



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL REMOTO DEL
SISTEMA DE BOMBEO HÍDRICO DEL POZO N°11 EN SCM CAROLA**

Bianca Priscila Farfán Álvarez

Copiapó, Chile 2025



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL REMOTO DEL
SISTEMA DE BOMBEO HÍDRICO DEL POZO N°11 EN SCM CAROLA**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
ingeniería de ejecución en instrumentación y automatización industrial.

Profesor guía: Sr. José Sebastián Rojas Gallardo.

Bianca Priscila Farfán Álvarez

Copiapó, Chile 2025

DEDICATORIA

Le dedico este proyecto, y todo lo que representa, a las personas más importantes de mi vida.

A mis padres, pilares esenciales en mi camino. Cada logro alcanzado a lo largo de mi educación lleva una parte de ustedes, porque su apoyo y amor estuvieron presentes en cada etapa de mi crecimiento.

A mis hermanos, quienes han sido mi compañía constante en cada momento. Gracias por sus palabras, consejos y por motivarme a seguir adelante.

Finalmente, me lo dedico a mí misma, por no rendirme, por aprender a confiar en mis capacidades y por dar cada día un paso hacia esta gran meta. Este logro también es fruto de mi esfuerzo, disciplina y fortaleza.

Bianca Priscila Farfan Álvarez

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que estuvieron a mi lado de una u otra manera durante la realización de este proyecto y en el cierre de esta etapa tan importante en mi vida.

En especial, quiero agradecer profundamente a mis padres, Jessica y Enrique, quienes han sido mi mayor ejemplo. Gracias por enseñarme que el esfuerzo, la disciplina y la perseverancia siempre dan fruto. Por su amor incondicional y por creer en mis capacidades y habilidades. Cada avance lleva su apoyo incondicional, los quiero con todo mi corazón.

A mis hermanos, quienes han sido parte fundamental en mi vida. Gracias por su compañía, sus palabras de ánimo y por brindarme siempre un espacio de cariño y comprensión.

A mi pareja, agradezco su cariño y apoyo durante este proceso. Gracias por escucharme, por animarme y celebrar cada logro, por pequeño que fuera.

Agradezco a mi grupo de trabajo ya que los conocimientos que he adquirido trabajando junto a ellos fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Dedico también el esfuerzo a todas las personas que, con gestos, palabras y enseñanzas aportaron de alguna manera en este proceso. Entre ellos agradezco a los profesores que, de alguna manera, me brindaron orientación y apoyo cuando lo necesitaba.

Bianca Priscila Farfán Álvarez

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Síntesis del proyecto	1
1.2 Objetivo General	2
1.3 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Alcances	2
1.5 Consideraciones de la propuesta	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Función Planta Cerrillos.....	4
2.2 Recuperación de agua y recirculación de agua	5
2.2.1 Fiscalización por la dirección general de aguas (DGA).....	5
2.3 Sistema de Bombeo Hídrico Pozo	7
2.3.1 Principio de funcionamiento	7
2.3.2 Componentes Principales	7
2.3.3 Parámetros operacionales.....	7
2.4 Automatización y Control Industrial.....	8
2.4.1 Conceptos Generales.....	8
2.4.2 Controlador Lógico Programable (PLC).....	9
2.4.3 Estructura	10
2.4.4 Tipos de PLC	11
2.4.4.1 PLC Compacto	11
2.4.4.2 PLC Modular.....	12
2.5 Funcionamiento básico.....	13
2.6 Comunicación industrial	14
2.7 Símbolo de sistema (CMD).....	15
2.8 Paquetes ICMP.....	15
2.9 Comando “PING” (Packet Internet Groper)	16
2.10 Dirección IP	16
2.10.1 IP estática en redes industriales.....	17

2.11 Enlace inalámbrico con antenas	17
2.11.1 Enlace punto a punto (PtP).....	17
2.11.2 Enlace punto a multipunto (PtMP).....	18
2.12 Banda de 5 Ghz	18
2.13 PoE (Power over Eterneth).....	19
2.14 Switch de red industrial.....	19
2.15 Lenguajes de programación (Norma IEC 61131-3).....	20
2.16 Software de programación	21
2.17 Señal digital y analógica	21
2.17.1 Señal digital.....	21
2.17.2 Señal análoga	22
2.18 Tratamiento de señales analógicas	23
2.19 Escalamiento de señales (SCP)	23
2.20 Multiplicador de señal.....	24
2.21 Lazo de control.....	25
2.21.1 Lazo abierto.....	25
2.21.2 Lazo cerrado.....	26
2.21.3 Sensor.....	27
2.21.3.1 Sensor de nivel freático	27
2.21.3.2 Sensor de pozo seco	28
2.21.4 Variador de frecuencia	29
2.22 HMI.....	31
2.22.1 Funciones de un HMI en la industria	31
2.23 Control Local y Remoto.....	32
2.24 Softwares necesarios	33
2.24.1 Software de programación RSLogix 500.....	33
2.24.2 Software RSLinx Classic	33
2.24.3 Software para la confección de la HMI.....	34
2.25 Herramientas de calibración y medición.....	34
2.25.1 Calibrador Fluke 705.....	35
2.25.2 Multímetro Calibrador Fluke 789.	36
CAPÍTULO III	37

LEVANTAMIENTO DE CONDICIONES Y PROGRAMACIÓN	37
3.1 Requerimientos y levantamiento de condiciones para la partida remota del equipo	37
3.2 Selección de equipos y componentes a utilizar.....	37
3.2.1 PLC Allen- Bradley MicroLogix 1100	38
3.2.2 Módulo analógico 1762-IF4.....	39
3.2.3 HMI DELTA	39
3.2.4 Variador de frecuencia “ALTIVAR 630”	40
3.3 Programación del PLC	41
3.3.1 Configuración de entradas y salidas.....	41
3.3.2 Configuración de canal analógico.....	42
3.3.3 Subrutina de entradas y salidas digitales.....	43
3.3.4 Asignación de señales en el PLC	44
3.4 Programación de condiciones de arranque.....	45
3.5 Integración de señales analógicas de presión y flujo.	46
3.6 Confección HMI.....	47
3.6.1 Diseño de la interfaz.....	47
3.6.1.1 Selección de figuras e indicadores visuales	47
3.6.1.2 Asignación de las variables.....	49
3.7 Comunicación entre HMI Y PLC	50
3.8 Pruebas y validación	51
3.8.1 Montaje de pruebas	51
3.9 Validación de la lógica de control.....	52
CAPÍTULO IV	53
DESARROLLO Y PUESTA EN MARCHA	53
4.1 Montaje de elementos en gabinete.	53
4.2 Cableado.....	54
4.3 Carga de programa a PLC	55
4.4 Configuración de la HMI	55
4.5 Configuración de antenas inalámbricas NanoBeam 5AC Gen2	55
4.5.1 Emparejamiento y creación enlace PtP	56
CAPÍTULO V	57
EVALUACIÓN DE COSTOS Y FUTURAS MEJORAS	57

5.1 Costos de materiales y equipos	57
5.2 Costos mano de obra	58
5.3 Costo total proyecto	59
5.4 Análisis del impacto operativo y económico de la propuesta	59
5.5 Futuras mejoras	60
5.5.1 Control automático de nivel	60
5.5.2 Registro histórico de variables	61
CAPÍTULO VI.....	62
CONCLUSIONES	62
6.1 Conclusiones	62
BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°2.1: Ubicación Planta Cerrillos.	4
Figura N°2.2: Espesador de relave.	5
Figura N°2.3: DGA Y MOP.	6
Figura N°2.4: Ciclo de funcionamiento PLC.	9
Figura N°2.5: PLC Compacto.	11
Figura N°2.6: PLC Modular.	12
Figura N°2.7: Ciclo funcionamiento PLC.	13
Figura N°2.8: Protocolos de comunicación.	14
Figura N°2.9: CMD.	15
Figura N°2.10: Comando “PING”.	16
Figura N°2.11: Enlace punto a punto.	17
Figura N°2.12: enlace punto a multipunto.	18
Figura N°2.13: PoE.	19
Figura N°2.14: Switch de red industrial.	19
Figura N°2.15: Tipos de lenguajes de programación IEC61131-3.	20
Figura N°2.16: Señal digital.	21
Figura N°2.17: Señal análoga.	22
Figura N°2.18: Escalamiento SCP (Scale With Parameters).	23
Figura N°2.19: Multiplicador de señales.	24
Figura N°2.20: Multiplicador de señal.	24
Figura N°2.21: Lazo de Control Abierto.	25
Figura N°2.22: Lazo de Control Cerrado.	26
Figura N°2.23: Nivel freático.	27
Figura N°2.24: Variador de frecuencia.	29
Figura N°2.25: Diagrama básico de un variador de Frecuencia.	30
Figura N°2.26: HMI.	31
Figura N°2.27: Operación de forma Local.	32
Figura N°2.28: Operación modo Remoto.	32
Figura N°2.29: Software RSLogix 500.	33
Figura N°2.30: Software RSLinx Classic.	33

Figura N°2.31: Software DOPSoft.....	34
Figura N°2.32: Fluke 705.....	35
Figura N°2.33: Fluke 789.....	36
Figura N°3.1: PLC Allen-Bradley 1100.	38
Figura N°3.2: Módulo 1762-IF4.	39
Figura N°3.3: HMI Delta.	39
Figura N°3.4: VDF ALTIVAR 360 y características técnicas.....	40
Figura N°3.5: Configuración E/S.....	41
Figura N°3.6: Configuración módulo analógico.....	42
Figura N°3.7: Subrutinas de entradas y salidas digitales.....	43
Figura N°3.8: Captura pantalla Software RSLogix 500.	44
Figura N°3.9: Captura pantalla Software RSLogix 500.	44
Figura N°3.10: Condiciones de partida.....	45
Figura N°3.11: Escalamiento de señales analógicas.....	46
Figura N°3.12: Librerías de elementos.	47
Figura N°3.13: HMI estado 1.....	48
Figura N°3.14: HMI estado 0.....	48
Figura N°3.15: Configuración estados con imágenes.....	49
Figura N°3.16: Direccionamiento de lectura.	49
Figura N°3.17: Inicio HMI.....	50
Figura N°3.18: Banco de pruebas.	51
Figura N°4.1: Montaje de componentes y equipos.	53
Figura N°4.2: Antena local y remota.	56
Figura N°4.3: Configuración IP.	56
Figura N°6.1: Gráfico de tendencia	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°2.1: Ventajas automatización industrial	8
Tabla N°2.2: Características PLC Compacto.....	11
Tabla N°2.3: Características PLC Modular	12
Tabla N°2.4: Ventajas y desventajas de Lazos de control.	26
Tabla N°2.5: Características técnicas Fluke 705.	35
Tabla N°2.6: Características técnicas fluke 789.	36
Tabla N°3.1: Levantamiento de condiciones en terreno.	37
Tabla N°3.2: Características técnicas del PLC MicroLogix 1100.	38
Tabla N°5.1: Costo de materiales	57
Tabla N°5.2: Datos trabajador	58
Tabla N°5.3: Horas trabajadas	58

RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño de un sistema de control y monitoreo remoto para la operación del pozo N°11 de SCM Carola, con el fin de mejorar la seguridad del personal, disminuir los desplazamientos hacia el área y permitir una visualización clara de las variables del proceso desde una ubicación segura. En el Capítulo I, se presenta el contexto operativo del pozo, la importancia del recurso hídrico en Planta Cerrillos y los objetivos del proyecto, junto con los alcances, consideraciones y herramientas utilizadas. El Capítulo II reúne los fundamentos teóricos necesarios, abordando el funcionamiento del sistema de bombeo, conceptos de automatización industrial, controladores PLC, comunicación, variador de frecuencia y otros elementos asociados. En el Capítulo III se detalla el desarrollo práctico, levantamiento de señales en terreno, selección de los equipos, programación del PLC, integración de las variables analógicas, el diseño de la interfaz HMI y pruebas de comunicación entre dispositivos. También se describe la validación funcional del sistema mediante simulaciones en un banco de pruebas. El capítulo IV aborda la construcción del prototipo físico, donde se detalla la integración de los dispositivos en un gabinete y finalmente la configuración entre antenas para simular la comunicación real entre el pozo y la sala de control. El Capítulo V presenta la evaluación de costos del proyecto, considerando los materiales, equipos y la mano de obra involucrados en su desarrollo, así como el planteamiento de mejoras orientadas a ampliar las capacidades del sistema. Finalmente, en el Capítulo VI, se presentan las conclusiones generales.

CONTROL REMOTO– SEGURIDAD – MONITOREO- AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

ABSTRACT

This document presents the design and implementation of a remote control and monitoring system for Well No.11 of SCM Carola, aimed at improving personnel safety, reducing the need for on-site travel, and enabling clear visualization of process variables from secure location. Chapter I introduces the operational context of the well, the relevance of the water supply system at Planta Cerrillos, and the objectives, scope, and tools used throughout the project. Chapter II provides the theoretical framework, including the operation of pumping system, fundamentals of industrial automation, PLC architecture, communication methods, variable-frequency drives, and other related components involved. Chapter III describes the practical development of the system: field signal identification, equipment selection, PLC programming, integration of analog variables, HMI design, and communication tests between devices. Functional validation was carried out through a prototype assembled to simulate real operating conditions. Chapter IV presents the construction of the physical prototype and the configuration of a wireless point-to-point link to simulate the communication between the well and the control room. Chapter V includes the cost evaluation of materials, equipment, and labor. Finally, Chapter VI outlines the main conclusions and proposes future improvements to expand and optimize the capabilities of the implemented system.

REMOTE CONTROL – SECURITY - MONITORING – INDUSTRIAL
AUTOMATION

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Síntesis del proyecto

Chile es destacado por ser uno de los principales productores de cobre en el mundo, y la minería representa una de las actividades más relevantes dentro de su economía. En este tipo de industria, la eficiencia y continuidad operacional son factores esenciales para mantener un proceso productivo estable, especialmente en plantas de procesamiento de mineral donde el suministro de agua es crítico.

En la sociedad Contractual Minera Carola, Planta Cerrillos, el sistema de abastecimiento hídrico depende de una red de pozos subterráneos que permiten mantener el flujo de agua requerido para los procesos de molienda, flotación y espesado. Entre estos sistemas, se destaca el pozo N°11, el cual es el más utilizado y encargado de impulsar agua hacia los estanques principales distribuidores de la planta.

Actualmente, la operación del Pozo N°11 se realiza de manera manual y local, lo que implica que personal deba desplazarse físicamente hasta el sitio para poner en servicio o detener la bomba. Este procedimiento trae consigo riesgos de seguridad hacia el personal, especialmente durante los turnos nocturnos o en condiciones de baja visibilidad, además de generar tiempos muertos en la operación debido a la gestión de vehículo para el traslado.

Por ello, el presente proyecto propone el diseño e implementación de un prototipo automatizado de control remoto para el sistema de bombeo del pozo, mediante un controlador lógico programable y una HMI. Este sistema permitirá realizar el arranque, detención y monitoreo de variables a distancia y en tiempo real.

