

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**DISEÑO DE UNA MAQUETA EDUCATIVA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MEDIANTE PLC Y
SENSORES, ORIENTADA A LA ENSEÑANZA TÉCNICO-PROFESIONAL EN ELECTRICIDAD.**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero de Ejecución en CONTROL E
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.

Alumno:

Nicolás Gallardo Encina

Profesores Guía:

Martín García Guitiérrez

Profesores Correferente:

Franz Yurjevic Perin



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: **Diseño de una maqueta educativa de automatización industrial mediante plc y sensores, orientada a la enseñanza técnico-profesional en electricidad.**

Nombre del candidato(a): Nicolás Javier Gallardo Encina

Carrera / Grado: Ingeniería de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial

Campus: Sede Viña de mar Departamento: Departamento Electrotecnia e Informática

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, ____Martín García Gutiérrez __, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 12 de AGOSTO 2026. Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 12 de AGOSTO 2026. Firma:



RESUMEN

El presente proyecto tiene como propósito diseñar e implementar una maqueta didáctica de automatización industrial para apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje de estudiantes de la especialidad de Electricidad del Colegio Técnico Profesional Mercedes Maturana Gallardo. La propuesta surge de la necesidad de contar con un recurso práctico que permita complementar los contenidos teóricos relacionados con programación de controladores lógicos programables, sensores, actuadores y sistemas de control de nivel.

La maqueta está compuesta por dos estanques transparentes, bombas eléctricas de corriente continua, sensores de nivel, un controlador lógico programable y los elementos eléctricos necesarios para supervisar y controlar la transferencia de agua entre ambos depósitos. Su funcionamiento permite representar un proceso industrial a pequeña escala, en el cual los estudiantes pueden analizar las condiciones de operación, desarrollar secuencias automáticas, programar sistemas de control y detectar posibles fallas durante el proceso.

El desarrollo del proyecto considera el diseño mecánico, eléctrico y de control de la maqueta, la selección de sus componentes, la programación del sistema, las pruebas de funcionamiento y la elaboración de material pedagógico para su utilización en actividades prácticas. Asimismo, se analiza la factibilidad técnica y económica de su implementación.

La solución propuesta busca fortalecer el aprendizaje práctico, favorecer la comprensión de los procesos automatizados y proporcionar un recurso reutilizable que permita acercar a los estudiantes a situaciones similares a las presentes en el entorno industrial.

KEYWORDS: Automatización industrial, PLC, control de nivel, maqueta didáctica.



ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo 1: Problemática a resolver	3
1 PROBLEMÁTICA POR RESOLVER.....	4
1.1 Identificación del problema	6
1.2 Objetivos del proyecto	8
1.3 Propuesta técnica: diseño de una maqueta automatizada	9
1.4 Plantamiento de soluciones técnicas posibles.....	10
1.5 Selección de la solución óptima	13
Capítulo 2: Desarrollo de la alternativa de solución	17
2 SOLUCIÓN TÉCNICA DE LA PROPUESTA	18
2.1 Descripción general del sistema.....	20
2.2 Requerimientos funcionales y de desempeño.....	23
2.3 Arquitectura física del prototipo	26
2.4 Diseño del subsistema hidráulico.....	31
2.5 Diseño del subsistema eléctrico y de control.....	38
2.6 Estrategia de control y secuencia de operación	52
2.7 Aplicación pedagógica del prototipo.....	62
2.8 Guía pedagógica de trabajo para el uso del prototipo	65
2.9 Pauta de evaluación	71
Capítulo 3: Evaluación del proyecto.....	74
3 INTRODUCCIÓN	75
3.1 Criterios de evaluación y alcance de la inversión	75
3.2 Listado de materiales y cotización	76
3.3 Planificación de la implementación del proyecto	79
3.4 Presupuesto total y análisis de costos	84



3.5 Evaluación económica del proyecto.....	92
Conclusiones.....	101
Bibliografía.....	104
Anexos	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Imagen Satelital Del Establecimiento Educacional.	4
Figura 1-2. Diagrama de Ishikawa	7
Figura 2-1 Esquema funcional simplificado del sistema	20
Figura 2-2. Diagrama de bloques del sistema	21
Figura 2-3. Disposición general del sistema de transferencia de agua	23
Figura 2-4. Estructura base del prototipo con dimensiones principales.....	27
Figura 2-5. Diagrama P&ID simplificado del sistema.	28
Figura 2-6. Esquema del sistema hidráulico.....	32
Figura 2-7. Arquitectura funcional del subsistema eléctrico y de control.	39
Figura 2-8. Diagrama eléctrico del sistema	44
Figura 2-9. Distribución de componentes en el tablero de control	50
Figura 2-10. Diagrama general de la estrategia de control.....	56
Figura 2-11. Diagrama de flujo del modo manual de operación	58
Figura 2-12. Secuencias automáticas de transferencia entre los estanques	59
Figura 2-13. Diagrama Ladder simplificado de la lógica de control	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Evaluación cuantitativa de alternativas tecnológicas.	15
---	----



Tabla 2-1. Características geométricas de los estanques.....	34
Tabla 2-2. Características de bombas eléctricas sumergibles.....	35
Tabla 2-3. Asignación de entradas y salidas del PLC	44
Tabla 2-4. Condiciones de operación y acciones.....	60
Tabla 2-5. Alineación curricular del prototipo con OAs ministeriales.....	63
Tabla 2-6. Registro de estados de sensores y respuesta del sistema	69
Tabla 2-7. Pauta de evaluación de la actividad práctica	71
Tabla 3-1. Cubicación de materiales del prototipo	76
Tabla 3-2. Carta Gantt de implementación del proyecto.....	81
Tabla 3-3. Estimación de horas hombre y costo de mano de obra.....	83
Tabla 3-4. Costo base de implementación del proyecto.....	85
Tabla 3-5. Costo total estimado de implementación del proyecto.....	86
Tabla 3-6. Comparación económica entre prototipo y la alternativa comercial	96
Tabla 3-7. Comparación técnica y pedagógica de las alternativas.....	97

LISTA DE SIGLAS

Sigla	Significado
PLC:	Controlador Lógico Programable
EMTP:	Educación Media Técnico-Profesional
DAEM:	Departamento de Administración de Educación Municipal
DC:	Corriente continua
AC:	Corriente alterna
HMI:	Interfaz Hombre-Máquina
LD:	Ladder Diagram (Diagrama de escalera)
FBD:	Function Block Diagram (Diagrama de bloques de función)



Sigla	Significado
IEC:	International Electrotechnical Commission
HH:	Horas hombre
IVA:	Impuesto valor agregado
VAN:	Valor Actual Neto
TIR:	Tasa Interna de Retorno
TMAR:	Tasa Mínima Atractiva de Retorno
CLP:	Peso chileno
DIN:	Instituto Alemán de Normalización

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descripción	Unidad
V	Volumen	m ³ / l
Q	Caudal	l/min
T	Tiempo	s
r	Radio del estanque	m
h	Altura del estanque	m
P	Potencia	W
I	Corriente eléctrica	A
V (eléctrico)	Tensión eléctrica	V

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la educación técnico-profesional, la formación de estudiantes en áreas vinculadas a la automatización industrial requiere no solo del desarrollo de conocimientos teóricos, sino también de experiencias prácticas que permitan comprender el funcionamiento de sistemas reales. Sin embargo, uno de los principales desafíos que enfrentan los establecimientos educacionales es la limitada disponibilidad de equipamiento didáctico especializado, lo que dificulta la enseñanza de estos contenidos de manera aplicada.

La automatización industrial, como área fundamental dentro de la especialidad de electricidad y control, demanda el uso de tecnologías como controladores lógicos programables (PLC), sensores y actuadores, cuya implementación en entornos educativos suele estar restringida por factores económicos y de infraestructura. En este escenario, surge la necesidad de desarrollar soluciones accesibles que permitan acercar estos sistemas a los estudiantes, facilitando el aprendizaje significativo y el desarrollo de competencias técnicas.

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una maqueta didáctica orientada a la simulación de un proceso industrial de control de nivel de líquidos, utilizando un PLC como elemento central de control. Esta propuesta busca integrar conceptos de automatización, control y electricidad industrial en un entorno práctico, replicable y adaptable al contexto educativo técnico profesional EMTP.

Para el desarrollo de esta solución, se consideraron aspectos técnicos asociados al diseño del sistema, la selección de componentes, la implementación de circuitos de control y fuerza, así como la planificación de su construcción. Asimismo, se incorporó una evaluación económica del proyecto, abordada desde un enfoque de inversión educativa, que permitió analizar su viabilidad en el tiempo mediante indicadores como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión.

De esta manera, el proyecto no solo responde a una necesidad pedagógica, sino que también propone una alternativa eficiente desde el punto de vista económico, permitiendo a instituciones educativas optimizar recursos y reducir costos asociados a la adquisición de equipamiento didáctico.

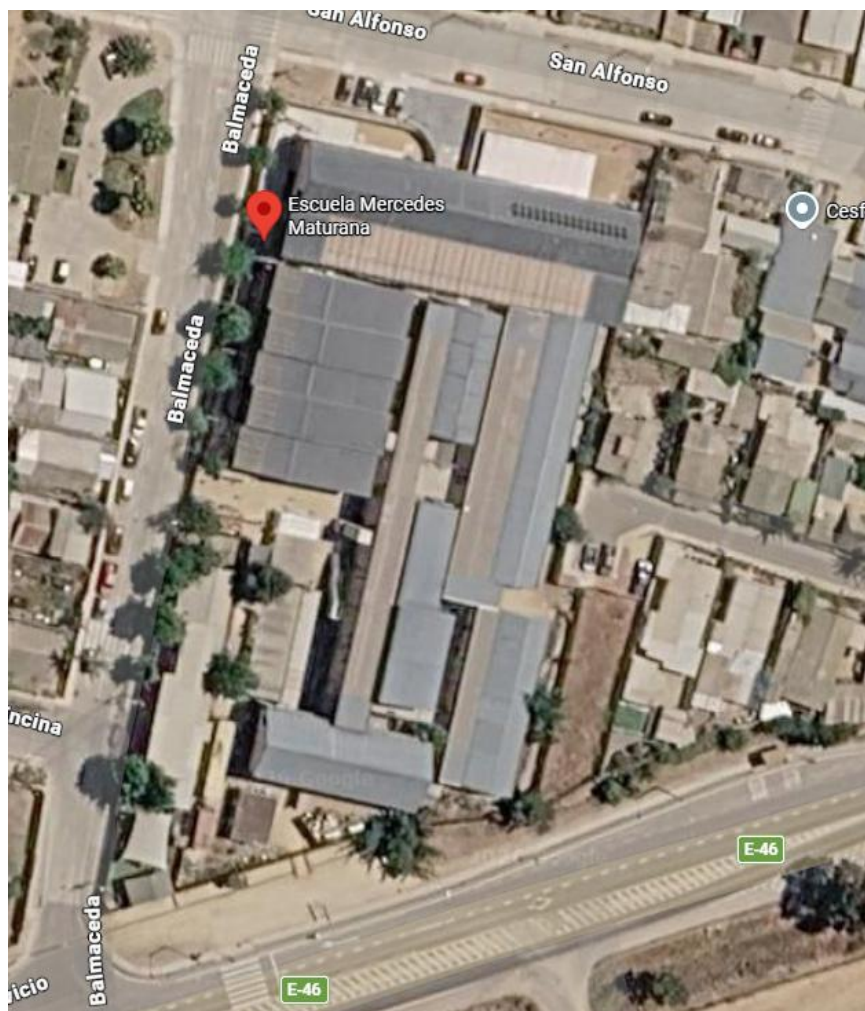
Finalmente, se plantea que esta propuesta puede ser replicada en distintos establecimientos técnico-profesionales, contribuyendo al fortalecimiento de la formación en automatización industrial y acercando a los estudiantes a un entorno de aprendizaje real del mundo laboral.

CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA A RESOLVER

1 PROBLEMÁTICA POR RESOLVER

El presente proyecto se desarrolla en el Colegio Técnico Profesional Mercedes Maturana Gallardo, establecimiento educacional ubicado en Catapilco, comuna de Zapallar, dependiente del Departamento de Administración de Educación Municipal (DAEM) de Zapallar.

La Figura 1-1 presenta la ubicación satelital del establecimiento educacional y su entorno inmediato.



Fuente: Google maps

Figura 1-1. Imagen satelital del establecimiento educacional.

El colegio imparte formación en las especialidades de Electricidad y Administración en el nivel técnico medio desde el año 2022, cursando actualmente su cuarta generación de enseñanza técnico-profesional, ambas orientadas a la preparación de estudiantes para su inserción en el mundo laboral mediante el desarrollo de competencias técnicas y profesionales pertinentes a las demandas del sector productivo.

En la especialidad de electricidad, los estudiantes adquieren conocimientos y habilidades relacionadas con el montaje, mantenimiento y control de sistemas eléctricos, incorporando progresivamente el uso de tecnologías de automatización y control industrial. Sin embargo, se ha identificado la necesidad de fortalecer el aprendizaje práctico mediante recursos didácticos actualizados que permitan al estudiante interactuar con procesos automatizados reales, promoviendo una comprensión más profunda de la relación entre teoría y práctica.

Actualmente, el currículum nacional contempla solo cuatro horas pedagógicas de automatización en cuarto año medio dentro de la especialidad de electricidad en enseñanza media técnico-profesional, lo que limita el tiempo efectivo destinado al desarrollo de habilidades en esta área. De acuerdo con el Decreto Supremo N°452 del Ministerio de Educación, la formación técnico-profesional debe desarrollar competencias vinculadas al control y automatización de sistemas eléctricos, evidenciando la necesidad de fortalecer estos contenidos en el proceso formativo.

En este contexto, se proyectan actualizaciones curriculares orientadas a aumentar la presencia de la automatización dentro de la formación técnica, reconociendo su importancia en los procesos industriales modernos. Esta tendencia refuerza la necesidad de que los establecimientos de educación media técnico-Profesional (EMTP) cuenten con recursos didácticos que permitan a los estudiantes experimentar con sistemas automatizados reales, favoreciendo una formación más pertinente y alineada con las demandas del entorno laboral.

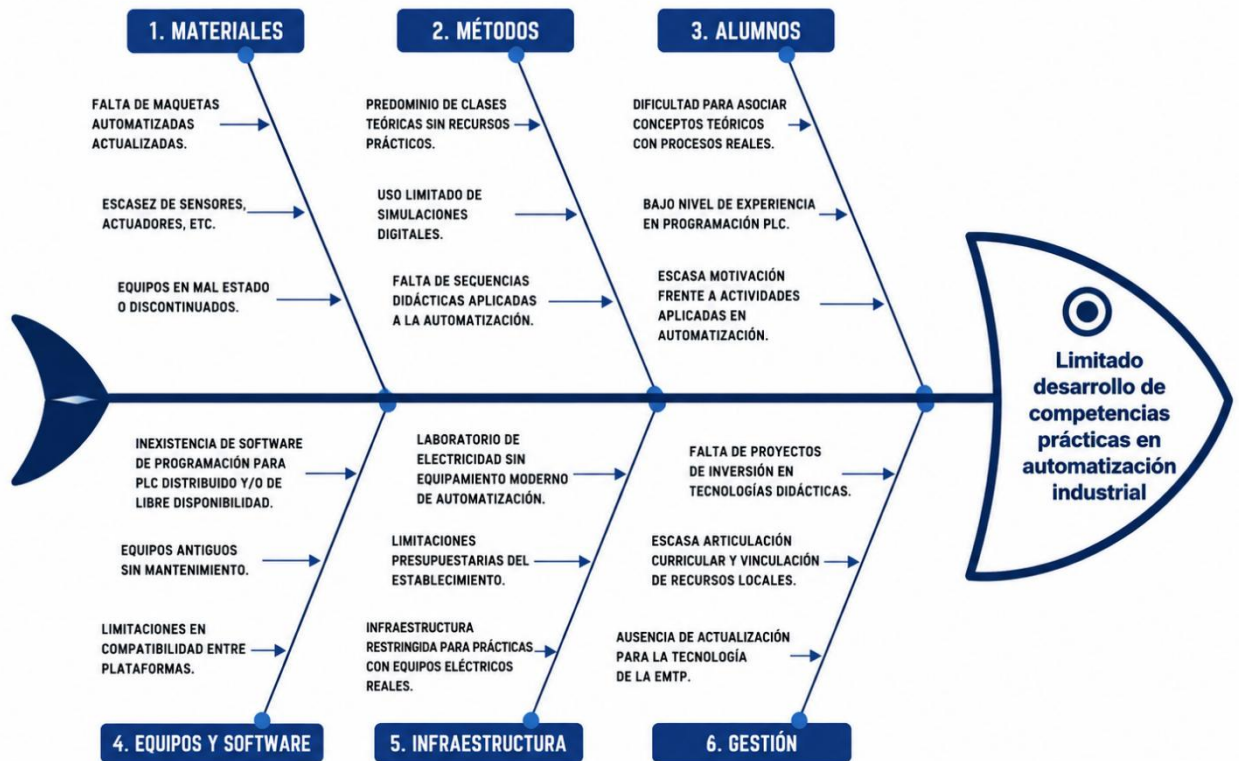
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En el colegio técnico profesional Mercedes Maturana Gallardo, los estudiantes de la especialidad de Electricidad adquieren conocimientos teóricos relacionados con control, sensores y actuadores. Sin embargo, no cuentan con recursos didácticos modernos que les permitan experimentar de forma práctica la integración de estos sistemas.

La ausencia de maquetas automatizadas o plantas piloto funcionales limita la comprensión integral de los conceptos de control secuencial, realimentación de señales, instrumentación y programación de PLC. Como consecuencia, los alumnos presentan dificultades para visualizar la aplicación real de los contenidos, afectando su motivación y el desarrollo de competencias técnicas esenciales para su perfil de egreso.

Por otra parte, la implementación de equipos industriales reales suele requerir recursos financieros significativos, lo que representa una barrera para los establecimientos municipales. Ante esta situación, se hace necesario diseñar un recurso pedagógico funcional, de bajo costo y alta aplicabilidad, que permita a los estudiantes vivenciar el funcionamiento de procesos automatizados de forma segura y controlada dentro del laboratorio escolar.

Con el objetivo de analizar las causas del problema identificado, se elaboró un diagrama de Ishikawa (ver Figura 1-2), el cual permite visualizar los factores principales que influyen en la limitada implementación de sistemas de automatización en el contexto educativo.



Fuente: elaboración propia

Figura 1-2. Diagrama de Ishikawa.

A partir del análisis presentado, se identifican factores asociados a la falta de equipamiento, limitaciones presupuestarias y ausencia de recursos didácticos actualizados, lo que impacta directamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar una solución didáctica orientada al fortalecimiento del aprendizaje práctico en el área de automatización industrial dentro de la especialidad de Electricidad en educación media técnico-profesional.

Para ello, se establecen un objetivo general y objetivos específicos que permiten guiar el desarrollo del proyecto, definiendo las etapas necesarias para su diseño, implementación y evaluación. Estos objetivos buscan asegurar la coherencia entre la propuesta técnica y las necesidades educativas identificadas en el contexto del establecimiento.

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una maqueta didáctica de automatización industrial, basada en un controlador lógico Siemens LOGO! y sensores de nivel, que reproduzca el proceso de llenado y vaciado de dos estanques, con la finalidad de fortalecer el aprendizaje práctico de control y automatización de los estudiantes de la especialidad de Electricidad del Colegio Técnico Profesional Mercedes Maturana Gallardo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir la situación actual del establecimiento respecto de los recursos, equipamiento y estrategias pedagógicas disponibles para la enseñanza práctica de la automatización industrial.
- Desarrollar la solución técnica de la maqueta didáctica, considerando la selección de la tecnología y la elaboración de los diagramas eléctricos, de control y automatización requeridos para el proceso de llenado y vaciado de estanques.

- Elaborar la cubicación y el presupuesto estimativo de los materiales y equipos necesarios para la construcción de la maqueta, evaluando su factibilidad de implementación en el establecimiento educacional.
- Elaborar una guía pedagógica para el uso de la maqueta, orientada al desarrollo de competencias prácticas de automatización y control en estudiantes de enseñanza media técnico-profesional.

1.3 PROPUESTA TÉCNICA: DISEÑO DE UNA MAQUETA AUTOMATIZADA

Como respuesta a la problemática identificada en el planteamiento anterior, se propone una solución de carácter técnico y pedagógico que fortalezca la enseñanza práctica de la automatización industrial en el Colegio Técnico Profesional Mercedes Maturana Gallardo.

El proyecto consiste en el diseño de una maqueta educativa automatizada, controlada mediante un PLC y sensores industriales, que simule un proceso real de control de nivel, permitiendo a los estudiantes interactuar directamente con sistemas de control secuencial, instrumentación y retroalimentación de señales.

En el contexto de la automatización educativa, existen múltiples alternativas tecnológicas que pueden utilizarse para el control de procesos, tales como los PLC Mitsubishi, Siemens, Schneider y Allen-Bradley, cada uno con sus respectivos software y lenguajes de programación. Por ello, el presente proyecto analiza tres posibles soluciones técnicas, evaluando sus ventajas, compatibilidad con el entorno educativo y viabilidad de implementación en el colegio.

El proyecto plantea el desarrollo de una maqueta modular, didáctica y de bajo costo, centrada en el módulo de llenado y vaciado de estanques, el cual permitirá simular un proceso de control automático de nivel mediante el uso de sensores y actuadores eléctricos. Este sistema constituye la primera etapa de una futura maqueta integral de automatización educativa que podrá ampliarse con nuevos módulos, tales como un elevador automatizado o una cinta transportadora de clasificación.

El módulo de llenado y vaciado de estanques será programado en lenguaje Ladder, recomendado por el Ministerio de Educación de Chile para la enseñanza de sistemas eléctricos y de control, por su similitud con los diagramas unifilares de fuerza y mando que los estudiantes trabajan en tercero y cuarto medio. El proceso será simulado y validado mediante el uso de los softwares LOGO! Soft Comfort 8.3 y CADe SIMU, asegurando la viabilidad técnica y pedagógica del diseño antes de su implementación física.

Además, se incluirá la cubicación de materiales, selección de componentes y estimación de costos, con el objetivo de presentar el proyecto al Departamento de Educación Municipal (DAEM) u otras entidades, como una propuesta factible para su financiamiento e integración definitiva al laboratorio eléctrico del establecimiento.

1.4 PLANTAMIENTO DE SOLUCIONES TÉCNICAS POSIBLES

A partir del problema identificado, se plantean tres posibles alternativas tecnológicas para el desarrollo del módulo de llenado y vaciado de estanques que conformará la maqueta educativa de automatización industrial.

El análisis considera las diferentes marcas de PLC disponibles en el mercado, los softwares asociados y los lenguajes de programación normalizados bajo la norma IEC 61131-3, con el propósito de determinar la opción más adecuada para el contexto educativo del colegio técnico profesional Mercedes Maturana Gallardo.

Si bien el proyecto contempla la posibilidad de integrar otros procesos automatizados en el futuro —como un elevador o una cinta transportadora—, esta primera etapa se centra exclusivamente en el módulo de control de nivel, cuya implementación permitirá validar el funcionamiento técnico, pedagógico y metodológico de la propuesta.

1.4.1 Solución 1: PLC Mitsubishi FX3S con software GX Works3

La marca Mitsubishi Electric ofrece controladores programables de gran presencia en el ámbito industrial y académico. El modelo FX3S corresponde a una línea compacta orientada a aplicaciones de automatización de pequeña escala, con capacidad de expansión modular y múltiples tipos de instrucción.

El software GX Works3, compatible con esta serie, permite programar en Ladder (LD), texto estructurado (ST) y diagrama de bloques de función (FBD). Sin embargo, su entorno de trabajo es considerablemente más complejo que el de otros programas educativos como LOGO!Soft Comfort, lo que requiere una curva de aprendizaje mayor y conocimientos previos de programación avanzada.

En el contexto del colegio técnico profesional Mercedes Maturana Gallardo, se dispone actualmente de cuatro PLC Mitsubishi FX3S; sin embargo, no se cuenta con la licencia ni el software GX Works3 necesario para su programación, lo que limita su utilización práctica en actividades de aula. Esta situación se basa en la revisión del equipamiento disponible en el laboratorio de la especialidad de Electricidad.

Asimismo, el software GX Works3 corresponde a una herramienta de programación propietaria que requiere licencias de pago, cuyo costo puede oscilar entre los 400.000 y 800.000 CLP, lo que representa una barrera significativa para su implementación en contextos educativos municipales.

