

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL
GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL,
SUPERVISIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS DE UNA RED DE
BOMBEO DE AGUA PARA UNA PLANTA AVÍCOLA UBICADA
EN ATENAS**

AUTOR: JUAN DIEGO ARGUEDAS VILLANUEVA

TUTOR: ING. DENNIS SÁNCHEZ

SEDE CENTRAL, 2023

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo I. Introducción.....	13
Planteamiento del problema.....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos.....	13
Justificación.....	13
Antecedentes nacionales	14
Antecedente n.º 1.....	14
Antecedente n.º 2.....	15
Antecedente n.º 3.....	15
Antecedente n.º 4.....	16
Antecedente n.º 5.....	16
Antecedente n.º 6.....	17
Antecedentes internacionales	18
Antecedente n.º 1.....	18
Antecedente n.º 2.....	18
Antecedente n.º 3.....	19
Antecedente n.º 4.....	19
Antecedente n.º 5.....	20
Antecedente n.º 6.....	20
Limitaciones	21
Capítulo II. Marco teórico.....	21
Planta avícola	22
Sistema de bombeo de agua.....	22
Fluido.....	22
Presión.	23
Caudal.....	23
Tanques.....	23
Tanques enterrados.	23
Medición de nivel.	23
Medidor ultrasónico.....	24

Medidor de radar.....	25
Máquinas hidráulicas.....	26
Bombas.....	26
Flujo radial.....	26
Flujo mixto.....	27
Flujo axial.....	28
Pozos de captación de agua.....	29
Acuíferos.....	29
Válvulas.....	29
Scada.....	30
Arquitectura general del Scada.....	30
Dispositivos físicos.....	30
Interfaz hombre-máquina (HMI).....	31
Unidad central (MTU, master terminal unit).....	31
Unidad remota (RTU).....	31
Controlador lógico programable (PLC).....	31
Arquitectura.....	32
Constitución física.....	32
Modulares.....	32
Compactos.....	33
Señales digitales.....	33
Entradas digitales.....	35
Salidas digitales.....	36
Señales analógicas:.....	37
Entradas analógicas.....	38
Salidas analógicas.....	41
Programación de PLC.....	42
Lenguajes de programación.....	42
Diagrama de contacto o escalera.....	43
Diagrama escalera (LADDER).....	43
Contacto usualmente abierto (NA).....	43

Contacto usualmente cerrado.....	43
Bobina.....	43
Temporizadores y contadores.....	44
Programas de PLC.....	44
Criterios para la selección de PLC.....	46
Bases de datos.....	46
Lenguaje de estructuras que se relacionan (SQL).....	47
Redes industriales.....	47
Profibus.....	48
Profinet.....	49
Topología.....	50
Estrella.....	50
Anillo.....	50
Bus.....	51
Árbol.....	52
Medio físico.....	52
Método de arbitraje.....	53
Voltaje.....	55
Corriente eléctrica.....	55
Corriente directa.....	55
Corriente alterna.....	56
Circuitos monofásicos y trifásicos.....	56
Conexiones trifásicas.....	57
Voltajes y corrientes en conexión en ye (Y).....	58
Control y protección de potencia.....	58
Interruptores termomagnéticos.....	59
Guardamotor.....	59
Contactores.....	60
Ingeniería económica.....	62
Valor actual neto (VAN).....	62
Tasa interna de retorno (TIR).....	63

Capítulo III. Marco metodológico	65
Enfoque de investigación	65
Unidades de análisis	65
Capítulo IV. Análisis y diseño de la solución	67
Sistema de bombeo.....	67
Pozos.....	67
Control de los pozos.	67
Automatización del sistema de bombeo.	67
Nivel de los tanques.....	71
Medición de caudal.....	72
Lógica de programación.	73
Controlador lógico programable (PLC).	75
Entradas y salidas.	75
Programación de PLC.....	78
Adquisición de datos.....	82
Análisis financiero.....	84
Análisis de los resultados	86
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.....	88
Conclusiones	88
Recomendaciones.....	88
Referencias.....	90
Apéndices y figuras.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de válvulas	29
Tabla 2 Matriz de conceptualización: investigación con planteamiento de metodología en enfoque cuantitativo.....	65
Tabla 3 Volumen de los tanques.....	71
Tabla 4 Caudales promedio.....	72
Tabla 5 Rango de los sensores	73
Tabla 6 Entradas PLC	76
Tabla 7 Salidas PLC.....	76
Tabla 8 Consumos 24 VCD	77
Tabla 9 Consumos 5 VCD	78
Tabla 10 Costos proyecto.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Medidores de caudal.....	25
Figura 2 Bomba de flujo radial	27
Figura 3 Bomba de flujo mixto	28
Figura 4 Bomba axial.....	29
Figura 5 Panel HMI.....	31
Figura 6 Arquitectura PLC.....	32
Figura 7 PLC modular	33
Figura 8 PLC compacto	33
Figura 9 Módulo de ampliación de I/O.....	34
Figura 10 Etapas de entradas digitales.....	35
Figura 11 Etapas de salidas digitales	37
Figura 12 Conversión de una variable discreta.....	38
Figura 13 Conversor A/D.....	40
Figura 14 Estructura de entradas analógicas.....	41
Figura 15 Señal desde CPU	42
Figura 16 Ejemplo diagrama de bloques	44
Figura 17 Temporizador.....	44
Figura 18 Estructura de redes industriales	47
Figura 19 Topología estrella	50
Figura 20 Anillo	51
Figura 21 Topología bus	51
Figura 22 Topología árbol.....	52

Figura 23 Gráfico corriente directa.....	56
Figura 24 Gráfico corriente alterna.....	56
Figura 25 Voltaje monofásico.....	57
Figura 26 Voltaje trifásico	57
Figura 27 Conexiones trifásicas	58
Figura 28 Interruptor termomagnético	59
Figura 29 Lectura de especificaciones	60
Figura 30 Contactor placa de identificación	61
Figura 31 Relé de nivel	62
Figura 32 Distancia de los tanques desde la planta.....	68
Figura 33 Panel eléctrico.....	69
Figura 34 Diagrama pozos monofásicos.....	70
Figura 35 Diagrama pozo 4.....	70
Figura 36 Sensor de nivel	71
Figura 37 Diagrama de flujo	74
Figura 38 Panel PLC	75
Figura 39 Enclavamiento encendido.....	79
Figura 40 Condicional tanque 1	79
Figura 41 Temporizadores	80
Figura 42 Reinicio de los temporizadores	80
Figura 43 Lógica luces piloto.....	81
Figura 44 Diseño HMI	82
Figura 45 Escalonamiento de señal analógica	82

Figura 46 Conexión de equipos 84

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, mi novia y a todas las personas que siempre me motivaron para seguir estudiando.

RESUMEN

Una planta avícola ubicada en Río Grande de Atenas se dedica al sacrificio y producción del pollo y sus derivados para el consumo humano, la cual se restringe por el Reglamento Sanitario y de Inspección Veterinaria de Establecimientos de Sacrificio y Procesadores de Aves, decreto n.º 37548-MAG, que en el art. 70º afirma:

Los establecimientos deberán de disponer de agua potable, en cantidad suficiente y presión necesaria de modo que esté disponible en todas las áreas y que las operaciones de limpieza y procesos realicen satisfactoriamente. Asimismo, deberán contar con instalaciones apropiadas para su almacenamiento y distribución.

Debido a este decreto, se extrae agua de cuatro diferentes pozos y se bombean hasta tres tanques de reserva, ubicados a 434 m de la planta e igualmente por sistemas de bombas se dirige al tanque principal de la planta para sus distintos usos. El faltante de este preciado recurso detendría la producción en su totalidad y la empresa perdería dinero.

El sistema actual de bombeo es a través de un control basado en contactores y boyas de nivel para no desperdiciar el importante líquido, sistema que presenta defectos y el tiempo de respuesta en posibles fallas no es el adecuado. Por lo tanto, se plantea implementar un sistema automatizado de control, recolección y supervisión de datos (Scada) para el control de los pozos, monitorización de los tanques de agua y la recopilación de datos del consumo. Para llevar a cabo el proyecto se debe diseñar un sistema con un controlador lógico programable (PLC) con entradas analógicas y digitales, también diferentes tipos de sensores como flujómetros, sensores de nivel y tener una forma de visualizar los datos adquiridos.

La programación del PLC se diseña en escalera, por la versatilidad del programa. Además, se propone una interfaz humano-máquina (HMI) para la operación del Scada por el equipo de mantenimiento, por lo que el diseño de la interfaz debe ser accesible con el usuario y de fácil operación.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

¿Cuál es el mejor diseño de un sistema automatizado para el control, supervisión y adquisición de datos para una red de bombeo en una planta avícola de Atenas?

Objetivo general

Diseñar un sistema automatizado de control, supervisión y recolección de datos de una red de bombeo de agua en una planta avícola ubicada en Atenas.

Objetivos específicos

1. Definir el funcionamiento actual del sistema de bombeo de agua de una planta avícola, ubicada en Atenas.
2. Determinar el estado de los paneles eléctricos que controlan actualmente los pozos para que no se tengan inconvenientes con la automatización.
3. Crear la programación de los controladores lógicos programables para la automatización de la red de bombeo de agua.
4. Diseñar la interfaz humano-máquina (HMI) para el control automatizado del sistema de bombeo.
5. Estimar los costos de los equipos que deben incorporarse para el diseño del sistema de bombeo de agua para una planta avícola ubicada en Atenas.

Justificación

La empresa avícola se fundó en 1973 en Río Grande de Atenas, donde se cumple con la operación, desde el sacrificio hasta el empaquetado del pollo para la venta al público, por lo tanto, tiene que cumplir con el art. 70° del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG). Uno de los principales requisitos es el constante aseo del personal y la limpieza de la planta, que no se puede llevar a cabo sin agua. Para tener este importante recurso la compañía posee un sistema de bombeo, donde obtiene el agua de cuatro diferentes pozos, los cuales dirigen el agua hacia tres tanques de reserva y un tanque principal ubicado en la planta.

El encendido y monitoreo de los pozos se lleva a cabo con el personal de mantenimiento, quienes hacen tres rondas diarias para verificar el funcionamiento correcto. Debido a que la ubicación es a 434 m de la planta, darse cuenta de que alguno de estos está en falla es muy complicado. Además, en cada pozo se tienen medidores mecánicos, los cuales el personal tiene que apuntar los metros cúbicos de agua en una bitácora para llevar el consumo. De igual manera, el nivel de los tanques se debe medir con una cinta métrica para calcular si los litros de agua son suficientes para terminar la producción, ya que si hiciera falta se compra agua a contratistas externos de la planta.

A partir de esos problemas se desarrolla la idea de este proyecto de crear un sistema de control, supervisión y adquisición de datos, más conocido por sus siglas en inglés como Scada, donde se espera controlar y supervisar los pozos desde la oficina de mantenimiento en caso de alarmas y fallos. Asimismo, se puede actuar de la manera más rápida, además de colocar medidores de caudal, los cuales pueden obtener la información y enviarla a una base de datos, la cual recopila la información automáticamente. Por otro lado, se pretende supervisar el nivel de los tanques y tener un criterio correcto de las necesidades del recurso de agua.

Antecedentes nacionales

Antecedente n.º 1. Título: Sistema de control y monitoreo hídrico, basado en LoRaWAN™, para el acueducto principal de la Asociación Administradora del Acueducto Rural de Playa Sámara de Nicoya.

Autor: Sergio Solórzano Alfaro.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Año: 2021.

El autor de este proyecto ve la necesidad de una asociación administradora de un sistema de acueductos y alcantarillados comunal (Asada), por lo que solicita la autonomía operativa del sistema de bombeo y recopilación de datos hídricos en tiempo real. Se decide implementar un sistema basado en el Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés), con un programa informático de uso libre para reducir los costos del proyecto.

Para medir el caudal Solórzano Alfaro (2021) se decide por utilizar un flujómetro ultrasónico Octave, donde concluye un porcentaje de error de 0.73 %, además de su versatilidad y ser

compatible con diferentes protocolos de comunicación. Por lo tanto, se estudia este tipo de flujómetros para el proyecto debido a la necesidad de medir el caudal de los pozos para la adquisición de datos. Asimismo, se obtiene el manual de datos del flujómetro, así como su manual de instalación.

Antecedente n.º 2. Título: Sistema de control automático y monitorización del sistema de suministro de agua de la planta este de Trimpot Electrónicas Ltda.

Autor: Cristopher Gonzales Navarro.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Año: 2016.

Este proyecto busca la automatización y monitoreo de un sistema de suministro de agua, donde el autor logra mejorar y actualizar el sistema de llenado de los tanques de proceso, mediante un PLC. Además, desarrolla un diseño en una aplicación en LabView en la que monitorea las variables del proyecto y, finalmente, todo lo lleva a una base de datos en Microsoft Access, donde lleva un historial de las variables del sistema.

Para el proyecto actual se destaca la idea de poder llevar todas las variables del sistema a una base de datos, donde se pueden hacer seguimientos e historiales a las variables para definir mantenimientos y eficiencias de los equipos.

Antecedente n.º 3. Título: Automatización y optimización del procesado de Plastisol para la empresa Proquinal.

Autor: Roberto David Matamoros Gamboa.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Año: 2021.

El informe presentado por el autor desarrolla el control y monitoreo del Plastisol para la empresa Proquimical donde tienen tanques que guardan el producto y tienen un sistema que ocupa encender varios motores para mover el material y este baje su viscosidad para el proceso. Todo se opera de forma manual por parte de los operarios, además, de la falta de sincronización con el encendido de motores que afecta los picos de voltaje y, por ende, aumentan la tarifa eléctrica. Por

consiguiente, se ve la oportunidad de automatizar el sistema con PLC y un control HMI con una interfaz sencilla para su operación.

Al final se concluye la importancia de colocar un panel HMI y que su interfaz junto a su control sea fácil de aprender y de entender para todos los usuarios. Además, Matamoros Gamboa (2021) afirma que la elección del panel HMI es trivial y depende de la marca y compatibilidad del PLC. En este proyecto para el desarrollo del Scada se toma en cuenta lo que recomienda el autor de hacer una interfaz gráfica fácil y simple para la persona usuaria, finalmente, para la elección del panel HMI depende del PLC por utilizar.

Antecedente n.º 4. Título: Rediseño y automatización del sistema de bombeo de agua potable de cedos don Bosco.

Autor: Luis Antonio Chacón Sandoval.

Institución: Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica.

Año: 2022.

El autor del proyecto encuentra el problema del desabastecimiento de agua en el *campus* de Cedés don Bosco. Al ser un centro educativo el agua potable es un recurso muy importante, por lo que Chacón Sandoval (2022) decide hacer una evaluación al sistema de bombeo y establecer parámetros para la correcta automatización del sistema. Uno de los puntos más importantes que considera el autor es evaluar las condiciones actuales del sistema eléctrico para que en el momento de la implementación de los equipos nuevos no se dañen.

Se concluye que la mejor opción es un PLC de marca Siemens para cubrir todas las necesidades del proyecto y se asumieron varios cambios en componentes eléctricos para que cumplieran con las normas del Código Eléctrico Nacional (NEC) y la norma U.L. Por consiguiente, debido a que utiliza el sistema de bombeo actual, se ve la importancia de revisar los equipos de control de las bombas y si fuera necesario hacer el cambio de equipos eléctricos para mantener la seguridad y resguardar los componentes nuevos de automatización.

Antecedente n.º 5. Título: Rediseño del sistema eléctrico y automatización de la planta potabilizadora de agua de Liberia de 225 kVA del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Autor: William Andrés Brenes González.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Año: 2021.

El autor de este proyecto tiene como objetivo diseñar el sistema eléctrico y automatizar la planta potabilizadora de Liberia, la cual se encuentra obsoleta y se requiere garantizar la operatividad de la estación. Además, el diseño de los paneles eléctricos se tiene que cumplir con las normas del NEC (2014) e integrar un sistema de monitoreo con una interfaz HMI.

Para completar el proyecto Brenes González (2021) decide comunicar los sensores con el PLC de manera remota, con un enrutador con una red privada virtual (VPN) celular industrial con puertos Ethernet. El diseño del Scada del sistema de bombeo implica la comunicación de varios pozos, donde la comunicación por cables es difícil. Por lo tanto, una comunicación remota de una red privada celular ayuda a solucionar los problemas hasta el PLC maestro.

Antecedente n.º 6. Título: Diseño de un sistema Scada para la automatización de la planta de tratamiento de aguas de la empresa Cargill en San Rafael de Alajuela.

Autor: Freddy Salazar Acosta.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Año: 2019.

El autor del proyecto plantea la evaluación y diseño de un Scada para la automatización de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Cargill. Después de estudiar las necesidades de la compañía Salazar Acosta (2019) plantea el sistema completo que permita controlar y visualizar de forma remota con el protocolo Modbus/TCP.

Al finalizar el proyecto el autor logra el diseño de la interfaz HMI del sistema Scada y determinó que es rentable llevar a cabo el proyecto y el retorno de inversión se da en 3.1 años con un TIR del 28.9 %. Salazar Acosta (2019) utiliza el método de la tasa interna de rendimiento y el valor presente neto para los costos del proyecto y ver si es viable, al ser la planta avícola una industria privada se usan los mismos métodos para hacer la evaluación de costos.

Antecedentes internacionales

Antecedente n.º 1. Título: Reingeniería del sistema de bombeo e implementación de un Scada para la supervisión y control automático del sistema contra incendio, en la planta industrial Petróleos Paraguayos Petropar.

Autor: Carlos Javier Ojeda Jiménez, Rodrigo Aguilera Vargas.

Institución: Universidad del Cono Sur de las Américas, Asunción, Paraguay.

Año: 2021.

En este proyecto se desarrolla un rediseño del sistema de bombeo e implementación de un Scada para supervisar y controlar un sistema contra incendios. El objetivo principal fue la colocación de un PLC para el arranque suave de dos electrobombas. Para llevar esto a cabo utilizaron un PLC marca Siemens modelo S7-1200, el cual se programa con TIA PORTAL V15, este se eligió por su precisión en las tareas de automatización, además de la compatibilidad con módulos externos para poder conectar entradas analógicas y digitales.

Por ende, se toma como un punto de partida muy importante el uso del PLC Siemens S7-1200 y su programa TIA PORTAL 15 en el proyecto de diseño de un sistema automatizado de control, supervisión y recolección de datos de una red de bombeo de agua para una planta avícola ubicada en Atenas.