1.2 Objetivo General

Desarrollar una propuesta de mejora en un sistema de control y monitoreo remoto con PLC MicroLogix 1100 y HMI en el pozo N°11, con el fin de optimizar los tiempos y aumentar la seguridad del personal.

1.3 Objetivos Específicos

- ❖ Realizar levantamiento de condiciones para la partida del equipo.
- ❖ Programar condiciones lógicas de operación en el PLC.
- ❖ Elaboración, fabricación y puesta en marcha de tablero.
- ❖ Analizar los resultados de la propuesta.

1.4 Alcances

El presente proyecto se basa en una condición de operación real correspondiente al sistema de bombeo hídrico del Pozo N°11. El alcance del proyecto considera el diseño, programación, simulación y validación funcional del sistema de control, empleando equipos industriales reales en un entorno de banco de prueba.

La propuesta contempla las siguientes etapas principales de desarrollo:

- ❖ Desarrollo del programa de control: Considera la implementación de la lógica secuencial de control en el PLC mediante el software de programación.
- ❖ Diseño de la interfaz HMI: Desarrollar pantalla grafica mediante software, para visualizar el estado del sistema en tiempo real.
- ❖ Simulación de operación: Ejecución de pruebas para validar las condiciones de arranque.

La implementación de esta propuesta permitirá:

- ❖ Reducir los desplazamientos del personal hacia el área.
- ❖ Minimizar los tiempos de respuesta ante fallas.
- ❖ Aumentar la confiabilidad del sistema hídrico de la planta.
- ❖ Llevar a cabo un modelo de operación remota, amigable, confiable y segura.

1.5 Consideraciones de la propuesta

El sistema propuesto, está orientado a la operación remota y segura del bombeo hídrico del pozo, mediante la implementación de un PLC Allen-Bradley MicroLogix 1100, una HMI Delta, un variador de frecuencia e instrumentos necesarios para poder llevar a cabo el prototipo.

Como se mencionó en un principio el objetivo principal es poder garantizar la supervisión en tiempo real y el control confiable del proceso, reduciendo la necesidad de la intervención manual directa desde terreno.

El sistema de control estará diseñado para cumplir la siguiente serie de funciones:

- ❖ Encendido y apagado remoto de la bomba principal.
- ❖ Monitoreo en tiempo real de las variables medidas en terreno.
- ❖ Visualización del estado del variador de frecuencia.
- ❖ Elección de modo de operación (Local/Remoto) mediante selector físico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La sociedad contractual Minera Carola, se encuentra ubicada en la región de Atacama, aproximadamente a 30 kilómetros al sur de la ciudad de Copiapó, Chile.

La compañía se destaca por la producción de concentrados de cobre mediante un proceso de flotación convencional, donde el mineral es extraído desde Mina Carola, transportado y posteriormente procesado en Planta Cerrillos. (Carola)

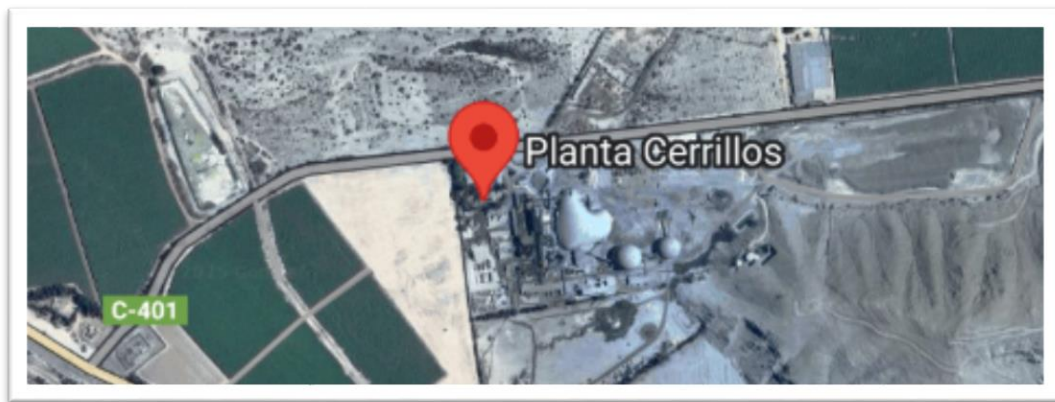


Figura N°2.1: Ubicación Planta Cerrillos.

2.1 Función Planta Cerrillos

El funcionamiento de la planta cerillos depende de un suministro de agua para llevar a cabo los procesos de flotación, molienda y espesado.

El sistema hídrico está compuesto por una red de pozos, los cuales mediante un sistema de bombeo llegan hacia los estanques principales que alimentan las diferentes áreas de la planta.

2.2 Recuperación de agua y recirculación de agua

Durante el proceso de producción, la planta utiliza un espesador de relaves en pasta, una tecnología que permite separar el agua del material sólido proveniente del proceso de flotación, obteniendo un relave en forma pastosa con bajo contenido en humedad.

Gracias a este sistema, se logra recuperar y reutilizar más del 85% del agua del proceso, la cual es recirculada nuevamente hacia las etapas del proceso. (Carola)



Figura N°2.2: Espesador de relave.

Fuente: (Carola)

2.2.1 Fiscalización por la dirección general de aguas (DGA)

Es importante mencionar que el recurso hídrico utilizado en los sistemas de bombeo industrial se encuentra regulado y fiscalizado por la Dirección General de Aguas (DGA), organismo dependiente del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

La DGA tiene como función administrar, proteger y supervisar el uso del agua, asegurando que las extracciones realizadas desde los pozos se mantengan dentro de los límites establecidos por los derechos de aprovechamiento de aguas, conforme a lo dispuesto en el Código de Aguas (D.F.L N°1.122 DE 1981) y el D.F.L N°850 de 1997 del MOP, que establecen las atribuciones y responsabilidades de este organismo. (publicas).

En el contexto del presente proyecto, dichas regulaciones son fundamentales, ya que las extracciones de agua subterránea realizadas por SCM Carola deben de cumplir con los límites y condiciones autorizadas por la DGA, manteniendo registro controlado del volumen bombeado en L/s.

En este caso el pozo N°11 correspondiente al presente proyecto tiene un límite de consumo de 43 L/segundo.



Figura N°2.3: DGA Y MOP.

Fuente: (publicas)

2.3 Sistema de Bombeo Hídrico Pozo

2.3.1 Principio de funcionamiento

Un sistema de bombeo hídrico tiene por finalidad extraer agua subterránea desde un acuífero y conducirla hacia estanques de almacenamiento o según sea su aplicación.

Este sistema opera mediante una bomba conectada a una línea de succión sumergida, la cual impulsa el fluido a través de una tubería de impulsión hasta su destino final.

2.3.2 Componentes Principales

- Bomba de impulsión.
- Motor eléctrico.
- Tuberías y válvulas.
- Instrumentos de medición de variables.

2.3.3 Parámetros operacionales

Para garantizar una operación segura y eficiente en un sistema de bombeo, se monitorean las siguientes variables:

- Presión de la línea (PSI o bar).
- Caudal (L/s, m³/h).
- Nivel de pozo (m).
- Corriente eléctrica del motor (A).
- Estado el VDF (Falla o en marcha).

2.4 Automatización y Control Industrial

2.4.1 Conceptos Generales

La automatización industrial se define como el conjunto de sistemas y tecnologías utilizadas en diversos sectores en la industria con el objetivo de controlar, operar y supervisar los procesos de producción de forma eficiente segura y continua.

A través de ella, se busca reducir la intervención humana directa, mejorar la precisión, aumentar la seguridad y optimizar los recursos.

En la actualidad, la automatización es un pilar fundamental dentro de la industria moderna, ya que permite mantener la continuidad operativa, reducir los tiempos de respuesta y reducir los errores humanos. Se aplica en diversas áreas como minería, manufactura, tratamientos de agua, energía, siendo un factor clave en el desarrollo tecnológico.

Principales ventajas:

❖ Aumento en la eficiencia y productividad.
❖ Optimización de los tiempos de operación
❖ Mayor seguridad en el entorno laboral.
❖ Reducción de costos operativos y mayor rentabilidad

Tabla N°2.1: Ventajas automatización industrial

2.4.2 Controlador Lógico Programable (PLC)

El controlador lógico programable (Programmable Logic Controller, PLC) es un dispositivo electrónico diseñado para automatizar y controlar procesos industriales mediante la ejecución de instrucciones lógicas almacenadas en su memoria.

Fue desarrollado a finales de la década de los 60 con el objetivo de reemplazar los sistemas de control basados en relés y cableado fijo, lo cuales eran difíciles de mantener y modificar.

El PLC se caracteriza por ser robusto, confiable y programable, lo que permite adaptarse a una amplia variedad de aplicaciones industriales. Su funcionamiento se basa en tres etapas fundamentales:

- ❖ Recepción de señales de entrada desde sensores o dispositivos de campo.
- ❖ Procesamiento de la información según la lógica programada.
- ❖ Generación de señales de salida hacia actuadores, motores o válvulas.

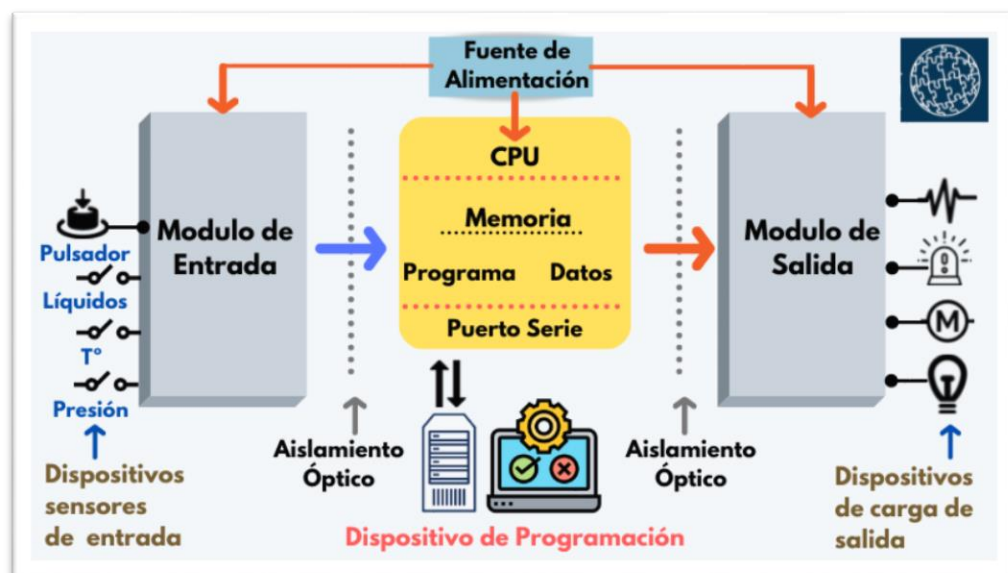


Figura N°2.4: Ciclo de funcionamiento PLC.

Fuente: SICMA21 (2021)

2.4.3 Estructura

Un PLC está compuesto por varios módulos funcionales que trabajan en conjunto para ejecutar el control automático de un proceso industrial. La correcta interacción entre estos módulos permite la adquisición de señales de campo, el procesamiento lógico de la información y la generación de órdenes hacia los actuadores del sistema.

La estructura básica de un PLC se compone de los siguientes elementos principales:

- ❖ **CPU (Unidad Central de Procesamiento):** Se encarga de ejecutar el programa lógico del PLC, procesando las señales de entrada y generando las señales de salida correspondientes según la lógica de control definida. Además, gestiona el ciclo de operación del sistema y la comunicación entre los distintos módulos.
- ❖ **Memoria:** Almacena el programa del usuario, los datos del proceso y los registros de diagnóstico necesario para la operación del sistema.
- ❖ **Módulos de Entradas/ Salidas:** Permiten la conexión con los dispositivos de campo. Las entradas reciben las señales provenientes de sensores, pulsadores o transmisores, las cuales pueden ser digitales o analógicas. Por su parte, las salidas envían señales de control hacia actuadores como motores, válvulas, relés o variadores de frecuencia.
- ❖ **Fuente de alimentación:** Suministra la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del PLC y de los módulos asociados, garantizando una operación estable del sistema.

2.4.4 Tipos de PLC

Los controladores lógicos programables pueden clasificarse según su estructura, capacidad de procesamiento y posibilidades de expansión. Esta clasificación permite seleccionar el tipo de PLC más adecuado de acuerdo con la complejidad del proceso a controlar.

2.4.4.1 PLC Compacto

Presentan un diseño integrado donde todos los módulos esenciales (CPU, Entradas/Salidas y la fuente de alimentación) están incorporados en una sola unidad. Esta característica permite una instalación sencilla y una reducción del espacio requerido en los tableros de control.



Figura N°2.5: PLC Compacto.

Fuente: (eaton)

A continuación, se presentan sus principales características:

Tabla N°2.2: Características PLC Compacto

Características	Descripción
Tamaño	Equipo compacto, de fácil instalación en tableros de control.
Expansión	Capacidad limitada de expansión de módulos
Aplicación	Adecuado para aplicaciones simples y de baja complejidad.

2.4.4.2 PLC Modular

Los PLC modulares están compuestos por módulos independientes que pueden ampliarse o sustituirse según la necesidad del proceso. Esta arquitectura permite incorporar módulos de comunicación, expansión de E/S y otros módulos adicionales.

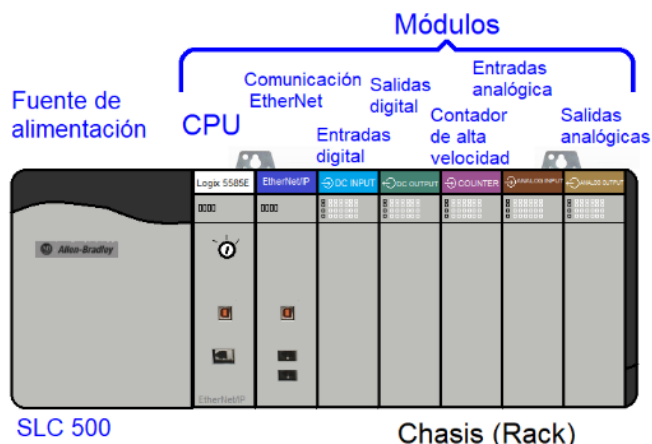


Figura N°2.6: PLC Modular.

Tabla N°2.3: Características PLC Modular

Características	Descripción
Estructura	Compuesto por módulos independientes.
Expansión	Alta capacidad de expansión de módulos de E/S y comunicación
Aplicación	Adecuado para sistemas medianos y de alta complejidad.

2.5 Funcionamiento básico

El PLC opera de manera cíclica a través de un proceso de ciclo de escaneo, el cual se ejecuta de forma continua mientras el controlador se encuentra en funcionamiento. Este ciclo permite al PLC supervisar el proceso, ejecutar la lógica de control y actualizar las salidas en función de las condiciones operativas del sistema.

