta para la Implementación en el Aula	46
3.3.2.3.2.	Desarrollo del procedimiento planteado a la Tarea N° 2	49
3.3.2.3.3.	Aplicación del procedimiento a la Tarea N°3	92
3.3.2.3.4.	Aplicación del procedimiento a la Tarea N°4	97
3.3.2.3.5.	Aplicación del procedimiento a la Tarea N°5	101
3.3.2.3.6.	Aplicación del procedimiento a la Tarea N°6	105
3.3.2.3.7.	Aplicación del procedimiento a la Tarea N°7	109
3.3.2.3.8.	Aplicación del procedimiento a la Tarea N°8	113
3.3.3.	Verificar el funcionamiento técnico del sistema HIL para entrenamiento en automatización del curso de Sistemas de Control en la Escuela de Electrotecnia en SENATI, Arequipa 2025	117
3.3.4.	Ruta de institucionalización del sistema HIL para entrenamiento en automatización del curso de Sistemas de Control en la Escuela de Electrotecnia.	120
IV.	CONCLUSIONES	124
V	RECOMENDACIONES	126
VI	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Cursos del quinto semestre de la especialidad de Electrotecnia Industrial	21
Tabla 2	Evaluación de las tareas con los criterios seleccionados	23
Tabla 3	Evaluación de las tareas con los criterios seleccionados	39
Tabla 4	Matriz de Evaluación HIL para Implementación de la tarea de instalación de circuitos electroneumáticos	89
Tabla 5	Matriz de Evaluación HIL para Implementación de la tarea de instalación de circuitos electrohidráulicos	95
Tabla 6	Matriz de Evaluación HIL para Implementación de la tarea de montaje y configuración de PLC en un tablero de control automático	99
Tabla 7	Matriz de Evaluación HIL para Implementación de la tarea de programar PLC para el arranque de motores trifásicos	103
Tabla 8	Matriz de Evaluación HIL para Implementación de la tarea de realizar control de servomotor con PLC	107
Tabla 9	Matriz de Evaluación HIL para Implementación de secuencia de control en cascada de sistema electroneumático	111
Tabla 10	Matriz de Evaluación HIL para implementación de la programación del control de lazo cerrado en una planta industrial con PLC	116
Tabla 11	Tabla de Verificación del sistema HIL para las Tareas del Curso de Sistemas de Control	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Montacargas de la marca Mesumex	50
Figura 2	Circuito eléctrico de control con PLC	53
Figura 3	Circuito de control con puertos de E/S OPC	54
Figura 4	Circuito eléctrico de control completo con puertos E/S	55
Figura 5	Representación binaria de E/S para desarrollo del algoritmo de control	56
Figura 6	Diagrama de flujo del algoritmo de control.	56
Figura 7	Configuración del procesador del PLC.	57
Figura 8	Programa de control del PLC.	58
Figura 9	Ventana para grabación de programa de control del PLC	59
Figura 10	Ventana del RSlogix Emulate	60
Figura 11	Ventana de configuración del driver de comunicación en RSLinx Classic Gateway	60
Figura 12	Ventana de descarga del programa de control del PLC	61

Figura 13	Ventana de puesta en línea del programa de control del PLC	61
Figura 14	Ventana para colocar al PLC en modo RUN	62
Figura 15	Ventana del modo de ejecución del programa de control del PLC	62
Figura 16	Ventana de selección del modo DDE/OPC del RSLinx Gateway	63
Figura 17	Ventana de acceso a topic Configuration de RSLinx Gateway	63
Figura 18	Configuración en Topic Configuration de RSLinx Gateway	64
Figura 19	Ventana de configuración de la fuente de datos en RSLinx Gateway	64
Figura 20	Ventana de configuración de la colección de datos en RSLinx Gateway.	65
Figura 21	Ventana de configuración avanzada de comunicación en RSLinx Gateway	66
Figura 22	Ventana de configuración de OPC Test Client	66
Figura 23	Ventana de selección del servidor en OPC Test Client	67
Figura 24	Ventana de creación de grupo de comunicación en OPC Test Client	67
Figura 25	Ventana de adición de elementos en OPC Test Client	68
Figura 26	Selección de elementos en OPC Test Client	68
Figura 27	Selección de todas las áreas de datos en OPC Test Client	69
Figura 28	Selección de las áreas de datos de salida en OPC Test Client	70
Figura 29	Selección de las áreas de datos de entrada en OPC Test Client	71
Figura 30	Selección de las áreas de datos de bit en OPC Test Client	72
Figura 31	Visualización del estado final del enlace en OPC Test Client.	73
Figura 32	Ventana de creación de proyecto de monitoreo HMI	73
Figura 33	Ventana de selección del driver del proyecto	74
Figura 34	Selección del driver de Rockwell Automation en el proyecto	74
Figura 35	Ventana de determinación de los sinopticos en proyecto	75
Figura 36	Ventana de configuración del driver de comunicación del proyecto	76
Figura 37	Insertión del driver de Allen Bradley DF1 para el proyecto	76
Figura 38	Ventana de configuración de las propiedades de la estación del proyecto	77
Figura 39	Elección del driver en estado por defecto para el proyecto	77
Figura 40	Ventana de ingreso de direcciones OPC al proyecto de monitoreo HMI.	78

Figura 41	Direcciones de E/S y de bit para monitoreo como direcciones OPC.	79
Figura 42	Inserción de variables internas para las direcciones OPC	79
Figura 43	Creación de la pantalla HMI para el monitoreo del montacargas	80
Figura 44	Configuración del bloque Fluidsim Out para el enlace OPC	81
Figura 45	Selección del servidor para el enlace OPC.	81
Figura 46	Selección de las direcciones de entrada del PLC para el enlace OPC.	82
Figura 47	Selección de las direcciones de salida del PLC para el enlace OPC	83
Figura 48	Pantalla de ejecución del proyecto	84
Figura 49	Pantalla de ejecución del proyecto	84
Figura 50	Pantalla de operación del montacargas por el HMI	85
Figura 51	Pantalla de operación del montacargas	85
Figura 52	Pantalla de operación del montacargas, desplazamiento de subida	86
Figura 53	Pantalla de operación del montacargas puesta en marcha visualizado en el HMI.	87
Figura 54	Pantalla de operación del montacargas, inserción de falla	87
Figura 55	Pantalla de operación del montacargas, visualización de la condición de falla segura	88
Figura 56	Máquina hidráulica de taladrado	94
Figura 57	Sistema de bombeo y control de nivel de un tanque	98
Figura 58	Sistema de bombeo para minería	102
Figura 59	Sistema de tracción para faja transportadora	106
Figura 60	Maquina dobladora de perfiles multisoporte	111
Figura 61	Maquina productora de polímeros	115

RESUMEN

Este trabajo de investigación se enfoca en el diseño e implementación de un sistema de entrenamiento, basado en Hardware-in-the-Loop (HIL), para la Escuela de Electrotecnia de SENATI, Arequipa. El estudio responde a una problemática central: la escasez de módulos físicos de automatización (PLCs, electroneumática), lo cual limita el aprendizaje práctico de los estudiantes, generando tiempos de espera y dificultando la consolidación de competencias técnicas debido a los altos costos del equipamiento.

Para solucionar el problema se creó un entorno de aprendizaje híbrido donde un entorno de programación de PLC real -RS Logix 500 de Allen Bradley- se conecta e interactúa en tiempo real con un modelo virtual de un proceso industrial, simulado mediante software especializado (FluidSIM, Movicon). Esto permite a cada estudiante practicar de manera simultánea, segura y autónoma, sin depender de la limitada disponibilidad de equipos físicos.

La investigación se estructuró en torno a cuatro objetivos específicos clave: primero se identificó dentro del curso, las tareas y aprendizajes a ser potenciados con esta tecnología; segundo, se propuso un diseño técnico que integra el software industrial RS Logix 500, FluidSIM y Movicon; tercero, se comprobó la aplicación del sistema HIL para el entrenamiento en automatización y finalmente, se estableció una ruta para su institucionalización en SENATI.

En definitiva, esta propuesta optimizará recursos, democratizará el acceso al aprendizaje práctico y preparará a los técnicos con herramientas modernas

alineadas a las demandas de la Industria, mejorando significativamente su perfil profesional y empleabilidad.

PALABRAS CLAVES

Sistema HIL, Entrenamiento, Automatización

ABSTRACT

This research focuses on the design and implementation of a Hardware-in-the-Loop (HIL)-based training system for the SENATI School of Electrical Engineering in Arequipa. The study addresses a central problem: the shortage of physical automation modules (PLCs, electropneumatics), which limits students' access to practical learning, generates waiting times, and hinders the consolidation of technical skills due to high equipment costs.

To solve this problem, a hybrid learning environment was created where a real PLC programming environment—Allen Bradley's RS Logix 500—connects and interacts in real time with a virtual model of an industrial process, simulated using specialized software (FluidSIM, Movicon). This allows each student to practice simultaneously, safely, and autonomously, without depending on the limited availability of physical equipment.

The research was structured around four key specific objectives: first, the tasks and learning to be enhanced with this technology were identified within the course; second, a technical design was proposed that integrates RS Logix 500, FluidSIM, and Movicon industrial software; third, the application of the HIL system for automation training was tested; and finally, a path was established for its institutionalization within SENATI.

Ultimately, this proposal will optimize resources, democratize access to practical learning, and prepare technicians with modern tools aligned with industry demands, significantly improving their professional profile and employability.

KEYWORDS

HIL System, Training, Automation

I. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes nacionales

Gómez et al. (2020), en su tesis de maestría titulada *"Simulación HIL para entrenamiento en control de PLCs industriales"*, desarrollaron un entorno de simulación Hardware-in-the-Loop (HIL) orientado a la formación de operadores en sistemas automatizados. Los principales hallazgos revelaron que la implementación de sistemas HIL mejora significativamente el aprendizaje práctico y la comprensión de los procesos industriales controlados por PLC. Concluyeron que esta metodología permite reducir errores operativos y tiempos de capacitación. Recomendaron su integración en programas académicos y técnicos donde el acceso a plantas físicas es limitado. El estudio aportó un modelo replicable para instituciones educativas, aunque se limitó a un solo tipo de proceso industrial simulado. Esta tesis refuerza la importancia del uso de tecnologías inmersivas en la enseñanza técnica.

Ramírez & Torres (2019), en su tesis titulada *"Entrenamiento virtual para operadores de sistemas automatizados mediante simuladores de procesos industriales"*, propusieron una plataforma de simulación interactiva para mejorar las competencias técnicas en automatización. Sus hallazgos evidenciaron que el uso de simuladores incrementa el rendimiento de los estudiantes en la resolución de fallos y en la interpretación de diagramas de control. Concluyeron que el entrenamiento virtual es una herramienta efectiva y accesible para suplir la falta de laboratorios físicos. Recomendaron su implementación en instituciones con

recursos limitados. El aporte principal radica en la validación pedagógica de los simuladores como recurso formativo. No obstante, su estudio se centró solo en el área de procesos térmicos, limitando su generalización.

Vásquez (2021) en su doctorado *"Modelado HIL para sistemas SCADA en minería"* de la UNMSM, aborda la aplicación de la metodología Hardware-in-the-Loop (HIL) para optimizar y asegurar la operatividad de los sistemas SCADA en el entorno minero. Sus principales hallazgos incluyen la demostración de cómo el modelado HIL permite simular escenarios complejos y validar el comportamiento de los sistemas SCADA antes de su implementación real, identificando potenciales fallas y mejorando la confiabilidad. Las conclusiones resaltan que el HIL es una herramienta eficaz para la verificación y validación de sistemas de control, reduciendo riesgos y costos en la minería. El aporte principal de este estudio radica en ofrecer una solución innovadora para la prueba y mejora de la seguridad y eficiencia de los sistemas SCADA en un sector crítico como la minería, aunque sus limitaciones podrían incluir la necesidad de hardware y software especializados, así como el alto costo inicial de implementación.

1.1.2. Antecedentes internacionales

Palhad, C. (2015) *An Investigation into the Use of Real-Time Simulation and Hardware-in-the-Loop Techniques for Studying the Dynamic Performance of Adjustable Speed Drives Under Fault Conditions*. Master's Thesis, University of KwaZulu-Natal. Esta tesis investigó el uso de simulación en tiempo real y técnicas HIL para estudiar el rendimiento dinámico de variadores de velocidad ajustables bajo condiciones de falla. Los hallazgos indicaron que las técnicas HIL permiten

evaluar el comportamiento de los sistemas de control en condiciones realistas. Se concluyó que la simulación HIL es una herramienta valiosa para el análisis y la mejora de sistemas de control en automatización industrial. Como recomendación, se propone la implementación de simulaciones HIL en el diseño y prueba de sistemas de control. Una limitación mencionada fue la complejidad en la integración de modelos de sistemas en tiempo real.

Noon, J. P. (2020). *"Development of a Power Hardware-in-the-Loop Test Bench for Electric Machine and Drive Emulation."* Master's Thesis, Virginia Tech

Esta tesis desarrolló un banco de pruebas HIL para la emulación de máquinas eléctricas y accionamientos. Los resultados demostraron que la plataforma HIL permite emular con precisión el comportamiento de las máquinas eléctricas, facilitando la prueba y validación de sistemas de control sin la necesidad de hardware físico costoso. Se concluyó que la emulación HIL es eficaz para el desarrollo y prueba de sistemas de accionamiento. Como recomendación, se sugiere la expansión de esta metodología para incluir una variedad más amplia de configuraciones de máquinas. Una limitación identificada fue la necesidad de una calibración precisa de los modelos de emulación para garantizar resultados precisos.

Müller & Schmidt (2022) en su doctorado *"Digital Twins for Industrial Automation Training"* (Alemania) exploran la aplicación de gemelos digitales como una herramienta innovadora para la capacitación en automatización industrial. Sus hallazgos principales demuestran que el uso de gemelos digitales permite a los aprendices interactuar con réplicas virtuales de sistemas industriales complejos en un entorno seguro y controlado, mejorando significativamente la comprensión de conceptos y la adquisición de habilidades prácticas sin el riesgo de dañar equipos

reales o interrumpir la producción. Concluyen que los gemelos digitales ofrecen una solución altamente efectiva y escalable para la formación, permitiendo simulaciones realistas y personalizadas. Recomendán la integración de estas tecnologías en los programas de capacitación industrial para optimizar el desarrollo de competencias. Sin embargo, una limitación podría ser la alta inversión inicial en software y hardware, así como la necesidad de personal capacitado para desarrollar y mantener estos entornos virtuales.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad, la industria requiere profesionales capaces de integrar, programar y mantener sistemas automatizados que garanticen eficiencia, seguridad y continuidad operativa en los procesos productivos. El avance de la Industria 4.0 ha impulsado en la empresa, la incorporación de soluciones basadas en automatismos, lo que demanda técnicos con competencias sólidas en la configuración de PLCs, diseño de interfaces HMI/SCADA, diagnóstico de fallas y simulación de procesos en tiempo real.

En la sede de SENATI Arequipa, dentro de la carrera de Electrotecnia Industrial, se ha identificado una limitación recurrente en el desarrollo de competencias relacionadas con la automatización industrial, la cual se evidencia en el bajo desempeño de los estudiantes en la programación de aplicaciones con PLC, la elaboración de HMI y la implementación de algoritmos para resolver los automatismos planteados en las tareas

Esta problemática se debe principalmente a las limitaciones de los laboratorios, siendo las causas preponderantes las siguientes:

(a) Insuficiente cantidad de módulos físicos de entrenamiento

En promedio, cada laboratorio dispone de 4 a 6 módulos para grupos de 25 estudiantes, generando tiempos de espera prolongados y reduciendo significativamente el tiempo efectivo de manipulación y experimentación por estudiante. La limitada disponibilidad de módulos de electroneumática, electrohidráulica, PLCs y HMI impide que todos los estudiantes accedan de forma simultánea a las prácticas. Esta escasez de equipamiento restringe la participación activa durante las sesiones de laboratorio y dificulta la aplicación práctica de los conceptos teóricos de automatización industrial.

(b) Tiempo reducido de manipulación y experimentación por estudiante

Debido a la cantidad insuficiente de equipos, los alumnos deben esperar turnos prolongados para realizar sus prácticas, lo que disminuye el tiempo efectivo de interacción con los sistemas. Esta limitación afecta el desarrollo de habilidades técnicas esenciales y reduce la oportunidad de experimentar con diferentes configuraciones o estrategias de control.

(c) Ausencia de herramientas tecnológicas complementarias de aprendizaje

La falta de sistemas alternativos, como entornos de simulación, impide compensar la carencia de equipos físicos. Esto restringe la posibilidad de que los estudiantes practiquen de manera autónoma y reproduzcan procesos de control en tiempo real, limitando así el logro de competencias relacionadas.

De manera particular, esta problemática se evidencia con mayor énfasis en el curso de Sistemas de Control, asignatura fundamental en la especialidad de Electrotecnia Industrial. En este curso, los estudiantes deben aplicar principios de control automático mediante la integración de sensores, actuadores, controladores lógicos programables (PLCs) y sistemas de supervisión (HMI/SCADA). Sin embargo, las limitaciones de equipamiento reducen la posibilidad de que cada alumno desarrolle prácticas completas de identificación de variables, ajuste de parámetros de control, simulación de procesos y validación de estrategias de regulación y falla segura. Esta situación impacta directamente en la consolidación de competencias críticas como la programación de PLCs, el análisis de diagramas de bloques y la interpretación de sistemas dinámicos, que son esenciales para la inserción laboral en entornos industriales automatizados. Además, se generan brechas en el ritmo de aprendizaje entre estudiantes y desmotivación por la práctica, derivada del acceso limitado a los recursos.

Ante este problema, se plantea como propuesta de solución la implementación de un sistema HIL (Hardware-in-the-Loop) aplicado específicamente al curso de Sistemas de Control de la Escuela de Electrotecnia en SENATI. El sistema estará compuesto por una parte real, que incluye las herramientas de programación de PLCs (Allen Bradley con RSLogix 500) y entornos de supervisión SCADA (Movicon), integradas a un modelo simulado del proceso hidroneumático desarrollado en Fluidsim, funcionando en tiempo real. De este modo, el estudiante podrá interactuar con la lógica de control y observar el comportamiento dinámico del proceso simulado como si se tratara de una planta física.

Esta propuesta busca ampliar el acceso a prácticas formativas, garantizar una mayor equidad en el tiempo de manipulación de los sistemas, y fortalecer el aprendizaje autónomo de los estudiantes. Asimismo, permitirá al curso de Sistemas de Control contar con una herramienta pedagógica innovadora, que complementa el equipamiento físico existente y que prepara a los estudiantes con metodologías de validación de sistemas utilizadas en la industria moderna.

1.3 Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de optimizar el uso de recursos institucionales y mejorar la calidad del entrenamiento práctico en automatización industrial en el curso de Sistemas de Control de la Escuela de Electrotecnia en SENATI, Arequipa.

La implementación de una plataforma virtual integrada ofrece múltiples beneficios:

- Reducir costos al minimizar la necesidad de invertir en múltiples módulos físicos de entrenamiento, aprovechando en su lugar la infraestructura de cómputo ya disponible.
- Ampliar la accesibilidad al permitir que todos los estudiantes puedan realizar prácticas simultáneamente, eliminando los tiempos de espera y garantizando igualdad de oportunidades.
- Intensificar el aprendizaje al facilitar la repetición, modificación y ampliación de los ejercicios en menos tiempo al requerido por el montaje físico, fomentando la experimentación y la profundización conceptual.
- Simular un entorno realista y seguro basado en HIL mediante la integración de software estándar de la industria (Festo Fluidsim, RSLogix 500 de Allen

Bradley, Movicon de Emerson) a través de enlace OPC, permitiendo desarrollar y probar algoritmos complejos favoreciendo la transferencia del aprendizaje a contextos industriales reales sin exponer equipos físicos a riesgos de daño.

- Optimizar recursos como materiales, componentes, tiempo de laboratorio y horas del instructor, permitiendo redirigir estos elementos hacia otras necesidades formativas.
- Complementar la formación presencial sin reemplazar los laboratorios físicos, preparando mejor a los estudiantes antes de su interacción con los equipos reales.
- Reforzar la relevancia industrial al familiarizar a los estudiantes con herramientas y tecnologías ampliamente utilizadas en el sector productivo, mejorando su perfil profesional y su empleabilidad.

La viabilidad del proyecto está respaldada por la disponibilidad del software requerido (con las licencias institucionales correspondientes) y la infraestructura de cómputo estándar ya presente en los laboratorios de SENATI.

1.4 Pregunta de investigación.

¿Cómo implementar un sistema HIL que mejore el entrenamiento en automatización en el curso de Sistemas de Control de la especialidad de Electrotecnia Industrial en la Escuela de Electrotecnia de SENATI, Arequipa 2025?

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de implementación de un sistema HIL para la mejora del entrenamiento en automatización en el curso de Sistemas de Control de la Escuela de Electrotecnia en SENATI, Arequipa.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las tareas, operaciones y aprendizajes claves en automatización a ser desarrollados mediante un sistema HIL en el curso de Sistemas de Control de la Escuela de Electrotecnia en SENATI, Arequipa 2025.
- Diseñar la arquitectura de un sistema HIL integrando los programas informáticos FluidSIM, RSLogix 500 y Movicon, para el entrenamiento de aplicaciones en automatización del curso de Sistemas de Control de Electrotecnia Industrial en SENATI Arequipa, 2025.
- Verificar el funcionamiento técnico del sistema HIL para entrenamiento en automatización del curso de Sistemas de Control en la Escuela de Electrotecnia en SENATI, Arequipa 2025
- Establecer una ruta de institucionalización del sistema HIL para entrenamiento en automatización del curso de Sistemas de Control en la Escuela de Electrotecnia en SENATI, Arequipa 2025.

III DESARROLLO DEL ESTUDIO

3.1. Método, técnicas e instrumentos

3.1.1. Enfoque y tipo de investigación

El estudio adopta un enfoque cualitativo, ya que busca comprender en profundidad las condiciones actuales del proceso de enseñanza-aprendizaje en automatización industrial y analizar la viabilidad de implementación de un sistema HIL. Este enfoque es adecuado para explorar fenómenos educativos complejos donde se requiere una comprensión detallada del contexto (Hernández et al., 2018).

Asimismo, consideramos que el estudio es de tipo descriptivo exploratorio ya que tiene como finalidad analizar e identificar las condiciones actuales del proceso de enseñanza-aprendizaje en automatización industrial dentro de la Escuela de Electrotecnia de SENATI, Arequipa, identificando las limitaciones tecnológicas y pedagógicas en el uso de simulaciones prácticas.

Por su carácter exploratorio, el estudio recopiló información preliminar sobre la viabilidad técnica y didáctica de implementar un sistema Hardware-in-the-Loop (HIL) como herramienta educativa. Este tipo de investigación consideramos que fue apropiado porque el uso de sistemas HIL en entornos de formación técnica aún no ha sido suficientemente documentado o aplicado en instituciones como SENATI, y se requiere una comprensión inicial del contexto, recursos disponibles y requerimientos curriculares.

Por otro lado, por su carácter descriptivo se caracterizó de forma detallada los componentes del sistema HIL propuesto, las competencias que desarrollaría en los estudiantes, así como los beneficios pedagógicos esperados. Se describe cómo

este sistema puede integrarse en los módulos formativos existentes, qué equipos o software son necesarios y cómo impactaría en el proceso educativo.

3.1.2. Método de investigación

Se empleó el método analítico, descomponiendo el problema en sus elementos constitutivos (análisis curricular, infraestructura disponible, requerimientos técnicos -sintético, y sintético para integrar los hallazgos en una propuesta coherente de implementación del sistema HIL.

3.1.3. Técnicas e instrumentos

Técnicas aplicadas:

1.- Revisión documental exhaustiva:

- Análisis del currículo actual del curso de Sistemas de Control
- Estudio de normativas y estándares educativos de SENATI
- Revisión de literatura técnica sobre sistemas HIL aplicados a educación

2.- Observación sistemática:

- De las prácticas actuales en los laboratorios de automatización
- De las limitaciones tecnológicas existentes

3.- Análisis comparativo:

- De diferentes alternativas de software (FluidSIM, RSLogix 500, Movicon)

3.1.4. Instrumentos:

- Matrices de análisis curricular para identificar puntos de integración del sistema HIL

- Protocolos para comprobar la funcionalidad del equipo desarrollado.

La presente investigación se desarrolló respetando los principios éticos fundamentales de integridad académica, responsabilidad social y uso seguro de la tecnología.

Se garantizó el respeto a las licencias legales que todos los recursos utilizados, así como los derechos de autor.

Toda la información teórica, técnica o metodológica utilizado en el desarrollo de la propuesta está debidamente referenciada bajo normas APA, reconociendo la autoría intelectual y evitando el plagio. El estudio fue autofinanciado por los investigadores.

El estudio será difundido a la comunidad mediante el repositorio de investigaciones de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

3.2.Fundamentos teóricos y prácticos del estudio.

3.2.1. Bases teóricas

3.2.1.1.Automatización industrial

La Automatización Industrial es un campo fundamental en la ingeniería y la producción moderna, que busca optimizar procesos mediante el uso de tecnologías que permiten operar máquinas, equipos y sistemas con mínima intervención humana.

Según Groover (2007), la automatización es “el uso de sistemas mecánicos, electrónicos y de computación en la operación y control de la producción”. En la industria minera, empresas como Antamina o Las Bambas utilizan sistemas

automatizados para controlar procesos de molienda, flotación y transporte de minerales, lo que ha permitido mejorar los índices de recuperación y reducir accidentes (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2022).

Ogata (2010) sostiene que los principios del control automático permiten regular variables críticas (como temperatura, flujo, presión) mediante sistemas de retroalimentación.

La automatización industrial, sustentada teóricamente por autores como Groover y Ogata, ha revolucionado los procesos productivos en todo el mundo. En el Perú, su implementación en sectores estratégicos como minería, agroindustria y energía ha demostrado su capacidad para mejorar la eficiencia, la seguridad y la competitividad. A pesar de desafíos como el alto costo inicial o la necesidad de capital humano calificado, el avance hacia una industria automatizada es irreversible y esencial para el desarrollo económico del país.

3.2.1.2. Entrenamiento virtual en automatización

Desde una perspectiva de formación profesional, el entrenamiento educativo es un proceso de capacitación práctica que responde a necesidades específicas de los docentes, tales como la incorporación de nuevas metodologías, recursos tecnológicos o estrategias de evaluación. Para Grubbs (1977), el entrenamiento implica actividades estructuradas para la adquisición de habilidades concretas.

En ese sentido se puede deducir que el entrenamiento es un proceso sistemático y planificado que busca desarrollar habilidades, destrezas o competencias específicas para la ejecución eficaz de una tarea o actividad.

En cambio, el proceso de enseñanza-aprendizaje es más amplio, pues comprende la transmisión de conocimientos, la construcción de saberes y la formación integral de la persona en los ámbitos cognitivo, social y actitudinal. En este marco, el entrenamiento no es lo mismo que un proceso de enseñanza-aprendizaje, más bien, el entrenamiento forma parte un proceso de enseñanza-aprendizaje al constituirse en la dimensión práctica y aplicada de dicho proceso, orientada a la mejora del rendimiento en tareas concretas. Según Chiavenato y Sapiro (2011), el entrenamiento es un proceso educativo sistemático y planificado que proporciona a los individuos los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para lograr un desempeño eficaz.

El entrenamiento en automatización comprende la incorporación de procedimientos, simulaciones y modelos basados en sistemas (model-based training) que permitan a los trabajadores comprender las interdependencias de componentes en sistemas automatizados, familiarizarse con tareas manuales y automáticas, y optimizar el mantenimiento y el cambio de configuraciones complejas (Loch, Koltun, Karaseva, Pantfoerder & Vogel-Heuser, 2022).

El entrenamiento convencional, también conocido como entrenamiento presencial o en el aula, es un método de formación en el que el instructor y los participantes se encuentran básicamente en el mismo lugar y al mismo tiempo. Esta modalidad se caracteriza por la interacción cara a cara, el uso de materiales didácticos físicos y la retroalimentación inmediata, lo que facilita el desarrollo de habilidades interpersonales y la construcción de lazos entre los participantes. Según Salas, Tannenbaum, Kraiger y Smith-Jentsch (2012), este tipo de entrenamiento es especialmente efectivo para el desarrollo de habilidades de trabajo colaborativo y

el manejo de equipos, ya que la interacción directa y la observación del instructor permiten una corrección y un ajuste en tiempo real.

Sus enfoques principales son el conductista (práctica y repetición), el cognitivo (comprensión y análisis) y el constructivista (aprendizaje activo), emplea métodos como clases magistrales, discusiones, estudios de caso, demostraciones y práctica guiada, junto a técnicas como talleres y dinámicas grupales. Utiliza recursos humanos, materiales y tecnológicos básicos (instructores, manuales, pizarras, proyectores) y su eficacia radica en la interacción directa, la práctica supervisada y la retroalimentación inmediata.

El entrenamiento virtual, o e-learning, es una modalidad de formación que se imparte a través de plataformas digitales y tecnologías de la información. Este método no requiere la presencia física de los participantes y el instructor, ya que el aprendizaje se realiza de manera remota, utilizando herramientas como videos, foros de discusión, videoconferencias y módulos interactivos. Como señalan Salas et al. (2012), en la actualidad el entrenamiento virtual se ha incorporado notablemente debido a su flexibilidad, permitiendo a los participantes aprender a su propio ritmo y desde cualquier lugar. La efectividad de esta modalidad depende en gran medida de un diseño instructivo que fomente la participación activa y la interacción, a pesar de la ausencia de un contacto físico.

El entrenamiento virtual se lleva a cabo mediante diagnóstico de necesidades, diseño instruccional, implementación en entornos virtuales, evaluación y actualización continua, sus enfoques incluyen e-learning, blended learning, microlearning y mobile learning. Además, emplea métodos como videoconferencias, cursos autoformativos, webinars y simuladores. Utilizan

técnicas como gamificación, aprendizaje basado en proyectos y requiere recursos como plataformas LMS, herramientas de videoconferencia, aplicaciones y materiales multimedia.

El entrenamiento virtual en automatización se refiere a la formación técnica de operadores, técnicos e ingenieros mediante entornos digitales simulados que replican situaciones reales de control, programación y operación de sistemas automatizados.

Según Salas, Bowers y Rhodenizer (1998), el entrenamiento virtual “proporciona un entorno seguro, económico y efectivo para el desarrollo de habilidades en contextos complejos y de riesgo, como los industriales”.

Ante la falta de laboratorios en muchas regiones del país, el entrenamiento virtual permite a técnicos y estudiantes en provincias que no tienen muchos recursos aprender sobre sistemas PLC, SCADA o HMI sin requerir equipamiento costoso.

3.2.1.3.Sistema HIL (Hardware-in-the-Loop)

El término Hardware-in-the-Loop (HIL) se refiere a una técnica de simulación utilizada en el desarrollo y prueba de sistemas embebidos en tiempo real. Esta técnica integra componentes de hardware real con modelos virtuales de una planta o proceso físico, permitiendo validar y verificar el comportamiento del sistema de control en condiciones que emulan el entorno real. Es especialmente útil en sectores como la automoción, la aeronáutica y la automatización industrial, donde se requiere una evaluación precisa y segura de los sistemas antes de su implementación física (González, M. A. 2020).

Según Borchert et al. (2013), el objetivo del HIL es “verificar y validar controladores electrónicos en condiciones operativas realistas sin necesidad de una planta física”.

3.2.1.3.1. Características del sistema HIL

Los sistemas HIL poseen una serie de características que los hacen idóneos para múltiples aplicaciones técnicas y educativas:

- **Simulación en tiempo real:** "La interacción entre el hardware real y el modelo simulado debe realizarse con una latencia mínima, permitiendo una respuesta sincronizada del sistema" (González, 2020).
- **Alta precisión en la emulación del entorno físico:** Se pueden simular sensores, actuadores y fenómenos físicos complejos.
- **Reconfigurabilidad:** El sistema puede adaptarse a diferentes escenarios o modelos según el propósito de la simulación.
- **Seguridad en pruebas:** "HIL permite exponer al controlador a situaciones críticas sin comprometer la seguridad de personas ni equipos reales" (Zhao, Wang & Li, 2021).