Antecedente n.º 2. Título: Sistema HMI-PLC-ADF-Motor CA para control de velocidad.

Autores: José Carlos Quezada Quezada, Maribel González Cadena, Ernesto Flores García y Jorge Bautista López.

Institución: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Año: 2018.

Los autores proponen el control de motores de corriente alterna (AC) mediante un sistema HMI, un PLC y variador de frecuencia (ADF) que se utilizan para procesos de producción y reducir costos eléctricos en los arranques de motores. Para llevar a cabo este proyecto se emplea el método de programación de PLC escalera, con base en su simplicidad y dejar un sistema programado con un lenguaje más usado y amigable con los usuarios.

Para la creación del Scada para el sistema de bombeo se utiliza esa experiencia del autor y se decide programar los PLC en lenguaje escalera para dejar un lenguaje universal más conocido y simple. Lo anterior para que los técnicos de la empresa puedan hacer algún cambio o agregar sensores en el futuro.

Antecedente n.º 3. Título: Metodologías de evaluación del riesgo en ciberseguridad aplicadas a sistemas Scada para compañías eléctricas.

Autor: Wilmar Andrés Rosas Bellos, Fabián Medina Becerra y Jairo Mesa Lara.

Institución: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Año: 2020.

Este artículo de revisión se da a la tarea de investigar 12 artículos de los principales métodos de ciberseguridad que se pueden aplicar en sistemas Scada, principalmente en sistemas críticos como en este caso las compañías eléctricas, debido al alto riesgo que existe de un ataque cibernético y se apodere del sistema principal que opera la planta. Las vulnerabilidades más destacadas según los diversos autores son por la arquitectura y topologías del sistema.

En conclusión, el artículo afirma que no hay una forma exacta de mantener los sistemas asegurados. Sin embargo, se debe considerar cada uno de los factores internos y externos que pueden hacer vulnerable a la empresa.

Antecedente n.º 4. Título: Desarrollo de un sistema Scada para una estación de bombeo de agua a presión constante.

Autores: Jonathan Wladimir Almachi Chiguano y Erick Alexander Naranjo Barrera.

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

Año: 2021.

Los autores del proyecto implementan un sistema Scada a una estación de bombeo de agua a presión constante, el cual dividen en tres etapas, primero la investigación sobre cómo controlar cada parte del sistema de bombeo, segundo la construcción de la planta usando el programa Inventor y finaliza con la programación del PLC y la comunicación entre ellos mediante el protocolo

TCP/IP. Además, Almachi Chiguano y Naranjo Barrera (2021) implementan un controlador proporcional, integral y derivativo (PID) de presión.

Para crear la interfaz gráfica se utiliza un programa con una prueba gratuita sin límite de tiempo llamada Ignition. Dicho programa es necesario en el proyecto del Scada para el sistema de bombeo, para desarrollar una interfaz gráfica simple para el uso de los operarios.

Antecedente n.º 5. Título: Implementación de un sistema Scada para el control de temperatura de dos hornos a través de una red Ethernet.

Autores: Joseph López Herrera y Luis Vargas Soria.

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

Año: 2021.

Los autores del proyecto desean implementar un sistema Scada para el control de hornos a través de una red Ethernet para el control y supervisión de los equipos. Para esto, se utilizaron dos PLC y el uso del programa Ignition para crear la interfaz de usuario, la comunicación con el protocolo Modbus/TCP, con la conexión Ethernet da la seguridad de mantener el sistema Scada separado de otras conexiones para la seguridad del proceso.

En conclusión, se logra la conexión correcta de los equipos en el momento de enviar o recibir datos a través de la red Ethernet con base en la arquitectura maestro-esclavo que son compatibles con los PLC S7-1200. Esta arquitectura es muy conveniente para este trabajo, debido a que los pozos se encuentran a una distancia considerable de los tanques principales donde está la conexión de Internet. Por lo tanto, se utiliza un PLC maestro conectado con una red Internet y en cada pozo un PLC esclavo.

Antecedente n.º 6. Título: Sistema de control del consumo de agua, mediante el sistema Scada para el invernadero #1 en el Campus Salache.

Autores: Alex Rojano Tituaña y Wilson Toapanta Ortega.

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

Año: 2020.

Los autores del proyecto requieren implementar un Scada para determinar el nivel y el consumo de agua del invernadero #1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con diferentes instrumentos, entre ellos el uso del PLC S7-1200 y sensor ultrasónico para medir el nivel de tanque, así como la creación de un HMI para los operadores del invernadero.

En la investigación se determinó que el medidor de nivel ultrasónico de la marca Huatu, serie 21204173, tiene un rango de 0 a 20 m y un tiempo de respuesta de 1.5 segundos, con la ventaja de poder medir sin estar en contacto con el líquido. Con la información de este antecedente, se estudian los sensores ultrasónicos para medir el nivel de los tanques de agua, aprovechando su versatilidad de rango de nivel.

Limitaciones

- Se trabaja con el sistema actual de bombeo, independientemente de la eficiencia.
- Las interfases HMI se diseñan de manera ilustrativa, debido a los altos costos de los programas de diseño.
- La programación del PLC se hace en una simulación, debido al costo de los equipos.
- Los datos proporcionados por la empresa no pueden ser respaldados con documentos, debido a la confidencialidad.
- La información sobre la topología y los accesos de la red es confidencial por un tema de ciberseguridad.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

El suministro de agua en una planta avícola es muy importante para el proceso y aseo de sus instalaciones. Además del cumplimiento con el decreto N 37548 del MAG debe cumplir con el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones de Costa Rica. Por lo tanto, se decide implementar un sistema de operación, monitorización y adquisición de datos (Scada) para asegurar, en la medida de lo posible, que el suministro de este recurso siempre esté disponible.

Planta avícola

una planta avícola o una planta procesadora de aves se dedica a recibir los pollos vivos que vienen de una granja avícola, para proceder con un sacrificio sin dolor y luego se realiza un proceso de lavado, desplume y eviscerado para garantizar que la carne de pollo esté limpia. Según el decreto 37548 del 2012 art. 21° las plantas procesadoras de aves se deben dividir en tres áreas separadas:

1. Área sucia: lugar donde se insensibilizan los animales, incluye la zona de colgado, degollado, sangrado y desplumado.
2. Área semisucia: lugar donde se encuentra la línea de evisceración, para limpiar el interior del pollo y sea inocuo para el consumo humano.
3. Área limpia: lugar separado completamente de las áreas anteriores, se ubican equipos de enfriamiento y de procesos que abarcan los cortes, empaque, almacenado y despacho del producto.

Sistema de bombeo de agua

Blanco Marigorta *et al.* (1994) define sistema de bombeo como: «Un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos» (s. p.). Usualmente se utilizan para transportar el líquido de una altura a otra, por lo tanto, el sistema debe cumplir con especificaciones como la presión y caudal.

Fluido. Según Cengel y Cimbala (2018) una sustancia en estado líquido o gaseoso es un fluido y este se define como una sustancia que se deforma bajo un esfuerzo cortante por más pequeño que este sea.

Presión. La presión se define como: «Una fuerza normal ejercida por un fluido por unidad de área» (Cengel y Cimbala, 2018, p. 78), la cual utiliza la unidad de medición Newtons por m² (N/m²) y se llama Pascal (Pa). Por ende:

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa.}$$

Caudal. El caudal es la cantidad de fluido que pasa por un área en cierta cantidad de tiempo, correspondiendo al volumen del fluido por unidad de tiempo (Bello y Pino, 2000). Las unidades de medición son:

- Litros por segundo (L/s).
- Litros por minuto (L/min).
- Litros por hora (L/h).
- Metros cúbicos por hora (m³/h).

Tanques. Un tanque es una estructura de almacenaje de líquidos que asegura un constante suministro de líquidos, donde ayuda a la eficiencia de las bombas, ya que funcionan mejor a un ritmo persistente. Existen tres tipos de diseño, arriba, sobre o debajo del nivel del suelo (Lehr y Keeley, 2005).

Según el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2017) en el art. 6.5-3 los tanques de almacenamiento deben cumplir al ser impermeables, inodoros y no le deben dar sabor al agua. Entre los materiales se permite el concreto armado.

Tanques enterrados. El art. 6.5.1-7 señala que los tanques enterrados y semienterrados se deben construir con los materiales adecuados para que aguanten las cargas del sistema. Además, afirma que se levantará 15 cm del nivel del piso y debe tener un registro que permita la inspección, mantenimiento y reparación de este (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2017).

Medición de nivel. El art. 6.5.1-6 del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2017) indica que el control de nivel se debe hacer por medio de dispositivos automáticos de control de nivel, el cual debe cumplir con:

- Detener el flujo de entrada al tanque cuando este se encuentre en el nivel máximo establecido.
- Encender la bomba cuando el nivel del tanque descienda a la mitad de su capacidad.
- Detener la bomba cuando el nivel del tanque ascienda hasta el nivel máximo establecido.
- Detener la bomba cuando el nivel de agua de captación baje hasta 15 cm por arriba de la canastilla de succión.

Existen varios tipos de medidores de nivel, algunos miden directamente la altura de los líquidos, otros miden la presión hidrostática, el desplazamiento del propio fluido, o bien las características eléctricas del líquido. Ciertos instrumentos que utilizan la presión hidrostática son:

- Medidor manométrico.
- Medidor burbujeo.
- Medidor de presión diferencial de diafragma.

Los instrumentos que aprovechan las características eléctricas son:

- Medidor resistivo/conductivo.
- Medidor capacitivo.
- Medidor ultrasónico.
- Medidor de radar.
- Medidor de radiación.
- Medidor láser.

Medidor ultrasónico. La medición de nivel basada en ultrasonidos se basa en la emisión de un pulso ultrasónico a una superficie reflectante, la cual el tiempo que dure en captar el eco de la señal es el nivel del tanque. Algunos factores que pueden interferir con la medición son:

- El rango de temperatura debe ser de 0 °C a 70 °C
- Líquido con espuma en la superficie.

- El líquido debe ser estable, el movimiento de este puede perjudicar la medición.
- Burbujas de gas o vapor en el líquido.

Medidor de radar. Este sistema se basa en la emisión continua de una señal electromagnética en el rango de 10 GHz. Es muy parecido al anterior, la señal que manda lo refleja la superficie del líquido y el tiempo de respuesta depende del nivel del tanque. La fórmula para encontrar la distancia es la siguiente:

$$d = \frac{v \times dt}{2} \text{ con } v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (1)$$

Donde:

D: distancia del emisor al líquido.

V: señal de velocidad.

Dt: tiempo del recorrido.

C: velocidad de la luz.

e: constante eléctrica.

Figura 1
Medidores de caudal



Fuente: Creus Solé (2011).

Este tipo de medidor de radar tiene la ventaja en los líquidos muy espumosos, ya que la constante eléctrica en los vapores es casi la unidad que se puede despreciar (Creus Solé, 2011).

Máquinas hidráulicas

De acuerdo con Caffaggi Félix *et al.* (2021):

Una máquina es un transformador de energías, absorbe energía de una clase y la restituye de otra. Por ejemplo, un motor absorbe energía eléctrica y restituye energía mecánica. Las máquinas se clasifican en grupos: máquinas de fluido, máquinas-herramientas, máquinas eléctricas, etc.:

Máquina de fluido es un dispositivo que se emplea para intercambiar energía entre un fluido en movimiento y un sistema mecánico. Las máquinas que aprovechan la energía del fluido que las atraviesa se conocen como motoras o turbinas y las que proporcionan energía al fluido son generadoras, como las bombas y ventiladores.

Las máquinas de fluido pueden clasificarse en hidráulicas y térmicas. Una máquina hidráulica es aquella en la que el fluido intercambia energía sin modificar sensiblemente su densidad al pasar a través de la máquina (p. 47).

Las máquinas hidráulicas se dividen en dos grupos por su forma de intercambiar energías, las de desplazamiento positivo y las turbomáquinas.

- Máquinas de desplazamiento positivo.
- Turbomáquinas.

Bombas. Según Caffaggi Félix *et al.* (2021):

Una bomba es una máquina hidráulica que agrega energía a un líquido como resultado de las interacciones mecánicas entre sus elementos y el fluido. Básicamente, una bomba se compone dos partes principales:

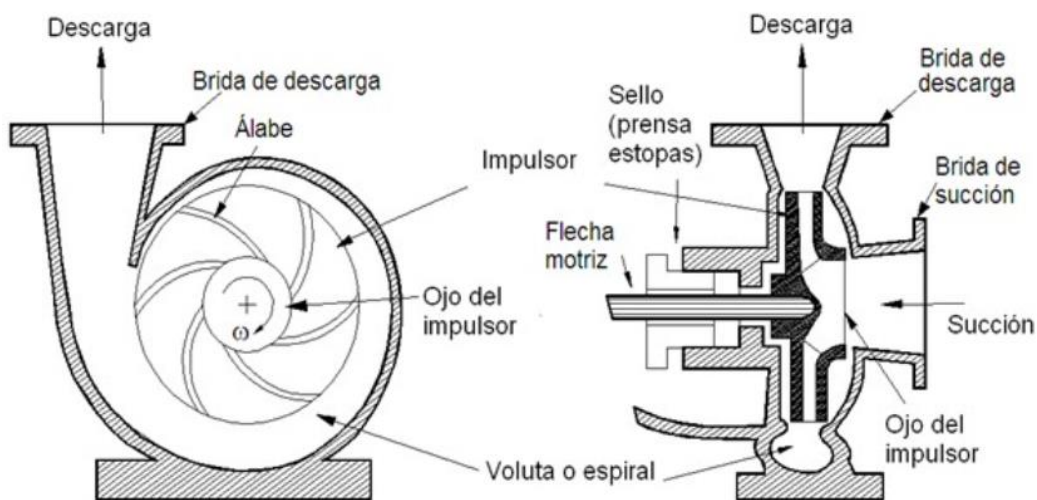
- Un elemento rotatorio que incluye al impulsor y al eje o flecha motriz.
- Un elemento estacionario o cubierta denominado carcasa (p. 53).

Las bombas se clasifican según la trayectoria en la cual es expulsado el líquido con respecto al eje motriz, las cuales son:

Flujo radial. En la Figura 2 se muestra una bomba representativa de flujo radial, con succión única o simple:

El impulsor está montado en un cantiléver y es soportado por la flecha motriz la cual le transmite la energía desde el motor. La carcasa incluye las bridas de succión y de descarga, y contiene a la unidad impulsora. El líquido entra por la brida de succión a la parte central del impulsor, denominada ojo del impulsor, y viaja a lo largo de los alabes, adquiriendo un movimiento de rotación provocado por el giro de estos (Caffaggi Félix *et al.*, 2021, p. 54).

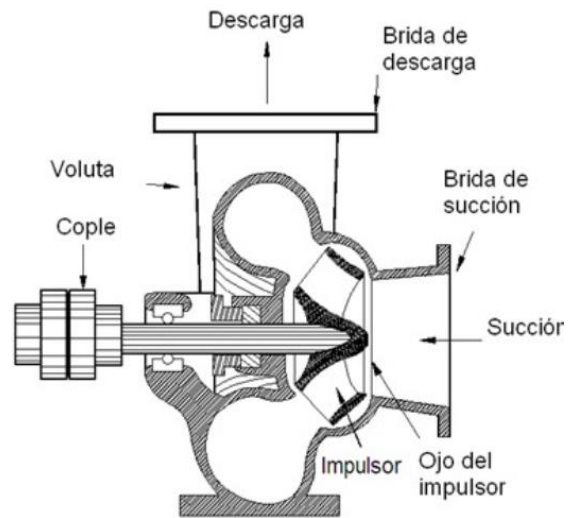
Figura 2
Bomba de flujo radial



Nota. Caffaggi Félix *et al.* (2021).

Flujo mixto. «El conducto formado por las cubiertas frontal y posterior del impulsor es más amplio que de tipo radial; además, los alabes requieren tener una curvatura para seguir la trayectoria tanto en el sentido radial como axial» (Caffaggi Félix *et al.*, 2021, p. 55).

Figura 3
Bomba de flujo mixto

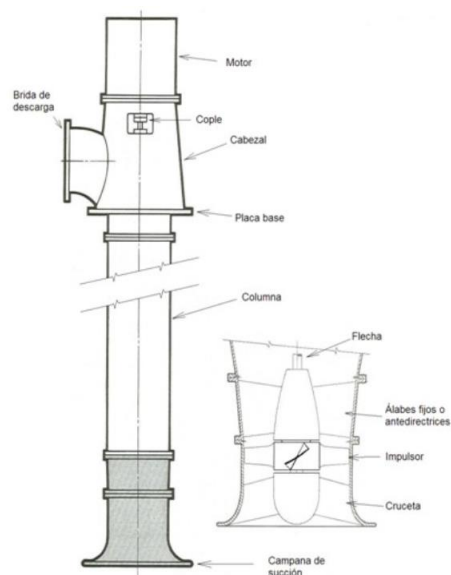


Fuente: Caffaggi Félix *et al.* (2021).

Flujo axial. De acuerdo con Caffaggi Félix *et al.* (2021):

La bomba axial tiene un impulsor similar a una hélice y se emplea para proporcionar gastos altos y cargas bajas. Estas bombas requieren, en vez de voluta, de alabes fijos que operan como difusores y que sirven para eliminar la rotación inducida sobre el fluido al salir de la hélice (p. 59).

Figura 4
Bomba axial



Nota. Caffaggi Félix *et al.* (2021).

Pozos de captación de agua. Un pozo es una perforación en la tierra de una profundidad y diámetro diseñado para la extracción de agua de acuíferos.

Acuíferos. Reckmann (s. f.) afirma que un acuífero es una formación geológica que permite la circulación del agua por sus grietas.

Válvulas. Las válvulas son un accesorio fundamental de un sistema de bombeo, se utilizan para el control de caudal, presión, evitan el flujo inverso del líquido y retiran el aire del sistema. Sin embargo, al existir diferentes tipos hay que seleccionar la adecuada para el uso que se le da. Caffaggi Félix *et al.* (2021) clasifican las válvulas en cuatro tipos: control, regulación de presión, de no retorno y de control de aire y su función en la Tabla 1.

