

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

**DISEÑO DE LA RENOVACIÓN DE PLC PARA LA GESTIÓN DE ESTANQUES DE PRODUCTOS
FINALES EN TERMINAL MARÍTIMO QUINTERO DE ENAP**

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

Alumno:

David Leonel Navarro Farías

Profesor Guía:

Mag. Loreto Marín Carcey



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 LA RENOVACIÓN DE PLC PARA LA GESTIÓN DE ESTANQUES DE PRODUCTOS FINALES EN TERMINAL MARÍTIMO QUINTERO DE ENAP.

Nombre del candidato(a): DAVID LEONEL NAVARRO FARÍAS.

Carrera / Grado: INGENIERIA DE EJECUCIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.

Campus: SEDE VIÑA DEL MAR **Departamento:** DEPARTAMENTO DE ELECTROTECNIA E INFORMÁTICA.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, LORETO MARÍN CARCEY, 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: 04-06-2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 04-06-2026

Firma:

RESUMEN

KEYWORDS: PLC, MODERNIZACIÓN, ESTANDARIZACIÓN, ENAP.

El presente trabajo aborda el diseño de una solución para la renovación del sistema de control basado en PLC que gestiona los estanques de productos finales TK-5006 y TK-5007 del Terminal Marítimo Quintero de ENAP, el cual actualmente opera con equipamiento obsoleto, discontinuado por el fabricante y con limitada disponibilidad de repuestos y soporte técnico.

A partir del análisis de la infraestructura existente, se identificaron los principales riesgos operacionales asociados a la continuidad del sistema, lo que motivó la evaluación de distintas alternativas de solución. Mediante un proceso comparativo basado en criterios técnicos, operacionales y económicos, se determinó que el diseño interno de renovación del PLC constituye la opción más adecuada, al asegurar compatibilidad con la infraestructura actual, soporte a largo plazo y una mejor transferencia de conocimiento al personal de mantención.

La solución propuesta se basa en la plataforma Schneider Electric Modicon M340, manteniendo las lógicas de control existentes y la comunicación con el sistema DCS mediante protocolo Modbus, lo que permite una implementación gradual y segura sin afectar la operación del terminal. Asimismo, se desarrolló un análisis de costos que demuestra la viabilidad económica del proyecto, considerando hardware, software y ejecución técnica, aprovechando los alcances del contrato de mantención vigente.

Finalmente, el proyecto establece una base técnica para la estandarización y modernización futura del sistema de control del Terminal Marítimo Quintero, contribuyendo a mejorar la confiabilidad, seguridad y sostenibilidad operativa de la instalación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: PROBLEMAS Y OBJETIVOS	2
1 PROBLEMAS Y OBJETIVOS.....	3
1.1 ANTECEDENTES GENERALES	3
1.2 TERMINAL MARÍTIMO QUINTERO ENAP	3
1.3 FUNCIONAMIENTO GENERAL	4
1.4 ESTANQUES DE PRODUCTOS FINALES	5
1.4.1 TK-5006.....	6
1.4.2 TK-5007.....	6
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.5.1 Descripción del problema	7
1.5.2 Importancia de resolverlo	8
1.5.3 Involucrados	9
1.6 PROPOSICIÓN DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	11
1.7 REQUERIMIENTOS.....	11
1.8 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	12
1.8.1 Alternativa N°1: “Hacer nada”	12
1.8.2 Alternativa N°2: “Contratar servicio de ingeniería externo para diseño de proyecto”	13
1.8.3 Alternativa N°3: “Diseño de renovación de PLC”	14
1.9 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	14
1.9.1 Criterios de Evaluación.....	15
1.9.2 Resultados de la Evaluación	16
1.9.3 Alternativa seleccionada	16

1.10	OBJETIVOS	17
1.10.1	Objetivo general	17
1.10.2	Objetivos específicos	17
CAPÍTULO 2: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN		18
2	DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	19
2.1	PLC 9	19
2.2	HARDWARE ACTUAL	20
2.3	SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA	21
2.3.1	Señales de entrada	21
2.3.2	Señales de salida	22
2.4	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL	24
2.5	HARDWARE	25
2.5.1	Modicon M340	26
2.5.2	CPU y módulos	27
2.6	LÓGICAS DE FUNCIONAMIENTO	28
2.6.1	Válvulas motorizadas.	29
2.6.2	Agitadores/Motores	31
2.6.3	Alumbrado	33
2.6.4	Reset y Falla de energía	35
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE COSTOS		37
3	EVALUACIÓN DE COSTOS	38
3.1	CONTRATO DE MANTENCIÓN	38
3.1.1	Compra de equipos	39
3.1.2	Análisis de precio unitario	39
3.2	COSTO DE HARDWARE	41
3.3	COSTO DE SOFTWARE	42
3.4	COSTO DE EJECUCIÓN	43
3.4.1	Actividades y tiempos	43

3.4.2	Estimación de costos en APU	44
3.5	COSTO TOTAL	46
3.6	JUSTIFICACIÓN DEL GASTO	47
CONCLUSIONES.....		49
BIBLIOGRAFÍA		50
ANEXOS		51
4	ANEXO A.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Vista aérea Terminal Marítimo Quintero (TMQ) sector de Remodelación.	4
Figura 1-2. Diagrama de Ishikawa.	8
Figura 2-1. Configuración hardware actual PLC 9.	20
Figura 2-2. Diagrama de funcionamiento general.	25
Figura 2-3. Distribución modular típica Modicon X80	26
Figura 2-4. Editor gráfico Schneider Electric.	28
Figura 2-5. Diagrama de flujo – Funcionamiento Válvulas motorizadas.	30
Figura 2-6. Diagrama de flujo – Funcionamiento de motores.	32
Figura 2-7. Diagrama de flujo – Funcionamiento Alumbrado.....	34
Figura 2-8. Diagrama de flujo – Funcionamiento Reset y Fallo de energía	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Escala de calificación	15
Tabla 1-2 Grilla de evaluación de criterios.....	16
Tabla 2-1. Entradas discretas PLC 9.....	22
Tabla 2-2. Salidas Discretas PLC 9.	23
Tabla 3-1 Recargo por gestión de compra.	39
Tabla 3-2 Valores establecidos en APU	40
Tabla 3-3 Costo de equipos.	41
Tabla 3-4 Costo de Software.	42
Tabla 3-5 Actividades y tiempos de ejecución	44
Tabla 3-6 Análisis de precio unitario de proyecto.....	45
Tabla 3-7 Costo Total.....	47

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS:

APU	:	Análisis de Precio Unitario.
CPU	:	Central Processing Unit (Unidad Central de Procesamiento).
DCS	:	Distributed Control System (Sistema de Control Distribuido).
ENAP	:	Empresa Nacional del Petróleo.
EPP	:	Elemento de Protección Personal.
ERA	:	ENAP Refinerías Aconcagua.
GLP	:	Gas Licuado de Petróleo.
IVA	:	Impuesto al Valor Agregado.
PLC	:	Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable).
RTU	:	Remote Terminal Unit (Unidad Terminal Remota).
TMQ	:	Terminal Marítimo Quintero (ENAP).
UF	:	Unidad de Fomento.

B. SIMBOLOGÍA:

HH	:	Hora Hombre.
m^3	:	Metros Cúbicos.
VDC	:	Voltaje Corriente Continua.
VAC	:	Voltaje Corriente Alterna.
W	:	Watts.

INTRODUCCIÓN

La automatización industrial desempeña un papel esencial en la operación segura y eficiente de las plantas energéticas modernas. En este contexto, los Controladores Lógicos Programables (PLC) constituyen el núcleo de los sistemas de control, supervisión y comunicación de los procesos industriales, garantizando confiabilidad, precisión y continuidad operativa.

El Terminal Marítimo Quintero de ENAP, con más de setenta años de historia, cumple una función estratégica en la recepción, almacenamiento y despacho de combustibles, siendo un punto clave dentro de la cadena logística energética del país. No obstante, parte de su infraestructura de control utiliza equipos obsoletos sin soporte del fabricante, situación que representa un riesgo para la continuidad de las operaciones y la seguridad del sistema.

El presente trabajo de título tiene como finalidad analizar la situación actual del sistema de control de los estanques de productos finales TK-5006 y TK-5007, identificar los riesgos asociados a su condición tecnológica y diseñar una alternativa de modernización integral que asegure compatibilidad, soporte a largo plazo y una operación confiable.

A través del desarrollo de este proyecto se busca no solo entregar una solución técnica viable, sino también establecer una base estandarizada de modernización que pueda ser replicada en otros sectores del terminal, fortaleciendo la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones de ENAP.

CAPÍTULO 1: PROBLEMAS Y OBJETIVOS

1 PROBLEMAS Y OBJETIVOS

Este capítulo aborda la problemática en el Terminal Marítimo Quintero de ENAP, que podría generar pérdidas económicas importantes y retrasos en los procesos. Asimismo, se presenta la posible solución a desarrollar y los objetivos que orientan el desarrollo de este trabajo de título.

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) son dispositivos electrónicos utilizados para automatizar y supervisar procesos industriales. Su funcionamiento se basa en la ejecución de programas que permiten controlar equipos y sistemas en tiempo real, reemplazando circuitos de relés tradicionales y ofreciendo mayor flexibilidad, precisión y confiabilidad en las operaciones.

En el caso del Terminal Marítimo Quintero de ENAP, los PLC cumplen un rol fundamental en la gestión y control de los procesos operativos. Gracias a ellos es posible garantizar la seguridad, continuidad y eficiencia en las maniobras de carga, descarga y monitoreo de sistemas, minimizando errores humanos y optimizando la respuesta ante posibles fallas o contingencias.

1.2 TERMINAL MARÍTIMO QUINTERO ENAP

El Terminal Marítimo de Quintero de ENAP (TMQ), ubicado en la Bahía de Quintero, Región de Valparaíso, como se ve en la Figura 1-1, es la principal instalación portuaria petrolera de Chile. Inaugurado en 1954, está destinado a la recepción, almacenamiento, preparación y despacho de petróleo crudo y sus derivados, incluyendo gasolinas, diésel, kerosene y gas licuado de petróleo (GLP).

El terminal cuenta con una infraestructura robusta que incluye estanques de almacenamiento, cuatro sitios de amarre, entre ellos una monoboya, y sistemas de oleoductos que lo conectan con la Refinería Aconcagua en Concón. Su capacidad de movilización alcanza alrededor de 700.000 m³ mensuales, entre crudo, productos intermedios y terminados,

consolidándolo como un actor estratégico en la cadena energética nacional. Además, cumple con estrictas normas de seguridad y operación, garantizando la protección del entorno marítimo.



Fuente: <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/terminal-maritimo-quintero-de-enap-logra-aprobacion-de-la-armada-para-maniobra-nocturna-en-la-zona-central-de-chile>

Figura 1-1. Vista aérea Terminal Marítimo Quintero (TMQ) sector de Remodelación.

1.3 FUNCIONAMIENTO GENERAL

La principal función del TMQ es la recepción, almacenamiento y distribución de petróleo crudo y sus derivados, actividad fundamental para el abastecimiento energético y el desarrollo del país.

Para cumplir con este propósito, el terminal cuenta con una serie de estanques repartidos en dos sectores operativos, Ampliación y Remodelación.

El sector de Ampliación está destinado principalmente a la recepción de petróleo crudo, operación que se realiza mediante una monoboya, infraestructura marítima de amarre utilizada por los buques cisternas. Desde allí, el crudo es descargado y transportado hacia los estanques correspondientes para su almacenamiento o posterior envío hacia la Refinería Aconcagua, ubicada en Concón, a través del sistema de oleoductos.

El sector de Remodelación se orienta principalmente al almacenamiento de productos refinados o finales como gasolinas, diésel y kerosene, los cuales provienen de la refinación en Concón. En esta área, la transferencia de productos hacia embarcaciones se realiza a través de tres multiboyas, que permiten su distribución tanto por vía marítima como terrestre a distintos puntos del país.

1.4 ESTANQUES DE PRODUCTOS FINALES

Dentro del sector de Remodelación los estanque TK-5006 y TK-5007 cumplen un rol fundamental en la gestión de almacenamiento de productos refinados para su distribución. Estos estanques forman parte del sistema de productos finales del terminal, y su operación es crítica para mantener la continuidad del suministro nacional de combustibles.

Ambos depósitos poseen una capacidad de 18500 metros cúbicos (m^3), y están diseñados para recibir, almacenar y despachar combustibles bajo estándares de calidad, seguridad y trazabilidad. Los productos que se almacenan en estos estanques provienen desde Refinería Aconcagua en Concón, transportados a través de oleoductos. Una vez en Quintero, los combustibles son sometidos a análisis de calidad y control técnico antes de su autorización para distribución, asegurando el cumplimiento de las especificaciones normativas y de rendimiento establecidas.