3.2.1.3.2. Utilidad y aplicaciones de los sistemas HIL

La utilidad de los sistemas HIL se ha extendido a numerosos campos tecnológicos, donde se requiere validar algoritmos o dispositivos sin necesidad de una planta física.

En el sector energético, se simulan redes inteligentes y sistemas de protección. En automatización industrial, los sistemas HIL permiten desarrollar y verificar aplicaciones para PLCs, HMIs y SCADA antes de implementarlas.

Jiménez y Romero (2022) destacan que "los entornos HIL también ofrecen un espacio seguro y realista para el entrenamiento técnico, permitiendo simular fallas, ajustes de parámetros, y condiciones extremas sin consecuencias reales".

3.2.1.3.3. Componentes del sistema HIL

Un sistema HIL se compone típicamente de:

- Modelo de planta en tiempo real: Implementado en plataformas como MATLAB/Simulink o LabVIEW, representa el sistema físico.
- Hardware bajo prueba (HUT): Puede ser un PLC, microcontrolador o cualquier sistema de control embebido.
- Plataforma de simulación en tiempo real: Ejecuta el modelo con alta precisión temporal. "Estas plataformas pueden incluir tarjetas especializadas como las de OPAL-RT o dSPACE, diseñadas para garantizar sincronización y baja latencia" (González, 2020).
- Interfaz de comunicación: Incluye DAQs, buses industriales (CAN, Modbus, EtherCAT), y conversores analógicos/digitales.
- Sistema de monitoreo: Permite observar, registrar y analizar el desempeño del sistema.

3.2.2. Uso y potencialidades didácticas

En el contexto educativo, el sistema HIL se convierte en una herramienta poderosa para la enseñanza de la automatización. Permite a los estudiantes conectar conceptos teóricos con la práctica, y experimentar de forma directa la lógica de control industrial.

Jiménez y Romero (2022) señalan que "el uso de HIL en entornos académicos fortalece el aprendizaje activo, al ofrecer a los estudiantes la posibilidad de diseñar, simular y validar sistemas en tiempo real, promoviendo la comprensión integral de procesos industriales".

Entre las principales ventajas didácticas se encuentran:

- Simulación de procesos complejos sin necesidad de costosas plantas físicas.
- Desarrollo de competencias prácticas en control, instrumentación y programación.
- Posibilidad de evaluar respuestas a fallas o condiciones límite.
- Fomento de la creatividad y el pensamiento crítico a través del diseño experimental.

Así, el sistema HIL representa un puente entre la teoría y la práctica, fortaleciendo tanto la formación técnica como las habilidades de resolución de problemas en futuros ingenieros.

3.2.3. SENATI y su Escuela de Electrotecnia

El Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial (SENATI) es una institución peruana creada en 1961 para formar técnicos calificados en función de las necesidades del sector productivo. Su modelo educativo se basa en la formación dual, combinando teoría y práctica con fuerte vinculación empresarial.

3.2.3.1. Escuela de Electrotecnia

La Escuela de Electrotecnia es parte de la estructura por especialidades que cuenta Senati y está dedicada a la formación técnica y profesional en el ámbito de la electricidad y la electrónica. La escuela ofrece programas académicos que abarcan desde la teoría básica hasta la aplicación práctica de los principios eléctricos y electrónicos, preparando a los estudiantes para desempeñarse en diversas áreas industriales y tecnológicas (Sánchez, S. 2007).

La Escuela de Electrotecnia de SENATI forma profesionales técnicos en carreras como:

- Electricidad industrial
- Electrónica y automatización industrial
- Electrotecnia industrial y energías renovables
- Instrumentación y control de procesos industriales
- Mecatrónica Industrial

3.2.3.2. La especialidad de Electrotecnia Industrial

La especialidad de Electrotecnia Industrial que ofrece SENATI está orientada a la formación de profesionales técnicos capacitados en el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas eléctricos de uso industrial. Las áreas principales de formación son:

- Generación, transmisión y distribución eléctrica.
- Instalaciones eléctricas industriales y residenciales.

- Control eléctrico y automatización industrial (PLCs, SCADA, instrumentación).
- Máquinas eléctricas, motores y sistemas de potencia.
- Electrónica aplicada a sistemas de control y energía.
- Normativa eléctrica, seguridad industrial y eficiencia energética.

El perfil del egresado de esta especialidad incluye:

- Operar y mantener sistemas eléctricos en plantas industriales.
- Diseñar y ejecutar proyectos de instalaciones eléctricas.
- Implementar y dar soporte a procesos de automatización y control.
- Aplicar estándares internacionales de seguridad eléctrica.

3.2.3.3. Curso de Sistemas de Control

El curso Sistemas de Control corresponde al quinto semestre de la especialidad de Electrotecnia Industrial impartida en la Escuela de Electrotecnia, tal como se detalla en la tabla 1, este semestre formativo que tiene una duración de 16 semanas, está compuesto de la siguiente forma:

Tabla 1

Cursos del quinto semestre de la especialidad de Electrotecnia Industrial

MATERIA	CURSO	TITULO CURSO	HORAS	HORAS
			TALLER	TECNOLOGÍA
EETT	512	SISTEMAS DE CONTROL	4	2
EETT	513	PLANTAS INDUSTRIALES	3	2
EETT	514	INFORMÁTICA INDUSTRIAL	3	1

EETT	515	FORMACIÓN PRÁCTICA EN EMPRESA II	30
CGEU	240	FORMACIÓN DE MONITORES DE EMPRESA	2
CNIU	108	REVISIÓN Y CALIFICACIÓN DE CUADERNO DE INFORMES	1

Nota. Adaptado de SENATI SharePoint Diseños Curriculares, por SENATI, 2023,
<https://senatipe.sharepoint.com/sites/innovacion/dc>

El curso sistemas de control se desarrolla en 16 semanas contando 6 horas por semana haciendo un total de 96 horas pedagógicas (45 minutos) donde la formación tecnológica que está orientada a impartir definiciones y conceptos relativos a los sistemas de control tiene 32 horas pedagógicas y la formación de práctica de taller, donde los estudiantes ejecutan las experiencias relacionados a sistemas de control utilizando equipos y herramientas, toman 64 horas pedagógicas.

Respecto al objetivo general del curso, se establece que: “Los participantes estarán en capacidad de diseñar, aplicar y solucionar problemas de sistemas de control industrial. De este modo, con la práctica correspondiente y necesaria, estarán en condiciones de sacar el máximo provecho de los conocimientos adquiridos, sin error y respetando las normas de seguridad y medio ambiente”.

El curso de Sistemas de Control forma parte de la carrera de Electrotecnia Industrial y busca desarrollar en los estudiantes la capacidad de instalar, programar y mantener sistemas electroneumáticos, electrohidráulicos y automatismos industriales con PLC, asegurando el cumplimiento de normas técnicas, de seguridad y de protección ambiental. Este módulo formativo combina la teoría con la práctica

mediante proyectos y tareas de aprendizaje orientadas a la aplicación en contextos industriales reales.

El objetivo principal del curso es que el participante logre comprender los fundamentos de los sistemas de control, sus elementos y modos de operación, así como la implementación de circuitos neumáticos, electroneumáticos, hidráulicos, electrohidráulicos y la programación de controladores lógicos programables (PLC). Asimismo, el estudiante será capaz de aplicar metodologías de control avanzado como secuencias en cascada, control de servomotores y regulación mediante la instrucción PID. Todo ello permitirá integrar los conocimientos adquiridos en situaciones de automatización y control industrial.

3.2.3.3.1. Contenidos del curso de Sistemas de Control

Los contenidos del curso están detallados en el documento interno de Senati denominado Perfil de la ocupación de Electrotecnia Industrial, de dicho documento se ha extraído los contenidos que se muestran en la tabla 2, que serán objeto de implementación con el Sistema Hill. Estos son los siguientes:

Tabla 2

Contenidos por semana del curso de Sistemas de Control de quinto semestre de la especialidad de Electrotecnia Industrial

Semana	Tecnología	Práctica taller
1	Sistemas de control	Tarea N°1: Elabora diagrama de bloques de un sistema de control
	• Descripción de un sistema de control (Lazo abierto – Lazo cerrado)	Operaciones:

	• Elementos de un sistema de control (Sensores, controladores, actuadores y procesos) • Modos de control (Concepto y clasificación; • Control On-Off; Control proporcional; Control integral; Control PID) • Clasificación de los sistemas de control - o Sistema de control neumático. - Definición, elementos - o Sistemas de control eléctrico. - Definición, elementos - o Sistemas de control hidráulico. - Definición, elementos - o Sistema de control electrónico. - Definición, elementos - o Sistema de control por computadora. – Definición y elementos - o Sistema de control por PLC. Definición y elementos.	• Identificar controlador • Identificar sensores • Identificar actuadores • Identificar sistema de control de lazo cerrado • Identificar sistema de control de lazo abierto • Elaborar diagrama de bloques de un sistema de control
2 a 3	• Control neumático - o Fundamentos de un sistema neumático - o Presión. Unidades - o Compresor de aire - o Unidad de mantenimiento - o Sistema de distribución de aire comprimido - o Representación de sistema de aire comprimido. • Control electroneumático	Tarea N°2: Instala circuitos electroneumáticos Operaciones: • Verificar compresor • Verificar unidad de mantenimiento • Verificar sistema de distribución de aire • Instalar dispositivos neumáticos • Operar dispositivos neumáticos en un sistema de control industrial. • Verificar suministro de energía

	o Mando electroneumático. eléctrica y mecánica	• Realizar esquema de mando electroneumático
	o Elementos de entrada de señal	• Verificar dispositivos electroneumáticos
	o Interruptores, pulsadores, finales de carrera, detectores de proximidad	• Instalar circuito electroneumático
	o Elementos de procesamiento de señal	• Operar mando electroneumático.
	o Relés, Contactores, electroválvulas, temporizadores	
	o Instalación de circuitos electroneumáticos básicos	
	o Instalación de circuito electroneumáticos secuenciales	
	o Instalación de circuito electroneumáticos secuenciales temporizados.	
4 a 5	• Control hidráulico	Tarea N°3: Instala circuitos electrohidráulicos.
	o Fundamento de sistemas hidráulicos	Operaciones:
	o Características	• Verificar sistema de alimentación hidráulica
	o Sistema de alimentación hidráulico	• Realizar esquema de circuito hidráulico
	o Representación de sistemas hidráulicos	• Verificar dispositivos hidráulicos
	o Elementos de entrada de señal hidráulica	• Instalar dispositivos hidráulicos
	o Interruptores pulsadores finales de carrera	• Operar dispositivos hidráulicos.
	o Elementos de procesamiento de señal	• Realizar esquema de mando electrohidráulico
	o Válvulas, temporizadores.	• Verificar dispositivos electrohidráulicos
	• Control electrohidráulico	• Instalar circuito electrohidráulico

	o Mando electrohidráulico, eléctrica y mecánica	• Operar mando electrohidráulico.
	o Elementos de entrada de señal	
	o Interruptores, pulsadores, finales de carrera, detectores de proximidad	
	o Elementos de procesamiento de señal	
	o Relés, Contactores, electroválvulas, temporizadores	
	o Instalación de circuitos electrohidráulico básicos	
	o Instalación de circuito electrohidráulico secuenciales	
	o Instalación de circuito electrohidráulico secuenciales Temporizados.	
6 a 7	• Controlador lógico programable	Tarea N°4: Realiza montaje y configuración de PLC en un tablero de control automático
	o Fundamentos	Operaciones:
	o Tipos de PLC, Partes del PLC	• Reconocer hardware de controlador lógico programable.
	o Procedimiento de instalación de PLC	• Elaborar diagrama de conexión de entradas y salidas discretas.
	o Funcionamiento	• Probar elementos periféricos de entrada y salida.
	o Diagrama de bloques de un PLC	• Realizar cableado al PLC.
	o Esquemas funcionales de los diferentes módulos	• Instalar software de programación.
	o Diagramas de cableado.	• Instalar software de comunicación.
	• Programación del PLC	• Instalar software de simulación.

	- o Fundamentos - o Clasificación - o Unidades de programación - o Requerimiento - o Software de programación - o Modos de programación - o Interface gráfico: menús, comandos instrucciones - o Diagrama de flujos para la programación. • Protocolos de comunicación para el PLC - o Protocolo de comunicación abierta. - o Protocolo de comunicación cerrada. - o Interfaz: Direccionamiento IP	• Configurar la comunicación entre controlador y PC.
8 a 10	• Programación del PLC - o Escaneo, Direccionamiento absoluto, simbólico. Registros. - o Instrucciones tipo bit, Instrucción memoria interna. • Instrucciones de temporización, Definición, Tipos: - o Timer ON delay, Timer OFF delay, Timer ON delay retentive	Tarea N° 5: Programa PLC para el arranque de motores trifásicos. Operaciones: • Elaborar programa de arranque directo e inversión de giro de un motor trifásico • Simular programa en PC. • Descargar programa al PLC.

11 a 13	• Direccionamiento, Instrucciones de conteo, Definición, Tipos:	• Probar programa de arranque directo e inversión de giro de un motor trifásico
	o CTU, CTD, CTUD	• Elaborar programa de arranque estrella triángulo de motor trifásico.
	• Direccionamiento, Alarmas por conteo.	• Simular programa en PC.
	• Instrucciones de comparación y transferencia, Instrucciones de secuencia	• Descargar programa al PLC.
	• Mando de motores, Mando secuencial LIFO de 3 motores:	• Probar programa de arranque estrella triángulo de un motor trifásico.
	o Funcionamiento, Conexión, Operación.	• Elaborar programa para el control de electrobombas alternadas.
	• Mando secuencial FIFO de 3 motores:	• Simular programa en PC.
	o Funcionamiento, Conexión, Operación	• Descargar programa al PLC.
	• Arranque estrella-triángulo de un motor 3Φ.	• Probar programa de control de electrobombas alternadas.
	• Arranque estrella-triángulo con inversión de giro de un motor 3Φ.	
	• Mando de fajas transportadoras alternadas con motores 3Φ en estrella-triángulo.	
	• Control de servo motor	Tarea N°6: Realiza control de servomotor con PLC
	o Servo driver	Operaciones:
	o Características	• Verifica servomotor
	o Combinación de motor – driver	• Verificar driver
	o Modo de funcionamiento	• Verificar PLC
	o Control de servo motor con PLC	• Realizar conexiones

	o Configuración de entrada de alta velocidad	• Configurar control de servomotor
	o Entrada tipo TON y eventos	• Configurar entrada de alta velocidad
	• El encoder	• Configurar sensores de proximidad
	o Definición	• Ejecutar control de servomotor.
	o Características y funcionamiento	
	o Programa medición de velocidad de un motor con HSC	
	o Ejecutar instrucción de contadores rápidos	
	o Programar medición de velocidad de un motor con HSC	
	• Control de PLC con sensores de proximidad	
	o Sensores magnéticos	
	o Sensores inductivos	
	o Sensores fotoeléctricos	
	o Sensores capacitivos	
	o Selector de piezas electro neumático con PLC	
	o Faja transportadora controlada por PLC	
14	• Instrucciones de secuencia	Tarea N°7: Implementa secuencia de control en cascada de sistema electroneumático
	o Definición	Operaciones:
	o Características	• Definir entradas y salidas

	o Funcionamiento	• Elaborar esquema de circuito neumático
	o Aplicación	• Elaborar esquema de control
	o Programa de control secuencial de dispositivo electroneumático	• Programar PLC para control en cascada
		• Verificar funcionamiento.
15 a 16	• Módulos analógicos en el plc	Tarea N°8: Programar control lazo cerrado en una planta industrial con PLC
	o Configuración del módulo analógicos en el PLC	Operaciones:
	o Escalamiento en señales analógicas	• Configura entradas analógicas en PLC
	o Acondicionamiento de RTD y termopares en módulos analógicos	• Verificar RTD
	o Control todo o nada en el PLC	• Acondicionar señal de RTD a PLC
	o Control proporcional en el PLC	• Programar instrucciones de control PID en PLC
	o Control proporcional e integral en el PLC	• Ejecutar control PID
	o Control proporcional derivada en el PLC.	
	• La instrucción PID	
	o Acondicionamiento de RTD y termopares instrucción PID	
	o Programa control PID en una planta de proceso configurar módulos analógicos	
	o Acondicionar señal analógico sensor	
	o Ejecución de la instrucción PID	

o Normas de conectividad de sensores
con cable de elongación y cable
blindado para señales de 4 a 20 mA.

Nota. Adaptado de SENATI SharePoint Diseños Curriculares, por SENATI, 2023,

<https://senatipe.sharepoint.com/sites/innovacion/dc>

Haciendo una evaluación de los contenidos en la tabla anterior, se evidencia que el curso desarrolla unidades didácticas progresivas. La primera unidad introduce los conceptos fundamentales de los sistemas de control: lazo abierto y cerrado, identificación de sensores, actuadores y controladores, así como la elaboración de diagramas de bloques. Posteriormente, se abordan los sistemas de control neumático y electroneumático, trabajando con compresores, unidades de mantenimiento, distribución de aire y mando de dispositivos. En las siguientes semanas se estudian los sistemas hidráulicos y electrohidráulicos, instalando circuitos básicos, secuenciales y temporizados, además de reforzar la seguridad en el manejo de aceites y dispositivos de presión.

La segunda parte del curso está dedicada al control automático mediante PLC, iniciando con el reconocimiento del hardware, cableado de entradas y salidas, instalación de software y configuración de la comunicación entre PLC y PC. Luego, los estudiantes avanzan hacia la programación de arranques de motores trifásicos (directo, inversión de giro y estrella-triángulo), así como el control alternado de electrobombas y fajas transportadoras. En este bloque también se introduce el uso de protocolos de comunicación, instrucciones de temporización y conteo, secuencias de mando y esquemas de conexión eléctrica.

En la parte final, el curso aborda el control de servomotores con PLC, la aplicación de sensores de proximidad y la programación de instrucciones de alta velocidad. Además, se desarrollan prácticas de control en cascada de sistemas electroneumáticos y, finalmente, el estudiante se entrena en la implementación de controladores PID en plantas industriales, configurando entradas analógicas, acondicionando señales de sensores RTD y aplicando estrategias de control proporcional, integral y derivativo.

La competencia principal a desarrollar es la capacidad de gestionar sistemas de automatización industrial integrando teoría, práctica y seguridad laboral. El egresado será capaz de diagnosticar, diseñar e implementar soluciones de control en procesos industriales, considerando la eficiencia, la calidad y el respeto por las normas de seguridad eléctrica, mecánica y ambiental.

En conclusión, el curso de Sistemas de Control es un eje fundamental de la formación en Electrotecnia Industrial, ya que conecta los principios básicos de la neumática, hidráulica y electrónica con la programación y el control automático mediante PLC. De esta forma, prepara al estudiante para enfrentar retos en la industria moderna, donde la automatización es clave para la productividad y competitividad.

3.3. Desarrollo del estudio

3.3.1. Identificación de las tareas, operaciones y aprendizajes clave de automatización a ser desarrollados mediante el sistema HIL

La aplicación de la plataforma HIL es de acuerdo a la pertinencia que se determine en relación al sistema a comprobar y analizar, algunas tareas obtienen un

beneficio óptimo producto de la simulación, en otras tareas es necesario enfocarse en los aspectos importantes que puedan ser resueltos bajo esta plataforma, por otra parte, siempre se presentan casos en que no es posible aplicar la plataforma HIL. Para determinar si un contexto específico es aplicable a la plataforma HIL analizaremos en primer término los contenidos del curso, sus planteamientos, el entorno físico de aplicación y los criterios que permitan dilucidar el aprovechamiento de la plataforma para el entrenamiento en la automatización del ejemplo.

3.3.1.1. Metodología para la identificación de tareas del curso de Sistemas de Control a ser realizadas con el sistema HIL

La aplicación de la plataforma HIL es de acuerdo a la pertinencia que se determine en relación al sistema a comprobar y analizar, algunas tareas obtienen un beneficio óptimo producto de la simulación, en otras tareas es necesario enfocarse en los aspectos importantes que puedan ser resueltos bajo esta plataforma, por otra parte, siempre se presentan casos en que no es posible aplicar la plataforma HIL. Para determinar si un contexto específico es aplicable a la plataforma HIL es necesario implementar una metodología que tome en cuenta en primer término los contenidos del curso, sus planteamientos, el entorno físico de aplicación y los criterios que permitan dilucidar el aprovechamiento de la plataforma para el entrenamiento en la automatización del ejemplo, por tanto, la metodología consta de dos componentes principales:

3.3.1.1.1. Análisis del contenido curricular del curso de Sistemas de Control para la identificación de los aprendizajes en automatización y competencias relacionadas

Al hacer una revisión minuciosa de los contenidos del curso que está estructurado en 16 semanas, se verifica que, durante las primeras semanas del curso, los estudiantes adquieren los fundamentos de los sistemas de control, comprendiendo las diferencias entre lazos abiertos y cerrados, así como los elementos que los constituyen: sensores, actuadores, controladores y procesos. Este aprendizaje inicial permite relacionar la teoría del control con su aplicación en la automatización, mediante la elaboración de diagramas de bloques y el análisis de modos de control como On-Off, proporcional, integral y PID. Con ello, los alumnos desarrollan la capacidad de identificar la estructura de un sistema automatizado y reconocer las ventajas del control retroalimentado en entornos industriales.

Posteriormente, se profundiza en los sistemas de control neumáticos, electroneumáticos, hidráulicos y electrohidráulicos. En esta etapa, el estudiante aprende a instalar, verificar y operar circuitos neumáticos e hidráulicos, integrando dispositivos eléctricos como relés, contactores, temporizadores y electroválvulas. Estos aprendizajes fortalecen las competencias para diseñar y ejecutar maniobras secuenciales y temporizadas, habilidades esenciales en la automatización de procesos industriales donde la interacción entre energía neumática, hidráulica y señales eléctricas es clave para el funcionamiento seguro y eficiente de la maquinaria.

La formación avanza con la introducción a los controladores lógicos programables (PLC), donde se desarrollan aprendizajes vinculados a la

configuración y programación de sistemas automatizados. Los estudiantes reconocen la arquitectura de un PLC, elaboran diagramas eléctricos de cableado de entradas y salidas, instalan software de programación y comunicación, y configuran la interfaz con el PC. En este proceso, no solo aprenden a programar instrucciones básicas de temporización, conteo y comparación, sino también a implementar lógicas de control en arranques de motores, secuencias FIFO y LIFO, y maniobras estrella-triángulo, todas de uso frecuente en la industria.

Asimismo, el curso incorpora aprendizajes avanzados en la integración de servomotores, encoders y sensores de proximidad al control con PLC. Los estudiantes adquieren competencias para ejecutar aplicaciones de automatización como fajas transportadoras o selectores de piezas, reforzando su capacidad de conectar dispositivos periféricos, configurar entradas de alta velocidad y programar rutinas de control preciso en sistemas mecatrónicos. Esto fortalece la comprensión del vínculo entre los sistemas de control y la automatización moderna basada en movimiento y detección inteligente.

Finalmente, los aprendizajes se consolidan con el uso de módulos analógicos y la aplicación de la instrucción PID en PLC. Los estudiantes aprenden a escalar señales de instrumentos industriales (RTD, termopares, transmisores 4-20 mA), acondicionarlas y emplearlas en algoritmos de control proporcional, integral y derivativo. Esta etapa representa la transición hacia la automatización avanzada, donde se implementan lazos de control de procesos en tiempo real, integrando la instrumentación industrial con los controladores. Con ello, el curso asegura que los futuros profesionales dominen tanto la automatización discreta como la de procesos, consolidando un perfil altamente demandado en la industria.

3.3.1.1.2. Aplicación de criterios técnicos para la selección de las tareas del curso de Sistemas de Control a realizarse con la plataforma HIL

Antes de definir los criterios, se precisarán las características que presentan los componentes de la plataforma HIL que se propone, ésta emplea 3 entornos de desarrollo de software, las que operarán en forma integrada a través de un enlace utilizando el protocolo OPC.

El primer entorno es el software Festo Fluidsim que cubre los aspectos operacionales relativos a la neumática, hidráulica, dentro de ello es capaz de ejecutar en forma simulada el accionamiento eléctrico de relés, lámparas y electroválvulas

El segundo componente de la plataforma es el software RSLogix500 que cuenta a su vez con 3 módulos de software, el primer módulo es el software RS Logix Micro que ejecuta tareas de programación de aplicaciones sobre distintos tipos de PLC además de configurar el tipo de PLC y el tipo de comunicación que se utilizará en el sistema de mando. El segundo módulo es el software RSLogix Emulate 500 que permite la configuración de un PLC y viabiliza su simulación. El tercer módulo de software es RSLinx Classic que permite la configuración de la comunicación del PLC y el uso de enlace bajo OPC

El tercer componente de la plataforma es Movicon que es un software SCADA que permite el monitoreo de sistemas de control bajo la configuración de un HMI.

En base a lo expuesto, los criterios de selección de las tareas a poder ser implementadas con la plataforma HIL son los siguientes:

- Control mediante señales eléctricas: La tarea debe involucrar la activación o supervisión de dispositivos a través de señales eléctricas, como mandos con relés, contactores o interfaces eléctricas.
- Algoritmo implementable en PLC: La lógica de control que exige la tarea debe poder ser programada en un PLC utilizando el entorno RSLogix 500.
- Requiere monitoreo SCADA: La tarea debe demandar la visualización, supervisión o registro en tiempo real mediante un sistema SCADA, en este caso a través del software Movicon.
- Actuación basada en fluidos (hidráulica/neumática): La tarea debe considerar la operación de actuadores que funcionen con aire comprimido o aceite a presión, como cilindros, válvulas y sistemas de control hidráulico/neumático.
- Actuación eléctrica o electromecánica: La tarea debe contemplar la intervención de dispositivos eléctricos o electromecánicos, tales como motores, electroválvulas o sistemas de potencia eléctrica.

Para que una tarea en particular pueda implementarse en esta plataforma, debe cumplir al menos 4 de los 5 criterios señalados.

3.3.1.1.3. Justificación de los criterios designados

(a) Control mediante señales eléctricas

La plataforma HIL debe interactuar con sistemas reales o simulados que operan con señales eléctricas. Festo Fluidsim permite simular el accionamiento eléctrico de relés, electroválvulas y lámparas, mientras que RSLogix 500 puede programar respuestas a entradas/salidas digitales y analógicas.

Si un sistema no usa mandos eléctricos y tiene un control puramente mecánico, no podría ser emulado en esta plataforma.

(b) Algoritmo por PLC

La plataforma usa RSLogix 500 para emular la lógica de control, por lo que cualquier tarea debe poder traducirse a un programa de PLC (ladder, bloques función, etc.). Si el control requiere otro tipo de procesador, no sería compatible. RSLogix Emulate 500 permite probar la lógica antes de llevarla a un PLC físico.

(c) Requiere monitoreo SCADA

Movicon se integra como capa de supervisión (HMI/SCADA), por lo que, si una aplicación necesita visualización de datos, alarmas o registro histórico, este criterio se cumple. Sistemas que no requieren interfaz humana (ej.: lazo cerrado sin supervisión) podrían omitir este criterio, pero la mayoría de aplicaciones industriales lo necesitan.

(d) Actuación hidráulica o neumática

Festo Fluidsim está especializado en simular componentes hidráulicos y neumáticos (cilindros, válvulas, compresores). Si el sistema no usa fluidos (ej.: puramente electrónico), no requeriría esta herramienta.

Ejemplo: Un brazo robótico neumático es compatible; un motor paso a paso controlado por un driver no usa este entorno.

(e) Actuación eléctrica

Muchos sistemas industriales usan actuadores eléctricos (motores, solenoides, bombas), que pueden ser simulados en Festo Fluidsim o controlados por el PLC emulado. Este criterio complementa al primer criterio, pero se enfoca en el componente final de potencia.

Ejemplo: Un conveyor con motores de corriente alterna cumple este criterio; un sistema neumático puro no lo necesitaría.

3.3.1.2.Resultados del diagnóstico: Tareas seleccionadas para la intervención con HIL

Al aplicar los criterios en las tareas que son desarrolladas en el curso, se establece si se presenta o no la condición establecida en el criterio tal como se muestra en la tabla 3, este análisis se realiza para cada tarea.

Tabla 3

Evaluación de las tareas con los criterios seleccionados

	Control mediante señales eléctricas	Algoritmo por PLC	Requiere monitoreo SCADA	Actuación hidráulica o neumática	Actuación eléctrica	Ejecución por plataforma HIL
Tarea 1:	No	No	No	Si	Si	No
Tarea 2:	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Tarea 3:	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Tarea 4:	Si	Si	Si	No	Si	Si
Tarea 5:	Si	Si	Si	No	Si	Si
Tarea 6:	Si	Si	Si	No	Si	Si
Tarea 7:	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Tarea 8:	Si	Si	Si	No	Si	Si

Nota. Elaboración propia al aplicar los criterios a las tareas del curso de Sistemas de Control

Como resultado de aplicar los criterios previamente establecidos, se llega a determinar las tareas que podrán ser implementadas bajo la plataforma HIL, estas son:

- Tarea N°2: Instala circuitos electroneumáticos
- Tarea N°3: Instala circuitos electrohidráulicos.
- Tarea N°4: Realiza montaje y configuración de PLC en un tablero de control automático
- Tarea N° 5: Programa PLC para el arranque de motores trifásicos.
- Tarea N°6: Realiza control de servomotor con PLC
- Tarea N°7: Implementa secuencia de control en cascada de sistema electroneumático
- Tarea N°8: Programar control lazo cerrado en una planta industrial con PLC

3.3.2. Diseño de la arquitectura de un sistema HIL integrando los programas informáticos FluidSIM, RSLogix 500 y Movicon, para el entrenamiento de aplicaciones en automatización del curso de Sistemas de Control de Electrotecnia Industrial

Se ha desarrollado el sistema HIL haciendo una integración de 3 programas informáticos:

FluidSIM que en la versión 3.6 el fabricante FESTO le otorga capacidad de comunicación OPC (OLE for Process Control), esta adición permite conectar FluidSIM con controladores lógicos programables (PLCs) y sistemas SCADA

mediante el estándar OPC UA o OPC Classic, facilitando la simulación en tiempo real con hardware real de modo que se pueda probar y validar un diseño en FluidSIM antes de implementarlo en forma de sistema físico.

RS Logix500 es la herramienta de software que permite la configuración y programación de la gama de PLC's Allen Bradley de Rockwell Automation, se elige esta marca en razón de que es muy utilizada por la industria de nuestro país para procesos desde simples hasta de gran complejidad tanto en la minería como en la industria de procesos y manufactura.

Movicon es la plataforma de software SCADA/HMI desarrollada originalmente por la empresa italiana PROGEA que luego fue adquirida por la empresa Emerson, multinacional estadounidense líder en soluciones de automatización industrial, tecnología y software para procesos industriales. Utilizamos Movicon exclusivamente para operaciones de monitoreo y control.

A continuación, se detalla el desarrollo del sistema HIL para el entrenamiento de aplicaciones en automatización de acuerdo a las tareas de práctica taller del curso de Sistemas de Control de la especialidad de Electrotecnia Industrial

3.3.2.1.Requerimientos del sistema HIL

a) Requerimientos de Hardware

- PC Compatible Dual Core o superior
- 1 Gbyte de memoria RAM
- 10 Gbytes de espacio en disco duro

b) Requerimiento de Software

- Windows 10

- Festo Fluidsim a partir de la versión 3.6
- RS Logix 500 Micro
- RS Logix Emulate 500
- RS Linx Classic Gateway
- Movicon versión 11.3 o superior

3.3.2.2.Arquitectura y Principios de Funcionamiento del Sistema HIL Propuesto

El sistema Hardware-in-the-Loop (HIL) implementado se conceptualiza como una plataforma de integración software que emula un sistema de automatización industrial completo, distribuyendo las funcionalidades de campo, control y supervisión en entornos virtuales interconectados. Su arquitectura se compone de tres capas principales —Física, de Control y de Supervisión— las cuales se comunican en tiempo real mediante el protocolo estándar OPC (OLE for Process Control), creando un lazo cerrado de emulación de alta fidelidad.