Tabla 1
Clasificación de válvulas

Tipo de válvula	Función
Control	<p>Controlar el flujo o disipar el exceso de energía.</p> <p>Seccionamiento: aislar la bomba o un tramo del conducto para reparaciones.</p> <p>Permite el llenado y vaciado de la conducción.</p>

Regulación de presión	Proteger el tubo de presión excesiva. Mantener una presión constante aguas arriba o aguas abajo.
No retorno	Prevenir el flujo inverso
Control de aire	Remover o admitir aire durante el transitorio o en el llenado del conducto.

Fuente: Caffaggi Félix *et al.* (2021).

Scada

El acrónimo Scada (Supervisory Control And Data Acquisition o control con supervisión y adquisición de datos) se le otorga a cualquier programa que autorice el acceso remoto de alguna operación, utilizando diferentes herramientas para la comunicación necesaria de datos. Por lo tanto, un Scada no es un programa único de un fabricante, sino cualquier programa que haga la interfaz entre los niveles de control de los PLC y la gestión de un nivel superior (Rodríguez Penin, 2013).

Sugerencias para que el Scada sea más aprovechado:

- Sea funcional con cualquier equipo de cómputo y sistemas operativos.
- Arquitectura abierta y que permita combinaciones de estándares.
- Equipos de fácil instalación e interfaces amigables con el usuario.
- La configuración debe ser sencilla y capaz de escalar con las necesidades de la empresa.
- Ser independientes de marcas.

Arquitectura general del Scada. Por la naturalidad de los sistemas Scada se ocupan los dispositivos físicos (*hardware*) que tengan el acceso a la red y los programas para la comunicación del sistema (*software*).

Dispositivos físicos. Según Rodríguez Penin (2013) los dispositivos físicos de un Scada se dividen en dos grandes grupos:

- Captadores de datos: son dispositivos que recopilan la información del sistema y procesan los datos para su uso. Estos son los servidores.

- Utilizadores de datos: reciben la información procesada de los equipos anteriores y se les conoce como clientes.

Interfaz hombre-máquina (HMI). Es una representación gráfica de las partes más importantes del Scada, el cual puede controlar el sistema y monitorear. Se utilizan herramientas importantes como el panel Simatic HMI de la marca Siemens:

Figura 5
Panel HMI



Fuente: Rodríguez Penin (2013).

Unidad central (MTU, master terminal unit). Centraliza todos los mandos del sistema, debe ser un sistema abierto a múltiples plataformas y sistemas para que sean compatibles con todos los equipos. Algunas tareas asignadas son gestionar comunicaciones, recopilación de datos, enviar información, visualizar datos, mando y seguridad (Rodríguez Penin, 2013).

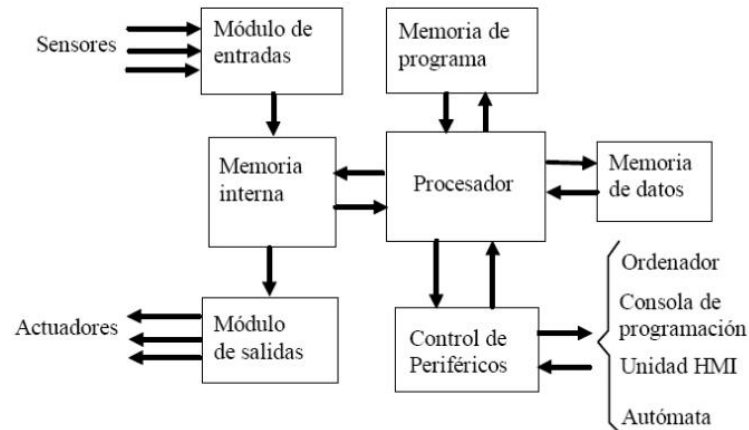
Unidad remota (RTU). En los comienzos de los sistemas Scadas los RTU eran equipos que se encargaban de recopilar la información de los elementos del campo y mandarlos a la unidad central. Con la incorporación de los sistemas modernos e inteligentes, los RTU se han encargado de la seguridad de los sistemas y accesos a la información que reciben las estaciones remotas (Rodríguez Penin, 2013).

Controlador lógico programable (PLC).

Son dispositivos que se encargan del control de los equipos del sistema, con base en entradas como sensores y botoneras, con un programa instalado previamente en el PLC (Rodríguez Penin, 2013).

Arquitectura. Un PLC está compuesto por el procesador, el cual se encarga de interpretar las señales de entradas a través de los módulos de entrada y este mismo las comunica mediante los módulos de salida. Dependiendo del programa, a este se le cargará la información del programa es guardada en las memorias de datos y la memoria interna del PLC.

Figura 6
Arquitectura PLC



Fuente: Sanchis Llopis *et al.* (2010).

Constitución física. Un PLC está compuesto por tres módulos principalmente, de los cuales se puede afirmar que el más importante es el CPU, el cual contiene el procesador, memorias y controladores. Además, el módulo fuente, que se encarga de la alimentación del PLC y sus módulos, que son de 24 voltios y los módulos de entradas y salidas, los cuales se encargan de las señales que procesa el PLC. Los PLC pueden clasificarse en dos tipos:

Modulares. Los módulos están separados. Además y se pueden agregar a gusto de las necesidades que tengan los sistemas. Estos son para aplicaciones más extensas o que necesiten equipos especiales.

Figura 7
PLC modular



Fuente: Delta Electronics (2022).

Compactos. Los PLC compactos tienen la característica de que el CPU, fuente, entradas y salidas y algunos puertos de comunicación se encuentran en el mismo módulo. Por lo tanto, las hace más económicas y funcionales en ciertas aplicaciones, usualmente se usan para aplicaciones pequeñas de automatización.

Figura 8
PLC compacto



Fuente: Eaton (s. f.).

Señales digitales. De acuerdo con Torres Pino (2013):

Las entradas y salidas (input/output) son las partes del controlador programable que lo vinculan con el campo. Como se mencionó, su función es adaptar las señales de los captadores para que puedan ser reconocidas por la CPU en el caso de las entradas, o activar un elemento

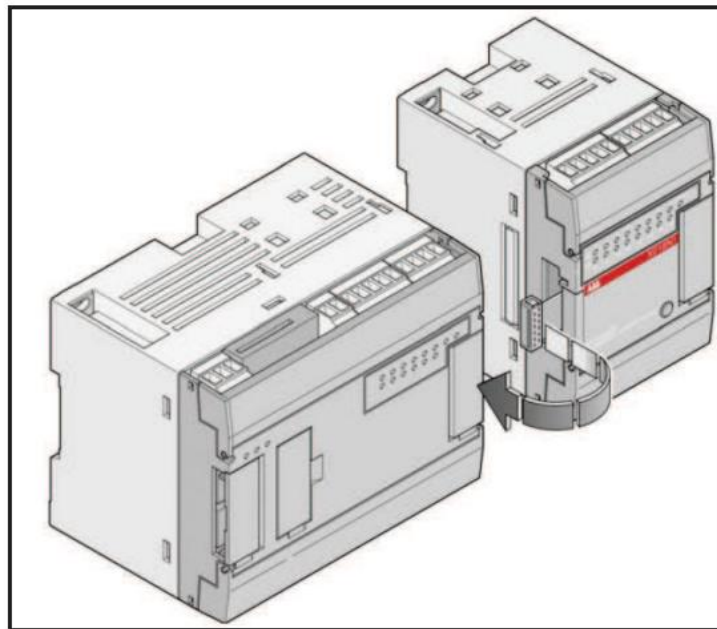
de potencia ante una orden de la CPU en el caso de las salidas. El PLC realiza las acciones de control mediante sus entradas y salidas. Las entradas vigilan las señales de los dispositivos de campo, por ejemplo, sensores e interruptores, mientras que las salidas comandan las bombas, motores u otros actuadores del proceso. Debido a que no todas las señales de campo son iguales, existen interfaces de E/S para los tipos de señales eléctricas más comunes. Los canales de entrada o salida se pueden clasificar de la siguiente manera:

Digitales. También llamadas on/off o discretas, pueden tomar sólo dos estados, 0 y 1.

- Analógicos. Pueden tomar una cantidad de estados dentro de un cierto rango de tensión o corriente, por ejemplo, 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 0 a 10 V y -10 a 10 V).
- Especiales. Son variantes de los anteriores que se emplean en aplicaciones específicas, como por ejemplo el conteo de alta velocidad, etc.

En los PLC compactos, las entradas y salidas integradas de la CPU tienen direcciones fijas. Para añadir a la CPU entradas y salidas adicionales, se pueden conectar módulos de ampliación a la derecha de la CPU, siempre y cuando no se exceda su capacidad máxima (pp. 46-47).

Figura 9
Módulo de ampliación de I/O



Fuente: Daneri (2008).

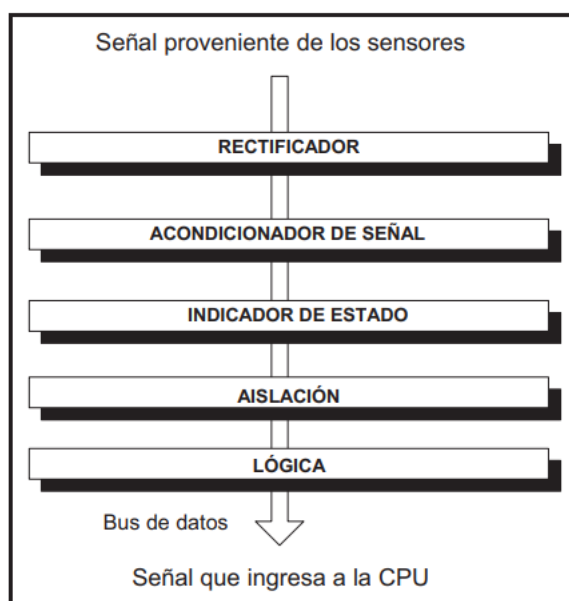
Entradas digitales. Según Daneri (2008):

Los fabricantes ofrecen diversas alternativas para este tipo de entradas. Se disponen alternativas con distinta cantidad de entradas por módulo, parámetro conocido como densidad de canales, y para distintos niveles de tensiones, siendo las más comunes de 24 VCC, 24 VCA, 110 VCA y 220 VCA.

La estructura típica de una interfaz de entrada digital se puede separar en una cadena de bloques por donde pasará la señal desde los bornes de campo hasta la CPU, donde se interpretará como un 0 o un 1 (s. p.).

Figura 10

Etapas de entradas digitales



Fuente: Daneri (2008).

La función de los bloques mencionados es la siguiente, de acuerdo con Carrión Salinas (2016):

- Rectificador. Cuando se trata de entradas de CA, esta etapa convierte la señal en continua. En el caso de entradas de CC impide daños por inversión de polaridad.
- Acondicionador de señal. Disminuye la tensión a un nivel lógico para que se pueda procesar en el resto de los circuitos, elimina ruidos, y detecta el umbral de activación y desactivación.
- Indicador de estado. Contiene un LED que se enciende cuando hay tensión en la entrada.

- Aislamiento: consiste en un aislamiento galvánico del tipo óptico para que, si aparecen sobretensiones externas, el daño causado afecte sólo a la entrada y no perjudique al resto del equipo.
- Lógica. Es la encargada de informarle a la CPU el estado de la entrada, 0 ó [sic] 1, cuando ésta la interroga.

El paso de la señal por todos estos bloques insume un tiempo que se conoce como tiempo de respuesta de la entrada. Éste, sumado al que le toma al PLC realizar el barrido del programa, debe ser inferior al tiempo de permanencia de la señal digital para que la misma sea correctamente detectada (pp. 20-21).

Salidas digitales. Carrión Salinas (2016) afirma que:

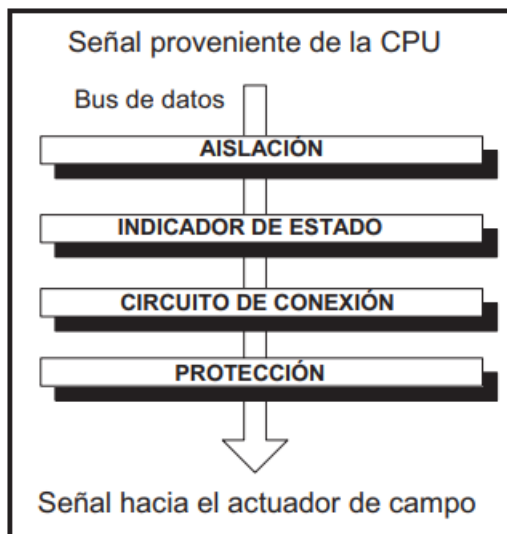
Las salidas digitales pueden ser por relé, triac o transistor. Las salidas por relé se pueden utilizar para cargas en CC o CA, ya que utilizan un contacto libre de potencial; las de transistor sólo para CC y las de triac sólo para CA. En todos los casos se debe verificar que la tensión y la corriente a manejar sean compatibles con las salidas seleccionadas:

Las salidas por triacs y transistores se prefieren en los casos que requieren mayor velocidad de operación, ya que las de relés son más lentas, insumiendo cerca del doble de tiempo para su conmutación. Además, la vida útil de las salidas a relé es dependiente de la cantidad de maniobras.

Una cuestión muy importante en la instalación es utilizar protectores cuando se conectan a cargas inductivas, para limitar los picos producidos por éstas (p. 21).

En la Figura 11 se puede observar un esquema en bloques de una salida digital.

Figura 11
Etapas de salidas digitales



Fuente: Daneri (2008).

A continuación, se describen las partes del diagrama en bloques, según Torres Pino (2013):

- Aislación. Entre la lógica de la CPU y la salida se utilizan optoaisladores para que un cortocircuito o mala conexión al campo no dañe más que el elemento final. No se usan optoaisladores cuando se trata de salidas por relé ya que la bobina de éste es comandada por la CPU y sólo sus contactos se conectan al campo. De esta forma, una falla externa sólo dañaría a los contactos o a un fusible de protección.
- Indicador de estado. Generalmente se coloca antes de la optoaislación un LED indicador de estado.
- Circuito de conexión. Es el elemento final de la salida, el que maneja la carga conectada por el usuario. Existen tres tipos de elementos finales de conexión: transistores, triacs y relés.
- Protección. Puede consistir en un fusible en serie con los contactos de salida para protegerlos de cortocircuitos en el campo o también puede incluir un varistor o un circuito RC para eliminar picos generados por la naturaleza de la carga (pp. 52-53).

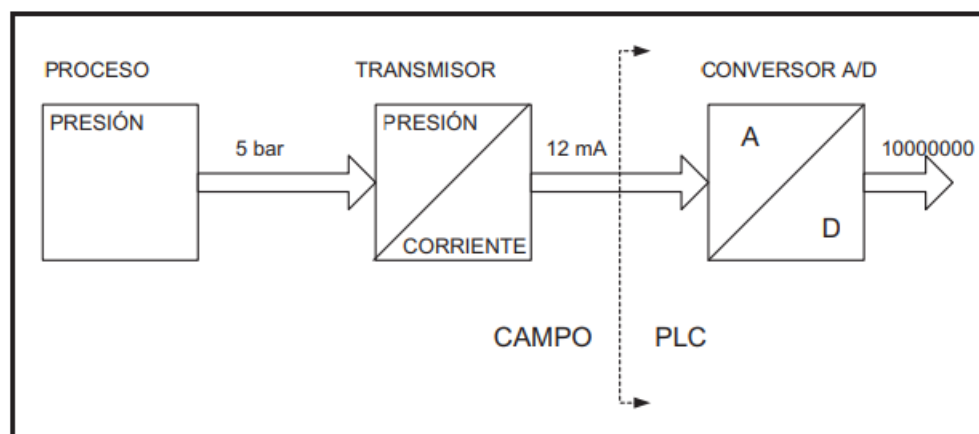
Señales analógicas: De acuerdo con Torres Pino (2013):

Los PLC pueden procesar señales analógicas sólo de índole eléctrica. Si la variable de proceso que se desea tomar es una presión, ésta se deberá convertir a una señal eléctrica mediante un dispositivo llamado transductor o transmisor, para luego poder ser conectada a un PLC.

Suponiendo que la variable de proceso varía entre 0 y 10 bar, se puede utilizar un transmisor P/I con salida 4 a 20 mA, que cuando reciba 0 bar entregue 4 mA y cuando reciba 10 bar entregue 20 mA. Si su respuesta es lineal, sus valores intermedios serán proporcionales, obteniéndose, por ejemplo, 12 mA cuando se detecte 5 bar de presión. El hecho de obtener una corriente mínima mayor que cero cuando la presión es cero, permite detectar un corte de cableado, falla en la fuente del instrumento, etc.

Las formas de adaptación de las señales analógicas desde y hacia un PLC mediante el uso de transmisores, son extensivas para temperaturas, velocidades, caudales, y otras magnitudes físicas (p. 55).

Figura 12
Conversión de una variable discreta



Fuente: Daneri (2008).