Los productos almacenados en ambos estanques pueden despacharse a través de oleoductos hacia Santiago o vía marítima mediante buques hacia el norte del país.

Además, el terminal ofrece la posibilidad de que terceras compañías arrienden capacidad de almacenamiento, permitiéndoles utilizar la infraestructura del TMQ para gestionar sus propios volúmenes de producto bajo supervisión técnica de ENAP.

1.4.1 TK-5006

El estanque TK-5006 se utiliza principalmente para gasolina de 93 octanos, aunque su versatilidad permite almacenar también gasolina de 95 o 97 octanos según la demanda o los requerimientos operativos. Este estanque puede realizar procesos de mezcla o *“blending”* que consiste en ajustar la composición de los combustibles para modificar su índice de octano, garantizando que el producto final cumpla con los estándares exigidos antes de su comercialización.

1.4.2 TK-5007

El TK-5007, por su parte, está destinado al almacenamiento de diésel, uno de los combustibles de mayor consumo en el país, especialmente por el sector minero, que constituye su principal comprador. Este estanque permite la gestión eficiente del flujo de diésel hacia diferentes destinos mediante sistemas de bombeo y transferencia.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Terminal Marítimo Quintero de ENAP, con más de siete décadas de trayectoria operativa, constituye una instalación de gran relevancia dentro de las operaciones de la empresa. Debido a su antigüedad y prolongada vida útil, ha sido necesario implementar diversos procesos de modernización tecnológica con el objetivo de mantener altos estándares de seguridad, eficiencia y cumplimiento normativo.

A lo largo del tiempo se han ejecutado múltiples proyectos de actualización, orientados a la renovación de sistemas de control, instrumentación, seguridad industrial y gestión ambiental,

con el fin de asegurar la operación continua y segura del terminal. No obstante, aún existen sectores y equipos que no han sido objeto de una renovación integral, manteniéndose en servicio componentes de larga data, cuya operatividad depende principalmente de programas de mantenimiento preventivo y correctivo. Estos programas incluyen inspecciones periódicas, calibraciones, reemplazo planificado de partes críticas y verificación del cumplimiento de las normas técnicas aplicables.

En los últimos años, el cambio en la administración del terminal ha representado un punto de inflexión en la gestión de inversiones y activos. A partir de esta reestructuración, se han impulsado proyectos de gran envergadura tecnológica, enfocados en la modernización de sistemas de monitoreo y control, la actualización de equipos eléctricos e instrumentales, y la mejora integral de las condiciones de seguridad operacional y medioambiental.

1.5.1 Descripción del problema

En el Terminal Marítimo Quintero de ENAP, actualmente operan 20 equipos PLC distribuidos entre el área de Ampliación y la de Remodelación, donde predominan las señales digitales discretas de entrada y salida.

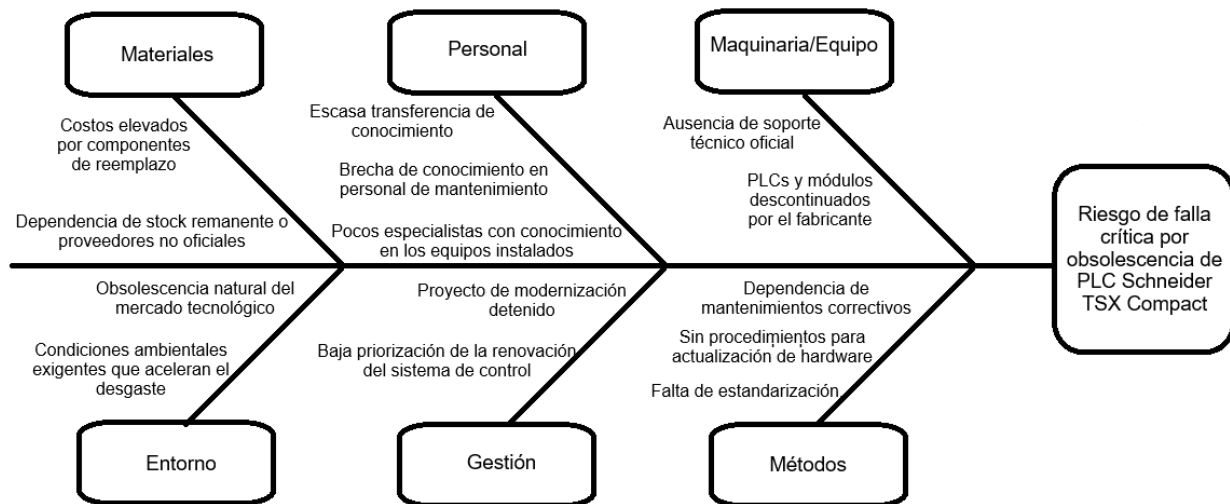
La plataforma de control empleada corresponde principalmente a PLCs Schneider Modicon TSX Compact (PC-E984-258), un equipo que ha sido discontinuado por el fabricante, al igual que sus módulos de entradas y salidas. Como parte de un proyecto de modernización, algunos pocos de estos equipos han sido completamente actualizados al modelo Schneider M340; sin embargo, dicho proyecto se encuentra actualmente detenido.

Dado el estado de obsolescencia del hardware original, la disponibilidad limitada de repuestos y la falta de soporte técnico por parte del fabricante, la situación ha llegado a un punto crítico, en el cual una falla en los equipos existentes podría comprometer el funcionamiento completo de una sección de la planta.

Adicionalmente, el conocimiento técnico específico sobre los equipos actualmente instalados se encuentra limitado a un reducido número de especialistas dentro de ENAP. Esto hace imprescindible avanzar hacia una estandarización tecnológica basada en un nuevo

hardware, facilitando la transferencia de conocimiento al equipo de mantención y permitiendo la implementación de protocolos adecuados para enfrentar posibles contingencias operacionales.

En la Figura 1-2 se puede ver lo anteriormente descrito manifestado en un diagrama de Ishikawa.



Fuente: Elaboración propia en MS Paint basada en el diagrama de Ishikawa

Figura 1-2. Diagrama de Ishikawa.

1.5.2 Importancia de resolverlo

Considerando la relevancia operativa de los PLCs en el control de los procesos de almacenamiento y despacho dentro del Terminal Marítimo Quintero, resulta fundamental establecer un protocolo de mitigación y respuesta ante posibles contingencias técnicas. Estos equipos constituyen una parte importante del sistema de automatización, siendo responsables de la supervisión, control y coordinación de operaciones críticas, por lo que su correcto funcionamiento es esencial para garantizar la continuidad de las actividades.

La falla de un PLC puede generar una interrupción significativa en la operatividad general del terminal, afectando tanto las maniobras de carga y descarga como la gestión de inventarios y la seguridad operacional. Esta situación puede derivar en demoras en la recepción o despacho de productos, con el consiguiente impacto en los compromisos contractuales y logísticos. Además,

los riesgos económicos asociados, como multas por incumplimiento o penalizaciones comerciales, se ven agravados por la dificultad de obtener repuestos debido a la obsolescencia del hardware y la falta de soporte técnico del fabricante.

En este escenario, se hace imperativo desarrollar y formalizar un plan de mitigación integral, que contemple tanto acciones preventivas (mantenimiento planificado, respaldo de programas, identificación de componentes críticos) como medidas reactivas (protocolos de respuesta rápida, disponibilidad de equipos de reemplazo y soporte técnico especializado). De esta manera, se busca reducir el tiempo de inactividad, asegurar la continuidad operacional y proteger la confiabilidad del sistema de control frente a posibles contingencias.

1.5.3 Involucrados

El problema anteriormente descrito puede afectar a gran parte de los departamentos que componen el TMQ, sin embargo, un solo grupo de estos son los que se ven involucrados directamente y participan activamente en la gestión técnica y operativa de una solución para garantizar una ejecución eficiente y cumplir con los objetivos planteados en la alternativa técnica a seleccionar y es necesario establecer claramente el nivel de participación y responsabilidades de cada área involucrada.

A continuación, se detallan los principales departamentos, su rol y cómo se ven afectados:

- Departamento de Ingeniería Terminal Quintero ENAP: Encargado de aprobación, corrección y certificación en los nuevos proyectos. Ante una eventual falla en el sistema de control, se pondría énfasis en la solución inmediata, lo que permitiría aprobación de proyectos de calidad dudosa ante la prisa, generando riesgos de no conformidad con los estándares, además de retrasos en otros proyectos del departamento.
- Departamento Electrónica ERA: Especialistas en el área de automatización y control y encargados directos de los equipos ya instalados y operativos. Su función principal consiste en evaluar la viabilidad técnica de una solución propuesta, asegurando que se alineen con los objetivos estratégicos y operacionales de la empresa, además de

proporcionar una base técnica necesaria para comprender el funcionamiento integral del sistema de control de la planta, incluyendo la interacción entre sala de control y los equipos de campo, lo que permite coordinar adecuadamente las acciones y definir soluciones con una visión real y precisa de la infraestructura existente. Una democratización del sistema de control permite una agilización en la respuesta técnica y un mejor manejo en la gestión de especialistas disponibles ante una eventual falla.

- Departamento de Operaciones de Terminal Quintero ENAP: Encargados del funcionamiento general de la planta. Una falla en el sistema de control impactaría directamente en la capacidad de sus maniobras, generando demoras logísticas e incumpliendo términos contractuales lo que provocaría posibles penalizaciones. Afecta la continuidad operacional y la seguridad de las maniobras críticas.
- División de Mantenimiento Terminal Quintero ENAP: Encargados de planificación y coordinación entre las partes involucradas y la supervisión general de las actividades necesarias en la resolución del problema. Cumple un rol clave en la gestión de recursos humanos y materiales, garantizando la correcta comunicación entre las áreas internas y contratistas externos. Una posible falla en el sistema de control implicaría un mayor enfoque de los recursos en la resolución del problema, lo que conlleva mayor carga de trabajo correctivo no planificado y limitación de mantenciones programadas, lo que podría elevar emergencias en otros sectores críticos.
- Empresa contratista de mantención Electrónica: Son el actor principal en la ejecución de planes de mantenimiento preventivo y correctivos. Al tener que actuar de manera reactiva ante una falla crítica sin disponibilidad de repuestos ni soporte del fabricante y con poca información disponible, aumentan los tiempos de intervención y los costos operacionales. Las contribuciones del personal encargado son fundamentales en el diseño de una solución, teniendo el conocimiento en los equipos de campo y su funcionamiento, se tiene una retroalimentación positiva y es de aquí donde nace el desarrollo de este trabajo de título.

1.6 PROPOSICIÓN DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

La finalidad de este proyecto es diseñar e implementar una solución técnica integral que permita prevenir posibles contratiempos operacionales derivados del estado actual del sistema de control de los estanques de productos finales, TK-5006 y TK-5007, asegurando la continuidad y confiabilidad de parte importante de las operaciones del Terminal Marítimo Quintero.

La propuesta busca garantizar el cumplimiento de los requerimientos normativos vigentes, así como la compatibilidad funcional con la infraestructura existente, de modo que el sistema resultante mantenga una interacción estable, segura y eficiente con el control general de la planta. De esta manera, se pretende no solo mitigar riesgos asociados a fallas o interrupciones, sino también fortalecer una estandarización tecnológica y una sostenibilidad operativa a largo plazo.

1.7 REQUERIMIENTOS

Para desarrollar un diseño que ofrezca una solución efectiva al problema expuesto, es fundamental establecer un conjunto de requerimientos mínimos y criterios técnicos que garanticen el cumplimiento de los estándares corporativos y normativos vigentes. Estos lineamientos deben, además, mantener coherencia con los intereses estratégicos y los objetivos operacionales de ENAP, asegurando que la propuesta final sea viable, segura y sustentable dentro del marco de las políticas de modernización y continuidad operativa del Terminal Marítimo Quintero.

A continuación, se presentan una serie de criterios de aceptación que permiten dar con una solución óptima considerando lo anteriormente mencionado:

- Compatibilidad con infraestructura de control existente: Debe integrarse sin generar conflictos con los sistemas de control actuales.
- Lineamiento con objetivos de todas las partes involucradas: Debe mantener coherencia entre las metas del Terminal, las áreas técnicas de ENAP y las empresas contratistas, favoreciendo la colaboración y maximizar eficiencia.