Por otra parte, el software CAdE SIMU, empleado habitualmente en los módulos de Electricidad, no ofrece compatibilidad con los controladores Mitsubishi, dificultando la integración pedagógica de estos equipos en las actividades prácticas.

En consecuencia, a pesar de la disponibilidad del hardware, la ausencia de software, junto con su costo asociado, el mayor nivel de complejidad del entorno de programación y la falta de compatibilidad con herramientas educativas utilizadas en el establecimiento, reducen significativamente la viabilidad de esta alternativa en el contexto del proyecto.

1.4.2 Solución 2: PLC Allen-Bradley Micro 810 con software Connected Components Workbench

La marca Allen-Bradley (Rockwell Automation) es reconocida por su fiabilidad y alto desempeño en la industria. El modelo Micro 810 es un controlador compacto diseñado para aplicaciones simples, programable a través del software Connected Components Workbench (CCW), que permite trabajar principalmente con lógica Ladder.

En el establecimiento existe un único PLC Allen-Bradley Micro 810, sin disponer del software correspondiente ni de licencias para su instalación. A ello se suma que el programa Cade-Simu no contempla la emulación de controladores de esta marca, lo que impide vincular las simulaciones con el trabajo práctico de los estudiantes.

Si bien es una alternativa industrialmente robusta, el alto costo de licencias, la limitada disponibilidad de equipos y la ausencia de integración pedagógica con el software utilizado en el colegio la convierten en una opción poco factible para este proyecto.

1.4.3 Solución 3: PLC Siemens LOGO! con software LOGO!Soft Comfort 8.3

El PLC Siemens LOGO! 8 es una de las opciones más versátiles y adecuadas para contextos educativos. Permite implementar procesos automatizados reales a pequeña escala, integrando sensores, actuadores, temporizadores, contadores y comunicación Ethernet.

El software LOGO! Soft Comfort 8.3 es intuitivo, fácil de instalar y programar, y compatible con los lenguajes Ladder (LD) y bloques de función (FBD). Su entorno de programación está diseñado para facilitar el aprendizaje en contextos educativos, presentando una menor complejidad en comparación con plataformas industriales más avanzadas como GX Works3 (Siemens AG, 2023), lo que lo convierte en una herramienta adecuada para estudiantes de educación media técnico-profesional.

Asimismo, de acuerdo con los aprendizajes esperados del módulo de automatización de sistemas eléctricos industriales de la especialidad de electricidad en educación media técnico-profesional (ver Anexo A), se establece la programación de dispositivos de automatización y el

uso de herramientas asociadas al control de procesos como competencias fundamentales en la formación de los estudiantes.

En este contexto, el uso del lenguaje Ladder adquiere relevancia pedagógica, debido a su similitud con los diagramas eléctricos industriales, facilitando la comprensión y aplicación práctica de los sistemas de control.

El establecimiento cuenta actualmente con cuatro PLC Siemens LOGO!, los cuales fueron recuperados desde una maqueta antigua en desuso, además de dos fuentes Siemens de 220V AC a 24V DC totalmente operativas y compatibles. Estos recursos permiten disponer de una base material sólida para el desarrollo del nuevo proyecto.

Otro aspecto clave es que el software CAdE SIMU, utilizado en los módulos de Instalación de motores y equipos de calefacción (3° medio) e Instalación de sistemas de control eléctrico industrial (4° medio), permite simular la lógica Ladder utilizando PLC LOGO!, lo que favorece la continuidad pedagógica entre simulación, diseño y práctica en el proceso formativo.

Asimismo, el Ministerio de Educación de Chile establece en las bases curriculares de la formación técnico-profesional la importancia del uso de representaciones lógicas como el lenguaje Ladder en la enseñanza de sistemas de control, debido a su similitud con los diagramas eléctricos utilizados en la industria (Ministerio de Educación de Chile, 2013).

1.5 SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

Tras el análisis de las distintas alternativas tecnológicas presentadas, se determinó que la opción más adecuada para el desarrollo del módulo de llenado y vaciado de estanques corresponde a la implementación con PLC Siemens LOGO! 8 y el software LOGO!Soft Comfort 8.3.

Esta decisión se fundamenta en criterios técnicos, pedagógicos, económicos y de compatibilidad, considerando los siguientes aspectos:

- Disponibilidad de recursos existentes: El establecimiento cuenta con cuatro PLC Siemens LOGO! recuperados desde una maqueta anterior, además de dos fuentes Siemens de 220V AC a 24V DC completamente operativas. Este equipamiento permite disponer de una base material real y reutilizable, reduciendo significativamente los costos de implementación.
- Compatibilidad pedagógica: El software Cade-Simu, utilizado actualmente en los módulos de Instalación de motores y equipos de calefacción (3° medio) y sistemas de control eléctrico industrial (4° medio), permite simular la lógica Ladder con controladores Siemens LOGO!, lo que facilita la integración entre teoría, simulación y práctica.
- Facilidad de uso y aprendizaje: El entorno de programación LOGO!Soft Comfort 8.3 es intuitivo y de rápida comprensión, en comparación con software de mayor complejidad como GX Works3 (Mitsubishi) o Connected Components Workbench (Allen-Bradley). Esto lo convierte en una herramienta más adecuada para estudiantes en formación técnico-profesional.
- Costo y accesibilidad: Los dispositivos Siemens LOGO! y su software asociado presentan menores costos de adquisición y una mayor disponibilidad en el mercado educativo, permitiendo futuras ampliaciones sin incurrir en gastos elevados.
- Alineación curricular: El Ministerio de Educación de Chile recomienda el uso del lenguaje Ladder para la enseñanza de la automatización en las especialidades técnico-profesionales, por su similitud con los diagramas unifilares de control y fuerza abordados en los módulos de electricidad industrial.

Con el objetivo de fundamentar la selección de la alternativa tecnológica más adecuada, se realizó una evaluación cuantitativa considerando criterios técnicos, económicos y pedagógicos. Los resultados se presentan en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Evaluación cuantitativa de alternativas tecnológicas

Criterio de evaluación	Mitsubishi FX3S	Allen-Bradley Micro 810	Siemens LOGO! 8
Disponibilidad en el establecimiento	3	1	3
Facilidad de uso	1	2	3
Accesibilidad del software de programación	1	1	3
Costo de implementación	1	1	3
Pertinencia pedagógica	1	2	3
Complementariedad con los recursos didácticos disponibles	1	1	3
Curva de aprendizaje	1	2	3
Escalabilidad del sistema	3	3	2
Puntaje total	12	13	23

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación se utilizó una escala de 1 a 3 puntos, donde 1 representa una condición poco favorable, 2 una condición medianamente favorable y 3 una condición favorable para el contexto educativo analizado. En los criterios de costo y curva de aprendizaje, un menor nivel representa una evaluación más favorable.

De acuerdo con los resultados de la evaluación cuantitativa, la alternativa Siemens LOGO! 8 obtuvo el mayor puntaje, alcanzando 23 puntos. Esta solución presenta condiciones favorables en cuanto a disponibilidad, facilidad de uso, accesibilidad del software, costo de implementación y pertinencia pedagógica.

Las alternativas Mitsubishi FX3S y Allen-Bradley Micro 810 obtuvieron 12 y 13 puntos, respectivamente. Aunque ambas presentan una mayor escalabilidad, sus requerimientos de software, costos de implementación y curvas de aprendizaje resultan menos favorables para el contexto educativo analizado.

En consecuencia, se seleccionó el PLC Siemens LOGO! 8 como controlador de la maqueta didáctica, debido a que obtuvo la evaluación más favorable de acuerdo con los criterios establecidos.

Los resultados obtenidos permiten considerar la ampliación futura de la maqueta mediante la incorporación de nuevos procesos automatizados, siempre que se disponga de los recursos técnicos y económicos necesarios.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

2 SOLUCIÓN TÉCNICA DE LA PROPUESTA

La solución seleccionada consiste en el diseño y desarrollo de una maqueta educativa de automatización industrial, cuyo propósito es simular un proceso de transferencia y control de nivel de agua entre depósitos, mediante la integración de elementos característicos de sistemas industriales tales como estanques, bombas eléctricas, sensores de nivel y controladores lógicos programables (PLC).

El prototipo está concebido como un equipo de formación técnico-profesional orientado a fortalecer las competencias prácticas de los estudiantes del área de electricidad del colegio técnico profesional Mercedes Maturana Gallardo. Su diseño considera la utilización de sistemas de baja tensión en corriente continua, adecuados para entornos educativos, en conjunto con un PLC Siemens LOGO! 8 encargado de ejecutar la lógica de control asociada al funcionamiento del sistema.

A través de este controlador se gestionan las señales provenientes de los sensores de nivel y se gobierna la operación de los actuadores mediante módulos de relé intermedios, los cuales permiten accionar las bombas eléctricas del sistema de forma segura y acorde a prácticas utilizadas en automatización industrial.

La maqueta se construye sobre una estructura metálica fabricada con perfil cuadrado de acero de 50×50×2 mm, que proporciona estabilidad y resistencia mecánica al conjunto. Sobre esta estructura se instala una cubierta superior de MDF de 15 mm, la cual sirve como superficie de montaje para los principales componentes del sistema. En dicha superficie se ubican dos estanques cilíndricos transparentes, un tablero de control que alberga el PLC y los dispositivos eléctricos asociados, además de los elementos hidráulicos necesarios para el movimiento del fluido.

El sistema considera dos estanques ubicados al mismo nivel, interconectados mediante dos bombas eléctricas sumergibles de corriente continua (12 VDC), las cuales permiten realizar la transferencia de agua en ambos sentidos. La primera bomba impulsa agua desde el estanque 1 hacia el estanque 2, mientras que la segunda bomba permite realizar la transferencia inversa desde el estanque 2 hacia el estanque 1. Esta configuración permite implementar distintas

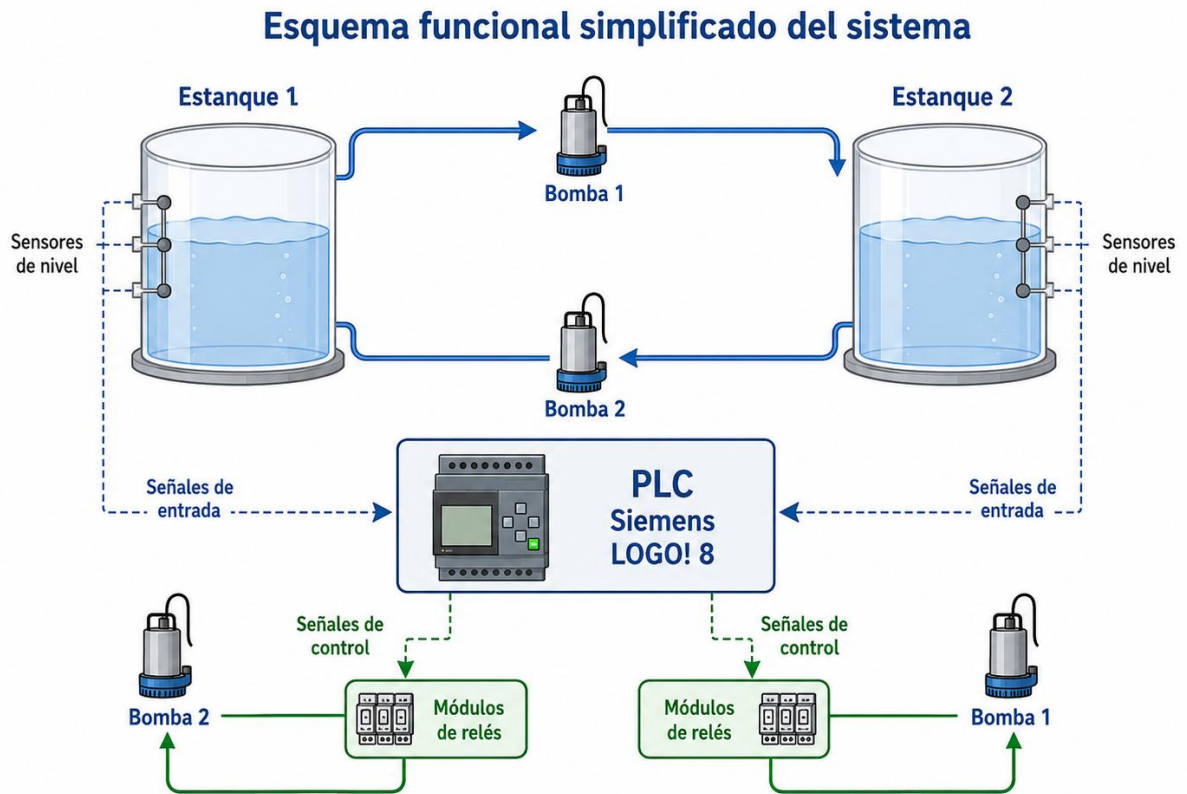
estrategias de control y simular procesos industriales de transferencia de fluidos entre depósitos interconectados.

El funcionamiento del sistema se basa en la interacción entre las bombas y los sensores de nivel instalados externamente en cada estanque. Estos sensores, de tipo capacitivo sin contacto, permiten detectar las condiciones de nivel bajo, medio y alto del líquido a través de las paredes del recipiente. Las señales generadas por estos dispositivos son enviadas al PLC, el cual determina el estado del proceso y ejecuta la lógica de control correspondiente.

De esta manera, el sistema puede activar o detener las bombas según las condiciones de operación establecidas, reproduciendo de forma didáctica un proceso automatizado de control de nivel y transferencia de fluidos entre depósitos.

La solución técnica propuesta cumple con criterios de seguridad, pertinencia pedagógica, eficiencia energética y viabilidad económica, mediante el uso de componentes de bajo voltaje, de fácil adquisición y compatibles con el entorno educativo del establecimiento. Asimismo, el carácter modular del prototipo permite futuras ampliaciones, tales como la incorporación de instrumentación analógica, interfaces HMI, comunicación industrial o sistemas de supervisión, lo que convierte a la maqueta en una plataforma versátil para el aprendizaje de la automatización y el control eléctrico.

Con el propósito de facilitar la comprensión del funcionamiento general de la maqueta, en la Figura 2-1 se presenta un esquema funcional simplificado del sistema, en el cual se muestra la interacción entre los estanques, los sensores de nivel, el PLC y las bombas eléctricas.



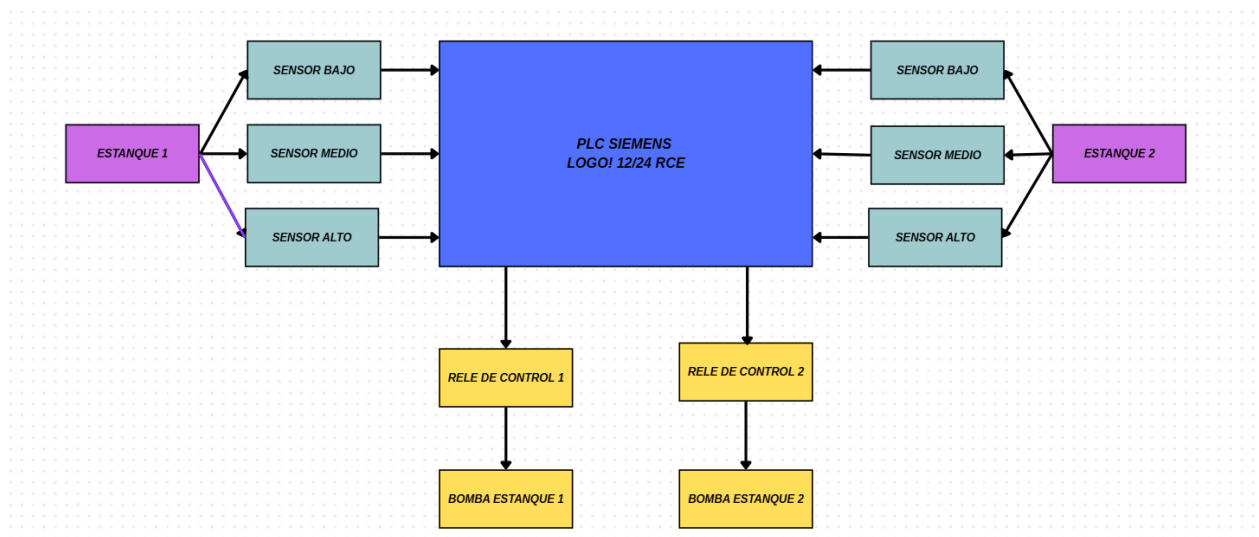
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-1. Esquema funcional simplificado del sistema.

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El sistema propuesto corresponde a una maqueta educativa de automatización diseñada para simular el proceso de transferencia controlada de agua entre dos estanques, utilizando sensores de nivel, bombas eléctricas y un controlador lógico programable (PLC). El objetivo principal del sistema es representar de manera simplificada el funcionamiento de procesos industriales asociados al control de nivel y transferencia de fluidos, permitiendo a los estudiantes comprender la interacción entre sensores, actuadores y sistemas de control.

Para una mejor comprensión del funcionamiento del sistema, se presenta el diagrama de bloques en la Figura 2-2:



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2. Diagrama de bloques del sistema.

El diagrama de bloques permite visualizar la relación entre los sensores de nivel, el PLC y los actuadores, evidenciando la lógica de control implementada en el sistema.

La maqueta está compuesta por dos estanques cilíndricos transparentes ubicados al mismo nivel, los cuales poseen una capacidad aproximada de 7 litros cada uno. La elección de esta geometría responde a criterios pedagógicos y técnicos, ya que la forma cilíndrica facilita la visualización del nivel de agua durante la operación del sistema, permitiendo una observación clara del comportamiento del proceso y de la activación de los sensores de nivel.

Cada estanque incorpora tres sensores de nivel capacitivos instalados externamente sobre la pared del recipiente, correspondientes a nivel bajo, nivel medio y nivel alto. Estos sensores entregan señales digitales al PLC Siemens LOGO! 8, el cual procesa la información y ejecuta la lógica de control correspondiente para activar o detener las bombas según el estado del sistema.

El proceso de transferencia de agua se realiza mediante bombas de pequeño caudal, seleccionadas con el objetivo de permitir una observación adecuada del fenómeno durante el funcionamiento de la maqueta. Considerando una bomba con un caudal nominal aproximado de 800 l/h, equivalente a:

$$Q = \frac{800}{60} \approx 13,3 \text{ l/m}$$

y un volumen útil de operación cercano a 6 litros por estanque, el tiempo aproximado de transferencia entre depósitos puede estimarse mediante:

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{6 \text{ l}}{13.3 \text{ l/m}} \approx 0,45 \text{ m} \approx 27 \text{ s}$$

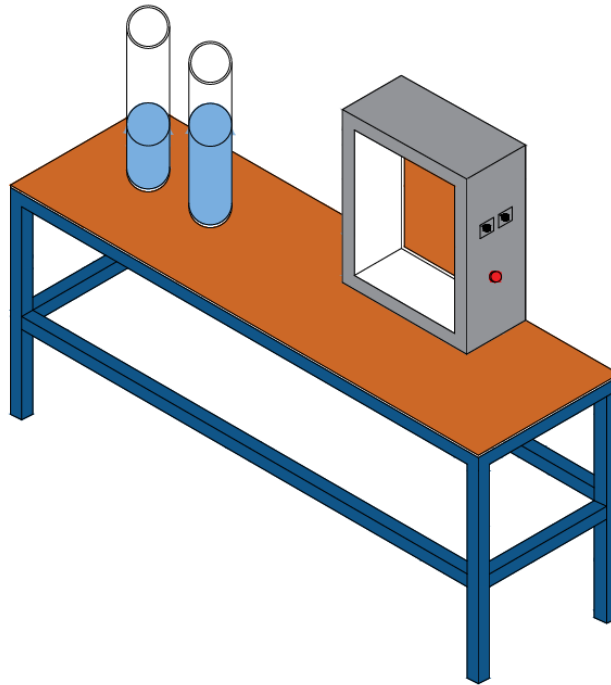
Este intervalo de tiempo resulta adecuado para fines pedagógicos, ya que permite visualizar claramente la variación del nivel de agua y la respuesta del sistema de control durante el proceso de llenado y vaciado.

Las líneas de impulsión entre los estanques incorporan válvulas de retención, cuya función es evitar el retorno del flujo cuando una de las bombas se encuentra detenida, garantizando un funcionamiento estable del sistema hidráulico.

La disposición general del sistema propuesto se presenta en la Figura 2-3, donde se visualiza la ubicación de los principales componentes del prototipo.

Sobre esta estructura se instala una cubierta de MDF de 15 mm, que sirve como superficie de montaje para los estanques, bombas, tuberías y tablero de control. En la parte central de la maqueta se ubica un tablero eléctrico que alberga el PLC, la fuente de alimentación y los elementos de mando y protección del sistema.

Esta configuración permite reproducir de forma didáctica un sistema completo de control de nivel automatizado, integrando componentes hidráulicos, eléctricos y de control industrial en un entorno seguro y adecuado para el aprendizaje técnico.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-3. Disposición general del sistema de transferencia de agua.

2.2 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES Y DE DESEMPEÑO

El sistema de automatización propuesto debe cumplir con una serie de requerimientos funcionales, operacionales, de seguridad y pedagógicos, orientados a garantizar el correcto funcionamiento del proceso de transferencia de agua entre estanques, así como la seguridad y fiabilidad del prototipo dentro del contexto educativo del Colegio Técnico Profesional Mercedes Maturana Gallardo.

Estos requerimientos establecen las condiciones mínimas que debe cumplir la maqueta para asegurar una operación estable, segura y coherente con los objetivos formativos asociados a la enseñanza de automatización industrial.

A continuación, se presentan los requerimientos organizados en cuatro categorías: funcionales, operacionales, de seguridad y pedagógicos.

2.2.1 Requerimientos funcionales

El sistema debe ser capaz de:

- Detectar los niveles de agua en ambos estanques mediante sensores capacitivos sin contacto ubicados en nivel bajo, medio y alto.
- Permitir la transferencia bidireccional de agua entre los estanques mediante la activación de dos bombas eléctricas controladas por el PLC.
- Controlar automáticamente el funcionamiento de las bombas en función de las señales entregadas por los sensores de nivel.
- Detener el funcionamiento de las bombas cuando se alcance el nivel alto en el estanque receptor, evitando rebalses.
- Supervisar continuamente el estado del sistema mediante el PLC Siemens LOGO! 8, encargado de ejecutar la lógica de control del proceso.
- Garantizar la repetibilidad del ciclo de operación, manteniendo coherencia entre la detección de nivel, la activación de actuadores y los estados del proceso.
- Incorporar elementos de interfaz eléctrica, tales como módulos relé, para el accionamiento de actuadores desde el PLC.

2.2.2 Requerimientos operacionales

El sistema debe ser capaz de:

- Transferir agua entre dos estanques cilíndricos transparentes de aproximadamente 7 litros de capacidad cada uno, permitiendo observar claramente la variación de nivel durante el funcionamiento del sistema.
- Operar mediante bombas eléctricas sumergibles de corriente continua (12 VDC) de bajo caudal, adecuadas para aplicaciones educativas y de laboratorio.
- Mantener un ciclo de operación estable, evitando pérdidas significativas de caudal o interrupciones durante el proceso de transferencia.
- Operar de forma continua durante sesiones de laboratorio de aproximadamente 45 a 60 minutos, sin comprometer la integridad de los componentes del sistema.
- Permitir una lectura clara del nivel de agua gracias al uso de estanques cilíndricos transparentes, facilitando la observación del proceso por parte de los estudiantes.
- Integrar un tablero eléctrico que permita un acceso sencillo para labores de mantenimiento, inspección y monitoreo del sistema.

2.2.3 Requerimientos de seguridad

El prototipo debe cumplir con los siguientes criterios de seguridad:

- Operar mediante circuitos de baja tensión en corriente continua, utilizando 24 VDC para el sistema de control y 12 VDC para las bombas eléctricas.
- Incorporar protecciones eléctricas adecuadas para la fuente de alimentación y los actuadores, tales como fusibles o protecciones equivalentes.
- Incluir un sistema de paro de emergencia, conectado en serie con la alimentación del sistema de control.
- Evitar contactos accidentales mediante el uso de canaletas, aislación adecuada y correcta fijación de conductores.
- Garantizar estanques acrílicos sin aristas cortantes ni superficies peligrosas para los usuarios.
- Proteger las bombas mediante lógica de control que impida su funcionamiento en condiciones de nivel insuficiente de agua, evitando operación en seco.

- Proteger las salidas del PLC mediante el uso de relés intermedios, evitando la conexión directa con cargas inductivas.