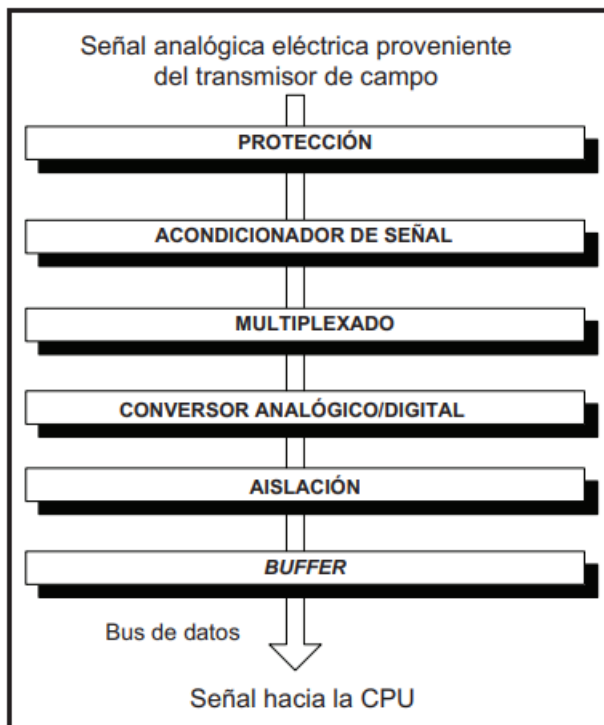
Entradas analógicas. Torres Pino (2013) afirma:

Internamente el PLC maneja únicamente dos estados lógicos 0 y 1, (0-1 / on-off / sí-no), por lo tanto, la única manera que el PLC posee para trabajar con valores analógicos es que éstos se representen por números en formato binario, es decir, por combinaciones de ceros y unos. Por lo mencionado, la función principal de una entrada analógica es convertir la señal eléctrica aplicada a un número binario, utilizando para ello un convertor analógico digital (A/D): En cualquier sistema de numeración (decimal, hexadecimal, binario) la cantidad de valores distintos que se pueden lograr depende de la cantidad de símbolos que se emplean para representar los valores (B) y la cantidad de cifras utilizadas (n). La relación para calcular la cantidad de valores es B^n . Por ejemplo, si se utilizan dos dígitos o cifras, con un sistema de

En la Figura 14 se puede observar la estructura interna de una entrada analógica donde se distinguen las siguientes partes básicas:

- Protección. Impide daños al canal en caso de una conexión con polaridad inversa o si la señal de entrada está fuera del rango permitido.
- Acondicionador de señal. Elimina los posibles ruidos que ingresen a través de la instalación y ajusta los niveles de la señal para que sea compatible con las etapas de multiplexado y el conversor A/D.
- Multiplexado. Consiste en un circuito selector (multiplexador analógico) que envía de a un canal de entrada por vez al conversor A/D.
- Conversor analógico/digital (A/D). Convierte la señal analógica en un número binario que la CPU pueda interpretar.
- Aislación. Algunos modelos incorporan, luego del conversor, una aislación galvánica (optoaislación) para separar el PLC del campo.
- Buffer. Memoria donde se almacenan los valores convertidos mientras el conversor A/D opera sobre los demás canales (Torres Pino, 2013, p. 58).

Figura 14
Estructura de entradas analógicas



Fuente: Daneri (2008).

Los fabricantes suelen ofrecer módulos desde 2 hasta 16 canales de entrada analógica en los rangos de 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 0 a 10 V y -10 a 10 V.

Salidas analógicas. Según Torres Pino (2013):

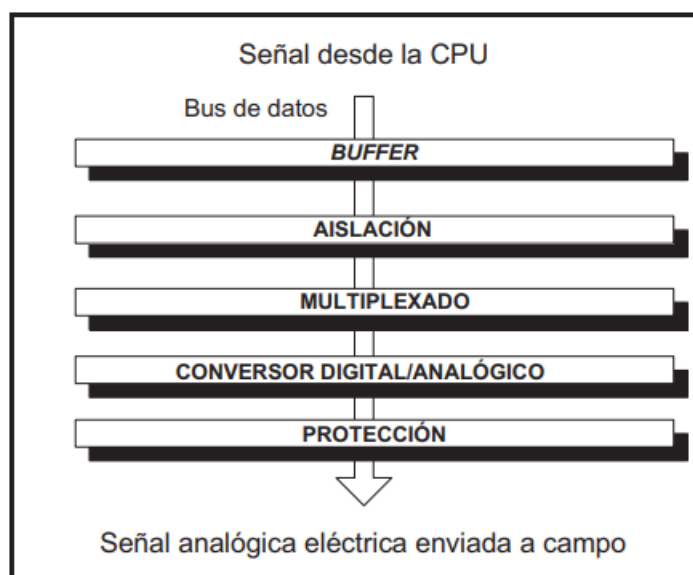
El concepto básico de funcionamiento es el inverso al de una entrada analógica. En este caso, la CPU emite un número binario que se convierte en una señal analógica de corriente o tensión, mediante el uso de un conversor digital analógico (D/A). A continuación, se describen las etapas que componen una salida analógica:

- Buffer. Memoria en el módulo donde la CPU escribe los valores binarios a convertir. 104 PLC – Automatización y Control Industrial.
- Aislación. Aislación galvánica (opto aislación) para proteger al PLC del campo.
- Multiplexado. Circuito que selecciona de a uno por vez los valores almacenados en el buffer y los manda al conversor. A su vez, selecciona el canal a donde se envía el valor convertido.
- Conversor digital/analógico (D/A). Convierte un valor numérico emitido desde la CPU en

una señal analógica.

- Acondicionador de señal. Adapta la señal de salida del convertor D/A al rango de tensión o corriente estándar.
- Protección. Protege al PLC ante una inversión de la polaridad o una sobretensión proveniente del campo, en caso de utilizar una fuente externa (pp. 59-60).

Figura 15
Señal desde CPU



Fuente: Daneri (2008).

Según Daneri (2008):

Los módulos de salidas analógicas suelen contener de 2 a 16 canales, que se pueden utilizar por tensión o corriente, con rangos de 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 0 a 10 V y -10 a 10 V (pp. 92-104).

Programación de PLC

La programación de un PLC se debe hacer en una computadora, con un programa especial. Cada marca tiene sus propias aplicaciones, en la programación se establecen las entradas y salidas del sistema.

Lenguajes de programación. Existen diferentes tipos de lenguajes de programación para PLC, unos más difíciles que otros. Además, de que cada marca usa su tipo de programación para

sus PLC por lo que intercambiar programas entre PLC de marcas distintas no funciona. Por esto, se desarrolló el estándar IEC 61131-3, al cual se espera que todas las marcas se incorporen. El estándar IEC 61131-3 contempla seis lenguajes distintos, tres gráficos y tres basados en texto, los cuales son:

Diagrama de contacto o escalera.

- Diagrama de bloque de funciones.
- Diagrama secuencial de funciones.
- Lista de instrucciones.
- Texto estructurado.

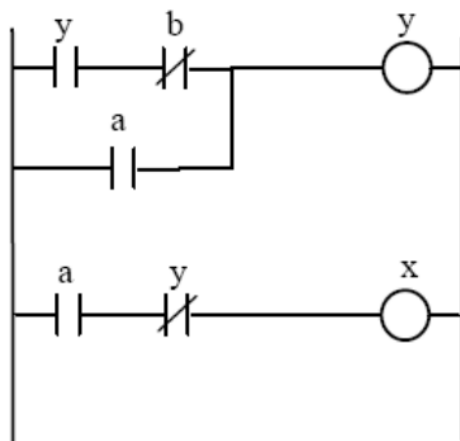
Diagrama escalera (LADDER). El lenguaje escalera es el que más se usa, con base en los circuitos eléctricos con contactores, los cuales son los primeros sistemas automatizados en aplicarse. Cada representación gráfica tiene su significado lógico, por ejemplo, las tres representaciones fundamentales:

Contacto usualmente abierto (NA). Se representa con dos líneas verticales paralelas y simboliza una variable n.º 0 si se activa o se cierra representa un 1 lógico.

Contacto usualmente cerrado. Se representa con dos líneas paralelas, con una línea cruzada, el cual simboliza un 0 y si se abre corresponde a un 1 lógico.

Bobina. Cada bobina se asocia con una salida, si con el diagrama que se le diseña llega la corriente a la bobina esta se activa, representando un 1 y, por ende, enciende la salida asociada. Se representa con un círculo.

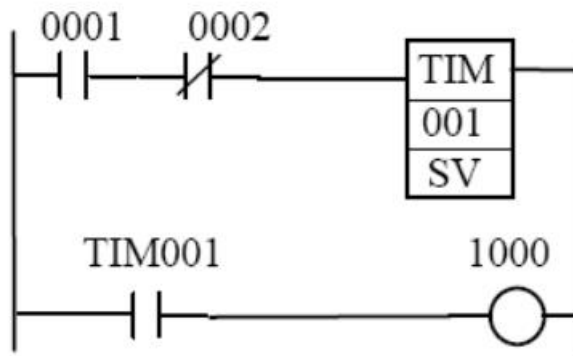
Figura 16
Ejemplo diagrama de bloques



Fuente: Sanchis Llopis *et al.* (2010).

Temporizadores y contadores. Los temporizadores son una herramienta muy útil a la hora del diseño de programas, ya que cuando ciertas entradas se activan comienza la cuenta que se le asigne al temporizador, el cual se esperará para activar alguna bobina asignada. De esta forma, se puede temporizar la salida para la activación de alarmas o motores.

Figura 17
Temporizador



Fuente: Sanchis Llopis *et al.* (2010).

Programas de PLC. Cada marca de PLC tiene sus propios programas como el caso del PLC Siemens utiliza:

STEP 7:

STEP 7 (TIA Portal) es el software de ingeniería para configurar la familia de controladores SIMATIC S7-1200, S7-1500, S7-300/400 y controladores de software (WinAC). Hay disponibles dos ediciones de STEP 7 (TIA Portal), dependiendo de las familias de controladores que se desee configurar.

- STEP 7 Basic para la configuración del S7-1200.
- STEP 7 Professional para configurar S7-1200, S7-1500, S7-300/400 y controladores de software (WinAC) (Siemens, 2021, s. p.).

Win:

Wincc (TIA Portal) es un software de ingeniería para configurar SIMATIC Panels, PC industriales SIMATIC y PC estándar con el software de visualización WinCC Runtime Advanced o el sistema SCADA WinCC Runtime Professional.

WinCC (TIA Portal) está disponible en las siguientes ediciones, en función de los sistemas de operador configurables:

- WinCC Basic para la configuración de los Basic Panels wincc Basic se incluye siempre en las ediciones STEP 7 Basic y STEP 7 Professional.
- WinCC Comfort para la configuración todos los Panels (incluidos los Comfort Panels, Mobile Panels).
- WinCC Advanced para la configuración de todos los Panels y PCs con el software de visualización WinCC Runtime Advanced WinCC Runtime Advanced es un software de visualización para sistemas monopuesto basados en PC. WinCC Runtime Advanced está disponible con licencias para 128, 512, 2k, 4k, 8k y 16k PowerTags (variables con conexión al proceso).
- WinCC Professional para configurar Panels así como PCs con WinCC Runtime Advanced o el sistema SCADA WinCC Runtime Professional WinCC Professional está disponible en las ediciones WinCC Professional para 512 y 4096 PowerTags, y como «WinCC Professional max. PowerTags».

WinCC Runtime Professional es un sistema SCADA para crear una configuración con sistemas monopuesto y sistemas multipuesto con clientes estándar o web. WinCC Runtime Professional está disponible con licencias para 128, 512, 2k, 4k, 8k, 64k, 100k, 150k y 256k PowerTags (variables con conexión al proceso).

- WinCC Unified para la configuración de SIMATIC Unified Comfort Panels y Unified PC (Siemens, 2021, pp. 5-6).

Criterios para la selección de PLC. Según Sanchis Llopis *et al.* (2010) las características para tomar en cuenta al elegir el PLC son:

- El número máximo de entradas y salidas digitales.
- La capacidad de memoria del PLC.
- La memoria de datos.
- La velocidad de procesos, la cual se mide en μ s por instrucción.
- La posibilidad que incluya entradas y salidas especiales.
- El lenguaje de programación por utilizar.
- Tomar en cuenta que las comunicaciones del PLC cumplan con las necesidades.
- Se debe tomar en cuenta el precio del PLC, evidentemente, los más caros tienen más prestaciones. Por lo tanto, es necesario elegir el adecuado para lo que se necesite.
- Se deben tomar en cuenta futuras ampliaciones por lo que se recomienda sobrediseñar el PLC.

Bases de datos

Según Marqués (2011):

Una base de datos es un conjunto de datos almacenados en memoria externa que están organizados mediante una estructura de datos. Cada base de datos ha sido diseñada para satisfacer los requisitos de información de una empresa u otro tipo de organización, como, por ejemplo, una universidad o un hospital:

Una base de datos se puede percibir como un gran almacén de datos que se define y se crea una sola vez, y que se utiliza al mismo tiempo por distintos usuarios. En una base de datos todos los datos se integran con una mínima cantidad de duplicidad. De este modo, la base de datos no pertenece a un solo departamento, sino que se comparte por toda la organización. Además, la base de datos no sólo contiene los datos de la organización, también almacena

una descripción de dichos datos. Esta descripción es lo que se denomina metadatos, se almacena en el diccionario de datos o catálogo y es lo que permite que exista independencia de datos lógica-física (p. 2).

Lenguaje de estructuras que se relacionan (SQL). De acuerdo con Marqués (2011):

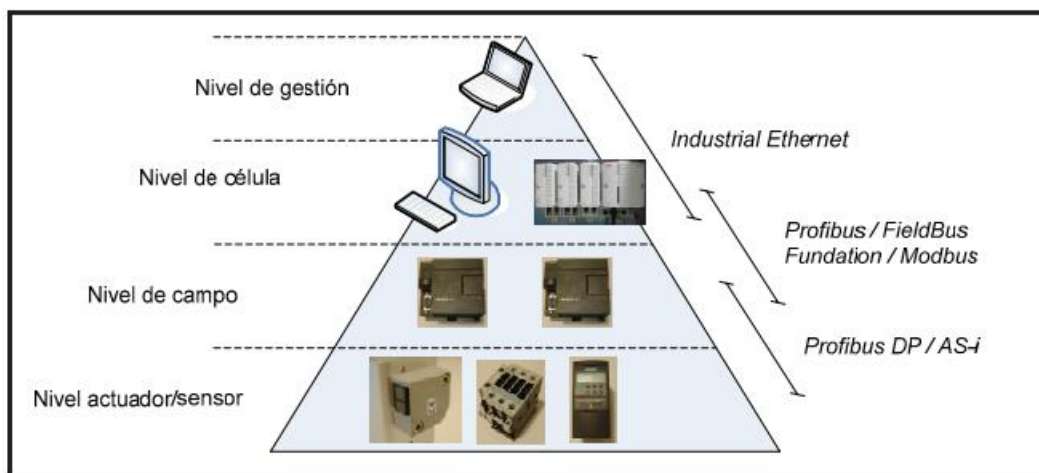
Las siglas SQL corresponden a Structured Query Language, un lenguaje estándar que permite manejar los datos de una base de datos relacional. La mayor parte de los SGBD relacionales implementan este lenguaje y mediante él se realizan todo tipo de accesos a la base de datos (p. 41).

Redes industriales

Las redes se suelen dividir en niveles jerárquicos en función de su uso y los requerimientos de velocidad y volumen de información por transportar. Por lo general, esta división se realiza en cuatro niveles, como lo muestra la Figura 18.

Figura 18

Estructura de redes industriales



Fuente: Daneri (2008).

Daneri (2008) define los niveles de la siguiente forma:

- Nivel de gestión. Se manejan tareas generales que conciernen al proceso en su forma global. Algunas de esas funciones son el análisis y el almacenamiento de los valores del proceso, otras son para optimizar y presentar reportes de producción. Los datos necesarios se recolectan y procesan para ser compartidos por toda la empresa, con independencia de su

ubicación. Desde este nivel es factible acceder a otros niveles inferiores. La cantidad de estaciones soportadas puede ser superior a 1000 y el tiempo máximo de refresco de la información llega hasta 1 s:

- Nivel de célula. Se administran autónomamente todas las tareas de automatización y optimización del proceso. En este nivel están interconectados los autómatas, las PC y los equipos para el funcionamiento y la operación del sistema. Suele ser en este nivel donde se intercambia información entre los sistemas de automatización con tareas bien definidas:
- Nivel de campo. Sirve de nexo entre las instalaciones y los autómatas programables. Los dispositivos de campo miden, señalizan y retransmiten a las instalaciones las órdenes recibidas del nivel de célula. En general, se transmiten pequeñas cantidades de datos, pero con requerimientos de velocidad superior al de nivel de célula. En este caso, la velocidad máxima de refresco de la información no debe superar los 100 ms y es típica una comunicación jerarquizada, es decir varios dispositivos de campo se comunican con un maestro (master).
- Nivel de actuador/sensor. Un maestro se comunica con los actuadores y los sensores conectados a su subred. Son característicos aquí tiempos de respuesta rápidos (menores a 10 ms) y un número reducido de bits de datos (s. p.).

Profibus. De acuerdo con Peciña Belmonte (2018):

Es un bus de campo abierto que se utiliza en las aplicaciones más bajas de la pirámide de automatización, proceso y campo. Es un estándar que sigue la norma UNE IEC 61158 y las normas internacionales IEC 61784. Profibus puede utilizarse para aplicaciones críticas de alta velocidad y tareas de comunicación complejas y para transmitir pequeñas y medianas cantidades de datos entre los dispositivos que participan en la red:

Hoy día, este bus se encuentra en una clara decadencia al ser superado por la red de Profinet. Pero no se puede decir que Profibus haya muerto, porque hay muchos sistemas que lo siguen utilizando y aún se sigue instalando.

Algunas de las características de este bus son:

En cuanto al medio físico de transporte de la información:

- Cable a dos hilos trenzados y/o apantallados (impedancia característica de 150 Ω).
- Fibras ópticas de vidrio y plástico.
- Sistemas de transmisión inalámbrica.

- Velocidad de red configurada desde 9,6 kbit/s a 12 Mbit/s.
- Conexión a la red de un máximo de 127 equipos. No obstante, el número máximo de equipos que pueden estar activos al mismo tiempo es de 32.
- Longitud máxima de la red variable, en función del medio físico utilizado: hasta 9 km con medio eléctrico y hasta 90 km si se utiliza fibra óptica (s. p.).

Profinet. Peciña Belmonte (2018) lo define como:

Profinet nace como una continuación de Profibus; adquiere la experiencia con Profibus y las ventajas de las redes de Ethernet. Se considera el auténtico bus en tiempo real. Mucho tiempo antes de aparecer Profinet, ya existía una red muy parecida que se llamaba Ethernet Industrial. De hecho, Profinet constituye una variante de Ethernet Industrial. Pero no fue, hasta la aparición de Profinet, cuando estas redes alcanzaron el éxito. El motivo de que Ethernet Industrial no tuviera implantación en la industria se basa en dos aspectos fundamentales: uno de ellos era la imposibilidad de disponer de unidades de E/S descentralizadas, al igual que ocurría en Profibus; el otro motivo reside en el propio principio de funcionamiento de Ethernet respecto al método de acceso al medio. Faltaba el determinismo, es decir, saber con seguridad un rango de tiempo en el que se iba a producir el envío de información. Existen muchas aplicaciones donde este detalle no resulta importante, pero hay otras donde es fundamental para su correcto funcionamiento. Profinet solucionó estos dos problemas. El más complicado era la falta de determinismo. Por tal motivo, Profinet creó una prioridad para los datos manejados por él mismo. Se debe tener presente que, en estas redes, al conectarse a Ethernet, se manejan datos de tipo industrial pero también de tipo ofimático. Con la creación de esta autopista reservada a los datos industriales, se puede establecer un tiempo de comunicación. Con la solución del tiempo real, vino la creación de dispositivos de E/S descentralizados. Actualmente existen muchas estaciones descentralizadas de Profinet. Siemens las sigue llamando ET 200; incluso algunos módulos de E/S resultan compatibles para colocar también en estaciones de Profibus; lo único que cambia es el tipo de interfaz de comunicación, lógicamente. Con lo dicho anteriormente, se puede definir Profinet como el estándar abierto de Ethernet Industrial de la asociación Profibus Internacional (PI), según la norma IEC 61784-2. Constituye el estándar de comunicación actualmente más utilizado en redes de automatización.