- Soporte sostenible en el tiempo: Debe contar con respaldo técnico, disponibilidad de repuestos y soporte a largo plazo, asegurando una mejor respuesta ante eventualidades y poder generar planes de mantención acordes.
- Reducción de costos operacionales a largo plazo: Considerando una inversión inicial, los costos a largo plazo deben disminuir, sobre todo tomando en cuenta el siguiente punto.
- Disminución de los tiempos de intervención ante eventualidades: Facilitar respuesta rápida y efectiva ante fallas o eventos no programados, minimizando la continuidad operativa.

1.8 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Con el objetivo de abordar la problemática identificada, se proponen tres alternativas de solución, las cuales serán evaluadas en función de los criterios previamente definidos. Este proceso de análisis permitirá determinar que la alternativa seleccionada represente la solución más eficiente, segura y sostenible para las necesidades del Terminal Marítimo Quintero.

1.8.1 Alternativa N°1: “Hacer nada”

Esta alternativa corresponde a la situación actualmente vigente, en la cual no se implementan medidas correctivas ni de modernización, limitando la gestión a una respuesta reactiva ante eventuales fallas en los equipos instalados.

Si bien el hardware existente ha operado de manera estable durante un período prolongado, su antigüedad y condición de obsolescencia representan un riesgo creciente. Aunque es posible que los sistemas continúen funcionando sin incidentes durante algún tiempo, una falla imprevista podría generar interrupciones operativas significativas, debido a la falta de repuestos y la ausencia de soporte del fabricante, ocasionando retrasos en los procesos logísticos y pérdidas económicas considerables.

Adicionalmente, esta alternativa acentúa la dependencia de un grupo reducido de especialistas con conocimiento específico sobre el hardware actual, lo que dificulta la respuesta oportuna ante emergencias y compromete la capacidad de transferencia de conocimiento al personal de mantención.

Por último, mantener esta condición implica desaprovechar oportunidades de mejora tecnológica y de eficiencia operativa, limitando el potencial de desarrollo del personal técnico y reduciendo la competitividad del sistema frente a los estándares actuales de automatización y control industrial.

1.8.2 Alternativa N°2: “Contratar servicio de ingeniería externo para diseño de proyecto”

Esta alternativa propone contratar a una empresa externa especializada para el desarrollo de un proyecto integral de mejora y modernización del sistema de control. Para su correcta ejecución, sería necesario proporcionar toda la información técnica y operativa relevante, de manera que la propuesta resultante se alinee con los estándares mínimos de funcionamiento, normativas aplicables y compatibilidad con la infraestructura de control existente.

La aplicación de esta alternativa implica un mayor tiempo de desarrollo, principalmente debido a los procesos administrativos y de licitación pública asociados. Esto incluye la convocatoria a concurso abierto, la evaluación técnica y económica de las propuestas recibidas, y la posterior coordinación e intercambio de información entre ENAP y la empresa seleccionada para refinar el diseño final del proyecto.

Sin embargo, este enfoque presenta limitaciones en la participación directa de los actores internos y contratistas habituales, especialmente la empresa contratista de mantención electrónica, que podría quedar marginada del proceso de diseño y toma de decisiones técnicas. En este escenario, su rol se reduciría principalmente a entregar información de terreno y antecedentes operativos, sin posibilidad de retroalimentar el desarrollo del proyecto desde la experiencia práctica acumulada, lo que podría afectar la aplicabilidad y eficiencia de la solución final y a largo plazo.

1.8.3 Alternativa N°3: “Diseño de renovación de PLC”

Esta alternativa propone el diseño y ejecución de un proyecto de renovación integral del sistema de control asociado a los estanques de productos finales TK-5006 y TK-5007, mediante la sustitución completa del PLC actual por un equipo moderno, con soporte técnico garantizado y plena compatibilidad con la infraestructura existente del Terminal Marítimo Quintero.

Al tratarse de un desarrollo interno, esta alternativa ofrece una ventaja significativa, la que permite una participación activa y coordinada de todos los departamentos involucrados, optimizando la comunicación técnica y reduciendo los tiempos de desarrollo, al eliminar procesos de licitación pública y otras etapas administrativas.

Además, al enfocarse inicialmente en una sección específica del proceso operacional, este proyecto puede servir como modelo base para futuras modernizaciones, ya que las demás áreas del terminal presentan arquitecturas y configuraciones de control similares. De esta manera, se facilita la replicación y estandarización tecnológica en el resto de las instalaciones, promoviendo la homogeneidad operativa, el aprovechamiento del conocimiento técnico interno y la reducción de costos de implementación futura.

1.9 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Teniendo en consideración las tres alternativas de solución planteadas para abordar la problemática, se procede a realizar un análisis comparativo con el fin de determinar la opción más adecuada desde el punto de vista técnico, operativo y económico.

Para ello, se utiliza una tabla de evaluación multicriterio, en la cual cada alternativa es calificada según una escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a “Muy Deficiente” y 5 a “Óptimo”, tal como se muestra en la Tabla 1-1.

Cada criterio de evaluación asigna un puntaje parcial a las alternativas, y el promedio ponderado de estos resultados permite identificar de manera objetiva la opción con mayor nivel de cumplimiento respecto a los requerimientos establecidos. La alternativa con el puntaje final más alto será considerada como la solución más conveniente para su desarrollo.

Tabla 1-1 Escala de calificación

Tabla de Puntajes				
Muy Deficiente	Deficiente	Aceptable	Bueno	Óptimo
1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia basada en escala de evaluación.

1.9.1 Criterios de Evaluación

La evaluación se basa en cinco criterios fundamentales que permiten determinar la alternativa más adecuada. A continuación, se presentan junto con su respectivo porcentaje de ponderación y una breve descripción de cada uno.

- Compatibilidad técnica (30%): Evalúa en qué medida la alternativa a evaluar se integra correctamente con los sistemas de control actualmente instalados, sin requerir mayor modificación.
- Factibilidad (20%): Solidez técnica del diseño. Factibilidad de implementación en condiciones reales de operación y capacidad de mantener la continuidad del servicio.
- Costo estimado (15%): Evalúa la relación entre el costo total del diseño y los beneficios esperados, considerando optimización de recursos. Mayor costo implica menor calificación
- Soporte a largo plazo (20%): Respaldo técnico, disponibilidad de repuestos y posibilidad de actualización.
- Integración de involucrados (15%): Mide el nivel de colaboración entre los departamentos de ENAP y las empresas contratistas internas durante el proceso, para asegurar coherencia y transferencia de conocimiento.

1.9.2 Resultados de la Evaluación

En la Tabla 1-2 se presentan los resultados y el promedio ponderado de la evaluación realizada a cada una de las alternativas de solución, considerando los criterios definidos previamente.

Tabla 1-2 Grilla de evaluación de criterios

Característica/Alternativa	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Compatibilidad Técnica (30%)	5	3	5
Factibilidad (20%)	5	4	4
Costo Estimado (15%)	5	1	3
Soporte a largo plazo (20%)	1	3	5
Integración de involucrados (15%)	2	3	5
Puntuación total	3,75	3,02	4,5

Fuente: Elaboración propia basada en comparación de alternativas

1.9.3 Alternativa seleccionada

De acuerdo con la puntuación total obtenida (4,5), la alternativa número tres, correspondiente al “Diseño de renovación de PLC”, resulta ser la opción que mejor cumple con los criterios establecidos, por lo que se selecciona como la solución más adecuada para abordar la problemática planteada.

Esta alternativa ofrece una mayor compatibilidad técnica con la infraestructura existente, presenta una alta factibilidad de implementación en condiciones operativas reales y permite un mejor control de costos al tratarse de un desarrollo interno. Además, garantiza un soporte técnico sostenible en el tiempo mediante la incorporación de equipamiento nuevo y promueve una integración más efectiva entre todas las áreas involucradas, favoreciendo la transferencia y consolidación del conocimiento técnico dentro de la organización.

1.10 OBJETIVOS

En esta sección se describen los objetivos, tanto general y específicos que se deben alcanzar durante el desarrollo de este proyecto.

1.10.1 Objetivo general

Diseñar la renovación de PLC para la gestión de estanques de productos finales TK-5006 y TK-5007 en Terminal Marítimo Quintero ENAP que permita confiabilidad y soporte a largo plazo.

1.10.2 Objetivos específicos

Para cumplir con el objetivo general, se deben cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Definir variables de entrada y salida del sistema de control de los estanques TK-5006 y TK-5007.
- Identificar componentes necesarios para mantener compatibilidad con infraestructura existente.
- Identificar requerimientos mínimos a cumplir en el nuevo sistema de control (PLC).
- Diseñar arquitectura de control renovada, incorporando hardware y software actualizados.
- Evaluar disponibilidad de hardware en el mercado considerando costo y soporte a largo plazo.

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

2 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se presenta de manera detallada el proceso para el diseño de la renovación del sistema PLC, incluyendo la selección de hardware y software, el desarrollo de la programación de control y la disposición final de los componentes asociados. Asimismo, se describen los criterios técnicos aplicados en cada etapa, con el objetivo de garantizar la compatibilidad, confiabilidad y funcionalidad del nuevo sistema dentro de la infraestructura existente del Terminal Marítimo Quintero.

2.1 PLC 9

PLC 9 es el equipo de control correspondiente al RACK 7 del área de Remodelación alberga un PLC que actualmente gestiona señales asociadas a los equipos de los estanques TK-5006 y TK-5007. Este PLC opera exclusivamente con señales digitales discretas de 24 VDC, tanto de entrada como de salida, sin incluir señales analógicas ni módulos de comunicaciones avanzadas.

Las entradas digitales registran el estado de distintas señales de estado de válvulas, agitadores y alumbrado, permitiendo una supervisión básica. Por su parte, las salidas digitales están destinadas al control directo de elementos como válvulas motorizadas, y contactores para funcionamiento de agitadores de estanque y alumbrado, activados o desactivados mediante comandos lógicos simples (ON/OFF).

Esta configuración sugiere que el sistema está diseñado para aplicaciones de control directo y secuencial, sin necesidad de procesamiento de variables analógicas como nivel continuo, presión o caudal. A pesar de ser una solución funcional para el tipo de operación que realiza, su simplicidad también limita la capacidad de adaptación ante requerimientos más complejos o necesidades de integración con plataformas modernas de supervisión y control. A ello se le suma que el software de programación y el programa fuente original del PLC no se encuentra disponible, lo que dificulta futuras modificaciones del sistema.

2.2 HARDWARE ACTUAL

Se realiza un análisis completo de la configuración actual de hardware del PLC 9, considerando módulos de entrada y salida, unidades de comunicación y fuente de poder con el objetivo de identificar los componentes necesarios a considerar en una eventual actualización del sistema. En la Figura 2-1 se aprecia la configuración del equipo, la cual está compuesta por los siguientes módulos:

- **CPU:** Schneider Modicon TSX Compact (PC E984-258)
- **Módulos Entrada:** Entrada digital discreta 24VDC x 16 (ASBDEP220). 2 módulos.
- **Módulos Salida:** Salida digital discreta en base a relés 24VDC x 8 (ASBDAP258). 3 módulos.
- **Fuente de poder:** Siemens SITOP 220VAC/24VDC
- **UPS:** Phoenix Contact Quint-DC-UPS 20A (24VDC)
- **Comunicación:** Multilin F485 General Electric. Conversor RS232 a RS485 y Fibra óptica



Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 2-1. Configuración hardware actual PLC 9.

2.3 SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA

Para tener una comprensión más precisa de los dispositivos asociados al PLC se realiza un levantamiento de las señales de entrada y salida presentes en el sistema. La información permite determinar la cantidad y tipo de cada señal que intervienen en el control de cada estanque.

2.3.1 Señales de entrada

Las señales de entrada digital están distribuidas en dos módulos de 16 canales cada uno (rango de canales 0–15), totalizando 32 canales disponibles. Estas entradas cumplen la función de monitorear el estado operativo de distintos actuadores y equipos asociados a los estanques TK-5006 y TK-5007, tales como válvulas motorizadas y agitadores.

Adicionalmente, se incorpora una señal de alarma de falla de energía proveniente del sistema UPS, que informa sobre la pérdida de suministro eléctrico del PLC.

Estas señales permiten entregar en tiempo real información de estado a la sala de control, facilitando la supervisión continua del sistema, además de la detección temprana de fallas operativas.

La distribución actual de las señales presenta una ocupación del 43,75% de la capacidad total disponible en los módulos de entrada digital. Este valor indica que más de la mitad de los canales permanecen libres, lo que proporciona margen suficiente de disponibilidad, por encima del rango recomendado, siendo éste entre un 10% y un 20%.

La Tabla 2-1 a continuación detalla la distribución completa de las señales de entrada digital, indicando su descripción funcional y el canal asignado en el módulo.