El ciclo de escaneo se compone de las siguientes etapas principales:

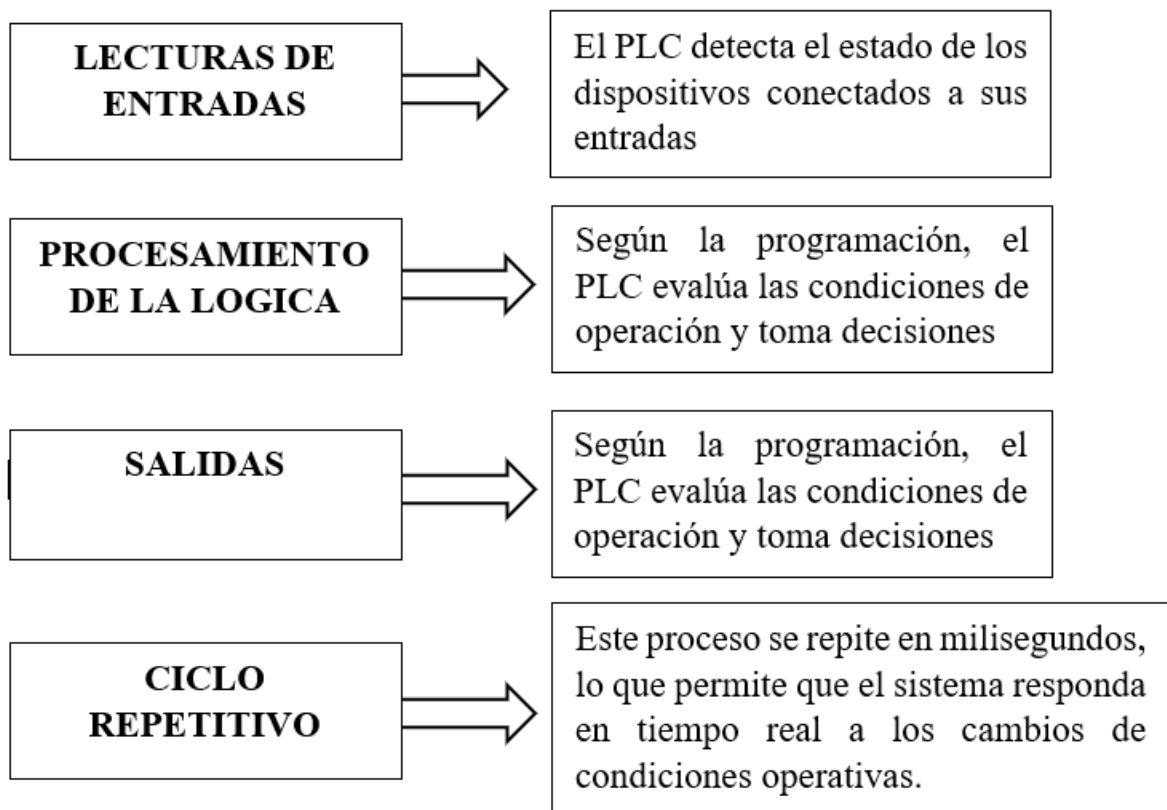


Figura N°2.7: Ciclo funcionamiento PLC.

2.6 Comunicación industrial

La comunicación industrial es el conjunto de tecnologías, protocolos y redes que permiten el intercambio de información entre los diferentes dispositivos que componen el sistema automatizado.

Su función principal es garantizar la transmisión de datos de forma segura, confiable y en tiempo real, asegurando la coordinación entre los distintos elementos del proceso. Además, posibilita la interconexión de los dispositivos industriales y el monitoreo remoto.

Entre los protocolos más utilizados se encuentran:

- ❖ **Ethernet/IP:** Basado en la tecnología ethernet, permite una comunicación de alta velocidad y gran flexibilidad de integración.
- ❖ **Modbus:** Protocolo maestro- esclavo ampliamente utilizado por su simplicidad y compatibilidad con diferentes marcas.
- ❖ **Profibus:** Estándar de comunicación orientado a la conexión de sensores y actuadores distribuidos.



Figura N°2.8: Protocolos de comunicación.

2.7 Símbolo de sistema (CMD)

CMD de Windows, también conocido como “Símbolo del sistema” es una herramienta de comandos incluida en los sistemas operativos Windows. Permite ejecutar instrucciones textuales para administrar el sistema, gestionar archivos, realizar diagnósticos y llevar a cabo tareas de red. (GODADDY, 2024).

Su uso es importante ya que es capaz de brindar el acceso directo a dispositivos conectados dentro de una red.

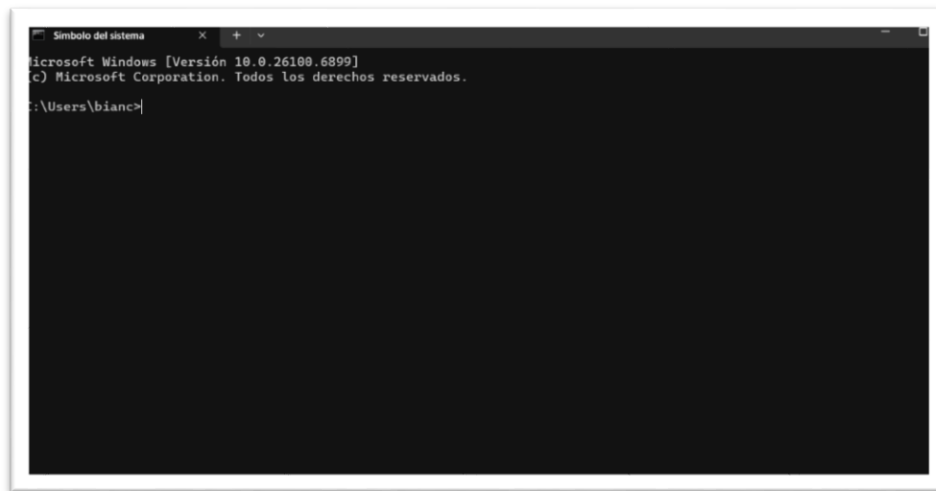


Figura N°2.9: CMD.

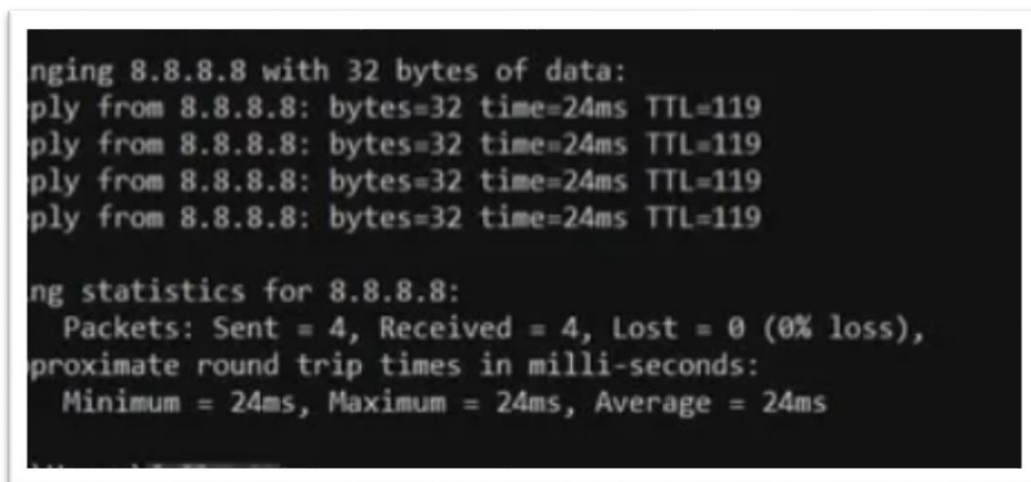
2.8 Paquetes ICMP

Los paquetes ICMP (Internet Control Message Protocol) son mensajes especiales que utilizan los dispositivos de red para informar el estado de la comunicación, reportar errores o realizar pruebas de conectividad. Indica si la transmisión de paquetes entre dispositivos está funcionando correctamente.

2.9 Comando “PING” (Packet Internet Groper)

El comando ping es utilizado para verificar la conectividad entre dispositivos dentro de una red y su funcionamiento consiste en el envío de paquetes ICMP en conjunto con la comprobación del enlace entre los equipos.

En el contexto de una red industrial, este comando es útil para comprobar la comunicación, por ejemplo, de PLC a PLC, o entre un PLC y otros elementos como HMI'S.



```
ping 8.8.8.8 with 32 bytes of data:
  reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=24ms TTL=119
  reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=24ms TTL=119
  reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=24ms TTL=119
  reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=24ms TTL=119

ping statistics for 8.8.8.8:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
  approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 24ms, Maximum = 24ms, Average = 24ms
```

Figura N°2.10: Comando “PING”.

Fuente: (microsoft)

2.10 Dirección IP

Una dirección IP es un identificador numérico asignado a cada dispositivo dentro de una red. Su función es permitir que los equipos puedan comunicarse entre sí, ya sea para enviar datos o recibir información. Cada dispositivo conectado a una red, como un PLC, una HMI u otro equipo, necesita una dirección IP única para ser reconocido dentro del sistema.

2.10.1 IP estática en redes industriales

La dirección estática es una dirección fija la cual se asigna manualmente a un dispositivo y que no cambia con el tiempo. En redes industriales, se utiliza este tipo de direccionamiento para asegurar una comunicación estable entre los equipos evitando que cambios de direccionamiento puedan generar fallas en el control de un sistema.

2.11 Enlace inalámbrico con antenas

En los entornos industriales usualmente algunos de los equipos de control se encuentran a grandes distancias por lo que el tendido de cable no es viable, por lo que se implementan enlaces inalámbricos mediante antenas de alta ganancia y baja latencia.

Tipos de enlace inalámbrico:

Existen diferentes configuraciones de enlaces según la necesidad de comunicación.

2.11.1 Enlace punto a punto (PtP)

Conecta directamente dos dispositivos entre sí, estableciendo un canal dedicado y estable. Es ideal para comunicar un PLC remoto con una HMI o estación central.



Figura N°2.11: Enlace punto a punto.

Fuente: (Guía de inicio rápido de NBE-5AC-Gen2)

2.11.2 Enlace punto a multipunto (PtMP)

Es una topología de comunicación inalámbrica donde un dispositivo principal, denominado estación base o nodo maestro, establece conexión con varios nodos remotos o clientes de manera simultánea.

Este tipo de arquitectura permite distribuir comunicación desde un punto central hacia múltiples equipos distribuidos geográficamente, manteniendo el control y transmisión de datos en tiempo real.

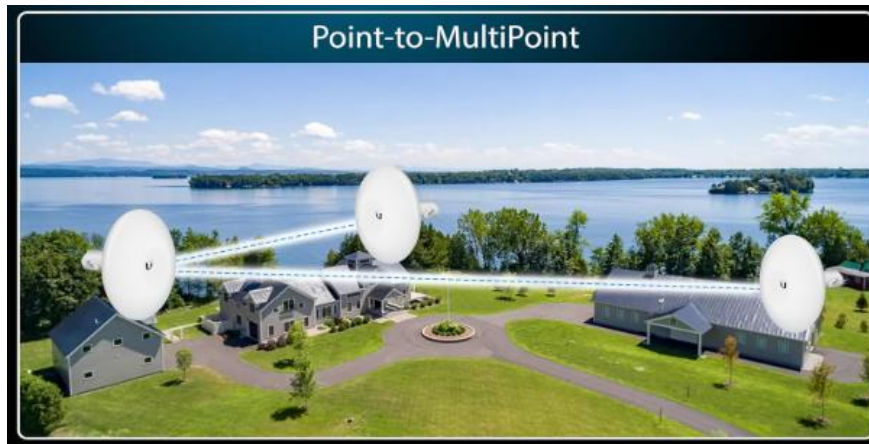


Figura N°2.12: enlace punto a multipunto.

Fuente: (Guía de inicio rápido de NBE-5AC-Gen2)

2.12 Banda de 5 Ghz

La banda de 5GHz corresponde a un rango de frecuencia libre utilizado en sistemas inalámbricos. Ofrece una mayor velocidad de transmisión de datos y menor interferencia electromagnética que la banda tradicional de 2.4 GHz, lo que lo hace esencial en los entornos donde los equipos generan una gran cantidad de ruido eléctrico o electromagnético.

2.13 PoE (Power over Ethernet)

Es una tecnología que permite transmitir energía eléctrica y datos simultáneamente a través de un mismo cable ethernet, eliminando la necesidad de contar con una fuente de alimentación independiente para cada dispositivo.



Figura N°2.13: PoE.

Fuente: (Guía de inicio rápido de NBE-5AC-Gen2)

2.14 Switch de red industrial

Es un dispositivo que permite interconectar varios equipos dentro de una misma red. Se encarga de recibir, procesar y enviar paquetes de datos únicamente al dispositivo de destino, lo que mejora la eficiencia y evita colisiones en la red.



Figura N°2.14: Switch de red industrial

Fuente: (Valiant)

2.15 Lenguajes de programación (Norma IEC 61131-3)

Normalizados bajo la norma IEC 61131-3, los diferentes tipos de lenguajes de programación garantizan flexibilidad y estandarización en el desarrollo de programas, facilitando su mantenimiento y comprensión por parte de diferentes programadores.

Los principales lenguajes definidos por esta norma son:

- ❖ **Ladder Diagram (LD):** Representa la lógica de control mediante contactos y bobinas similares a los esquemas eléctricos.
- ❖ **Function Block Diagram (FBD):** Emplea bloques funcionales interconectados para representar operaciones lógicas o matemáticas.
- ❖ **Structured Text (ST):** Permite desarrollar algoritmos complejos, cálculos matemáticos y estructuras de control como bucles y condicionales de forma compacta.
- ❖ **Sequential Function Charts (SFC):** Lenguaje gráfico orientado a la programación secuencial de procesos, basados en etapas y transiciones.
- ❖ **Instruction List (IL):** Lenguaje basado en instrucciones cortas y secuenciales, actualmente en desuso por la aparición de herramientas más gráficas.

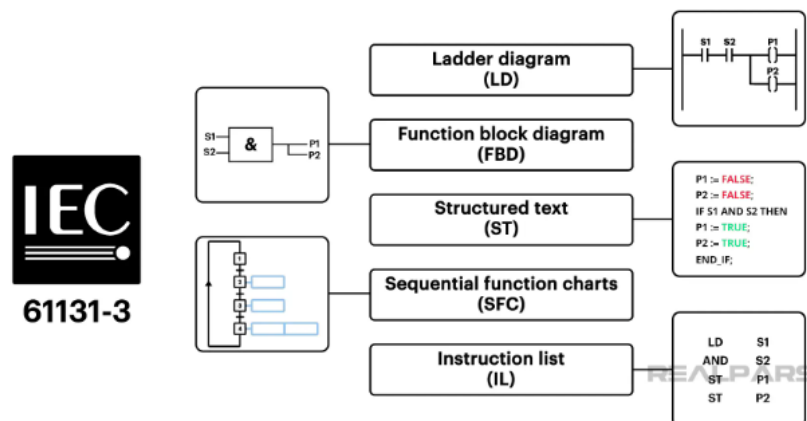


Figura N°2.15: Tipos de lenguajes de programación IEC61131-3.