2.2.4 Requerimientos pedagógicos

Desde el punto de vista educativo, el sistema debe:

- Permitir que los estudiantes identifiquen claramente los distintos elementos del sistema, tales como sensores, bombas, PLC, protecciones eléctricas y dispositivos de control.
- Representar un proceso automatizado real, fácil de comprender y manipular dentro del laboratorio.
- Facilitar la interpretación de diagramas eléctricos en lenguaje Ladder, estableciendo una relación directa entre la programación del PLC y la instalación física del sistema.
- Permitir el desarrollo de prácticas guiadas tales como:
 - verificación del estado de entradas digitales,
 - monitoreo de salidas y estados del PLC,
 - análisis del comportamiento del sistema,
 - diagnóstico de fallas simuladas.
- Mantener una estructura modular que permita futuras ampliaciones del sistema, tales como:
 - incorporación de sensores analógicos,
 - integración de interfaces HMI,
 - implementación de sistemas de comunicación industrial.

2.3 ARQUITECTURA FÍSICA DEL PROTOTIPO

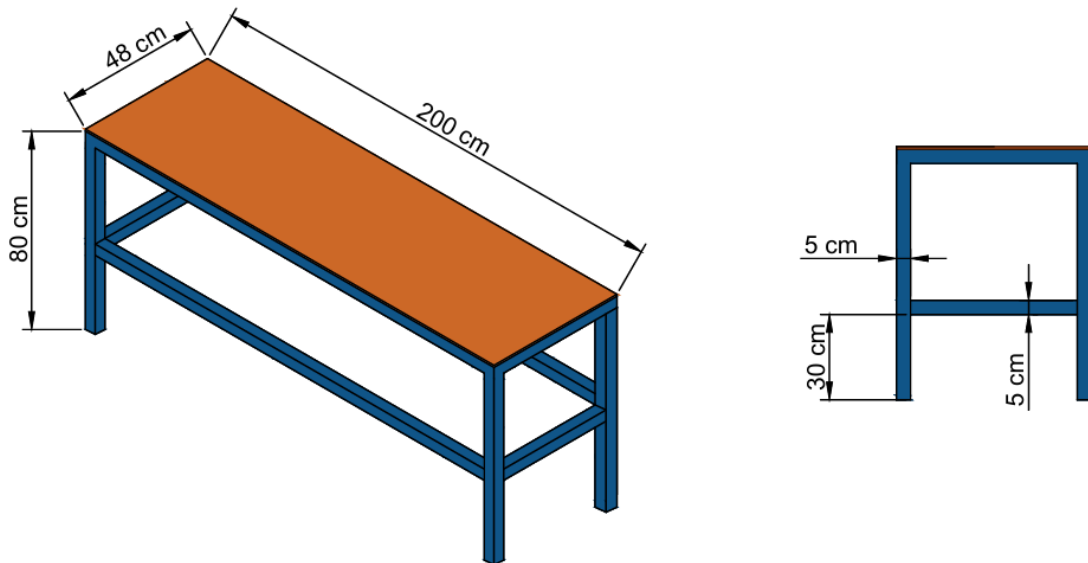
La maqueta se construye sobre una estructura robusta y estable que permite integrar los subsistemas hidráulico, eléctrico y de control en un formato seguro y didáctico. Su arquitectura

considera criterios de accesibilidad, visibilidad, ergonomía y resistencia mecánica, de manera que los estudiantes puedan interactuar con el prototipo sin comprometer su seguridad ni el funcionamiento del sistema.

La base del prototipo corresponde a una mesa de estructura metálica fabricada con perfil cuadrado de acero de $50 \times 50 \times 2$ mm, material ampliamente utilizado en soportes industriales debido a su elevada rigidez estructural, resistencia mecánica y facilidad de fabricación mediante soldadura.

Las dimensiones principales de la estructura son:

- Largo: 200 cm
- Ancho: 48 cm
- Altura: 80 cm



Fuente: Elaboración propia

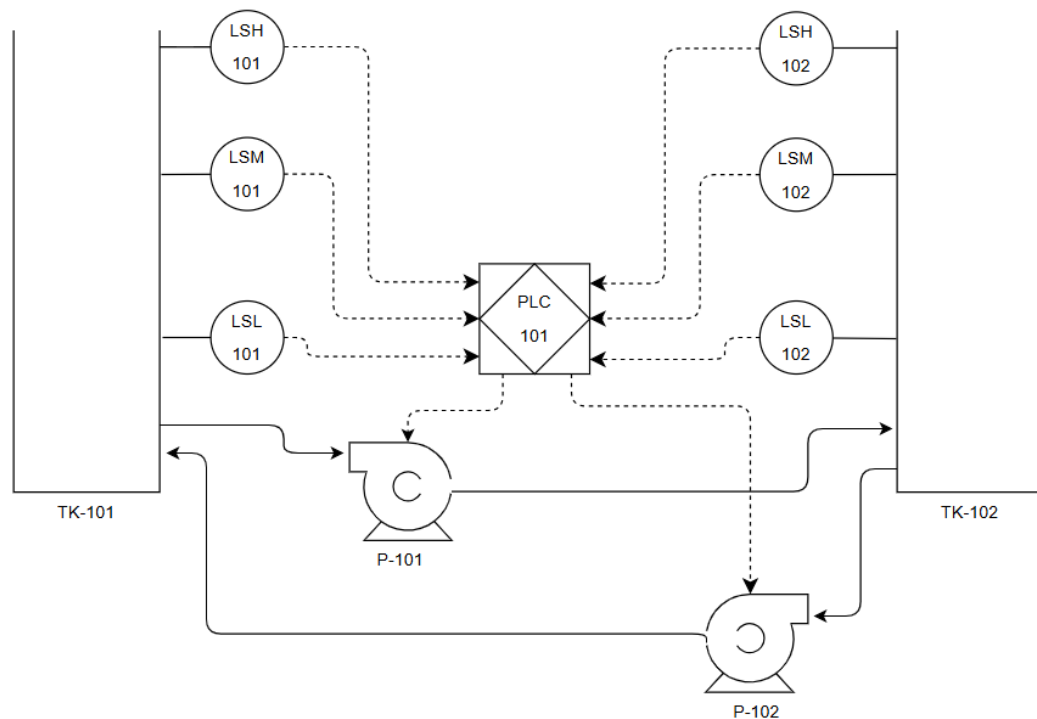
Figura 2-4. Estructura base del prototipo con dimensiones principales.

La estructura metálica está compuesta por los siguientes elementos:

- Un marco rectangular superior que soporta la cubierta de MDF.
- Cuatro patas estructurales soldadas al bastidor principal.
- Refuerzos laterales que incrementan la estabilidad del conjunto.
- Uniones soldadas y terminación con pintura anticorrosiva para mejorar su durabilidad.

Esta configuración proporciona la rigidez suficiente para soportar el peso total del sistema, considerando los estanques llenos de agua, las bombas, el tablero eléctrico y los distintos componentes de control.

Para representar de manera simplificada la relación funcional entre los componentes hidráulicos, los instrumentos de nivel y el sistema de control, en la Figura 2-5 se presenta el diagrama de tuberías e instrumentación del sistema.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-5. Diagrama P&ID simplificado del sistema.

El sistema está compuesto por dos estanques, identificados como TK-101 y TK-102, interconectados mediante dos líneas independientes de transferencia. La bomba P-101 permite impulsar el agua desde el estanque TK-101 hacia TK-102, mientras que la bomba P-102 ejecuta la transferencia en sentido contrario. Cada estanque dispone de interruptores capacitivos de nivel bajo, medio y alto, cuyas señales son procesadas por el PLC-101. De acuerdo con la lógica programada, el controlador genera las órdenes de accionamiento para las bombas correspondientes.

Para simplificar la representación, los módulos de relés intermedios utilizados para conmutar la alimentación de las bombas no se incluyen en el diagrama P&ID. Estos componentes se representan en el diagrama eléctrico de control.

Sobre el marco metálico se instala una cubierta superior de MDF de 15 mm de espesor, trabajada a medida, que actúa como superficie principal de montaje para los componentes del prototipo. El uso de MDF facilita la perforación y fijación de elementos mediante tornillos, además de proporcionar una superficie estable que contribuye a absorber pequeñas vibraciones generadas durante el funcionamiento de las bombas.

El prototipo considera dos estanques cilíndricos transparentes ubicados al mismo nivel sobre la superficie de la mesa, lo que permite mejorar significativamente la observación visual del comportamiento del nivel de agua durante la operación del sistema.

Cada estanque posee una capacidad aproximada de 7 litros, volumen seleccionado con el objetivo de permitir una visualización clara del proceso de transferencia de agua sin generar cargas excesivas sobre la estructura del prototipo. La geometría cilíndrica de los depósitos facilita la percepción de las variaciones de nivel y permite la instalación de sensores capacitivos externos en diferentes alturas.

Los estanques están fabricados en acrílico transparente de aproximadamente 7 mm de espesor, material que ofrece buena resistencia mecánica, excelente visibilidad y adecuada durabilidad para aplicaciones educativas.

Ambos depósitos se encuentran interconectados mediante dos bombas eléctricas sumergibles de corriente continua (12 Vdc) instaladas dentro de cada estanque. Cada bomba es

responsable de transferir agua desde un estanque hacia el otro, permitiendo implementar un sistema de transferencia bidireccional controlado por el PLC.

La primera bomba impulsa agua desde el estanque 1 hacia el estanque 2, mientras que la segunda bomba realiza el proceso inverso desde el estanque 2 hacia el estanque 1.

La instalación sumergida de las bombas permite asegurar el cebado permanente del sistema hidráulico, evitando problemas asociados a succión insuficiente o pérdida de cebado. Esta configuración simplifica la implementación del sistema y mejora la estabilidad de operación durante las prácticas de laboratorio.

En cada línea de descarga se incorpora una válvula de retención, cuya función es evitar el retorno del flujo cuando la bomba correspondiente se encuentra detenida, garantizando un flujo unidireccional durante el funcionamiento del sistema.

El tablero eléctrico del sistema se ubica sobre la cubierta de la mesa, permitiendo un acceso directo a los elementos de control y protección. Este tablero alberga el PLC Siemens LOGO! 8, la fuente de alimentación del sistema, así como los dispositivos de protección y distribución eléctrica necesarios para el funcionamiento del prototipo.

Adicionalmente, el sistema incorpora módulos relé como elementos de interfaz entre el PLC y las bombas, permitiendo aislar eléctricamente el sistema de control del sistema de potencia y mejorar la seguridad operativa del prototipo.

La ubicación del tablero ofrece múltiples ventajas operativas:

- Reduce el riesgo de contacto con agua o salpicaduras provenientes de los estanques.
- Facilita la visualización del funcionamiento del PLC durante las prácticas de laboratorio.
- Permite organizar el cableado de sensores y actuadores de forma ordenada.
- Facilita futuras ampliaciones del sistema sin modificar la estructura principal.

El tablero se construye en un gabinete metálico equipado con riel DIN, permitiendo una organización clara de los componentes internos. Para fines pedagógicos, el tablero puede operar sin su puerta frontal durante las sesiones de laboratorio, permitiendo que estudiantes y docentes observen directamente las conexiones y dispositivos instalados.

En conjunto, la arquitectura física del prototipo prioriza los siguientes aspectos:

- Visibilidad clara de los procesos hidráulicos.
- Accesibilidad para estudiantes y docentes durante las prácticas.
- Seguridad eléctrica e hidráulica.
- Estabilidad estructural del sistema.
- Modularidad para futuras ampliaciones del prototipo.

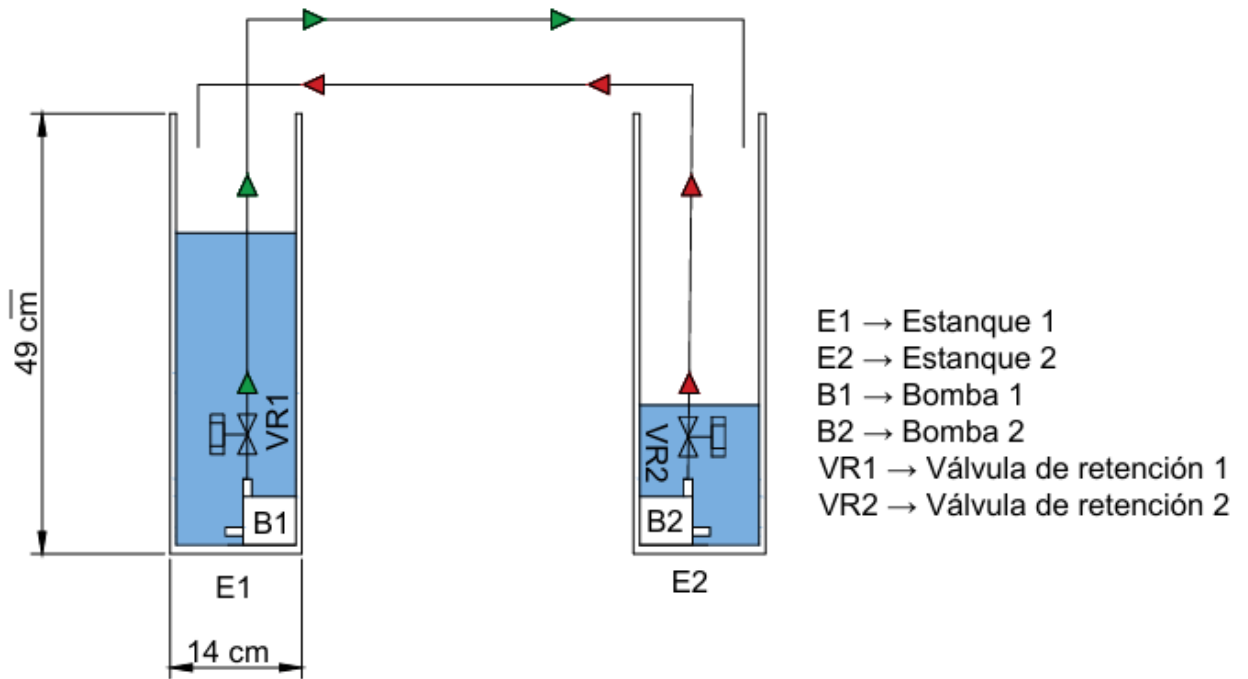
Esta disposición permite comprender de manera intuitiva la interacción entre los distintos subsistemas que conforman el sistema automatizado, facilitando el aprendizaje de los principios de control de nivel, transferencia de fluidos y automatización industrial.

2.4 DISEÑO DEL SUBSISTEMA HIDRÁULICO

El subsistema hidráulico del prototipo corresponde al conjunto de componentes encargados de permitir la transferencia controlada de agua entre los dos estanques que conforman la maqueta. Este subsistema está compuesto principalmente por los estanques de almacenamiento, las bombas eléctricas sumergibles, las tuberías de conducción y las válvulas de retención encargadas de controlar el sentido del flujo.

El objetivo del sistema hidráulico es reproducir de manera simplificada un proceso industrial de transferencia de fluidos entre depósitos interconectados, permitiendo observar el comportamiento del nivel de agua en cada estanque y su interacción con el sistema de control automatizado.

La disposición general del circuito hidráulico se presenta en la Figura 2-5, donde se muestra el esquema de interconexión entre los estanques, la ubicación de las bombas sumergibles y el sentido de circulación del fluido durante la operación del sistema.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-6. Esquema del sistema hidráulico.

2.4.1 Configuración del sistema hidráulico

El sistema está compuesto por dos estanques cilíndricos transparentes denominados:

- E1: Estanque 1
- E2: Estanque 2

Cada estanque incorpora una bomba eléctrica sumergible de corriente continua de 12 VDC, instalada en la parte inferior del depósito. Estas bombas permiten realizar la transferencia de agua entre los estanques en ambos sentidos.

El funcionamiento hidráulico se establece de la siguiente manera:

- Bomba B1: impulsa agua desde el estanque E1 hacia el estanque E2.
- Bomba B2: impulsa agua desde el estanque E2 hacia el estanque E1.

Las tuberías de descarga conducen el agua hasta la parte superior del estanque receptor, permitiendo visualizar claramente el proceso de llenado durante la operación del sistema.

Con el objetivo de evitar el retorno del flujo cuando una bomba se encuentra detenida, cada línea de descarga incorpora una válvula de retención (check valve) que asegura el flujo unidireccional del fluido.

Esta configuración permite implementar un sistema de transferencia bidireccional, es decir, un proceso en el cual el fluido puede ser transportado en ambos sentidos entre los estanques, dependiendo de la bomba activada. De esta manera, el sistema puede realizar tanto el llenado como el vaciado entre depósitos de forma controlada por el PLC, simulando procesos industriales reales:

- Sistemas de almacenamiento de fluidos
- Plantas de tratamiento de agua
- Sistemas de transferencia entre depósitos
- Estaciones de bombeo automatizadas

2.4.2 Características geométricas de los estanques

Los estanques utilizados en el prototipo corresponden a recipientes cilíndricos de acrílico transparente, seleccionados por su alta visibilidad y resistencia mecánica.

Dimensiones aproximadas del estanque:

Tabla 2-1. Características geométricas de los estanques.

Altura total	$h = 49 \text{ cm}$
Diámetro interior aproximado:	$d = 14 \text{ cm}$
Radio:	$r = 7 \text{ cm}$

Fuente: Elaboración propia

El volúmen del cilindro se calcula mediante la expresión:

$$\begin{aligned} \text{Ec. (1):} \quad V &= \pi * r^2 * h \\ V &= \pi (0,07\text{m})^2 (0,49\text{m}) \\ V &= \pi (0,0049\text{m}^2)(0,49\text{m}) \\ V &= \pi (0,0049\text{m}^2)(0,49\text{m}) \\ V &\approx 0,0075 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Considerando que $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$ se obtiene: $V \approx 7,5 \text{ l}$ por lo tanto, cada estanque posee un volumen aproximado de:

$$V \approx 7 \text{ l}$$

A partir de las dimensiones geométricas del recipiente se obtiene un volumen total aproximado de 7 litros por estanque. Sin embargo, para efectos operacionales del sistema de control se considera un volumen útil de aproximadamente 6 litros, dejando un margen de seguridad superior que evita posibles rebalses durante el funcionamiento del sistema.

Este margen también permite ubicar los sensores de nivel superior sin que el sistema alcance el borde del recipiente durante las actividades de laboratorio.

Este volumen resulta adecuado para fines pedagógicos, ya que permite observar claramente el proceso de transferencia sin generar una carga excesiva sobre la estructura del prototipo.

2.4.3 Selección del sistema de bombeo

Para el prototipo se seleccionaron bombas eléctricas sumergibles de corriente continua con las siguientes características aproximadas:

Tabla 2-2. Características de bombas eléctricas sumergibles.

Voltaje de operación:	<i>12 VDC</i>
Potencia:	<i>19 W</i>
Caudal máximo:	<i>800 l/h</i>
Altura máxima de elevación:	<i>5 m</i>
Nivel de ruido:	<i>< 40 dB</i>

Fuente: Manual bomba

El uso de bombas sumergibles permite asegurar el cebado permanente del sistema hidráulico, evitando problemas asociados a la aspiración de aire o pérdida de succión.

2.4.4 Estimación del caudal de transferencia

El caudal nominal de la bomba es:

$$Q = 800 \text{ l/h}$$

Para facilitar el análisis del proceso, se convierte este valor a litros por minuto:

$$Q = \frac{800}{60}$$

$$Q = 13,3 \text{ l/m}$$

En la configuración base, las bombas operan mediante control ON/OFF, por lo que el PLC únicamente determina su encendido o detención y no modifica directamente su velocidad. En consecuencia, el caudal depende principalmente de las características propias de la bomba y de las pérdidas hidráulicas del circuito. Una futura ampliación podría incorporar un sistema de regulación adecuado para motores de corriente continua, permitiendo modificar la tensión o aplicar una estrategia de modulación y estudiar diferentes condiciones de caudal durante las actividades pedagógicas.

2.4.5 Tiempo estimado de transferencia entre estanques

Considerando que el volumen útil de operación corresponde aproximadamente a:

$$V_{\text{útil}} = 6 \text{ l}$$

El tiempo teórico de transferencia se puede estimar mediante la relación:

$$T = V / Q$$

Reemplazando los valores:

$$T = \frac{6}{13,3}$$

$$T = 0,45 \text{ m}$$

$$T = 27 \text{ s}$$

Por lo tanto, el tiempo aproximado necesario para transferir el volumen útil total entre estanques es cercano a:

$$T = 27 \text{ s}$$

Este intervalo resulta adecuado para fines didácticos, ya que permite observar con claridad la variación del nivel de agua y la respuesta del sistema de control durante el proceso de llenado y vaciado.

En la práctica, el tiempo real será ligeramente mayor debido a pérdidas hidráulicas asociadas a:

- Fricción en las tuberías
- Pérdidas en codos y conexiones
- Resistencia de las válvulas de retención
- Pérdidas de carga por curvaturas en las mangueras

2.4.6 Sistema de conducción del fluido

La conducción del agua entre los estanques se realiza mediante mangueras flexibles conectadas a la salida de cada bomba sumergible. Estas mangueras permiten transportar el fluido desde el estanque de origen hasta la parte superior del estanque receptor, facilitando la observación del proceso de llenado durante la operación del sistema.

Para el prototipo se seleccionó manguera flexible de silicona transparente con diámetro interior de 6 mm, material ampliamente utilizado en aplicaciones de laboratorio, acuarios y sistemas de bombeo de pequeña escala.

La elección de este tipo de manguera responde a los siguientes criterios técnicos:

- Alta flexibilidad, lo que facilita la instalación dentro de la maqueta.
- Compatibilidad con el diámetro de salida de las bombas, permitiendo una conexión simple mediante adaptadores o espigas.
- Transparencia del material, lo que permite visualizar el flujo de agua durante las prácticas de laboratorio.
- Buena resistencia química y mecánica, adecuada para el transporte de agua en aplicaciones educativas.

El diámetro interior de 6 mm resulta adecuado para el caudal máximo de la bomba seleccionada (800 l/h), permitiendo mantener velocidades de flujo moderadas y reduciendo las pérdidas por fricción dentro del sistema de conducción.

Las mangueras se conectan directamente a la salida de cada bomba y se dirigen hacia la parte superior del estanque receptor, donde descargan el fluido. Esta configuración permite observar claramente el proceso de transferencia de agua entre los depósitos durante el funcionamiento del sistema.

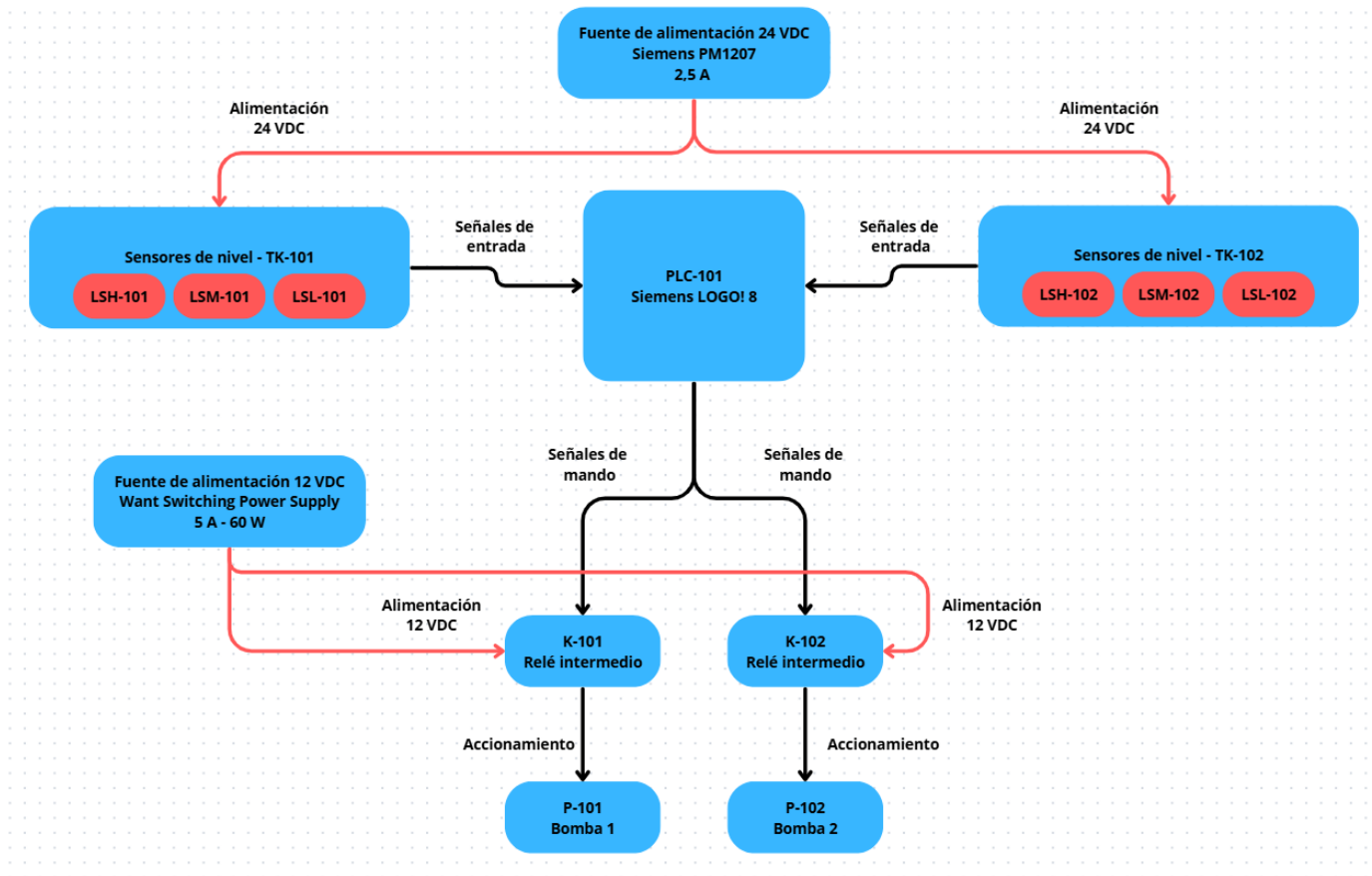
2.5 DISEÑO DEL SUBSISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

El subsistema eléctrico y de control tiene como función supervisar el estado del proceso y gestionar el accionamiento de los actuadores encargados de realizar la transferencia de agua entre los estanques. Para ello, integra sensores capacitivos de nivel, un controlador lógico programable (PLC), módulos de relés intermedios, bombas eléctricas, fuentes de alimentación y dispositivos de protección.