Tabla 2-1. Entradas discretas PLC 9

Entradas Discretas: 32			
N.º	TERRENO	PLC	
	SEÑAL	SLOT	CANAL
1	VE - TK5007 ABIERTA	1	0
2	VE - TK5007 CERRADA	1	1
3	VH - TK5007 ABIERTA	1	2
4	VH - TK5007 CERRADA	1	3
5	VE - TK5007 LOCAL/REMOTO	1	4
6	VH - TK5007 LOCAL/REMOTO	1	5
7	MARCHA/DETENCIÓN AG-1 TK5007	1	6
8	MARCHA/DETENCIÓN AG-2 TK5007	1	7
9	VE - TK5006 ABIERTA	1	8
10	VE - TK5006 CERRADA	1	9
11	VE - TK5006 LOCAL/REMOTO	1	10
12	MARCHA/DETENCIÓN AG-1 TK5006	1	11
13	MARCHA/DETENCIÓN AG-2 TK5006	1	12
14	DISPONIBLE	1	13
15	DISPONIBLE	1	14
16	DISPONIBLE	1	15
17	DISPONIBLE	2	0
18	DISPONIBLE	2	1
19	DISPONIBLE	2	2
20	DISPONIBLE	2	3
21	DISPONIBLE	2	4
22	DISPONIBLE	2	5
23	DISPONIBLE	2	6
24	DISPONIBLE	2	7
25	DISPONIBLE	2	8
26	DISPONIBLE	2	9
27	DISPONIBLE	2	10
28	DISPONIBLE	2	11
29	DISPONIBLE	2	12
30	DISPONIBLE	2	13
31	DISPONIBLE	2	14
32	FALLA ENERGÍA 220 VAC	2	15

Fuente: Elaboración propia en MS Excel en base a la información recopilada.

2.3.2 Señales de salida

Las señales de salida están distribuidas en 3 módulos de 8 canales (rango de canales 0-7), totalizando 24 canales disponibles. Estas salidas controlan agitadores y actuadores asociados a estanques TK-5006 y TK-5007. Las salidas de estos módulos son en base a relé, lo que procura

separar circuitos de terreno y electrónica interna, soportando alimentaciones hasta 24VCD en sus terminales.

Al igual que en las entradas, se tiene una ocupación de alrededor del 67%, cifra que de la misma manera se mantiene dentro de un margen suficiente de disponibilidad (10% a 20%)

La Tabla 2-2 a continuación detalla la distribución de las señales de salida digital, indicando su descripción funcional y el canal asignado en el módulo:

Tabla 2-2. Salidas Discretas PLC 9.

Salidas Discretas: 24			
N.º	TERRENO	PLC	
	SEÑAL	SLOT	CANAL
1	VE - TK5007 ABRIR	3	0
2	VE - TK5007 CERRAR	3	1
3	VH - TK5007 ABRIR	3	2
4	VH - TK5007 CERRAR	3	3
5	AG-1 TK5007 PARTIR	3	4
6	AG-1 TK5007 PARAR	3	5
7	AG-2 TK5007 PARTIR	3	6
8	AG-2 TK5007 PARAR	3	7
9	VE - TK5006 ABRIR	4	0
10	VE - TK5006 CERRAR	4	1
11	AG-1 TK5006 PARTIR	4	2
12	AG-1 TK5006 CERRAR	4	3
13	AG-2 TK5006 PARTIR	4	4
14	AG-2 TK5006 PARAR	4	5
15	RESET TELEMEDIDA TK-5006/5007	4	6
16	ILUMINACIÓN TK-5006/5007	4	7
17	DISPONIBLE	5	0
18	DISPONIBLE	5	1
19	DISPONIBLE	5	2
20	DISPONIBLE	5	3
21	DISPONIBLE	5	4
22	DISPONIBLE	5	5
23	DISPONIBLE	5	6
24	DISPONIBLE	5	7

Fuente: Elaboración propia en MS Excel en base a la información recopilada

2.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

El control de los dispositivos asociados al PLC se implementa mediante una lógica de operación ON/OFF, la cual se determina a partir de la información recibida desde terreno a través de las señales digitales de entrada. Estas señales corresponden a contactos de estado de 24 VDC, provenientes de elementos como válvulas motorizadas, agitadores y sistemas de alumbrado.

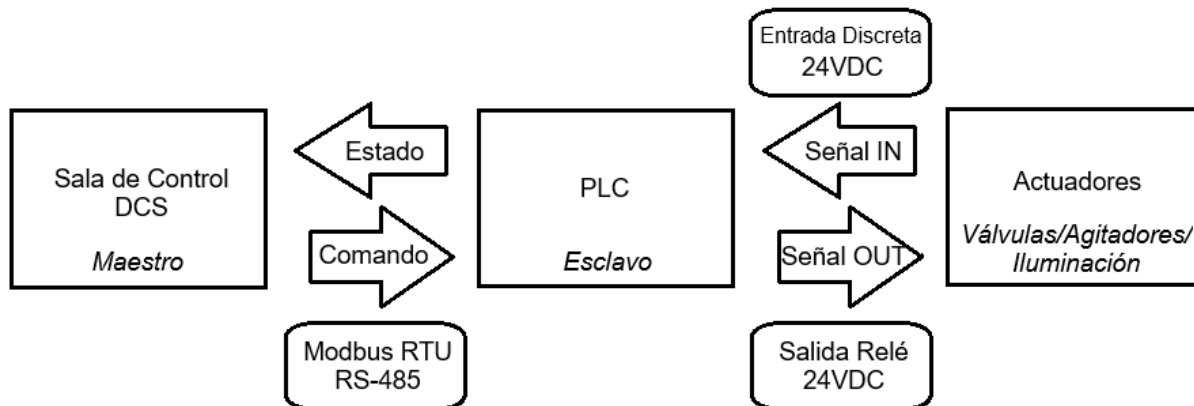
Por su parte, las señales de salida digital se ejecutan a través de módulos con relés integrados, los cuales permiten completar o interrumpir circuitos de 24 VDC hacia los actuadores. De esta manera, el PLC activa o desactiva los dispositivos controlados mediante comandos lógicos binarios, sin necesidad de procesamiento de variables análogas ni regulación proporcional. Esta arquitectura es característica de sistemas de control secuencial orientados a operaciones de apertura/cierre y encendido/apagado.

En cuanto a la comunicación entre los PLC y el sistema de supervisión, el Terminal Marítimo Quintero utiliza el protocolo Modbus RTU bajo una configuración *Maestro-Esclavo*. En esta topología, la sala de control, a través del sistema DCS, actúa como *maestro*, enviando instrucciones y solicitando información de estado a los equipos en terreno. Cada PLC opera como *esclavo*, identificado con una dirección única entre 1 y 247, lo que permite su correcta identificación dentro de la red.

La comunicación física se implementa mediante una red RS-485, utilizando cableado de datos de par trenzado dispuesto en topología de bus, donde todos los PLC se conectan en paralelo. Este estándar ofrece robustez frente a interferencias electromagnéticas, bajo costo de instalación y distancias de transmisión adecuadas para infraestructuras industriales distribuidas como en TMQ.

Para asegurar la compatibilidad del nuevo PLC dentro de la infraestructura existente, es necesario que mantenga la lógica básica de control y supervisión, así como la comunicación con el sistema DCS mediante el mismo protocolo sobre red RS-485.

La Figura 2-2 presenta una representación esquemática del funcionamiento general descrito, permitiendo visualizar de manera clara la interacción entre los principales componentes del sistema.



Fuente: Elaboración propia en MS Paint basada en descripción de funcionamiento de PLC en TMQ.

Figura 2-2. Diagrama de funcionamiento general.

2.5 HARDWARE

En una eventual modernización de los equipos PLC, el mercado ofrece una amplia variedad de fabricantes y modelos. No obstante, en el Terminal Marítimo Quintero predominan dos marcas, siendo Schneider Electric la más extendida, con 19 de los 20 PLC instalados en las áreas de Ampliación y Remodelación. Dentro de estos 19 equipos, coexisten dos familias de controladores:

- Modicon TSX Compact, actualmente discontinuado, con 17 unidades en operación.
- Modicon M340, modelo vigente, con 2 unidades instaladas, correspondientes a un proyecto de modernización previo que no llegó a completarse.

Considerando esta distribución y la experiencia operativa ya existente, se opta por mantener la continuidad tecnológica con Schneider Electric, dado que sus equipos actuales conservan una arquitectura y filosofía de funcionamiento similar al hardware obsoleto que se busca reemplazar. Además, al ser el fabricante original del protocolo Modbus, se garantiza una compatibilidad nativa superior con la infraestructura de comunicación del terminal, reduciendo riesgos de integración y facilitando la implementación del nuevo diseño.

2.5.1 Modicon M340

Clasificado por el fabricante como un *PAC* (Controlador de Automatización Programable), este equipo corresponde a una plataforma de control de mayor capacidad y rendimiento, diseñada para ejecutar tareas complejas que requieren procesamiento avanzado, mayor memoria, amplia conectividad y soporte para múltiples lenguajes de programación incluyendo opciones de alto nivel como *C++*.

La arquitectura utiliza la plataforma de módulos *Modicon X80*, la cual ofrece una amplia gama de módulos de alimentación, entrada/salida digitales y analógicas, así como módulos de comunicación especializados. La interconexión entre la CPU y los módulos se realiza a través de un bus interno denominado *X Bus*, montado *sobre* un bastidor (rack o backplane) disponible en diversas configuraciones de 4, 6, 8, 10 o 12 slots, con la posibilidad de expandir la capacidad mediante la interconexión racks adicionales.

En la Figura 2-3 se puede apreciar una distribución modular típica de esta plataforma.



Fuente: <https://www.novusferro.com/shop/plc/processors/schneider-modicon-m340-bmxcps3020-x80-bmxcps342020-ddi-ddo-ami-amomodules/>

Figura 2-3. Distribución modular típica Modicon X80

2.5.2 CPU y módulos

La línea Modicon M340 ofrece diversas opciones de módulos CPU que se diferencian principalmente por los tipos de redes de comunicación soportadas, entre ellas Ethernet, Modbus y CANopen. Para este proyecto se selecciona el modelo *BMXP342020* el cual constituye la opción más adecuada dentro de la gama básica ya que incorpora un puerto de conexión Ethernet para su programación y comunicación, además de puerto Modbus para comunicación. Asimismo, dispone de un puerto mini-USB, presente en todos los modelos de la serie, destinado exclusivamente a la programación local.

Con base en el análisis previo del funcionamiento de los dispositivos en terreno y la cantidad de entradas y salidas requeridas, se considera la siguiente configuración de módulos:

- 2 módulos X80 entrada Digital de 16 canales 24VDC (*BMXDDI1602*).
- 3 módulos X80 de salida discreta de relé NA 24 a 125 VDC (*BMXDRA0815*).
- Módulo de comunicación Modbus RS485/232 (*BMXNOM0200*).

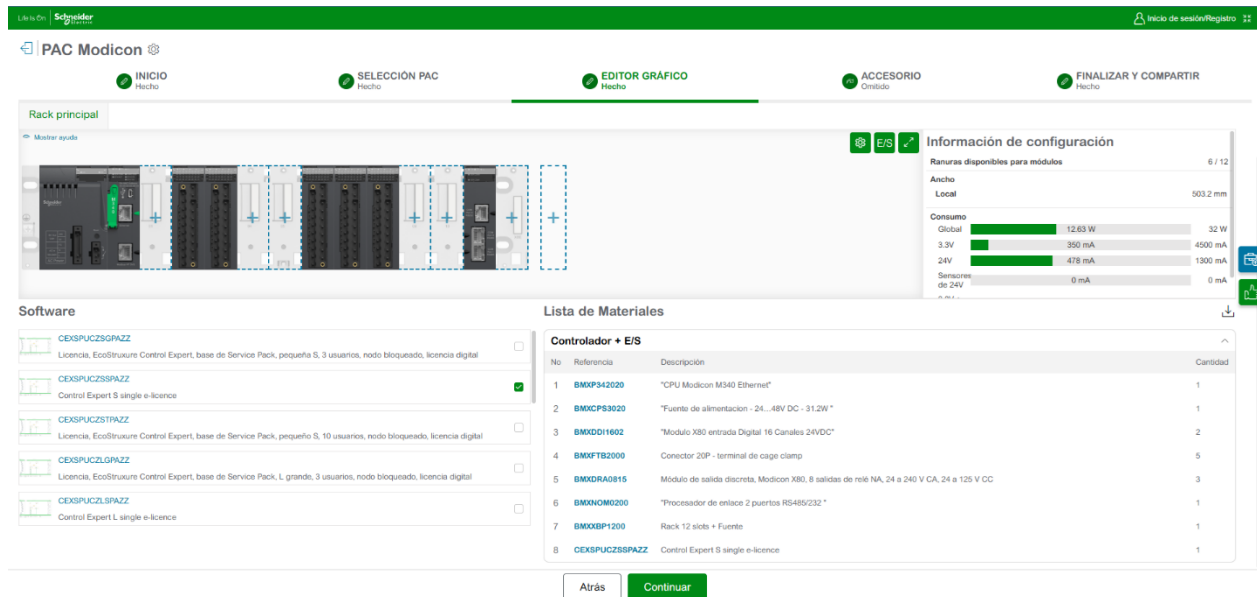
La selección de dos módulos de entrada y tres módulos de salida permite mantener la capacidad actual del sistema, asegurando un margen suficiente para futuras expansiones.