3.3.2.2.1. Capa Física Emulada (Planta Virtual)

- Software: Festo FluidSIM
- Función: Emular el comportamiento dinámico de la planta o proceso industrial, representa el campo o el hardware. Esta capa constituye el entorno de campo virtual.
- Implementación:
 - Se construyen modelos numéricos y gráficos detallados de los componentes físicos: cilindros neumáticos e hidráulicos, válvulas,

motores, sensores de posición (fines de carrera), sensores de proceso (nivel, temperatura), y actuadores eléctricos.

- FluidSIM resuelve en tiempo real las ecuaciones que gobiernan la dinámica de fluidos, la mecánica y los circuitos eléctricos, proporcionando una respuesta realista a los estímulos de control.
- Incorpora servidores OPC integrados, permitiendo que las variables del proceso simulado (estados de sensores, posiciones de actuadores) sean leídas por el controlador, y que este, a su vez, pueda actuar sobre los actuadores virtuales.

3.3.2.2.2. Capa de Control Emulada (Controlador Lógico)

- Software: Rockwell Automation RSLogix 500® + RSLogix Emulate 500® + RSLinx Classic Gateway®.
- Función: Emular el hardware del Controlador Lógico Programable (PLC) y proporcionar el entorno para el desarrollo y ejecución de la lógica de control.
- Implementación y funciones:
 - RSLogix 500: Es el entorno de desarrollo (IDE) donde se programa la lógica de control del automatismo utilizando lenguaje Ladder. Contiene la definición de la aplicación, el direccionamiento de E/S y la configuración del procesador.
 - RSLogix Emulate 500: Es el núcleo de la emulación. Este software ejecuta el programa de control creado en RSLogix 500 dentro de un modelo de procesador de PLC Allen Bradley (ej., MicroLogix 1000) que se comporta funcionalmente idéntico al hardware real. No solo procesa

la lógica, sino que también maneja ciclos de scan, actualización de imagen de memoria y gestión de interrupciones.

- RSLinx Classic Gateway: Actúa como el driver de comunicación universal y servidor OPC. Su función crítica es crear un puente de datos: por un lado, se comunica con el PLC emulado (RSLogix Emulate 500) para acceder a su memoria de datos (inputs, outputs, registros internos), y por el otro, expone estos datos a través de un servidor OPC para que el resto de los componentes del sistema (FluidSIM y Movicon) puedan leer y escribir en ellas.

3.3.2.2.3. Capa de Supervisión (Interfaz Humano-Máquina)

- Software: Emerson Movicon® (versión 11.3 o superior).
- Función: Proporcionar una interfaz gráfica de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA/HMI) para el operador.
- Implementación:
 - Se diseñan pantallas sinópticas que representan el estado del proceso emulado en FluidSIM y el estado del controlador emulado.
 - Movicon, actuando como cliente OPC, se conecta al servidor OPC proporcionado por RSLinx.
 - A través de este enlace, lee variables del PLC emulado (ej.: estado de alarmas, valores de contadores, modo de operación) y escribe sobre ellas (ej.: setpoints, comandos manuales, acknowledges de alarmas).
 - Esta capa permite la visualización de tendencias, la gestión de alarmas y la interacción de alto nivel con el sistema automatizado, replicando las funciones de una estación de operador industrial.

3.3.2.2.4. Integración sistémica y flujo de datos mediante OPC

El protocolo OPC es el elemento de cohesión que permite la interoperabilidad entre los tres entornos de software heterogéneos. El flujo de datos en tiempo real se establece de la siguiente manera:

- Ciclo de Lectura (Planta -> Controlador): Los sensores virtuales en FluidSIM (ej., un fin de carrera) actualizan su estado en su servidor OPC. RSLinx OPC Server lee este dato y lo escribe en la dirección de memoria de entrada (ej., I:0/0) del PLC emulado (RSLogix Emulate 500).
- Procesamiento (Controlador): El PLC emulado ejecuta su ciclo de scan, lee la imagen de sus entradas (que ahora refleja el estado de la planta virtual), procesa la lógica del programa y actualiza la imagen de sus salidas.
- Ciclo de Escritura (Controlador -> Planta): RSLinx OPC Server lee el nuevo estado de las salidas del PLC (ej., O:0/0 para activar una electroválvula) y lo envía al cliente OPC de FluidSIM. FluidSIM recibe este comando y activa el actuador correspondiente en la simulación, cerrando el lazo.
- Supervisión (Controlador <-> HMI): En paralelo, Movicon, a través de su cliente OPC, monitorea y modifica variables en el PLC emulado, independientemente del lazo principal de control, para funciones de supervisión.

Esta arquitectura integrada constituye un banco de pruebas HIL puro, donde el "hardware" (la planta) es simulado con alto realismo dinámico, y el "software" (el controlador y el SCADA) son las aplicaciones industriales reales, permitiendo la validación integral de la estrategia de control, la interfaz de operación y los procedimientos de seguridad en un entorno seguro, reproducible y didáctico.

3.3.2.3. Procedimiento técnico para la contextualización y desarrollo de tareas de automatización bajo el sistema HIL

3.3.2.3.1. Metodología Propuesta para la Implementación en el Laboratorio

Para la ejecución de una tarea en la plataforma HIL se establece un procedimiento lógico y secuencial, cuyo propósito es garantizar que puedan resolverse con éxito mediante la integración de los entornos de simulación, control y supervisión.

Las tareas definidas en el contenido curricular se presentan inicialmente como una secuencia de operaciones técnicas aisladas. Sin embargo, para que estas tareas adquieran sentido formativo en el ámbito de la automatización industrial, es necesario contextualizarlas en aplicaciones reales que reproduzcan condiciones de campo.

La contextualización consiste en trasladar la tarea a un escenario industrial específico definiendo:

- Condiciones iniciales:
 - Recursos disponibles (sensores, actuadores, PLC, fuentes de energía).
 - Estado de los equipos y parámetros de operación (niveles, presiones, caudales, tensiones).
 - Restricciones de seguridad y entorno de trabajo.
- Requerimientos finales:
 - Resultado funcional esperado (ejemplo: “el sistema debe bombear agua automáticamente al detectar un nivel alto”).

- Criterios de desempeño (tiempo de respuesta, presión alcanzada, confiabilidad del ciclo).

Bajo este enfoque, la tarea deja de ser únicamente el montaje y operación de componentes, para convertirse en la solución a un problema de automatización industrial. Una vez contextualizada en dicho escenario, se propone aplicar un procedimiento establecido, estructurado en tres etapas principales:

A) Contextualización industrial y definición de condiciones de funcionamiento: Cada sesión iniciará enmarcando la tarea en un problema industrial específico. En esta etapa se plantea:

- Definir las Condiciones Iniciales: Recursos disponibles (sensores, actuadores, PLC) y el estado inicial de los equipos.
- Establecer los Requerimientos Finales: El resultado funcional esperado y los criterios de desempeño (tiempo de respuesta, secuencia, condiciones de seguridad).

B) Implementación de la solución mediante HIL: en esta etapa se aplica el procedimiento lógico-secuencial que guía la utilización de la plataforma HIL para el desarrollo de la tarea. Incluye los siguientes pasos:

- Modelado de la aplicación en FluidSim: construcción del circuito correspondiente (eléctrico, neumático o hidráulico) y habilitación de la comunicación a través del puerto OPC.
- Programación de la lógica de control en RSLogix 500: elaboración del algoritmo que gobernará la aplicación, definiendo entradas, salidas y rutinas de control.

- Configuración del enlace OPC entre RSLogix 500 y FluidSim: establecimiento de la comunicación que permite la interacción en tiempo real entre la simulación del proceso y el programa del PLC.
 - Diseño de la interfaz HMI en Movicon: desarrollo de la pantalla de supervisión y control de la tarea, incorporando elementos gráficos como botones, indicadores y alarmas.
 - Configuración del enlace OPC entre Movicon y RSLogix 500: integración que posibilita la visualización y supervisión en tiempo real del proceso desde el entorno SCADA.
- C) Prueba y validación de la tarea bajo HIL: se realiza la verificación experimental de la aplicación implementada, contrastando los resultados obtenidos con las condiciones y objetivos establecidos al inicio.

Este procedimiento asegura la integración operativa de FluidSim, RSLogix 500 y Movicon, lo que permite la implementación y validación progresiva de tareas de automatización en la plataforma HIL.

Los procedimientos técnicos descritos representan un insumo fundamental para el diseño de futuras sesiones de aprendizaje, que podrán desarrollarse de manera formal tras su validación e incorporación institucional por parte del SENATI.

3.3.2.3.2. Desarrollo del procedimiento planteado a la Tarea N° 2

A continuación, se presenta el procedimiento expuesto anteriormente aplicado a una tarea seleccionada, en el que se realizará paso a paso su procedimiento de ejecución y las actividades de aprendizaje asociadas, con el propósito de aplicar el sistema HIL.

Tarea N°2: Instalar circuitos electroneumáticos

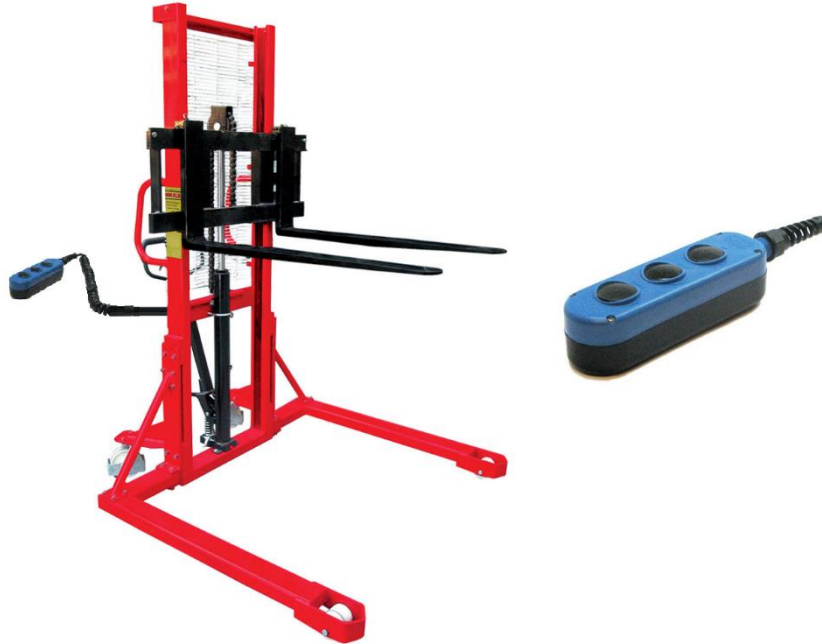
Operaciones:

- Realizar esquema de mando electroneumático
- Verificar dispositivos electroneumáticos
- Instalar circuito electroneumático
- Operar mando electroneumático.

El contexto industrial para esta tarea se muestra en la figura 1, será el control de un montacargas accionado por cilindro neumático

Figura 1.

Montacargas de la marca Mesumex



Nota. Tomado de Mesumex, (s. f.), https://mesumex.com/collections/montacargas-manual?srltid=AfmBOoqDAmGbx5c4a_XuL7nvj9-87wZ3RErID3jSpXwKm2bH_pC-z1cx

A) Condiciones de funcionamiento:

Se tiene 3 pulsadores de llamada para el nivel 1, nivel 2 y el nivel 3 (N1, N2, N3).

Se tiene 3 fines de carrera que indican la ubicación del montacargas en los niveles 1, 2 y 3 (L1, L2, L3). Al accionar cualquiera de los 3 pulsadores, el montacargas se desplazará inmediatamente hasta ubicarse en el nivel del que ha sido requerido.

B) Procedimiento de solución de la tarea con HIL

1. Se detalla condiciones de operación:

El sistema de control opera de la siguiente forma:

- El sistema está en standby
- Al accionar el mando, la botonera pulsada determina el nivel destino del montacargas
- El cilindro es de doble acción con fines de carrera
- Al llegar al nivel destino el montacargas se detiene y queda en standby

2. Determinación de elementos de entrada / salida

Como elementos captadores tenemos:

- Una botonera de requerimiento de nivel 1 (NA)
- Una botonera de requerimiento de nivel 2 (NA)
- Una botonera de requerimiento de nivel 3 (NA)
- Un fin de carrera indicador nivel 1 (NA)
- Un fin de carrera indicador nivel 2 (NA)
- Un fin de carrera indicador nivel 3 (NA)

Como elementos actuadores tenemos:

- Accionamiento de subida, Electroválvula A+
- Accionamiento de bajada, Electroválvula A-

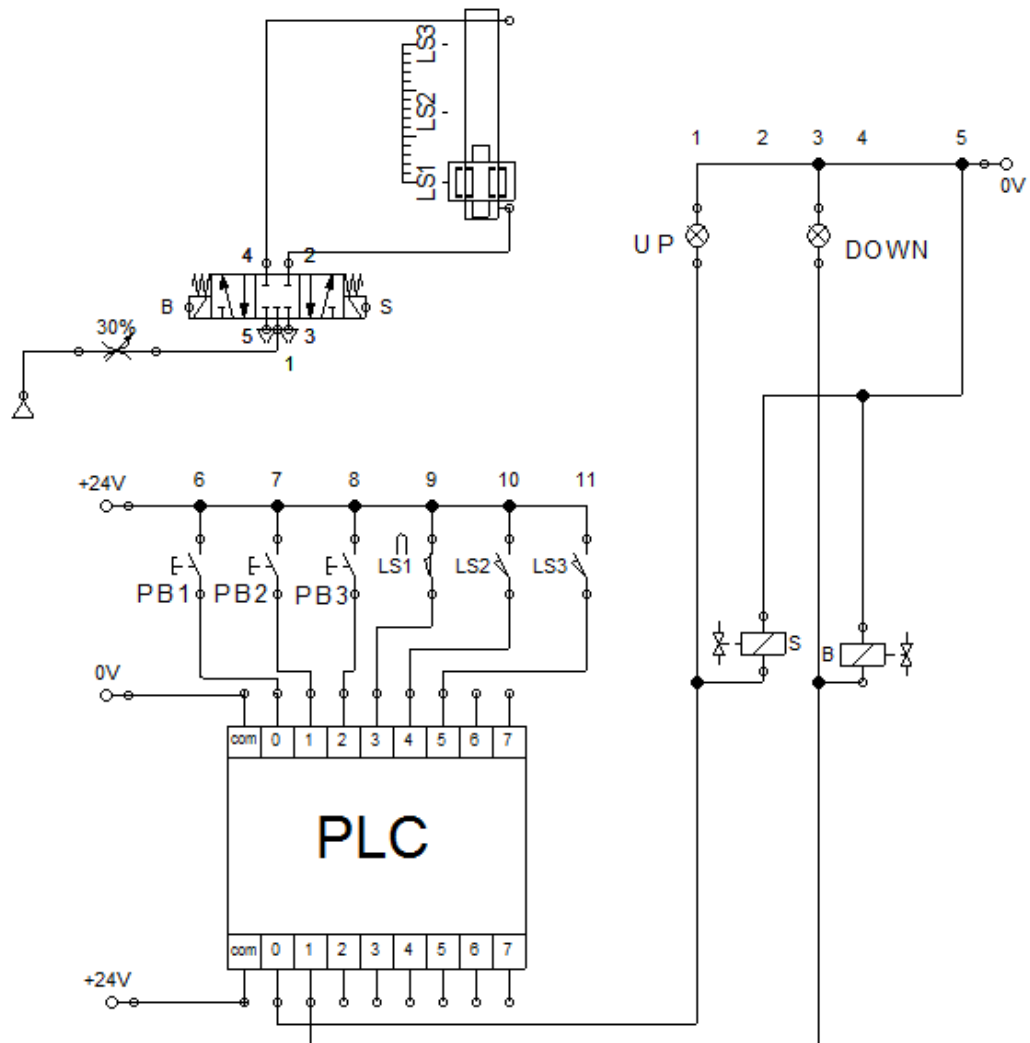
3. Etiquetamos los actuadores y captadores del sistema

- **PB:1** Una botonera de requerimiento de nivel 1 (NA)
- **PB2:** Una botonera de requerimiento de nivel 2 (NA)

- **PB3:** Una botonera de requerimiento de nivel 3 (NA)
 - **LS1:** Un fin de carrera indicador nivel 1 (NA)
 - **LS2:** Un fin de carrera indicador nivel 2 (NA)
 - **LS3:** Un fin de carrera indicador nivel 3 (NA)
 - **UP:** Accionamiento de subida, Electroválvula A+
 - **DOWN:** Accionamiento de bajada, Electroválvula A-
4. Realizamos el diagrama eléctrico de conexión Actuador/Sensor – PLC como se muestra en la figura 2:

Figura 2

Circuito eléctrico de control con PLC

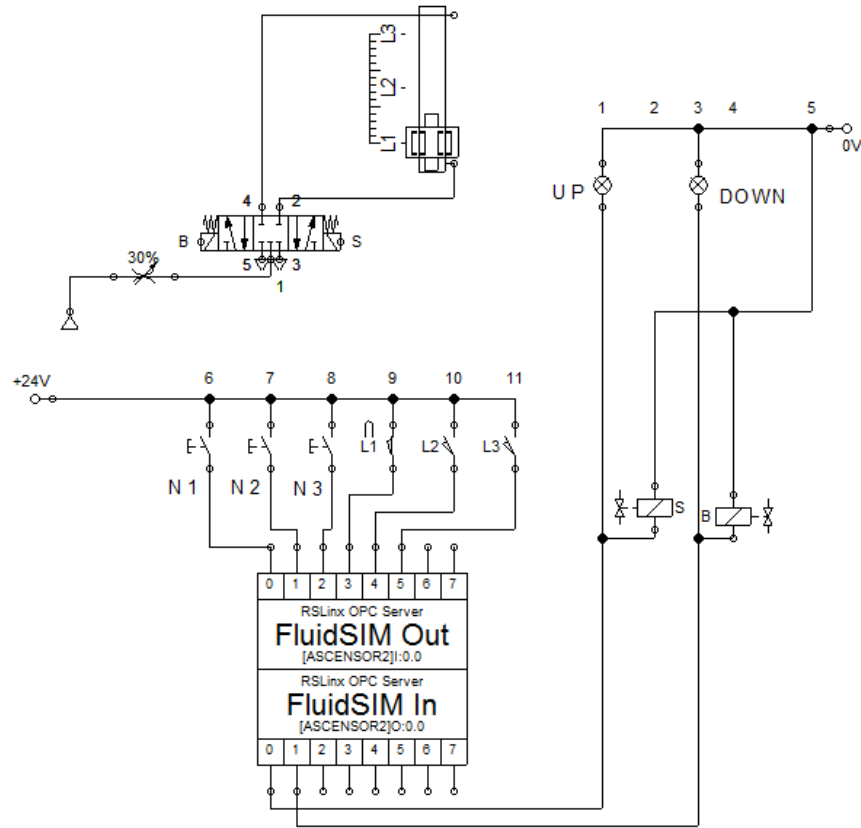


Nota. Captura de pantalla de *FluidSIM®*, de *Festo Didactic*.

5. En el entorno de desarrollo de Fluidsim se realiza el diagrama electroneumático que se muestra en la figura 3:

Figura 3

Circuito de control con puertos de E/S OPC

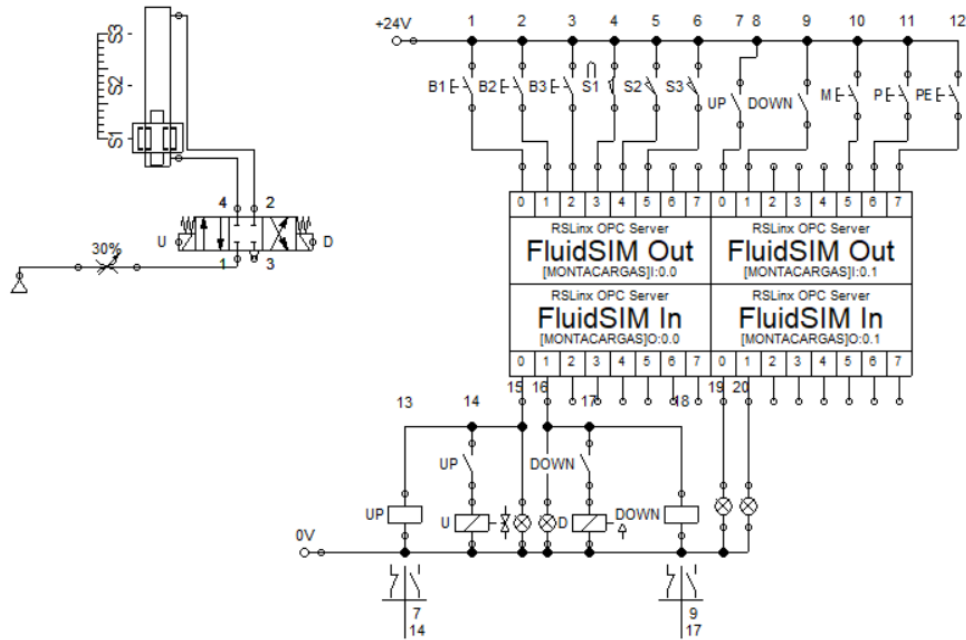


Nota. Captura de pantalla de FluidSIM®, de Festo Didactic.

- Se debe de notar que los 3 pulsadores de nivel y los 3 fines de carrera están conectados a un puerto de salida Fluidsim con N1, N2, N3, L1, L2 y L3 en las posiciones 0,1,2,3,4 y 5 respectivamente del puerto FluidSIM Out.
- También observar que los solenoides S y B están conectados en las posiciones 0 y 1 respectivamente de un puerto de entrada FluidSIM In
- Como paso final añadimos 2 puertos de E/S adicionales que servirán para labores de control de falla segura y monitoreo, como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Circuito eléctrico de control completo con puertos E/S



Nota. Captura de pantalla de FluidSIM®, de Festo Didactic.

6. Realizamos la construcción del algoritmo o el diagrama de flujo

En este caso realizamos un Algoritmo basado en operaciones de 16 bits expresando el arreglo binario como se muestra en la figura 5 y el diagrama de flujo como se muestra en la figura 6:

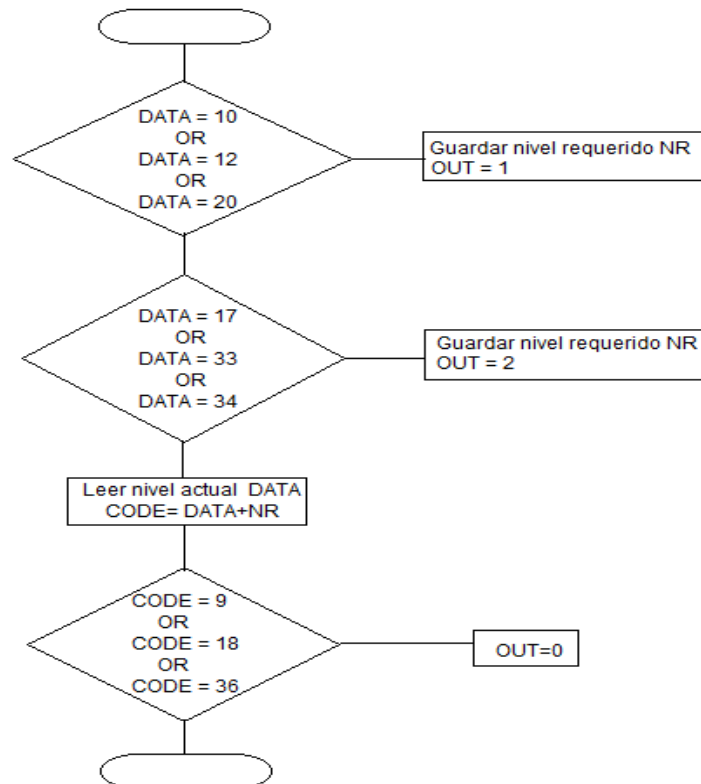
Figura 5
Representación binaria de E/S para desarrollo del algoritmo de control

DATA Canal de entrada I:0							Canal de salida O:0		
Valor decimal	LS3 Bit 5	LS2 Bit 4	LS1 Bit 3	PB3 Bit 2	PB2 Bit 1	PB1 Bit 0	DOWN Bit 1	UP Bit 0	OUT Valor decimal
9	0	0	1	0	0	1	0	0	0
10	0	0	1	0	1	0	0	1	1
12	0	0	1	1	0	0	0	1	1
17	0	1	0	0	0	1	1	0	2
18	0	1	0	0	1	0	0	0	0
20	0	1	0	1	0	0	0	1	1
33	1	0	0	0	0	1	1	0	2
34	1	0	0	0	1	0	1	0	2
36	1	0	0	1	0	0	0	0	0

Nota. Elaboración propia.

Luego el diagrama de flujo de acuerdo a estos resultados será:

Figura 6
Diagrama de flujo del algoritmo de control



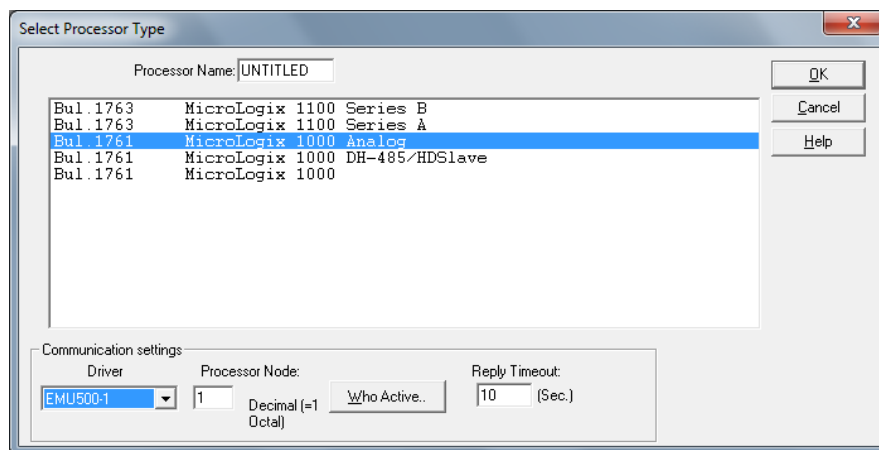
Nota. Elaboración propia.

7. Detallamos las etiquetas utilizadas
 - **DATA:** Canal de entrada
 - **OUT:** Canal de salida
 - **NR:** Nivel requerido
 - **CODE:** Palabra de control
8. Ahora pasamos a desarrollar la parte correspondiente al uso del RS Logix 500, primero configuramos el PLC a utilizar con sus parámetros de comunicación:

Se elige de acuerdo al código introducido (Bul 1761), el tipo de PLC (Micrologix 1000 Analog) el driver utilizado en la comunicación entre la PC y el PLC (EMU500), el nudo del procesador (1) y el tiempo de espera de respuesta (10 segundos), tal como como se detalla en la figura 7:

Figura 7

Configuración del procesador del PLC



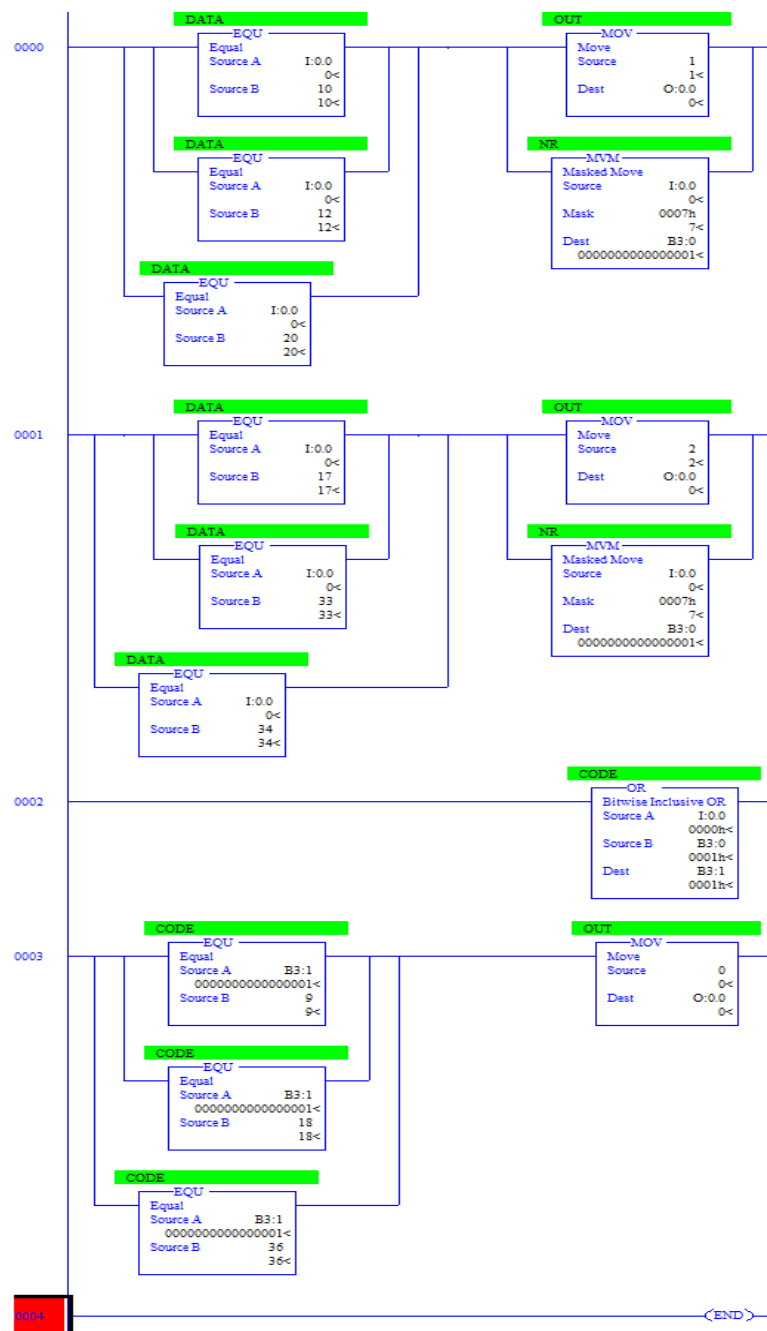
Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

9. Introducimos el programa de acuerdo al diagrama de flujo

En la plataforma del RS Logix Micro, realizamos el programa de control (figura 8) utilizando los comandos avanzados de secuencia, transferencia y comparación.