El sistema utiliza dos niveles de tensión continua. El circuito de control opera a 24 VDC mediante una fuente Siemens PM1207, destinada principalmente a la alimentación del PLC Siemens LOGO! 8, los sensores de nivel y los dispositivos de mando. Por otra parte, las bombas eléctricas operan a 12 VDC y disponen de una fuente de alimentación independiente, separando funcionalmente el circuito de control del circuito destinado a los actuadores.

Las señales generadas por los sensores son recibidas por las entradas digitales del PLC. De acuerdo con la lógica programada, el controlador genera señales de mando hacia módulos de relés intermedios, cuyos contactos permiten conmutar la alimentación de 12 VDC correspondiente a las bombas P-101 y P-102.

Para facilitar la comprensión de esta arquitectura, en la Figura 2-7 se presenta la interacción funcional entre las fuentes de alimentación, los sensores de nivel, el PLC, los relés intermedios y las bombas eléctricas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-7. Arquitectura funcional del subsistema eléctrico y de control.

Esta configuración permite separar las funciones de sensado, procesamiento y actuación, facilitando tanto la operación del sistema como su interpretación con fines didácticos.

2.5.1 Arquitectura del sistema de control

La arquitectura del sistema de control se organiza en tres niveles funcionales: sensado, control y actuación. Esta estructura permite identificar de manera clara el recorrido de la información desde la detección del estado del proceso hasta el accionamiento de las bombas.

El elemento central del sistema es un PLC Siemens LOGO! 8 modelo 12/24 RCE, el cual recibe las señales provenientes de los sensores de nivel instalados en los estanques y, en función de la lógica programada, determina el accionamiento de las bombas eléctricas encargadas de realizar la transferencia del fluido.

El sistema de control puede dividirse en tres niveles principales:

Nivel de sensado: corresponde a los dispositivos encargados de detectar el nivel de agua en ambos estanques. Cada depósito incorpora tres sensores capacitivos sin contacto modelo XKC-Y25-V, instalados externamente sobre la pared del recipiente y distribuidos en tres posiciones: nivel bajo, nivel medio y nivel alto.

En total, el sistema dispone de seis señales de nivel conectadas a las entradas digitales del PLC. Para la estrategia básica de operación desarrollada en este proyecto se utilizan principalmente las condiciones de nivel bajo y nivel alto. Los sensores de nivel medio se incorporan como señales adicionales de carácter didáctico, quedando disponibles para futuras actividades de programación, ampliaciones funcionales o nuevas estrategias de control desarrolladas por el docente.

Nivel de control: está constituido por el PLC Siemens LOGO! 8 modelo 12/24 RCE, encargado de procesar las señales provenientes de los sensores y ejecutar la lógica programada.

El controlador supervisa el estado de las entradas digitales y genera las órdenes de mando necesarias para el accionamiento de las bombas. La programación se desarrolla en lenguaje Ladder, permitiendo implementar secuencias automáticas, condiciones de seguridad, enclavamientos y modos de operación manual.

El PLC analiza continuamente el estado de los sensores de nivel y determina cuándo debe activarse cada bomba para transferir agua entre los estanques. Este controlador permite implementar estrategias de control secuencial mediante programación en lenguaje Ladder, ampliamente utilizado en sistemas de automatización industrial.

Entre las funciones principales del PLC se encuentran:

- lectura de señales digitales provenientes de sensores de nivel
- procesamiento de la lógica de control
- Supervisión de condiciones de seguridad
- Generación de señales de mando hacia los relés intermedios
- supervisión general del proceso

Nivel de actuación: está constituido por dos bombas eléctricas sumergibles de 12 VDC, identificadas como P-101 y P-102, y por los módulos de relés intermedios utilizados para su conmutación.

Las salidas del PLC gobiernan los módulos de relés, mientras que los contactos de estos dispositivos permiten conectar o interrumpir la alimentación de 12 VDC proveniente de la fuente destinada a los actuadores. De esta forma, el circuito de control no alimenta directamente las bombas.

La bomba P-101 realiza la transferencia desde TK-101 hacia TK-102, mientras que P-102 ejecuta la transferencia en sentido contrario.

2.5.2 Controlador lógico programable (PLC)

El sistema de automatización propuesto utiliza como elemento principal de control un Siemens LOGO! 12/24 RCE, el cual se encarga de procesar las señales provenientes de los sensores de nivel instalados en los estanques y ejecutar la lógica de control asociada al proceso de transferencia de agua entre los depósitos.

Los controladores lógicos programables (PLC) son dispositivos electrónicos diseñados para la automatización de procesos industriales, capaces de recibir señales provenientes de sensores, procesarlas mediante un programa lógico previamente definido y generar señales de salida que permiten accionar distintos actuadores del sistema.

El modelo seleccionado corresponde a un PLC compacto ampliamente utilizado en aplicaciones educativas e industriales de pequeña y mediana escala. Su elección se basa en criterios de confiabilidad, facilidad de programación y compatibilidad con sistemas de control de

baja tensión, lo que lo hace especialmente adecuado para su implementación en una maqueta educativa destinada a la enseñanza de automatización industrial.

El PLC utilizado opera con una alimentación de 12 a 24 V en corriente continua (DC), permitiendo trabajar con niveles de tensión seguros dentro del laboratorio. Además, incorpora una pantalla integrada que permite monitorear el estado de las entradas, salidas y variables del sistema, facilitando las tareas de diagnóstico y aprendizaje por parte de los estudiantes.

Entre las principales características técnicas del controlador utilizado se encuentran:

- Alimentación: 12–24 VDC
- Entradas digitales integradas: 8 entradas
- Salidas digitales integradas: 4 salidas tipo relé (contacto seco), capaces de conmutar tensiones de hasta 24 VDC o 220 VAC, según el circuito de potencia utilizado.
- Capacidad de corriente de salida: hasta 10 A por contacto
- Comunicación Ethernet integrada
- Pantalla LCD incorporada para monitoreo del sistema
- Programación mediante software Siemens LOGO! Soft Comfort

La programación del controlador se realiza mediante el software LOGO! Soft Comfort, el cual permite desarrollar programas utilizando diferentes lenguajes de programación orientados a la automatización, tales como Ladder (LD) y Function Block Diagram (FBD). En el presente proyecto se emplea el lenguaje Ladder debido a su similitud con los esquemas eléctricos de control tradicionales, lo que facilita su comprensión dentro del contexto educativo.

Dentro del sistema desarrollado, el PLC cumple las siguientes funciones principales:

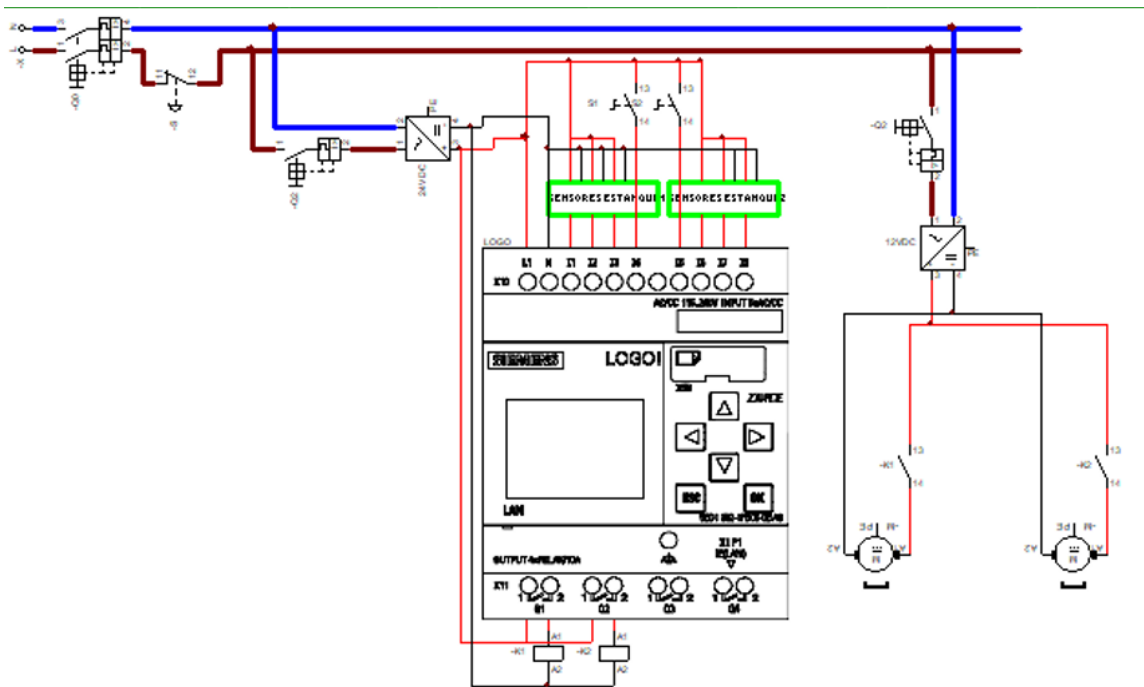
- Recepción de señales digitales provenientes de los sensores de nivel instalados en cada estanque.
- Procesamiento de la información correspondiente al estado de nivel de agua en los depósitos.
- Ejecución de la lógica de control que determina el funcionamiento del sistema de transferencia de agua.

- Activación o desactivación de las bombas encargadas de trasladar el fluido entre los estanques.
- Supervisión del estado general del sistema durante la operación de la maqueta.

Dentro de la arquitectura propuesta, las salidas del PLC no alimentan directamente las bombas. Estas salidas generan las señales de mando hacia módulos de relés intermedios, utilizados como elementos de interfaz entre el controlador y el circuito de alimentación de 12 VDC destinado a los actuadores.

Cuando el PLC activa una salida digital, se energiza el relé intermedio correspondiente. El contacto asociado al relé conmuta posteriormente la alimentación proveniente de la fuente de 12 VDC hacia la bomba seleccionada. Esta configuración permite separar funcionalmente el circuito de control del circuito de actuación y facilita la comprensión de una arquitectura habitual en sistemas de automatización.

La Figura 2-8 muestra el diagrama eléctrico de conexión del sistema de control implementado en el prototipo. En él se observa la interconexión entre el PLC Siemens LOGO!, los sensores de nivel instalados en cada estanque, los selectores de control manual y las bombas encargadas de transferir el agua entre los depósitos. Las señales provenientes de los sensores son conectadas a las entradas digitales del PLC, mientras que la generación de órdenes de activación o detención de las bombas es realizada mediante relés intermedios.



Fuente: Elaboración propia (Cade_Simu)

Figura 2-8. Diagrama eléctrico del sistema.

La Tabla 2-3 muestra la asignación de las entradas y salidas utilizadas en el PLC Siemens LOGO! para el funcionamiento del sistema automatizado. En ella se identifican los sensores de nivel instalados en ambos estanques, los selectores utilizados para control manual y las salidas destinadas al accionamiento de las bombas de transferencia de agua.

Tabla 2-3. Asignación de entradas y salidas del PLC

Elemento	Tipo	PLC	Función
Sensor nivel bajo E1	Entrada digital	I1	Detecta nivel min. del estanque 1
Sensor nivel medio E1	Entrada digital	I2	Detecta nivel medio del estanque 1
Sensor nivel alto E1	Entrada digital	I3	Detecta nivel max. del estanque 1
Selector 1	Entrada digital	I4	Activación manual de la bomba 1 (E1 → E2)
Selector 2	Entrada digital	I5	Activación manual de la bomba 2 (E2 → E1)
Sensor nivel bajo E2	Entrada digital	I6	Detecta nivel min. del estanque 2

Sensor nivel medio E2	Entrada digital	I7	Detecta nivel medio del estanque 2
Sensor nivel alto E2	Entrada digital	I8	Detecta nivel max. del estanque 2
Bomba E1 → E2	Salida digital	Q1	Encendido de relé para bomba sumergible en estanque 1
Bomba E2 → E1	Salida digital	Q2	Encendido de relé para bomba sumergible en estanque 2

Fuente: Elaboración propia

2.5.3 Sensores de nivel

El sistema de control implementado en la maqueta requiere la detección del nivel de agua en ambos estanques con el fin de determinar el estado del proceso y permitir la ejecución de la lógica de control programada en el PLC. Para esta función se emplean sensores de nivel capacitivos sin contacto modelo XKC-Y25-V, los cuales permiten detectar la presencia de líquido a través de las paredes del recipiente sin necesidad de entrar en contacto directo con el fluido.

Este tipo de sensor se basa en el principio de detección capacitiva, el cual permite identificar variaciones en la constante dieléctrica cuando el líquido se encuentra presente en la zona de detección. Cuando el nivel del agua alcanza la posición del sensor, el dispositivo detecta el cambio en la capacitancia del medio y genera una señal digital de salida que puede ser interpretada por el sistema de control.

Una de las principales ventajas de este tipo de sensor es que puede instalarse externamente al recipiente, lo que evita perforaciones en el estanque y elimina el riesgo de filtraciones o deterioro de los componentes eléctricos por contacto directo con el agua. Además, su funcionamiento no se ve afectado por impurezas, sedimentos o pequeñas variaciones en la conductividad del líquido.

Los sensores utilizados poseen una salida digital tipo NPN, la cual genera una señal de conmutación cuando se detecta la presencia del líquido. En esta configuración, el terminal de

salida del sensor se conecta a las entradas digitales del PLC, mientras que el sensor comparte la referencia de tierra común con el sistema de control.

Esta configuración permite que el sistema de control disponga de información suficiente para determinar la condición del proceso y ejecutar las acciones correspondientes sobre las bombas de transferencia.

En total, el sistema utiliza seis sensores de nivel, distribuidos de la siguiente manera:

- Tres sensores instalados en el Estanque 1
- Tres sensores instalados en el Estanque 2

Los sensores correspondientes a nivel bajo y nivel alto participan directamente en la estrategia básica de control desarrollada para el prototipo. Los sensores de nivel medio se mantienen conectados y disponibles como entradas digitales adicionales, con el propósito de ampliar las posibilidades pedagógicas de la maqueta. De esta forma, el docente puede incorporarlos posteriormente en actividades que requieran secuencias por etapas, señalización intermedia, temporizaciones u otras estrategias de programación.

Cada uno de estos sensores se encuentra conectado a una entrada digital del PLC, de acuerdo con la asignación presentada anteriormente en la Tabla 2-3, lo que permite al controlador supervisar en tiempo real el estado del nivel de agua en ambos depósitos.

El uso de sensores capacitivos sin contacto resulta especialmente adecuado para aplicaciones educativas, ya que permite observar de manera clara la relación entre el nivel del líquido y la respuesta del sistema de control, facilitando la comprensión de los principios de automatización industrial por parte de los estudiantes.

2.5.4 Sistema de accionamiento de bombas

El sistema de transferencia de agua entre los estanques se realiza mediante dos bombas eléctricas de corriente continua instaladas en configuración sumergida dentro de cada depósito. Estas bombas son las encargadas de impulsar el fluido desde un estanque hacia el otro, permitiendo implementar un proceso de transferencia bidireccional controlado por el PLC.

Cada bomba se encuentra instalada en el fondo del estanque correspondiente y conectada mediante mangueras flexibles de silicona hacia la parte superior del estanque opuesto. De esta forma, cuando una bomba se activa, el agua es impulsada desde el depósito de origen hacia el depósito receptor, permitiendo observar claramente el proceso de llenado y vaciado del sistema.

Las bombas utilizadas en el prototipo operan con una alimentación de 12 V en corriente continua, presentan una potencia aproximada de 19 W y una corriente nominal cercana a 1 A durante su funcionamiento.

El accionamiento de las bombas se realiza mediante módulos de relés intermedios gobernados por las salidas digitales del PLC. Los contactos de dichos relés permiten conmutar la tensión de 12 VDC proveniente de la fuente de alimentación destinada al circuito de actuación.

El sistema utiliza dos canales independientes:

- P-101: transferencia desde TK-101 hacia TK-102.
- P-102: transferencia desde TK-102 hacia TK-101.

Esta configuración permite controlar independientemente cada bomba y facilita la implementación de enclavamientos y condiciones de seguridad mediante la lógica programada en el PLC.

Desde el punto de vista pedagógico, el uso de bombas de corriente continua de baja potencia resulta adecuado para la maqueta, ya que permite trabajar con niveles de tensión seguros, reducir riesgos eléctricos en el laboratorio y facilitar la comprensión del funcionamiento del sistema por parte de los estudiantes.

La lógica de funcionamiento que determina cuándo deben activarse o detenerse las bombas es definida mediante el programa implementado en el PLC, el cual utiliza la información entregada por los sensores de nivel instalados en ambos estanques para tomar las decisiones de control correspondientes.

2.5.5 Fuente de alimentación del sistema

El sistema eléctrico del prototipo requiere la utilización de dos niveles de tensión continua para alimentar los distintos componentes que forman parte del sistema de control y del sistema de potencia hidráulica. Para este propósito se implementa una arquitectura de alimentación basada en dos fuentes de poder independientes, permitiendo separar adecuadamente los circuitos de control y los actuadores del sistema.

Por una parte, el controlador lógico programable es alimentado mediante una fuente de alimentación industrial modelo Siemens PM1207, la cual entrega una tensión estabilizada de 24VDC con una corriente nominal de hasta 2,5 A.

Esta fuente se encuentra diseñada específicamente para aplicaciones de automatización industrial y es compatible con el funcionamiento del PLC Siemens LOGO!, proporcionando una alimentación confiable y segura para el sistema de control.

La capacidad de corriente de la fuente permite alimentar adecuadamente los dispositivos del sistema de control, tales como el PLC, sensores de nivel y elementos de mando, asegurando un funcionamiento estable y sin sobrecargas.

La fuente de 24 VDC se utiliza principalmente para alimentar:

- El PLC Siemens LOGO!
- Los sensores de nivel capacitivos instalados en los estanques
- Los dispositivos de mando del sistema

El uso de una fuente industrial dedicada para el sistema de control permite asegurar una tensión estable, reduciendo posibles interferencias eléctricas y mejorando la confiabilidad del sistema automatizado.

Por otra parte, las bombas encargadas de transferir el agua entre los estanques operan con una tensión de 12 V en corriente continua, por lo que se incorpora una segunda fuente de alimentación independiente modelo Want 12V 5A 60W Switching Power Supply, la cual corresponde a una fuente switching capaz de entregar una corriente máxima de 5 A.

Esta fuente se encarga de alimentar exclusivamente los actuadores hidráulicos del sistema, es decir:

- Bomba de transferencia P-101 del estanque 1 hacia el estanque 2
- Bomba de transferencia P-102 del estanque 2 hacia el estanque 1

La utilización de una fuente independiente para las bombas permite evitar que las variaciones de corriente producidas durante el funcionamiento de los motores afecten el suministro eléctrico del PLC y de los sensores, mejorando la estabilidad del sistema de control.

Ambas fuentes de alimentación comparten una referencia común de tierra (GND), lo que permite garantizar una correcta interpretación de las señales digitales entre sensores, PLC y actuadores.

Desde el punto de vista de diseño, esta arquitectura de alimentación presenta diversas ventajas:

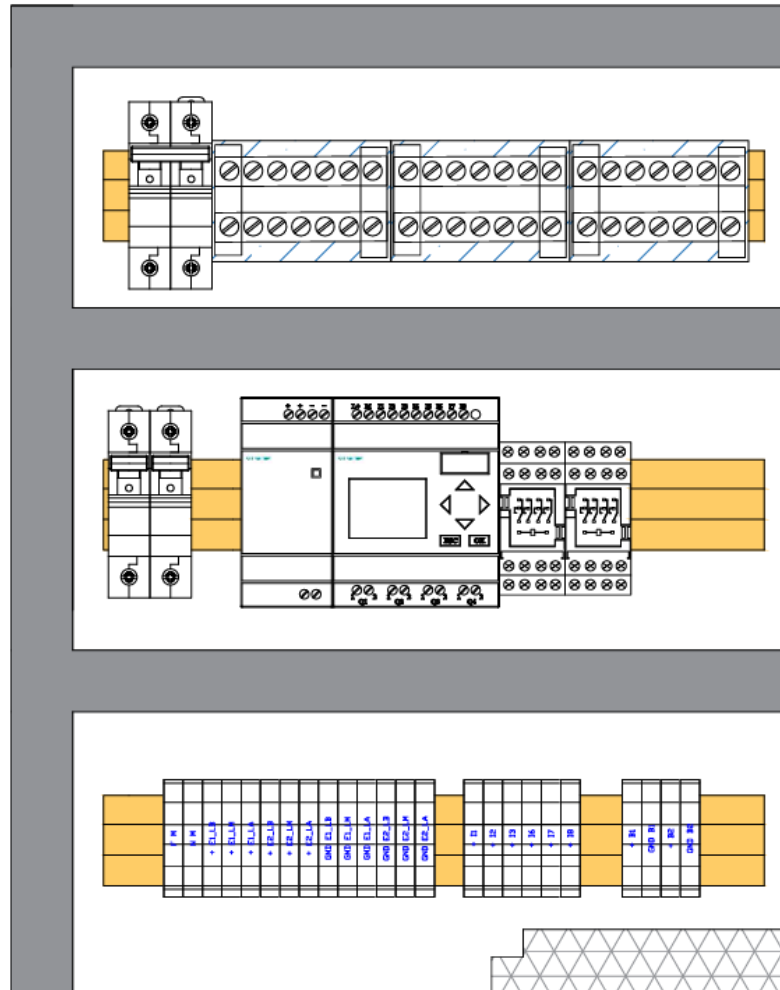
- Separación entre circuitos de control y potencia
- Mayor estabilidad eléctrica del sistema
- Reducción de interferencias producidas por los motores de las bombas
- Mayor seguridad operativa en el entorno educativo

Esta configuración permite asegurar un funcionamiento confiable del sistema automatizado, manteniendo una distribución de energía clara y organizada dentro del tablero eléctrico del prototipo.

Con el objetivo de organizar de forma clara los componentes eléctricos del sistema, se diseñó la distribución interna del tablero de control considerando criterios de accesibilidad, orden del cableado y facilidad de mantenimiento.

Los dispositivos se montan sobre riel DIN, permitiendo una instalación modular y ordenada de protecciones, fuentes de alimentación, PLC y borneras de conexión.

La distribución de los componentes en el tablero de control se presenta en la Figura 2-9, donde se observa la organización de los dispositivos sobre riel DIN, considerando criterios de orden, accesibilidad y facilidad de mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia (AutoCAD, 2025)

Figura 2-9. Distribución de componentes en el tablero de control

La distribución de los componentes en el tablero de control se presenta en la Figura 2-9, donde se observa la organización de los dispositivos sobre riel DIN, considerando criterios de orden, accesibilidad y facilidad de mantenimiento.

2.5.6 Plataforma de programación y monitoreo del sistema

Con el objetivo de permitir la programación, configuración y monitoreo del sistema automatizado, se considera la incorporación de un computador portátil dedicado al prototipo.

Este equipo permite la interacción directa con el PLC Siemens LOGO mediante el software de programación correspondiente, facilitando tanto el desarrollo del sistema como su utilización en actividades pedagógicas.