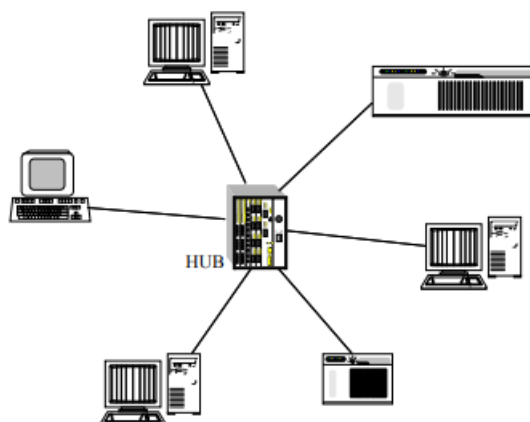
Profinet puede utilizar cualquier cable que se utiliza para una red Ethernet. En Ethernet, el que más se utiliza es el cable UTP (unshielded twisted pair) o par trenzado no apantallado (s. p.).

El conector que se utiliza es el Rj45.

Topología. «Se llama topología a la disposición o estructura física de los equipos, conocidos como nodos, y los cables de la red» (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, s. p.). Las topologías más habituales son:

Estrella. «En esta topología hay un equipo central, llamado hub, al que se conectan todos los equipos. Del hub parte un cable para cada nodo» (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, s. p.).

Figura 19
Topología estrella

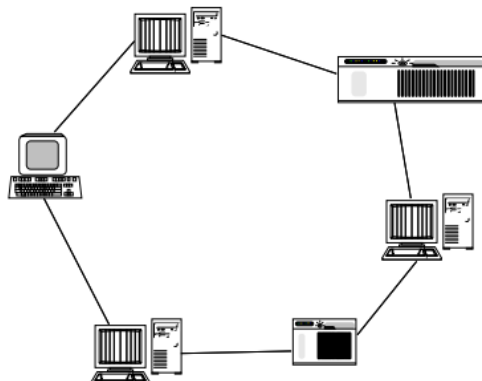


Fuente: Sanchis Llopis *et al.* (2010):

Cualquier mensaje que se quiera transmitir se envía al hub, que lo reenvía al destinatario. Un inconveniente importante de esta topología es que, si falla el hub, falla toda la red. Otro inconveniente es que la longitud total de cable es elevada, lo que encarece el sistema. La ventaja es que, si hay un problema en un cable, solo se ve afectado un equipo. Esta topología se utiliza en redes de ordenadores, pero no es habitual en sistemas de control distribuido (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, s. p.).

Anillo. «Cada equipo tiene un conector de entrada y uno de salida, uniéndose un equipo con otro hasta formar un anillo» (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, s. p.) (ver la Figura 20).

Figura 20
Anillo

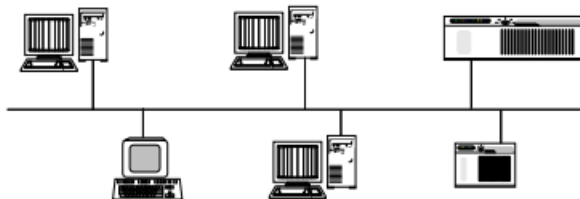


Fuente: Sanchis Llopis *et al.* (2010):

Cuando un nodo quiere enviar un mensaje a otro, se lo envía al nodo contiguo. Este lo recibe y comprueba si el mensaje es para él, trasmitiéndolo al siguiente nodo en caso contrario. La longitud de cableado es similar a la topología en bus. Un inconveniente de esta topología es que, si falla un equipo o un cable, falla la comunicación de toda la red. Otro inconveniente es que el tiempo de transmisión de un nodo a otro depende mucho de la posición relativa entre estos. También es un inconveniente el hecho de que, para transmitir un mensaje de un nodo a otro, todos los nodos intermedios tengan que intervenir. Esto hace que los nodos necesiten un dispositivo hardware más complejo (y más caro). Esta topología se utiliza en redes de ordenadores, pero no en sistemas de control distribuido (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, s. p.).

Bus. «Existe un solo cable, llamado bus, al que se conectan todos los equipos» (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, s. p.) (ver la Figura 21).

Figura 21
Topología bus

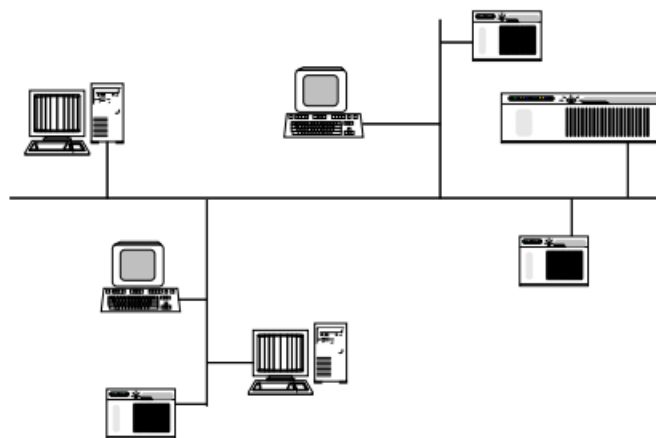


Fuente: Sanchis Llopis *et al.* (2010):

Tiene la ventaja de que la longitud total de cable es menor. Otra ventaja importante es la facilidad de conexión de nuevos equipos. El inconveniente mayor es que si hay un problema en el cable se ven afectados muchos equipos. El fallo de un equipo, sin embargo, no afecta a la red (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, s. p.).

Árbol. «Es similar a la topología bus, pero del bus principal pueden salir ramas largas a las que se conectan los equipos de forma similar a como se conectan en el bus principal» (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, s. p.) (ver la Figura 22).

Figura 22
Topología árbol



Fuente: Sanchis Llopis *et al.* (2010):

Las características son similares a la topología de bus, pero tienen la ventaja adicional de que el cableado es más versátil. Las redes de bus y de árbol son las que se utilizan en sistemas de control distribuido industriales. Estas redes suelen denominarse buses de campo, y permiten la conexión de autómatas programables con sensores, controladores PID, variadores de frecuencia, otros autómatas e incluso ordenadores (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, 188-190).

Medio físico. «Se refiere al medio a través del cual se transmiten los datos en una red de comunicaciones. En general, las comunicaciones pueden ser por cable o por radio» (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, s. p.).

Los medios cableados pueden ser:

Par trenzado sin apantallar: Son pares de conductores trenzados entre sí. La señal se transmite

como la diferencia de tensión entre los dos conductores del par. En función del tipo de red el cable puede estar formado por un solo par, o por varios pares. El trenzado reduce el ruido electromagnético captado por el cable. Tiene la ventaja de ser el más barato y fácil de instalar. No todos los cables de par trenzado son iguales, sino que existen distintos tipos con distintas características en función del conductor del que están hechos. Los hay que permiten velocidades de transmisión de hasta 100 Mb/s.

Par trenzado apantallado: Es igual al anterior, pero con una pantalla conductora rodeando los pares trenzados que llevan la señal. Esta pantalla se conecta a masa, mejorando mucho la inmunidad frente a ruidos electromagnéticos. Debido a esta mejora permiten una mayor velocidad de transmisión. El inconveniente es su mayor precio.

Cable coaxial: Consta de un conductor central rodeado de aislante y de una pantalla metálica exterior. La señal se transmite como diferencia de tensión entre el conductor y la pantalla. Son muy inmunes al ruido electromagnético.

Fibra óptica: Constan de varias fibras ópticas en el mismo cable. Estas fibras pueden ser de plástico o de vidrio. Las de vidrio son más caras y más difíciles de instalar (menos flexibles), pero presentan una atenuación menor de la señal, por lo que sirven para distancias mayores sin repetidores. La gran ventaja de la fibra óptica es que no se ven afectadas en absoluto por el ruido electromagnético, además de permitir velocidades de transmisión muy elevadas (100 Mb/s o más). La inconveniente respecto de los cables conductores es la mayor dificultad de instalación y el mayor precio, tanto del cable como de los equipos de transmisión.

El medio físico que más se utiliza en buses de campo es el par trenzado, apantallado o sin apantallar (Sanchis Llopis *et al.*, 2010, p. 191).

Método de arbitraje. De acuerdo con Sanchis Llopis *et al.* (2010):

Se denomina arbitraje o método de acceso, al método por el cual se distribuye entre los nodos de la red el derecho a utilizar esta para transmitir un mensaje. Los métodos de acceso más extendidos son:

Maestro único. Uno de los nodos de la red es el maestro, siendo los demás esclavos. El maestro es el único que puede utilizar la red cuando quiera. El esclavo sólo puede transmitir después de haber recibido un mensaje del maestro, como respuesta a dicho mensaje. Este método se usa sobre todo en redes de bus o de árbol.

Modo de funcionamiento: Además de la forma de arbitrar el acceso a la red descrita anteriormente, cada red de comunicación comercial utiliza un modo de funcionamiento. Los más comunes son:

Maestro-esclavo con maestro único. En este caso todos los esclavos están siempre a la escucha, o sea, sin transmitir. Cada esclavo tiene un número de nodo (dirección) diferente. Cuando el maestro quiere leer una variable de un esclavo, o le quiere transmitir el valor de una variable, le envía un mensaje cuya cabecera contiene el número de nodo de ese esclavo. Cada esclavo recibe el mensaje y comprueba si el número de nodo coincide con el suyo propio. Si no coincide, el mensaje se descarta. Si coincide, el mensaje se procesa, y en el caso de ser solicitada una respuesta, el esclavo la transmite hacia el maestro. Son típicas las redes que admiten 31 esclavos y 1 maestro, que es el número de direcciones de nodo que se pueden codificar con 5 bits. Normalmente, en este tipo de redes el maestro realiza ciclos en los que comunica sucesivamente con cada uno de los esclavos:

Maestro-esclavo con varios maestros: Igual que el anterior, pero puede haber varios nodos que pueden ser maestros. Si el arbitraje es por pase del testigo, los maestros se van pasando el testigo de uno a otro, por lo que en cada momento hay un único nodo que actúa como maestro. Si el arbitraje es de acceso múltiple, puede haber varios maestros actuando a la vez: Punto a punto. Todos los nodos tienen el mismo rango y pueden transmitir un mensaje a cualquier otro nodo. El arbitraje puede ser por paso de testigo, en cuyo caso cada nodo solo puede transmitir cuando tiene el testigo, o por acceso múltiple, donde cada nodo puede transmitir siempre que el bus esté libre:

Productor/consumidor. Cada nodo de la red es productor de una serie de variables, o sea, genera esas variables, y es consumidor de otra serie de variables que son producidas por otros nodos. El nodo que produce una variable envía un mensaje dirigido al resto de nodos en el que transmite el valor de la variable en cuestión. Los nodos consumidores de esa variable almacenan el valor de la misma en su memoria. Normalmente, se tiene un nodo especial que decide qué variables deben transmitirse. El procedimiento más habitual es que se transmitan cíclicamente todas las variables de la red, con lo que se garantiza que los consumidores tienen un valor actualizado de dichas variables:

Cliente/servidor. Un nodo es el servidor, que almacena la información, por ejemplo, la configuración o los programas de los nodos clientes. Los clientes acceden al servidor para

descargarse la información que necesitan. Este modo de funcionamiento se utiliza, no en la fase de intercambio de datos entre equipos, sino en la fase de configuración o programación, por ejemplo, para cargar un programa desde un ordenador (servidor) en un autómata programable (cliente) a través de la red de comunicación. Una red de comunicación comercial puede funcionar con una mezcla de varios de los métodos descritos anteriormente (pp. 193-194).

Voltaje

Según Condumex cables (2009) el voltaje es la presión o diferencia de potencia eléctrica de una carga entre dos puntos en un circuito o campo eléctrico. Es decir, el trabajo realizado por una fuerza externa (invisible) para mover la carga de un punto a otro.

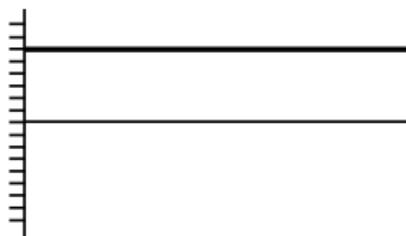
La unidad de medida es el volt o voltio. El aparato que se usa para medir este parámetro eléctrico es el vóltmetro o voltímetro, el cual se conecta en paralelo a la línea para efectuar la medición. El voltaje es comúnmente representado por los símbolos E o V y se le conoce como tensión, potencial y FEM (fuerza electromotriz).

Corriente eléctrica. La corriente eléctrica es el flujo continuo y controlado de electrones en un circuito eléctrico. Cuando se tiene una fuente de voltaje conectada a través de conductores a un dispositivo, las cargas eléctricas fluyen desde un polo hacia otro; a este flujo se le llama corriente eléctrica y es el indicador de la cantidad de flujo hacia algún punto. La intensidad de corriente se conoce como la variación de carga con respecto al tiempo y su intensidad se mide en *coulombs* por segundo; esta unidad se denomina ampere o amperio.

Corriente directa. La corriente directa (cc), también conocida como corriente continua, siempre fluye en la misma dirección. Los electrones fluyen en una sola dirección, pues la polaridad del voltaje o de la fuente de la FEM es la misma; una de las terminales o polos de la batería es todo el tiempo positiva y la otra negativa.

Figura 23

Gráfico corriente directa

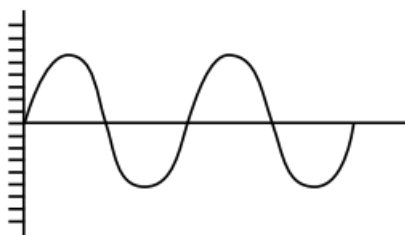


Fuente: Condumex cables (2009).

Corriente alterna. Una fuente de corriente alterna produce un voltaje que regularmente se alterna, lo que aumenta desde cero hasta un máximo positivo y decrece desde este máximo hasta cero, para volver a aumentar hasta un valor máximo negativo y decrecer hasta llegar de nuevo a cero; a esta variación completa se le llama ciclo. La corriente alterna (ca) es un tipo de corriente cuya polaridad se invierte periódicamente (Condumex cables, 2009).

Figura 24

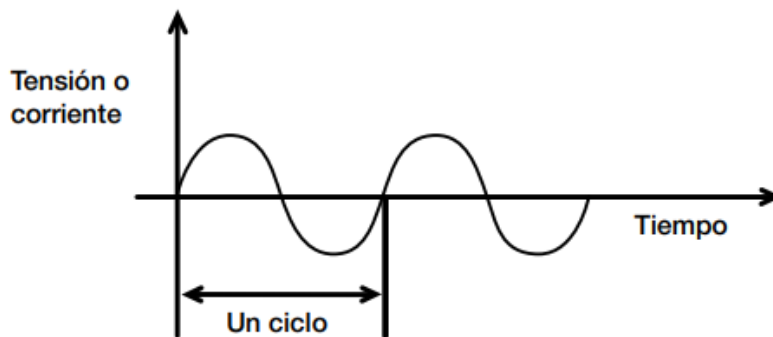
Gráfico corriente alterna



Fuente: Condumex cables (2009).

Circuitos monofásicos y trifásicos. En corriente alterna los circuitos pueden ser de una o más fases. Cuando son de una fase se les llama monofásicos, el cual es el uso normal de los hogares. Su gráfica es como se muestra en la Figura 25.

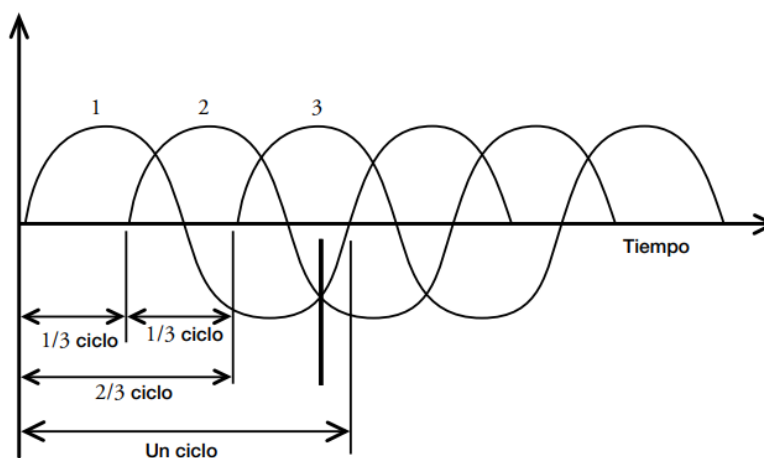
Figura 25
Voltaje monofásico



Fuente: Condumex cables (2009).

Por otra parte, los equipos industriales utilizan equipos trifásicos, los cuales se componen de tres fases como se aprecia en la Figura 26.

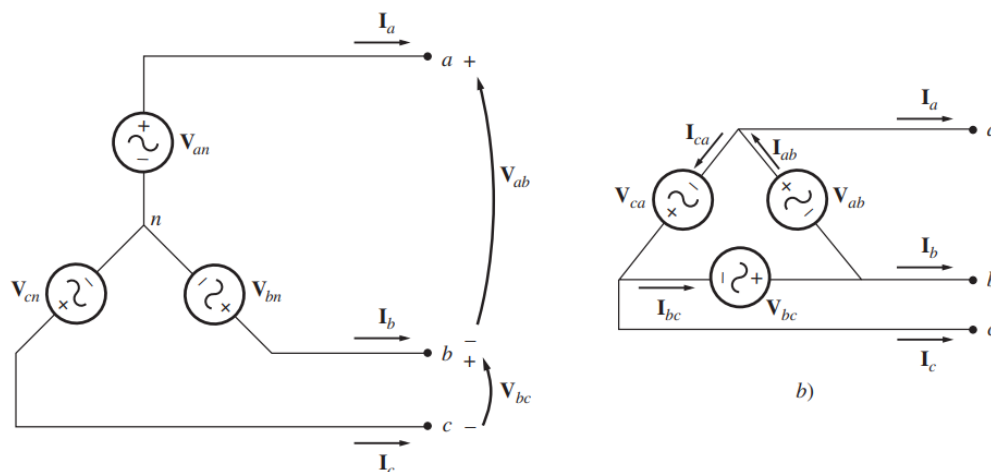
Figura 26
Voltaje trifásico



Fuente: Condumex cables (2009).