Figura 8

Programa de control del PLC



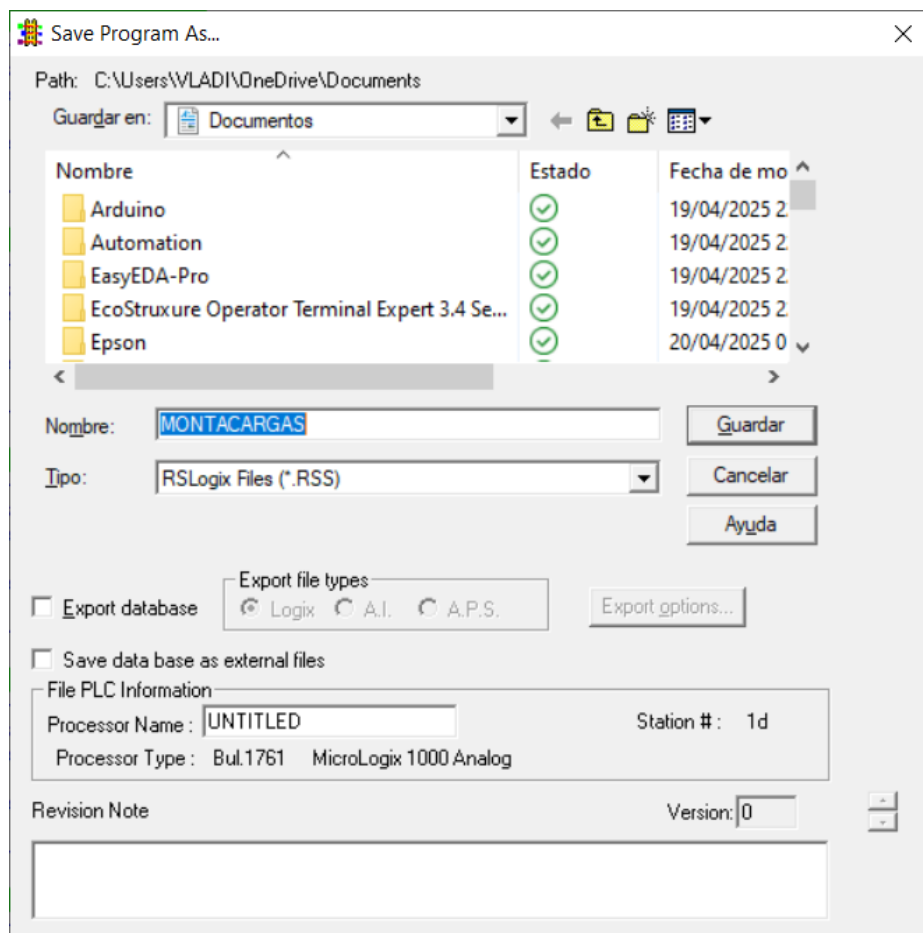
Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

Para el programa se debe utilizar el módulo de entrada I, en las posiciones 0,1,2,3,4,5 para N1, N2, N3, L1, L2 y L3, respectivamente. También se debe utilizar el módulo de salida O, en las posiciones 0 y 1 para S y B respectivamente. El programa terminado es el siguiente:

10. Una vez que se ha terminado el programa pasamos a descargarlo al PLC, en este punto se debe de utilizar el RS Emulate que simulara un PLC conectado, damos el nombre al programa de control como Montacargas tal como como se detalla en la figura 9:

Figura 9

Ventana para grabación de programa de control del PLC

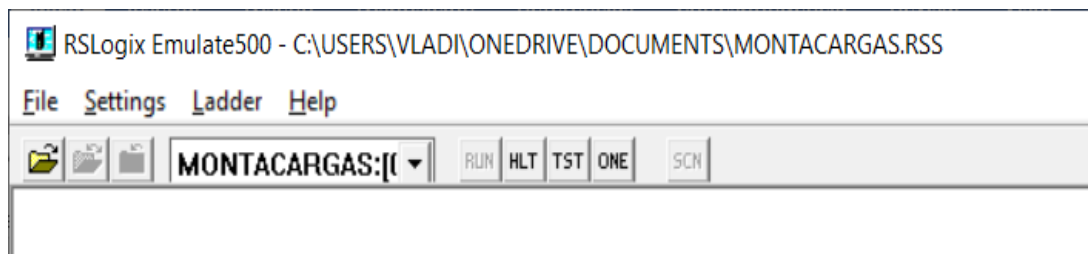


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

11. Una vez grabado el programa, se debe de activar la herramienta RS Logix Emulate 500, aquí desde file se debe de abrir el programa grabado con el nombre Montacargas, esta herramienta de software (figura 10) en realidad sólo debe de permanecer activa con el programa de control cargado internamente, la herramienta de software entonces, simulara al tipo de PLC seleccionado con el programa de control.

Figura 10

Ventana del RSlogix Emulate

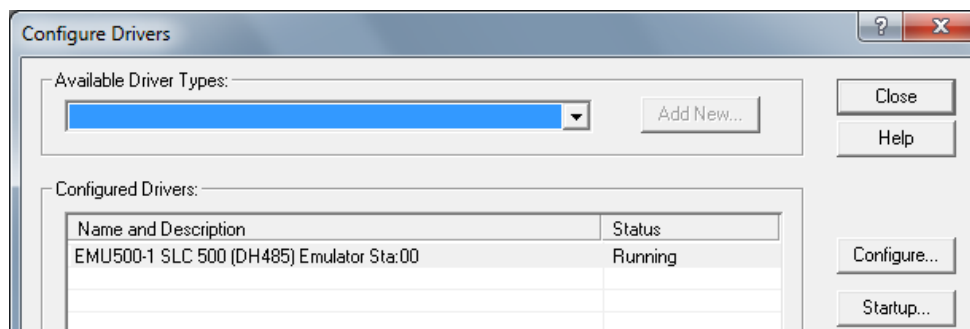


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

12. Luego se debe de activar el RS Linx Classic Gateway debe de configurarse el driver del emulador en este caso EMU500, tal como como se muestra en la figura 11:

Figura 11

Ventana de configuración del driver de comunicación en RSLinx Classic Gateway

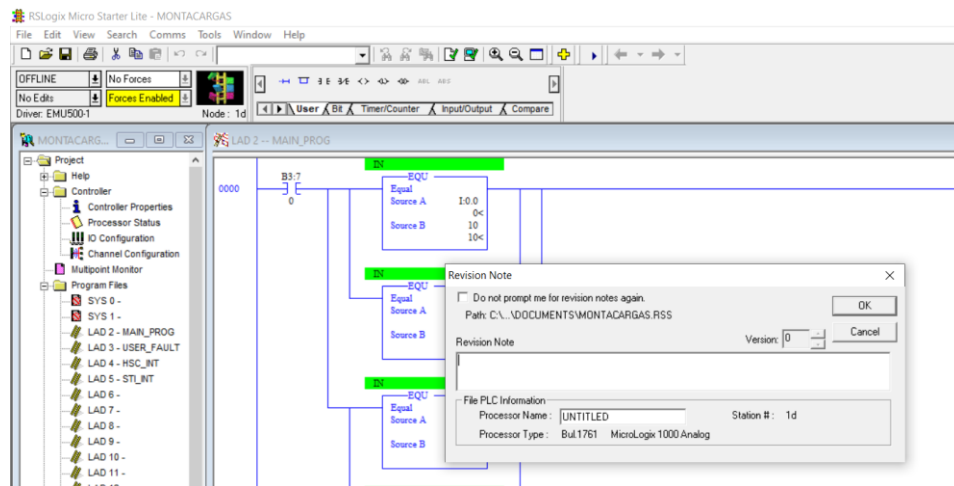


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

13. Luego se descarga el programa en el emulador, utilizando la opción correspondiente tal como como se detalla en la figura 12:

Figura 12

Ventana de descarga del programa de control del PLC

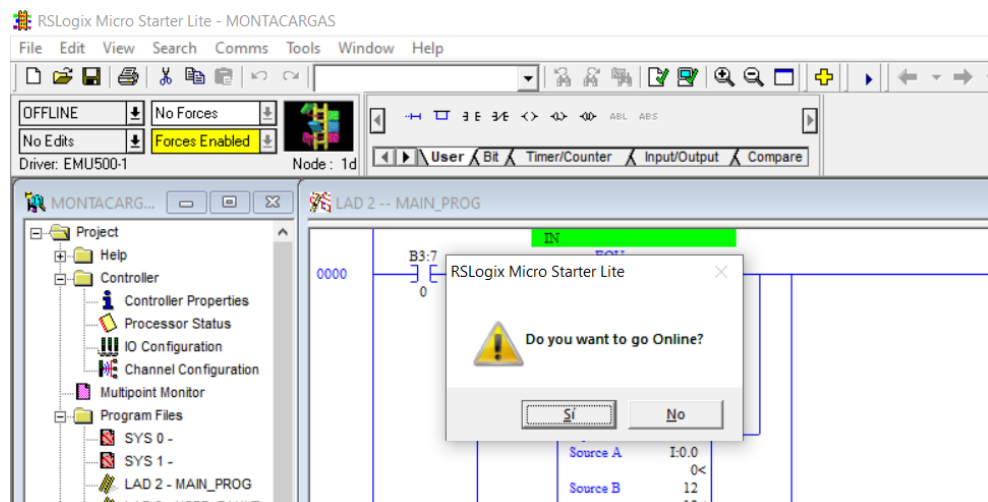


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

14. Luego de la descarga se coloca al sistema en línea eligiendo la opción tal como se muestra en la figura 13:

Figura 13

Ventana de puesta en línea del programa de control del PLC

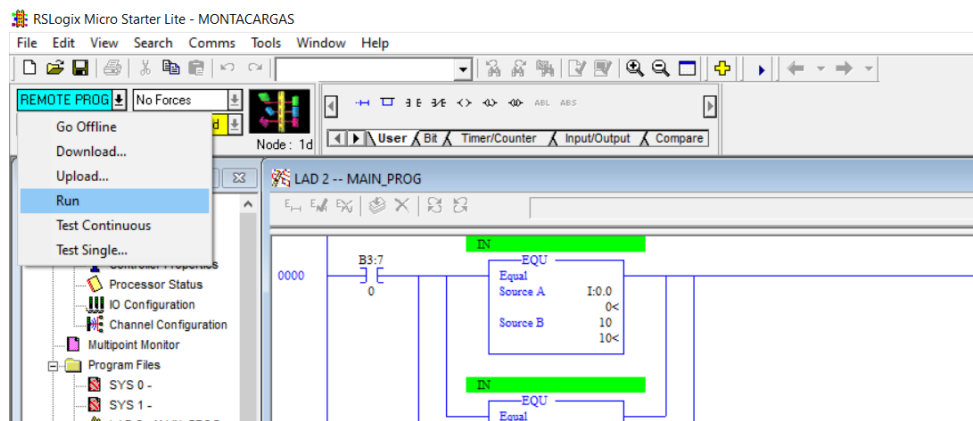


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

15. Luego se pasa al procesador a modo RUN desde el menú desplegable mostrado en la figura 14:

Figura 14

Ventana para colocar al PLC en modo RUN

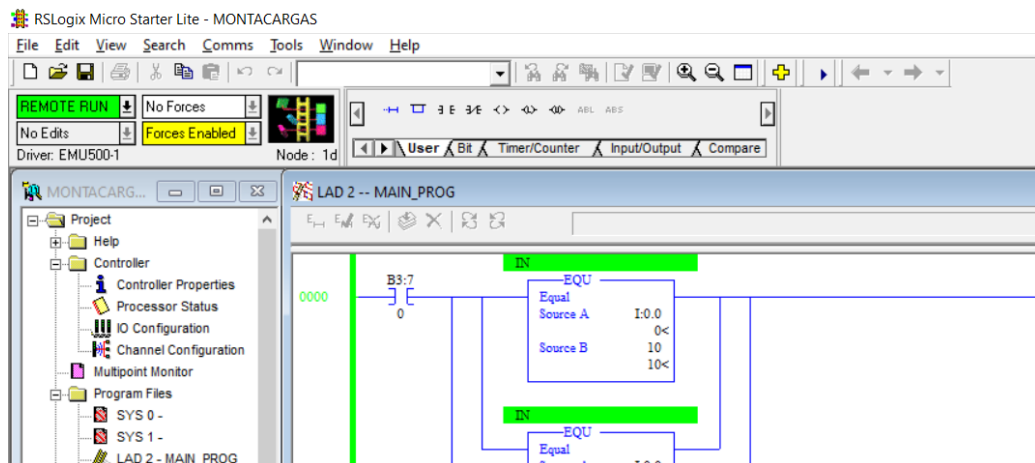


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

16. Ahora el programa está corriendo en el emulador que simula un PLC físico, el programa debe visualizarse con las líneas verticales del programa en ladder de color verde tal como se aprecia en la figura 15.

Figura 15

Ventana del modo de ejecución del programa de control del PLC

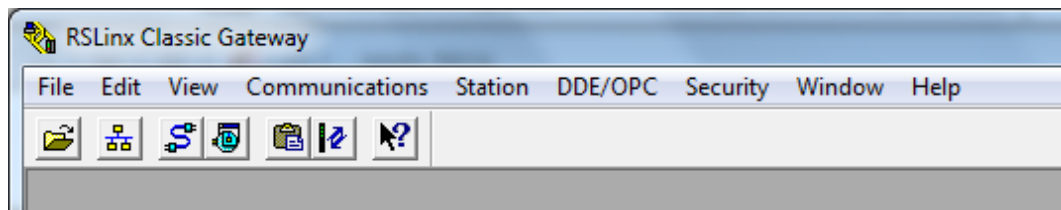


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

17. Ahora pasaremos a configurar el RS Linx Gateway para su trabajo con el OPC, sobre su barra de herramientas (figura 16) hacemos clic en DDE/OPC

Figura 16

Ventana de selección del modo DDE/OPC del RSLinx Gateway

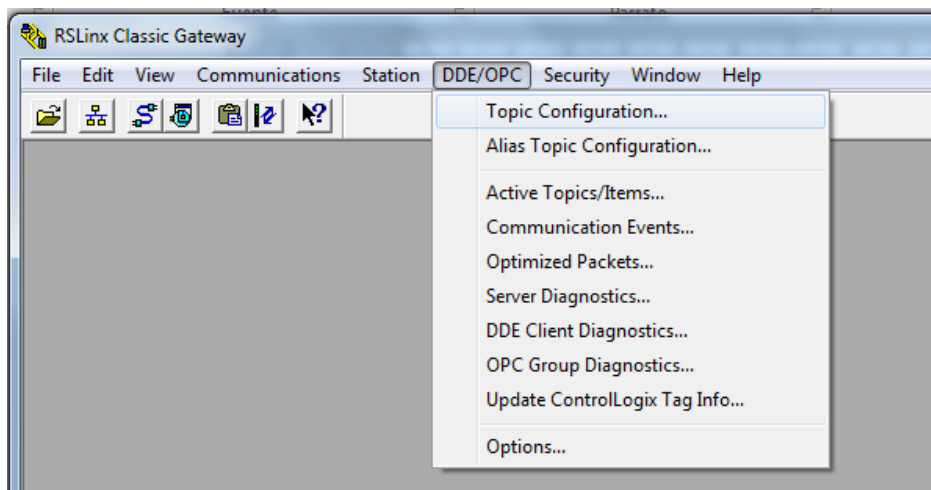


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

18. Ahora tenemos un menú contextual de los datos dinámicos OPC (figura 17), hacemos clic en DD/OPC Topic Configuration

Figura 17

Ventana de acceso a topic Configuration de RSLinx Gateway

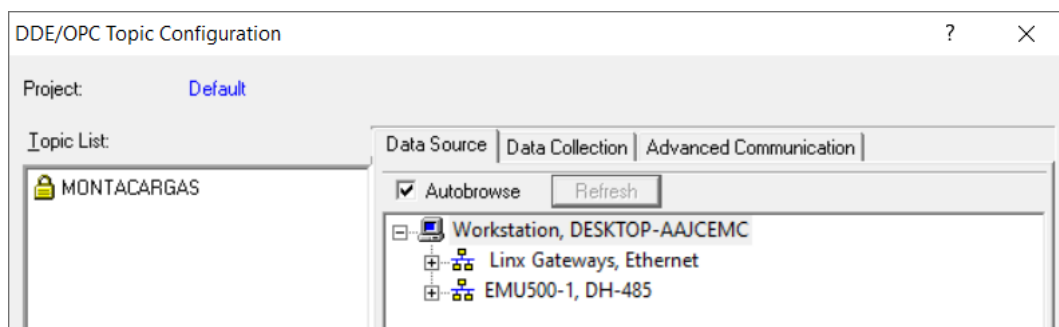


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

19. Aparece la ventana de DDE/OPC Topic Configuration, seleccionamos la aplicación que ya está corriendo el PLC que es Montacargas como se aprecia en la figura 18.

Figura 18

Configuración en Topic Configuration de RSLinx Gateway

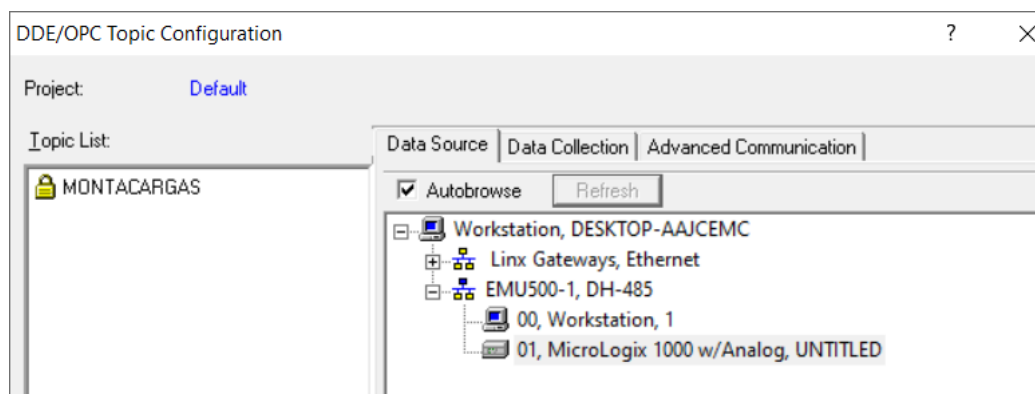


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

20. Seleccionamos Data Source y desplegamos el árbol de navegación eligiendo como fuente de datos el PLC Micrologix 1000 que fue el seleccionado como se aprecia en la figura 19.

Figura 19

Ventana de configuración de la fuente de datos en RSLinx Gateway

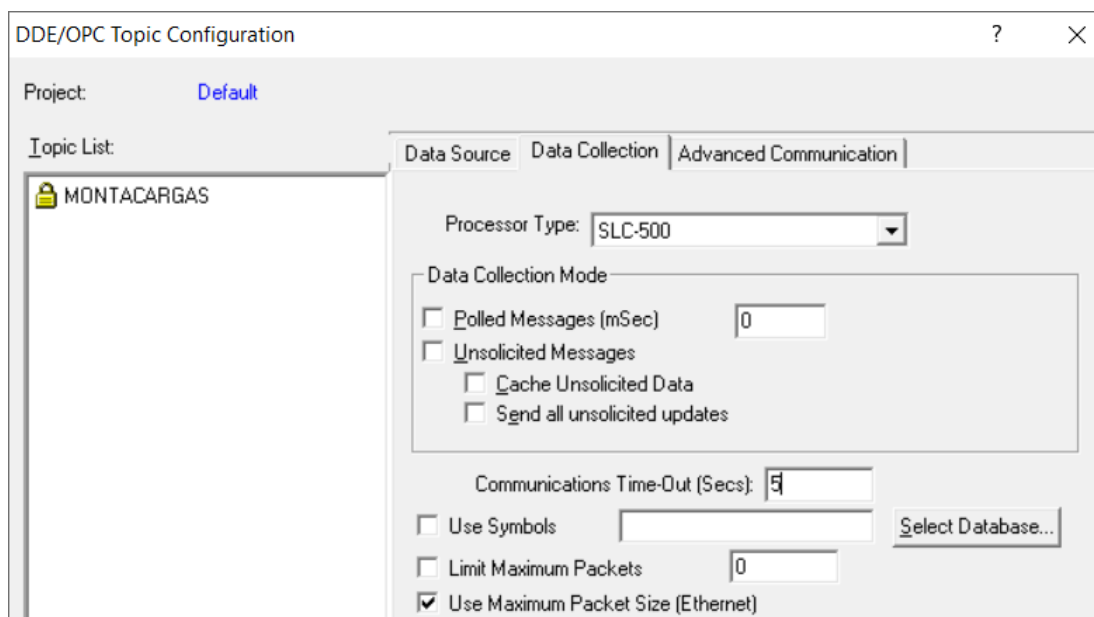


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

21. Luego seleccionamos Data Collection, y ahí seleccionar el Tipo de Procesador como SLC 500, hacer clic posteriormente en Apply como se muestra en la figura 20.

Figura 20

Ventana de configuración de la colección de datos en RSLinx Gateway

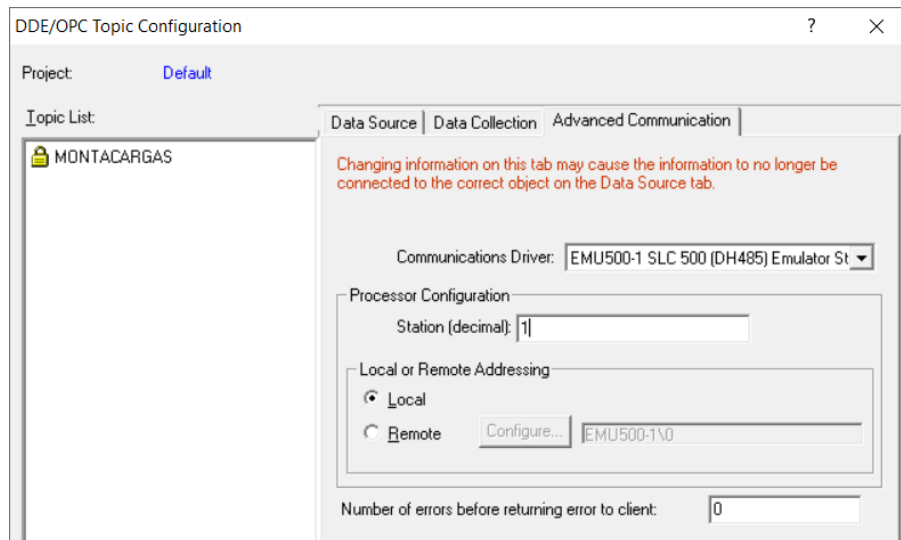


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

22. Luego seleccionamos Advance Communication y elegimos el driver de comunicación EMU 500 SLC 500 (DH485) y la estación del procesador con el número 1 como se indica en la figura 21, que es el mismo número asignado cuando se empezó a configurar el procesador al inicio de realizar el programa, posteriormente a ello, hacer clic en Apply y luego en Done.

Figura 21

Ventana de configuración avanzada de comunicación en RSLinx Gateway



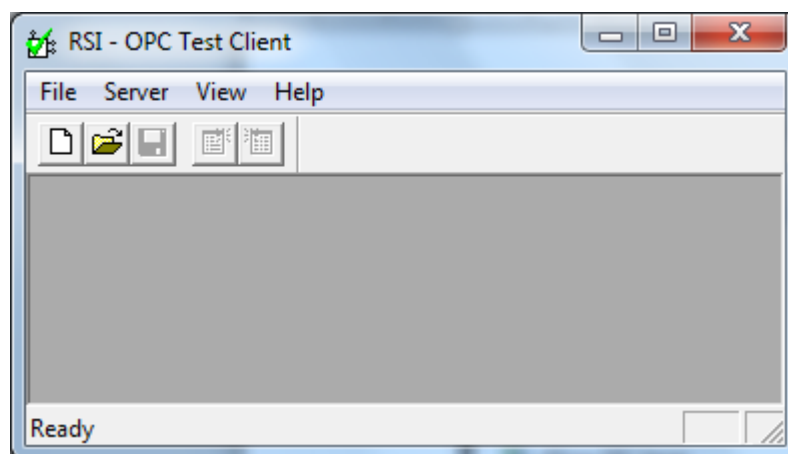
Nota.

Captura de pantalla de *RSLogix 500®*, de *Rockwell Automation*.

23. Luego minimizamos la ventana del RS Linx Gateway y pasamos a utilizar la herramienta complementaria denominada OPC Test Client (figura 22), que está en el grupo de módulo de Rockwell Automation.

Figura 22

Ventana de configuración de OPC Test Client

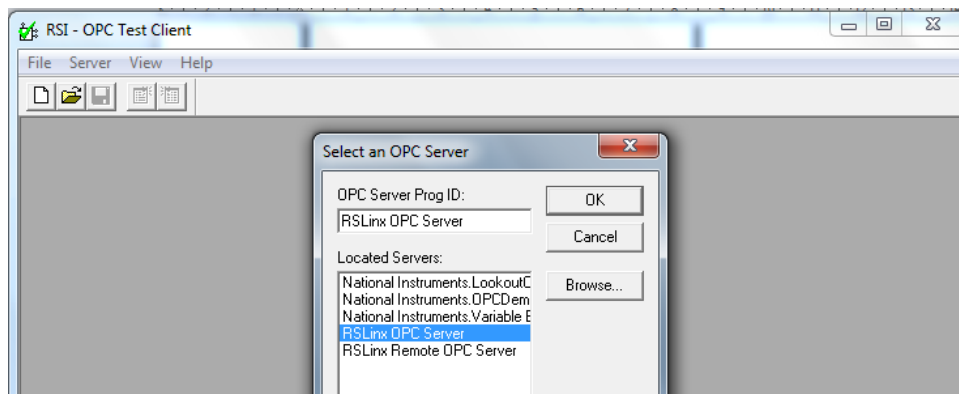


Nota. Captura de pantalla de *RSLogix 500®*, de *Rockwell Automation*.

24. Haciendo clic en File creamos una nueva aplicación y en la ventana emergente seleccionamos RSLinx OPC Server (figura 23), luego presionamos en OK

Figura 23

Ventana de selección del servidor en OPC Test Client

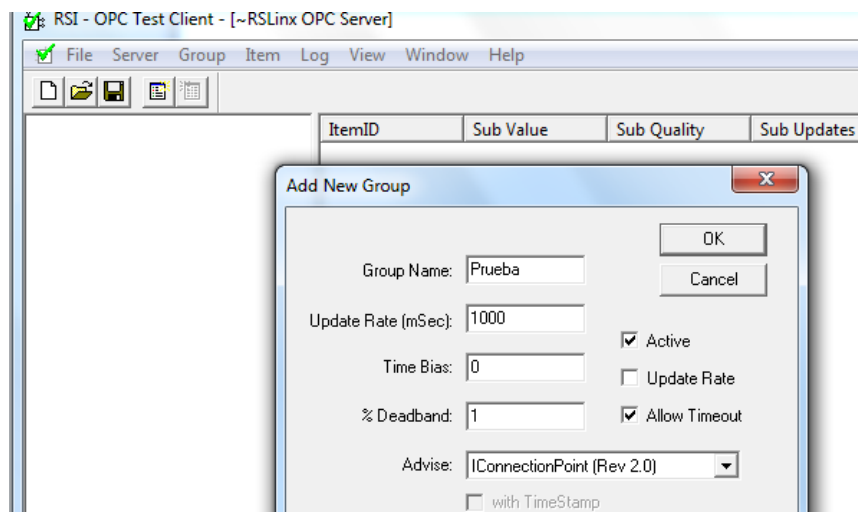


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

25. Luego añadimos un grupo y le asignamos un nombre, en este caso Prueba como se muestra en la figura 24, hacemos clic en OK

Figura 24

Ventana de creación de grupo de comunicación en OPC Test Client

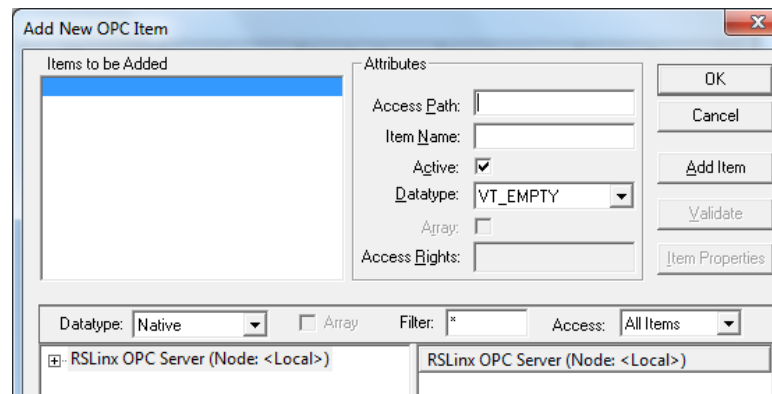


Nota. . Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

26. Luego añadimos un ítem y aparece la ventana para adicionar elementos OPC (figura 25):

Figura 25

Ventana de adición de elementos en OPC Test Client

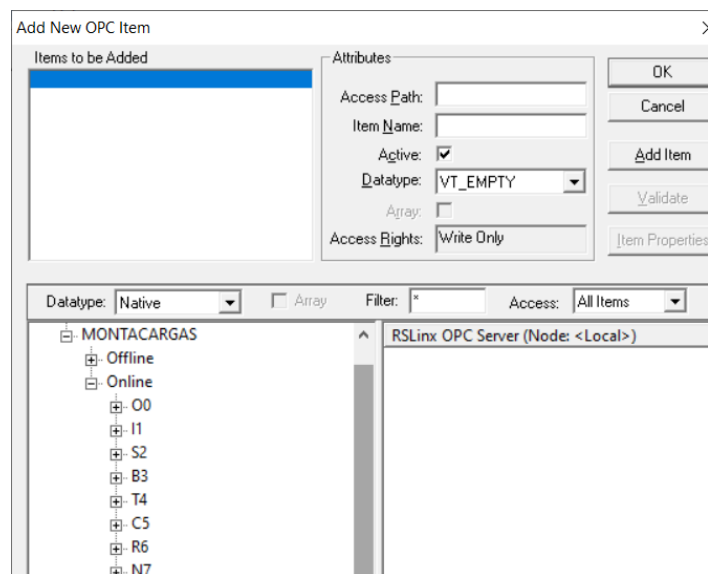


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

27. En el cuadro inferior de la ventana emergente para añadir elementos OPC (figura 26), en el sector inferior izquierdo, del árbol de RSLinx OPC Server

Figura 26

Selección de elementos en OPC Test Client

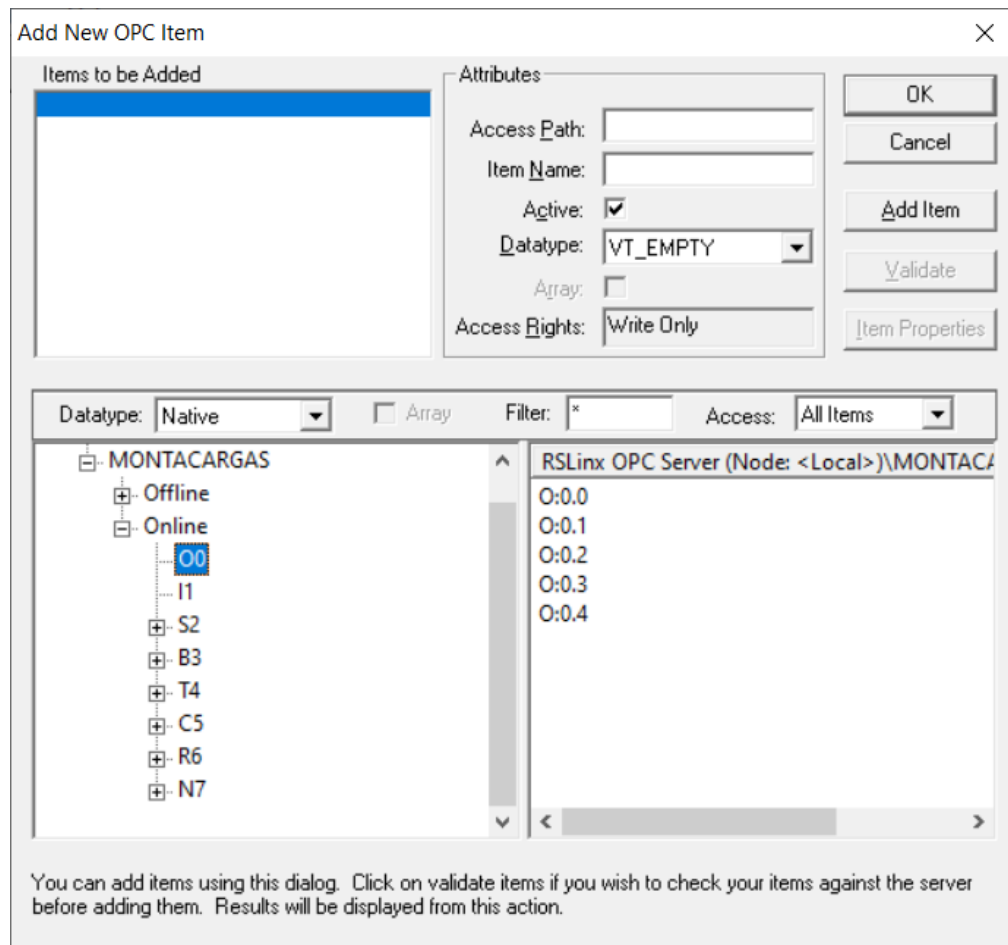


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

28. En esta parte del direccionamiento debemos seleccionar que área de datos queremos compartir vía OPC, en el caso del programa ejemplo, se debe compartir las áreas de datos correspondientes a las entradas I y las salidas O, el PLC seleccionado al inicio era un Micrologix 1000 Analógico y este tiene varios módulos de entrada y salida. Primero hacemos clic en la salida O0 y en la ventana de la derecha aparece todos los canales disponibles (figura 27), en nuestro caso estamos utilizando para el ejemplo el canal O:0.0

Figura 27

Selección de todas las áreas de datos en OPC Test Client

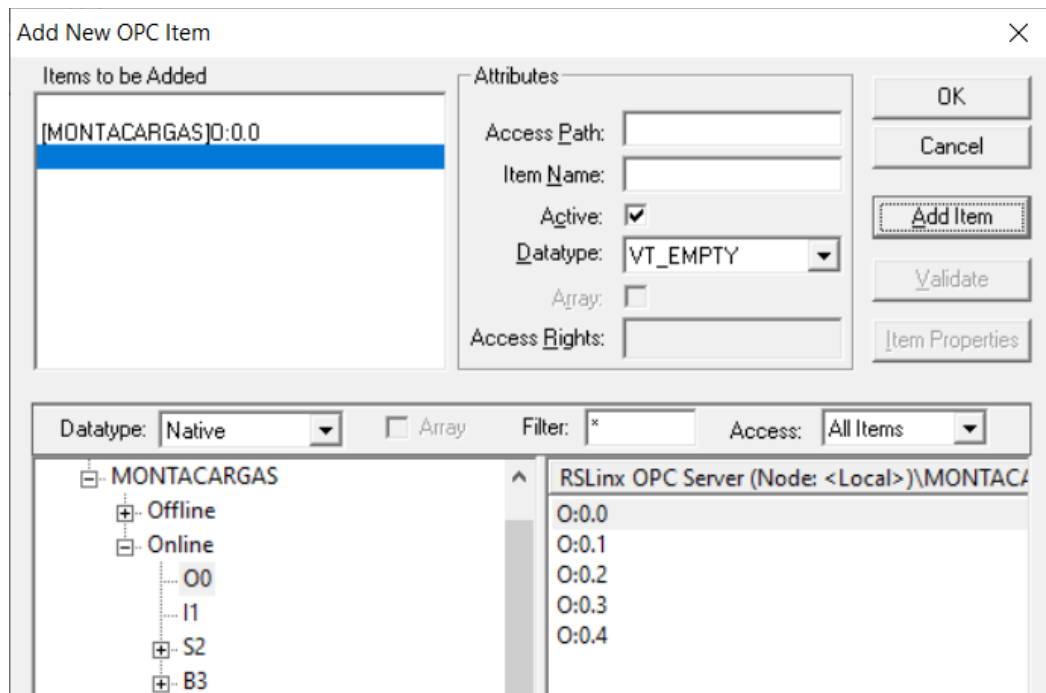


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

29. Seleccionamos el canal O:0.0 y hacemos clic en Add Item, vemos que se ha añadido en la ventana superior izquierda correspondiente a “Items to be Added” es decir ítems a ser añadidos como se muestra en la figura 28.