El uso de un equipo dedicado evita depender de la disponibilidad de computadores externos, asegurando la continuidad de las actividades prácticas en el aula y permitiendo una integración directa entre el sistema físico y la programación del controlador.

El software utilizado para la programación del PLC es LOGO! Soft Comfort, herramienta oficial de Siemens que permite desarrollar, modificar y supervisar programas en lenguaje Ladder y diagrama de bloques funcionales.

Para garantizar el correcto funcionamiento del software y una operación fluida del sistema, se establecen los siguientes requerimientos mínimos para el equipo computacional:

- Requerimientos mínimos del computador:
 - Procesador: Intel Core i3 o equivalente
 - Memoria RAM: 8 GB (recomendable 16 GB)
 - Almacenamiento: 128 GB SSD o superior
 - Sistema operativo: Windows 10 o superior
 - Conectividad: Puerto Ethernet o adaptador USB-Ethernet compatible.
 - Resolución de pantalla: 1366 × 768 o superior
- Conectividad con el PLC:

La comunicación entre el computador y el PLC se realiza mediante conexión Ethernet, permitiendo:

- Cargar programas al controlador
- Monitorear el estado de entradas y salidas en tiempo real
- Realizar ajustes y modificaciones en la lógica de control
- Diagnosticar el funcionamiento del sistema

- Uso pedagógico del computador:

Desde el punto de vista educativo, el computador cumple un rol fundamental, ya que permite a los estudiantes:

- Programar el PLC utilizando lenguaje Ladder
- Analizar el comportamiento del sistema en tiempo real
- Modificar parámetros de control según distintos escenarios
- Relacionar la lógica programada con el comportamiento físico del sistema

De esta manera, el equipo computacional se integra como una herramienta clave dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, complementando la interacción con el prototipo físico.

2.6 ESTRATEGIA DE CONTROL Y SECUENCIA DE OPERACIÓN

La estrategia de control del sistema se basa en la supervisión de los niveles de agua de ambos estanques mediante sensores capacitivos conectados a las entradas digitales del PLC Siemens LOGO! 12/24 RCE. A partir del estado de estas señales y de los comandos de operación, el controlador ejecuta la lógica necesaria para gobernar las bombas P-101 y P-102.

Cada estanque dispone de tres sensores correspondientes a nivel bajo, medio y alto. Para la estrategia de control base desarrollada en este proyecto se utilizan principalmente las señales de nivel bajo y alto, las cuales permiten establecer condiciones de protección contra funcionamiento en seco y rebalse. Los sensores de nivel medio permanecen conectados al PLC como entradas adicionales de carácter didáctico, disponibles para futuras actividades de programación, secuencias de control o ampliaciones desarrolladas por el docente.

La lógica se implementa en lenguaje Ladder e incorpora modos de operación manual y automático, así como condiciones de seguridad e interbloqueos destinadas a impedir operaciones incompatibles.

2.6.1 Principio de funcionamiento del sistema

El sistema permite realizar la transferencia bidireccional de agua entre los estanques TK-101 y TK-102 mediante las bombas P-101 y P-102. Durante la operación, el PLC supervisa continuamente el estado de los sensores y determina la habilitación de cada bomba según las condiciones programadas.

La operación básica se desarrolla de la siguiente manera:

1. El PLC lee las señales provenientes de los sensores de nivel y los dispositivos de mando.
2. Antes de permitir el funcionamiento de una bomba, verifica que exista un nivel mínimo de agua en el estanque de origen y que el estanque receptor no se encuentre en nivel alto.
3. Si las condiciones de seguridad se cumplen, el PLC genera la orden de accionamiento correspondiente.
4. Durante la transferencia, los sensores continúan siendo supervisados.
5. Si el estanque receptor alcanza el nivel alto, la bomba se detiene para evitar un rebalse.
6. Si el estanque de origen alcanza el nivel bajo, la bomba también se detiene para evitar funcionamiento en seco.
7. Finalizada la transferencia, el sistema permanece a la espera de una nueva condición de operación.

Este mecanismo de control permite reproducir de manera simplificada el funcionamiento de procesos industriales de transferencia de fluidos entre depósitos interconectados.

2.6.2 Modos de operación del sistema

El sistema dispone de dos modalidades de operación: manual y automática. En ambos casos se mantienen activas las condiciones de seguridad asociadas a los niveles de los estanques.

En modo manual, los selectores S1 y S2 permiten solicitar individualmente el funcionamiento de las bombas:

- **S1:** solicita la activación de P-101 para transferir agua desde TK-101 hacia TK-102.
- **S2:** solicita la activación de P-102 para transferir agua desde TK-102 hacia TK-101.

La activación manual no anula las condiciones de seguridad del sistema. Por lo tanto, una bomba solo podrá funcionar si el estanque de origen dispone de agua por sobre el nivel mínimo y el estanque receptor no se encuentra en condición de nivel alto.

En modo automático, las bombas son gobernadas por la lógica programada en el PLC de acuerdo con el estado de los sensores de nivel. El sistema determina qué transferencia debe ejecutarse y mantiene las protecciones contra funcionamiento en seco, rebalse y operación simultánea de las bombas.

2.6.3 Condiciones de seguridad del sistema

- Protección contra funcionamiento en seco: La bomba correspondiente se inhibe cuando el sensor de nivel bajo del estanque de origen indica que no existe una cantidad suficiente de agua para continuar la transferencia.
- Protección contra rebalse: La bomba se detiene cuando el sensor de nivel alto del estanque receptor se activa.
- Interbloqueo entre bombas: El programa impide el accionamiento simultáneo de P-101 y P-102, evitando transferencias opuestas durante un mismo ciclo.
- Seguridad también en modo manual: Las condiciones de nivel bajo, nivel alto e interbloqueo permanecen activas durante la operación manual, evitando que los selectores permitan sobrepasar las condiciones seguras del proceso.

La configuración base del prototipo no dispone de un sensor de corriente o caudal que permita confirmar directamente el funcionamiento de una bomba después de recibir una orden de marcha. Por esta razón, una falla eléctrica o mecánica del actuador no puede ser detectada directamente por el PLC. Como ampliación futura, el sistema puede incorporar un sensor de corriente, un sensor de flujo o una estrategia temporizada basada en la variación del nivel, permitiendo generar una alarma cuando se emita una orden de funcionamiento sin observarse el efecto esperado en el proceso.

2.6.4 Secuencia general de operación

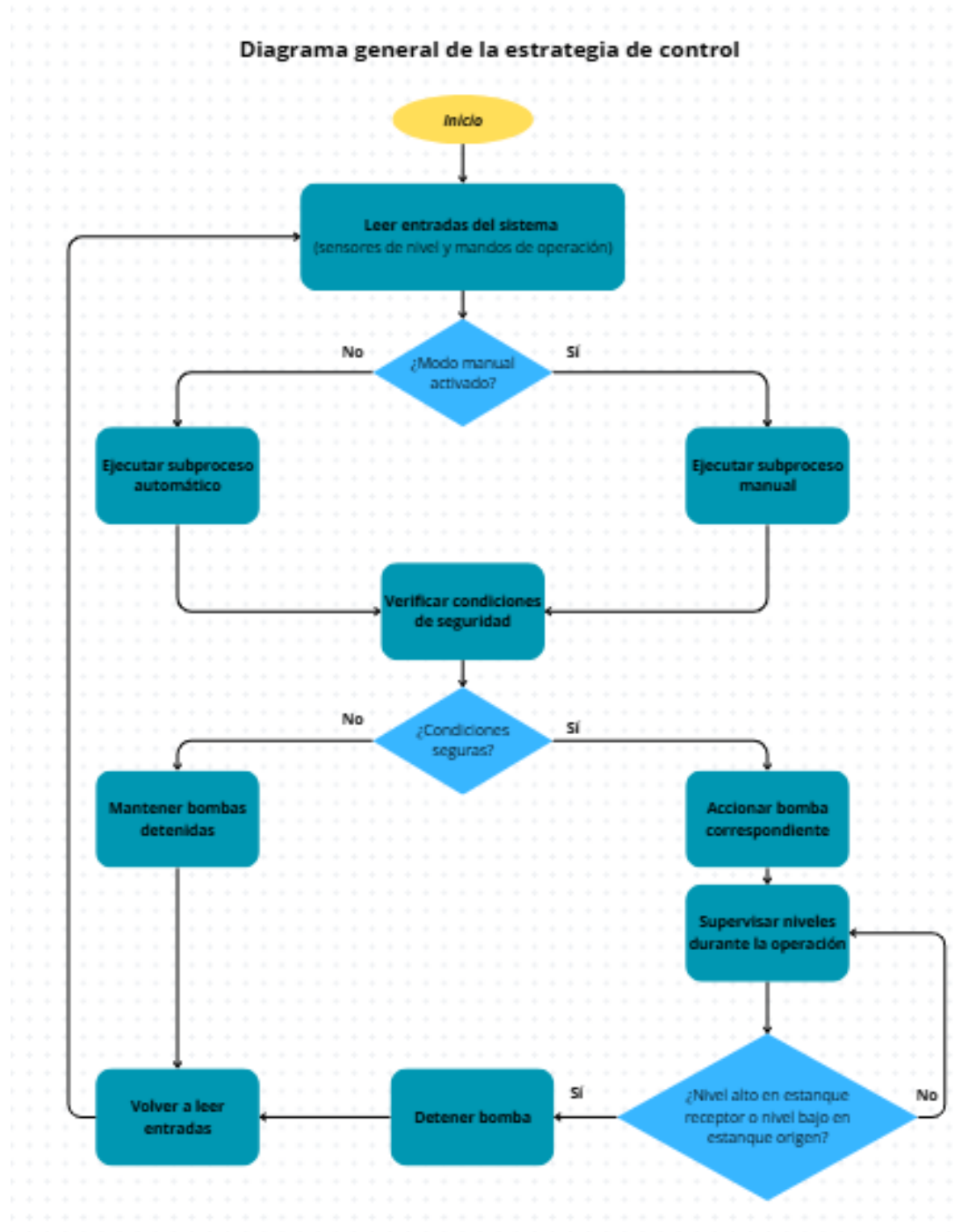
El ciclo básico de funcionamiento del sistema puede resumirse en la siguiente secuencia:

- 1- Energización e inicialización del sistema.
- 2- Lectura de sensores de nivel y dispositivos de mando.
- 3- Identificación del modo de operación seleccionado.
- 4- Verificación de las condiciones de seguridad.
- 5- En modo manual, procesamiento de la solicitud S1 o S2.
- 6- En modo automático, determinación de la transferencia según el estado de los niveles.
- 7- Accionamiento de la bomba correspondiente.
- 8- Supervisión continua de los niveles durante la transferencia.
- 9- Detención por nivel alto en el estanque receptor o nivel bajo en el estanque de origen.
- 10- Retorno al estado de espera y nueva lectura de entradas.

Esta secuencia permite representar de forma clara el funcionamiento de un sistema automatizado de control de nivel y transferencia de fluidos, constituyendo una herramienta pedagógica útil para la enseñanza de automatización industrial.

Para representar de manera clara la estructura de la estrategia de control, en la Figura 2-10 se presenta el diagrama general de funcionamiento del sistema. En él se muestra la lectura

inicial de las señales de entrada, la identificación del modo de operación, la verificación de las condiciones de seguridad y el accionamiento o detención de la bomba correspondiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-10. Diagrama general de la estrategia de control.

Como se observa en la Figura 2-10, tanto el modo manual como el automático se encuentran subordinados a las condiciones de seguridad del proceso. Antes de permitir el accionamiento de una bomba, el PLC verifica que exista un nivel de agua suficiente en el estanque de origen y que el estanque receptor no se encuentre en nivel alto. Durante la transferencia, estas señales continúan siendo supervisadas, permitiendo detener la bomba cuando se alcanza alguna condición límite.

El funcionamiento específico del modo manual se presenta en la Figura 2-11. En esta modalidad, los comandos asociados a P-101 y P-102 permiten solicitar individualmente el accionamiento de las bombas; sin embargo, la orden solo es ejecutada cuando se cumplen las condiciones de nivel y de interbloqueo establecidas en la programación.

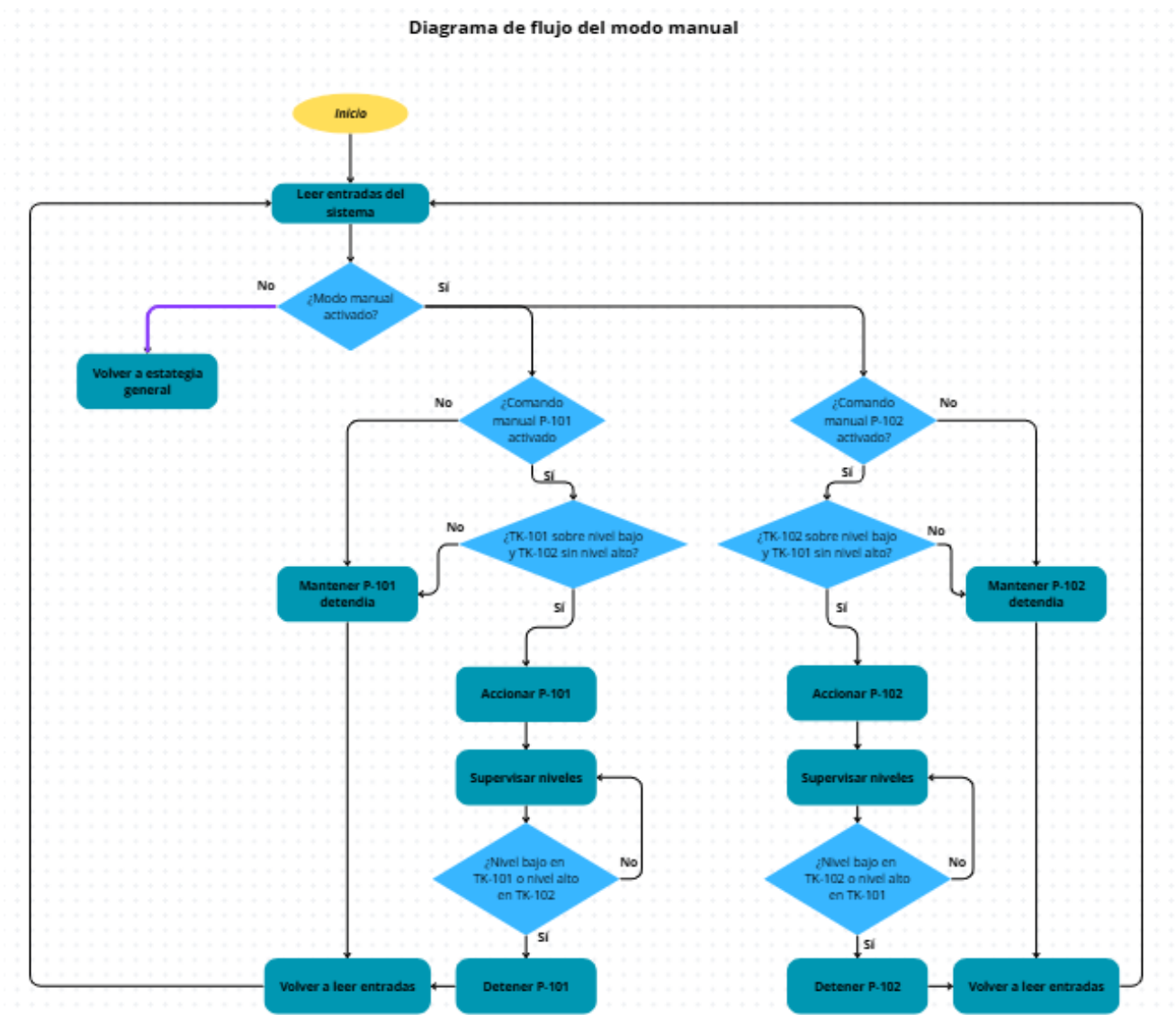
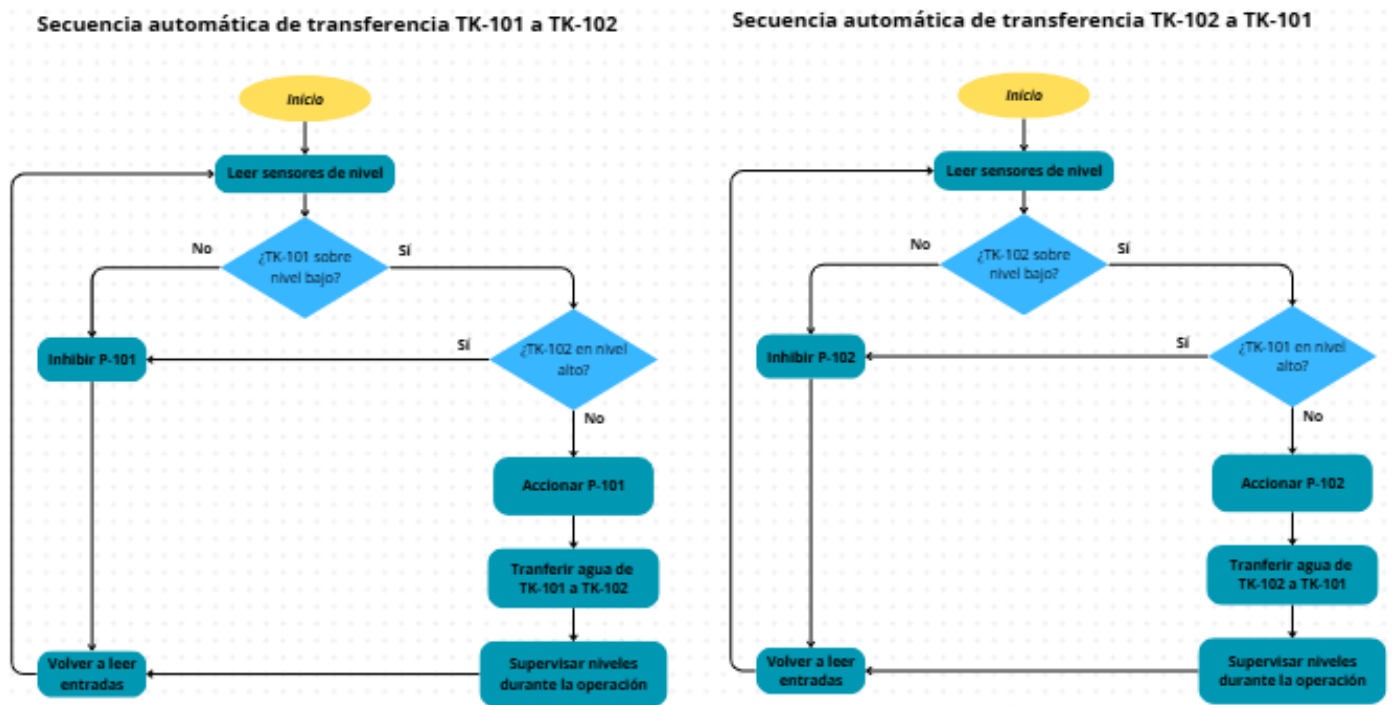


Figura 2-11. Diagrama de flujo del modo manual de operación.

Fuente: Elaboración propia

El uso del modo manual permite realizar pruebas de funcionamiento y actividades de análisis sin eliminar las protecciones básicas del sistema. De esta manera, el estudiante puede observar la relación entre una orden manual, las condiciones detectadas por los sensores y la respuesta final de los actuadores.

Para facilitar la interpretación del funcionamiento automático, la estrategia de transferencia se divide según el sentido de circulación del agua. La Figura 2-12 presenta las dos secuencias posibles: transferencia desde TK-101 hacia TK-102 mediante P-101 y transferencia desde TK-102 hacia TK-101 mediante P-102.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-12. Secuencias automáticas de transferencia entre los estanques.

En la secuencia TK-101 hacia TK-102, la bomba P-101 solamente puede ser accionada cuando TK-101 dispone de agua por sobre el nivel bajo y TK-102 no se encuentra en nivel alto. Una vez iniciada la transferencia, el PLC supervisa continuamente ambas condiciones y detiene P-101 si el estanque receptor alcanza el nivel alto o si el estanque de origen alcanza el nivel bajo.

La secuencia inversa aplica el mismo principio de operación. P-102 transfiere agua desde TK-102 hacia TK-101 siempre que TK-102 disponga de un nivel suficiente y TK-101 no se encuentre en nivel alto. La bomba se detiene cuando se alcanza alguna de las condiciones límite establecidas.

Los sensores correspondientes al nivel medio de TK-101 y TK-102 no intervienen en las secuencias automáticas base presentadas en la Figura 2-12. Estos dispositivos se mantienen instalados y conectados al PLC como entradas adicionales, ampliando las posibilidades didácticas del prototipo y permitiendo desarrollar posteriormente nuevas estrategias de control que requieran estados intermedios de nivel.

A partir de las estrategias descritas, la Tabla 2-4 resume las principales condiciones de entrada y las acciones que debe ejecutar el sistema, incluyendo las condiciones de habilitación, inhibición y detención de las bombas.

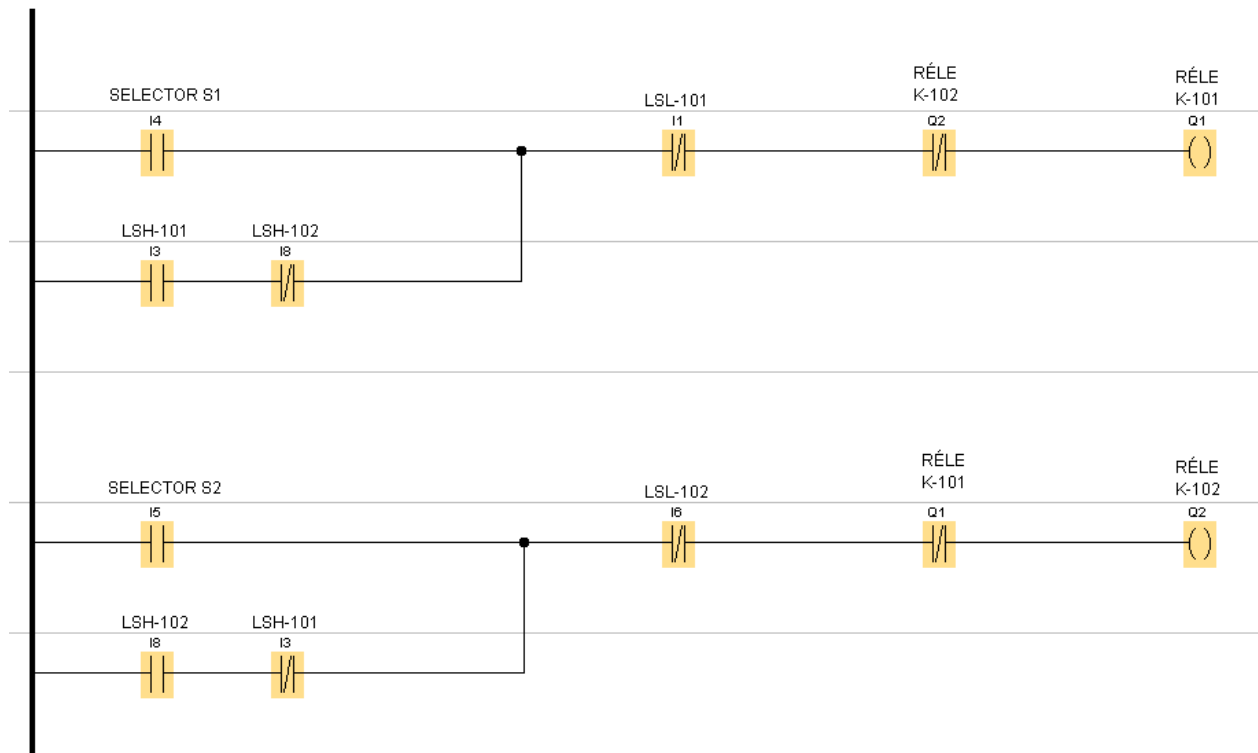
Tabla 2-4. Condiciones de operación y acciones

Condición	Acción del sistema
S1 activo + condiciones seguras	Solicitar activación de P-101
S2 activo + condiciones seguras	Solicitar activación de P-102
Nivel bajo TK-101	Inhibir/detener P-101
Nivel bajo TK-102	Inhibir/detener P-102
Nivel alto TK-101	Inhibir/detener P-102
Nivel alto TK-102	Inhibir/detener P-101
P-101 activa	Bloquear P-102
P-102 activa	Bloquear P-101
Nivel medio TK-101/TK-102	Entrada disponible para actividades pedagógicas futuras

Fuente: Elaboración propia

Las condiciones establecidas en la tabla constituyen la base para el desarrollo del programa de control implementado en el PLC.