Respecto a la comunicación, se opta por un módulo especializado *BMXNOM0200*, totalmente independiente del puerto nativo de la CPU, debido a que éste incorpora aislamiento galvánico, característica no disponible en los puertos del procesador según las especificaciones del fabricante. Esto proporciona una mayor protección frente a corrientes parásitas y diferencias de potencial de alto nivel, mejorando la seguridad en la red de comunicación Modbus con DCS y separando adecuadamente la comunicación local de configuración con comunicación de campo.

La arquitectura completa se monta sobre un rack de 12 slots *BMEXBP1200*, lo que permite disponer de espacio adicional para ampliaciones futuras. La alimentación es provista por una fuente de poder de 24 VDC, 31,2 W *BMXCPS3020*, cuya operación en este diseño utiliza aproximadamente un 40% de su capacidad nominal, asegurando un margen adecuado para estabilidad y crecimiento.

Finalmente, el configurador gráfico disponible en la plataforma oficial del fabricante permite visualizar de manera clara la estructura del PLC y sus módulos asociados. En la Figura 2-

4 se muestra la representación gráfica de la configuración seleccionada y sus características principales.



Fuente: <https://www.se.com/cl/es/work/products/industrial-automation-control/tools/modicon-plc-configurator.jsp>

Figura 2-4. Editor gráfico Schneider Electric.

La disposición de los módulos presentada en la Figura 2-4 no solo permite mantener un orden lógico y estructurado entre las entradas y salidas del sistema, sino que también resulta fundamental para la programación del PLC, ya que facilita la asignación correcta de direcciones y mejora la legibilidad del programa.

2.6 LÓGICAS DE FUNCIONAMIENTO

Considerando las señales asociadas al PLC 9, se identifican cuatro tipos de lógicas de operación correspondientes a los distintos dispositivos controlados: válvulas, motores, sistemas de alumbrado y señales de reset. Cada uno de estos elementos presenta particularidades en su forma de activación y supervisión, las cuales deben ser consideradas en el diseño y la programación del sistema.

2.6.1 Válvulas motorizadas.

Las válvulas asociadas a los estanques son de control ON/OFF, donde todas se controlan mediante cableado directo y cuyas señales de entrada y salida son las siguientes:

- **Señales de Entrada:**

- Válvula Abierta: Indica válvula totalmente abierta.
- Válvula Cerrada: Indica válvula totalmente cerrada.
- Local/Remoto: Indica válvula en habilitada para control local/manual o remoto mediante comandos de PLC.

- **Señales de Salida:**

- Abrir: Comando que energiza el circuito de apertura de la válvula.
- Cerrar: Comando que energiza el circuito de cierre de la válvula.

Estas señales físicas provenientes de terreno se integran en la lógica de control del PLC, interactuando adicionalmente con las señales de comunicación Modbus intercambiadas con el sistema DCS.

La lógica de funcionamiento incorpora un contador de tiempo destinado a medir la duración de las maniobras de apertura y cierre de cada válvula, considerando que este tiempo varía según el modelo y características de cada actuador. Además, el sistema incluye un conjunto de alarmas de diagnóstico que permiten detectar condiciones anómalas durante la operación y pueden ser reseteadas por el operador en DCS. Entre ellas se encuentra:

- **Falla Recorrido:** Se activa cuando la válvula no alcanza su posición final (abierta o cerrada) dentro del tiempo máximo permitido, indicando un posible atasco del actuador.
- **Falla de Actuador:** Se genera cuando los sensores de posición reportan simultáneamente estados contradictorios (abierta y cerrada a la vez), lo que sugiere en el actuador.
- **Falla de Operación:** Aparece cuando la válvula, estando en modo remoto y sin existir un comando activo, pierde su estado de apertura o cierre, reflejando una operación inesperada o no autorizada.

La Figura 2-5 presenta un diagrama de flujo que detalla la operación y supervisión correspondiente.

Figura 2-5. Diagrama de flujo – Funcionamiento Válvulas motorizadas.

2.6.2 Agitadores/Motores

Los motores asociados a los agitadores del estanque operan bajo una lógica de control ON/OFF, similar a la utilizada para las válvulas motorizadas. Su accionamiento depende de un circuito de control eléctrico mediante contactor donde la supervisión y ejecución son llevadas a PLC mediante relés. Las señales involucradas son las siguientes:

- **Señales de Entrada:**

- Estado Agitador: Indica si el agitador se encuentra en funcionamiento (ON) o detenido (OFF). Este estado proviene directamente del circuito de realimentación del contactor.

- **Señales de Salida:**

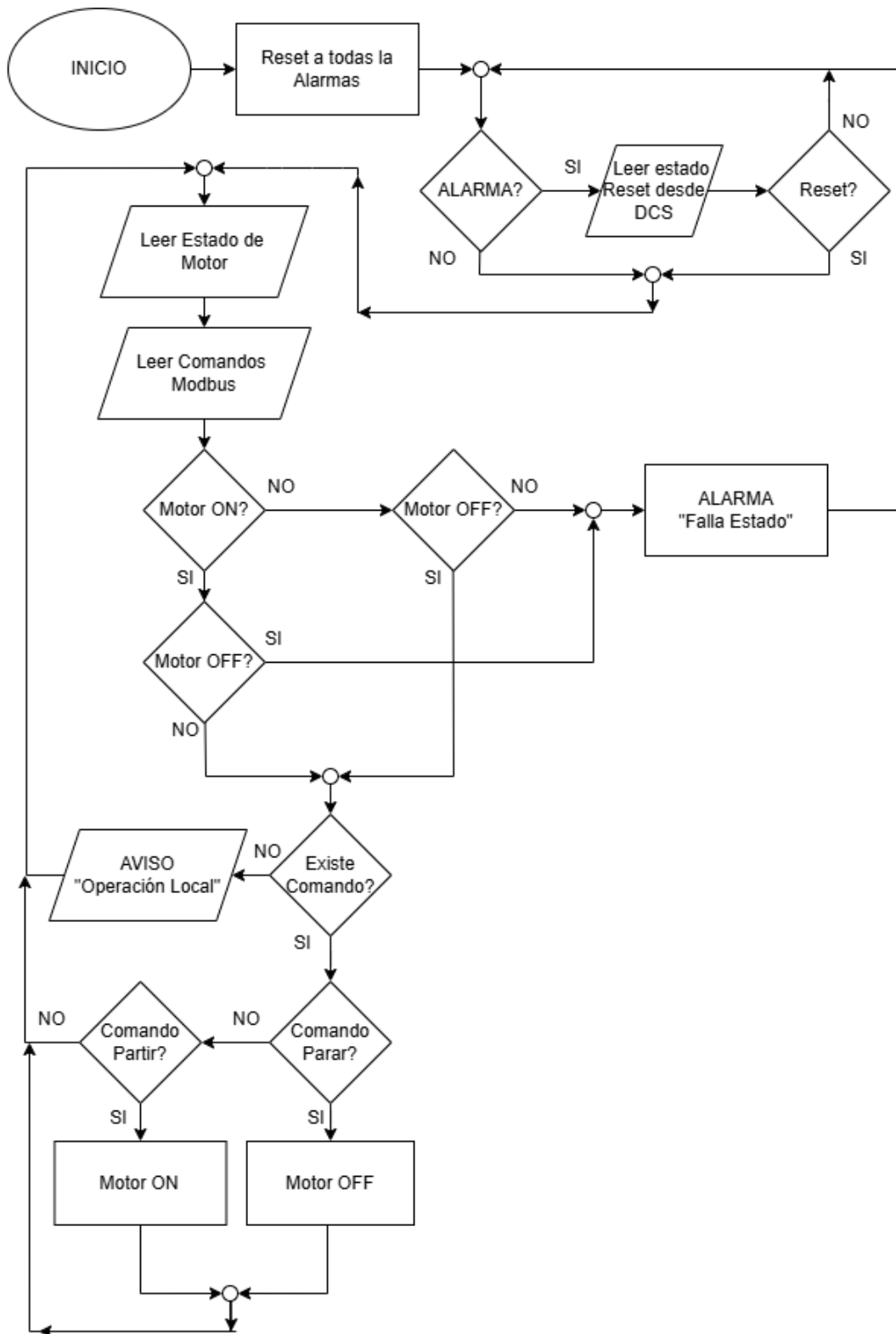
- Partir Agitador: Comando que energiza el circuito eléctrico para iniciar la operación del agitador.
- Parar Agitador: Comando que desenergiza el circuito eléctrico, deteniendo movimiento del agitador.

Las señales provenientes de terreno se integran en la lógica de control del PLC, interactuando con los comandos enviados desde el DCS mediante Modbus, siguiendo un esquema similar al aplicado en las válvulas motorizadas.

La lógica de funcionamiento es más sencilla debido a que el agitador cuenta con una sola señal de estado. Por esta razón, solo se requiere una alarma asociada a la supervisión del dispositivo:

- **Falla Estado:** Se activa cuando el sistema detecta una condición inválida en el estado del motor, ya sea porque no presenta ninguno de los estados esperados (ni ON ni OFF), lo cual indica una falla en la realimentación del contactor, cableado de control o fusible fundido, o porque ambos estados aparecen simultáneamente, garantizando que el PLC nunca opere sobre información inconsistente.

En la Figura 2-6 se presenta el diagrama de flujo que detalla la operación y supervisión correspondiente.



Fuente: Elaboración propia en <https://www.drawio.com/>

Figura 2-6. Diagrama de flujo – Funcionamiento de motores.

2.6.3 Alumbrado

El sistema de alumbrado de ambos estanques opera bajo una lógica de control ON/OFF, similar a la utilizada en válvulas y agitadores, aunque con una estructura más simple debido a la existencia de un único punto de supervisión. En este caso, el sistema cuenta con una señal de entrada y una señal de salida, definidas de la siguiente manera:

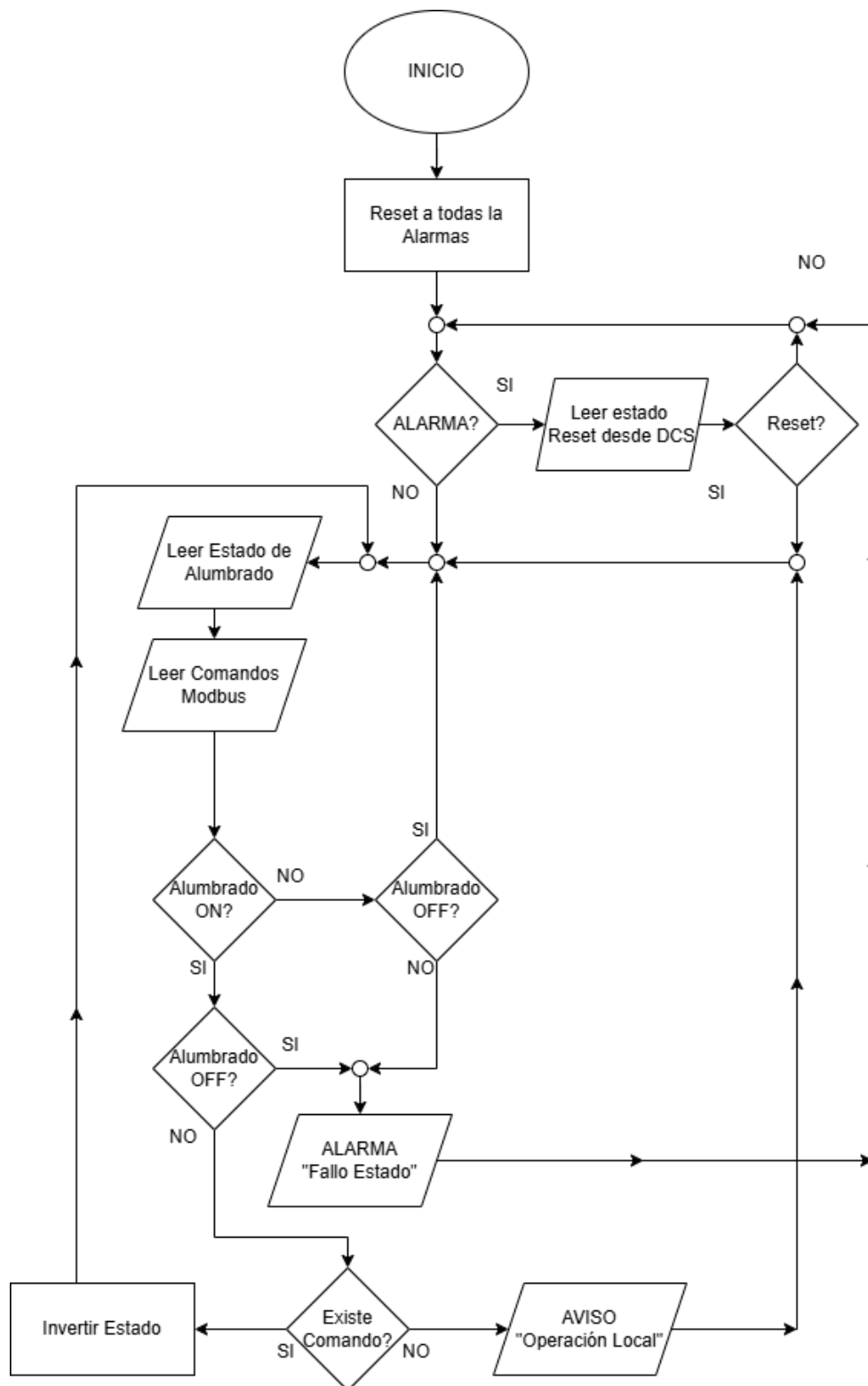
- **Señal de Entrada:**
 - Estado Alumbrado: Indica si el alumbrado se encuentra encendido (ON) o apagado (OFF). Este estado proviene directamente del circuito de alumbrado llegando a PLC mediante relé.
- **Señal de Salida:**
 - Encendido/Apagado: Comando que activa o desactiva alumbrado, actuando esencialmente como interruptor digital.

Dado que el sistema de alumbrado dispone únicamente de una señal de estado, al igual que el caso anterior, la lógica de supervisión es más sencilla y contempla una sola condición de alarma:

- **Falla Estado:** Se activa cuando el sistema detecta una condición inválida en el estado del alumbrado, ya sea porque no presenta ninguno de los estados esperados (ni ON ni OFF), lo cual indica una falla en el cableado de control o fusible fundido, o porque ambos estados aparecen simultáneamente, garantizando que el PLC nunca opere sobre información inconsistente.

Debido a que existe solo una señal de salida que controla el encendido y apagado, la lógica de operación se basa simplemente en invertir el estado actual del alumbrado cuando se recibe un comando desde el DCS.

La Figura 2-7 presenta el diagrama de flujo que detalla la operación y supervisión correspondiente.



Fuente: Elaboración propia en <https://www.drawio.com/>

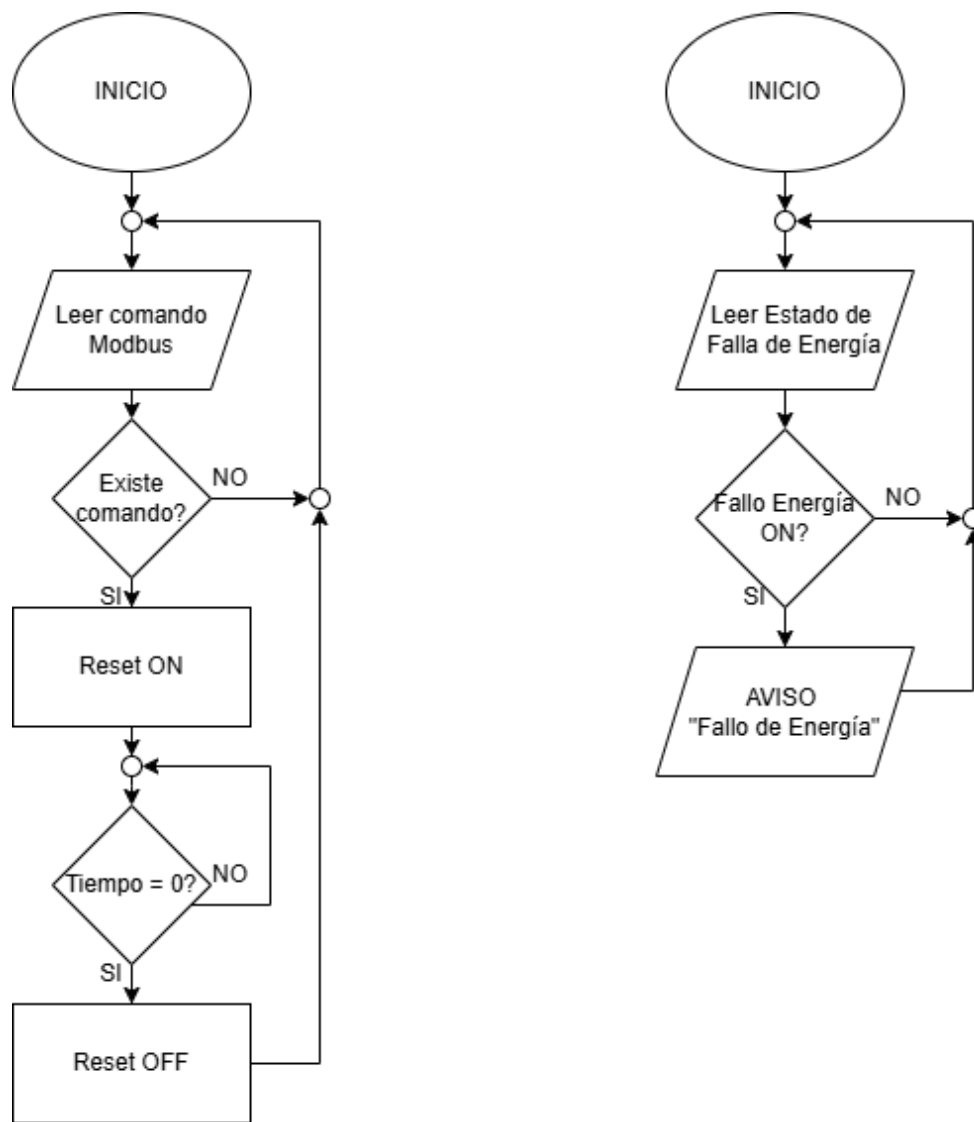
Figura 2-7. Diagrama de flujo – Funcionamiento Alumbrado

2.6.4 Reset y Falla de energía

El reset de telemedida actúa sobre la alimentación eléctrica de los equipos de medición de nivel de los estanques, utilizando un relé intermedio para interrumpir y restablecer la energía de forma controlada. Esta acción permite forzar la reinicialización de los transmisores, lo cual resulta útil cuando presentan lecturas erráticas, datos congelados o fallas de comunicación. El comando consiste en abrir el circuito de alimentación durante un tiempo predeterminado y luego restablecer automáticamente la energía, asegurando que los equipos retomen su operación normal sin intervención manual.

Por otro lado, el estado de falla de energía proviene de contacto auxiliar proporcionado por la fuente de poder, el cual indica pérdida en la alimentación principal de 220 VAC o falla interna de la fuente. Esta señal le da aviso a sala de control y permite poder dar una respuesta temprana evitando afectar la continuidad operativa o comprometer la disponibilidad del sistema de control.

La Figura 2-8 muestra los diagramas de flujo correspondientes a ambas lógicas, detallando el proceso de reset y la supervisión de falla de energía.



Fuente: Elaboración propia en <https://www.drawio.com/>

Figura 2-8. Diagrama de flujo – Funcionamiento Reset y Fallo de energía

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE COSTOS

3 EVALUACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se detallan los costos asociados al diseño propuesto, considerando los valores de hardware, software y costos de ejecución del proyecto. Asimismo, se exponen los fundamentos técnicos y económicos que justifican su implementación, destacando los beneficios esperados y la necesidad de llevar a cabo la solución planteada.

3.1 CONTRATO DE MANTENCIÓN

Dado que el proyecto corresponde a un desarrollo realizado con participación de actores internos de ENAP, la evaluación de costos se basa en los alcances definidos en el contrato vigente de mantención eléctrica, electrónica e instrumentación. En este marco, se consideran los porcentajes establecidos para la adquisición de materiales y equipos, así como los costos asociados a la ejecución de los trabajos, los cuales se expresan en horas hombre (HH) conforme a las condiciones contractuales actuales.

Asimismo, con el fin de mantener la trazabilidad económica y facilitar la comparación en el tiempo, todos los valores presentados se expresan tanto en moneda corriente como en su respectiva conversión a UF, considerando como referencia el valor de la UF al 20 de mayo del 2026 (\$40.424,99).

Este enfoque permite realizar una estimación de costos realista y alineada con los mecanismos internos de contratación, asegurando coherencia con los procesos administrativos y técnicos utilizados por la organización.

Por razones de confidencialidad, no se incluyen citas textuales de los apartados contractuales ni se hace referencia explícita a las empresas proveedoras de servicios de mantención involucradas.

3.1.1 Compra de equipos

La adquisición de equipos considera la aplicación de un porcentaje de recargo asociado a la gestión del proceso de compra, el cual se encuentra estructurado en cuatro rangos definidos según el costo neto total. Dichos rangos establecen que, a medida que el valor de adquisición aumenta, el porcentaje de recargo aplicado disminuye, optimizando así los costos asociados a compras de mayor envergadura.

La Tabla 3-1 presenta el detalle de estos rangos de costos y los porcentajes de recargo correspondientes, permitiendo una comprensión clara del criterio utilizado para la estimación de los costos de adquisición.

Tabla 3-1 Recargo por gestión de compra.

Costo Neto de la compra	% de Recargo
0 - 3.000.000	15%
3.000.001 – 6.000.000	12%
6.000.000 – 10.000.000	10%
10.000.000 – 150.000.000	8%

Fuente: Elaboración propia en base a valores de contrato de mantención.

3.1.2 Análisis de precio unitario

El Análisis de Precio Unitario (APU) es una herramienta utilizada dentro del contrato de mantención para la valorización de trabajos que no se encuentran contemplados dentro de los alcances contractuales originales y, por lo tanto, no disponen de un tarifado fijo preestablecido. Este mecanismo permite realizar la facturación de actividades específicas en función de Horas Hombre (HH), proporcionando un criterio transparente y estandarizado para la estimación de costos.

El APU considera los valores horarios del personal involucrado, de acuerdo con su especialidad y nivel técnico, así como también los costos asociados al uso de herramientas,

equipos auxiliares y materiales consumibles menores necesarios para la ejecución de los trabajos. De esta manera, se obtiene una valorización integral que refleja de forma más precisa el esfuerzo real requerido para cada actividad.

En la Tabla 3-2 se presenta el detalle de los valores establecidos por contrato para el APU, los cuales sirven como base para el cálculo de los costos de ejecución considerados en el presente proyecto.

Tabla 3-2 Valores establecidos en APU

Mano de Obra		
Descripción	Valor Unitario (HH)	Valor Unitario en UF (HH)
Técnico Electrónico	\$17.231	UF 0,43
Técnico Electrónico 2	\$14.737	UF 0,36
Supervisor	\$21.236	UF 0,53
Calidad, Prevención, Ingeniero en control e instrumentación.	\$17.231	UF 0,43
Equipos		
Descripción	Valor Unitario (HH)	
Equipos y Herramientas	\$300	UF 0,007
Elementos de protección personal	\$500	UF 0,012
Utilización de Vehículos	\$7.792	UF 0,19
Materiales		
Descripción	Valor Unitario (HH)	
Consumibles y materiales menores	\$593	UF 0,015

Fuente: Elaboración propia en base a valores de contrato de mantención.

En el caso del ítem correspondiente a equipos y materiales, estos se valorizan considerando la misma cantidad de Horas Hombre (HH) asociadas a la mano de obra, dado que su uso está directamente vinculado al tiempo de ejecución de las actividades. Esta valorización contempla aspectos como el desgaste de herramientas y equipos, el uso de elementos de

protección personal (EPP) y la disponibilidad de vehículos y medios de transporte necesarios para la correcta ejecución de los trabajos.