El Ladder diagram es el más utilizado en la industria debido a su sencillez y similitud con los diagramas eléctricos tradicionales, lo que facilita su lectura.

2.16 Software de programación

Es una herramienta que permite configurar, programar, simular, monitorear y realizar diagnósticos sobre el funcionamiento del PLC, a través de este entorno, se definen lógicas de control y se gestionan las entradas/salidas. Cada fabricante dispone de su propio entorno de desarrollo, que varía en cuanto a capacidades, compatibilidad de lenguajes de programación y opciones de simulación.

2.17 Señal digital y analógica

2.17.1 Señal digital

Una señal digital es aquella que únicamente adopta dos estados posibles, representando valores discretos. En automatización industrial estos estados suelen interpretarse como 1 y 0 lógico (Binario), equivalente normalmente a condiciones de Encendido/Apagado o Abierto/Cerrado.

Ejemplo:

Un switch de nivel en un estanque

- Cuando hay líquido, el switch se activa (encendido = 1)
- Cuando el nivel desciende, el switch se desactiva (apagado = 0)

A continuación, se muestra un ejemplo grafico de una señal digital, donde se observa el cambio de estado entre 0 y 1 en función del tiempo.

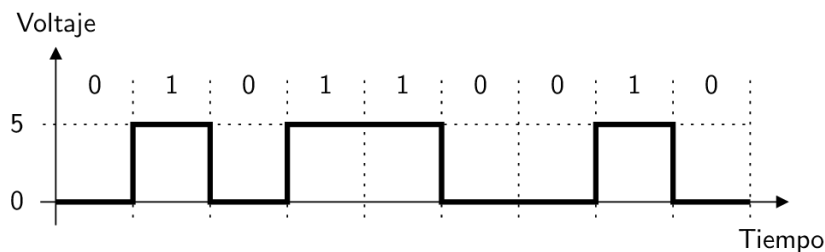


Figura N°2.16: Señal digital

2.17.2 Señal analógica

Una señal analógica es aquella que varía de forma continua en el tiempo, pudiendo tomar un número infinito de valores dentro de un rango definido. Estas señales representan magnitudes físicas que cambian de forma progresiva, como el flujo, el nivel o la temperatura.

Los rangos más utilizados para estas señales en la industria son:

- ❖ 4 – 20 mA (Corriente estándar industrial).
- ❖ 0 – 10 VDC (Señal de voltaje).

En sistemas de control industrial, un ejemplo típico de señal analógica corresponde a la medición de flujo de agua. Cuando el caudal aumenta, la señal de salida del sensor también aumenta de manera proporcional dentro de un rango continuo, como el de 4-20 mA, donde 4 mA representa el valor mínimo y el 20 mA el valor máximo de la variable medida.

A continuación, se muestra la representación gráfica del comportamiento de una señal analógica, donde se observa una variación continua en función del tiempo, a diferencia de las señales digitales que representan cambios discretos (1 y 0).

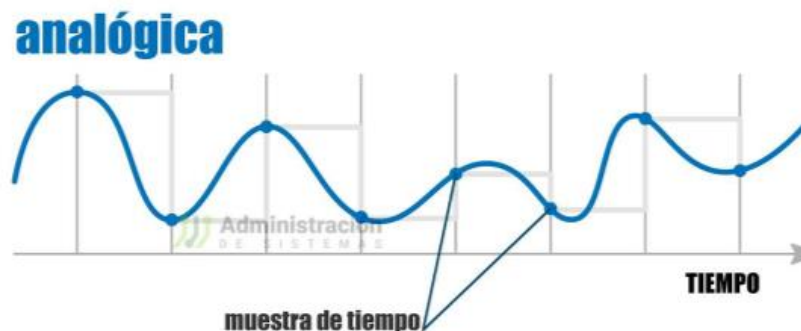


Figura N°2.17: Señal analógica.

2.18 Tratamiento de señales analógicas

En los sistemas de control, los sensores que entregan señales de 4-20 mA o 0-10 V entregando valores proporcionales a una variable física. Dichas señales no pueden interpretarse en unidades de proceso, por lo que es necesario realizar un acondicionamiento y escalamiento dentro del PLC para convertir las lecturas eléctricas en valores de ingeniería.

2.19 Escalamiento de señales (SCP)

El escalamiento consiste en convertir un valor leído por el PLC a un valor físico. En los softwares, las señales de 4-20 mA ingresan como valores en “Cuentas entre 6200 y 31206 cuentas aproximadamente, según la resolución del módulo.

Para realizar la conversión se utiliza la instrucción SCP, donde se definen los parámetros señalados en la figura N°2.18.

Las cuentas de la “Input min”, “Input máx.” se van modificando en conjunto con el sensor para escalar de manera correcta lo deseado.

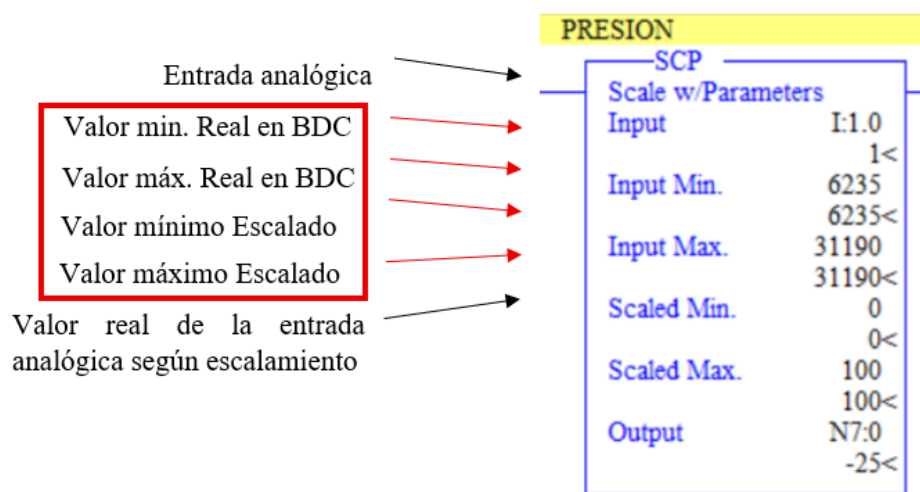


Figura N°2.18: Escalamiento SCP (Scale With Parameters).

2.20 Multiplicador de señal

Los multiplicadores de dispositivos utilizados para adaptar, filtrar, aislar o amplificar señales provenientes de sensores, garantizando que puedan ser interpretadas correctamente dentro de un sistema de control.



Figura N°2.19: Multiplicador de señales.

Su uso es fundamental cuando:

- ❖ La señal original posee una magnitud insuficiente o presenta pérdidas por distancia.
- ❖ Se requiera mantener aislamiento galvánico y evitar interferencias.

Esquema básico del funcionamiento de un multiplicador de señal



Figura N°2.20: Multiplicador de señal.

2.21 Lazo de control

Un lazo de control es un sistema que utiliza un conjunto de sensores, controladores y actuadores para medir y regular una variable del proceso en una aplicación industrial.

El objetivo de este sistema es mantener una variable como (presión, nivel, caudal o temperatura), dentro de un valor deseado o setpoint, compensando las variaciones que se producen en el proceso.

Existen dos tipos principales de lazos de control según la presencia o no de retroalimentación.

2.21.1 Lazo abierto

En este tipo de lazo, el sistema ejecuta una acción sin comprobar si se alcanzó el resultado esperado. No existe retroalimentación entre la salida y la entrada del proceso, por lo que el sistema no corrige automáticamente posibles desviaciones.

A continuación, se muestra un esquema representativo de un lazo abierto, donde se observa que la señal de salida no retorna al controlador para su comparación.

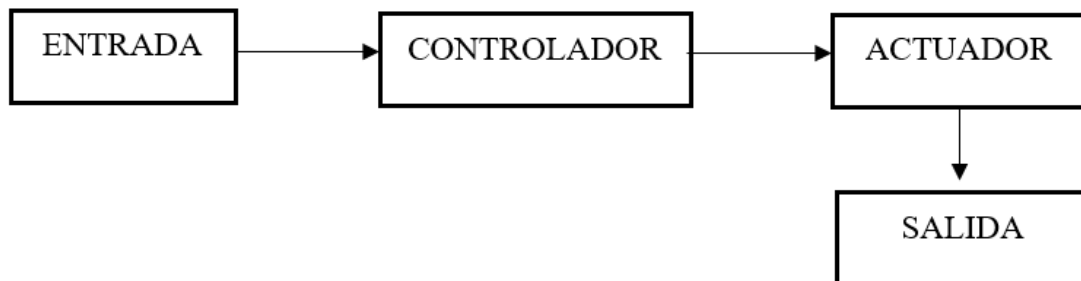


Figura N°2.21: Lazo de Control Abierto.

2.21.2 Lazo cerrado

En un lazo cerrado de control, la salida del proceso (por ejemplo, presión, nivel o caudal) se mide constantemente mediante un sensor. Esta señal se envía a un controlador, el cual compara el valor deseado o setpoint.

De esta forma, la retroalimentación permite que el sistema mantenga la variable controlada dentro del rango establecido, corrigiendo automáticamente cualquier desviación que se produzca durante la operación. Este principio garantiza un funcionamiento más estable, preciso y seguro.

A continuación, se muestra un esquema, donde se observa la retroalimentación de la señal de salida hacia el controlador para su comparación con el valor de referencia.

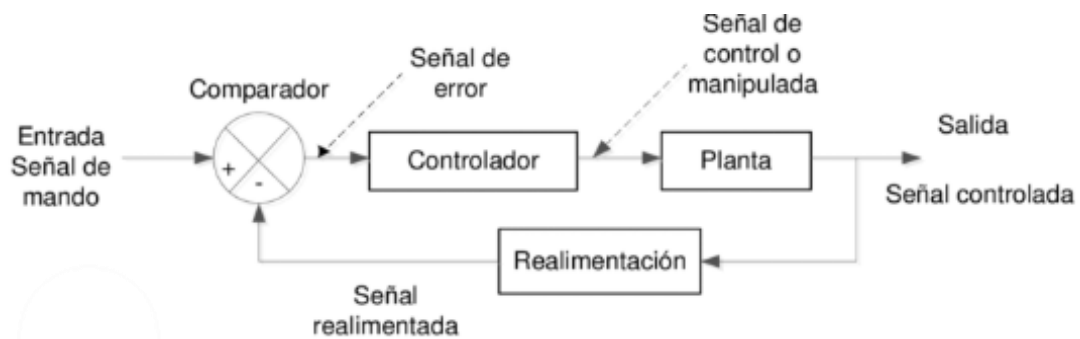


Figura N°2.22: Lazo de Control Cerrado.

De manera complementaria, se presenta una comparación resumida entre los lazos de control abierto y cerrado.

Tabla N°2.4: Ventajas y desventajas de Lazos de control.

Tipo de Lazo	Ventajas	Desventajas
Lazo abierto	Bajo costo y fácil implementación	No corrige perturbaciones, menor precisión.
Lazo cerrado	Mayor precisión y estabilidad	Mayor complejidad y posible oscilación si no son bien ajustados.

2.21.3 Sensor

Los sensores son dispositivos encargados de detectar y transformar una variable física o química (como temperatura, presión, nivel flujo, humedad.) en una señal eléctrica que puede ser interpretada por un sistema de control. La señal generada por un sensor puede ser digital o analógica, dependiendo del tipo de variable medida y del principio de funcionamiento del dispositivo.

En los sistemas de bombeo, los sensores cumplen un rol fundamental, ya que permiten supervisar las condiciones del proceso y proteger el sistema frente a situaciones anormales de operación, como niveles insuficientes de agua.

2.21.3.1 Sensor de nivel freático

Los sensores de nivel se utilizan para medir la cantidad de agua disponible en un pozo o estanque, entregando información clave para el control automático del sistema de bombeo y la protección de los equipos.

El nivel freático corresponde a la superficie superior de la zona de saturación del subsuelo, donde el agua subterránea llena todos los poros del terreno. Este nivel puede variar dependiendo de la recarga del acuífero, la extracción del agua y las condiciones climáticas del entorno.



Figura N°2.23: Nivel freático.

Fuente: (en15dias)

El sensor de nivel freático permite medir la altura de la columna de agua dentro del pozo, proporcionando información fundamental para el control y monitoreo del recurso hídrico.

Este tipo de sensor suele ser un transmisor de presión sumergible, el cual convierte la presión ejercida por la columna de agua en una señal analógica de 4-20 mA proporcional al nivel medido.

El uso de estos sensores es esencial para:

- ❖ Controlar la estabilidad del acuífero
- ❖ Determinar la profundidad operativa del pozo.
- ❖ Evitar sobreexplotaciones o descensos bruscos del nivel de agua.

2.21.3.2 Sensor de pozo seco

El sensor de pozo seco cumple una función de protección en el sistema de bombeo, al detectar cuando el nivel de agua desciende por debajo del límite mínimo operacional establecido.

Su propósito principal es evitar el funcionamiento en vacío de la bomba, condición que podría causar sobrecalentamiento, cavitación o daños mecánicos en el equipo.

Usualmente el sensor utilizado para esta aplicación corresponde a un switch de nivel, el cual abre y cierra su contacto eléctrico cuando el nivel sube o desciende.

En conjunto, los sensores de nivel freático y de pozo seco permiten una supervisión segura y eficiente del sistema de bombeo, proporcionando información clave para el control automático y protección de los equipos.

2.21.4 Variador de frecuencia

El variador de frecuencia (VDF), es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad, el par y el sentido de giro de los motores eléctricos de corriente alterna, modificando la frecuencia y el voltaje de alimentación que recibe el motor.



Figura N°2.24: Variador de frecuencia.

Su funcionamiento se puede entender en tres etapas principales:

- ❖ **Rectificación:** La corriente alterna que proviene de la red eléctrica pasa por un conjunto de diodos de potencia. Su función es convertir la corriente alterna en continua.
- ❖ **Filtrado:** En esta etapa, la corriente continua se limpia y se estabiliza, eliminando los residuos de la corriente alterna, preparando la energía para que sea utilizada de forma eficiente en la siguiente etapa.