Con el fin de implementar las condiciones de operación descritas anteriormente, se desarrolló un programa en lenguaje Ladder que integra las señales provenientes de los sensores, los comandos manuales y las condiciones de seguridad e interbloqueo. La Figura 2-13 presenta una representación simplificada de la lógica implementada en el PLC.



Fuente: Elaboración propia (LOGO!Soft Comfort)

Figura 2-13. Diagrama Ladder simplificado de la lógica de control

La lógica Ladder considera dos modos principales de operación: manual y automático. En modo manual, los selectores S1 y S2 permiten activar de forma independiente las bombas del sistema, siempre que se cumplan las condiciones mínimas de seguridad asociadas al nivel de agua en el estanque de origen. En modo automático, la activación de las bombas se realiza en función del estado de los sensores de nivel alto y bajo de ambos estanques, asegurando la transferencia del fluido sin provocar vaciado excesivo ni funcionamiento simultáneo de las bombas.

2.7 APLICACIÓN PEDAGÓGICA DEL PROTOTIPO

El prototipo desarrollado no solo cumple una función técnica, sino que también constituye una herramienta pedagógica orientada a la enseñanza de conceptos fundamentales de automatización y control industrial.

Su implementación en el aula busca fortalecer el aprendizaje significativo de los estudiantes mediante la integración de teoría y práctica, permitiendo que los alumnos interactúen directamente con un sistema automatizado real.

Los objetivos de aprendizaje correspondientes al módulo de automatización y control industrial utilizados como base para el diseño pedagógico del prototipo se presentan en el Anexo del presente documento.

2.7.1 Objetivos de aprendizaje

La implementación del prototipo se encuentra alineada con el objetivo de aprendizaje N°8 del módulo de automatización y control industrial de la especialidad de electricidad, el cual establece la capacidad de modificar programas y parámetros en equipos y sistemas eléctricos y electrónicos utilizados en el control de procesos, de acuerdo con los requerimientos operacionales y la normativa vigente.

En este contexto, el sistema permite que los estudiantes desarrollen aprendizajes orientados a la comprensión, análisis y modificación de sistemas automatizados reales, mediante la interacción directa con sensores, actuadores y un controlador lógico programable (PLC).

A través del uso de la maqueta, los estudiantes podrán desarrollar las siguientes competencias:

- Interpretar documentación técnica, diagramas eléctricos y diagramas de control asociados a sistemas automatizados.

- Comprender y analizar la lógica de control implementada mediante lenguaje Ladder en un PLC.
- Modificar parámetros de funcionamiento del sistema de control de acuerdo a distintas condiciones operacionales.
- Generar y analizar diagramas de flujo asociados a procesos automatizados.
- Programar y ajustar el funcionamiento de un sistema de automatización en función de requerimientos específicos.
- Verificar el estado de operación del sistema mediante la observación del comportamiento físico del proceso.
- Registrar y documentar modificaciones realizadas al sistema, en concordancia con procedimientos técnicos.

2.7.2 Alineación curricular del prototipo

La relación entre el objetivo de aprendizaje y la aplicación del prototipo se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2-5. Alineación curricular del prototipo con OAs ministeriales.

Aprendizaje esperado (OA 8)	Aplicación en el prototipo
Interpretación de documentación técnica	Análisis de diagramas de flujo y Ladder del sistema
Programación de dispositivos de automatización	Programación del PLC Siemens LOGO
Modificación de parámetros de control	Ajuste de lógica de funcionamiento del sistema
Verificación de operación	Observación del comportamiento de sensores y bombas
Generación de diagramas de control	Uso del diagrama de flujo del sistema

Registro de modificaciones	Documentación de cambios en el sistema
----------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

2.7.3 Metodología de uso del prototipo

La utilización del prototipo en el aula se organiza en tres etapas principales, permitiendo una progresión desde la comprensión teórica hasta la experimentación práctica:

- Etapa teórica: En esta etapa, el docente introduce los conceptos fundamentales asociados al control de nivel, sensores industriales y funcionamiento de sistemas automatizados. Además, se presentan los diagramas de flujo y el programa Ladder del sistema, permitiendo a los estudiantes comprender la lógica de operación antes de interactuar con el prototipo.

- Etapa de análisis: Los estudiantes analizan el funcionamiento del sistema a partir de los diagramas presentados, identificando las condiciones de operación, las señales de entrada y las acciones del sistema. Esta etapa busca consolidar la comprensión del control lógico del proceso.

- Etapa práctica: Finalmente, los estudiantes interactúan directamente con la maqueta, observando el comportamiento del sistema en tiempo real, verificando la activación de sensores y actuadores, y relacionando la teoría con la práctica.

Esta secuencia de trabajo permite que los estudiantes pasen desde la interpretación de diagramas hasta la modificación y validación del sistema automatizado, en concordancia con los objetivos de aprendizaje del módulo.

2.7.4 Interacción del estudiante con el sistema

El prototipo permite a los estudiantes observar directamente la activación de sensores de nivel, el funcionamiento de las bombas hidráulicas y la ejecución de la lógica de control implementada en el PLC.

Mediante el uso de los selectores manuales del sistema, los alumnos pueden intervenir el proceso de forma controlada, lo que facilita la comprensión del comportamiento dinámico del sistema y permite experimentar con distintas condiciones de operación.

2.7.5 Actividades pedagógicas sugeridas

El sistema permite el desarrollo de diversas actividades pedagógicas, tales como:

- Identificación del estado de los sensores en distintos niveles de agua.
- Observación del comportamiento del sistema durante el llenado y vaciado de los estanques.
- Verificación de la lógica de control implementada en el PLC.
- Activación manual de bombas mediante los selectores del sistema.
- Simulación de condiciones de falla en sensores o actuadores.
- Análisis de la relación entre el diagrama Ladder y el funcionamiento real del sistema.

2.7.6 Valor pedagógico del sistema

El uso de esta maqueta permite transformar conceptos abstractos de automatización en una experiencia concreta y observable, favoreciendo el aprendizaje activo de los estudiantes.

De esta manera, el prototipo se convierte en una herramienta didáctica que facilita la comprensión de procesos industriales reales, fortaleciendo el desarrollo de competencias técnicas en el área de la automatización y el control.

2.8 GUÍA PEDAGÓGICA DE TRABAJO PARA EL USO DEL PROTOTIPO

Con el fin de facilitar la implementación del prototipo en el aula, se presenta a continuación una guía de uso dirigida a docentes de la especialidad de Electricidad. Esta guía tiene

como objetivo orientar la correcta utilización del sistema, asegurando condiciones de operación seguras y un adecuado aprovechamiento pedagógico del prototipo.

2.8.1 Objetivo de la actividad

La presente guía tiene como objetivo orientar el desarrollo de una actividad práctica utilizando la maqueta didáctica de automatización, permitiendo que los estudiantes identifiquen los elementos que conforman el sistema, interpreten su lógica de funcionamiento y relacionen las señales de entrada y salida del PLC con el comportamiento físico del proceso de transferencia de agua.

Al finalizar la actividad, se espera que los estudiantes sean capaces de interpretar el funcionamiento de los sensores de nivel, analizar la secuencia de control programada y realizar modificaciones básicas en la lógica Ladder, verificando posteriormente su comportamiento en la maqueta.

2.8.2 Preparación y puesta en marcha

Antes de iniciar cualquier actividad práctica, el docente debe verificar las siguientes condiciones:

- Correcta conexión de las fuentes de alimentación.
- Estado operativo del PLC Siemens LOGO! 8.
- Nivel y estado del agua contenido en ambos estanques.
- Correcta fijación y funcionamiento de los sensores de nivel.
- Estado de las bombas y ausencia de obstrucciones en las mangueras.
- Ausencia de fugas en estanques, conexiones y líneas hidráulicas.
- Correcta operación del paro de emergencia.
- Estado general de las protecciones y conductores eléctricos.

Una vez verificados estos puntos, se procede al encendido del sistema mediante el interruptor general del tablero.

2.8.3 Explicación del funcionamiento

Antes de intervenir la maqueta, el docente debe presentar a los estudiantes la arquitectura general del sistema, identificando los sensores, el PLC, los relés intermedios y las bombas eléctricas.

El PLC recibe las señales digitales provenientes de los sensores capacitivos instalados en ambos estanques y, de acuerdo con la lógica programada, determina el accionamiento de P-101 o P-102. Durante la operación, las condiciones de nivel bajo y nivel alto permanecen activas como protecciones contra funcionamiento en seco y rebalse.

Los sensores de nivel medio no participan en la estrategia de control base; sin embargo, permanecen instalados y conectados al PLC como entradas adicionales disponibles para futuras actividades pedagógicas y nuevas secuencias de programación.

2.8.4 Esquemas de apoyo

Para el desarrollo de la actividad, los estudiantes deben utilizar como referencia los siguientes documentos técnicos presentados anteriormente:

- Arquitectura funcional del subsistema eléctrico y de control.
- Diagrama P&ID simplificado.
- Diagrama eléctrico del sistema.
- Diagrama general de la estrategia de control.
- Diagrama de flujo del modo manual.
- Secuencias automáticas de transferencia.
- Programa Ladder del sistema.

2.8.5 Modos de operación

- Modo manual: el estudiante puede solicitar individualmente el funcionamiento de las bombas mediante los dispositivos de mando:

A) El comando asociado a P-101 solicita la transferencia desde TK-101 hacia TK-102.

B) El comando asociado a P-102 solicita la transferencia desde TK-102 hacia TK-101.

El accionamiento manual no es independiente de las condiciones de nivel. El PLC mantiene activas las protecciones programadas, por lo que inhibe una bomba cuando el estanque de origen se encuentra en nivel bajo o cuando el estanque receptor alcanza el nivel alto. Asimismo, se mantiene el interbloqueo que impide la operación simultánea de las bombas.

- Modo automático: En modo automático, el PLC determina el accionamiento de las bombas a partir del estado de los sensores de nivel. La transferencia continúa mientras el estanque de origen mantenga una condición segura de agua y el estanque receptor no alcance el nivel alto.

2.8.6 Actividad práctica del estudiante

Los estudiantes desarrollarán la actividad práctica sobre el prototipo previamente montado y verificado por el docente. No se contempla la modificación del cableado de potencia durante la actividad base; la intervención del estudiante se centra en la interpretación de señales, programación del PLC y comprobación funcional del sistema.

La actividad se desarrolla mediante las siguientes etapas:

Etapas 1 — Reconocimiento:

- Identificar TK-101, TK-102, P-101, P-102, PLC-101 y sensores de nivel.
- Reconocer las entradas y salidas asignadas en el PLC.
- Identificar las dos fuentes de alimentación y explicar su función.

Etapas 2 — Análisis

- Interpretar el diagrama de flujo de la estrategia general.
- Identificar las condiciones que habilitan e inhiben P-101.
- Identificar las condiciones que habilitan e inhiben P-102.

- Relacionar dichas condiciones con el programa Ladder.

Etapa 3 — Experimentación

- Operar el sistema en modo manual y observar las entradas y salidas del PLC.
- Comprobar que una bomba no pueda funcionar cuando el estanque de origen se encuentre en nivel bajo.
- Comprobar la detención de la bomba cuando el estanque receptor alcance el nivel alto.
- Ejecutar posteriormente el modo automático y registrar el comportamiento observado.

Etapa 4 — Programación

- Realizar una modificación indicada por el docente en el programa Ladder.
- Simular el programa antes de transferirlo al PLC.
- Ejecutar la nueva secuencia en la maqueta y comprobar su comportamiento.
- Registrar los resultados obtenidos

2.8.7 Tabla de registro

Durante la ejecución de la actividad, los estudiantes deberán observar el estado de los sensores de nivel y relacionar cada condición física del proceso con la entrada digital correspondiente del PLC. Antes de comprobar la respuesta de la maqueta, deberán registrar la acción que esperan que ejecute el sistema y posteriormente compararla con el comportamiento observado. Los resultados se registrarán en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6. Registro de estados de sensores y respuesta del sistema.

Condición observada	Entrada PLC	Estado de entrada	Acción esperada	Acción observada
----------------------------	--------------------	--------------------------	------------------------	-------------------------

Nivel bajo TK-101	I1	—	—	—
Nivel medio TK-101	I2	—	—	—
Nivel alto TK-101	I3	—	—	—
Nivel bajo TK-102	I6	—	—	—
Nivel medio TK-102	I7	—	—	—
Nivel alto TK-102	I8	—	—	—

Fuente: Elaboración propia

La comparación entre la acción esperada y la acción observada permite verificar la comprensión de la lógica de control y detectar posibles diferencias entre la interpretación del programa y el comportamiento real del proceso. En el caso de los sensores de nivel medio, estos no generan una acción específica dentro de la secuencia base y se mantienen disponibles para el desarrollo de actividades de programación posteriores.

2.8.8 Preguntas de análisis

Una vez finalizada la operación del prototipo y completada la tabla de registro, los estudiantes deberán responder las siguientes preguntas con el propósito de analizar la relación entre las señales de entrada, la lógica programada y el comportamiento físico del sistema:

- 1) ¿Qué condición debe cumplirse para permitir el funcionamiento de la bomba P-101?
- 2) ¿Qué ocurre con P-101 cuando TK-102 alcanza el nivel alto?
- 3) ¿Qué condición impide el funcionamiento de P-102 cuando TK-102 posee una cantidad insuficiente de agua?
- 4) ¿Cuál es la función de los módulos de relés intermedios entre el PLC y las bombas?
- 5) ¿Por qué el sistema utiliza una fuente de 24 VDC y otra fuente independiente de 12 VDC?
- 6) ¿Qué función cumplen actualmente los sensores de nivel medio y cómo podrían utilizarse en una nueva estrategia de programación?

- 7) ¿Qué diferencia existe entre la operación manual y la automática respecto de las condiciones de seguridad?
- 8) Proponga una modificación al programa Ladder que utilice el sensor de nivel medio de uno de los estanques. Explique qué comportamiento espera obtener.

2.9 PAUTA DE EVALUACIÓN

La evaluación de la actividad se realizará mediante una pauta de desempeño que considera la identificación de componentes, la interpretación de la lógica de control, la relación entre las señales del PLC y el comportamiento físico del sistema, así como el cumplimiento de las condiciones de seguridad.

Tabla 2-7. Pauta de evaluación de la actividad práctica.

Criterio	Logrado	Parcialmente logrado	No logrado
Identifica correctamente los principales componentes del sistema.	☐	☐	☐
Reconoce las entradas y salidas utilizadas por el PLC.	☐	☐	☐
Interpreta correctamente los diagramas de flujo y control.	☐	☐	☐
Reconoce las condiciones de nivel que habilitan o inhiben las bombas.	☐	☐	☐
Relaciona el programa Ladder con el comportamiento físico de la maqueta.	☐	☐	☐
Completa correctamente la tabla de registro.	☐	☐	☐

Propone una modificación coherente de la lógica de control.	☐	☐	☐
Respetar las condiciones de seguridad durante la actividad.	☐	☐	☐

Fuente: Elaboración propia

2.9.1 Consideraciones de seguridad

Durante el desarrollo de la actividad práctica deberán respetarse las siguientes condiciones de seguridad:

- No manipular conductores, borneras ni conexiones eléctricas mientras el sistema se encuentre energizado.
- Verificar la ausencia de fugas de agua antes y durante la operación.
- Mantener seca la superficie de trabajo y el entorno del tablero eléctrico.
- No operar las bombas cuando el estanque de origen se encuentre bajo el nivel mínimo establecido.
- No modificar conexiones pertenecientes al circuito de potencia durante la actividad.
- Utilizar el paro de emergencia ante cualquier comportamiento anormal del prototipo.
- Realizar modificaciones del programa únicamente bajo supervisión del docente.
- Verificar las condiciones del sistema antes de volver a energizarlo después de una intervención.

2.9.2 Cierre de la actividad

Al finalizar la actividad, los estudiantes deberán detener el funcionamiento de las bombas y desenergizar el sistema mediante el interruptor general. Posteriormente, se verificará el estado de los componentes eléctricos e hidráulicos, se guardará el programa desarrollado y se registrarán las observaciones obtenidas durante la experiencia.

Finalmente, el docente deberá comprobar que la maqueta quede en condiciones adecuadas para una próxima utilización, verificando la ausencia de fugas, el estado de las conexiones y el nivel de agua de los estanques.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DEL PROYECTO

3 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se desarrolla la evaluación técnica y económica del prototipo propuesto, considerando los costos asociados a su implementación, los recursos necesarios para su construcción y la planificación temporal de las actividades.

Dado que el sistema está orientado a fines educativos, el análisis se enfoca en la viabilidad de implementación dentro de un establecimiento técnico-profesional, considerando criterios de accesibilidad, funcionalidad y pertinencia pedagógica.

Para ello, se presenta un listado detallado de materiales, una estimación de costos, una planificación mediante carta Gantt y un análisis general de inversión asociado al desarrollo del prototipo.

3.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y ALCANCE DE LA INVERSIÓN

El presente capítulo tiene por finalidad evaluar la factibilidad de implementación del prototipo educativo propuesto, considerando los recursos materiales, eléctricos, electrónicos, estructurales y computacionales requeridos para su construcción y operación.

Dado que el proyecto posee un enfoque educativo y no persigue fines de lucro, el análisis económico se orienta a determinar el costo de implementación de la maqueta y su viabilidad dentro del contexto de un establecimiento técnico-profesional. En este sentido, la evaluación se centra en la inversión necesaria para disponer de un sistema funcional, seguro y pedagógicamente pertinente.

Para el desarrollo de esta evaluación se consideran precios referenciales obtenidos desde proveedores disponibles en el mercado chileno, priorizando componentes compatibles con el diseño técnico definido en el capítulo anterior. Entre los elementos principales ya identificados se encuentran el PLC Siemens LOGO! 12/24 RCE, sensores de nivel capacitivos, relés de interfaz,

fuelle de alimentación para bombas y un computador portátil para programación y monitoreo del sistema.

El alcance de la inversión considera los componentes necesarios para disponer de una maqueta completamente operativa, incluyendo estructura, estanques, sistema hidráulico, tablero de control, dispositivos eléctricos y equipamiento computacional de apoyo. Asimismo, se consideran las horas hombre asociadas al diseño, fabricación, montaje, programación y puesta en servicio del prototipo, las cuales se determinan a partir de la planificación presentada posteriormente. Los costos de mantención y reposición se consideran únicamente cuando corresponda dentro de la evaluación económica de operación del sistema.

3.2 LISTADO DE MATERIALES Y COTIZACIÓN

Para la implementación del prototipo propuesto, se requiere la adquisición de diversos componentes eléctricos, electrónicos, hidráulicos y estructurales.

La selección de estos elementos se realizó considerando criterios de compatibilidad técnica, disponibilidad en el mercado nacional y pertinencia con los objetivos pedagógicos del sistema.

A continuación, se presenta el listado de materiales necesarios para la construcción de la maqueta, junto con una estimación de costos basada en precios reales obtenidos de proveedores disponibles en Chile.

Tabla 3-1. Cubicación de materiales del prototipo

Ítem	Componente	Cantidad	Unidad	Proveedor referencial	Precio unitario (CLP)	Subtotal (CLP)
1	PLC Siemens LOGO! 12/24 RCE	1	un	Dartel	213.038	213.038

2	Fuente de alimentación 24 VDC, 2,5 A, 60 W, montaje DIN (Sinotimer DR-60-24 o equivalente)	1	un	MercadoLibre	26.990	26.990
3	Fuente switching 12V 5A	1	un	Mercado Libre	8.000	8.000
4	Sensor nivel XKC-Y25-V	6	un	MercadoLibre	9.290	55.740
5	Bomba sumergible 12V	2	un	MercadoLibre	9.980	19.960
6	Relé 24VDC + base DIN	2	un	Altronics	5.343	10.686
7	Manguera silicona 6 mm	3	m	Mercado Libre	2.000	6.000
8	Válvula check plástica	2	un	MercadoLibre	13.885	27.770
9	Estanque acrílico cilíndrico 7 L	2	un	Acryl	27.990	55.980
10	Mesa metálica 120×48×80 cm en perfil 50×50×2 mm, con cubierta MDF 15 mm y terminación anticorrosiva.	1	un	Ferretería / DIMAO	200.000	200.000
11	Gabinete Metalico Tablero Electrico 600x400x200 1puerta Ip65	1	un	Mercado Libre	62.990	62.990
12	Interruptor automático 1x20A + N	1	un	Rhona	7.746	7.746
13	Interruptor automático 1X10A	2	un	Rhona	4.866	9.732
14	Repartidor 2 polos 100A	3	un	Rhona	16.311	48.933
15	Bornera gris 2P 2.5mm2	24	un	lmytec	520	12.480
16	Riel DIN tipo omega 35 mm	1	m	Dartel	1.526	1.526
17	Canaleta Ranurada Gris 40x25mm 2mts	1	un	Heys Electric	4.380	4.380
18	Conductores 2,5 mm ² azul	5	m	Sodimac	490	2.450
19	Conductores 2,5 mm ² blanco	5	m	Sodimac	490	2.450

20	Conductores 2,5 mm ² verde	5	m	Sodimac	490	2.450
21	Conductores 1,5 mm ² rojo	10	m	Sodimac	310	3.100
22	Conductores 1,5 mm ² negro	10	m	Sodimac	310	3.100
23	Selector 2 posiciones 1NA	2	un	Rhona	5.656	11.312
24	Botonera Hongo 1NC	1	un	Rhona	7.183	7.183
25	Notebook DELL CORE i5 8gb de ram ssd de 256GB	1	un	Falabella	299.990	299.990

Total (CLP)	1.103.986
--------------------	------------------

Fuente: Elaboración propia

A partir de la cubicación presentada, se observa que los costos del prototipo se concentran principalmente en cuatro áreas: sistema de control, sistema estructural, sistema hidráulico y soporte computacional.

El sistema de control, compuesto por el PLC, la fuente de alimentación, relés, sensores y elementos de protección representa una parte significativa de la inversión, debido a la utilización de equipos industriales que permiten replicar condiciones reales de automatización.

Para la implementación física del prototipo se utiliza una fuente Siemens PM1207 de 24 VDC disponible previamente en el establecimiento. Sin embargo, para efectos de evaluación económica se considera una fuente de alimentación alternativa de 24 VDC y 2,5 A, con montaje en riel DIN, cuyo costo referencial es de \$26.990. Esta alternativa cumple con los requerimientos eléctricos básicos del circuito de control y permite disminuir significativamente el costo de replicación del prototipo.

Por otra parte, la estructura metálica y la base de montaje consideran tanto los materiales como la mano de obra necesaria para su fabricación, lo que asegura la estabilidad y durabilidad del prototipo.

El sistema hidráulico, conformado por bombas, mangueras y válvulas, presenta un costo relativamente bajo en comparación con el sistema de control, pero es fundamental para la representación del proceso físico.

Finalmente, la incorporación de un computador portátil permite la programación y monitoreo del sistema, constituyendo un elemento clave desde el punto de vista pedagógico.

3.3 PLANIFICACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Con el propósito de organizar de manera sistemática las actividades necesarias para el desarrollo e implementación de la maqueta didáctica, se elaboró una Carta Gantt que considera las distintas etapas asociadas al diseño de ingeniería, adquisición de materiales, fabricación, montaje, programación y puesta en servicio del prototipo.

La planificación contempla tanto actividades de carácter técnico como de ingeniería, permitiendo establecer una secuencia lógica de ejecución y definir los recursos humanos requeridos en cada etapa. Para ello, se incorporan actividades correspondientes al diseño general del prototipo, elaboración de diagramas eléctricos, de control y P&ID, desarrollo y simulación del programa del PLC, cubicación y adquisición de materiales, fabricación de la estructura física e implementación de los sistemas eléctrico e hidráulico.

Posteriormente, se consideran las etapas de montaje del tablero y sus componentes, cableado de sensores, dispositivos de mando y bombas, configuración del programa del PLC, verificación de entradas y salidas, pruebas hidráulicas, comprobación de los modos de operación y puesta en servicio del sistema.

La planificación considera un período total estimado de 25 días hábiles. Dentro de este período, la cubicación y adquisición de materiales se desarrolla durante diez días hábiles, equivalente aproximadamente a dos semanas de trabajo, debido a los tiempos asociados a cotización, disponibilidad, compra, despacho y recepción de los componentes.

Además de la duración de cada actividad, la Carta Gantt identifica el perfil responsable de su ejecución y las horas hombre (HH) asociadas a labores de ingeniería y trabajo técnico. Esta información permite vincular directamente la planificación temporal del proyecto con la posterior estimación de los costos de mano de obra.