Figura 28

Selección de las áreas de datos de salida en OPC Test Client

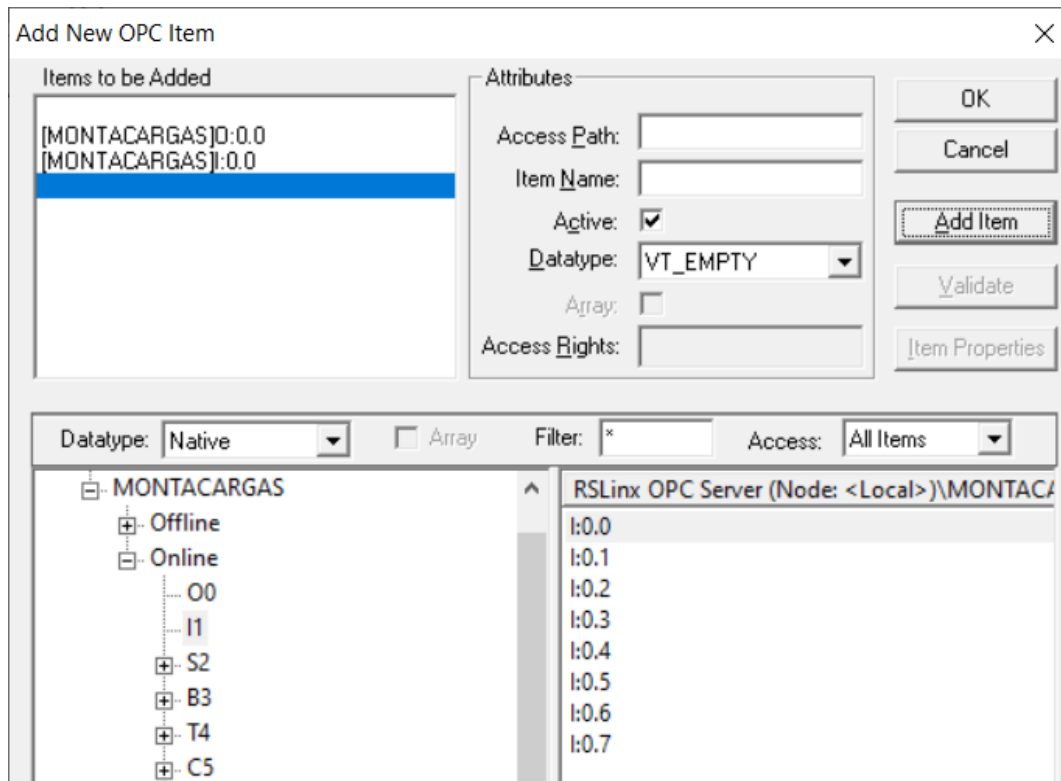


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

30. De la misma forma incluimos el canal de I0.0 y hacemos clic en OK tal como se aprecia en la figura 29.

Figura 29

Selección de las áreas de datos de entrada en OPC Test Client

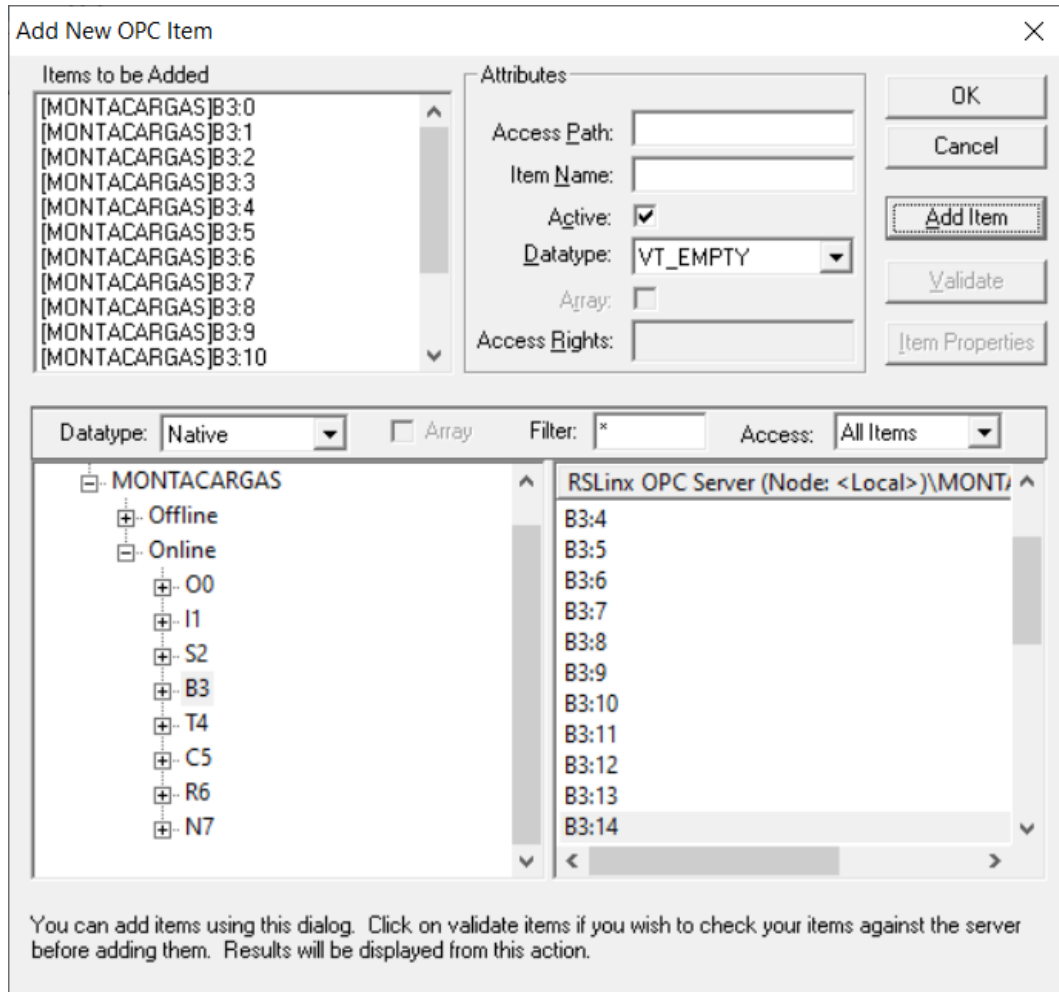


Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

31. De igual forma cargamos en la ventana correspondiente (figura 30), las direcciones de Bit.

Figura 30

Selección de las áreas de datos de bit en OPC Test Client



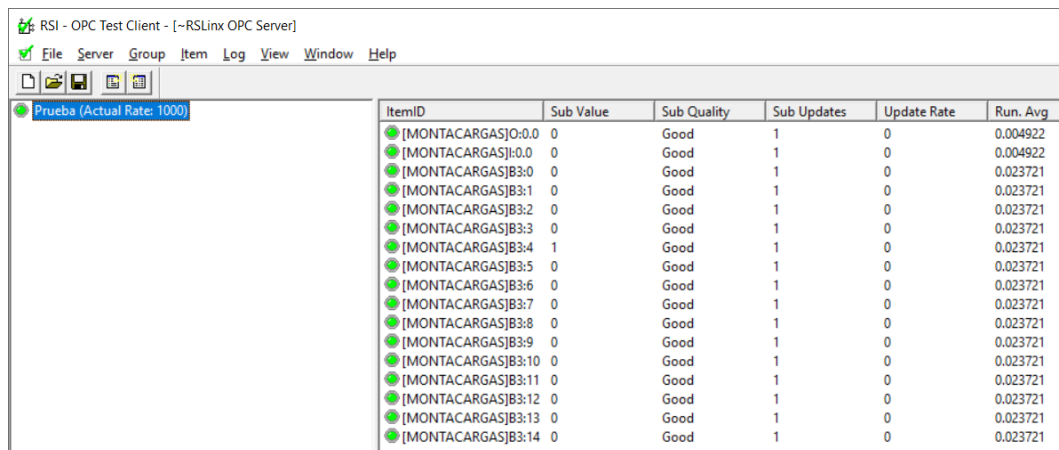
Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

32. Aparece entonces la ventana del OPC Test Client (figura 31) que indica que el procedimiento se ha realizado correctamente. Hasta este punto del procedimiento, se ha establecido que el programa que está ejecutándose en el RS Logix Micro va a compartir vía OPC la data correspondiente a los canales I0.0, O0.0 y marcas internas para monitoreo B:0-B:12, debe de aclararse que en el caso de I0.0 y O0.0 son canales de 16 bits referidas a las

entradas y salidas físicas del PLC Micrologix 1000 analógico. Terminar minimizando la ventana.

Figura 31

Visualización del estado final del enlace en OPC Test Client



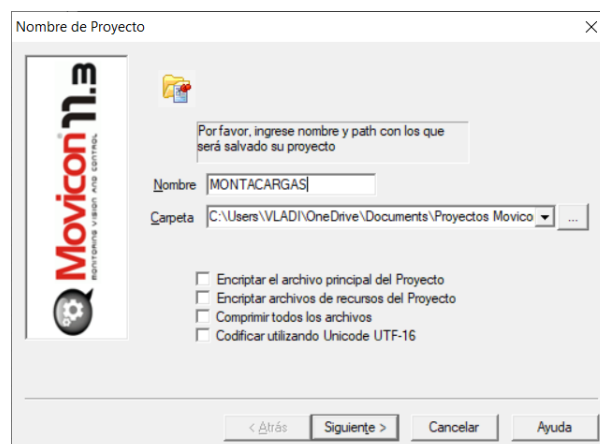
ItemID	Sub Value	Sub Quality	Sub Updates	Update Rate	Run. Avg
[MONTACARGAS]Q:0.0	0	Good	1	0	0.004922
[MONTACARGAS]I:0.0	0	Good	1	0	0.004922
[MONTACARGAS]B3:0	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:1	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:2	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:3	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:4	1	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:5	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:6	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:7	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:8	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:9	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:10	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:11	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:12	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:13	0	Good	1	0	0.023721
[MONTACARGAS]B3:14	0	Good	1	0	0.023721

Nota. Captura de pantalla de RSLogix 500®, de Rockwell Automation.

33. Luego se ingresa al software Movicon (figura 32) donde se implementará un HMI que sirva para visualizar el proceso en forma dinámica, se inicia creando una aplicación para dicho fin:

Figura 32

Ventana de creación de proyecto de monitoreo HMI



Nombre de Proyecto

Por favor, ingrese nombre y path con los que será salvado su proyecto

Nombre: MONTACARGAS

Carpeta: C:\Users\VLAD\OneDrive\Documents\Proyectos Movico

☐ Encriptar el archivo principal del Proyecto

☐ Encriptar archivos de recursos del Proyecto

☐ Comprimir todos los archivos

☐ Codificar utilizando Unicode UTF-16

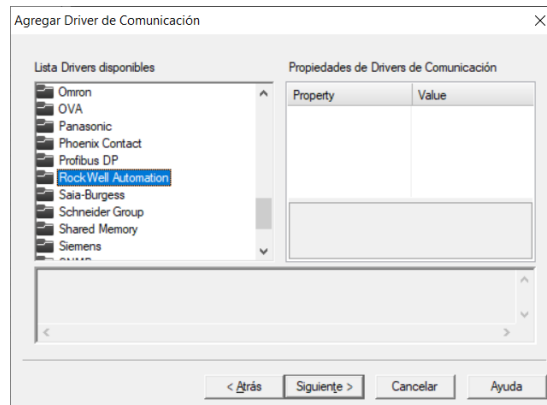
< Atrás Siguiente > Cancelar Ayuda

Nota. Captura de pantalla de Movicon, de Emerson Automation Solutions.

34. En la creación del proyecto se agrega el soporte para equipos de Rockwell Automation como se muestra en la figura 33.

Figura 33

Ventana de selección del driver del proyecto

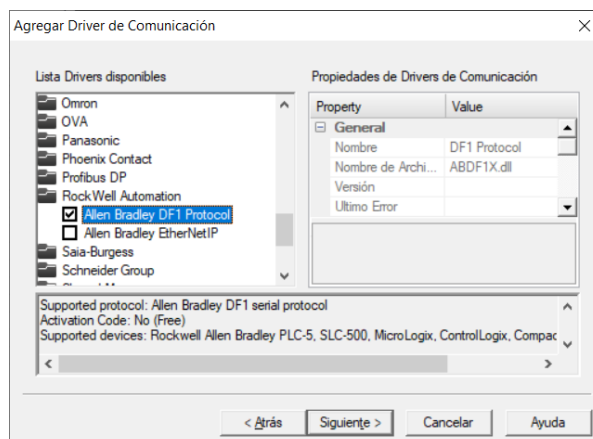


Nota. Captura de pantalla de *Movicon*, de *Emerson Automation Solutions*.

35. En la ventana para agregar drivers de comunicación (figura 34), se establece el driver de comunicación a utilizar, como el sistema será punto a punto entre la PC y el PLC, se utiliza el enlace para PLC Allen Bradley bajo el protocolo DF1

Figura 34

Selección del driver de Rockwell Automation en el proyecto

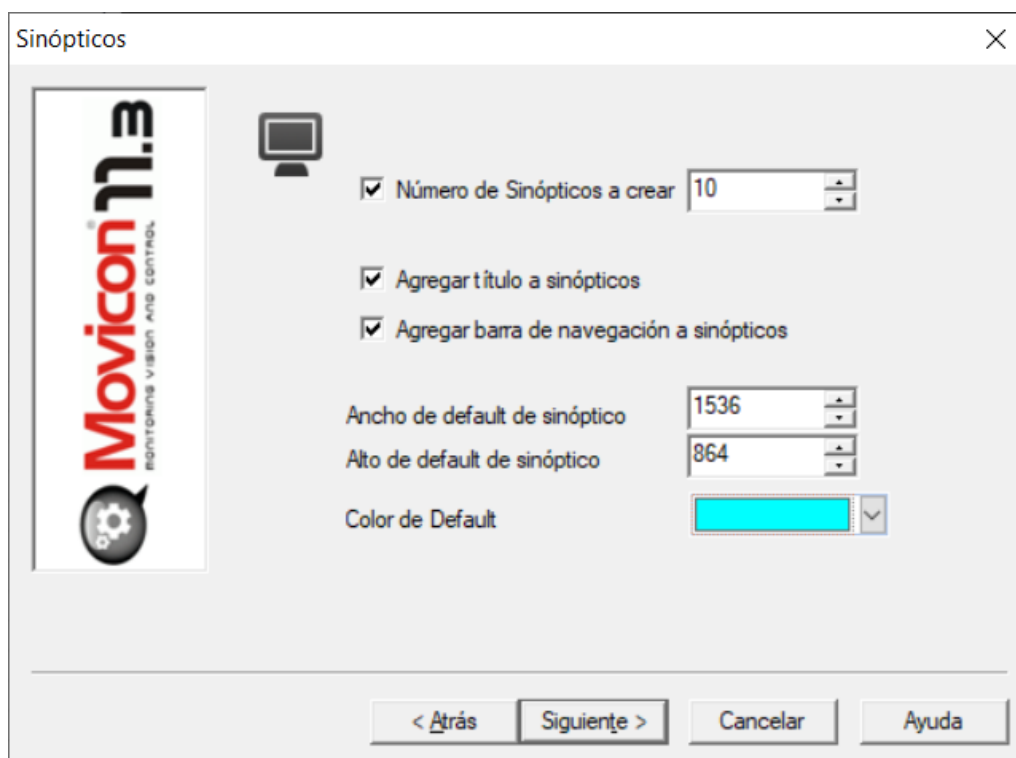


Nota. Captura de pantalla de *Movicon*, de *Emerson Automation Solutions*.

36. En la ventana de Sinópticos (figura 35), se continua con la determinación de los parámetros respecto a las pantallas dinámicas del proyecto, se determina el área del HMI y la cantidad límite de pantallas a utilizar.

Figura 35

Ventana de determinación de los sinópticos en proyecto

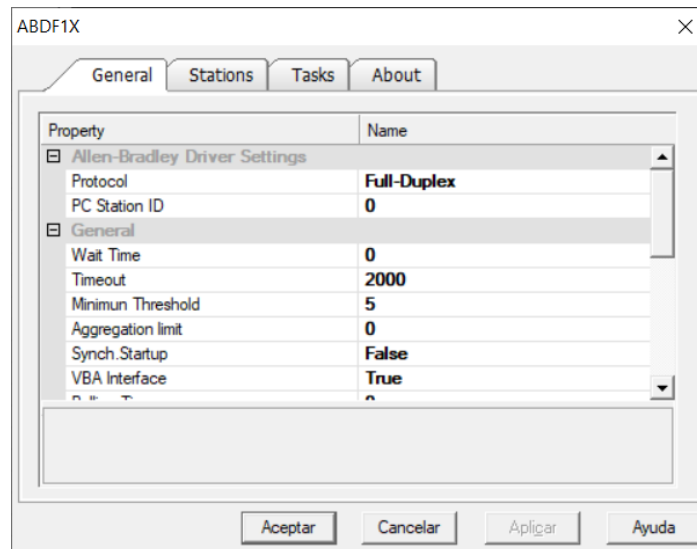


Nota. Captura de pantalla de *Movicon*, de *Emerson Automation Solutions*.

37. En la ventana del driver para el PLC Allen Bradley (figura 36), se configura el driver de comunicación AB DF1

Figura 36

Ventana de configuración del driver de comunicación del proyecto

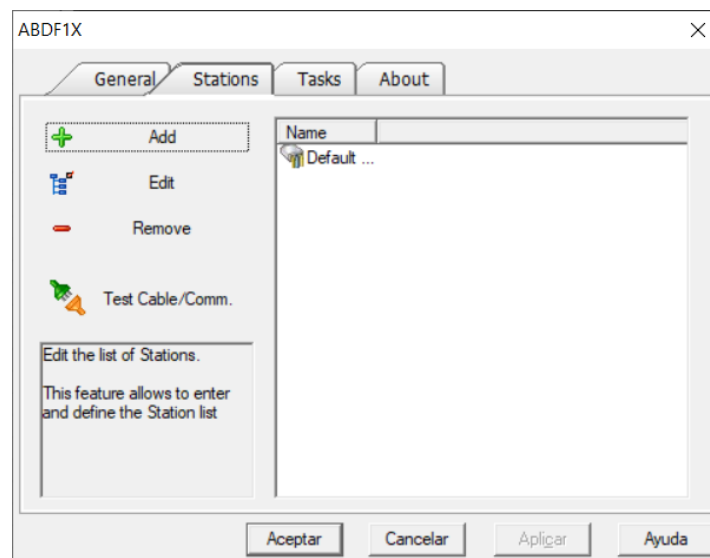


Nota. Captura de pantalla de *Movicon*, de *Emerson Automation Solutions*.

38. En la misma ventana se añade la estación de trabajo como se detalla en la figura 37.

Figura 37

Insertión del driver de Allen Bradley DF1 para el proyecto

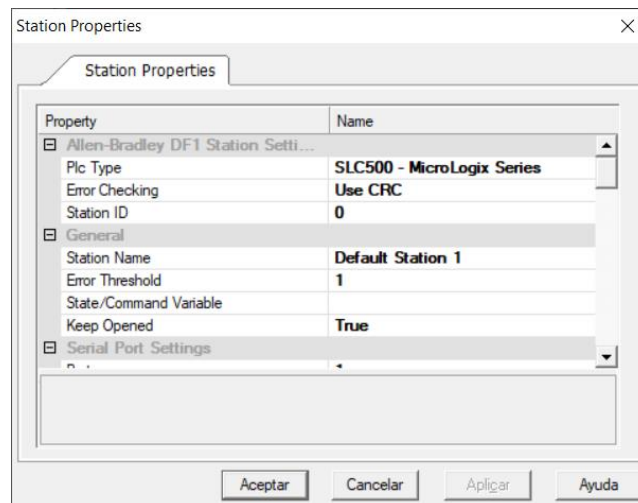


Nota. Captura de pantalla de *Movicon*, de *Emerson Automation Solutions*.

39. Se especifica el tipo de PLC, en este caso de la clase SLC500 – Micrologix series en la ventana del driver como se muestra en la figura 38.

Figura 38

Ventana de configuración de las propiedades de la estación del proyecto

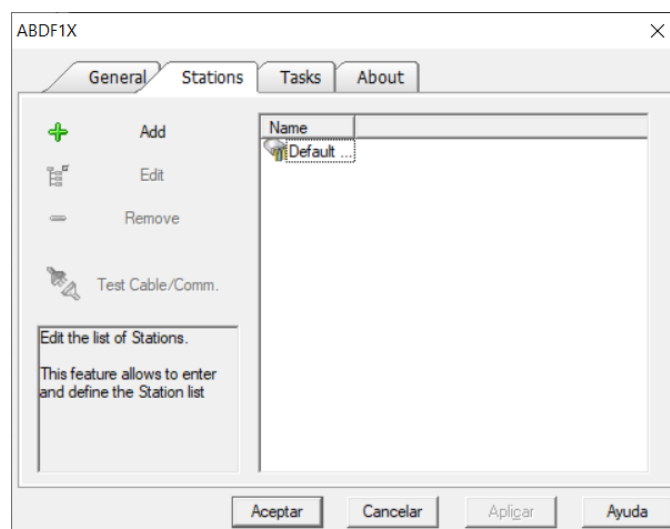


Nota. Captura de pantalla de Movicon, de Emerson Automation Solutions.

40. Se completa la configuración del driver eligiéndolo por defecto (figura 39).

Figura 39

Elección del driver en estado por defecto para el proyecto

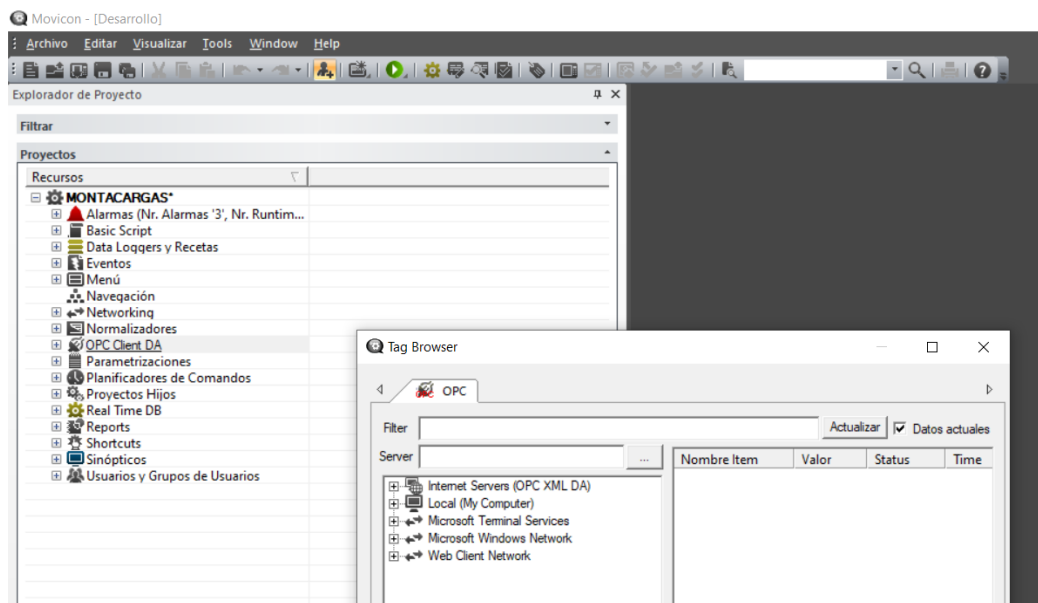


Nota. Captura de pantalla de Movicon, de Emerson Automation Solutions.

41. Una vez creado el proyecto, se apertura la ventana de trabajo en la que en primer término se ingresa y se agrega las variables OPC como se indica en la figura 40.

Figura 40

Ventana de ingreso de direcciones OPC al proyecto de monitoreo HMI

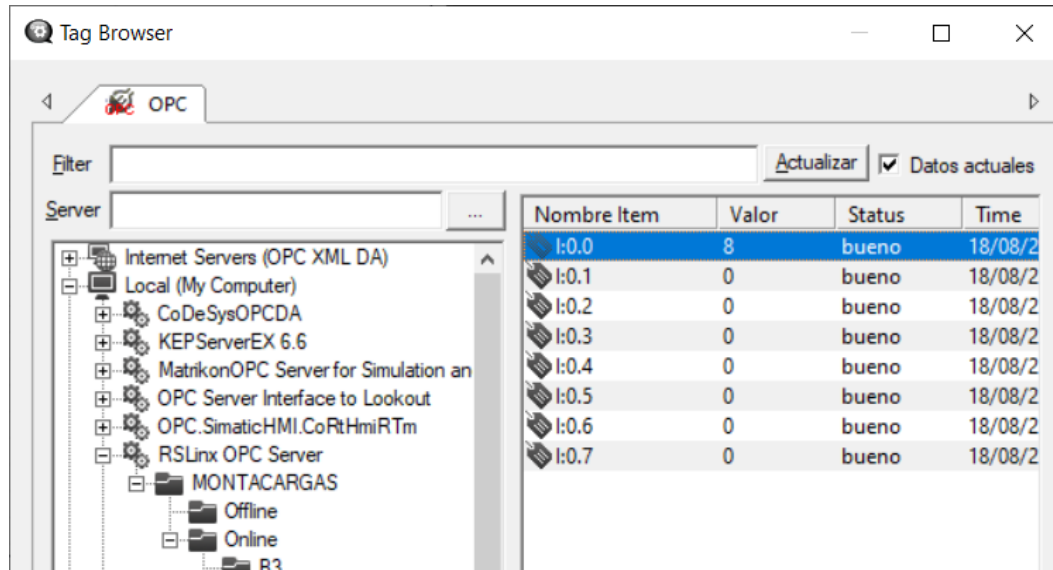


Nota. Captura de pantalla de *Movicon*, de *Emerson Automation Solutions*.

42. Se agregan y configuran las direcciones OPC que permitirá el intercambio de información entre RSLogix 500 y Movicon, tal como se indica en la figura 41, aquí se direcciona los canales de los módulos de entrada y salida del PLC además de las direcciones de bit o marcas internas PLC

Figura 41

Direcciones de E/S y de bit para monitoreo como direcciones OPC

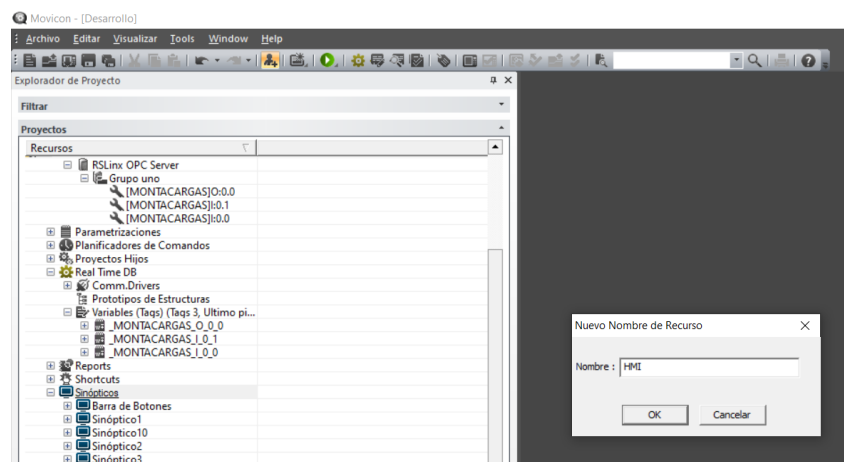


Nota. Captura de pantalla de Movicon, de Emerson Automation Solutions.

43. En el árbol del proyecto se crean variables que se utilizarán en el HMI, que se enlazan con las variables OPC agregadas previamente, esto se ilustra en la figura 42.

Figura 42

Inserción de variables internas para las direcciones OPC



Nota. Captura de pantalla de Movicon, de Emerson Automation Solutions.