- ❖ **Inversión:** Para finalizar, nos encontramos con la última fase en donde la corriente continua filtrada se transforma nuevamente en corriente alterna, pero con una frecuencia y voltaje ajustable

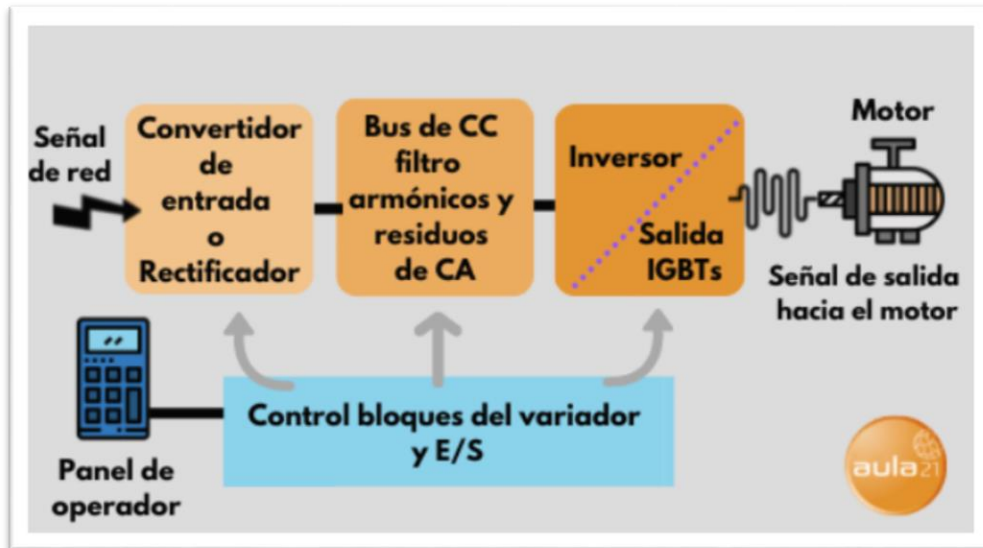


Figura N°2.25: Diagrama básico de un variador de Frecuencia.

Fuente: (Aula21)

Ventajas del uso de VDF en sistemas industriales:

- ❖ Ahorro energético.
- ❖ Arranques y detenciones suaves.
- ❖ Control preciso de la velocidad.
- ❖ Mayor vida útil del motor y equipos asociados.
- ❖ Protección del motor.
- ❖ Reducción de mantenimiento.

2.22 HMI

La interfaz Hombre-Máquina (Human Machine Interface) es el medio por el cual un operario puede visualizar y controlar procesos industriales mediante una interfaz gráfica. Permite ver el estado del sistema, controlar equipos y activar alarmas, todo esto desde una sola pantalla.

En un sistema automatizado, la HMI complementa al PLC y es esencial para brindar visibilidad y control desde una sala de operación.



Figura N°2.26: HMI.

2.22.1 Funciones de un HMI en la industria

La principal función que aplican las HMI en la industria, son las siguientes:

- ❖ Visualización del estado de motores, bombas u otros actuadores.
- ❖ Activación y desactivación de equipos mediante botones virtuales.
- ❖ Alarmas visuales ante condiciones anormales. (Fallas, bajo flujo...).
- ❖ Indicadores gráficos.

2.23 Control Local y Remoto

En los sistemas automatizados existen distintos modos de operación, entre los cuales se encuentra el modo local, que implica que el operador ejecute las maniobras directamente desde el tablero de control del equipo.

Por otra parte, el modo remoto permite realizar el control desde una ubicación diferente, por ejemplo, una sala de control, mediante una comunicación entre dispositivos. Este tipo de control resulta especialmente útil en aplicaciones donde el equipo se encuentra en zonas de difícil acceso o condiciones de riesgo para el personal.

A continuación, se presentan ejemplos de ambos modos de operación utilizados en los controles industriales



Figura N°2.27: Operación de forma Local.



Figura N°2.28: Operación modo Remoto.

2.24 Softwares necesarios

Para el desarrollo de este proyecto se consideraron los siguientes softwares de trabajo.

2.24.1 Software de programación RSLogix 500

RSLogix 500, es un software de programación para la familia de PLC's de Allen-Bradley, incluyendo los procesadores de MicroLogix y SLC 500. Está destinado a la creación de programas en lenguaje de esquema de contactos o también conocido como lenguaje de escalera (Ladder Diagram) estandarizado por IEC 61131-3, lo cual facilita el desarrollo de la programación

The logo for RSLogix 500 Software. The word 'RSLogix' is in a bold, red, sans-serif font, followed by '500' in a larger, grey, sans-serif font. Below '500' is the word 'Software' in a smaller, black, sans-serif font. A small 'TM' trademark symbol is positioned above the '500'.

Figura N°2.29: Software RSLogix 500

2.24.2 Software RSLinx Classic

Para lograr la comunicación entre el Software RSLogix 500 y el PLC, se utiliza RSLinx. Este software, es fundamental para el correcto funcionamiento, dado que actúa como servidor de comunicaciones, sin este software, la comunicación entre PLC'S no sería posible



Figura N°2.30: Software RSLinx Classic.

2.24.3 Software para la confección de la HMI

DOPSoft es el software desarrollado por Delta Electronics para la programación de HMI's de su marca. Fue diseñado para crear interfaces intuitivas con funcionalidades avanzadas, facilitando la interacción entre el operador y el proceso industrial.

Permite diseñar pantallas con elementos como botones táctiles, indicadores, gráficos, textos y alarmas, así como integrar funciones de registro de datos históricos, revisión de valores y monitoreo remoto. Además, ofrece la posibilidad de realizar pruebas y simulaciones sin necesidad de contar con el software físico, optimizando el tiempo de desarrollo y puesta en marcha

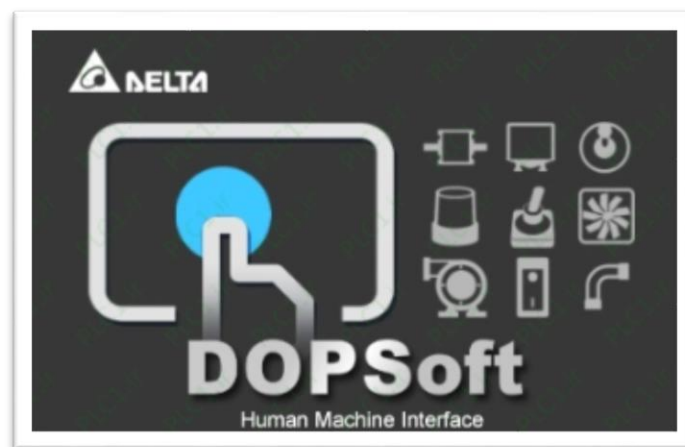


Figura N°2.31: Software DOPSoft

2.25 Herramientas de calibración y medición

Para el desarrollo del proyecto fue necesario contar con instrumentos de calibración y medición para asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos asociados.

2.25.1 Calibrador Fluke 705

Es un calibrador de lazo de corriente compacto y de alta precisión diseñado para medir, simular y generar señales de corriente estándar de 4-20 mA.

Se emplea principalmente para verificar, ajustar y calibrar transmisores, indicadores y controladores de proceso.

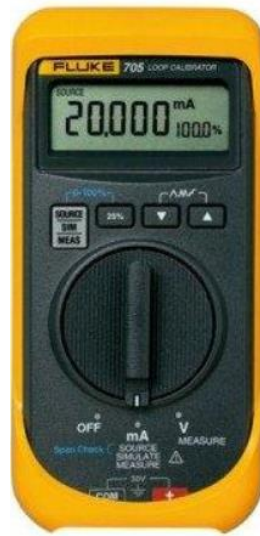


Figura N°2.32: Fluke 705.

Fuente: (PRECISION)

Tabla N°2.5: Características técnicas Fluke 705.

Rango de medida y salida	0 a 24 mA
Resolución	0.001 mA
Alimentación de lazo	24 VDC
Precisión	±0.02% de lectura

2.25.2 Multímetro Calibrador Fluke 789.

El fluke 789 combina las funciones de un multímetro digital y un calibrador de lazo, siendo una herramienta avanzada para diagnóstico y mantenimiento de sistemas de instrumentación y control.

Permite medir Voltaje, corriente, resistencia y continuidad, además de simular señales de 4-20 mA con alimentación propia.



Figura N°2.33: Fluke 789.

Tabla N°2.6: Características técnicas fluke 789.

Rango de medida de corriente	0 a 24 mA
Resolución de corriente	0.001 mA
Alimentación de lazo	24 VDC
Precisión de salida de corriente	±0.05%
Rango de salida de corriente	0-20 mA/ 4 a 20 mA
Medición de Tensión	0 a 1000 V CA/CC

CAPÍTULO III

LEVANTAMIENTO DE CONDICIONES Y PROGRAMACIÓN

3.1 Requerimientos y levantamiento de condiciones para la partida remota del equipo

Para comenzar con el diseño del sistema de control remoto del pozo N°11, se realizó un levantamiento en terreno con el objetivo de identificar las señales disponibles y las condiciones mínimas requeridas para habilitar un arranque efectivo.

Este levantamiento permitió definir las condiciones operativas necesarias para el funcionamiento de la bomba en modo remoto.

Tabla N°3.1: Levantamiento de condiciones en terreno.

LISTADO DE CONDICIONES	
Falla de VDF	Impide la partida del equipo y genera una señal de alarma.
VDF en servicio	Confirma la puesta marcha del variador.
Selector modo remoto	Habilita el modo de operación seleccionado local o remoto.
Pozo seco	Evita el funcionamiento de la bomba en vacío cuando no existe nivel.
Flujo en la línea	Permite confirmar la correcta operación del sistema de bombeo.

3.2 Selección de equipos y componentes a utilizar

Para la implementación del sistema de control se seleccionaron equipos que actualmente se utilizan en la planta, lo que facilita su integración con la infraestructura existente. A continuación, se describen los dispositivos utilizados.

3.2.1 PLC Allen- Bradley MicroLogix 1100

El controlador lógico programable de la marca Allen-Bradley MicroLogix1100 fue seleccionado para la implementación del sistema de control remoto, ya que es uno de los equipos actualmente utilizados en la planta SCM Carola. Además, cuenta con comunicación Ethernet incorporada, lo que facilita la integración con la HMI y VDF.



Figura N°3.1: PLC Allen-Bradley 1100.

Las principales características técnicas de este equipo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla N°3.2: Características técnicas del PLC MicroLogix 1100.

Características	Descripción
Entregas digitales	10
Salidas digitales	6
Entradas analógicas	2
Comunicación integrada	Ethernet
Software de programación	RSLogix500

Estas características permiten cubrir adecuadamente los requerimientos del sistema de control remoto en el pozo.

3.2.2 Módulo analógico 1762-IF4

Este módulo adicional se utilizó porque permite la lectura de las señales analógicas provenientes de los instrumentos relacionados con el control y monitoreo del pozo. El módulo admite hasta 4 señales de 4-20 mA.

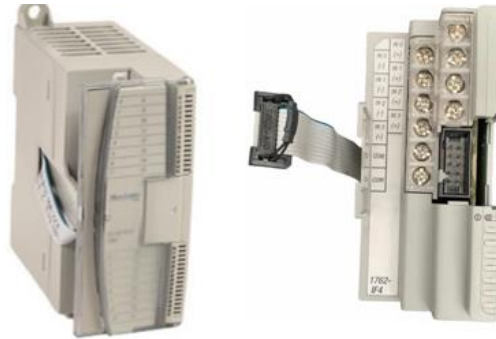


Figura N°3.2: Módulo 1762-IF4.

3.2.3 HMI DELTA

El sistema incorpora una pantalla HMI de la marca Delta, configurada en DOPSoft, la cual permite la supervisión y el control remoto del pozo. Su función principal es facilitar la interacción entre el operador, permitiendo:

- ❖ Visualizar los parámetros del sistema de bombeo.
- ❖ Ejecutar comandos de encendido y apagado remoto del equipo.
- ❖ Monitorear alarmas y condiciones operativas.



Figura N°3.3: HMI Delta.

3.2.4 Variador de frecuencia “ALTIVAR 630”

Para el control del sistema se consideró el variador Altivar 360, el cual en el control se trabajó únicamente con la lógica de control, simulando su comportamiento a través de las entradas y salidas disponibles. Para esto se utilizaron algunos de los terminales del VDF con el fin de cumplir con lo siguiente:

Arranque: El PLC envía el pulso desde una de sus salidas digitales para entregar la orden de la puesta en marcha del variador.

Confirmación de operación: Esta salida del VDF se utilizó como señal de confirmación. Cuando el variador se encuentre operativo, envía una señal hacia una de las entradas digitales del PLC indicando que está en marcha.

Las señales se cablean directamente entre el PLC y el VDF, con el objetivo de validar el funcionamiento de lógica de mando y retroalimentación, sin requerir de un motor real.



Figura N°3.4: VDF ALTIVAR 360 y características técnicas.

3.3 Programación del PLC

Con el objetivo de lograr una estructura clara, ordenada y de fácil mantenimiento, la programación del PLC se desarrolló bajo una arquitectura modular. La lógica se dividió en subrutinas independientes, cada una destinada a una función específica, permitiendo así simplificar futuras modificaciones y facilitar el diagnóstico de fallas.

Una vez definida la estructura, se procedió con la configuración del hardware y el desarrollo del programa de control.

3.3.1 Configuración de entradas y salidas

Para la configuración de entradas y salidas, es necesario el uso del software RSLogix 500. En esta etapa se realiza la selección del PLC a utilizar (MicroLogix 1100), además, del módulo necesarios en la configuración inicial.

Adicionalmente, se incorporó el módulo analógico 1762-IF4, el cual permite la lectura de hasta 4 señales analógicas 4-20 mA, provenientes en este caso de los instrumentos de medición instalados en el sistema.

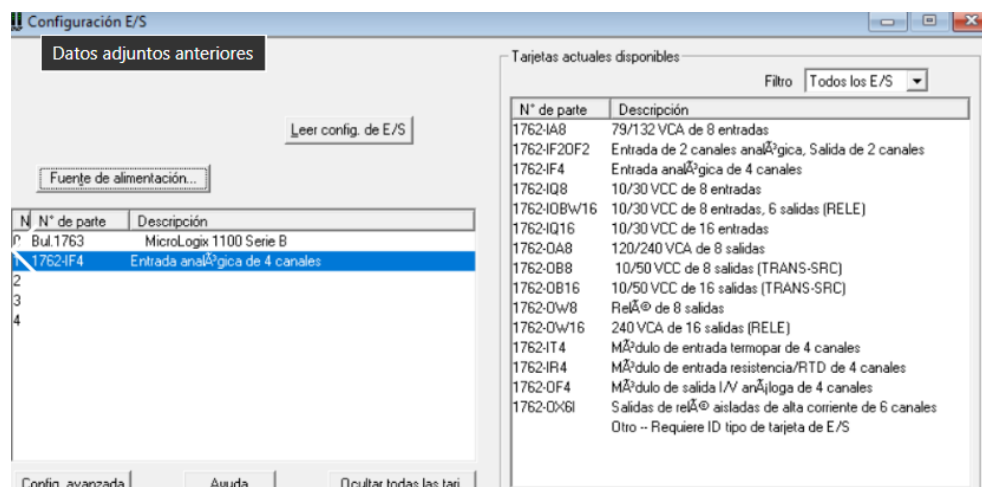


Figura N°3.5: Configuración E/S.

3.3.2 Configuración de canal analógico

Para garantizar la correcta toma de señales de los instrumentos, se configuró el módulo 1762-IF4 con los parámetros necesarios para asegurar una lectura estable, precisa y confiable de las variables del proceso. Esta configuración permite que las señales provenientes de los sensores sean interpretadas correctamente por el PLC y utilizadas posteriormente en el escalamiento y la lógica de control.