3.3.1 Carta Gantt de implementación

A continuación, se presenta la Carta Gantt correspondiente a la planificación de las actividades necesarias para la implementación del prototipo. En ella se identifican los períodos de ejecución, las actividades que pueden desarrollarse de manera paralela, el perfil responsable y las horas hombre estimadas para cada etapa.

Tabla 3-2. Carta Gantt de implementación del proyecto.

N	Actividad	Días hábiles																								Responsable	HH Ing	HH Téc
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
1	Diseño de ingeniería general del prototipo																									Ingeniero	10	0
2	Diagramas eléctricos, control PLC																									Ingeniero	10	0
3	Diseño y simulación del programa PLC																									Ingeniero	8	0
4	Selección y adquisición de materiales																									Ing./Téc.	4	6
5	Preparación y verificación de materiales																									Ing./Téc.	2	4
6	Corte de perfiles metálicos																									Técnico	0	10
7	Soldadura de estructuras metálicas																									Técnico	0	8
8	Preparación y corte de MDF																									Técnico	0	6
9	Prueba anticorrosiva y ventilaciones																									Técnico	0	6
10	Montaje de base MDF																									Técnico	0	4
11	Instalación de enragues y sistema hidráulico																									Técnico	0	6
12	Pelotaciones y fijaciones																									Técnico	0	4
13	Montaje de robot, PLC, fuentes, protecciones y cables																									Ing./Téc.	2	10
14	Calibrado de sensores, mandos y bombas																									Ing./Téc.	2	10
15	Carga y configuración del programa PLC																									Ingeniero	4	0
16	Verificación de entradas, salidas y sensores																									Ing./Téc.	4	4
17	Pruebas hidráulicas y verificación de fugas																									Técnico	0	4
18	Pruebas de operación manual, automática y seguridad																									Ing./Téc.	4	4
19	Correcciones finales y puesta en servicio																									Ing./Téc.	4	2
TOTAL																											54	88

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Análisis de la planificación

A partir de la Carta Gantt elaborada, se establece un período estimado de 25 días hábiles para el desarrollo e implementación del prototipo. Este plazo considera actividades ejecutadas tanto de manera secuencial como paralela, permitiendo organizar el proceso desde las etapas iniciales de diseño de ingeniería hasta las pruebas finales y puesta en servicio del sistema.

Durante los primeros días se desarrollan las actividades asociadas al diseño general del prototipo, elaboración de diagramas eléctricos, de control y P&ID, además del desarrollo y simulación del programa del PLC. Paralelamente, se realiza la cubicación y adquisición de materiales, actividad para la cual se considera un período de diez días hábiles debido a los tiempos asociados a cotización, disponibilidad de productos, compra, despacho y recepción de los componentes.

Una vez disponibles los materiales principales, se continúa con la fabricación de la estructura metálica, preparación de la base de MDF, instalación de los estanques y montaje del sistema hidráulico. Posteriormente, se ejecuta el montaje del tablero de control, instalación de los dispositivos eléctricos, cableado de sensores, elementos de mando y bombas.

Las etapas finales corresponden a la carga y configuración del programa en el PLC, verificación de las señales de entrada y salida, comprobación del funcionamiento de los sensores, pruebas hidráulicas y validación de los modos de operación manual y automático. Finalmente, se consideran las correcciones necesarias y la puesta en servicio del prototipo.

La planificación también permite determinar las horas hombre requeridas para cada perfil participante. De acuerdo con las actividades definidas, se estiman 54 HH correspondientes a labores de ingeniería y 96 HH asociadas a labores técnicas, obteniendo un total de 150 HH para el desarrollo completo del proyecto.

Es importante señalar que la duración temporal asignada a una actividad no corresponde necesariamente a una dedicación continua durante toda su extensión. Por ejemplo, la adquisición de materiales posee una duración de diez días hábiles debido principalmente a tiempos de cotización, compra, despacho y recepción, sin que ello implique una dedicación permanente de

personal durante dicho período. Por esta razón, las horas hombre fueron asignadas en función del tiempo efectivo estimado de trabajo requerido para cada actividad.

De esta manera, la Carta Gantt no solo permite ordenar temporalmente las etapas de implementación, sino que también constituye la base para determinar los recursos humanos necesarios y establecer posteriormente el costo asociado a la mano de obra del proyecto.

3.3.3 Estimación de horas hombre

A partir de las actividades y responsabilidades definidas en la Carta Gantt, se realizó una estimación de las horas hombre requeridas para la implementación del prototipo. Para este análisis se diferenciaron las labores asociadas al perfil de ingeniería de aquellas correspondientes al trabajo técnico, permitiendo representar de manera más precisa la participación de cada especialidad durante las distintas etapas del proyecto.

Las actividades de ingeniería consideran principalmente el diseño general del sistema, elaboración de diagramas eléctricos y de control, desarrollo y simulación del programa del PLC, configuración, verificación funcional y apoyo durante la puesta en servicio. Por otra parte, las labores técnicas comprenden principalmente la fabricación de la estructura, preparación de la base, montaje hidráulico, instalación del tablero, cableado, fijaciones y apoyo durante las pruebas del sistema.

De acuerdo con la planificación establecida, se estiman 54 HH para labores de ingeniería y 96 HH para labores técnicas, obteniendo un total de 150 HH requeridas para la implementación completa del prototipo.

Tabla 3-3. Estimación de horas hombre y costo de mano de obra.

Perfil profesional	Horas hombre (HH)	Valor hora estimado (CLP)	Costo total (CLP)
Ingeniero	54	10.000	540.000
Técnico	96	6.000	576.000
Total	150		1.116.000

Fuente: Elaboración propia

Para la valorización de las horas hombre se utilizaron valores referenciales diferenciados según el perfil y nivel de responsabilidad involucrado. Como antecedente de mercado, durante 2026 se reporta en Chile una remuneración promedio mensual aproximada de \$1.159.673 para un ingeniero eléctrico y de \$727.759 para un técnico eléctrico.

Considerando la jornada ordinaria de 42 horas semanales vigente desde abril de 2026, estas remuneraciones equivalen aproximadamente a \$6.372 por hora para el perfil de ingeniería y \$3.999 por hora para el perfil técnico. Para efectos de la evaluación del proyecto se adoptaron valores de \$10.000/h para ingeniería y \$6.000/h para labores técnicas, incorporando no solo la remuneración base referencial, sino también el mayor nivel de especialización, responsabilidad y dedicación asociado a la ejecución de trabajos específicos de diseño, programación, montaje y puesta en servicio.

A partir de estos valores, el costo total estimado de mano de obra asciende a \$1.116.000, monto que será incorporado posteriormente en la determinación del costo total de implementación del proyecto.

Hay una cosa que me gusta especialmente de esta versión: el valor de \$6.000/h del técnico coincide además con la anotación que dejó tu profesor, mientras que ahora diferenciamos correctamente al ingeniero en vez de asignar el mismo valor hora a todos.

3.4 PRESUPUESTO TOTAL Y ANÁLISIS DE COSTOS

Para determinar el costo de implementación del prototipo, se consideran los recursos materiales definidos en la cubicación presentada previamente y el costo de mano de obra obtenido a partir de las horas hombre establecidas en la planificación del proyecto.

El costo de los materiales necesarios para la construcción de la maqueta asciende a \$1.103.986, valor que contempla los componentes eléctricos, electrónicos, hidráulicos, estructurales y computacionales requeridos para disponer de un sistema completamente operativo.

Por otra parte, a partir de la Carta Gantt y de la distribución de horas hombre por perfil profesional, se determinó un costo estimado de \$1.116.000 asociado a mano de obra. Este valor considera las actividades de diseño de ingeniería, programación, fabricación, montaje, instalación, pruebas y puesta en servicio del prototipo.

De esta manera, el costo base de implementación corresponde a la suma de los materiales y la mano de obra requerida para ejecutar el proyecto.

Tabla 3-4. Costo base de implementación del proyecto

Concepto	Costo estimado (CLP)
Materiales	1.103.986
Mano de obra de ingeniería	540.000
Mano de obra técnica	576.000
Costo total de mano de obra	1.116.000
Costo base de implementación	2.219.986

Fuente: Elaboración propia

El costo base estimado de \$2.219.986 representa el valor necesario para implementar el prototipo considerando la adquisición de todos los materiales indicados en la cubicación y la valorización completa de las horas hombre requeridas para su desarrollo.

Esta estimación corresponde a un escenario de implementación en el cual se valorizan íntegramente los recursos necesarios, independientemente de la disponibilidad de componentes existentes en el establecimiento o de posibles colaboraciones externas. De esta forma, se establece una referencia económica que permite posteriormente analizar alternativas de reducción de costos y evaluar la factibilidad de replicar el proyecto en otros establecimientos técnico-profesionales.

3.4.1 Consideración de imprevistos e impuestos

Los valores unitarios utilizados en la cubicación de materiales corresponden a precios finales de venta obtenidos de proveedores disponibles en el mercado nacional. En consecuencia,

dichos valores ya consideran los impuestos asociados a la adquisición de los productos, por lo que no se incorpora nuevamente el Impuesto al Valor Agregado (IVA) dentro del cálculo del presupuesto, evitando una duplicidad en la estimación.

Con el propósito de considerar posibles variaciones de precio, adquisición de accesorios menores, reposición de materiales, ajustes durante el montaje u otras situaciones no previstas inicialmente, se incorpora un porcentaje de 15% por concepto de imprevistos sobre el costo base de implementación.

El costo base del proyecto, correspondiente a materiales y mano de obra, asciende a \$2.219.986. Aplicando un 15% destinado a imprevistos, se obtiene un monto adicional estimado de \$332.998.

Tabla 3-5. Costo total estimado de implementación del proyecto

Concepto	Monto (CLP)
Materiales	1.103.986
Mano de obra	1.116.000
Costo base	2.219.986
Imprevistos (15%)	332.998
Costo total estimado	2.552.984

Fuente: Elaboración propia

El costo total estimado para una implementación completa del prototipo corresponde, por lo tanto, a \$2.552.984. Este valor representa un escenario en el cual se considera la adquisición de todos los materiales indicados en la cubicación, la valorización total de las horas hombre requeridas y un margen destinado a cubrir posibles contingencias durante la ejecución del proyecto.

El porcentaje asociado a imprevistos constituye una reserva presupuestaria y no necesariamente un gasto que deba ejecutarse en su totalidad. Su incorporación permite disponer de una estimación económica más conservadora frente a eventuales variaciones durante la implementación.

3.4.2 Análisis de costos

A partir del presupuesto desarrollado, se observa que el costo de implementación del prototipo se distribuye principalmente entre la adquisición de materiales y la valorización de la mano de obra necesaria para su diseño, fabricación, montaje, programación y puesta en servicio.

El costo total correspondiente a materiales asciende a \$1.103.986, mientras que la mano de obra asociada a las actividades de ingeniería y trabajo técnico alcanza un valor estimado de \$1.116.000. De esta manera, el costo base de implementación del proyecto corresponde a \$2.219.986.

Dentro de la cubicación de materiales, los componentes de mayor incidencia económica corresponden a los siguientes:

- Notebook Dell Core i5: \$299.990.
- PLC Siemens LOGO! 12/24 RCE: \$213.038.
- Estructura metálica con cubierta de MDF: \$200.000.
- Gabinete metálico para tablero eléctrico: \$62.990.

Estos cuatro elementos concentran una parte importante del costo de materiales debido a que corresponden al equipamiento necesario para la programación, control, soporte estructural y protección física de los componentes eléctricos del prototipo.

Por otra parte, la selección de una fuente de alimentación alternativa de 24 VDC y 2,5 A, con un valor referencial de \$26.990, permitió disminuir significativamente el costo asociado al sistema de alimentación del circuito de control. Esta decisión demuestra que es posible mantener los requerimientos funcionales básicos del prototipo mediante componentes técnicamente adecuados de menor costo, sin que sea necesario utilizar exclusivamente el modelo Siemens PM1207 disponible en el establecimiento.

Los elementos de menor costo individual, tales como conductores, borneras, canaletas, dispositivos de mando y accesorios de montaje, representan una incidencia económica reducida dentro del presupuesto; sin embargo, resultan indispensables para asegurar la correcta integración eléctrica, mecánica e hidráulica del sistema.

Al incorporar un margen de 15% destinado a imprevistos, equivalente a \$332.998, el costo total estimado de implementación del proyecto asciende a \$2.552.984. Este valor representa un escenario de referencia en el cual se considera la adquisición y valorización completa de los recursos necesarios para disponer de una maqueta completamente operativa.

El análisis permite identificar que la inversión se concentra principalmente en el equipamiento de control, soporte computacional, estructura física y mano de obra especializada. A partir de estos antecedentes, es posible posteriormente evaluar alternativas destinadas a disminuir el desembolso efectivo requerido para la implementación del proyecto.

3.4.3 Optimización de costos

Si bien el presupuesto desarrollado representa el costo estimado para una implementación completa del prototipo, existen alternativas que permiten disminuir el desembolso efectivo requerido cuando el proyecto se ejecuta dentro de un establecimiento técnico-profesional que dispone previamente de equipamiento y recursos asociados a la especialidad.

Una primera estrategia de optimización corresponde a la selección de componentes técnicamente adecuados de menor costo. Un ejemplo de ello es la fuente de alimentación del circuito de control. Para la implementación física del prototipo se utiliza una fuente Siemens PM1207 de 24 VDC disponible previamente en el establecimiento; sin embargo, para efectos de cubicación se consideró una fuente alternativa de 24 VDC, 2,5 A y 60 W con montaje en riel DIN, cuyo valor referencial es considerablemente menor. Esta alternativa permite cumplir con los requerimientos eléctricos del sistema sin condicionar la replicación del prototipo a la adquisición del modelo Siemens utilizado originalmente.

Asimismo, el establecimiento dispone de determinados recursos que podrían ser reutilizados para futuras implementaciones, tales como PLC Siemens LOGO!, fuentes de alimentación, computadores destinados a programación, instrumentos de medición y herramientas de montaje. La disponibilidad de estos elementos permite reducir el costo asociado a la adquisición de equipamiento nuevo.

Otra alternativa de optimización corresponde al aprovechamiento de la infraestructura computacional existente. En aquellos establecimientos que dispongan de computadores compatibles con el software de programación utilizado, el notebook considerado en la cubicación puede ser excluido del desembolso efectivo, manteniéndose únicamente como referencia dentro del costo de replicación completa del proyecto.

De manera similar, la posible colaboración del Departamento de Medio Ambiente, Aseo y Ornato (DIMA) de la municipalidad para la fabricación de la estructura metálica constituye una alternativa concreta para disminuir los costos asociados a esta etapa. No obstante, el valor correspondiente a la estructura se mantiene dentro del presupuesto general con el propósito de representar un escenario de implementación independiente de apoyos externos.

A partir de estas consideraciones, es posible distinguir entre el costo de replicación completa del prototipo, que contempla la adquisición y valorización de todos los recursos necesarios, y el costo efectivo de implementación, el cual puede disminuir dependiendo del equipamiento, infraestructura y apoyos disponibles en cada establecimiento.

Esta diferenciación permite evaluar la propuesta bajo distintos contextos de implementación y evidencia que la reutilización de recursos existentes, junto con la selección de alternativas técnicamente adecuadas, puede mejorar significativamente la accesibilidad económica y la replicabilidad del prototipo en establecimientos de educación técnico-profesional.

3.4.4 Relación costo-beneficio

La relación costo-beneficio del proyecto debe analizarse considerando tanto la inversión necesaria para implementar el prototipo como los beneficios técnicos y pedagógicos asociados a su utilización dentro de la formación técnico-profesional.

Desde el punto de vista educativo, la maqueta permite desarrollar actividades prácticas relacionadas con automatización industrial, programación de PLC, instrumentación, electricidad industrial y control de procesos. De esta manera, un mismo recurso puede ser utilizado para abordar diferentes contenidos y actividades de aprendizaje, aumentando su aprovechamiento dentro del proceso formativo.

Otro aspecto relevante corresponde a su carácter reutilizable. A diferencia de una actividad práctica diseñada para una única ejecución, el prototipo puede ser utilizado durante distintos períodos académicos y por diferentes generaciones de estudiantes, permitiendo distribuir la inversión inicial a lo largo de su vida útil.

Asimismo, la estructura modular del sistema posibilita modificar la programación, incorporar nuevas secuencias de control y utilizar las entradas disponibles para desarrollar actividades de diferente nivel de complejidad. Esta característica aumenta las posibilidades pedagógicas de la maqueta sin requerir necesariamente modificaciones importantes en su estructura física.

Desde el punto de vista económico, el costo de implementación puede disminuir cuando el establecimiento dispone previamente de equipamiento compatible, herramientas, computadores u otros recursos reutilizables. Del mismo modo, la selección de componentes técnicamente adecuados de menor costo y la colaboración con entidades externas pueden reducir el desembolso efectivo requerido.

Por lo tanto, el beneficio del proyecto no se limita exclusivamente a un retorno monetario directo, sino que también se relaciona con la disponibilidad de un recurso didáctico reutilizable, adaptable y orientado al desarrollo de competencias prácticas en automatización industrial.

La cuantificación de los beneficios económicos y la evaluación de la inversión mediante indicadores financieros se desarrolla posteriormente en la sección de evaluación económica del proyecto.

3.4.5 Factibilidad de implementación

A partir del análisis técnico, económico y de planificación desarrollado, se considera que la implementación del prototipo es técnicamente viable dentro de un establecimiento de educación técnico-profesional, siempre que se disponga de las condiciones mínimas de infraestructura, alimentación eléctrica y supervisión necesarias para su operación.

Desde el punto de vista técnico, el sistema utiliza tecnologías y componentes disponibles en el mercado nacional, tales como PLC Siemens LOGO!, sensores capacitivos de nivel, relés de

interfaz, fuentes de alimentación en corriente continua y bombas eléctricas de baja tensión. Esta disponibilidad facilita tanto la construcción inicial del prototipo como la eventual reposición de componentes durante su vida útil.

La arquitectura propuesta utiliza además niveles de tensión adecuados para una maqueta didáctica, diferenciando la alimentación del circuito de control de 24 VDC y la alimentación de 12 VDC destinada a las bombas. Esta configuración permite desarrollar actividades de automatización manteniendo separados los distintos subsistemas que conforman el prototipo.

Otro factor favorable corresponde a la posibilidad de ejecutar el proyecto de manera progresiva. La planificación desarrollada mediante Carta Gantt permite organizar las actividades de diseño, adquisición de materiales, fabricación, montaje, programación y pruebas, distribuyendo los recursos humanos y técnicos requeridos durante el proceso de implementación.

Desde el punto de vista de infraestructura, el prototipo puede instalarse en un laboratorio o taller de electricidad que disponga de un espacio de trabajo adecuado, alimentación eléctrica y acceso a un computador compatible con el software de programación del PLC. La disponibilidad previa de herramientas, instrumentos de medición y equipamiento de automatización puede facilitar adicionalmente su implementación.

En el caso particular del establecimiento considerado en el proyecto, existe además la posibilidad de colaboración con el Departamento de Medio Ambiente, Aseo y Ornato (DIMAO) de la municipalidad para apoyar la fabricación de la estructura metálica. Esta colaboración constituye una alternativa para reducir recursos asociados a dicha etapa; sin embargo, no corresponde a una condición indispensable para la replicación del prototipo, debido a que la fabricación de la estructura se encuentra igualmente considerada dentro del presupuesto general.

En consecuencia, la factibilidad de implementación se sustenta en la disponibilidad de los componentes requeridos, la utilización de tecnologías conocidas dentro de la especialidad, la posibilidad de reutilizar recursos existentes y una planificación que contempla las distintas etapas necesarias para disponer de una maqueta funcional y operativa.

3.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Debido a que el proyecto posee un carácter educativo y no está orientado a la generación directa de ingresos, su evaluación económica se desarrolla mediante un enfoque comparativo de costos. El objetivo es determinar si la implementación del prototipo constituye una alternativa económicamente conveniente frente a la adquisición de equipamiento didáctico comercial destinado al desarrollo de actividades similares de automatización industrial.

Para este análisis se considera como referencia la implementación de una estación de trabajo didáctica, permitiendo establecer una comparación directa entre el costo estimado de construcción del prototipo desarrollado y el costo de adquisición de una solución comercial de características y propósito pedagógico comparable.

Este enfoque permite evitar la utilización de beneficios monetarios anuales supuestos que no corresponden a ingresos directamente generados por el proyecto. En su lugar, el beneficio económico se interpreta principalmente como el costo de inversión evitado al desarrollar una solución propia en comparación con la adquisición de equipamiento didáctico disponible comercialmente.

La evaluación considera además las características técnicas y pedagógicas de ambas alternativas, debido a que una comparación basada exclusivamente en el valor monetario no permite representar completamente las diferencias existentes en funcionalidad, capacidad de programación, reutilización y posibilidades de adaptación a las necesidades del establecimiento.

A partir de estos antecedentes, se establecerá una alternativa comercial de referencia y se comparará su costo de adquisición con el costo estimado de implementación del prototipo propuesto.

3.5.1 Metodología de evaluación económica

La evaluación económica del proyecto se desarrolla mediante una metodología de comparación de alternativas de inversión, considerando como unidad de análisis una estación de trabajo destinada a actividades prácticas de automatización industrial.

La primera alternativa corresponde al prototipo desarrollado en el presente proyecto, cuyo costo de implementación considera los materiales, componentes, estructura, equipamiento, mano de obra e imprevistos definidos previamente. La segunda alternativa corresponde a la adquisición de una estación didáctica comercial destinada a la enseñanza de automatización y programación de PLC, seleccionada como referencia por presentar características funcionales y pedagógicas comparables.

Debido a que ambas alternativas corresponden a recursos destinados a un mismo propósito educativo, la comparación se realiza principalmente a partir del costo necesario para disponer de una estación de trabajo operativa. No se consideran ingresos periódicos derivados de su utilización, debido a que ninguno de los sistemas posee como finalidad generar beneficios monetarios directos.

Para establecer la conveniencia económica de la solución propuesta se consideran los siguientes indicadores:

- Costo de implementación del prototipo desarrollado.
- Costo de adquisición de una estación didáctica comercial de referencia.
- Diferencia absoluta de inversión entre ambas alternativas.
- Reducción porcentual de inversión obtenida mediante el desarrollo del prototipo.
- Características técnicas y posibilidades pedagógicas disponibles en cada alternativa.

La diferencia absoluta de inversión se determina mediante la resta entre el costo de la alternativa comercial y el costo de implementación del prototipo. Por su parte, la reducción porcentual permite expresar qué proporción de la inversión comercial puede evitarse mediante el desarrollo de la solución propuesta.

Además del análisis monetario, se considera una comparación técnica y pedagógica, debido a que el menor costo de una alternativa no constituye por sí solo un indicador suficiente

de conveniencia. Para ello, se analizarán aspectos como el tipo de controlador utilizado, disponibilidad de sensores y actuadores, posibilidad de modificar la programación, representación de un proceso físico, reutilización del equipamiento y posibilidades de adaptación para nuevas actividades educativas.

Esta metodología permite establecer una comparación directa y trazable entre ambas alternativas, evitando atribuir al proyecto ingresos o ahorros anuales que no se generan directamente por su utilización dentro del establecimiento educacional.

3.5.2 Selección de la alternativa comercial de referencia

Para establecer una referencia económica frente a una solución disponible comercialmente, se seleccionó el sistema didáctico Festo EduKit PA Basic, código 549822, complementado con el módulo EduKit PA Advanced, código 564631. Esta combinación se encuentra orientada a la enseñanza de automatización y control de procesos, permitiendo desarrollar actividades relacionadas con montaje, puesta en servicio, medición, control y regulación de variables de proceso.

El módulo EduKit PA Basic incorpora dos estanques transparentes, sistema de tuberías, una bomba de 24 VDC, elementos eléctricos de mando, relé, manómetro y medidor de caudal. Por su parte, EduKit PA Advanced complementa el sistema mediante una interfaz eléctrica de entradas y salidas, sensores capacitivos, sensor ultrasónico, sensor de caudal, sensor de presión y una electroválvula. La interfaz incorporada permite además controlar el sistema mediante un PLC u otro dispositivo compatible.

La utilización conjunta de ambos módulos resulta adecuada como referencia para el presente análisis debido a que, al igual que el prototipo desarrollado, representa físicamente un proceso asociado al manejo de líquidos y permite relacionar sensores, señales de entrada, lógica de control y actuadores dentro de una actividad práctica de automatización.