De igual forma, los materiales consumibles menores incluidos en este apartado corresponden a insumos de uso frecuente, tales como cintas aislantes, conectores, lápices, elementos de marcación y otros materiales auxiliares, los cuales, por su bajo costo individual, no se valorizan de manera separada, sino que se incorporan dentro del cálculo global del APU.

3.2 COSTO DE HARDWARE

El diseño propuesto contempla la utilización de hardware de la marca Schneider Electric, específicamente de la línea Modicon M340, en concordancia con los criterios de compatibilidad y estandarización definidos previamente. En consideración a esta selección tecnológica, se realizaron cotizaciones de todos los equipos requeridos a través de un distribuidor oficial de Schneider Electric en Chile, correspondiente a Dartel Electricidad, lo que permite contar con valores referenciales actualizados y alineados con el mercado nacional.

Las cotizaciones fueron obtenidas directamente desde la plataforma web del proveedor (véase [Anexo A](#)), asegurando transparencia y trazabilidad en la estimación de costos. En la Tabla 3-3 se presenta el detalle de los equipos considerados, junto con sus respectivos valores cotizados.

Tabla 3-3 Costo de equipos.

Tabla de Costos de Equipos					
Equipo	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Costo UF
BMXP342020	Módulo CPU	1	\$ 2.838.089	\$ 2.838.089	UF 70,21
BMXCPS3020	Fuente de Poder	1	\$ 1.733.453	\$ 1.733.453	UF 42,88
BMEXBP1200	Rack 12 Slot	1	\$ 1.010.547	\$ 1.010.547	UF 25,00
BMXNOM0200	Módulo Comunicación	1	\$ 2.271.389	\$ 2.271.389	UF 56,19
BMXDDI1602	Módulo Entrada	2	\$ 461.646	\$ 923.292	UF 22,84
BMXDRA0815	Módulo Salida	3	\$ 826.964	\$ 2.480.892	UF 61,37
Total				\$11.257.662	UF 278,48
Total con Recargo				\$12.158.275	UF 300,76

Fuente: Elaboración propia en base a precios en <https://www.dartel.cl/>

Los precios cotizados consideran el Impuesto al Valor Agregado (IVA) incluido. Adicionalmente, y en conformidad con los porcentajes de recargo asociados a la gestión de compra, se aplica un 8 % adicional sobre el costo total, de acuerdo con los rangos establecidos previamente en la Tabla 3-1.

3.3 COSTO DE SOFTWARE

Para llevar a cabo la programación de los equipos Modicon M340, es necesario disponer de software específico del fabricante, el cual contempla un costo asociado por concepto de licencia de uso. En este contexto, Schneider Electric ofrece el software *EcoStruxure Control Expert XL*, herramienta oficial para el desarrollo de aplicaciones de automatización, diagnóstico y mantenimiento de PLC de la familia Modicon, disponible en distintos paquetes de licencias digitales, que van desde 1 hasta 100 usuarios, según las necesidades del proyecto.

A través del distribuidor oficial en Chile, Dartel Electricidad, es posible adquirir licencias digitales individuales, las cuales resulta suficiente la adquisición de una licencia individual, considerando que el desarrollo está orientado a un entorno de trabajo con un número acotado de participantes, sin requerimientos de programación simultánea por múltiples usuarios. La cotización de esta licencia se obtiene directamente desde la plataforma web del distribuidor, donde los precios se encuentran actualizados e incluyen IVA.

En la Tabla 3-4 se presenta el costo del software cotizado, el cual se incorpora al análisis de costos.

Tabla 3-4 Costo de Software.

Tabla de Costos de Software					
Código	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Costo UF
CEXSPUCZXSPAZZ	Software EcoStruxure Control Expert XL	1	\$5.139.548	\$5.139.548	UF 127,14
Total				\$5.139.548	UF 127,14
Total con Recargo				\$5.756.294	UF 142,39

Fuente: Elaboración propia en base a precios en <https://www.dartel.cl/>

De igual manera, y en conformidad con los porcentajes asociados a la gestión de compra establecidos en el contrato de mantenimiento, se aplica un recargo adicional del 12 % sobre el costo total del software, de acuerdo con los rangos definidos previamente en la Tabla 3-1.

3.4 COSTO DE EJECUCIÓN

Para estimar un costo de ejecución del proyecto, se hace necesario realizar una estimación de las actividades a realizar y los tiempos de desarrollo de cada una para de esta manera generar un Análisis de precio unitario con las HH totales.

3.4.1 Actividades y tiempos

Para el presente análisis no se consideran los tiempos asociados a las etapas de planificación, preparación, gestión administrativa ni adquisición de equipos, dado que dichas actividades no generan costos adicionales fuera de los alcances definidos en el contrato de mantenimiento eléctrica, electrónica e instrumentación vigente. Estos tiempos forman parte de la gestión regular del servicio y, por lo tanto, no impactan directamente en la evaluación de costos del proyecto.

Asimismo, la ingeniería de detalle, el análisis técnico y la definición de la solución han sido desarrollados previamente en el marco de este diseño, por lo que no se incorporan como ítems adicionales dentro del cálculo de horas hombre. En consecuencia, el análisis se enfoca exclusivamente en las actividades de ejecución técnica, las cuales abarcan desde la configuración y programación del PLC, pasando por las pruebas funcionales, hasta los ajustes finales y la puesta en servicio del sistema.

En la Tabla 3-5 se presenta el listado detallado de las actividades consideradas, junto con sus respectivos tiempos estimados de desarrollo, expresados tanto en días de trabajo como en Horas Hombre (HH), información que será utilizada posteriormente para la estimación y análisis de los costos asociados al proyecto.

Tabla 3-5 Actividades y tiempos de ejecución

Actividad	Tiempo de Ejecución (Días)	HH
1- Configuración, programación y pruebas		
Configuración de Hardware y direccionamiento (I/O)	2	16
Configuración comunicación Modbus	2	16
Programación de PLC	5	40
Simulación de Señales	3	24
Pruebas funcionales	2	16
Correcciones	2	16
2- Montaje e instalación en terreno		
Desmontaje PLC existente	1	8
Montaje de rack y módulos	1	8
Cableado de señales y comunicación	2	16
Energización y chequeos eléctricos	1	8
3- Puesta en Marcha		
Pruebas controladas e individuales	2	16
Pruebas de comunicación con DCS	1	8
Pruebas con operaciones	2	16
Ajustes finales	1	8
Total	27	216

Fuente: Elaboración propia en MS Excel basada en estimaciones propias.

Las HH estimadas diariamente son 8 horas considerando una jornada de trabajo normal del contrato de mantención de Lunes a Viernes de 8hrs a 17hrs y sirven como guía para el posterior análisis de precio unitario (APU).

El total de la ejecución considera 27 días hábiles de trabajo por lo que se contemplan más de 1 mes de ejecución.

3.4.2 Estimación de costos en APU

En base a los tiempos estimados en HH presentados en la Tabla 3-5 se realiza un análisis de precio unitario (APU) basado en los valores establecidos en la Tabla 3-2.

Para la correcta aplicación de este análisis, resulta necesario definir la dotación de personal requerida para la ejecución de las actividades previamente descritas, considerando los

distintos perfiles técnicos y su nivel de dedicación al proyecto. La asignación de recursos humanos se establece de la siguiente manera:

- Técnico electrónico: Jornada completa.
- Técnico electrónico 2: Jornada completa.
- Supervisor: Media Jornada.
- Calidad, Prevención e Ingeniero en Control e Instrumentación: Media Jornada.

La ejecución técnica del proyecto considera una pareja de técnicos, conformada por un técnico electrónico y un técnico electrónico 2, quienes participan con dedicación exclusiva y jornada completa, asegurando la continuidad de los trabajos y el cumplimiento de los plazos establecidos.

Por su parte, los roles de supervisión, aseguramiento de calidad, prevención de riesgos e ingeniería se consideran con media jornada, dado que corresponden a recursos compartidos entre las actividades regulares del contrato de mantenimiento y el desarrollo del proyecto. Esta modalidad permite optimizar el uso de recursos, manteniendo el control de los costos sin comprometer los estándares técnicos ni de seguridad requeridos.

Tabla 3-6 Análisis de precio unitario de proyecto.

Mano de Obra					
Descripción	Valor Unitario (HH)	Cantidad	HH	Costo Total	Costo UF
Técnico Electrónico	\$ 17.231	1	216	\$ 3.721.896	UF 92,07
Técnico Electrónico 2	\$ 14.737	1	216	\$ 3.183.192	UF 78,74
Supervisor	\$ 21.236	1	108	\$ 2.293.488	UF 56,73
Calidad, Prevención, Ingeniero en Control e Instrumentación	\$ 17.321	3	108	\$ 5.612.004	UF 138,83
Equipos					
Descripción	Valor Unitario (HH)	Cantidad	HH	Costo Total	Costo UF
Equipos y Herramientas	\$ 300	2	216	\$ 129.600	UF 3,21
Elementos de protección personal	\$ 500	4	216	\$ 432.000	UF 10,69
Utilización de Vehículos	\$ 7.792	27	1	\$ 210.384	UF 5,20
Materiales					
Descripción	Valor Unitario (HH)	Cantidad	HH	Costo Total	Costo UF
Consumibles y materiales menores	\$ 593	2	216	\$ 256.176	UF 6,34
Total				\$15.838.740	UF 391,81

Fuente: Elaboración propia en MS Excel

La Tabla 3-6 presenta el resultado del APU, reflejando los costos asociados a la totalidad de las HH requeridas para la ejecución del proyecto, en función de la dotación de personal definida.

Los equipos, herramientas y elementos de protección personal (EPP) se consideran con la misma cantidad total de Horas Hombre (HH) del proyecto, dado que su uso es permanente y transversal durante toda la ejecución de las actividades, estando directamente vinculados tanto al desarrollo de los trabajos como a la seguridad de los participantes. De igual forma, los consumibles y materiales menores se incorporan bajo este mismo criterio, considerando su utilización continua a lo largo de las distintas etapas del proyecto.

En cuanto a los EPP, la dotación considerada corresponde a cuatro personas, ya que, además del personal técnico directamente involucrado en la ejecución, se contempla la participación del supervisor y del prevencionista de riesgos, quienes también requieren el uso de estos elementos conforme a la normativa de seguridad vigente.

Por otra parte, la utilización de vehículos se considera como un costo diario, de acuerdo con los alcances definidos en el contrato de mantención. En este sentido, la cantidad estipulada refleja el total de días efectivos de uso, los cuales corresponden a 27 días, según el análisis previo de las actividades necesarias para la ejecución del proyecto.

3.5 COSTO TOTAL

Con el fin de facilitar la visualización del análisis económico, la Tabla 3-7 presenta el desglose de los costos según cada apartado considerado. Asimismo, se incorpora un costo adicional por concepto de imprevistos, equivalente al 10% del costo total estimado, con el propósito de mantener el control financiero del proyecto ante eventuales desviaciones o contingencias durante su ejecución.

Tabla 3-7 Costo Total

Costo Total			
Descripción	Monto	Monto en UF	
Costo Hardware	\$12.158.275	UF	300,76
Costo Software	\$ 5.756.294	UF	142,39
Costo Ejecución	\$15.838.740	UF	391,81
Costo Imprevistos	\$ 3.375.331	UF	83,50
Total	\$37.128.640	UF	918,46

Fuente: Elaboración propia en MS Excel

3.6 JUSTIFICACIÓN DEL GASTO

La inversión asociada al presente diseño se justifica principalmente por la necesidad de asegurar la continuidad operativa, confiabilidad y mantenibilidad del sistema de control de los estanques de productos finales TK-5006 y TK-5007 del Terminal Marítimo Quintero de ENAP.

Actualmente, el sistema de control se basa en PLCs obsoletos, descontinuados por el fabricante, sin disponibilidad de repuestos ni soporte técnico oficial, lo que representa un riesgo operacional elevado. Una eventual falla de estos equipos podría provocar la detención parcial o total de la operación, generando atrasos en la recepción y despacho de productos, con el consiguiente impacto económico asociado a pérdidas operacionales, penalizaciones contractuales y mayores tiempos de recuperación.

El gasto propuesto permite anticiparse a escenarios de falla crítica, reemplazando tecnología obsoleta por una plataforma vigente, estandarizada y con soporte a largo plazo. Asimismo, al tratarse de un desarrollo interno, se optimizan los costos al aprovechar los alcances del contrato de mantención vigente, reduciendo gastos asociados a licitaciones externas y tiempos administrativos adicionales.