Conexiones trifásicas. La Figura 27 muestra generadores trifásicos conectados en ye o en delta. Los voltajes y corrientes en una cierta fase se llaman cantidades de fase y los voltajes entre las líneas y las corrientes en las líneas conectadas a los generadores se llaman cantidades de línea. La relación entre las cantidades de línea y las cantidades de fase en cierto generador o carga depende del tipo de conexión del generador o de la carga (Chapman, 2012).

Figura 27
Conexiones trifásicas



Fuente: Chapman (2012).

Voltajes y corrientes en conexión en ye (Y). Según Chapman (2012), las propiedades de la conexión en Y o también conocido como estrella es que la corriente de línea y la de fase son las mismas.

$$I_L = I_\phi$$

Por otro lado, el voltaje de línea es la raíz de tres por el voltaje de fase.

$$V_{LL} = \sqrt{3} V_\phi$$

Voltajes y corrientes en la conexión delta (Δ): Chapman (2012) indica que en la conexión delta las propiedades son inversas a las de la conexión en Y. Por lo tanto, la corriente de línea es raíz de tres la corriente de fase.

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi$$

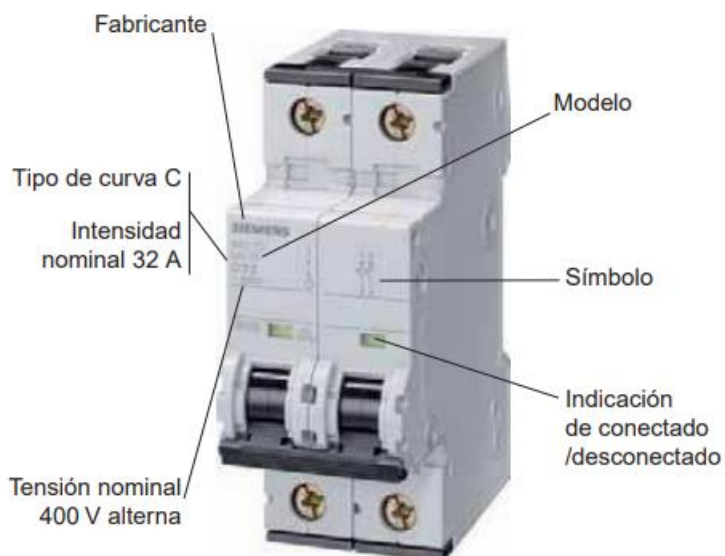
Por ende, el voltaje de fase y el voltaje de línea en la conexión delta es el mismo.

$$V_{LL} = V_\phi$$

Control y protección de potencia. El control de potencia es una parte muy importante del automatismo debido a que se encarga de establecer o interrumpir su conexión con los equipos conectados a la potencia. Además de eso, también es responsable de la protección de los equipos, los cuales utilizan los siguientes elementos:

Interruptores termomagnéticos. El interruptor termomagnético es un dispositivo que se encarga de proteger todos los equipos aguas debajo del sistema. El disparador magnético está formado por un electroimán que al alcanzar la intensidad suficiente se genera una fuerza que tira los contactos, abriendo el circuito y desenergizado.

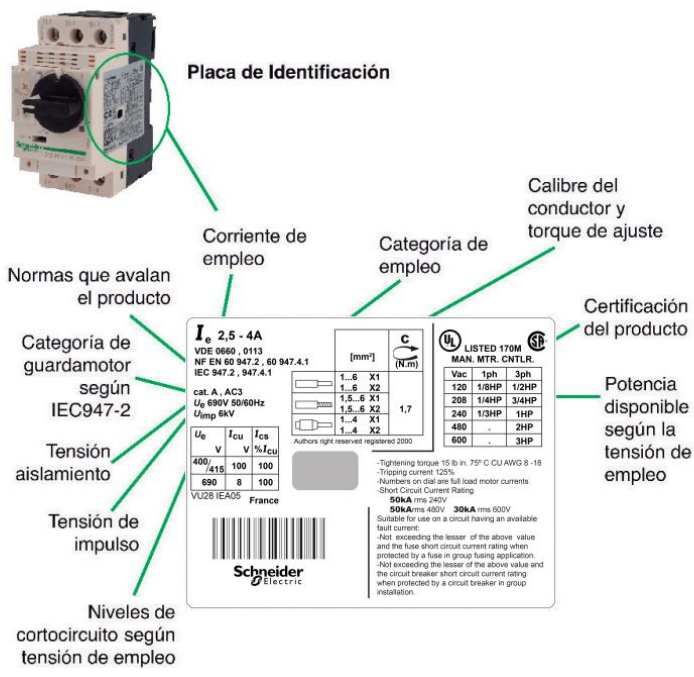
Figura 28
Interruptor termomagnético



Fuente: Martín Castillo y García García (2009).

Guardamotor. Es un equipo diseñado específicamente para la protección de motores eléctricos, establece una protección contra cortocircuitos y algunos también contra sobrecargas. Se categorizan por el voltaje y el consumo que pueden trabajar, por lo que se deben leer bien las especificaciones (Schneider Electric, s. f.).

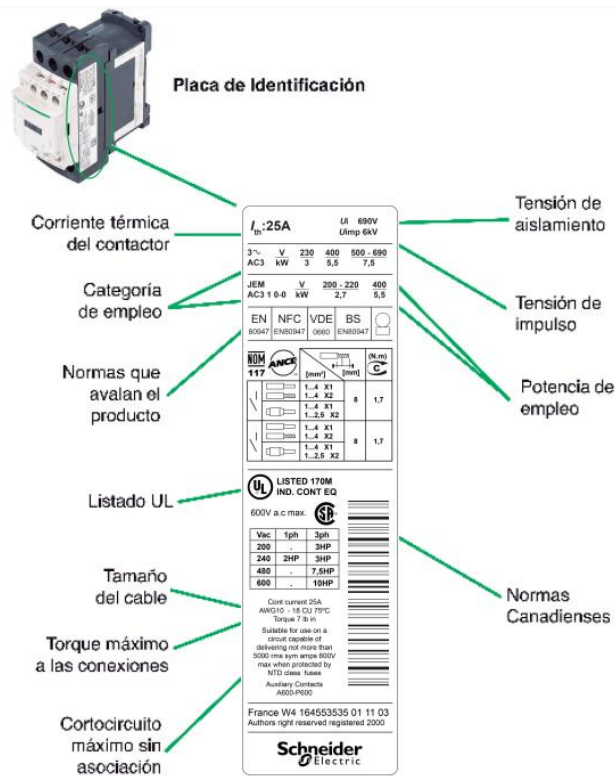
Figura 29
Lectura de especificaciones



Fuente: Schneider Electric (s. f.).

Contactores. Los contactores son los principales interruptores en el momento de diseñar el control eléctrico debido a que pueden ser exigidos con diferentes tipos de cargas. El contactor magnético tiene en su interior una bobina, la cual puede ser energizada con distintas clases de voltaje, ya sea 24 V en DC, 110 V en AC y hasta 220 V en AC. Por lo tanto, cuando se energiza el electroimán este cierra los contactos de entrada y salidas del contactor, lo que permite el flujo de corriente. Además, a este se le instalan contactos auxiliares NO o NC. Al momento de escoger un contactor se debe tener en cuenta el consumo del equipo, así como el voltaje de control eléctrico para elegir la bobina adecuada (Schneider Electric, s. f.).

Figura 30
 Contactor placa de identificación



Fuente: Schneider Electric (s. f.).

Relé de nivel: según Schneider Electric (2021) estos dispositivos monitorean los niveles de líquidos conductores, controlan el accionamiento de bombas o válvulas para regular los niveles y también pueden ayudar a evitar que las bombas sumergibles *funcionen en seco* o en tanque y se desborden.

Figura 31
Relé de nivel



Fuente: Schneider Electric (2021).

Ingeniería económica

De acuerdo con Ortiz Benavides (2020):

La ingeniería económica es el área del conocimiento de las ciencias matemáticas que permite tomar decisiones de inversión de manera racional. Además, es una asignatura de apoyo a la gestión de empresas debido al proceso iterativo de toma de decisiones. En efecto, cada decisión de inversión es relacionada con su cambiante e incierto entorno empresarial en temas como ingresos, gastos y costos. Los emprendedores o empresarios cuando toman decisiones lo hacen con altas sumas de dinero esperando que su retorno compense el costo de oportunidad de la inversión. Por eso, cada alternativa de inversión debe basarse en un análisis de costo beneficio que permita entender que es bueno o que es malo, no solo para la empresa, sino para el empresario desde el punto de vista financiero (p. 19).

Valor actual neto (VAN). Según Ortiz Benavides (2020):

El valor actual neto representa una cifra monetaria que resulta de comparar el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos y la inversión inicial. El VAN implica comparar la rentabilidad del proyecto con otras alternativas de inversión; es decir, comparar el posible beneficio del proyecto con el beneficio que se obtendría si el dinero se invirtiera

en el mejor proyecto alternativo (p. 265).

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^T \frac{Y_n}{(1+i)^n} - \sum_{n=1}^T \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Donde:

VAN = valor actual neto.

I_0 = inversión inicial.

Y_n = ingresos en el periodo n.

N = periodo donde ocurre el hecho económico.

C_n = egresos o costos en el periodo n.

I = tasa de interés de oportunidad o TIO.

T = tiempo total de duración del proyecto:

La decisión de inversión se tomará entonces siempre que el $VAN > 0$, indicando que la inversión supera el costo de oportunidad del inversionista y además los ingresos generados en el futuro superan los gastos, traídos todos al presente. En caso de tener que decidir entre dos o más proyectos se debería escoger el de mayor VAN siempre que ésta sea mayor que cero (Ortiz Benavides, 2020, p. 265).

Tasa interna de retorno (TIR). Según Ortiz Benavides (2020) el TIR expresa la tasa de interés que hace el $VAN = 0$, así como el rendimiento de los dineros que aún permanecen invertidos en el proyecto y no sobre la inversión inicial, tal como el VAN expresa los beneficios de estos dineros. No obstante, en el caso de la TIR los dineros se reinvierten a la tasa TIR y en el VAN a la TIO. Matemáticamente, la TIR corresponde a aquella tasa de interés (i) que efectivamente lleva el $VAN = 0$.

Se sigue utilizando el método analítico o de ensayo y error, donde propone tasas de interés y se encuentran diferentes VAN, hasta encontrar los dos VAN más cercanos a cero, tanto por la derecha como por la izquierda. Luego se interpolan estos valores, bajo la relación que existe entre los VAN y las tasas de interés que los generan.

Según Ortiz Benavides (2020) los pasos para encontrar la TIR son:

1. Encontrar una tasa tentativa.

$$\textit{Tasa Tentativa (TT)} = \frac{[\sum \textit{Flujos (+)} - \sum \textit{Flujos (-)}] * 0,75}{\sum \textit{Flujos (-)} + \# \textit{ años}} \quad (3)$$

2. Aplicar ensayo y error.
3. Utilizar la: interpolación.

$$\textit{(TIR)} = \textit{Tasa Menor} + \frac{\textit{Diferencia de Tasas} * \textit{VAN(+)}}{|\textit{VAN(+)}| + |\textit{VAN(-)}|} \quad (4)$$

«Mediante la TIR un proyecto es elegible toda vez que sea mayor que la tasa de oportunidad del inversionista. En caso de TIR=TIO la decisión es indiferente» (Ortiz Benavides, 2020, p. 268).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de investigación

Según Hernández Sampieri *et al.* (2014) los dos principales métodos de investigación son los cuantitativos y los cualitativos, los cuales tienen diferentes puntos de vista de acuerdo con el proyecto. Para el caso de este trabajo se lleva a cabo un enfoque cuantitativo, debido a que se pueden cuantificar los costos finales del proyecto y hacer una comparación con respecto al gasto que implica llevar el monitoreo con el personal de mantenimiento.

Unidades de análisis

Tabla 2

Matriz de conceptualización: investigación con planteamiento de metodología en enfoque cuantitativo

OBJETIVO	VARIABLE	INDICADOR	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DEFINICIÓN INSTRUMENTAL
Definir el funcionamiento del sistema de bombeo.	Funcionamiento de los pozos, orden de arranque y diámetros de tuberías.	Orden de encendido, diámetro en pulgadas y caudales.	Definir el funcionamiento del sistema de los pozos es adecuado para la automatización	Implementar visitas de campo en la ubicación actual del sistema de bombeo.	Diámetros en pulgadas, caudal y distancia.
Determinar el estado actual de los paneles eléctricos.	Estado y capacidad de los componentes.	Consumo de amperios y voltaje de los equipos.	La capacidad de los componentes eléctricos debe ser mayor al consumo de los equipos.	Revisar que la capacidad y consumo de los componentes sea la correcta.	Voltímetro y amperímetro.
Crear la programación del PLC	Programación del PLC basado en el lenguaje escalera.	Activación de alarmas y control de motores.	Lenguaje escalera basado en la representación gráfica de circuitos eléctricos.	Programación en lenguaje escalera para el desarrollo del programa del PLC.	Programas de computadora especializados de cada marca para la programación del PLC.
Diseñar interfaz humano -máquina.	Operación del sistema de bombeo.	Estado operacional y monitoreo del sistema de bombeo.	Representación gráfica del sistema donde se puede monitorear y controlar el sistema.	Por medio de la interfaz HMI se monitorea y controla el sistema.	Programas especializados de cada marca de PLC para programación HMI.
Estimar costos de automatizar el sistema de bombeo.	Costo de los equipos por utilizar.	Comparar costos de inversión contra el gasto	Cálculos de inversión con base en el VAN y TIR.	Desarrollar los cálculos del VAN y la TIR y compararlos contra la	Hojas de cálculo en Microsoft Excel con fórmulas del VAN y

de monitorear- los.	pérdida por hora del técnico.	TIR del desarrollo del proyecto.
------------------------	----------------------------------	-------------------------------------

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

Sistema de bombeo

El sistema de bombeo actualmente está compuesto por cuatro pozos, que bombean agua hacia tres tanques, cada uno aguas debajo del otro, sumando un total de 712.696 m³ de capacidad. Como la cantidad de agua producida por los pozos es inferior a la del consumo de la planta, se dejan dos días de descanso para que los pozos puedan volver a abastecer los tanques, que serían los miércoles y domingos. El faltante de agua que no genera los pozos se compensa, a la vez, con los tanques de agua, lo que da un espacio muy pequeño a fallas y errores, debido a esto es muy importante el monitoreo constante de los pozos.

Pozos. La planta actualmente cuenta con siete pozos, pero solo cuatro se automatizarán debido a que son los que se utilizan para el proceso de llenado de los tanques, los otros tres se emplean para otras aplicaciones específicas que por la localización y la capacidad de los pozos no se consideran.

Control de los pozos. En la actualidad, el sistema de pozos se controla automáticamente por una boya eléctrica, en el tanque uno, el más alto de los tres, así cuando el tanque se llena se apagan los pozos para no desperdiciar el agua y los demás tanques se cierran cuando se llenan por una boya mecánica.

Automatización del sistema de bombeo. Uno de los factores que dificulta el proyecto es la localización de los tanques de agua, como se aprecia en la Figura 32 donde se observa que los accesos a red quedan muy largos. Sin embargo, cerca de los tanques existe una granja avícola perteneciente a la planta, donde se aprovecha el acceso a la red interna de la empresa desde la granja aviar ubicada a escasos 20 m de los tanques, se coordina con el equipo de sistemas con la colocación de un puerto Ethernet RJ-45 en la caseta de los guardas ubicada al lado de los tanques de agua.

Figura 32
Distancia de los tanques desde la planta



Fuente: adaptado de Planta avícola de Atenas-Río Grande de Atenas, de Google, s. f. <https://www.google.com/maps/@9.9590354,-84.35629,398m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>. Todos los derechos reservados 2023 por Google. Adaptado con permiso del autor.

En esta misma caseta se considera el lugar adecuado para la localización del panel de control del PLC debido a que tiene el acceso a Internet, estar bajo techo y una fuente de alimentación 120 V de corriente alterna. Además, cuenta con la presencia de un guarda de seguridad, aunque este no tenga acceso al sistema automatizado, puede comprobar el funcionamiento del sistema de bombeo a partir de luces pilotos fuera del panel de control.

Para el diseño de este sistema automatizado se requieren cubrir ciertas necesidades con los equipos de la red de bombeo, como la medición del nivel de los tanques continuo, el flujo de agua de cada pozo, así como el control de estos. Para empezar el diseño se requiere investigar si los paneles de control de los pozos se encuentran en buen estado o son compatibles para automatizar el sistema. Al hacer una inspección en los pozos, se encuentran que los paneles de control están en mal estado, sobredimensionados y protecciones no aptas, como se muestra en la Figura 33.

Figura 33
Panel eléctrico



Cada pozo cuenta con su propia acometida y panel de control, tres pozos son monofásicos 220 de voltios de corriente alterna (VCA) y uno trifásico 208 VCA, accionados por un contactor con bobina 220 VCA. Actualmente, los pozos se encienden por unas boyas eléctricas ubicadas en el tanque uno, que cuando este se llena, las boyas interrumpen el voltaje 220 VCA que se dirige hacia el contactor de cada pozo. Esto resulta conveniente para este proyecto, ya que utiliza el mismo cableado, pero conectado con las salidas tipo relé del PLC, aprovechando la conexión física existente. Sin embargo, se le debe añadir al diseño actual de los pozos un relé de 120 V para la activación proveniente del PLC.

El Departamento de Mantenimiento facilita el diseño original de los paneles eléctricos rediseñándolo con el relé 120 VCA que lo activa la señal proveniente del PLC, como se muestra en la Figura 34 y la Figura 35. Por lo tanto, se cotiza el valor de los equipos nuevos y se propone cambiar todos los componentes para el funcionamiento correcto de los equipos y protecciones de las bombas.