No obstante, ambas soluciones no corresponden a sistemas técnicamente idénticos. El equipo comercial Festo incorpora instrumentación adicional asociada a variables como presión y caudal, mientras que el prototipo desarrollado en este proyecto se concentra principalmente en

el control de nivel mediante sensores capacitivos, transferencia de agua entre dos estanques y programación mediante PLC Siemens LOGO!. Por esta razón, la comparación se establece a partir de su propósito educativo y funcionalidad general como estación didáctica, y no como una equivalencia exacta entre componentes.

Para determinar un valor económico de referencia se utilizó una lista contractual pública de Festo Didactic, Inc. correspondiente a julio de 2019, en la cual el EduKit PA Basic presenta un valor neto de US\$4.632,85, mientras que el EduKit PA Advanced presenta un valor neto de US\$5.454,35, obteniéndose un valor conjunto de US\$10.087,20.

Debido a que este antecedente corresponde a un valor histórico expresado en dólares estadounidenses y no a una cotización vigente en Chile, su utilización se realiza únicamente con fines comparativos. Para expresar el monto en moneda nacional se utiliza como referencia el dólar observado publicado por el Banco Central de Chile para el 17 de agosto de 2026, correspondiente a \$913,15 por dólar estadounidense.

Aplicando este tipo de cambio, el valor económico referencial del conjunto Festo EduKit PA Basic + Advanced corresponde aproximadamente a \$9.211.127.

Este valor no pretende representar una cotización comercial vigente del fabricante para el mercado chileno, sino establecer una referencia documentada que permita comparar el orden de magnitud de la inversión requerida por una solución didáctica comercial con el costo de implementación del prototipo desarrollado.

3.5.3 Comparación económica de alternativas

A partir de los antecedentes definidos previamente, se realiza una comparación entre el costo estimado de implementación del prototipo desarrollado y el valor económico referencial correspondiente al sistema Festo EduKit PA Basic + Advanced.

El costo total estimado del prototipo desarrollado corresponde a \$2.552.984, considerando materiales, mano de obra e imprevistos. Por otra parte, la alternativa comercial seleccionada como referencia presenta un valor estimado de \$9.211.127, obtenido a partir del

último antecedente económico documentado considerado en el análisis y convertido a moneda nacional.

La diferencia entre ambas alternativas alcanza un valor aproximado de \$6.658.143, lo que representa una reducción de inversión inicial cercana al 72,3% respecto de la alternativa comercial utilizada como referencia.

En términos relativos, la implementación del prototipo desarrollado requiere aproximadamente un 27,7% del valor económico referencial asociado al sistema comercial considerado.

Tabla 3-6. Comparación económica entre prototipo y la alternativa comercial.

Indicador	Prototipo desarrollado	Festo EduKit PA Basic + Advanced
Costo de implementación/adquisición	\$2.552.984	\$9.211.127
Diferencia respecto de alternativa comercial	\$6.658.143 menor	-
Reducción de inversión	72,30%	-
Proporción respecto del valor comercial	27,70%	100%

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, la comparación económica debe complementarse con un análisis de las características técnicas y pedagógicas de ambas alternativas, debido a que los sistemas no presentan una configuración idéntica. La solución comercial Festo incorpora una mayor cantidad y variedad de instrumentos de proceso, mientras que el prototipo desarrollado concentra su funcionamiento en el control de nivel, transferencia de agua y programación mediante PLC Siemens LOGO!.

Tabla 3-7. Comparación técnica y pedagógica de las alternativas

Característica	Prototipo desarrollado	Festo EduKit PA Basic + Advanced
Finalidad educativa	Sí	Sí
Proceso físico con líquidos	Sí	Sí
Cantidad de estanques	2	2
Transferencia mediante bomba	Sí, mediante 2 bombas	Sí
Sensores capacitivos de nivel	6	Sí
Medición de presión	No	Sí
Medición de caudal	No	Sí
Sensor ultrasónico	No	Sí
Control mediante PLC	Siemens LOGO! 8 incorporado	Compatible con PLC/controlador externo
Programación modificable	Sí	Sí
Secuencias manual y automática	Sí	Sí
Posibilidad de ampliación pedagógica	Sí	Sí
Construcción adaptable al establecimiento	Sí	Limitada a configuración comercial

Fuente: Elaboración propia

Los resultados permiten observar que la alternativa comercial presenta una mayor cantidad de variables e instrumentos disponibles para actividades avanzadas de control de procesos. No obstante, el prototipo desarrollado permite abordar los objetivos principales definidos para el proyecto mediante una inversión considerablemente inferior.

Desde una perspectiva educativa, la solución propuesta permite trabajar con un proceso físico real, sensores industriales, actuadores, programación Ladder y estrategias de control manual y automático. Además, su construcción propia facilita la modificación de la estructura, incorporación de nuevos componentes y adaptación de las actividades a las necesidades del establecimiento.

Por lo tanto, la menor inversión requerida no implica necesariamente una sustitución equivalente de todas las prestaciones disponibles en el equipo comercial, sino el desarrollo de una alternativa simplificada y orientada específicamente a los objetivos formativos definidos para el prototipo.

3.5.4 Análisis del costo evitado

A partir de la comparación económica realizada, es posible determinar el costo de inversión evitado asociado al desarrollo del prototipo frente a la adquisición de la alternativa comercial utilizada como referencia.

El sistema Festo EduKit PA Basic + Advanced presenta un valor económico referencial de \$9.211.127, mientras que el costo total estimado de implementación del prototipo desarrollado corresponde a \$2.552.984. De esta manera, la diferencia entre ambas alternativas alcanza aproximadamente \$6.658.143.

Esta diferencia representa una reducción aproximada del 72,3% en la inversión inicial, lo que significa que la implementación del prototipo requiere alrededor del 27,7% del valor económico referencial asociado a la solución comercial considerada.

Es importante señalar que este valor corresponde a un costo de inversión evitado y no a un ahorro anual generado por la operación del sistema. La diferencia económica se produce al momento de optar por desarrollar e implementar una estación didáctica propia en lugar de adquirir la alternativa comercial utilizada como referencia.

Asimismo, el costo evitado no implica que ambas soluciones posean prestaciones técnicas idénticas. El sistema comercial incorpora una mayor diversidad de instrumentos y variables de proceso, mientras que el prototipo desarrollado fue diseñado específicamente para trabajar contenidos asociados al control de nivel, transferencia de líquidos, programación de PLC y análisis de señales digitales.

No obstante, la solución propuesta permite cumplir con los objetivos técnicos y pedagógicos definidos para el proyecto mediante una inversión considerablemente menor. Además, su diseño permite realizar modificaciones, incorporar nuevos dispositivos y desarrollar futuras actividades prácticas sin depender exclusivamente de una configuración comercial predeterminada.

Desde esta perspectiva, el desarrollo del prototipo representa una alternativa económicamente favorable para establecimientos técnico-profesionales que requieran

implementar experiencias prácticas de automatización industrial y que no dispongan de los recursos necesarios para adquirir equipamiento didáctico comercial de mayor costo.

El resultado obtenido evidencia que la principal ventaja económica del proyecto se encuentra en la reducción de la inversión inicial necesaria para disponer de una estación de trabajo funcional, reutilizable y adaptable a las necesidades pedagógicas del establecimiento.

3.5.5 Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos permiten establecer que el desarrollo del prototipo constituye una alternativa económicamente favorable para implementar una estación didáctica orientada a la enseñanza de automatización industrial, dentro del alcance técnico y pedagógico definido para el proyecto.

La comparación realizada evidencia una diferencia importante entre el costo estimado de implementación del prototipo y el valor económico referencial de la alternativa comercial seleccionada. Esta diferencia se explica principalmente por el desarrollo de una solución diseñada específicamente para los requerimientos del establecimiento, utilizando una arquitectura simplificada y componentes seleccionados de acuerdo con las funciones necesarias para las actividades propuestas.

Sin embargo, la diferencia económica no debe interpretarse como una equivalencia completa entre ambos sistemas. La alternativa comercial Festo incorpora una mayor cantidad de instrumentos, variables de proceso y posibilidades de experimentación, mientras que el prototipo desarrollado se concentra en el control de nivel, transferencia de líquidos, supervisión mediante sensores digitales y programación de PLC.

Por lo tanto, la conveniencia económica de la propuesta se encuentra asociada principalmente a su capacidad para satisfacer los objetivos planteados mediante una inversión inferior, manteniendo al mismo tiempo características relevantes para la formación técnico-profesional, tales como la utilización de un PLC industrial, sensores, actuadores y un proceso físico observable.

Adicionalmente, la posibilidad de reutilizar equipamiento existente en el establecimiento, emplear componentes alternativos técnicamente adecuados y recurrir a colaboraciones institucionales puede reducir aún más el desembolso efectivo requerido para su implementación. Estas condiciones no se incorporan al valor de referencia utilizado en la comparación, debido a que el presupuesto desarrollado considera un escenario de implementación completa.

La metodología utilizada no pretende determinar rentabilidad financiera mediante ingresos periódicos, VAN, TIR o períodos de recuperación, debido a que el proyecto no genera flujos monetarios directos durante su utilización. En consecuencia, la evaluación económica se concentra en la inversión inicial requerida y en el costo evitado frente a una alternativa comercial de propósito pedagógico comparable.

En términos generales, los resultados respaldan la viabilidad económica de la propuesta dentro de su alcance, permitiendo disponer de una herramienta didáctica reutilizable y adaptable mediante una inversión considerablemente menor que la alternativa comercial considerada como referencia.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente proyecto permitió diseñar una maqueta educativa orientada a fortalecer la enseñanza práctica de automatización industrial en la especialidad de Electricidad, mediante la integración de un PLC Siemens LOGO!, sensores de nivel, actuadores y un proceso físico de transferencia de agua entre dos estanques. La propuesta busca acercar a los estudiantes a tecnologías y estrategias de control utilizadas en entornos industriales, mediante una solución adaptada a las condiciones y necesidades de un establecimiento de educación técnico-profesional.

Desde el punto de vista técnico, se desarrolló una arquitectura que integra los subsistemas eléctrico, electrónico, hidráulico y de control necesarios para representar un proceso automatizado. El sistema permite ejecutar transferencias de agua en ambos sentidos mediante dos bombas, supervisando las condiciones de nivel de los estanques a través de sensores capacitivos conectados al PLC. Asimismo, se incorporaron modos de operación manual y automático, manteniendo condiciones de seguridad destinadas a evitar el funcionamiento de las bombas con un nivel insuficiente de agua o el rebalse del estanque receptor.

El diseño fue complementado mediante diagramas eléctricos, hidráulicos, P&ID, diagramas de flujo y programación en lenguaje Ladder, permitiendo documentar de manera estructurada la relación existente entre los elementos físicos y la estrategia de control. La utilización de dos niveles de alimentación, 24 VDC para el sistema de control y 12 VDC para las bombas, junto con el empleo de relés intermedios, permite diferenciar funcionalmente los distintos subsistemas que conforman el prototipo.

Desde una perspectiva pedagógica, la propuesta no se limita a representar una secuencia automática predeterminada, sino que permite modificar la programación y desarrollar nuevas actividades utilizando las entradas y salidas disponibles. En particular, los sensores correspondientes al nivel medio se mantienen conectados como recursos adicionales para futuras experiencias de programación y ampliación de las estrategias de control. Además, se desarrolló una guía pedagógica que incorpora objetivos, recursos, procedimientos de trabajo, actividades

de análisis, registro de resultados y criterios de evaluación, fortaleciendo la utilización del prototipo como herramienta didáctica.

La planificación de implementación permitió establecer una duración estimada de 25 días hábiles, considerando actividades de diseño de ingeniería, adquisición de materiales, fabricación, montaje, programación, pruebas y puesta en servicio. A partir de esta planificación se estimaron 54 horas hombre asociadas a labores de ingeniería y 96 horas hombre correspondientes a labores técnicas, obteniendo un total de 150 HH para el desarrollo completo del proyecto. Esta distribución permitió vincular directamente la planificación de actividades con la estimación de los recursos humanos y económicos necesarios para su implementación.

En términos económicos, el costo total estimado para una implementación completa del prototipo corresponde a \$2.552.984, considerando materiales, mano de obra y un margen destinado a imprevistos. Este valor representa un escenario de referencia en el cual se valorizan los recursos necesarios independientemente de la disponibilidad de equipamiento existente o de posibles colaboraciones externas. No obstante, el desembolso efectivo puede disminuir cuando el establecimiento dispone previamente de PLC, computadores, fuentes de alimentación, herramientas u otros recursos reutilizables.

Para evaluar económicamente la propuesta se utilizó como referencia comercial el sistema didáctico Festo EduKit PA Basic + Advanced, cuyo valor económico referencial fue estimado en \$9.211.127. La comparación permitió determinar una diferencia aproximada de \$6.658.143, equivalente a una reducción cercana al 72,3% de la inversión inicial respecto de la alternativa comercial considerada. Este resultado se interpreta como un costo de inversión evitado y no como un ahorro anual generado por la operación del prototipo.

La comparación realizada no pretende establecer una equivalencia completa entre ambas soluciones, debido a que el sistema comercial incorpora una mayor diversidad de instrumentos y variables de proceso. Sin embargo, el prototipo desarrollado permite abordar los objetivos técnicos y pedagógicos definidos para el proyecto mediante una inversión considerablemente inferior, manteniendo características relevantes como la utilización de un PLC industrial, sensores, actuadores, programación modificable y representación física de un proceso automatizado.

En consecuencia, se concluye que la propuesta presenta condiciones favorables de viabilidad técnica, pedagógica y económica dentro del alcance establecido. Su carácter modular, reutilizable y adaptable permite proyectar futuras ampliaciones mediante la incorporación de nuevas estrategias de programación, dispositivos de instrumentación y actividades prácticas, contribuyendo al desarrollo de competencias relacionadas con automatización y control industrial en estudiantes de educación media técnico-profesional.

también se posiciona como una alternativa eficiente para optimizar recursos institucionales, permitiendo a establecimientos técnico-profesionales acceder a herramientas de aprendizaje práctico sin incurrir en altos costos.

Finalmente, se concluye que el proyecto constituye una solución pertinente, viable y replicable, capaz de ser implementada en distintos contextos educativos, contribuyendo al fortalecimiento de la formación técnica y al desarrollo de competencias.

BIBLIOGRAFIA

- Siemens AG. (2023). *LOGO! Logic Module Manual*. Recuperado de: <https://support.industry.siemens.com>
- Ministerio de Educación de Chile. (2013). *Bases curriculares de la formación técnico-profesional*. Santiago, Chile.
- Schneider Electric. (2022). *Manual de automatización industrial*. Recuperado de: <https://www.se.com>
- Rockwell Automation. (2022). *Fundamentals of industrial automation*. Recuperado de: <https://www.rockwellautomation.com>
- SENCE. (2021). *Introducción a la automatización industrial*. Chile.
- Mercado Libre Chile. (2026). Consulta de precios de componentes eléctricos. Recuperado de: <https://www.mercadolibre.cl>
- Sodimac. (2026). Catálogo de materiales de construcción y ferretería. Recuperado de: <https://www.sodimac.cl>
- Easy Chile. (2026). Catálogo de productos eléctricos y estructurales. Recuperado de: <https://www.easy.cl>
- RS Components. (2026). Componentes electrónicos e industriales. Recuperado de: <https://cl.rs-online.com>

ANEXOS

Anexo A: Aprendizajes esperados y criterios de evaluación entregados por MINEDUC

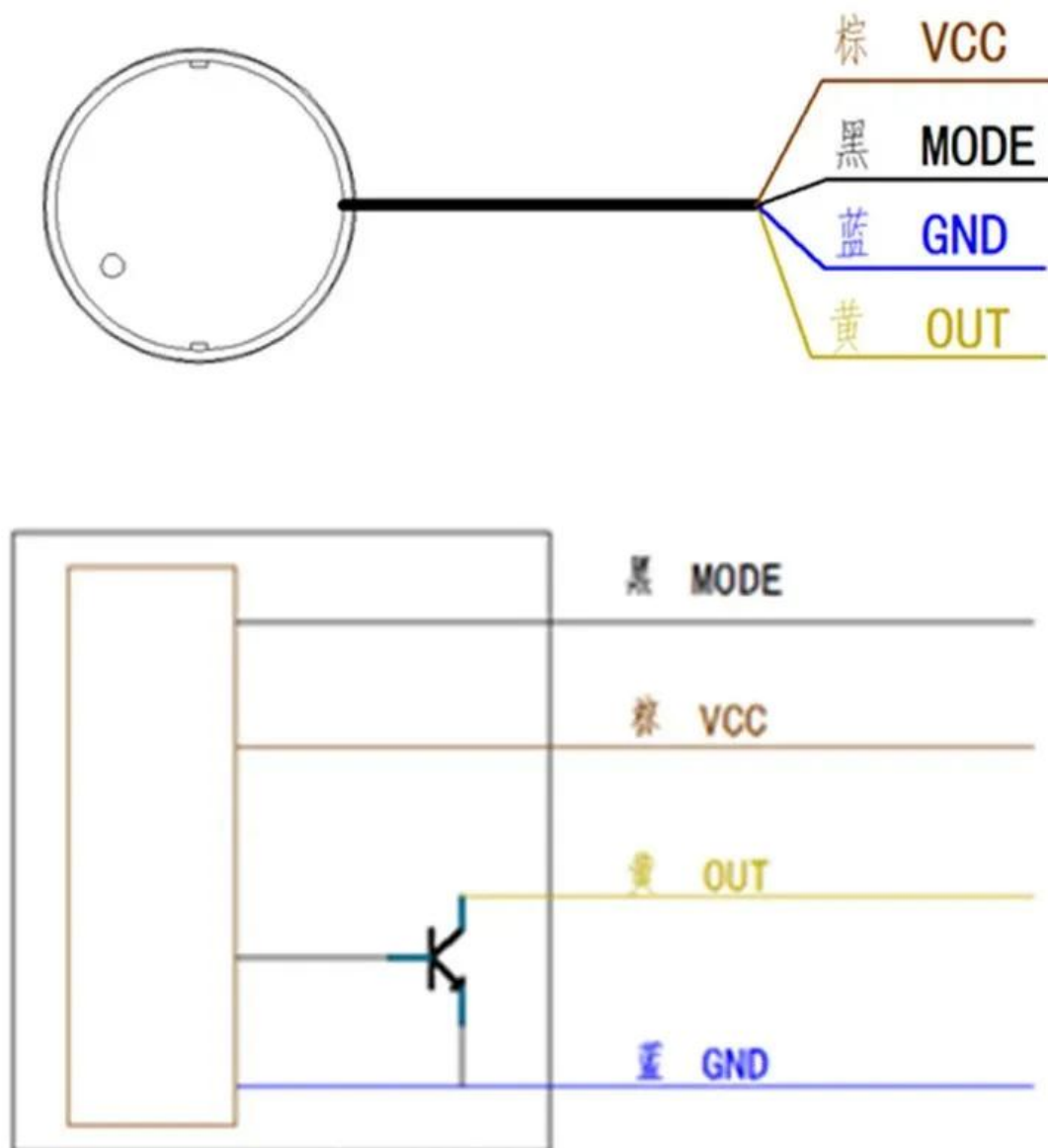
APRENDIZAJES ESPERADOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN		
MÓDULO 8 · AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES	152 HORAS	CUARTO MEDIO
OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ESPECIALIDAD		
OA 8 Modificar programas y parámetros en equipos y sistemas eléctricos y electrónicos utilizados en control de procesos, según los requerimientos operacionales del equipo o la planta y la normativa eléctrica vigente.		
8.		
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS
1. Maneja y ajusta los parámetros en los equipos y los sistemas eléctricos y electrónicos utilizados en el control de procesos, según los requerimientos operacionales del equipo o planta y la normativa eléctrica vigente.	1.1 Examina documentación técnica, manuales de ajuste y puesta a punto de equipos, sistemas eléctricos y electrónicos para determinar los requerimientos de corrección o mejora de un proceso productivo.	B
	1.2 Adapta los parámetros en los paneles de control de los equipos eléctricos electrónicos utilizados para el control de procesos de sistemas eléctricos, de acuerdo a las especificaciones técnicas.	B
	1.3 Mide, verifica y ajusta parámetros eléctricos en equipos y dispositivos utilizados en control de procesos, haciendo uso de instrumentos y considerando las especificaciones técnicas y los manuales de funcionamiento.	B
	1.4 Ajusta y regula los mecanismos de funcionamiento y control asociados a máquinas y equipos eléctricos, de acuerdo a las especificaciones técnicas.	B
Programa de Estudio 3° y 4° medio Especialidad ELECTRICIDAD 115		

APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS
	1.5 Modifica los circuitos eléctricos, según los requerimientos operacionales del equipo o planta, considerando los aspectos de esfuerzo mecánico, la temperatura, las vibraciones, la dilatación, el aumento de las capacidades eléctricas y la normativa eléctrica vigente.	C
	1.6 Registra y documenta los ajustes y las modificaciones realizadas a los equipos y los sistemas eléctricos y electrónicos utilizados en el control de procesos, de acuerdo a los procedimientos de trabajo.	H

APRENDIZAJES ESPERADOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS
2.	Programa dispositivos de automatización de procesos industriales, de acuerdo a los requerimientos y a las especificaciones técnicas.	2.1 Extrae información de documentos técnicos y manuales de programación de dispositivos de automatización de procesos industriales, para dar respuesta a los requerimientos de corrección o mejora de un proceso productivo.	B
		2.2 Conecta cables y accesorios de los equipos, para programar y configurar los dispositivos de automatización, de acuerdo a los procedimientos, las herramientas requeridas y las normas de seguridad.	I
		2.3 Comprueba el estado de operación y la configuración básica del dispositivo de automatización de acuerdo a las especificaciones técnicas, aplicando los procedimientos y los comandos de programación.	B
		2.4 Genera pauta de requerimientos para ejecutar o modificar un sistema de control eléctrico, de acuerdo a la necesidad de mejora u optimización de un proceso industrial.	H
		2.5 Genera diagramas de flujo y procedimientos de programación para modificar los parámetros de un dispositivo de control lógico programable, de acuerdo a los requerimientos operacionales del equipo o la planta.	H
		2.6 Programa los dispositivos de automatización, de acuerdo a los manuales y a las especificaciones técnicas, aplicando lenguaje de programación, considerando los requerimientos operacionales del equipo o la planta.	B
		2.7 Guarda y asegura parámetros y programas modificados en los dispositivos de automatización, de acuerdo a la plantilla o al manual de programación.	H
		2.8 Registra y documenta las programaciones realizadas a los dispositivos de automatización, de acuerdo a los procedimientos técnicos.	H

8.

Anexo B: Conexión de sensores capacitivos NPN



Anexo C: Ejemplo de clase planificada con enfoque a enseñanza programación mediante lenguaje Ladder para 4to medio.



1



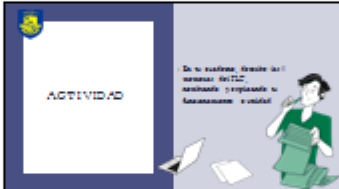
4



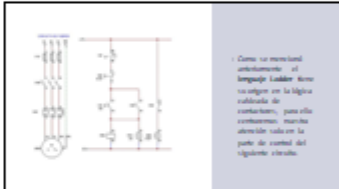
7



2



5



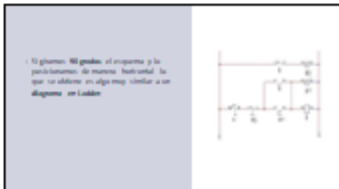
8



3



6



9



10



13



16



11



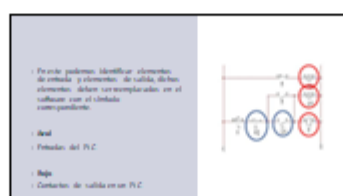
14



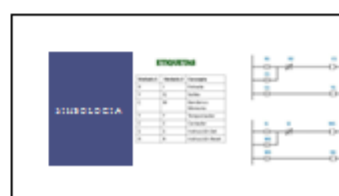
17



12



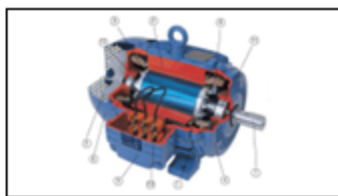
15



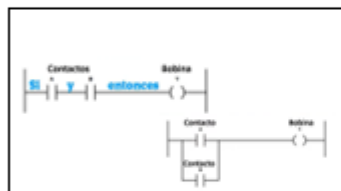
18



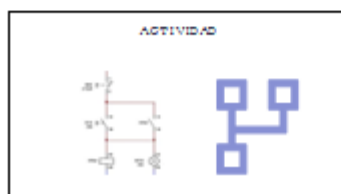
19



22



20



21

Anexo C: Ejemplo de clase planificada con enfoque a enseñanza programación mediante lenguaje Ladder para 4to medio.