44. En Sinópticos, se crea el HMI (figura 43) para monitoreo y control de la aplicación propuesta en la tarea y se deja listo para su utilización

Figura 43

Creación de la pantalla HMI para el monitoreo del montacargas

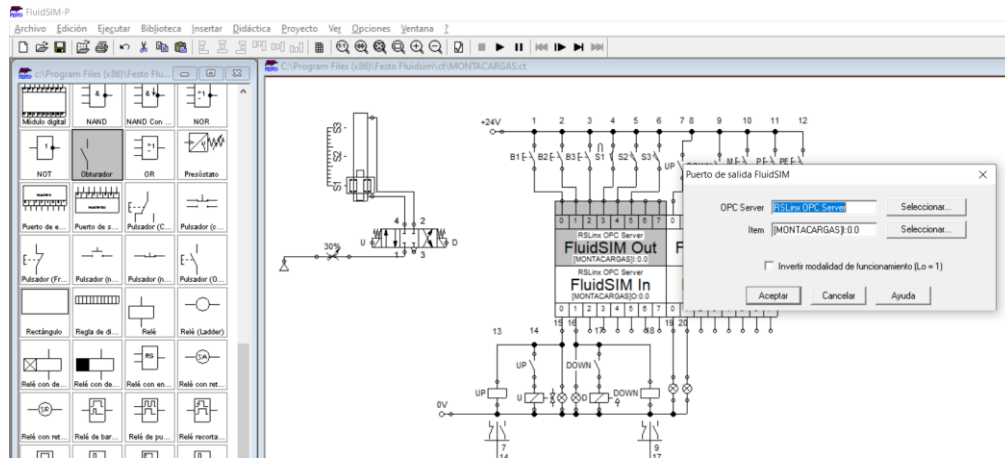


Nota. Captura de pantalla de *Movicon*, de *Emerson Automation Solutions*.

45. A continuación, pasamos a configurar el enlace OPC en el software Fluidsim, para esto en el diagrama ya realizado (figura 44), sobre el bloque del puerto de salida, hacemos doble clic.

Figura 44

Configuración del bloque Fluidsim Out para el enlace OPC

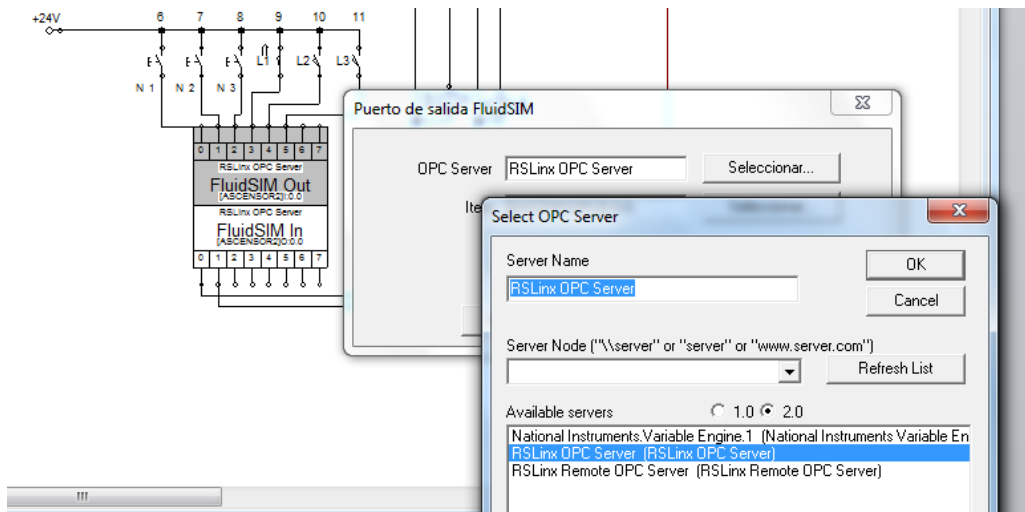


Nota. Captura de pantalla de *FluidSIM®*, de *Festo Didactic*.

46. En la ventana emergente para seleccionar el servidor OPC (figura 45), seleccionamos el servidor correspondiente, RSLinx OPC Server.

Figura 45

Selección del servidor para el enlace OPC

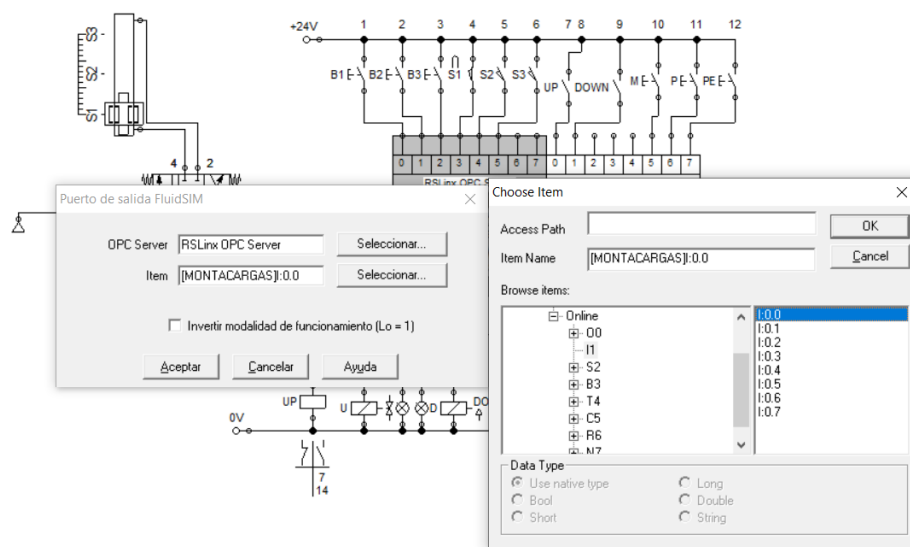


Nota. Captura de pantalla de *FluidSIM®*, de *Festo Didactic*.

47. Luego en la ventana para selección de ítems de intercambio por OPC (figura 46), seleccionamos la dirección de I0.0, fijarse en la ruta que se tiene que desplegar en Browse Item, luego hacemos clic en OK y aceptamos la configuración.

Figura 46

Selección de las direcciones de entrada del PLC para el enlace OPC

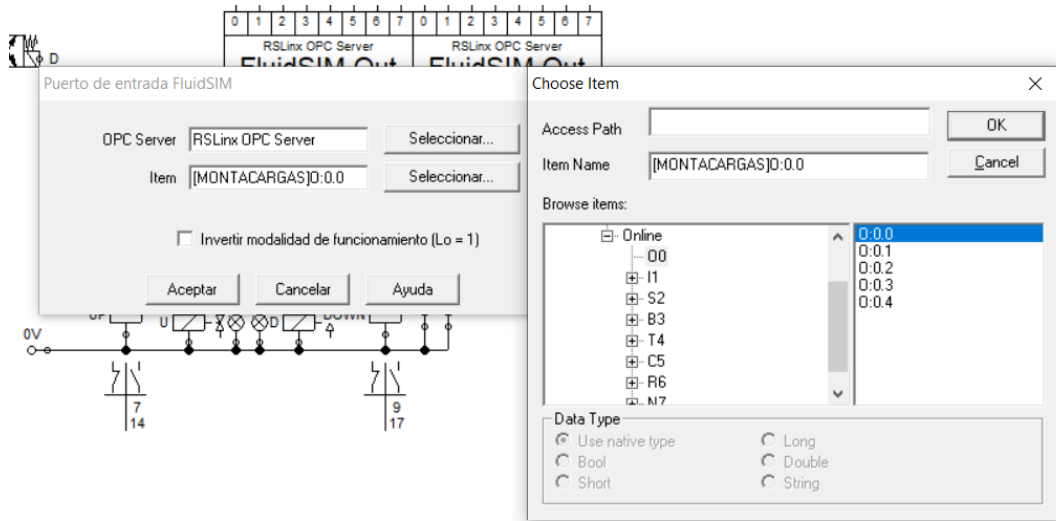


Nota. Captura de pantalla de *FluidSIM®*, de *Festo Didactic*.

48. Ahora pasaremos a direccionar el puerto de entrada, como se muestra en la figura 47, el OPC Server será también el RSLinx OPC Server, el ítem será el O0.0, fijarse en la ruta de dicho ítem detallado en Browse Items, luego hacer clic en OK

Figura 47

Selección de las direcciones de salida del PLC para el enlace OPC



Nota. Captura de pantalla de FluidSIM®, de Festo Didactic.

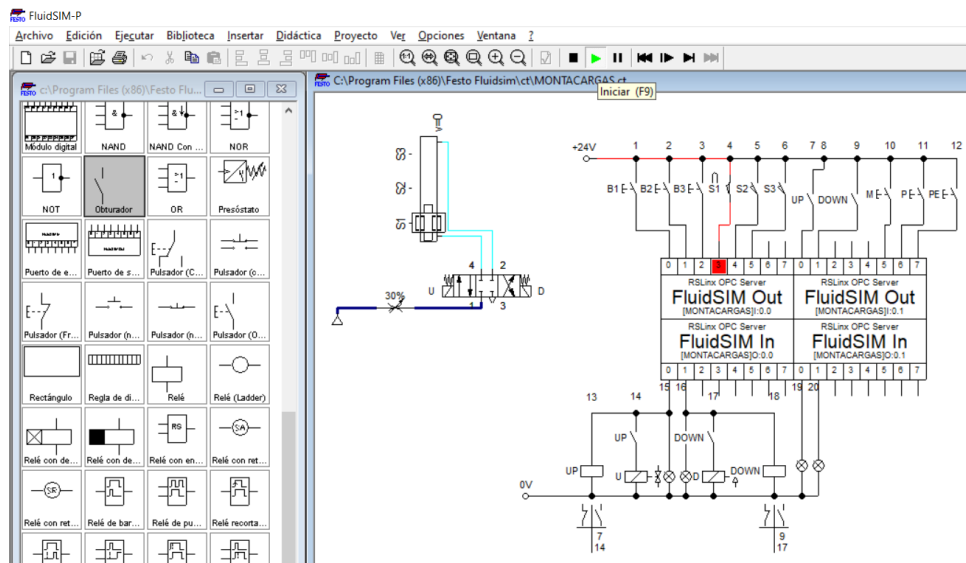
49. Realizamos el mismo procedimiento para los otros 2 puertos de E/S y con ello se culmina la configuración para el enlace OPC en Festo Fluidsim.

C) Prueba de la aplicación de la tarea bajo el sistema HIL

1. Para la prueba del sistema HIL implementado, se debe de correr los 3 entornos de desarrollo. A este punto el RS Logix 500 ya está en operación y ejecutándose. Debemos de ejecutar la simulación del campo hecho en Festo Fluidsim tal como se indica en la figura 48.

Figura 48

Pantalla de ejecución del proyecto

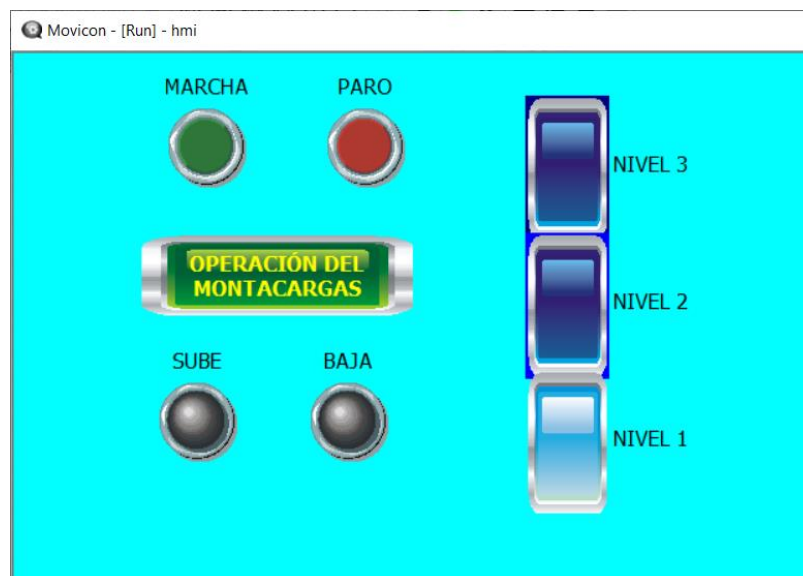


Nota. Captura de pantalla de *FluidSIM®*, de *Festo Didactic*.

2. Ahora ejecutamos el HMI realizado en Movicon como se muestra en la figura 49.

Figura 49

Pantalla de ejecución del proyecto



Nota. Captura de pantalla de *Movicon*, de *Emerson Automation Solutions*.

3. Accionamos en el HMI en funcionamiento (figura 50) el botón de Marcha, veremos que se enciende el indicador de operación del montacargas.

Figura 50

Pantalla de operación del montacargas por el HMI

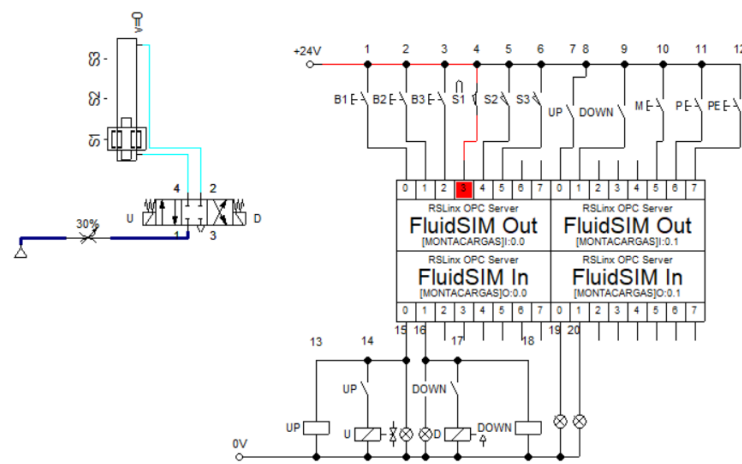


Nota. Captura de pantalla de *Movicon*, de *Emerson Automation Solutions*.

4. Desde el software Festo Fluidsim que en ejecución representa el campo físico, accionamos la botonera para que el montacargas se desplace al nivel 3, pulsando en la botonera B3, tal como se aprecia en la figura 51.

Figura 51

Pantalla de operación del montacargas

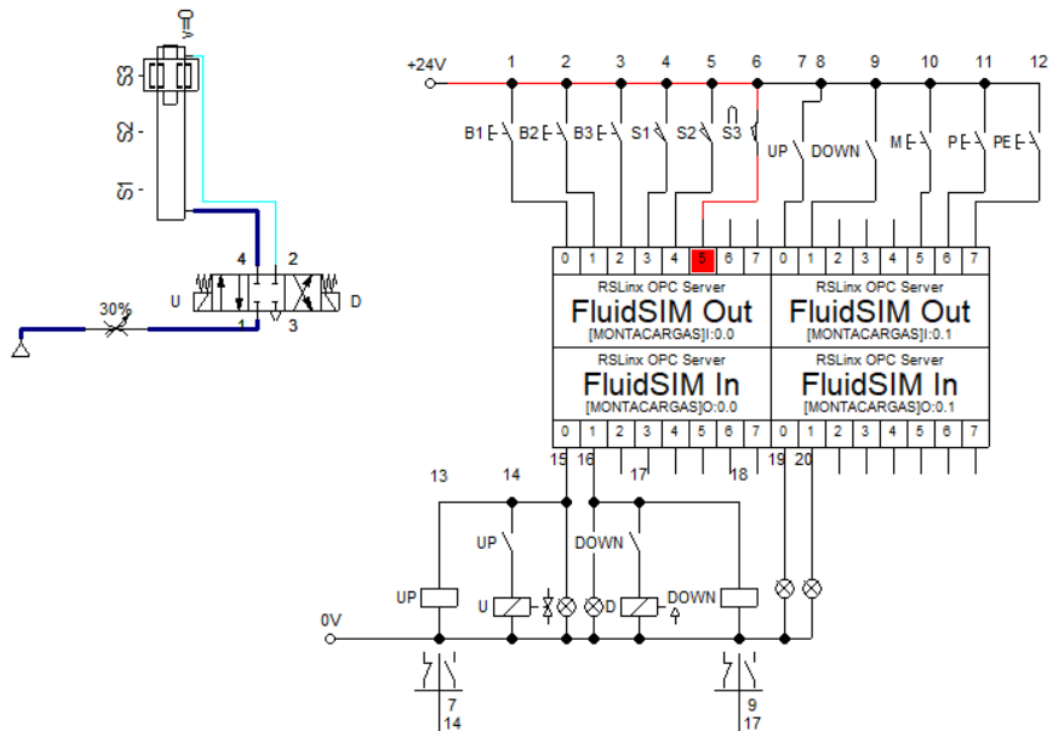


Nota. Captura de pantalla de *FluidSIM®*, de *Festo Didactic*.

5. En el entorno de ejecución de Festo Fluidsim se observa (figura 52) que el cilindro ha sido accionado y se ha desplazado al nivel 3.

Figura 52

Pantalla de operación del montacargas, desplazamiento de subida

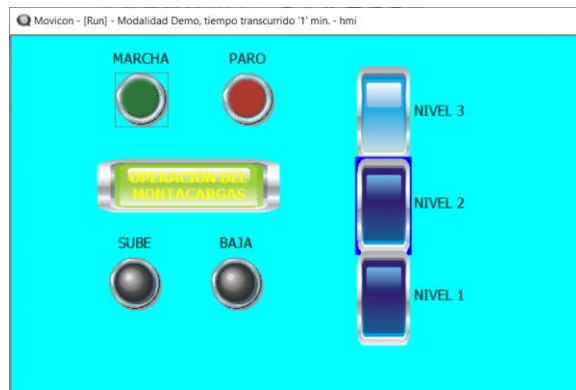


Nota. Captura de pantalla de *FluidSIM®*, de *Festo Didactic*.

6. Podemos constatar en el entorno de ejecución de Movicon (figura 53) que el HMI indica por medio del encendido del indicador del nivel 3, que se ha realizado un cambio de posición del montacargas hacia esta posición final.

Figura 53

Pantalla de operación del montacargas puesta en marcha visualizado en el HMI

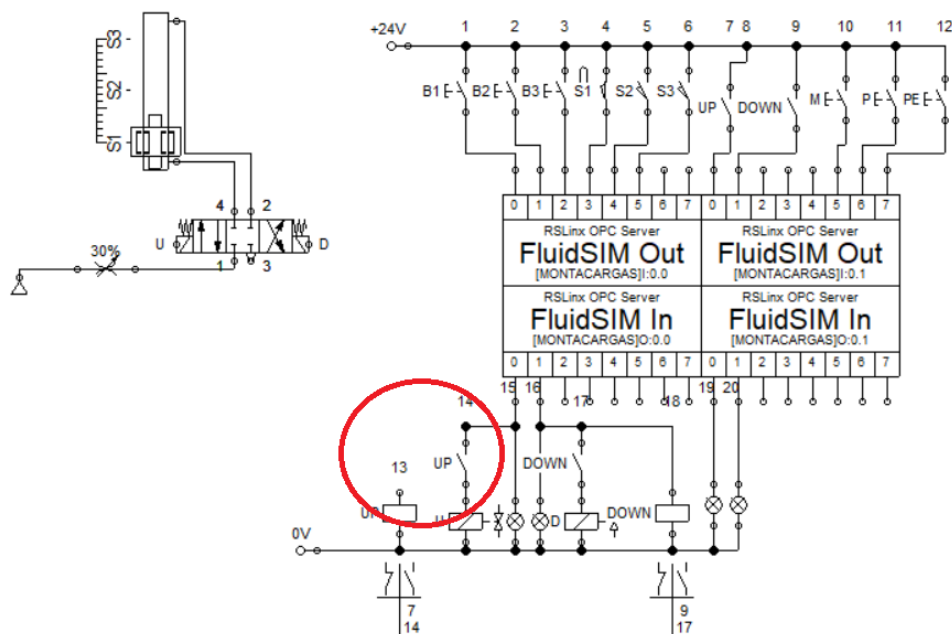


Nota. Captura de pantalla de Movicon, de Emerson Automation Solutions.

7. En Fluidsim el operador procede a simular una falla en el conexionado del contactor del suministro de potencia para el desplazamiento de subida del cilindro tal como se indica en la figura 54.

Figura 54

Pantalla de operación del montacargas, inserción de falla

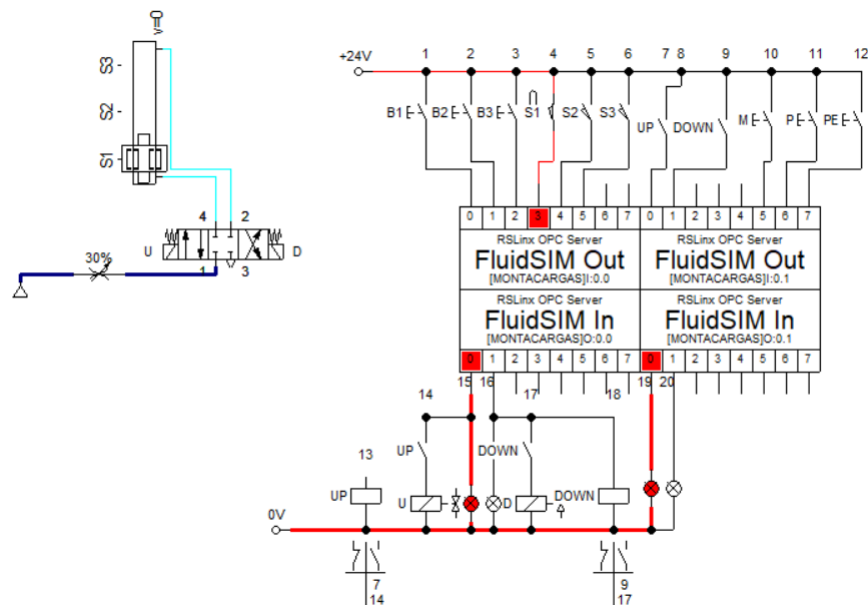


Nota. Captura de pantalla de Movicon, de Emerson Automation Solutions.

8. Al operar nuevamente el sistema y al accionar la llamada del montacargas hacia el nivel 3, el sistema reconoce la falla por la realimentación de los contactos auxiliares que no conmutan debido a la desconexión y no activa la entrada correspondiente al elemento 0 del segundo puerto de Fluidsim lo que ocasiona una pérdida de la señal que Festo Fluidsim (campo) envía al PLC Allen Bradley el cual está en operación, éste último entonces, ejecuta la parte del algoritmo que en reconocimiento de la condición lleva al sistema completo a un estado de falla segura y envía las señales correspondientes nuevamente al campo donde se aprecian los indicadores de falla segura encendidos (véase en la figura 55, las lámparas de color rojo).

Figura 55

Pantalla de operación del montacargas, visualización de la condición de falla segura



9. Precisamente este tipo de pruebas no se puede ejecutar con simuladores convencionales pues en ellos al accionar una salida del PLC, el sistema asume que la acción se ejecuta en forma absoluta y por tanto no da a lugar iniciar procesos de falla segura cuando en sistemas físicos reales es justamente lo que podría ocurrir y por tanto se implementan diversos niveles de seguridad, HIL permitirá implementarlos.

En la tabla 4, se muestran las características de la implementación HIL aplicada a la tarea 2:

Tabla 4

Matriz de Evaluación HIL para Implementación de la tarea de instalación de circuitos electroneumáticos

Procedimiento General	Aplica	Implementación en el Montacargas Neumático
1. Desarrollo en FluidSIM	Si	Totalmente aplicable. Se modela: • Cilindro de doble efecto (montacargas) • Válvula 5/2 vías o 2 válvulas 3/2 para A+ y A- • 3 pulsadores virtuales (N1, N2, N3) • 3 fines de carrera virtuales (L1, L2, L3)

	• Circuito neumático completo con unidad de mantenimiento
2. Programa en Si	Esencial para el control. Programa debe:
RSLogix 500	• Leer estados de pulsadores (N1, N2, N3) y fines de carrera (L1, L2, L3) • Implementar lógica de posicionamiento: - Si N1 activo Y NO L1 → Activar A- - Si N2 activo Y NO L2 → Activar A+ o A- según posición actual - Si N3 activo Y NO L3 → Activar A+ • Gestión de prioridades y seguridad
3. Enlace OPC Si	Configuración estándar:
(RSLogix-FluidSIM)	• Salidas PLC (O:0/0, O:0/1) → Electroválvulas A+ y A- en FluidSIM • Pulsadores y fines de carrera FluidSIM → Entradas PLC (I:0/0 a I:0/5)
Si	Muy útil para supervisión:

4. Desarrollo HMI

in Movicon

- Representación visual del montacargas y sus 3 niveles

- Botones de llamada N1, N2, N3

- Indicadores de posición L1, L2, L3

- Estado del sistema (Standby, Subiendo, Bajando)

5. Enlace OPC Si

(Movicon-
RSLogix)

Para operación remota:

- Botones HMI escriben en entradas del PLC

- Estados de posición se leen de salidas/entradas PLC

Pruebas

Validación completa del sistema:

- Prueba de posicionamiento: Verificar que al pulsar N2 desde L1, el cilindro se detiene exactamente en L2

- Prueba de seguridad: Verificar que no se activan A+ y A- simultáneamente

- Prueba de prioridades: Simular llamadas simultáneas y verificar comportamiento

- Prueba de fallos: Simular fallo de fin de carrera y verificar parada de seguridad

Nota. Elaboración propia

3.3.2.3.3. Aplicación del procedimiento a la tarea N°3

a) Planteamiento del problema y contexto de aplicación

Tarea N°3: Instala circuitos electrohidráulicos.

Operaciones:

- Verificar sistema de alimentación hidráulica
- Realizar esquema de mando electrohidráulico
- Verificar dispositivos electrohidráulicos
- Instalar circuito electrohidráulico
- Operar mando electrohidráulico.

Planteamiento del Problema: Una máquina hidráulica de taladrado (figura 56), se compone de un sistema de control electrohidráulico de 2 cilindros que ejecutan dos operaciones secuenciales y críticas: un cilindro realiza la sujeción de la pieza a taladrar sobre un soporte y el segundo cilindro realiza el avance del taladro sobre la pieza a mecanizar.

Subsistema de Sujeción (Cilindro de Sujeción): Garantiza la sujeción firme y segura de la pieza de trabajo sobre la mesa o soporte, impidiendo cualquier movimiento durante la operación de taladrado que podría causar defectos en la pieza, daños en la herramienta o riesgos de seguridad.

Componente Actuador: Cilindro hidráulico de simple efecto (retorno por muelle) o doble efecto.

Control: Gobernado por una electroválvula direccional solenoide 4/2 vías (monoestable). La activación del solenoide dirige el flujo de aceite a presión al cilindro, bloqueándolo en posición extendida (sujetando). La desenergización del solenoide descarga el aceite, permitiendo que el cilindro se retraiga (liberando).

Subsistema de Avance de Herramienta (Cilindro de Taladrado): Proporciona el movimiento lineal de avance y retroceso controlado a la unidad de taladrado guiando la broca hacia la pieza para realizar el agujero y retirándola una vez completada la operación.

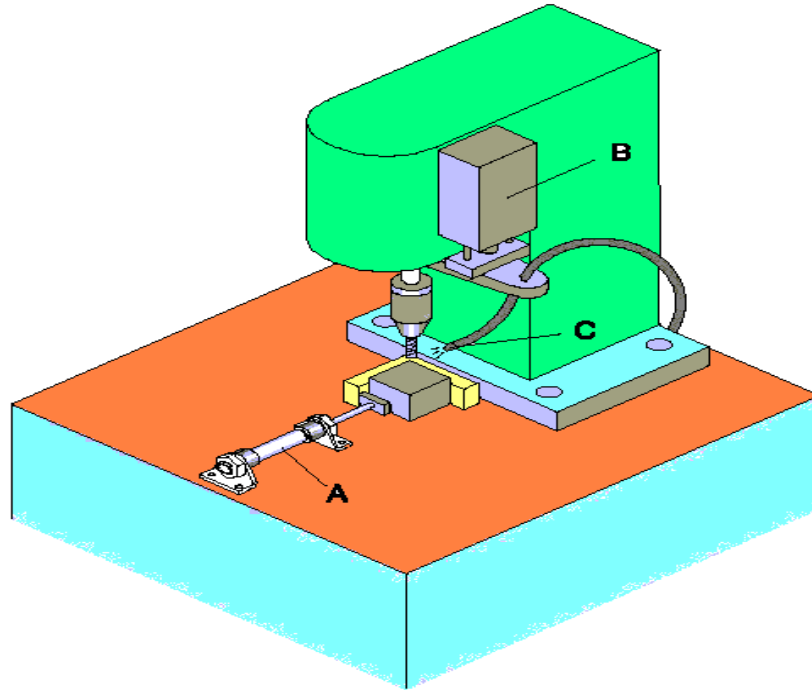
Componente Actuador: Cilindro hidráulico de doble efecto. Es esencial el control en ambas direcciones para una velocidad de avance de trabajo controlada y un rápido retroceso de la herramienta.

Control: Gobernado por una válvula direccional solenoide 4/2 vías o 5/2 vías (monoestable o biestable). La activación del solenoide dirige el flujo para extender el vástago (avance de la herramienta). La desenergización (en una válvula monoestable) o la activación de un segundo solenoide (en una biestable) reversa el flujo para retraer el vástago (retroceso).

El esquema del conjunto es el siguiente:

Figura 56

Máquina hidráulica de taladrado



Nota. Elaboración propia.

b) Características de la aplicación HIL en la tarea

La aplicación del procedimiento en la plataforma HIL no se **desarrollará** en esta sección mediante la secuencia detallada de pasos operativos, como se hizo en la sección metodológica general. En su lugar, se presenta una síntesis de los principales elementos que intervienen en la tarea, organizados en una matriz de evaluación.

Esta matriz que se muestra en la tabla 5, resume las condiciones iniciales del modelo en FluidSIM, la programación en RSLogix 500, los enlaces de comunicación OPC, la interfaz HMI en Movicon y las pruebas de validación previstas. De este modo, se destacan las características esenciales de la

implementación HIL aplicada a la tarea, permitiendo visualizar en forma condensada las particularidades y personalizaciones necesarias para el sistema de sujeción y taladrado.

Tabla 5

Matriz de Evaluación HIL para Implementación de la tarea de instalación de circuitos electrohidráulicos

Procedimiento General	Aplica	Notas / Personalización para el Sistema de Sujeción y Taladrado
1. Desarrollo en FluidSIM	Si	Es fundamental. El modelo en FluidSIM debe incluir: • Un circuito hidráulico con una bomba, válvula de alivio, y dos válvulas 4/2 monostables (una para cada cilindro). • Dos cilindros hidráulicos (doble efecto para el avance del taladro, simple o doble efecto para la sujeción). • Fines de carrera virtuales en ambos cilindros para confirmar su posición (retraído/extendido). Estos se conectarán a puertos de salida FluidSIM. • Las electroválvulas se conectarán a puertos de entrada FluidSIM.
2. Programa en RSLogix 500	Si	• Implementar una secuencia interbloqueada: el taladro no debe avanzar a menos que el cilindro de sujeción esté extendido y confirmado por su final de carrera. • Leer las entradas (I:0/0, etc.) que corresponden a los fines de carrera virtuales de FluidSIM. • Activar las salidas (O:0/0, etc.) que controlan las electroválvulas en el modelo FluidSIM.
3. Enlace OPC (RSLogix - FluidSIM)	Si	• El puerto FluidSIM Out (con los fines de carrera) debe mapearse a las direcciones de entrada del PLC (ej.: I:0.0/0 para el final de carrera del sujetador).

		• El puerto FluidSIM In (con las electroválvulas) debe mapearse a las direcciones de salida del PLC (ej.: O:0.0/0 para la válvula del taladro).
4. Desarrollo HMI en Movicon		Aplica para supervisión avanzada. La pantalla HMI debe: • Mostrar animaciones de los cilindros sujetando y taladrando. • Incluir un botón de "Ciclo Start", "Stop" y "Parada de Emergencia". • Indicadores de estado: "Pieza Sujetada", "Taladrando", "Ciclo Completo", "Falla". • Permitir operación en modo manual para cada cilindro por separado (para mantenimiento o puesta a punto).
5. Enlace OPC (Movicon - RSLogix)	Si	Necesario para el HMI. Las variables en Movicon se deben enlazar a: • Las salidas del PLC para mostrar el estado de las válvulas. • Las entradas del PLC para mostrar el estado de los fines de carrera. • Bits internos del PLC (ej.: B3:0/0) para mostrar estados del sistema como "Ciclo en Marcha" que son lógica interna del programa.
Pruebas	Si	La ventaja principal de usar HIL. Se pueden probar escenarios imposibles o riesgosos en un sistema real: • Prueba de Secuencia Normal: Verificar que la sujeción ocurra antes del taladrado. • Simulación de Fallos: - Simular un error de sujeción (el final de carrera del sujetador no se activa). El sistema debe abortar el ciclo y NO activar el taladro.