Nivel de los tanques. Los tres tanques son de concreto y están instalados a nivel del suelo, por lo tanto, al contener solo agua no hay ningún criterio específico en su automatización de medición. Por este motivo, se elige medirlo con un sensor de nivel ultrasónico, donde dará una medición continua de los tanques y no solo la función de alto nivel que tenían las boyas eléctricas.

Tabla 3
Volumen de los tanques

Tanque	Volumen (metro cúbico)
Uno	264.418
Dos	228.600
Tres	219.678

Para medir el nivel continuo se utiliza el sensor de nivel ultrasónico Sitrans Probe LU240, que se acopla a los rangos de los tanques. Además, funcionará como la herramienta para la adquisición de datos, de la cantidad de litros de agua que están en el tanque exactamente de manera continua, así se puede llevar un control correcto del agua existente y si fuera el caso de medir con exactitud la cantidad de agua necesaria que tuviesen que comprar sin generar desperdicios de dinero. Esto sin dejar de lado que este sensor define cuando el tanque uno está completamente lleno para apagar las bombas y no producir un desperdicio de agua.

Figura 36
Sensor de nivel



Fuente: Siemens (2023).

Medición de caudal. Para la medición de caudal se necesita cambiar los flujómetros mecánicos por flujómetros con sensores magnéticos, junto con un transmisor que envíe la señal de 4 a 20 mA a las entradas analógicas del PLC. Debido a las diferentes medidas de la tubería provenientes de los pozos se cotiza el mismo modelo con distintos diámetros. determinar el rango necesario de los sensores se toman datos de la bitácora de mantenimiento y se determina el caudal real que se produce actualmente, también se hace un promedio con los datos que se toman en la semana 19 al 25 de julio de 2023, como se observa en la Tabla 4. Además, se compara con los datos suministrados por el jefe de mantenimiento con las capacidades máximas de las bombas y se determina el rango de los sensores en la Tabla 5.

Tabla 4
Caudales promedio

Día	Volumen 24 h			
	POZO 4 (m ³)	POZO 5 (m ³)	POZO 6 (m ³)	POZO 7 (m ³)
Lunes	172	273	36	131
Martes	171	263	75	126
Miércoles	169	267	54	126
Jueves	170	267	54	128
Viernes	171	265	53	127
Sábado	170	264	52	123
Domingo	174	270	54	126
Promedio	171	267	54	127
Caudal (m ³ /h)	7	11	2	5

Tabla 5
Rango de los sensores

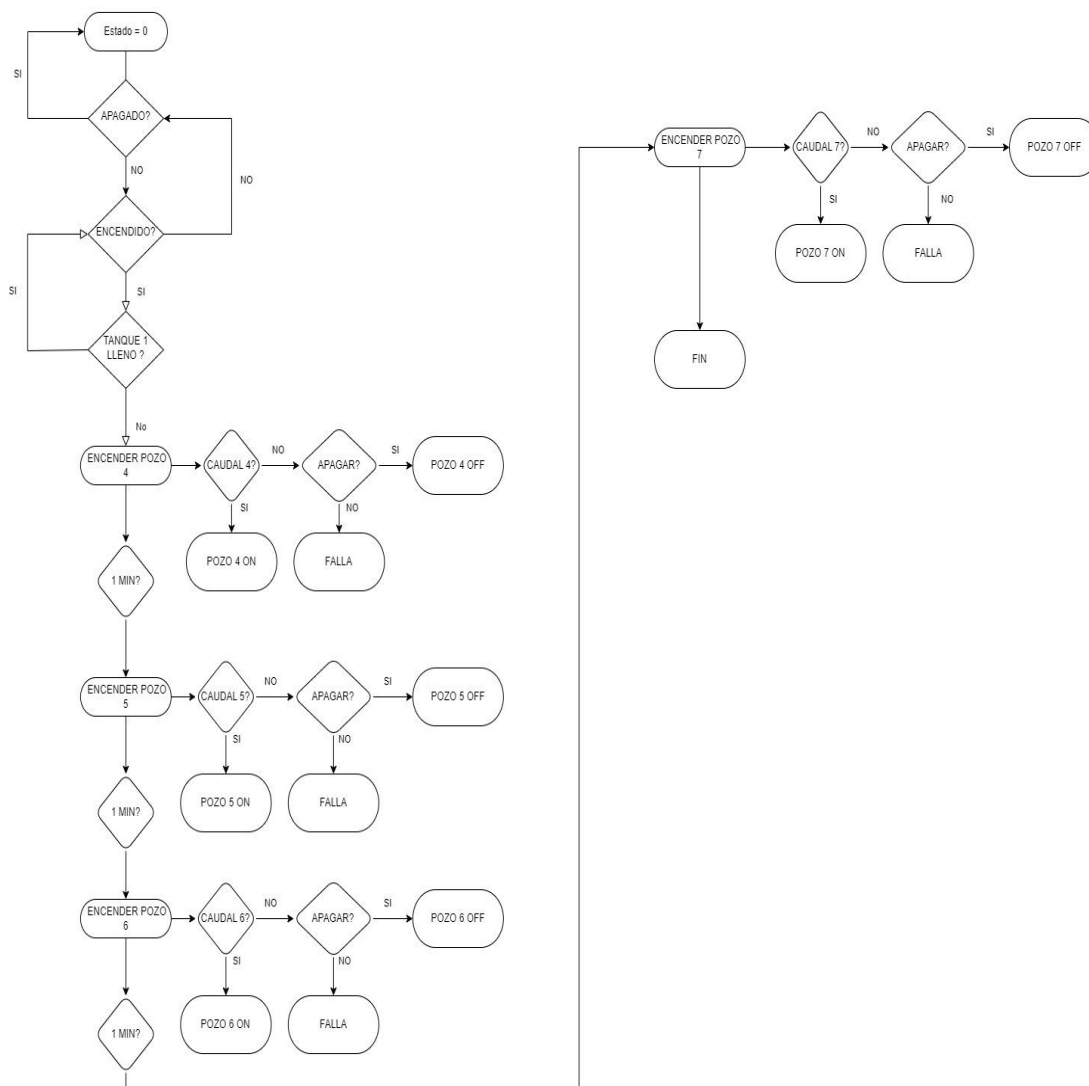
Número de pozo	Capacidad (m ³ /h)	Caudales promedio reales (m ³ /h)	Diámetro (pulgadas)	Rango del flujómetro (m ³ /h)
Pozo #4	17	7	4	6.25-250
Pozo #5	12	11	3	4.0 -160
Pozo #6	5	2	2	1.7- 63
Pozo #7	12	5	2	1.7- 63

Fuente: tabla A3 manual flujómetros.

Otro uso importante de los flujómetros es en la programación del PLC, debido a que se usan como una señal de confirmación de que los pozos encienden. De no darse la confirmación con el flujómetro correspondiente se informa por medio del Scada y las luces pilotos sobre un posible fallo en el equipo del pozo o hasta una fuga en la tubería entre el pozo y los flujómetros.

Lógica de programación. Para llevar a cabo toda la automatización se utiliza el lenguaje de programación escalera, con base en el siguiente diagrama de flujo.

Figura 37
Diagrama de flujo



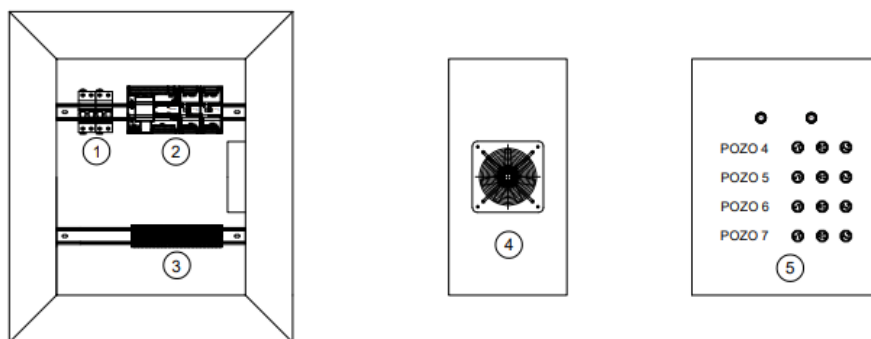
Como se muestra en la Figura 37, con la programación del PLC se requiere hacer un arranque progresivo y no encender todos los pozos al mismo tiempo. Como ya se describió en este trabajo, la demanda de agua es más alta que la que producen los pozos, por lo tanto, crear un programa donde enciendan ciertas bombas según la demanda de la planta sería innecesario. No obstante, se implementa la idea de un arranque progresivo para evitar los picos altos de corriente, ya que cuando la señal del PLC detecta que el tanque no está lleno se encenderán todas las bombas al mismo tiempo.

Al encendido de los pozos se le da un tiempo de intervalo, para proceder con el arranque del pozo siguiente. Sin embargo, no se puede hacer una lógica que el arranque de la bomba dependa de la anterior, ya que si hay una falla en el primer pozo, los demás no encenderán, no obstante, la programación se diseña para que enciendan independientes. Para llevar a cabo todos estos procesos, se contabilizan en total 9 entradas y 16 salidas, donde se diseña con un PLC S7-1200.

Controlador lógico programable (PLC).

El PLC por utilizar es el Siemens S7-1200 con un CPU 1214C, ya que es un equipo balanceado para las necesidades del proyecto. Además de que el equipo cuenta con la capacidad de agregar hasta 8 módulos de señales para posibles expansiones en el futuro. Este CPU cuenta con las características AC/DC/RLY que significa que se puede conectar a una fuente de tensión de hasta 240 VCA, el DC son las entradas digitales que son 14 de 24 voltios de corriente directa (VCD) y tiene 8 salidas tipo relé. Para cumplir con los requerimientos del proyecto se le añade 1 módulo de salidas digitales y uno de entradas analógicas como se ve en la Figura 38.

Figura 38
Panel PLC



- 1 : Interruptor termomagnéticos alimentación principal
- 2: PLC
- 3: Bornes conexión
- 4: Abanico del gabinete.
- 5: Luces piloto del sistema de bombeo

Entradas y salidas. Para la automatización del equipo de bombeo se utilizan 9 entradas, de

las cuales 7 son entradas analógicas de 4 a 20 mA y se organizan como se muestra en la Tabla 6. Para cumplir con las necesidades de las entradas se le añade un módulo de entradas analógicas marca Siemens modelo SM 1231, el cual se compone de 8 entradas analógicas.

Tabla 6
Entradas PLC

Nombre	Tipo	Dirección
SENSOR NIVEL TANQUE 1	Analógica	%IW96
SENSOR NIVEL TANQUE 2	Analógica	%IW98
SENSOR NIVEL TANQUE 3	Analógica	%IW100
FLUJÓMETRO POZO 4	Analógica	%IW102
FLUJÓMETRO POZO 5	Analógica	%IW104
FLUJÓMETRO POZO 6	Analógica	%IW106
FLUJÓMETRO POZO 7	Analógica	%IW108
ENCENDIDO	Digital	%I0.0
APAGADO	Digital	%I0.1

En el caso de las salidas cuenta con un total de 16 salidas digitales, por lo tanto, el PLC no cumple con la cantidad adecuada. Por esta razón, se le añade un módulo Siemens de salidas digitales de 24 VCD modelo SM 1222 organizándolos como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7
Salidas PLC

Nombre	Tipo	Dirección
Encendido pozo 4	Digital	%Q0.0
Encendido pozo 5	Digital	%Q0.1
Encendido pozo 6	Digital	%Q0.2
Encendido pozo 7	Digital	%Q0.3
Pozo 4 ON	Digital	%Q0.5

Pozo 4 OFF	Digital	%Q0.6
Pozo 4 FALLA	Digital	%Q0.7
Pozo 5 ON	Digital	%Q1.0
Pozo 5 OFF	Digital	%Q1.1
Pozo 5 FALLA	Digital	%Q12.0
Pozo 6 ON	Digital	%Q12.1
Pozo 6 OFF	Digital	%Q12.2
Pozo 6 FALLA	Digital	%Q12.3
Pozo 7 ON	Digital	%Q12.4
Pozo 7 OFF	Digital	%Q12.5
Pozo 7 FALLA	Digital	%Q12.6

El PLC S7-1200 1214c es compacto y según el manual contiene una fuente con capacidad de 1600 mA para uso de bus de datos 5 VCD y un máximo de 400 mA para el uso de sensores y señales 24 VCD, con la cantidad de entradas y salidas se puede hacer un estimado del consumo. De acuerdo con el fabricante Chint, el consumo máximo de una luz piloto de 22 mm es de 20 mA y siguiendo el manual de los módulos de extensión se elabora la Tabla 8 y la Tabla 9 para realizar el cálculo del consumo de entradas y salidas.

Tabla 8
Consumos 24 VCD

Consumos de 24 VCD en mA				
Módulos	CPU 1214C	Módulo 1222	Módulo 1231	TOTAL
Entradas digitales	8			8
Salidas 24 CD	100	210		310
Entradas analógicas			210	210
	TOTAL			528

Tabla 9
Consumos 5 VCD

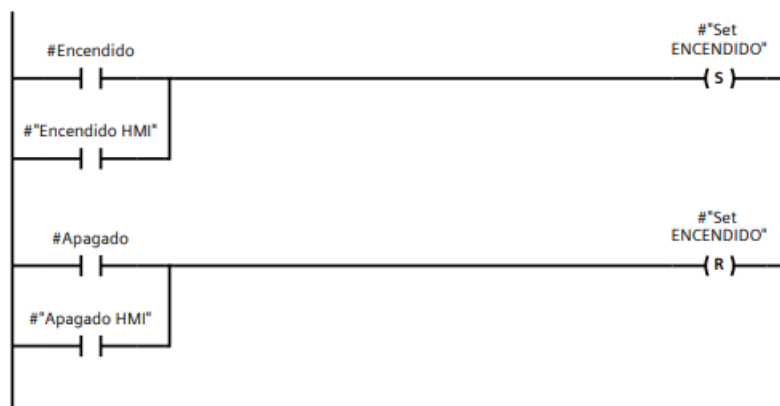
Consumos de bus de datos 5 VCD en mA				
Módulos	CPU 1214C	Módulo 1222	Módulo 1231	TOTAL
Bus de datos		120	90	210

Como se puede apreciar en la Tabla 8 y la Tabla 9, la cantidad de mA en 24 VCD supera la capacidad máxima del PLC por lo que se implementa al diseño una fuente externa de 24 VCD de 1.3 A marca Siemens, para alimentar las entradas digitales, analógicas y salidas digitales de 24 VCD. Al aprovechar la capacidad de la fuente queda un espacio para proyecciones de crecimiento en el sistema de bombeo, en cambio, la habilidad de mA en 5 VCD es de apenas 210 mA debido a que el CPU 1214c soporta hasta 8 módulos de extensión.

Además, previniendo fallos en la alimentación de corriente del PLC y la fuente añadida, se conectan de un suministro de energía, ubicada en la caseta del guarda, con una capacidad de 1200 W. Lo anterior se debe a que el PLC según el manual consume un máximo de 228 W y la fuente de 24 VCD 156 W, con un total de 384 W está en los rangos de la UPS, ya que solo tiene la carga de una cámara de vigilancia.

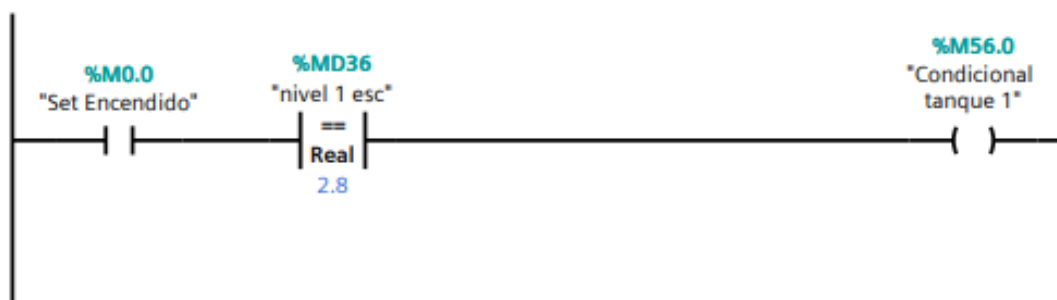
Programación de PLC. La programación del PLC se realiza con el programa TIA PORTAL V17 de la marca Siemens para la simulación, configuración y programación de PLC. Se comienza enclavando la señal de encendido, la cual tiene el botón físico y un botón virtual desde el Scada para la activación remota, donde se necesita dejar un *set* en la señal para que se mantengan activados los pozos de manera automática, hasta que se deseen desactivar, lo cual se logra con la lógica de la Figura 39.

Figura 39
Enclavamiento encendido



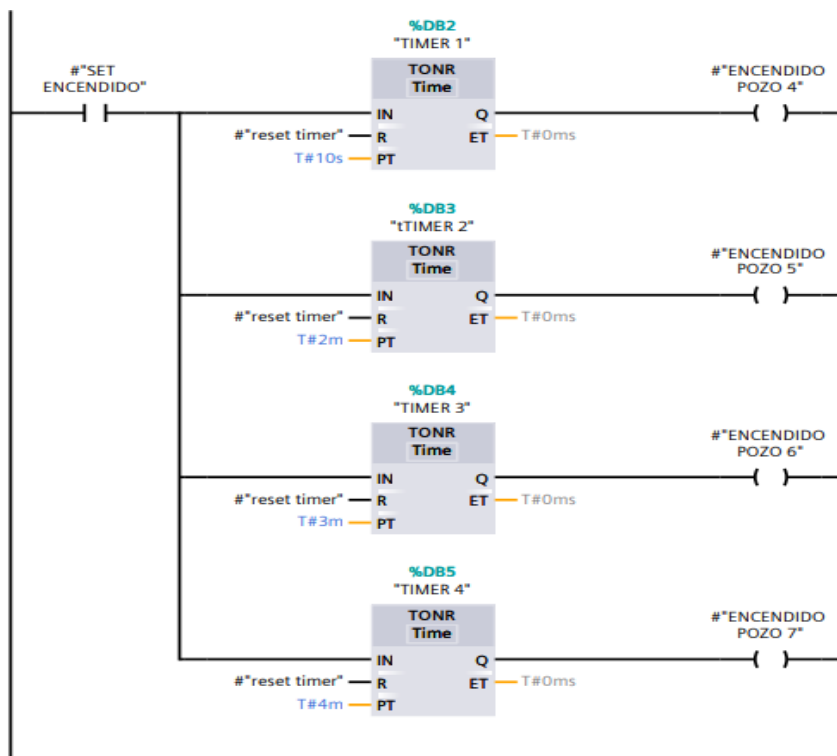
Después del enclavamiento del encendido, se implementa la condición para que el sistema de pozos se apague si se llena el tanque 1, con la lógica de la Figura 40.