Los parámetros configurados para cada canal analógico fueron los siguientes:

- ❖ **Rango de entrada:** 4-20 mA.
- ❖ **Formato de datos:** Crudo/Proporcional (forma en la que el PLC lee los valores entre 5000 y 32000 cuentas).
- ❖ **Filtro:** Habilitado para estabilizar la señal frente a interferencias.

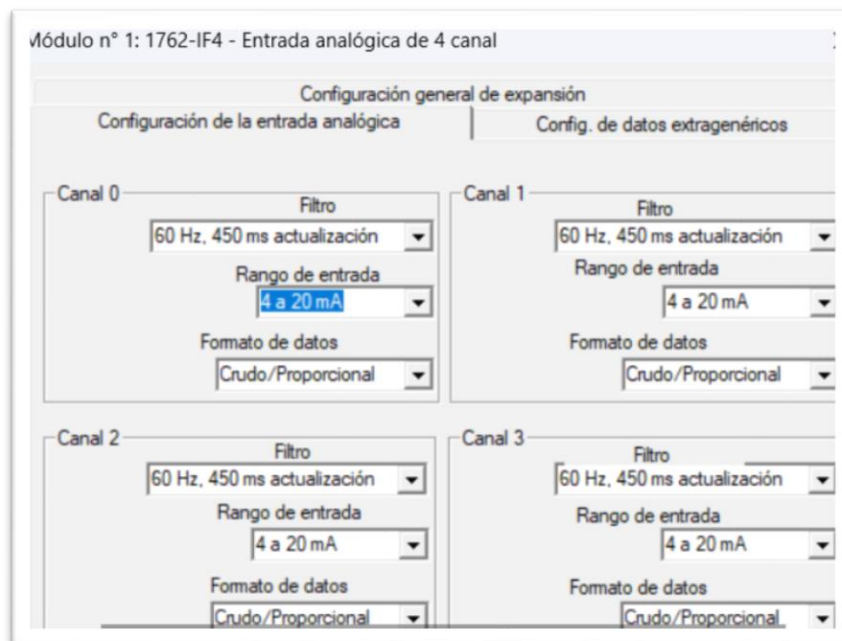


Figura N°3.6: Configuración módulo analógico.

3.3.3 Subrutina de entradas y salidas digitales

El programa se organizó de forma modular en bloques independientes que permite organizar la lógica. Estas subrutinas son llamadas desde el archivo principal mediante instrucciones JSR (Jump To Subrutine).

Como se observa en la figura N°3.7 las subrutinas se organizaron de la siguiente manera:

N° Archivo SBR: U:3 Correspondiente a “LAD3- MAPEO I/O”

N° Archivo SBR: U:4 Correspondiente a “LAD4- PROGRAM”

N° Archivo SBR: U:5 Correspondiente a “LAD5- SCP”

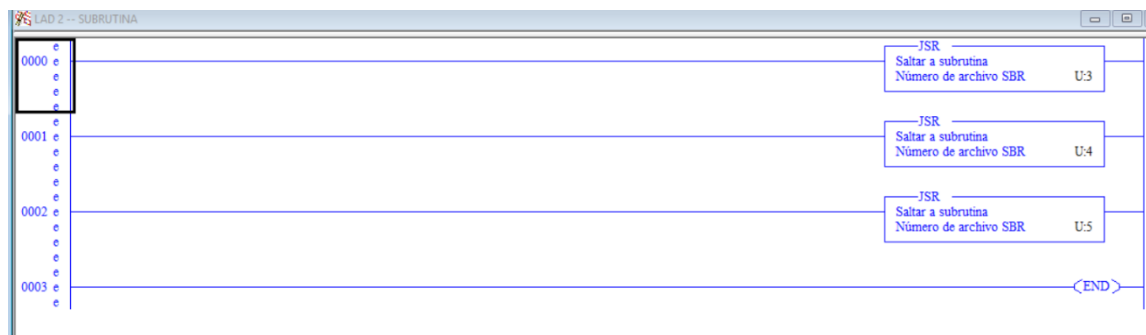


Figura N°3.7: Subrutinas de entradas y salidas digitales.

Para implementar la lógica de control del pozo, inicialmente se comenzó con el levantamiento de las entradas y salidas digitales en el software RSLogix 500, asignando cada una de estas señales a una dirección específica del PLC MicroLogix 1100.

En la figura N°3.7 se puede observar en el mapeo inicial (LAD3) las entradas digitales asignadas de la siguiente manera:

3.3.4 Asignación de señales en el PLC

Una vez definidas las condiciones operativas del pozo en terreno, se procedió a trasladar dicha información al entorno de la programación, para ello se identificaron todas las señales, clasificándolas según su tipo (entrada digital, salida digital o señal analógica), y según su función dentro del sistema de control.

Posteriormente cada señal fue asignada a su correspondiente dirección física del PLC, además se crearon bits de memoria utilizados posteriormente en el archivo “LAD4” para la programación principal.

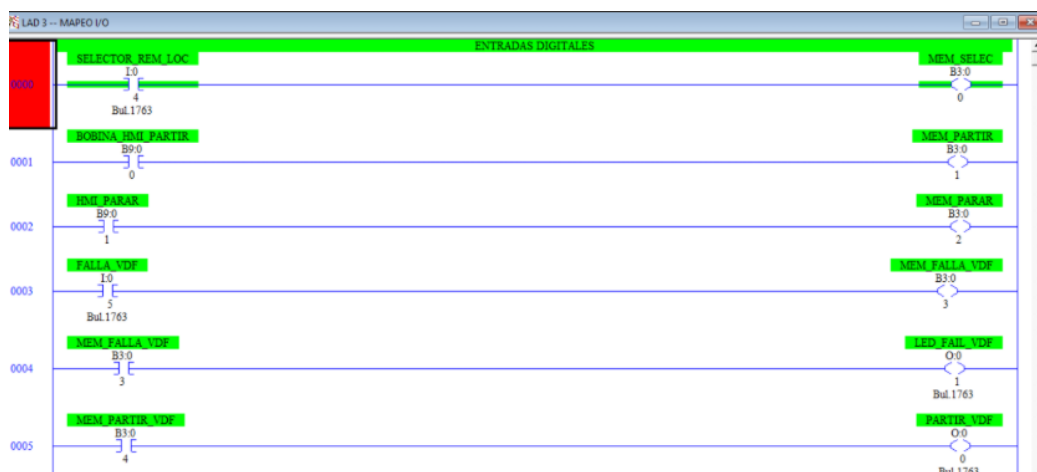


Figura N°3.8: Captura pantalla Software RSLogix 500.



Figura N°3.9: Captura pantalla Software RSLogix 500.

3.4 Programación de condiciones de arranque

En la figura N°3.10 se presenta la rutina de control desarrollada en el PLC, en el cual se establecieron todas las condiciones lógicas necesarias para habilitar el arranque del variador de frecuencia de forma segura. Esta lógica considera tanto las condiciones operativas normales como las condiciones de protección del sistema, evitando la puesta en marcha del equipo ante fallas o estados no permitidos.

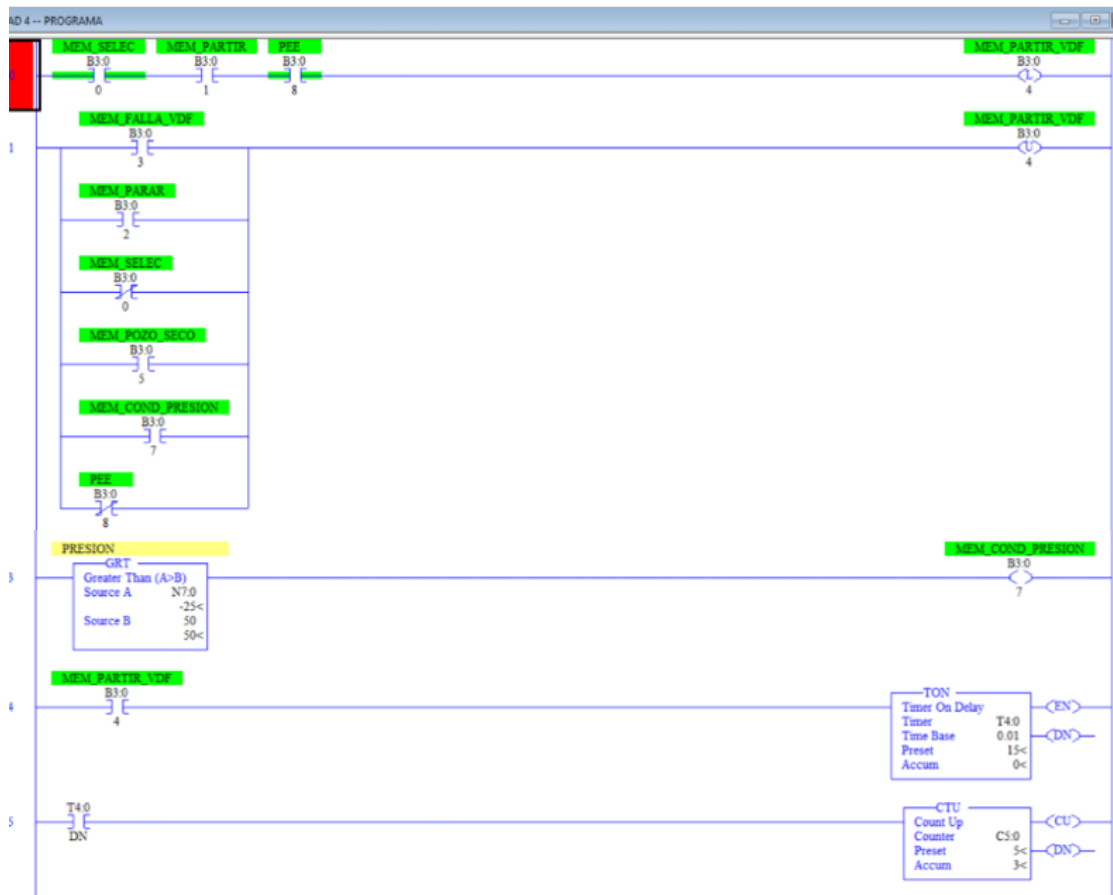


Figura N°3.10: Condiciones de partida.

3.5 Integración de señales analógicas de presión y flujo.

Además de las señales digitales, fue necesario integrar las variables analógicas provenientes de la presión, el flujo y el nivel monitoreado en el sistema, ya que estas se encargan de validar las condiciones mínimas antes de la puesta en marcha del pozo.

En la figura se puede visualizar la instrucción SCP (Scale with Parameters), la cual se encarga de convertir las señales de 4-20 mA (en este caso representadas en valores entre 5000 y 320000), a unidades de ingeniería:

- **Presión:** 0 -100
- **Flujo:** 0 – 400
- **Nivel piscina:** 0 - 100%

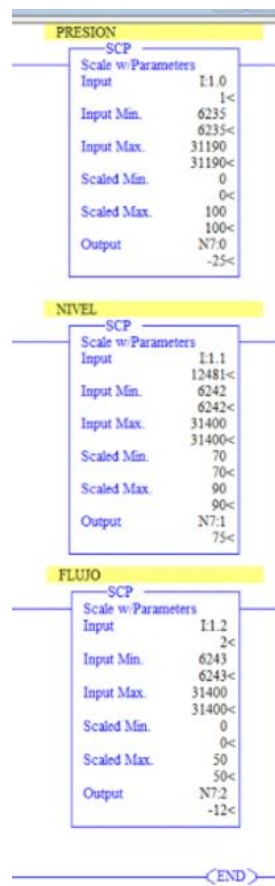


Figura N°3.11: Escalamiento de señales analógicas.

3.6 Confección HMI.

Una vez finalizada la lógica del PLC, se procedió a la confección de la interfaz HMI y a la configuración de la comunicación Ethernet/IP entre los equipos. La interfaz fue diseñada con fin de proporcionar al operador una interfaz clara para la supervisión y control remoto del pozo y se desarrolló una pantalla utilizando el Software DopSoft.

3.6.1 Diseño de la interfaz

En esta etapa de diseño, se definieron las variables a visualizar y los elementos de control a implementar en la pantalla que se encuentran asociados a lo necesario para la partida del pozo.

3.6.1.1 Selección de figuras e indicadores visuales

Para la confección de la pantalla HMI se seleccionaron figuras gráficas, indicadores numéricos, botones de control e iconos de estado disponibles en la librería del software (Figura N°3.12). Estos elementos fueron elegidos considerando criterios de claridad visual, fácil interpretación y coherencia con el proceso de bombeo, permitiendo que el operador identifique rápidamente el estado del sistema y las condiciones de operación.

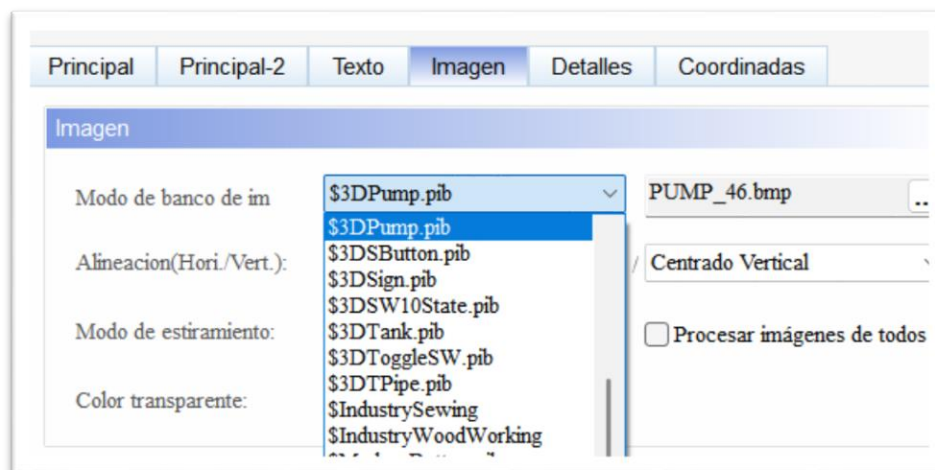


Figura N°3.12: Librerías de elementos.

En la figura N°3.13 se observa la condición del equipo en servicio. En este estado, la HMI muestra las variables principales del proceso, tales como presión de línea y caudal, permitiendo verificar que el sistema se encuentra operando. además, se habilitan los comandos de partir y parar. Se observan además las alarmas relevantes, tales como falla de VDF y pozo seco, las cuales advierten al operador y pueden detener el funcionamiento.