Adicionalmente, la renovación del PLC facilita la transferencia de conocimiento al personal de mantención, disminuyendo la dependencia de un número reducido de especialistas y mejorando la capacidad de respuesta ante contingencias futuras. En este sentido, el gasto no solo responde a una necesidad técnica inmediata, sino que constituye una inversión estratégica,

orientada a mejorar la seguridad, confiabilidad y eficiencia operacional del terminal en el mediano y largo plazo.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo permitió analizar la situación actual del sistema de control de los estanques TK-5006 y TK-5007 del Terminal Marítimo Quintero, identificando como principal problemática la obsolescencia tecnológica de los PLC existentes, junto con la limitada disponibilidad de repuestos, la ausencia de soporte del fabricante y la dependencia de conocimiento especializado.

A partir de este diagnóstico, se evaluaron tres alternativas de solución, considerando criterios técnicos, operacionales y económicos, determinándose que la renovación del PLC mediante un diseño interno corresponde a la opción más adecuada. Esta alternativa destacó por su compatibilidad con la infraestructura existente, su viabilidad de implementación, su menor costo relativo y su capacidad de asegurar soporte y continuidad operativa en el tiempo.

El diseño propuesto, basado en la plataforma Schneider Electric Modicon M340, cumple con los requerimientos funcionales actuales del proceso, manteniendo la lógica de control ON/OFF y la comunicación Modbus con el sistema DCS, al mismo tiempo que permite estandarizar la tecnología, mejorar la mantenibilidad y facilitar futuras ampliaciones o replicaciones en otras áreas del terminal.

Desde el punto de vista económico, el análisis de costos demuestra que el proyecto es financieramente viable, al aprovechar los alcances del contrato de mantención vigente y focalizar los gastos en hardware, software y ejecución técnica. Asimismo, el tiempo estimado de implementación resulta compatible con la operación del terminal, sin requerir modificaciones significativas en la planificación operativa.

Finalmente, se concluye que el proyecto no solo da solución a una problemática puntual, sino que establece una base técnica sólida para la modernización gradual del sistema de control del Terminal Marítimo Quintero, contribuyendo a mejorar la confiabilidad, seguridad y sostenibilidad de la operación, alineándose con los objetivos estratégicos de ENAP.

BIBLIOGRAFÍA

ENAP. Terminal Marítimo Quintero. [En Línea]. <<https://www.enap.cl/nuestras-operaciones/supply-chain/terminal-maritimo-quintero>>. [Visitado: Septiembre 2025].

Schneider Electric Chile [En Línea]. < <https://www.se.com/cl/es/> > [Visitado: Octubre 2025].

Dartel Electricidad [En Línea]. < <https://www.dartel.cl/> > [Visitado: Mayo 2026].

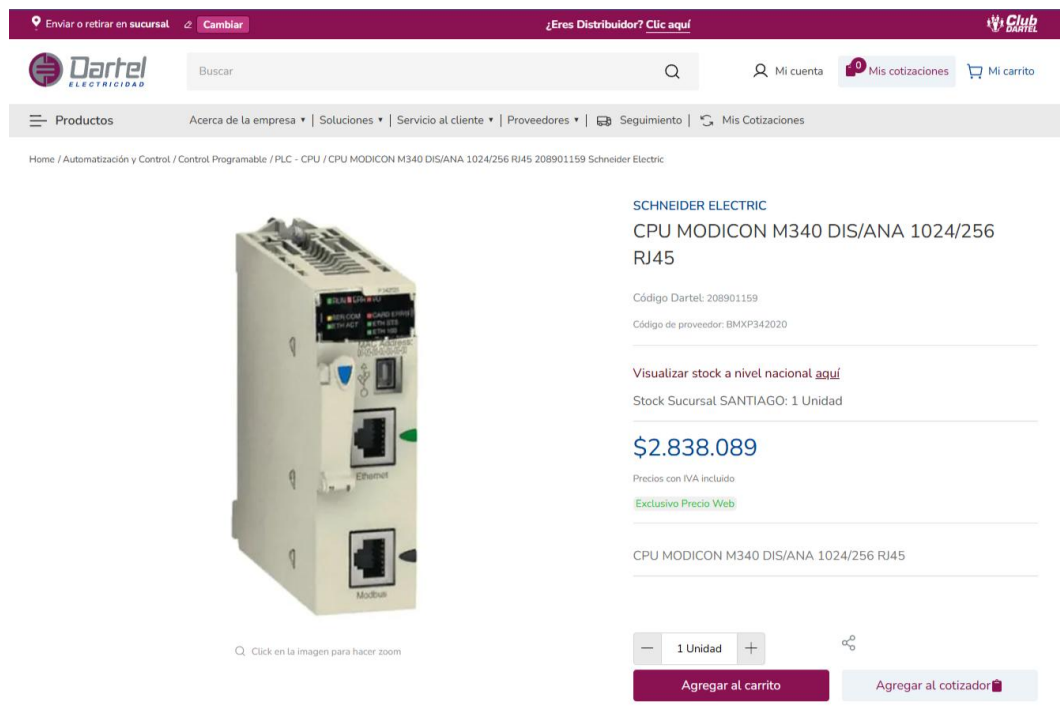
Servicio de Impuestos Internos (SII) Valor UF 2025 [En Línea]
<https://www.sii.cl/valores_y_fechas/uf/uf2026.htm> [Visitado: Mayo 2026].

ANEXOS

4 ANEXO A

Se presentan a continuación capturas de pantalla de las cotizaciones realizadas a través de la pagina web de Dartel Electricidad, con precios actualizados a Mayo 2026.

Se toman como referencias precios normales y no precios en ofertas como en el caso de la Figura 4-3.



Enviar o retirar en sucursal [Cambiar](#) ¿Eres Distribuidor? [Clic aquí](#) 

 Buscar  [Mi cuenta](#) [Mis cotizaciones](#) [Mi carrito](#)

[Productos](#) [Acerca de la empresa](#) [Soluciones](#) [Servicio al cliente](#) [Proveedores](#) [Seguimiento](#) [Mis Cotizaciones](#)

Home / Automatización y Control / Control Programable / PLC - CPU / CPU MODICON M340 DIS/ANA 1024/256 RJ45 208901159 Schneider Electric



Click en la imagen para hacer zoom

SCHNEIDER ELECTRIC
CPU MODICON M340 DIS/ANA 1024/256 RJ45

Código Dartel: 208901159
Código de proveedor: BMXP342020

[Visualizar stock a nivel nacional aquí](#)
Stock Sucursal SANTIAGO: 1 Unidad

\$2.838.089
Precios con IVA incluido
[Exclusivo Precio Web](#)

CPU MODICON M340 DIS/ANA 1024/256 RJ45

1 Unidad 

[Agregar al carrito](#) [Agregar al cotizador](#)

Figura 4-1 Módulo CPU Modicon M340 BMXP342020

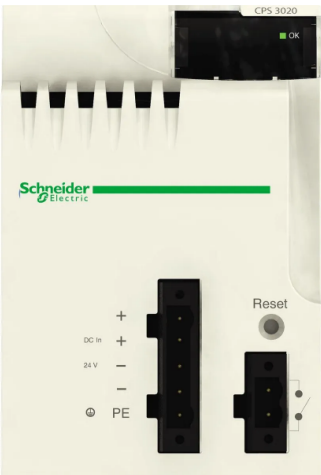
Enviar o retirar en sucursal [Cambiar](#) ¿Tienes un proyecto de energía renovable? [Clic aquí](#) **Club DARTTEL**

Dartel ELECTRICIDAD

Buscar

Productos Acerca de la empresa | Soluciones | Servicio al cliente | Proveedores | Seguimiento | Mis Cotizaciones

Home / Automatización y Control / Fuentes de Poder / Independientes / FUENTE PODER MODICON M340 24-48VCC 32W 208901259 Schneider Electric



SCHNEIDER ELECTRIC
FUENTE PODER MODICON M340 24-48VCC 32W

Código Dartel: 208901259
 Código de proveedor: BMXCPS3020
Visualizar stock a nivel nacional [aquí](#)

Stock Sucursal SANTIAGO: 0 Unidad

\$1.733.453

Precios con IVA incluido

Quiero saber cuando este producto está disponible

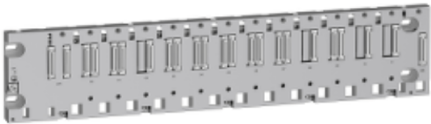
Fuente poder modicon m340 24-48vcc 32w

Figura 4-2 Módulo Fuente de Poder BMXCPS3020

Dartel ELECTRICIDAD

Buscar

Home / Automatización y Control / Otros / Otros / RACK MODICON X80 12 RAN PLACA POSTERIOR ETHERNET 208919559 Schneider Electric



SCHNEIDER ELECTRIC
RACK MODICON X80 12 RAN PLACA POSTERIOR ETHERNET

Código Dartel: 208919559
 Código de proveedor: BMEXBP1200

~~\$1.010.547~~ **45% OFF**
\$555.801

Precios con IVA incluido

Exclusivo Precio Web

Rack modicon x80 12 ran placa posterior ethernet

Figura 4-3 Rack 12 Slots Modicon x80 BMEXBP1200

Enviar o retirar en sucursal Cambiar ¿Eres Tablerista? Clic aquí Club Dartel

Dartel ELECTRICIDAD

Buscar

Mi cuenta Mis cotizaciones Mi carrito

Productos Acerca de la empresa Soluciones Servicio al cliente Proveedores Seguimiento Mis Cotizaciones

Home / Automatización y Control / Otros / Otros / M340 MOD. 2 MB RS485/232 208885959 Schneider Electric



SCHNEIDER ELECTRIC
M340 MOD. 2 MB RS485/232

Código Dartel: 208885959
Código de proveedor: BMXNOM0200
Visualizar stock a nivel nacional [aquí](#)
Stock Sucursal SANTIAGO: 0 Unidad

\$2.271.389

Precios con IVA incluido

Este producto no está disponible actualmente
Quiero saber cuando este producto está disponible

Nombre E-mail Enviar

Agregar al cotizador

M340 MOD. 2 MB RS485/232

Click en la imagen para hacer zoom

Figura 4-4 Módulo comunicación RS485/232 BMXNOM0200

Enviar o retirar en sucursal Cambiar Outlet Dartel - Más de 10.000 productos con hasta un 90% de descuento Clic aquí Club Dartel

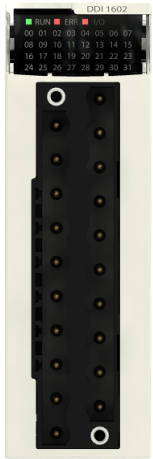
Dartel ELECTRICIDAD

Buscar

Mi cuenta Mis cotizaciones Mi carrito

Productos Acerca de la empresa Soluciones Servicio al cliente Proveedores Seguimiento Mis Cotizaciones

Home / Automatización y Control / Control Programable / PLC - Modulos de Comunicación / MODULO M340 16 ENT DIG 24VCC 208882559 Schneider Electric



SCHNEIDER ELECTRIC
MODULO M340 16 ENT DIG 24VCC

Código Dartel: 208882559
Código de proveedor: BMXDDI1602
Visualizar stock a nivel nacional [aquí](#)
Stock Sucursal SANTIAGO: 0 Unidad

\$461.646

Precios con IVA incluido

Este producto no está disponible actualmente
Quiero saber cuando este producto está disponible

Nombre E-mail Enviar

Agregar al cotizador

MODULO M340 16 ENT DIG 24VCC

Click en la imagen para hacer zoom

Figura 4-5 Módulo Entrada digitales 24VDC BMXDDI1602

Enviar o retirar en sucursal

Cambiar

Outlet Dartel - Más de 10.000 productos con hasta un 90% de descuento [Clic aquí](#)

 Club DARTEL

Mi cuenta
 Mis cotizaciones
 Mi carrito

[Productos](#)
[Acerca de la empresa ▾](#)
[Soluciones ▾](#)
[Servicio al cliente ▾](#)
[Proveedores ▾](#)
 [Seguimiento](#)
 [Mis Cotizaciones](#)

Home / Automatización y Control / Otros / MODULO DIGITAL 8Q 125VDC/250VAC ISOLATED RELAYS 20863759 Schneider Electric



SCHNEIDER ELECTRIC

MODULO DIGITAL 8Q 125VDC/250VAC ISOLATED RELAYS

Código Dartel: 20863759
Código de proveedor: BMXDRA0815

Visualizar stock a nivel nacional [aquí](#)

Stock Sucursal SANTIAGO: 0 Unidad

\$826.964

Precios con IVA incluido

Este producto no está disponible actualmente

Quiero saber cuando este producto está disponible

MODULO DIGITAL 8Q 125VDC/250VAC ISOLATED RELAYS

Click en la imagen para hacer zoom

Figura 4-6 Módulo Salidas digitales Relés BMXDRA0815