- Simular un taladro atascado (el final de carrera de avance del taladro no se activa en el tiempo esperado). El sistema debe detenerse y activar una alarma en el HMI.
 - Prueba de Parada de Emergencia: Verificar que, al activar la parada, ambos cilindros se retraen inmediatamente de forma segura.
-

Nota. Elaboración propia

3.3.2.3.4. Aplicación del procedimiento a la Tarea N° 4

a) Planteamiento del problema y contexto de aplicación

Tarea N°4: Realiza montaje y configuración de PLC en un tablero de control automático

Operaciones:

- Reconocer hardware de controlador lógico programable.
- Elaborar diagrama de conexión de entradas y salidas discretas.
- Probar elementos periféricos de entrada y salida.
- Instalar software de programación.
- Instalar software de comunicación.
- Instalar software de simulación.
- Configurar la comunicación entre controlador y PC.

Planteamiento del Problema: Un sistema de control de bombeo y nivel de un tanque de almacenamiento como se muestra en la figura 57, opera en una planta de alimentos y requiere ser automatizada en sus procesos. Un tanque de almacenamiento recibe un líquido de un proceso aguas arriba, el fluido es impulsado por una bomba centrífuga. El sistema debe controlar la bomba para con ello controlar el nivel del líquido dentro del tanque con el fin de evitar desbordes

(tanque lleno) o que el tanque se quede vacío, lo que podría dañar la bomba. Se utiliza un PLC para automatizar este proceso de forma segura y confiable.

Figura 57

Sistema de bombeo y control de nivel de un tanque



Nota. Tomado de Preferred Utilities MFG Corporation, (s. f.),
<https://www.preferred-mfg.com/products/fuel-handling/day-tanks/fuel-oil-transfer-pump-and-day-tank-set.html>

b) Características de la aplicación HIL en la tarea

En la tabla 6, se muestran las características de la implementación HIL aplicada a la tarea 4 de montaje y configuración de PLC en un tablero de control automático en el contexto de un sistema de control de bombeo y nivel de un tanque.

Tabla 6

Matriz de Evaluación HIL para Implementación de la tarea de montaje y configuración de PLC en un tablero de control automático

Procedimiento General	Aplica	Notas / Personalización para la Configuración de PLC
1. Desarrollo en FluidSIM	Si	Aplica de forma modificada. No se modela un proceso productivo, sino el "campo" de E/S del PLC. En FluidSIM se debe crear un diagrama que simule los periféricos del tablero de control: • Pulsadores, selectores, sensores discretos conectados a un puerto de salida FluidSIM (para ser leídos por el PLC como entradas). • Lámparas, LEDs, contactores de salida conectados a un puerto de entrada FluidSIM (para ser actuados por las salidas del PLC).
2. Programa en RSLogix 500	Si	Es el objetivo principal de la tarea: • IF (Pulsador_1 = ON) THEN Lámpara_1 = ON • IF (Selector_Auto = ON) THEN Contactores = ON El propósito es validar la comunicación y el control básico, no una lógica de proceso compleja.
3. Enlace OPC (RSLogix - FluidSIM)	Si	Es fundamental para la práctica. • El puerto FluidSIM Out (con los pulsadores y selectores virtuales) se mapea a las entradas del PLC (ej.: I:0.0/0 para un pulsador de marcha). • El puerto FluidSIM In (con las lámparas y contactores virtuales) se mapea a las salidas del PLC (ej.: O:0.0/0 para un contactor). Esto permite probar el hardware del PLC de forma virtual.
	Si	Aplica para supervisión básica. El HMI puede ser simple:

4. Desarrollo HMI en Movicon		• Pantalla con botones virtuales idénticos a los pulsadores físicos del tablero simulado en FluidSIM. • Indicadores del estado de las salidas del PLC. • Su propósito es demostrar la integración de un HMI con el sistema de control.
5. Enlace OPC (Movicon - RSLogix)	Si	Necesario para la integración del HMI. Las variables en Movicon se enlazan directamente a las direcciones del PLC: • Botones en Movicon escriben sobre las direcciones de entrada del PLC. • Indicadores en Movicon leen las direcciones de salida del PLC.
Pruebas		El objetivo final de la tarea. Las pruebas se centran en la funcionalidad del PLC y su integración: • Prueba de E/S Digitales: Verificar que al activar un pulsador en FluidSIM, el PLC detecta la entrada y activa la salida correcta, encendiendo una lámpara virtual. • Prueba de Comunicación: Confirmar que el programa se descarga al PLC emulado y que este responde. • Prueba desde HMI: Verificar que al presionar un botón en Movicon, se activa la salida correspondiente en el PLC y se refleja en FluidSIM. • Simulación de Fallos: Desconectar virtualmente un "sensor" en FluidSIM para ver la respuesta del programa (ej.: activar una alarma).

Nota. Elaboración propia

3.3.2.3.5. Aplicación del procedimiento a la Tarea N° 5

a) Planteamiento del problema y contexto de aplicación

Tarea N° 5: Programa PLC para el arranque de motores trifásicos.

Operaciones:

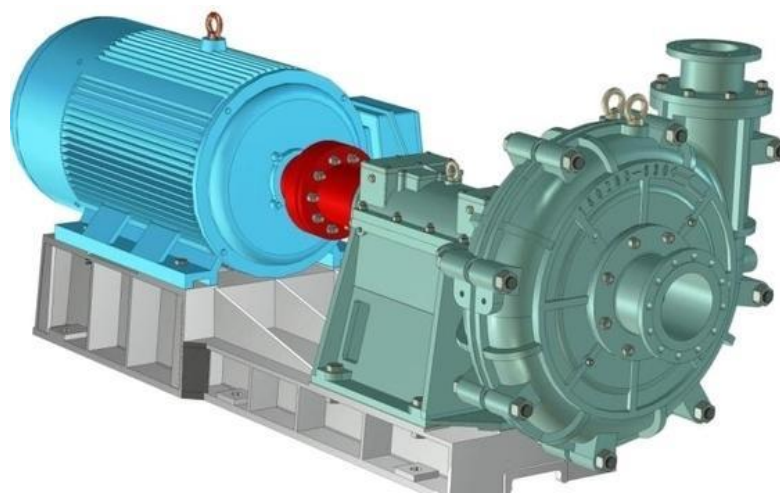
- Elaborar programa de arranque directo e inversión de giro de un motor trifásico
- Simular programa en PC.
- Descargar programa al PLC.
- Probar programa de arranque directo e inversión de giro de un motor trifásico
- Elaborar programa de arranque estrella triángulo de motor trifásico.
- Simular programa en PC.
- Descargar programa al PLC.
- Probar programa de arranque estrella triángulo de un motor trifásico.
- Elaborar programa para el control de electrobombas alternadas.
- Simular programa en PC.
- Descargar programa al PLC.
- Probar programa de control de electrobombas alternadas.

Planteamiento del Problema: En una mina subterránea, la filtración de agua desde los acuíferos circundantes es un problema constante pues su acumulación inunda galerías y frentes de trabajo, paralizando las operaciones además de comprometer la estabilidad estructural de las excavaciones, dañar equipos eléctricos de alto valor y representar un riesgo grave para la seguridad del personal, por lo que se plantea la necesidad de instalar un sistema de bombeo compuesto por

dos electrobombas trifásicas de alto rendimiento sumergidas en el pozo de bombeo principal (figura 58). Cada bomba tiene un motor de 75 kW que requiere un arranque suave para proteger la red eléctrica de la mina y reducir el estrés mecánico en la bomba. Las bombas deben alternar su funcionamiento tras cada ciclo para igualar el desgaste y garantizar la misma vida útil.

Figura 58

Sistema de bombeo para minería



Nota. Tomado de Hanlin, (s. f.), <https://www.mudslurrypump.com/sale-13756832-wearproof-horizontal-slurry-pump-for-mining-iso9001-approved-200zbd-630.html>

b) Características de la aplicación HIL en la tarea

En la tabla 7, se muestran las características de la implementación HIL aplicada a la tarea 5 de elaboración de un programa PLC para el arranque de motores trifásicos en el contexto de un sistema de control para minería de 2 bombas alternadas.

Tabla 7

Matriz de Evaluación HIL para Implementación de la tarea de programar PLC para el arranque de motores trifásicos

Procedimiento General	Aplica	Notas / Personalización para el Sistema de Bombeo Minero
1. Desarrollo en FluidSIM	Si	Se modela: • Un pozo de bombeo (bump) con animación de nivel de agua. • Dos electrobombas, cada una con su conjunto de 3 contactores (KMain, KStar, KDelta) para el arranque estrella-triángulo. • Sensores de nivel virtuales (Nivel Bajo, Nivel Alto, Nivel Crítico) conectados a un puerto FluidSIM Out. • Señales de sobrecarga virtuales para cada bomba, para simular fallos.
2. Programa en RSLogix 500	Si	El programa incluye: • Lógica de Arranque Estrella-Triángulo por bomba, con temporizador (TON) para la transición. • Lógica de Alternancia Automática entre Bombas 1 y 2 basada en contadores (CTU) de ciclos de arranque. • Control por Nivel: - IF (Nivel_Bajo) THEN Activar_Bomba_En_Sequencia - IF (Nivel_Alto) THEN Desactivar_Bomba - IF (Nivel_Crítico) THEN Activar_Todas_Las_Bombas (Arranque Directo) • Interlocks y Seguridad: Impiden el arranque si hay sobrecarga o si no se cumple la secuencia correcta.
	Si	El mapeo debe ser preciso y orientado a:

3. Enlace OPC (RSLogix - FluidSIM)		• Salidas del PLC (O:0/0, etc.) → FluidSIM In: Controlan los contactores de las bombas (K1Main, K1Star, K1Delta, K2Main...). • FluidSIM Out → Entradas del PLC (I:0/0, etc.): Leen el estado de los sensores de nivel y las señales de sobrecarga virtuales. Así, el PLC "ve" el nivel del agua y actúa en consecuencia.
4. Desarrollo HMI en Movicon	Si	El HMI debe mostrar: • Pantalla de Proceso: Animación del nivel del pozo y estado (ON/OFF) de cada bomba. • Indicadores de Modo: "Bomba 1 en Estrella", "Bomba 2 en Triángulo", "Modo Emergencia". • Alarmas: "Nivel Crítico", "Falla Bomba 1", "Sobrecarga Bomba 2". • Contadores: Horas de operación y ciclos de cada bomba para mantenimiento predictivo.
5. Enlace OPC (Movicon - RSLogix)	Si	Necesario para el control desde sala de control. Las variables de Movicon se enlazan a: • Bits del PLC para comandos manuales (ej.: "Forzar Bomba 1", "Resetear Alarmas"). • Valores de temporizadores y contadores del PLC para visualización. • Estados de entradas/salidas del PLC para monitoreo en tiempo real.
Pruebas	Si	El modelo HIL simula los en varios posibles escenarios de mina • Prueba de Secuencia Normal: El nivel de agua sube, activa Nivel_Bajo, el PLC inicia la Bomba 1 en secuencia Estrella-Triángulo. El agua baja y se detiene.

- Prueba de Alternancia: El próximo arranque lo debe hacer la Bomba 2.
 - Prueba de Fallo de Bomba: Simular una "sobrecarga" en la Bomba 1 activada. El PLC debe detenerla e iniciar automáticamente la Bomba 2.
 - Prueba de Inundación (Nivel Crítico): Simular una subida rápida del agua. El PLC debe ignorar la alternancia y activar ambas bombas en arranque directo inmediatamente.
-

Nota. Elaboración propia

3.3.2.3.6. Aplicación del procedimiento a la tarea N° 6

c) Planteamiento del problema y contexto de aplicación

Tarea N°6: Realiza control de servomotor con PLC

Operaciones:

- Realizar conexiones
- Configurar control de servomotor
- Configurar entrada de alta velocidad
- Configurar sensores de proximidad
- Ejecutar control de servomotor.

Planteamiento del Problema: Una faja transportadora utiliza como sistema motriz un servomotor que tiene una conexión mecánica para accionar una unión biela-manivela que arrastra un mecanismo de trinquete provocando un movimiento de vaivén tal como se aprecia en la figura 59. Cada ciclo de vaivén (avance + retroceso) hace avanzar la cinta transportadora una distancia fija y precisa de 20cm

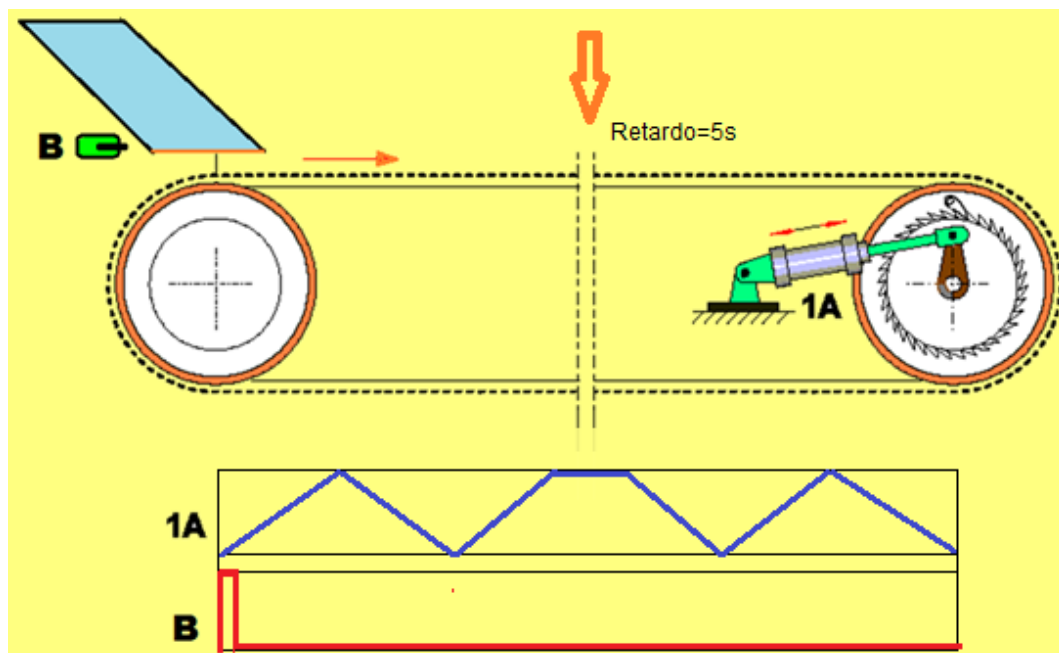
por ciclo. Un PLC controla cuantos ciclos ejecuta el servomotor para posicionar piezas a ser mecanizadas en la cinta con exactitud milimétrica.

El sistema controla el avance de la faja transportadora de la siguiente forma:

- 1.- Se cuenta con 1 sensor B inductivo que detecta la pieza a transportar
- 2.- Al detectar la pieza el cilindro trabaja en vaivén con 3 repeticiones, que transporta la pieza una distancia de 30 cm
- 3.- En el segundo movimiento de vaivén, el cilindro permanece extendido durante 5 segundos con el fin de que la pieza reciba un etiquetado
- 4.- Luego la pieza es transportada otros 30 cm en donde es retirada por otro sistema de sujeción y transporte y el sistema pasa a modo de espera

Figura 59

Sistema de tracción para faja transportadora



Nota. Elaboración propia

d) Características de la aplicación HIL en la tarea

En la tabla 8, se muestran las características de la implementación HIL aplicada a la tarea 6 de realizar control de servomotor con PLC en el contexto de un sistema de arrastre para faja transportadora. Mientras que el sistema real usaría un servomotor para un control de movimiento preciso, la plataforma HIL permite desarrollar y validar la lógica de operación de alto nivel del PLC que sería necesaria para controlar el desplazamiento de la pieza sobre la faja. Cuando se pase a la implementación real, el programa del PLC ya estará probado; sólo se necesitará reconfigurar las salidas para que envíen comandos por EtherNet/IP a un driver de servomotor real.

Tabla 8

Matriz de Evaluación HIL para Implementación de la tarea de realizar control de servomotor con PLC

Procedimiento General	Aplica	Implementación para Validar la Lógica de Posicionamiento
1. Desarrollo en FluidSIM	Si	Se modela el proceso de transporte. El servomotor y su driver se abstraen: • Se utiliza un actuador lineal (cilindro) en FluidSIM para simular el movimiento de avance intermitente del conveyor. • Un sensor virtual (fotoeléctrico o encoder emulado) se coloca para detectar el paso de la pieza o el fin de carrera, proporcionando la señal de "retroalimentación" al PLC.
2. Programa en RSLogix 500	Si	El objetivo es lograr la lógica de alto nivel. El programa en el PLC se escribe para:

- Gestionar la secuencia: "Cuando el sensor A detecte una pieza, active el conveyor hasta que el sensor B confirme que está en posición".
- Implementar el conteo: Usar un contador (CTU) que se incrementa con cada pulso del sensor virtual, emulando la lectura de un encoder.
- Gestionar la seguridad: Parar el sistema si el tiempo entre el comando de movimiento y la señal de "en posición" es demasiado largo, simulando un error.

3. Enlace OPC (RSLogix-FluidSIM)	Si	Es la clave de la validación. La configuración es fundamental: • Una salida del PLC (ej.: O:0/0 para "Mover Conveyor") se mapea al actuador en FluidSIM. • La señal del sensor virtual en FluidSIM se mapea a una entrada del PLC (ej.: I:0/0), actuando como el pulso de feedback. • Esto crea el lazo de control lógico: el PLC ordena moverse y FluidSIM le dice cuándo se ha movido.
4. Desarrollo HMI in Movicon	Si	Se crea la interfaz de supervisión. El HMI se conecta al PLC para: • Mostrar la "Posición Actual" de la pieza en el conveyor, calculada por el contador del PLC. • Permitir ingresar la "Posición Deseada" (setpoint) para la pieza.

		• Mostrar alarmas como "Error de Posicionamiento" o "Servo en Fallo" (simulada).
5. Enlace OPC (Movicon-RSLogix)	Si	Para operación y monitoreo. Las variables de Movicon leen y escriben en los registros del PLC que almacenan la posición deseada, comandos de inicio/parada y valores del contador de posición.
Pruebas		Se valida la estrategia de control, no la física del servo. • Prueba de Posicionamiento: Enviar una pieza a la "Posición 5000" (pulsos) y verificar que el sistema en FluidSIM se detiene cuando el contador del PLC alcanza ese valor. • Prueba de Repetibilidad: Ejecutar múltiples ciclos y verificar que la pieza se detiene siempre en el mismo punto virtual. • Prueba de Error: Simular un fallo (el sensor no emite pulsos) y verificar que el PLC detecta la falta de movimiento y activa el protocolo de error correcto.

Nota. Elaboración propia

3.3.2.3.7. Aplicación del procedimiento a la tarea N° 7

a) Planteamiento del problema y contexto de aplicación

Tarea N° 7: Implementa secuencia de control en cascada de sistema electroneumático

Operaciones:

- Definir entradas y salidas

- Elaborar esquema de circuito neumático
- Elaborar esquema de control
- Programar PLC para control en cascada
- Verificar funcionamiento.

Planteamiento del Problema: Una máquina dobladora de perfiles con múltiples estaciones como se ilustra en la figura 60, fabrica soporte para la industria metalmecánica, se desea automatizar el doblado de una platina de metal para obtener una forma de "U" con precisión y repetibilidad, aumentando la productividad y seguridad respecto a una operación manual.

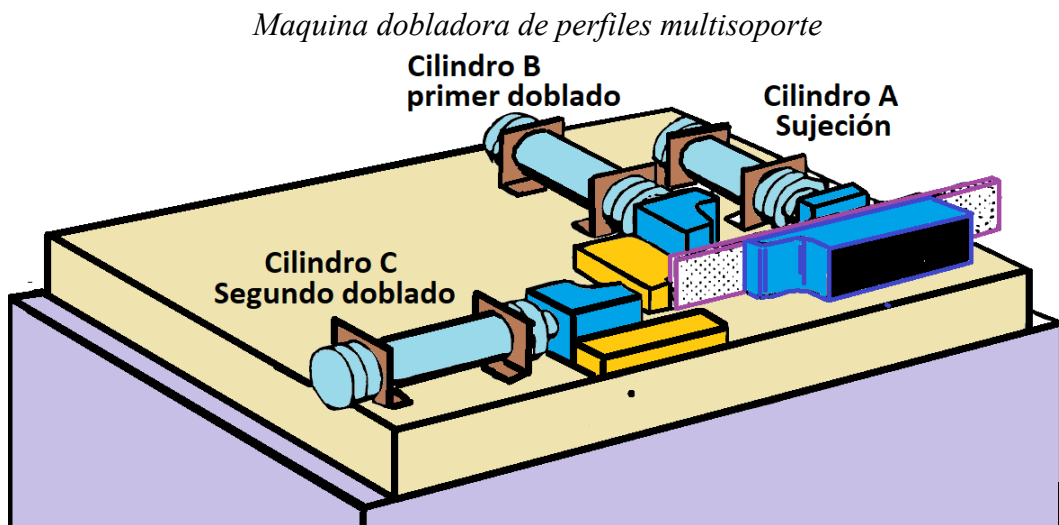
La máquina cuenta con:

Cilindro A (Sujetador): Su función es fijar con fuerza la platina en la matriz de base, impidiendo que se mueva durante el doblado, lo que garantiza precisión en la pieza final.

Cilindro B (Doblador 1 - Lado Izquierdo): Realiza el primer doblez de la pestaña izquierda de la platina hacia arriba (90 grados o el ángulo requerido).

Cilindro C (Doblador 2 - Lado Derecho): Realiza el segundo doblez de la pestaña derecha, completando así la forma de "U"

Figura 60



Nota. Elaboración propia.

b) Características de la aplicación HIL en la tarea

En la tabla 9, se muestra las características de la implementación HIL aplicada a la tarea 7 de realizar la implementación de la secuencia de control en cascada de un sistema electroneumático en el contexto de una máquina dobladora de perfiles de múltiples estaciones.

Tabla 9

Matriz de Evaluación HIL para Implementación de secuencia de control en cascada de sistema electroneumático

Procedimiento General	Aplica	Implementación en la Dobladora en U
1. Desarrollo en FluidSIM	Si	Se diseña el circuito con los tres cilindros, sus válvulas 5/2 y los sensores de fin de carrera (A+, A-, B+, B-, C+, C-). Se puede añadir una representación simplificada de la

platina y los punzones de doblado para visualizar la secuencia.

2. Programa en RSLogix 500	Si	Se programa la cascada. Se usan bits de memoria (ej.: B3:0/0 a B3:0/5) para cada paso: - M0: Espera señal de "Ciclo Start" y "Pieza Presente". → Activa M1. - M1: Activa A+ (Sujetar). Cuando A+ es detectado, → Activa M2. - M2: Activa B+ (Doblar Izq.). Cuando B+ es detectado, → Activa M3. - M3: Activa C+ (Doblar Der.). Cuando C+ es detectado, → Activa M4. - M4: Activa B- y C- (Retraer dobladores). Cuando B- y C- son detectados, → Activa M5. - M5: Activa A- (Liberar pieza). Cuando A- es detectado, → Reactiva M0.
3. Enlace OPC (RSLogix-FluidSIM)	Si	Configuración estándar. • Salidas PLC (O:0/0, O:0/1, O:0/2) → Solenoides de las válvulas de A, B y C en FluidSIM. • Sensores en FluidSIM (A+, B+, C+, etc.) → Entradas PLC (I:0/0, I:0/1, I:0/2, etc.).
4. Desarrollo HMI in Movicon	Si	Supervisión con el HMI muestra: • Estado de la máquina: "Sujetando", "Doblando Izq.", "Pieza Completa".

		• Botones: "Ciclo Start", "Stop", "Reset". • Alarmas: "Cilindro atascado", "Falta pieza". • Animación de los cilindros y la pieza.
5. Enlace OPC (Movicon-RSLogix)	Si	Para control y monitoreo. El HMI lee los bits de la cascada (M0, M1, M2...) para mostrar el paso actual y puede escribir en un bit para iniciar el ciclo.
Pruebas		Se valida la lógica y seguridad. • Prueba de secuencia normal: Verificar que la "U" se forma correctamente en la animación de FluidSIM. • Prueba de error: Simular un fallo (ej.: el cilindro B no avanza). Verificar que la secuencia NO pasa al paso M3 (activar C+) y que se activa una alarma después de un temporizador de seguridad. • Prueba de prioridad: Verificar que el retroceso (M4) solo ocurre después de que ambos dobladores hayan terminado su carrera.

Nota. Elaboración propia

3.3.2.3.8. Aplicación del procedimiento a la tarea N°8

a) Planteamiento del problema y contexto de aplicación

Tarea N°8: Programar control lazo cerrado en una planta industrial con PLC

Operaciones:

- Configura entradas analógicas en PLC
- Verificar RTD

- Acondicionar señal de RTD a PLC
- Programar instrucciones de control PID en PLC
- Ejecutar control PID

Planteamiento del Problema: En una planta de producción de polímeros (figura 61), se tiene un reactor de 2000 litros donde se sintetiza una resina acrílica. La reacción de polimerización es altamente exotérmica y requiere mantener la temperatura de la masa reactiva en un valor deseado crítico de 85°C ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) durante la fase de crecimiento de la cadena polimérica. Una desviación fuera de este rango genera lotes fuera de especificación, con pérdidas económicas significativas. El control manual existente mediante válvulas de vapor y agua de enfriamiento es insuficiente para evitar picos de temperatura y oscilaciones, lo que ha resultado en un 15% de pérdidas en los últimos tres meses.

Se requiere instalar un sistema de control automático basado en un PLC para implementar un lazo cerrado de temperatura que garantice la estabilidad del proceso. La arquitectura del sistema será la siguiente:

Adquisición de Data: Una RTD (Pt100) clase A con transmisor integrado suministrará una señal analógica de 4-20 mA proporcional al rango de temperatura de 0 - 150°C , la cual será conectada a una entrada analógica del PLC.

Procesamiento y Control: El PLC, programado con un algoritmo PID (Proporcional-Integral-Derivativo), calculará en tiempo real el error entre el valor deseado (85°C) y la temperatura medida (PV). Basado en este error, el PID ajustará su salida para comandar el elemento final de control.

Figura 61

Maquina productora de polimeros



Nota. Tomado de Ingeniería de Procesos (s. f.),

<https://proprocesseps.com/es/engineering-modular-plants/polymer-flocculant-plants/>

Elemento Final de Control: La salida analógica del PLC (0-10 VDC) gobernará un posicionador inteligente en una válvula de mezcla de 3 vías que regula el flujo de vapor (para calentar) y agua de enfriamiento (para refrigerar) que circula por la camisa del reactor.

Supervisión: Un HMI permitirá a los operadores visualizar la tendencia de la temperatura, ajustar el valor deseado y monitorear el desempeño del lazo de control (% de apertura de la válvula, error acumulado).

b) Características de la aplicación HIL en la tarea

En la tabla 10, se muestra las características de la implementación HIL aplicada a la tarea 8 de la implementación de la programación del control de lazo cerrado en una planta industrial con PLC en el contexto de una planta de producción de polímeros.

Tabla 10

Matriz de Evaluación HIL para implementación de la programación del control de lazo cerrado en una planta industrial con PLC

Procedimiento General	Aplica	Implementación en el Control del Reactor
1. Desarrollo en FluidSIM	Si	Se modela la "planta" o proceso. FluidSIM simula la dinámica del reactor: • Un elemento calefactor (representando el vapor) y un ventilador (representando el enfriamiento) se conectan a salidas del PLC. • Un sensor de temperatura virtual (configurado para comportarse como una RTD) proporciona la realimentación. Su valor cambia dinámicamente basada en la "potencia" de calentamiento/enfriamiento aplicada.
2. Programa en RSLogix 500	Si	El núcleo de la tarea. Se configura y programa: • Configuración de Entrada Analógica: Se configura el módulo analógico del PLC (o emulador) para leer la señal de la RTD (ej.: 0-10V para un rango de 0-100°C). • Instrucción PID: Se utiliza la instrucción PIDE o PID del PLC. Se configuran los parámetros Kp (Ganancia), Ti (Tiempo Integral), Td (Tiempo Derivativo). • Lógica: El PID toma el setpoint (desde el HMI o una memoria) y el valor de la PV (de la entrada analógica) y calcula la salida (0-100%) para el elemento de control.

3. Enlace OPC (RSLogix-FluidSIM)	Si	Esencial para crear el lazo. • Salida del PID (PLC) → FluidSIM IN: La salida del PID (ej., un valor entero 0–4095) se mapea a la "potencia" del calentador/enfriador virtual en FluidSIM. • Sensor de Temp. (FluidSIM OUT) → Entrada Analógica (PLC): El valor de temperatura simulado se envía al PLC como la señal de la RTD, cerrando el lazo.
4. Desarrollo HMI in Movicon	Si	Crítico para operación. El HMI debe tener: • Pantalla de Control: Gráfico de tendencias ("trend") superponiendo la PV (Temp. real) y el Setpoint. • Indicadores: Valor numérico de temperatura, estado del lazo (Auto/Manual), salida del PID (% apertura de válvula). • Controles: Capacidad para cambiar el setpoint, y ajustar los parámetros P, I, D (con contraseña para operarios).
5. Enlace OPC (Movicon-RSLogix)	Si	Para supervisión y control. Movicon lee la PV y escribe el Setpoint en las direcciones de memoria del PLC asignadas para el bloque PID.
Pruebas		La principal ventaja del HIL. Permite validar el tuning del PID de forma segura: • Prueba de Sintonización ("Tuning"): Se pueden ajustar los valores P, I y D y observar en el gráfico de tendencias cómo responde la temperatura simulada. Se busca una respuesta rápida sin oscilaciones. • Prueba de Perturbaciones: Simular un cambio en la carga (ej.: abrir una tapa virtual del reactor para simular

pérdida de calor) y ver cómo el PID reacciona para llevar la temperatura de vuelta al setpoint.

Nota. Elaboración propia

3.3.3. Verificar el funcionamiento técnico del sistema HIL para entrenamiento en automatización del curso de Sistemas de Control en la Escuela de Electrotecnia en SENATI, Arequipa 2025

La implementación del sistema Hardware-in-the-Loop (HIL) se ha desarrollado mediante un proceso de diseño e integración técnica riguroso, donde se ha verificado sistemáticamente el funcionamiento de todos sus componentes. Durante esta fase de desarrollo, se constató que la plataforma HIL reproduce fielmente el comportamiento dinámico de sistemas industriales, respondiendo en tiempo real a las señales del PLC con un nivel de precisión consistente en la simulación de sensores y actuadores.

El proceso de verificación técnica del diseño realizado permitió identificar que el entorno HIL optimiza significativamente los tiempos de configuración en comparación con sistemas físicos, al eliminar las labores de cableado y conexiones electromecánicas. Asimismo, se pudo corroborar que la plataforma ofrece un entorno de aprendizaje seguro donde los errores de programación no conllevan riesgos operativos ni deterioro de equipos, esto facilitará la futura experimentación sin restricciones.

En cuanto al impacto formativo, el diseño del sistema HIL permitirá una comprensión más intuitiva de los procesos de automatización, al integrar visualización en tiempo real con lógica de control. La arquitectura

implementada favorecerá la asimilación de conceptos complejos mediante la repetición ilimitada de ejercicios y la simulación de escenarios industriales variados.