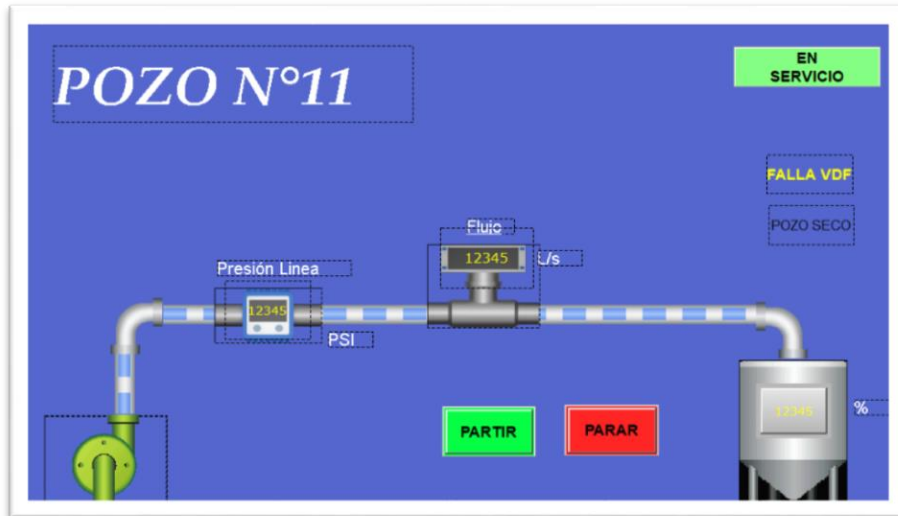


Figura N°3.13: HMI estado 1.

Por otra parte, la figura N°3.14 corresponde a la condición de estados 0, indicando la detención del equipo.

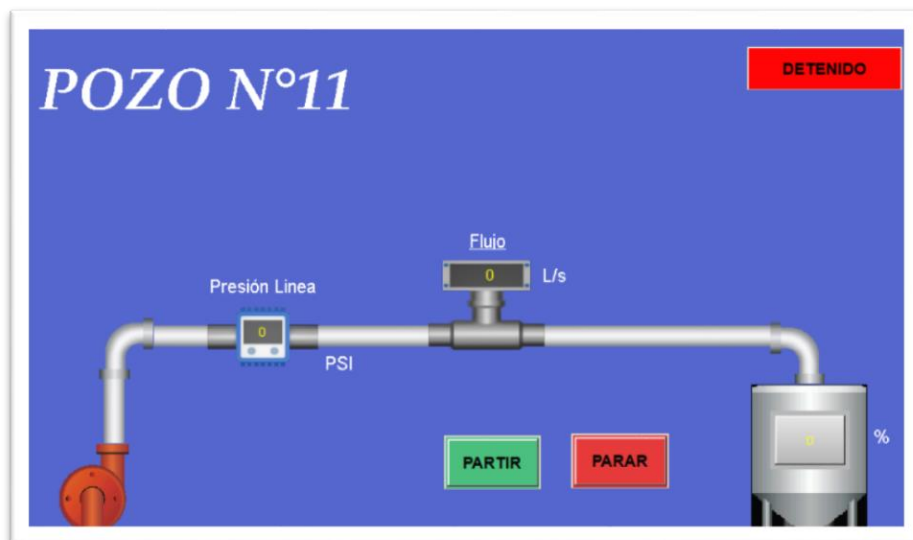


Figura N°3.14: HMI estado 0.

Además, se configuran las figuras graficas según el estado de cada variable (Figura 3.15). al momento de tener un estado 1 pasara a color verde y en 0 a rojo,

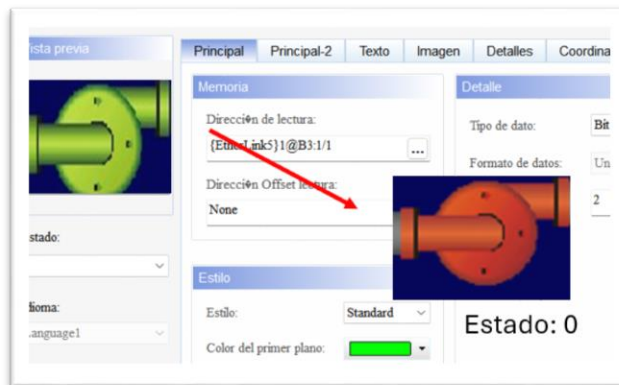


Figura N°3.15: Configuración estados con imágenes.

3.6.1.2 Asignación de las variables

Cada elemento grafico de la pantalla (botón, indicadores, alarmas) implementados en la HMI fueron vinculados a las direcciones de memoria correspondientes a la programación del PLC. De esta manera, cada elemento visual refleja en tiempo real el estado de la variable que se representa.

Por ejemplo, la lectura del flujo se asignó a la dirección N7:1, lo que permite mostrar en tiempo real el caudal pasante.

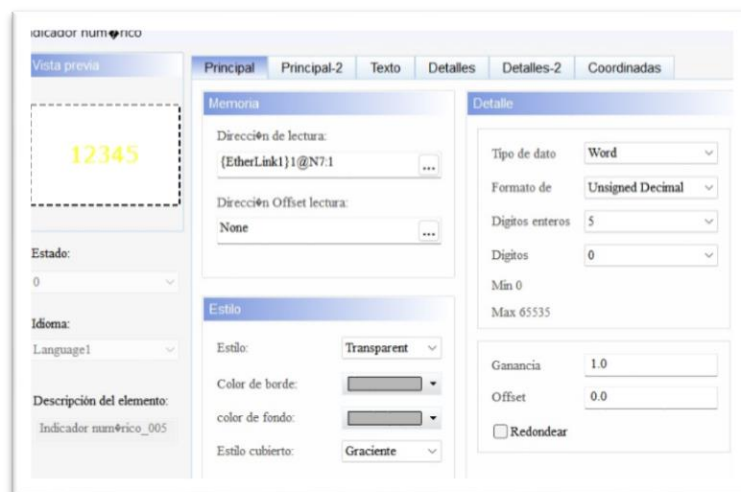


Figura N°3.16: Direccionamiento de lectura.

3.7 Comunicación entre HMI Y PLC

La comunicación entre la HMI y el PLC se estableció mediante el protocolo Ethernet IP.

Los pasos iniciales fueron los siguientes:

1. **Configuración de red en el PLC:** Inicialmente se le asignó una dirección IP fija al PLC para lograr la comunicación. IP: 10.90.17.3
2. **Configuración del equipo en software DopSoft:** Una vez iniciado el software de la pantalla se comienza con la selección del tipo de controlador y se ingresa la misma dirección asignada correspondiente al PLC. Finalmente se selecciona el tipo de comunicación, en este caso “Ethernet”.

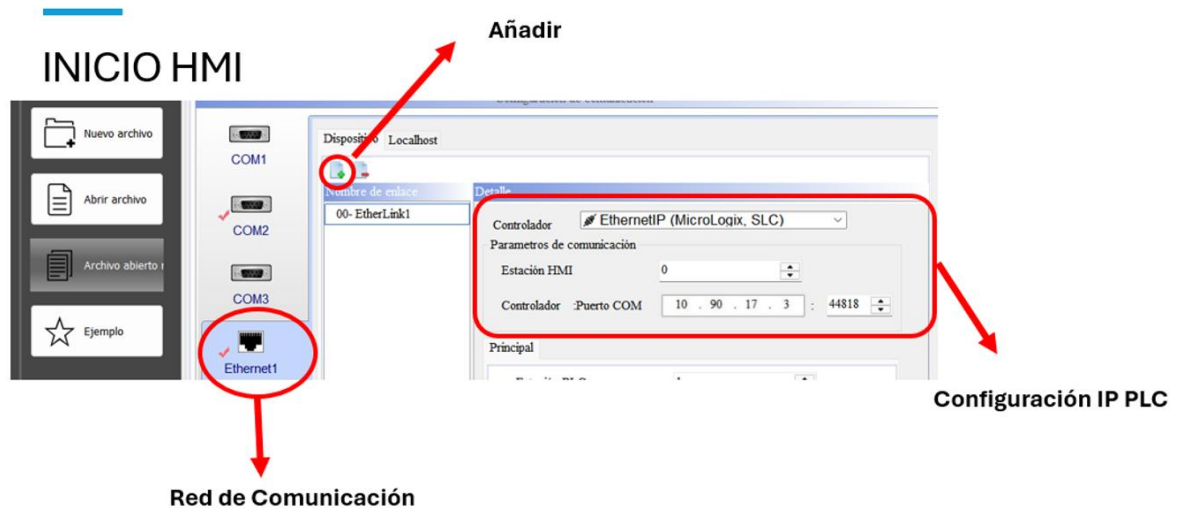


Figura N°3.17: Inicio HMI.

3. **Pruebas de comunicación:** Se comprobó la respuesta bidireccional entre la HMI y el PLC, asegurando que las acciones ejecutadas en la interfaz ejecutaran correctamente lo programado.

3.8 Pruebas y validación

Para validar la lógica de control desarrollada en el PLC y validar el funcionamiento en conjunto con la HMI y VDF, se llevaron a cabo una serie de pruebas en un banco de pruebas, simulando las condiciones reales de operación.

3.8.1 Montaje de pruebas

Se conectaron al PLC los elementos auxiliares (botoneras, selectores, luces piloto), y se utilizó un potenciómetro y el calibrador fluke 705 para simular las señales analógicas de presión y caudal de los sensores.

Para simular las señales analógicas correspondientes a la presión, al flujo nivel se utilizó un potenciómetro junto con un calibrador, lo que permitió escalar las señales de los sensores, asegurando que los valores mostrados en la HMI correspondieran a lo requerido.

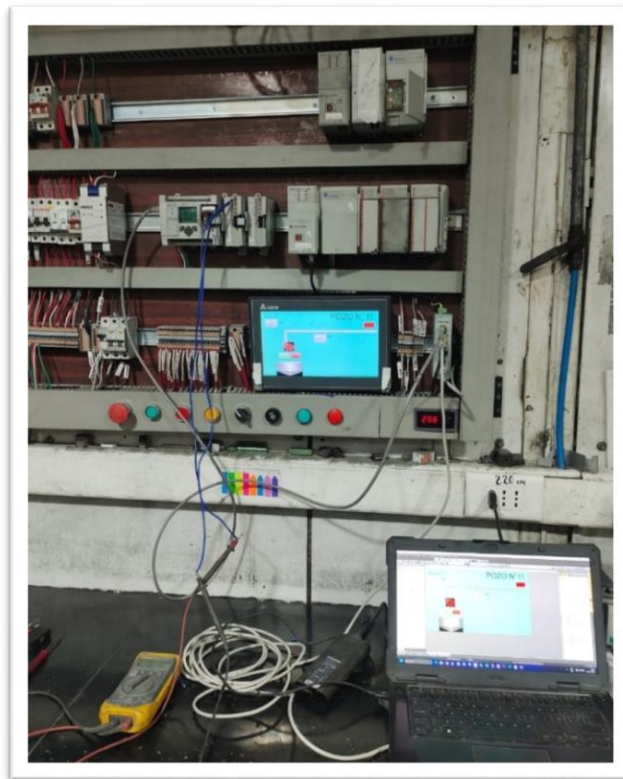


Figura N°3.18: Banco de pruebas.

3.9 Validación de la lógica de control

Se ejecutaron una serie de pruebas con el fin de cumplir con los siguientes objetivos:

- ❖ Verificar que el arranque remoto se ejecute solo cuando el selector se encuentre en la posición remota y con las condiciones de partida operativas.
- ❖ Comprobar que las condiciones de seguridad de la partida como “Pozo seco” falla del VDF” activaran las alarmas correspondientes en la HMI.
- ❖ Verificar que la comunicación sea estable y sin pérdida de datos ni retardos que fueran significativos.

Las pruebas realizadas en el banco permitieron validar el correcto funcionamiento de la lógica de control, la comunicación entre el PLC, la HMI y el funcionamiento con el VDF, así como la visualización y control de las variables del proceso. De esta manera, el sistema desarrollado queda preparado para la etapa de construcción del prototipo y pruebas de implementación, las cuales se abordan en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO Y PUESTA EN MARCHA

En este capítulo se describe la construcción del prototipo del sistema de control remoto, desarrollado con el objetivo de verificar su correcto funcionamiento antes de una eventual implementación en terreno. El prototipo permitió integrar el PLC, la HMI, los dispositivos de comunicación y los elementos eléctricos necesarios, además de realizar pruebas de operación, comunicación y visualización del proceso.

4.1 Montaje de elementos en gabinete.

Para la construcción del prototipo se montó un gabinete (Figura N°4.1), en el cual se instalaron los dispositivos necesarios para simular las condiciones reales de operación del pozo. El montaje se realizó considerando criterios de orden, seguridad y facilidad de mantenimiento, utilizando riel DIN, canaletas y borneras de libre mantenimiento.

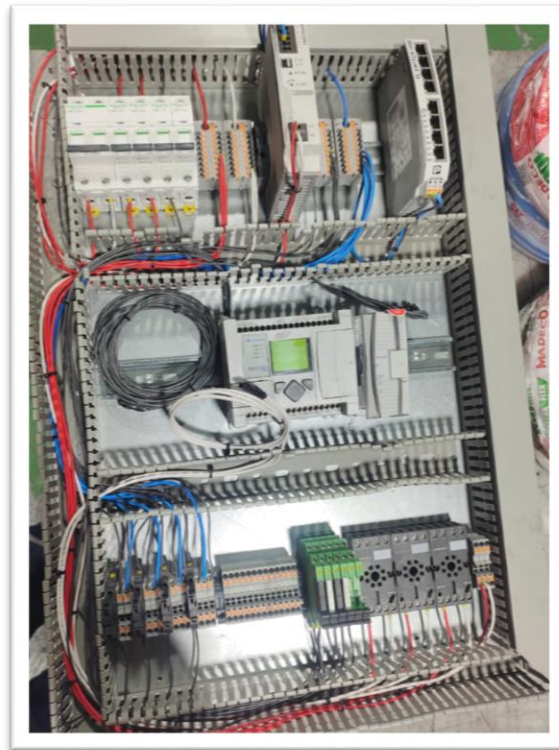


Figura N°4.1: Montaje de componentes y equipos.

Los principales elementos integrados en el gabinete fueron los siguientes:

- ❖ Disyuntor de protección para alimentación eléctrica 110 VAC
- ❖ Portafusibles para la batería de alimentación de 24, para el switch de comunicación y flujómetro.
- ❖ Fuente de poder de 110 VAC/24 VDC, encargada de entregar tensión estable.
- ❖ Borneras PTfix para la distribución de voltaje.
- ❖ Relés, utilizados para la imagen de las salidas, las entradas digitales y analógicas.
- ❖ Switch Ethernet industrial, para interconectar los dispositivos.

Una vez instalados los componentes, se verificó la correcta fijación mecánica y la identificación de cada dispositivo.

4.2 Cableado

El cableado del prototipo se realizó posterior al montaje de los componentes en el gabinete prototipo. En primer lugar, se conectaron las líneas de alimentación eléctrica a sus respectivas borneras y dispositivos de protección, tales como disyuntores y fusibles. Posteriormente se llevó a cabo la conexión de las entradas y salidas, de acuerdo con la asignación definida en la programación del sistema.

Antes de energizar el tablero, se verifico que cada equipo contara con la tensión de alimentación correspondiente, comprobando la correcta distribución de 24 VDC para los dispositivos de control, y 220VAC para los equipos que lo requerían. Estas verificaciones permitieron garantizar el funcionamiento seguro del sistema y evitar posibles fallas durante la puesta en marcha y pruebas del prototipo.