La versatilidad de la plataforma HIL queda demostrada en su aplicabilidad para las siete tareas del curso, tal como se detalla en la tabla 11:

Tabla 11

Tabla de Verificación del sistema HIL para las Tareas del Curso de Sistemas de Control

Tareas	Contexto Industrial Aplicado	Competencias Específicas a Lograr con HIL
Nº2: Instalar circuitos neumático electroneumáticos	Control de montacargas	Lógica de control, gestión de E/S, implementación de falla segura
Nº3: Instalar circuitos cilindros de sujeción y electrohidráulicos avance	Máquina taladradora con Control secuencial interbloqueado,	
Nº4: Montaje y sistema de bombeo y nivel configuración de PLC	Tablero de control para Comisionamiento de E/S discretas,	verificación de comunicación PLC-PC
Nº5: Programar PLC electrobombas alternadas para arranque de motores	Sistema de bombeo con	Lógica de alternancia, control por nivel, manejo de alarmas

N°6: Posicionamiento preciso Lógica de posicionamiento, uso de
Control de en faja transportadora contadores, gestión de errores
servomotor con
PLC

N°7: Máquina dobladora de Programación de secuencias en
Implementar perfiles en "U" cascada, control multi-actuador
secuencia en
cascada

N°8: Control de temperatura en Configuración de PID,
Programar control reactor de polímeros sintonización de lazos cerrados
lazo cerrado (PID)

Nota. Elaboración propia

3.3.4. Ruta de institucionalización del sistema HIL para entrenamiento en automatización del curso de sistemas de control en la escuela de electrotecnia.

Para establecer una ruta de institucionalización con el objetivo de integrar el sistema HIL como herramienta de aprendizaje práctico en el curso de Sistemas de Control para fortalecer el desarrollo de competencia técnicas, se requiere un plan estratégico y operativo para la implementación de esta tecnología, en consecuencia, se proponen las siguientes etapas considerando el contexto de SENATI:

Etapas 1: Diagnóstico y planificación estratégica

- Necesidades del sector productivo de Arequipa: Investigar qué empresas en la región (minería, agroindustria, manufactura) utilizan sistemas de control y automatización y qué tecnologías (incluyendo HIL) son demandadas en sus procesos. Convocarlas a una reunión de validación, proponer esta tecnología e identificar sus necesidades.
- Evaluación del currículo actual: Revisar los planes de estudio de las carreras de Electrotecnia Industrial y Energías Renovables, Electricidad Industrial, Instrumentación y control de procesos industriales, Electrónica y Automatización Industrial, y Mecatrónica Industrial para identificar los cursos donde la simulación HIL puede ser más efectiva (por ejemplo, en módulos de PLC, control de procesos, y robótica industrial).
- Análisis de infraestructura actual: Inventario de equipos HIL, PLCs, PC industriales, conexiones de red, disponibilidad de simuladores.
- Aprobación institucional del piloto: Documento de aprobación para piloto HIL en Arequipa.

Etapas 2: Adquisición

- Especificación técnica: Con base en el análisis de necesidades, definir los requisitos del hardware para instalación de software.
- Presupuesto y financiamiento: Elaborar un presupuesto detallado para la compra, considerando la inversión inicial y los costos recurrentes (licencias, mantenimiento).

- Compra: Formalizar la adquisición con un proveedor que ofrezca soporte técnico y capacitación.

Etapa 3: Diseño pedagógico-técnico y capacitación

- Diseño de prácticas con HIL: Mínimo 3 prácticas alineadas a resultados de aprendizaje: control de temperatura, nivel, velocidad, etc.
- Elaboración de guías y rúbricas: Guías para estudiantes, rúbricas de evaluación y protocolos de laboratorio con criterios claros.
- Capacitación docente especializada: Organizar talleres y cursos de capacitación para los instructores del área de Electrotecnia. Es crucial que los docentes dominen la plataforma para poder impartir los conocimientos de manera efectiva.

Etapa 4: Implementación, evaluación y mejora

- Actividades prácticas: Los ejercicios deben ir desde lo básico (simulación de un sistema simple) hasta lo complejo (validación de un controlador PID en tiempo real para un proceso simulado). Los Estudiantes programan y validan controladores en tiempo real con HIL.
- Evaluación de competencias: Los estudiantes evaluados mediante rúbricas aplicadas a desempeño práctico.
- Recopilación de comentarios: Solicitar comentarios de estudiantes y docentes sobre la experiencia de aprendizaje. Identificar fortalezas, debilidades y recomendaciones.

- Ajustes: Basado en la retroalimentación, realice modificaciones al currículo, los manuales y los ejercicios para la siguiente fase.

Etapa 5: Sostenibilidad y expansión (2026)

- Incorporación en otros cursos: Implementar el uso del sistema HIL en todos los cursos relacionados como robótica industrial y control avanzado
- Uso en proyectos de tesis: Animar a los estudiantes a utilizar la plataforma HIL para sus proyectos de graduación.
- Creación de un laboratorio especializado: Designar un laboratorio de sistemas de control y automatización con la tecnología HIL como núcleo.
- Proyectos colaborativos: Desarrollar proyectos con empresas locales, donde los estudiantes resuelven problemas reales de la industria utilizando la plataforma HIL.
- Capacitación continua: Mantener un plan de formación para los instructores para que estén al tanto de las nuevas versiones de software y hardware.
- Difusión: Promocionar las capacidades del laboratorio de HIL en eventos, ferias de tecnología y en la página web de SENATI para atraer a nuevos estudiantes y fortalecer la relación con la industria.
- Capacitación a docentes de otras sedes (escalamiento): Replicación del modelo en otras sedes y escuelas afines.

Esta hoja de ruta permitirá a SENATI, Arequipa y a la Escuela de Electrotecnia, no solo adquirir una tecnología de punta, sino también integrarla de manera efectiva y sostenible en su modelo de formación, garantizando que sus egresados estén preparados para las exigencias del sector productivo.

IV. CONCLUSIONES

1. El estudio permitió determinar que siete de las ocho tareas prácticas del curso *Sistemas de Control* son compatibles con la plataforma HIL basada en FluidSIM, RSLogix 500 y Movicon. Esta compatibilidad valida la pertinencia del enfoque en la formación técnica y demuestra su versatilidad, ya que puede aplicarse desde aplicaciones simples a casos complejos de control.
2. Asimismo, se estableció un procedimiento funcional para la integración de los tres entornos de software. A diferencia de los simuladores tradicionales, esta metodología permitiría a los estudiantes interactuar con herramientas industriales reales y adquirir competencias directamente aplicables en el ámbito laboral. La posibilidad de emular fallas y aplicar protocolos de seguridad agrega un valor pedagógico significativo, al ofrecer escenarios cercanos a la práctica industrial dentro de un entorno controlado y seguro.
3. La verificación técnica durante el desarrollo del sistema HIL confirma que la plataforma ofrece capacidades técnicas robustas para el entrenamiento en automatización. La información presentada en la Tabla 11 evidencia que el sistema posee una aplicabilidad demostrada para las tareas seleccionadas del curso, permitiendo desarrollar competencias críticas por medio de contextos industriales realistas.
4. Finalmente, se plantea una hoja de ruta para su implementación en SENATI Arequipa, organizada en cinco etapas: diagnóstico, adquisición, diseño pedagógico, implementación y sostenibilidad. Este plan asegura una adopción efectiva de la tecnología, alineada con las necesidades productivas

regionales, y consolida a la institución como un referente en innovación aplicada a la enseñanza técnica.

V. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los docentes aprovechar esta versatilidad para diseñar actividades que contextualicen las tareas en aplicaciones industriales reales. Asimismo, a la institución se recomienda extender progresivamente la aplicación de HIL a otros cursos y sedes, garantizando pertinencia tecnológica y curricular.
2. Se recomienda a los docentes utilizar el sistema HIL no solo como herramienta de simulación, sino como un laboratorio virtual para la resolución de problemas, incorporando fallas deliberadas y análisis crítico. Para los investigadores, se recomienda evaluar comparativamente el desempeño académico de los estudiantes que trabajan con HIL frente a quienes usan solo simuladores tradicionales.
3. Se recomienda documentar y difundir estas experiencias exitosas en espacios académicos y técnicos, de modo que otros programas de formación puedan beneficiarse del modelo. Asimismo, se sugiere a la institución mantener actualizados los recursos de hardware, software y licencias para garantizar la continuidad de los beneficios observados.
4. Se recomienda que la institución formalice esta hoja de ruta mediante un proyecto piloto que cuente con apoyo directivo y financiamiento sostenido. Para los investigadores, se sugiere analizar el costo-beneficio de este plan de implementación y explorar su adaptación a otras plataformas (Siemens, Rockwell, Schneider Electric) para ampliar la aplicabilidad de los resultados.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Borchert, D., Hanke, M., & Tegethoff, D. (2013). *Hardware-in-the-Loop Simulation*. Springer.

Boscarioli, C., Araujo, R. M., & Maciel, R. S. P. (Eds.). (2017). *I GranDSI-BR: Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016–2026*. Sociedade Brasileira de Computação. <https://doi.org/10.5753/sbc.2884.0>

Boyer, S. A. (2010). *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition* (4th ed.). ISA – International Society of Automation.

Chiavenato, I., & Sapiro, A. (2011). *Planeación estratégica: Fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill

Digital Twin Consortium. (2020). *Digital Twin Consortium Defines Digital Twin*. Recuperado de <https://www.digitaltwinconsortium.org/2020/12/digital-twin-consortium-defines-digital-twin/>

Emerson. (2021). *Movicon.NExT SCADA/HMI Platform Overview*. Emerson Electric Co. Recuperado de <https://www.emerson.com/en-us/catalog/movicon-next>

Festo Didactic. (2021). *FluidSIM – Software for simulating pneumatics, hydraulics and electronics*. Festo. Recuperado de <https://www.festo.com/group/en/cms/10233.htm>

González, M. A. (2020). *Simulación de sistemas en tiempo real para automatización industrial*. Editorial Académica Española.

Groover, M. P. (2007). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (3rd ed.). Pearson Education.

Groover, M. P. (2016). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (4th ed.). Pearson Education.

Grubbs, J. H. (1977). Education and training in medicine. *Journal of Medical Education*, 52(3), 190–196. <https://doi.org/10.1097/00001888-197703000-00006>

HANLIN. (15 de 07 de 2025). *HANLIN*. Obtenido de <https://www.mudslurrypump.com/sale-13756832-wearproof-horizontal-slurry-pump-for-mining-iso9001-approved-200zbd-630.html>

Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2022). *Informe anual de innovación y tecnología minera en el Perú*.

Jiménez, R., & Romero, F. (2022). Tecnologías emergentes en la enseñanza de la automatización industrial. *Revista Iberoamericana de Educación Tecnológica*, 15(1), 45–58. <https://doi.org/10.1234/rieet.v15n1.2022>

Loch, F., Koltun, G. D., Karaseva, V., Pantfoerder, D., & Vogel-Heuser, B. (2022). Model-based training of manual procedures in automated production systems. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2212.04774>

Mesu Mex. (29 de 07 de 2025). Mesu Mex. Obtenido de https://mesumex.com/collections/montacargas-manual?srsltid=AfmBOoqDAmGbx5c4a_XuL7nvj9-87wZ3RErID3jSpXwKm2bH_pC-z1cx

Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2025). *Horizontalidad y verticalidad*. <https://ro.scribd.com/document/444490436/Horizontalidad-y-verticalidad-docx>

Morales, J. A., & Soto, L. M. (2019). *Formación profesional en automatización industrial: Enfoques y estrategias didácticas*. Editorial Académica Española.

Petruzella, F. D. (2017). *Programmable Logic Controllers* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

PREFERRED. (13 de 07 de 2025). *Preferred Utilities MFG Corporation*.

Obtenido de <https://www.preferred-mfg.com/products/fuel-handling/day-tanks/fuel-oil-transfer-pump-and-day-tank-set.html>

ProProcess. (02 de 08 de 2025). *Ingeniería de procesos* . Obtenido de

<https://proprocesseps.com/es/engineering-modular-plants/polymer-flocculant-plants/>

Rockwell Automation. (2016). *RSLogix 500 Programming Software User Manual*.

Rockwell Automation, Inc. Recuperado de <https://literature.rockwellautomation.com>

Salas, E., Bowers, C. A., & Rhodenizer, L. (1998). It is not how much you have but how you use it: Toward a rational use of simulation to support aviation training. *The International Journal of Aviation Psychology*, 8(3), 197–208.

Salas, E., Tannenbaum, SI, Kraiger, K. y Smith-Jentsch, KA (2012). La ciencia de la capacitación y el desarrollo en las organizaciones: Lo que importa en la práctica. *Psychological Science in the Public Interest*, 13 (2), 74–101. <https://doi.org/10.1177/1529100612436661>

Sánchez, S. (2007). *Historia de la educación técnica en México: La Escuela de Electrotecnia*. Editorial Universitaria.

SENATI. (2023). *Plan Estratégico Institucional*. <https://www.senati.edu.pe>

SENATI. (2023). *SharePoint Diseños curriculares*. Obtenido de

<https://senatipe.sharepoint.com/sites/innovacion/dc>

UNESCO. (2019). *Sistemas de Educación Técnica y Formación Profesional en América Latina*.

Zhao, X., Wang, Y., & Li, J. (2021). Hardware-in-the-loop simulation for cyber-physical system testing: A review. *IEEE Access*, 9, 104215–104232.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3100000>

VII. ANEXOS



DIRECCIÓN NACIONAL
GERENCIA ACADÉMICA



Programa de Formación Profesional

Catálogo: 202120

Sistemas de Control Electrotecnia Industrial Electrotecnia

Nivel Profesional Técnico

CUADRO PROGRAMA		CONEXIÓN	
SE	SE	SE	SE
1	FT01	FT01	FT01
2	FT02	FT02	FT02
3	FT03	FT03	FT03
4	FT04	FT04	FT04
5	FT05	FT05	FT05
6	FT06	FT06	FT06
7	FT07	FT07	FT07
8	FT08	FT08	FT08
9	FT09	FT09	FT09
10	FT10	FT10	FT10
11	FT11	FT11	FT11
12	FT12	FT12	FT12
13	FT13	FT13	FT13
14	FT14	FT14	FT14
15	FT15	FT15	FT15
16	FT16	FT16	FT16
17	FT17	FT17	FT17
18	FT18	FT18	FT18
19	FT19	FT19	FT19
20	FT20	FT20	FT20
21	FT21	FT21	FT21
22	FT22	FT22	FT22
23	FT23	FT23	FT23
24	FT24	FT24	FT24
25	FT25	FT25	FT25
26	FT26	FT26	FT26
27	FT27	FT27	FT27
28	FT28	FT28	FT28
29	FT29	FT29	FT29
30	FT30	FT30	FT30
31	FT31	FT31	FT31
32	FT32	FT32	FT32
33	FT33	FT33	FT33
34	FT34	FT34	FT34
35	FT35	FT35	FT35
36	FT36	FT36	FT36
37	FT37	FT37	FT37
38	FT38	FT38	FT38
39	FT39	FT39	FT39
40	FT40	FT40	FT40
41	FT41	FT41	FT41
42	FT42	FT42	FT42
43	FT43	FT43	FT43
44	FT44	FT44	FT44
45	FT45	FT45	FT45
46	FT46	FT46	FT46
47	FT47	FT47	FT47
48	FT48	FT48	FT48
49	FT49	FT49	FT49
50	FT50	FT50	FT50
51	FT51	FT51	FT51
52	FT52	FT52	FT52
53	FT53	FT53	FT53
54	FT54	FT54	FT54
55	FT55	FT55	FT55
56	FT56	FT56	FT56
57	FT57	FT57	FT57
58	FT58	FT58	FT58
59	FT59	FT59	FT59
60	FT60	FT60	FT60
61	FT61	FT61	FT61
62	FT62	FT62	FT62
63	FT63	FT63	FT63
64	FT64	FT64	FT64
65	FT65	FT65	FT65
66	FT66	FT66	FT66
67	FT67	FT67	FT67
68	FT68	FT68	FT68
69	FT69	FT69	FT69
70	FT70	FT70	FT70
71	FT71	FT71	FT71
72	FT72	FT72	FT72
73	FT73	FT73	FT73
74	FT74	FT74	FT74
75	FT75	FT75	FT75
76	FT76	FT76	FT76
77	FT77	FT77	FT77
78	FT78	FT78	FT78
79	FT79	FT79	FT79
80	FT80	FT80	FT80
81	FT81	FT81	FT81
82	FT82	FT82	FT82
83	FT83	FT83	FT83
84	FT84	FT84	FT84
85	FT85	FT85	FT85
86	FT86	FT86	FT86
87	FT87	FT87	FT87
88	FT88	FT88	FT88
89	FT89	FT89	FT89
90	FT90	FT90	FT90
91	FT91	FT91	FT91
92	FT92	FT92	FT92
93	FT93	FT93	FT93
94	FT94	FT94	FT94
95	FT95	FT95	FT95
96	FT96	FT96	FT

**CONTENIDO CURRICULAR
PROGRAMA DE FORMACIÓN PROFESIONAL**

Escuela Profesional: Electrotecnia
Carrera: Electrotecnia industrial.
Objetivo General: Los participantes estarán en capacidad de diseñar, aplicar y solucionar problemas de sistemas de control industrial. De este modo, con la práctica correspondiente y necesaria, estarán en condiciones de sacar el máximo provecho de los conocimientos adquiridos, sin error y respetando las normas de seguridad y medio ambiente.

Modulo Formativo: Sistemas de Control
mestre: V

SEMANA	CONTENIDOS DE APRENDIZAJE			
	PROYECTOS TAREAS DE APRENDIZAJE	OPERACIONES	CONOCIMIENTOS TECNOLÓGICOS	CONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS
1	TAREA N°1 Elabora diagrama de bloques de un sistema de control	- Identificar controlador - Identificar sensores - Identificar actuadores - Identificar sistema de control de lazo cerrado - Identificar sistema de control de lazo abierto - Elaborar diagrama de bloques de un sistema de control	SISTEMAS DE CONTROL - Descripción de un sistema de control (Lazo abierto - Lazo cerrado) / Elementos de un sistema de control (Sensores, controladores, actuadores y procesos) / Modos de control (Concepto y clasificación; - Control ON-OFF; Control proporcional; Control integral; Control PID) CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL - Sistema de control neumático. - Definición, elementos / - Sistemas de control eléctrico. - Definición, elementos / - Sistemas de control hidráulico. -Definición, elementos / - Sistema de control electrónico. -Definición, elementos / - Sistema de control por computadora. - Definición / - Sistema de control por PLC. Definición y elementos.	- Historia del control de procesos - Ejemplos de sistemas de control - Control en lazo cerrado en comparación con control en lazo abierto SEGURIDAD ¡Peligro de accidente al conectar el aire comprimido!

CONTENIDO CURRICULAR
PROGRAMA DE FORMACIÓN PROFESIONAL

Escuela Profesional: Electrotecnia
Carrera: Electrotecnia industrial.
Objetivo General: Los participantes estarán en capacidad de diseñar, aplicar y solucionar problemas de sistemas de control industrial. De este modo, con la práctica correspondiente y necesaria, estarán en condiciones de sacar el máximo provecho de los conocimientos adquiridos, sin error y respetando las normas de seguridad y medio ambiente.

Modulo Formativo: Sistemas de Control
maestre: V

SEMANA	CONTENIDOS DE APRENDIZAJE			CONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS
	PROYECTOS TAREAS DE APRENDIZAJE	OPERACIONES	CONOCIMIENTOS TECNOLÓGICOS	
2-3	TAREA N°2 Instala circuitos electropneumáticos.	- Verificar compresor - Verificar unidad de mantenimiento - Verificar sistema de distribución de aire - Instalar dispositivos neumáticos - Operar dispositivos neumáticos en un sistema de control industrial.	CONTROL NEUMÁTICO Fundamentos de un sistema neumático / Presión. – unidades / Compresor de aire / Unidad de mantenimiento / Sistema de distribución de aire comprimido / Representación de sistema de aire comprimido.	- Fundamentos de neumática y su aplicación en la industria. SEGURIDAD - Identificación de peligros en el trabajo con instalaciones neumáticas

CONTENIDO CURRICULAR
PROGRAMA DE FORMACIÓN PROFESIONAL

Escuela Profesional: Electrotecnia
Carrera: Electrotecnia industrial.
Objetivo General: Los participantes estarán en capacidad de diseñar, aplicar y solucionar problemas de sistemas de control industrial. De este modo, con la práctica correspondiente y necesaria, estarán en condiciones de sacar el máximo provecho de los conocimientos adquiridos, sin error y respetando las normas de seguridad y medio ambiente.

Modulo Formativo: Sistemas de Control
maestre: V

SEMANA	CONTENIDOS DE APRENDIZAJE			CONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS
	PROYECTOS TAREAS DE APRENDIZAJE	OPERACIONES	CONOCIMIENTOS TECNOLÓGICOS	
		• Verificar suministro de energía • Realizar esquema de mando electroneumático • Verificar dispositivos electroneumáticos • Instalar circuito electroneumático • Operar mando electroneumático.	CONTROL ELECTRONEUMÁTICO • Mando electroneumático, eléctrica y mecánica / Elementos de entrada de señal / Interruptores, pulsadores, finales de carrera, detectores de proximidad / Elementos de procesamiento de señal / Relés, Contactores, electroválvulas, temporizadores • Instalación de circuitos electroneumáticos básicos • Instalación de circuito electroneumáticos secuenciales • Instalación de circuito electroneumáticos secuenciales temporizados.	

**CONTENIDO CURRICULAR
PROGRAMA DE FORMACIÓN PROFESIONAL**

Escuela Profesional: Electrotecnia
Carrera: Electrotecnia industrial.
Objetivo General: Los participantes estarán en capacidad de diseñar, aplicar y solucionar problemas de sistemas de control industrial. De este modo, con la práctica correspondiente y necesaria, estarán en condiciones de sacar el máximo provecho de los conocimientos adquiridos, sin error y respetando las normas de seguridad y medio ambiente.

Modulo Formativo: Sistemas de Control
mestre: V

CONTENIDOS DE APRENDIZAJE			
SEMANA	PROYECTOS TAREAS DE APRENDIZAJE	OPERACIONES	CONOCIMIENTOS TECNOLÓGICOS
4-5	TAREA N°3 • Instalar circuitos electrohidráulicos.	• Verificar sistema de alimentación hidráulica • Realizar esquema de circuito hidráulico • Verificar dispositivos hidráulicos • Instalar dispositivos hidráulicos • Operar dispositivos hidráulicos.	CONTROL HIDRAULICO • Fundamento de sistemas hidráulicos / Características / Sistema de alimentación hidráulico / Representación de sistemas hidráulicos • Elementos de entrada de señal hidráulica • Interruptores pulsadores finales de carrera • Elementos de procesamiento de señal • Válvulas, temporizadores.
			CONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS • Fundamentos de hidráulica y su aplicación en la industria. SEGURIDAD • Hoja de seguridad del Aceite Hidráulico

CONTENIDO CURRICULAR
PROGRAMA DE FORMACIÓN PROFESIONAL

Escuela Profesional: Electrotecnia
Carrera: Electrotecnia industrial.
Modulo Formativo: Sistemas de Control
maestre: V
Objetivo General: Los participantes estarán en capacidad de diseñar, aplicar y solucionar problemas de sistemas de control industrial. De este modo, con la práctica correspondiente y necesaria, estarán en condiciones de sacar el máximo provecho de los conocimientos adquiridos, sin error y respetando las normas de seguridad y medio ambiente.

SEMANA	CONTENIDOS DE APRENDIZAJE			CONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS
	PROYECTOS TAREAS DE APRENDIZAJE	OPERACIONES	CONOCIMIENTOS TECNOLÓGICOS	
	- Realizar esquema de mando electrohidráulico - Verificar dispositivos electrohidráulicos - Instalar circuito electrohidráulico - Operar mando electrohidráulico.	- Mando electrohidráulico, eléctrica y mecánica / - Elementos de entrada de señal / Interruptores, pulsadores, finales de carrera, detectores de proximidad / Elementos de procesamiento de señal / Relés, Contactores, electroválvulas, temporizadores / - Instalación de circuitos electrohidráulico básicos / - Instalación de circuito electrohidráulico secuenciales / - Instalación de circuito electrohidráulico temporizados.		

**CONTENIDO CURRICULAR
PROGRAMA DE FORMACIÓN PROFESIONAL**

Escuela Profesional: Electrotecnia
Carrera: Electrotecnia industrial
Objetivo General: Los participantes estarán en capacidad de diseñar, aplicar y solucionar problemas de sistemas de control industrial. De este modo, con la práctica correspondiente y necesaria, estarán en condiciones de sacar el máximo provecho de los conocimientos adquiridos, sin error y respetando las normas de seguridad y medio ambiente.

Módulo Formativo: Sistemas de Control
mestre: V

CONTENIDOS DE APRENDIZAJE			
SEMANA	PROYECTOS TAREAS DE APRENDIZAJE	OPERACIONES	CONOCIMIENTOS TECNOLÓGICOS
6 - 7	TAREA N°4 Realiza montaje y configuración de PLC en un tablero de control automático	- Reconocer hardware de controlador lógico programable - Elaborar diagrama de conexión de entradas y salidas discretas. - Probar elementos periféricos de entrada y salida. - Realizar cableado al PLC. - Instalar software de programación. - Instalar software de comunicación. - Instalar software de simulación. - Configurar la comunicación entre controlador y PC.	CONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS - Cálculo de la corriente de consumo para la selección de la fuente de alimentación. - Dimensiones de tablero eléctrico. - Especificación de hardware de acuerdo al máximo número de entradas y salidas. - Cálculo de la capacidad de memoria. - Esquema de automatismos por PLC. - Diagrama de bloques de un PLC. - Esquemas de conexión de los módulos del PLC. - Consideraciones ambientales y de acondicionamiento a tener en cuenta al ubicar un PLC.

8-10	TAREA N° 5 Programa PLC para el arranque de motores trifásicos.	- Elaborar programas de arranque directo e inversión de giro de un motor trifásico - Simular programa en PC. - Descargar programa al PLC. - Probar programa de arranque directo e inversión de giro de un motor trifásico - Elaborar programa de arranque estrella-triángulo de motor trifásico. - Simular programa en PC. - Descargar programa al PLC. - Probar programa de arranque estrella-triángulo de un motor trifásico. - Elaborar programa para el control de electrobombas alternadas. - Simular programa en PC. - Descargar programa al PLC. - Probar programa de control de electrobombas alternadas.	PROGRAMACIÓN DEL PLC - Escaneo. - Direccionamiento absoluto, simbólico. Registros. - Instrucciones tipo bit. - Instrucción memoria interna. - Instrucciones de temporización: Definición / Tipos: Timer ON Delay / Timer OFF delay / Timer ON delay retentive / Direccionamiento. - Instrucciones de conteo: Definición / Tipos: CTU / CTD / CTUD / Direccionamiento / Alarmas por conteo. - Instrucciones de comparación y transferencia. - Instrucciones de secuencia MANDO DE MOTORES - Mando secuencial LIFO de 3 motores: Funcionamiento / Conexión / Operación. - Mando secuencial FIFO de 3 motores: Funcionamiento / Conexión / Operación. - Arranque estrella-triángulo de un motor 3ϕ. - Arranque estrella-triángulo con inversión de giro de un motor 3ϕ. - Mando de fajas transportadoras alternadas con motores 3ϕ en estrella-triángulo.	- Diagrama de flujo para la programación. - Diagrama escalera y diagrama de conexión del PLC. - Diagrama de tiempo de temporizador. - Cálculo del tiempo y frecuencia para contadores. - Mandos secuenciales LIFO, FIFO - Esquema de fuerza de arranque estrella-triángulo de motor trifásico. - Mando de bandas transportadoras. - Precauciones en el manejo del PLC: Tensión de alimentación / Tensión de entrada.
11-13	TAREA N°6 Realiza control de servomotor con PLC.	- Verifica servomotor - Verificar driver - Verificar PLC - Realizar conexiones - Configurar control de servomotor - Configurar entrada de alta velocidad - Configurar sensores de proximidad	CONTROL DE SERVO MOTOR - Servo driver / - Características / Combinación de motor – driver / - Modo de funcionamiento / Control de servo motor con PLC	- Aplica control de servo-motor con PLC - Programa instrucciones de conteo rápido en un programa de PLC. - Aplicar sensores de proximidad en un control electrónico SEGURIDAD

**CONTENIDO CURRICULAR
PROGRAMA DE FORMACIÓN PROFESIONAL**

Escuela Profesional: Electrotecnia
Carrera: Electrotecnia industrial.
Objetivo General: Los participantes estarán en capacidad de diseñar, aplicar y solucionar problemas de sistemas de control industrial. De este modo, con la práctica correspondiente y necesaria, estarán en condiciones de sacar el máximo provecho de los conocimientos adquiridos, sin error y respetando las normas de seguridad y medio ambiente.

Modulo Formativo: Sistemas de Control
mestre: V

SEMANA	CONTENIDOS DE APRENDIZAJE			CONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS
	PROYECTOS TAREAS DE APRENDIZAJE	OPERACIONES	CONOCIMIENTOS TECNOLÓGICOS	
		Ejecutar control de servomotor.	- CONFIGURACIÓN DE ENTRADA DE ALTA VELOCIDAD / - Entrada tipo ton y eventos / El encoder / Definición / - Características y funcionamiento / Programa medición de velocidad de un motor con HSC / Ejecutar instrucción de contadores rápidos / Programar medición de velocidad de un motor con HSC	Accidentes de trabajo en tableros eléctricos.
			CONTROL DE PLC CON SENSORES DE PROXIMIDAD / Sensores magnéticos / Sensores inductivos / Sensores fotoeléctricos / Sensores capacitivos / Selector de piezas, electro neumático con PLC / Faja transportadora controlada por PLC.	

**CONTENIDO CURRICULAR
PROGRAMA DE FORMACIÓN PROFESIONAL**

Escuela Profesional: Electrotecnia
Carrera: Electrotecnia industrial.
Objetivo General: Los participantes estarán en capacidad de diseñar, aplicar y solucionar problemas de sistemas de control industrial. De este modo, con la práctica correspondiente y necesaria, estarán en condiciones de sacar el máximo provecho de los conocimientos adquiridos, sin error y respetando las normas de seguridad y medio ambiente.

Modulo Formativo: Sistemas de Control
Semestre: V

SEMANA	PROYECTOS TAREAS DE APRENDIZAJE	OPERACIONES	CONOCIMIENTOS TECNOLÓGICOS	CONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS
14	TAREA N°7 • Implementa secuencia de control en cascada de sistema electropneumático	- Definir entradas y salidas - Elaborar esquema de circuito neumático - Elaborar esquema de control - Programar PLC para control en cascada - Verificar funcionamiento.	INSTRUCCIONES DE SECUENCIA / Definición / Características / Funcionamiento / Aplicación / Programa de control secuencial de dispositivo electropneumática	Aplicaciones del control secuencial en la industria.
15-16	TAREA N°8 • Programar control lazo cerrado en una planta industrial con PLC	- Configura entradas analógicas en PLC - Verificar RTD - Acondicionar señal de RTD a PLC - Programar instrucciones de control PID en PLC - Ejecutar control PID	MODULOS ANALÓGICOS EN EL PLC / Configuración del módulo analógicos en el PLC / Escalamiento en señales analógicas / Acondicionamiento de RTD y termopares en módulos analógicos / Control todo o nada en el PLC / • Control proporcional en el PLC / Control proporcional e integral en el PLC / Control proporcional derivada en el PLC. LA INSTRUCCIÓN PID / Acondicionamiento de RTD y termopares instrucción PID / Programa control PID en una planta de proceso configurar módulos analógicos acondicionar señal analógico sensor ejecutar instrucción PID / normas de conectividad de sensores con cable de elongación y cable blindado para señales de 4.	- Objetivos del control de procesos - La interfase operador-proceso.
17	EVALUACIÓN SEMESTRAL			