4.3 Carga de programa a PLC

Una vez completado el montaje y cableado del prototipo, se procedió a la configuración del PLC. Se cargó el programa desarrollado en el capítulo anterior y se verificó el correcto funcionamiento de las entradas/salidas digitales y analógicas.

Se realizaron pruebas de activación de las señales simuladas, comprobando que el PLC respondiera de acuerdo con la lógica de control definida.

4.4 Configuración de la HMI

Finalizado el montaje y cableado del prototipo, se procedió a la carga del proyecto de la interfaz HMI. Con el objetivo de validar la lógica de control implementada, se realizaron pruebas mediante la activación de señales simuladas, comprobando que el PLC respondiera correctamente de acuerdo con las condiciones establecidas en el programa.

Se verificó la correcta vinculación de las variables con el PLC, asegurando la actualización en tiempo real de los valores de las variables del proceso. Se forzaron los distintos estados desde el PLC con el fin de validar la correcta visualización de alarmas y condiciones de operación en la pantalla, verificando que la información correspondiera al estado real del sistema.

4.5 Configuración de antenas inalámbricas NanoBeam 5AC Gen2

Debido a la distancia entre la sala de control y el pozo, se implementó un sistema de comunicación inalámbrica mediante antenas NanoBeam 5AC Gen2. Configuradas en un enlace punto a punto (PtP).

4.5.1 Emparejamiento y creación enlace PtP

Para enlazar estas dos antenas inicialmente se debe designar a una de las antenas como una antena local instalada en este caso en el pozo y una remota configurada como el receptor.

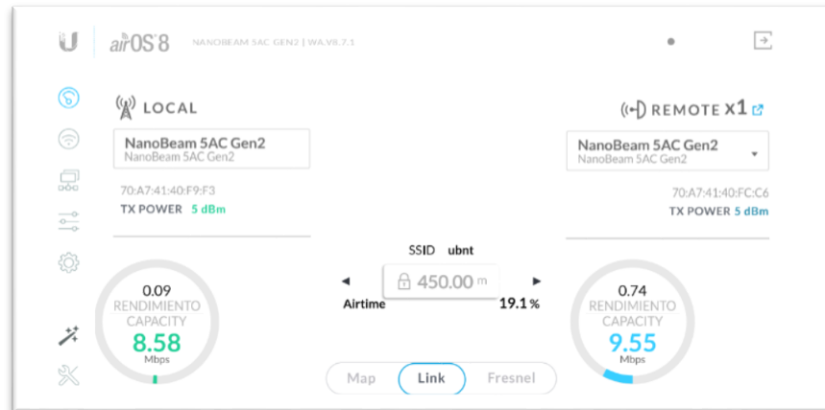


Figura N°4.2: Antena local y remota.

El procedimiento de la configuración se realizó mediante el software de gestión Ubiquiti.



Figura N°4.3: Configuración IP.

Los resultados de las pruebas realizadas demuestran que el prototipo cumple con los requerimientos funcionales definidos para el control remoto del pozo N°11, validando su correcta operación antes de una eventual implementación en terreno.

CAPÍTULO V
EVALUACIÓN DE COSTOS Y FUTURAS MEJORAS

5.1 Costos de materiales y equipos

Para determinar la viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema, se realizó una evaluación de costos que considera tanto los materiales requeridos como el costo asociado a la mano de obra.

Tabla N°5.1: Costo de materiales

ITEM	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	MONTO TOTAL
1	1	C/U	ML1100 10E VAC/6S RELÉ/2EA V F	\$ 1.027.028	\$ 1.027.028
2	1	C/U	1762-IF4 MODULO DE ENTRADA ANALOGO MICROLOGIX 4 PUNTOS	\$ 479.738	\$ 479.738
4	1	C/U	CAJA MARINA 400X300X206 IP66	\$ 469.394	\$ 469.394
5	1	C/U	PLACA LLENA 350X250	\$ 21.361	\$ 21.361
6	1	C/U	FUENTE DE ALIMENTACION QUINT4-PS/1AC/24DC/10A	\$ 294.742	\$ 294.742
7	1	C/U	PEPPERL+FUCHS DUPLICADOR DE SEÑAL KFDS-STC5-1.20	\$ 434.579	\$ 434.579
8	15	C/U	BORNE DOBLE PISO 2,5 MM PTTB 2,5 3210567 PHOENIX CONTACT	\$ 1.570	\$ 23.550
9	15	C/U	TAPA FINAL BORNE DOBLE PISO 2,5 MM2	\$ 430	\$ 6.450
10	1	C/U	INDUSTRIAL ETHERNET SWITCH 1105NT	\$ 204.918	\$ 204.918
11	4	C/U	BLOQUE REPARTIDOR PTFIX 6/18X2,5-NS35 GY	\$ 5.943	\$ 23.772
12	7	C/U	RELE 110 VDC RUM DE 8 PINES MARCA SCHNEIDER	\$ 22.586	\$ 158.102
13	1	C/U	RELE 24 VDC RMX DE 8 PINES MARCA SCHNEIDER	\$ 16.795	\$ 16.795
19	1	C/U	HMI Delta 10" DOP110WS	\$ 997.326	\$ 997.326
NOTA:				Subtotal	\$ 4.157.755
				IVA 19%	\$ 789.973
				Total	\$ 4.947.728

5.2 Costos mano de obra

❖ Valor hora trabajador

El cálculo del valor hora se realizó en función del sueldo base mensual.

Tabla N°5.2: Datos trabajador

Sueldo Base Mensual	\$1.114.785
Factor legal utilizado	0,007777

$$VALOR HORA = \$1.114.785 * 0,007777 = 8.669,68 \approx 8.670 \text{ CLP/h}$$

❖ Horas trabajadas en el proyecto:

El tiempo invertido contempla todas las etapas del desarrollo desde el levantamiento de información hasta las pruebas y construcción del prototipo.

Tabla N°5.3: Horas trabajadas

ACTIVIDAD	HORAS
Levantamiento en terreno	10
Selección de equipos	10
Programación de PLC	12
Desarrollo y configuración HMI	13
Construcción Prototipo	13
Pruebas y simulaciones	8
Configuración del enlace inalámbrico	7
TOTL	73 horas

❖ **Costo total mano de obra:**

La mano de obra se calculó tomando como referencia el sueldo base mensual y al turno correspondiente de 12 horas.

$$\text{Costo total obra} = 73 \text{ h} * 8.670 \frac{\text{CLP}}{\text{h}} = 632.910 \text{ CLP}$$

5.3 Costo total proyecto

$$\text{Costo total proyecto} = \text{Materiales y equipos} + \text{Mano de Obra}$$

$$\text{Costo total estimado} = 4.947.728 + 632.910$$

$\text{Costo total estimado} = \$5.580.638$

5.4 Análisis del impacto operativo y económico de la propuesta

La implementación de este sistema remoto contribuye a disminuir la exposición del personal a condiciones de riesgo, lo que impacta directamente en la reducción de incidentes laborales. Estos eventos pueden generar costos tales como tratamientos médicos, apoyo psicológico al personal afectado y licencias.

Adicionalmente, el sistema permite el monitoreo continuo de las variables críticas del proceso, entregando información en tiempo real al operador. La incorporación de condiciones de protección evita el funcionamiento del equipo en condiciones no seguras, contribuyendo a la protección de los equipos.

5.5 Futuras mejoras

Aunque el proyecto presentado cumpliera con los requerimientos necesarios para cumplir con el objetivo inicial, existen más ideas para ampliar su funcionalidad y robustez. Se proponen las siguientes mejoras para una versión más completa:

5.5.1 Control automático de nivel

Se plantea implementar un control de nivel basado en la regulación del variador de frecuencia (VDF) de la bomba del pozo. El sensor de nivel enviará la señal al PLC, el cual ajustará la frecuencia de operación de la bomba en función del nivel registrado en la piscina.

Idealmente, el nivel de la piscina debe mantenerse entre un 70 % y un 90 %, por lo que se propone la siguiente lógica de control:

- ❖ **Cuando el nivel sea menor al 70 %:** El PLC aumentará la frecuencia del VDF para incrementar el caudal y permitir una recuperación más rápida del nivel de la piscina. Sin embargo, esta frecuencia no podrá superar el valor máximo establecido, correspondiente al caudal autorizado de 43 L/s.
- ❖ **Cuando el nivel se encuentre entre 70 % y 90 %:** La bomba operará de forma estable con el fin de conservar el nivel dentro de este rango.
- ❖ **Cuando el nivel supere el 90 %:** El PLC detendrá la bomba para evitar el sobrellenado de la piscina.

Se considera mantener la frecuencia dentro de los valores recomendados por el fabricante del VDF, ya que operar por debajo de estos rangos podría provocar cavitación y, en consecuencia, un desgaste prematuro tanto del variador como de la bomba.

Adicionalmente, el sistema incorpora un límite máximo de frecuencia asociado al caudal permitido por la Dirección General de Aguas (DGA), asegurando que el caudal que circula por la cañería no supere los 43 L/s, aun cuando el nivel de la piscina requiera un mayor aporte de agua.

5.5.2 Registro histórico de variables

Implementar un sistema de registro y análisis de tendencias que permita almacenar y visualizar en el tiempo las variables operacionales, tales como nivel, flujo y presión.

Además, incluir un historial de fallas y alarmas del equipo, con el fin de apoyar el análisis de mantenciones y la toma de decisiones técnicas.



Figura N°6.1: Gráfico de tendencia

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

El desarrollo de este proyecto permitió demostrar que es técnicamente viable y opcionalmente conveniente implementar este sistema de control y monitoreo remoto para el pozo N°11 de SCM Carola. A lo largo de este trabajo se cumplieron los objetivos planteados, entre ellos realizar el levantamiento de condiciones reales del pozo, programar la lógica de control en el PLC, diseñar una HMI funcional y ejecutar el arranque del pozo desde una ubicación remota y segura.

El levantamiento inicial de las condiciones del equipo permitió definir la lógica de control necesaria para comenzar con el diseño de la programación. Posteriormente, el diseño de la HMI y la comunicación entre los dispositivos permitieron dar forma a un prototipo completamente funcional, capaz de representar el comportamiento real del sistema de bombeo.

Durante la ejecución surgieron algunos desafíos, relacionados principalmente por falta de experiencia previa en la programación y confección de la HMI. Sin embargo, estas dificultades fueron parte fundamental del proceso formativo y permitió adquirir nuevas habilidades técnicas que enriquecen en el resultado final.

El proyecto demostró ser una mejora directa en la seguridad, ya que reduce la necesidad de que el personal se desplace hasta el pozo, especialmente en los turnos nocturnos, y ofrece una supervisión clara de variables como el caudal, presión y estado del variador. Además, el sistema desarrollado es escalable y permite la incorporación de nuevas funciones, como control automático del nivel de la piscina, la incorporación de una UPS y un registro histórico de variables.

En conclusión, este proyecto no solo cumple con los objetivos planteados, sino que también establece una base para futuras mejoras y para la implementación en terreno. Este control remoto en el pozo representa un avance significativo en términos de seguridad y modernización del sistema hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

- *¿Qué es un acondicionador de señal?* (s.f.). Obtenido de <https://www.hbm.com/es/7339/que-es-un-acondicionador-de-senal-funciones/>
- Aydep. (s.f.). *Automatización industrial y sistemas de control y monitoreo remoto*. Obtenido de <https://www.aydep.com/blog/2023/08/22/automatizacion-industrial-y-sistemas-de-control-y-monitoreo-remoto/>
- Board, E. (s.f.). *¿Que tipos de PLC hay?* Obtenido de https://www.electronicboard.es/que-tipos-de-plc-hay-electronica/#1_PLC_compacto
- Carola, S. (s.f.). *Planta Cerrillos*. Obtenido de <https://scmcarola.cl/planta-cerrillos/>
- Comdiel. (2025). *NanoBeam 5AC*. Obtenido de <https://www.comdiel.cl/nanobeam-5ac-nbe-5ac-gen2>
- Contact, P. (s.f.). *Adaptar y proteger las señales de procesos digitales y analógicas*. Obtenido de <https://www.phoenixcontact.com/es-cl/tecnologias/procesamiento-senales-industrial/adaptacion-senal-analogica-digital>
- controlautomaticoeducacion. (s.f.). *Lazo Abierto y Lazo Cerrado*. Obtenido de <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/lazo-abierto-y-lazo-cerrado/>
- GODADDY. (27 de 08 de 2024). *CMD en Windows: Qué es y cómo usar la línea de comandos*. Obtenido de <https://www.godaddy.com/resources/latam/stories/cmd-que-es-como-usar-linea-de-comandos-windows>
- grua, C. (s.f.). *Sistemas de control remoto*. Obtenido de <https://controlesgrua.com/sistemas-de-control-remoto/>
- *Guía de inicio rápido de NBE-5AC-Gen2*. (s.f.). Obtenido de airMAX® AC CPE con controlador de radio dedicado: https://dl.ubnt.com/qsg/NBE-5AC-Gen2/NBE-5AC-Gen2_ES.html
- industria, C. d. (s.f.). *Variador de Frecuencia : Funcionamiento y aplicaciones reales*. Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-variador-de-frecuencia/>
- IONOS. (s.f.). *Cómo utilizar el comando Ping en Windows*. Obtenido de <https://www.ionos.com/es-us/digitalguide/servidores/herramientas/comando-ping/>

- microsoft, I. (s.f.). *Ping*. Obtenido de <https://learn.microsoft.com/es-es/windows-server/administration/windows-commands/ping>
- *Nivel Freático y su abatimiento: control del agua subterránea para la gestión efectiva de proyectos*. (s.f.). Obtenido de <https://hidromx.com/que-es-el-nivel-freatico-y-porque-abatirlo/>
- PLC, A. d. (17 de 09 de 2022). *¿Sabes la importancia del escalado de una señal analógica?* Obtenido de <https://www.academiadepc.com/blog/sabes-la-importancia-del-escalado-de-una-senal-analoga>
- publicas, M. d. (s.f.). *Funciones DGA*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/que-hacemos/funciones/>
- SICMA21. (14 de octubre de 2021). *¿Qué es un PLC y cuándo se usa?* Obtenido de https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/#Unidad_central_de_procesamiento_CPU
- SICMA21. (22 de abril de 2021). *Redes de comunicación industrial*. Obtenido de https://www.sicma21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/#Tipos_de_Protocolo_en_Comunicaciones_Industriales
- sistemas, B. (s.f.). *Diferencia entre una señal digital y analógica*. Obtenido de <https://bama.es/diferencia-senal-digital-analogica/>
- systems, C. T. (s.f.). *Automatización del sistema: Plataformas de monitoreo y control remoto*. Obtenido de https://www.crtsgroup.com/es/engineering_talks/engineering-talks/automatizacion-del-sistema-plataformas-de-monitoreo-y-control-remoto/
- Tips, M. (s.f.). *Los orígenes del PLC*. Obtenido de <https://www.mytips.es/los-origenes-del-plc/>
- VENCO. (2025). *Niveles de comunicación en una red industrial*. Obtenido de <https://www.vencoel.com/comunicaciones-industriales-una-guia-completa-de-aplicaciones-y-usos/>