Figura 40
Condicional tanque 1



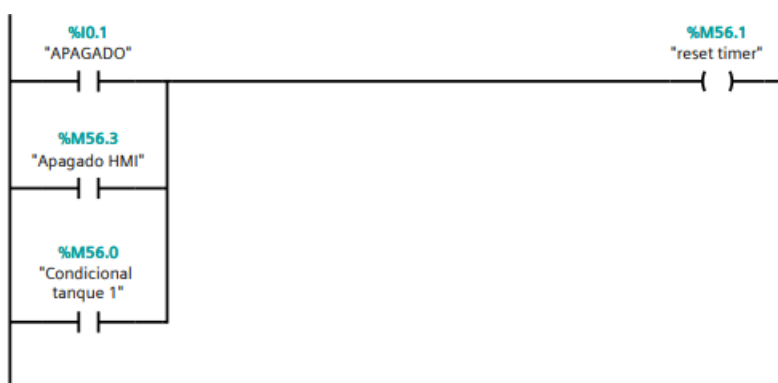
Teniendo el encendido y la condicional del nivel de tanque 1, de acuerdo con el diagrama de flujo, los pozos deben encender de manera progresiva. Además, el arranque de cada pozo no debe depender del anterior. Por lo tanto, se utilizan temporizadores para demorar el arranque de cada pozo desde que se presiona el encendido, como se aprecia en la Figura 41.

Figura 41
Temporizadores



El temporizador TONR, que se muestra en la Figura 41, debe tener un reinicio, para apagar la señal, donde se aprovecha y se emplea para apagar los pozos y si se apaga el sistema. Además, si el tanque 1 se llena apaga los pozos, pero sin desactivar el sistema, así cuando el tanque 1 vuelve a bajar el nivel, los pozos se activan de nuevo de manera progresiva. Para llevar a cabo esta lógica se usa el diagrama de la Figura 42.

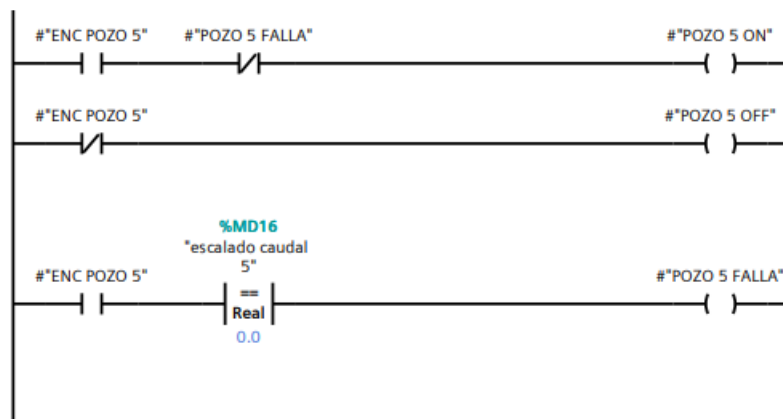
Figura 42
Reinicio de los temporizadores



Las señales piloto del panel, además de la pantalla HMI, se diseñan todas iguales, lo cual indica si el pozo está encendido, apagado o en falla. En la Figura 43 se ve el ejemplo de la programación del pozo 5.

Figura 43

Lógica luces piloto

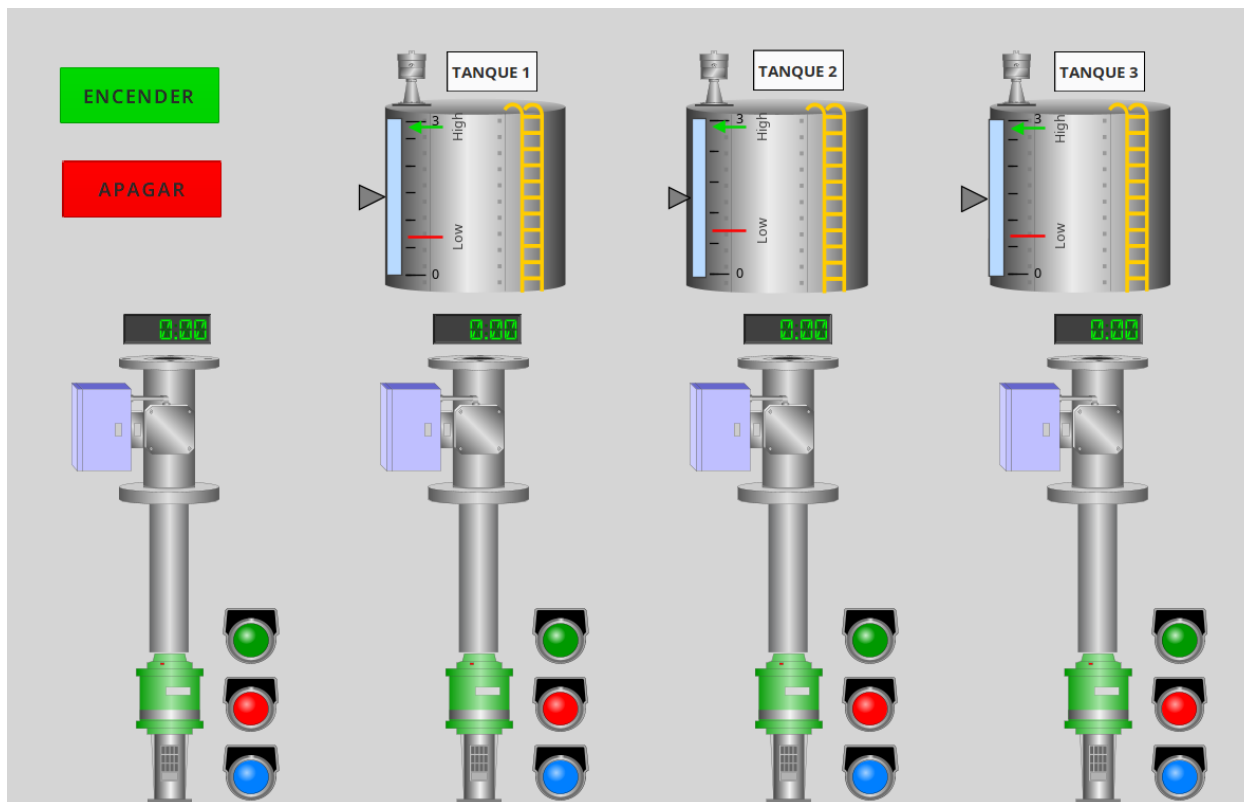


Interfaz HMI: en el diseño del Scada se necesita la interfaz HMI para controlar el sistema de manera remota, así como para la visualización de datos. Como se trabaja con equipos de Siemens, ellos utilizan su propio programa para las creaciones de interfaces gráficas, llamada WINCC programa de la marca Siemens para la programación de interfaces HMI, sin embargo, esto necesita la compra de una licencia profesional, para su uso. Por lo tanto, se diseña la interfaz en un programa de uso libre, para implementarla en WINCC.

Se decide implementar el diseño en WINCC ya que como el programa es de la misma marca del PLC. Por su completa compatibilidad con protocolos Profinet no necesita medios adicionales para la comunicación con el programa TIA Portal y esto lo convierte en el más adecuado.

Como se muestra en la Figura 44 se diseña la interfaz HMI, donde la persona usuaria del Scada tiene acceso a la información de los niveles del tanque, caudal, funcionamiento de los pozos, así como la opción de encender o apagar el programa.

Figura 44
Diseño HMI



Adquisición de datos

Una parte primordial del sistema Scada es la adquisición de datos y en el proyecto se requiere adquirir los datos de los caudales de cada pozo, así como el nivel continuo de los tanques. Como se explicó, se utilizaron diferentes dispositivos analógicos para la lectura de estos, el programa TIA PORTAL V17 facilita una herramienta para hacer el escalonado de una entrada analógica, de manera que hace una traducción de datos del sensor a datos numéricos de nivel o caudal. Como ejemplo se puede ver en la Figura 45 el escalamiento del sensor del caudal 7.

Figura 45
Escalonamiento de señal analógica



Además, TIA PORTAL V17 tiene las herramientas para crear un recolector de datos y exportarlo a un archivo de Microsoft Excel, donde la información se recopila en una base de datos SQL para la distribución, análisis, elaborar gráficos, en fin, se pueden hacer diferentes propuestas, según los requerimientos de ingeniería, en las que se sugiere el uso de una base de datos de uso libre como MYSQL o SQLEXPRESS.

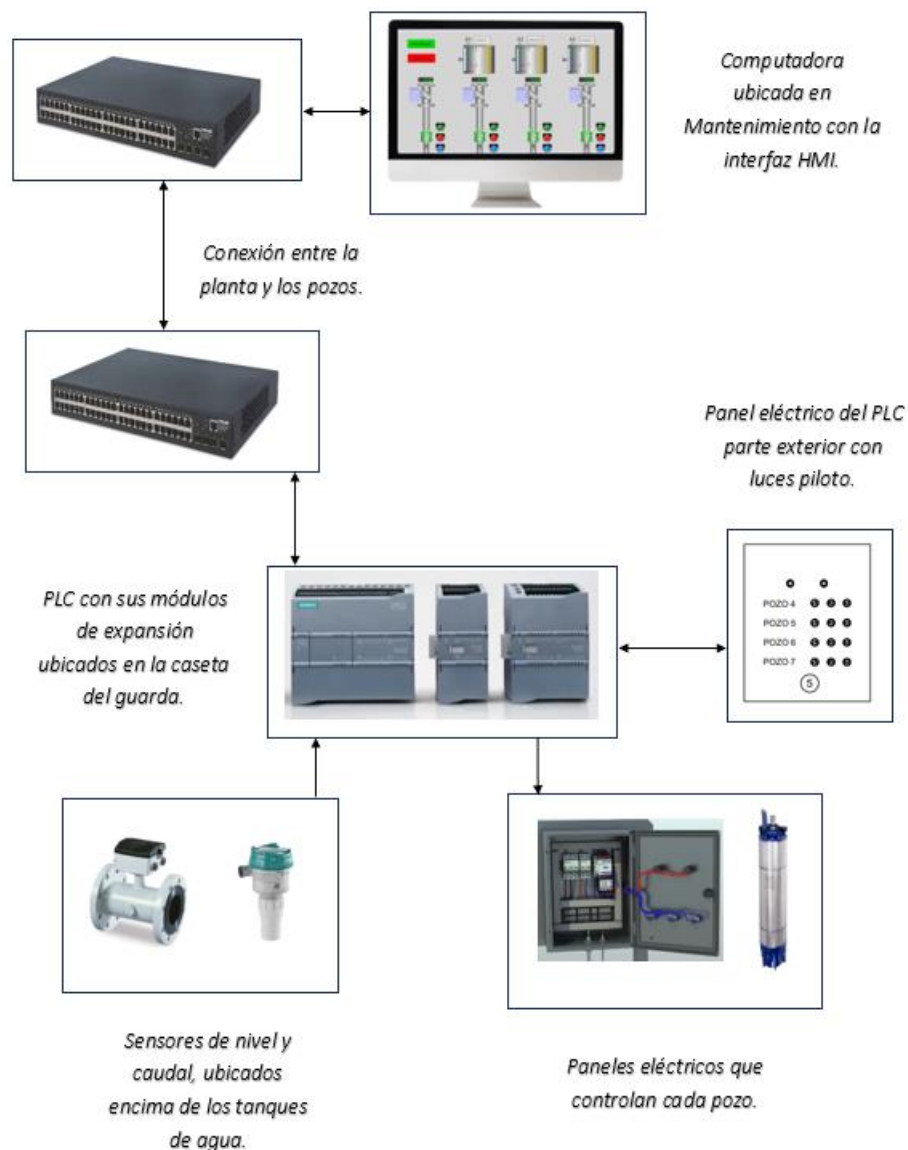
Para la instalación del programa TIA PORTAL se conversa con los encargados de sistemas de la empresa, quienes aclaran que el programa se puede cotizar para aprovechar este proyecto y la creación de otros programas de automatización que se tienen pensados en el desarrollo de la compañía. Por este motivo, el costo no se reflejará en este proyecto.

Para finalizar el acceso a la interfaz HMI y la adquisición de datos se propone instalar el programa TIA PORTAL V17 en una computadora ubicada en el taller de mantenimiento, donde todo el personal de mantenimiento tiene la facilidad de monitorear el sistema por si se presenta algún problema. Como se aprecia en la Figura 46 se ilustra la conexión de los equipos del Scada.

Comunicación del sistema. Se plantea el diseño del Scada con los equipos de la marca Siemens para su compatibilidad de protocolos de red, en este caso el PLC utiliza el protocolo Profinet, los accesos a la red son administrados por una empresa externa. Por esta razón, no facilitaron las IP para utilizar.

Se tiene el conocimiento que en el taller de mantenimiento y en la caseta del guarda ubicada en los tanques poseen *switch* para acceso a la red. La empresa avícola se hará cargo de habilitar la conexión correspondiente, así como la identificación de los enlaces. Además, las conexiones físicas entre el PLC y el *switch* serán de cable UTP CAT6 y del PLC a los sensores y las señales serán de cobre.

Figura 46
Conexión de equipos



Análisis financiero

Actualmente, para monitorear el funcionamiento de los pozos, mínimo se realiza un recorrido cada 12 horas y al personal de mantenimiento le toma en promedio 1 hora realizarlo. Por lo tanto, se deben dejar las actividades diarias de lado para cumplir con la recolección de datos, si se desarrolla el proyecto, ese tiempo desperdiciado de los técnicos se puede aprovechar para cubrir las necesidades de la planta. Esto sin contar que los domingos se le debe pagar extras al personal

de mantenimiento para asignar 1 hora de su día libre en la revisión de los pozos, tiempo que se puede interpretar en un ahorro a la empresa.

El salario promedio de los técnicos ronda los ¢650.000 mensualmente, debido a que les pagan por semana este sueldo mensual se divide en 4.33 semanas, donde el resultado se debe dividir en 6 días de la semana y 8 horas del horario de trabajo, lo que da un costo de ¢3.127 la hora. Además, los domingos se le debe pagar doble la hora, lo que cuesta ¢6.255, sumando un total por semana de ¢25.017 por técnico, ya que son 2 técnicos diarios el costo total por semana de hacer los recorridos es de ¢50.034. Si esto se multiplica por las 52 semanas del año, el costo total de monitorear los pozos es de ¢2.601.768 anualmente.

Para la inversión inicial del proyecto se debe tomar en cuenta el costo de cambiar los paneles de control, así como la compra del PLC, módulos, flujómetros y sensores de nivel, lo que da una inversión inicial de ¢12.200.000, como se aprecia en la Tabla 10.

Tabla 10
Costos proyecto

Equipo	Cantidad	Costo
Sensores SITRANS FM MAG 5100 W 2»	2	¢4.110.164
Sensores SITRANS FM MAG 5100 W 3»	1	¢2.075.070
Sensores SITRANS FM MAG 5100 W 4»	1	¢2.111.364
Sensores SITRANS Probe LU240	3	¢2.064.024
SIMATIC PLC S7-1200 1214 C	1	¢361.260
SIMATIC SM 1222	1	¢103.680
SIMATIC SM 1231	1	¢345.600
Fuente SITOP PSU100C	1	¢40.000
Total		¢11.211.162
Gastos componentes eléctricos		¢943.150
TOTAL		¢12.154.312
	Aprox.	¢12.200.000

Al comparar la inversión con un certificado de depósito a plazo (CDP), se investiga en varios bancos estatales del país y se concluye que el Banco de Costa Rica (BCR) ofrece la cuota más alta con un 7.02 % anual, la cual se usa como la tasa de descuento. Al desarrollar el VAN y la TIR se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{VAN} = & -12\,200\,000 + \frac{2\,601\,768}{(1+0.0702)^1} + \frac{2\,601\,768}{(1+0.0702)^2} + \frac{2\,601\,768}{(1+0.0702)^3} + \frac{2\,601\,768}{(1+0.0702)^4} \\ & + \frac{2\,601\,768}{(1+0.0702)^5} + \frac{2\,601\,768}{(1+0.0702)^6} + \frac{2\,601\,768}{(1+0.0702)^7} + \frac{2\,601\,768}{(1+0.0702)^8} \\ & + \frac{2\,601\,768}{(1+0.0702)^9} + (2\,601\,768)/(1+0.0702)^9 \quad \text{VAN} = \text{C} 6\,056\,848 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TIR} = & -12\,200\,000 + \frac{2\,601\,768}{(1+i)^1} + \frac{2\,601\,768}{(1+i)^2} + \frac{2\,601\,768}{(1+i)^3} + \frac{2\,601\,768}{(1+i)^4} + \frac{2\,601\,768}{(1+i)^5} \\ & + \frac{2\,601\,768}{(1+i)^6} + \frac{2\,601\,768}{(1+i)^7} + \frac{2\,601\,768}{(1+i)^8} + \frac{2\,601\,768}{(1+i)^9} + \frac{2\,601\,768}{(1+i)^9} \quad \text{TIR} \\ & = 17\% \end{aligned}$$

Como se puede ver en los datos anteriores, en un plazo de 10 años el proyecto es viable, ya que el VAN es superior a 0. Además, el valor del TIR supera el porcentaje del 7.02 % de un certificado a plazo.

Análisis de los resultados

Al analizar la información completa del proyecto es posible ver por qué es importante diseñar un Scada para el sistema de bombeo. Actualmente, la empresa no lleva un control de los datos de las fallas, un historial de las eficiencias de los pozos o un método eficiente y actualizado de consumos. Por lo tanto, al implementar el Scada la compañía tiene a disposición mejores herramientas para actualizar sus métodos de recopilación de datos.

Con respecto a los paneles eléctricos, era evidente la necesidad del cambio, por lo que se estima que las fallas por problemas en los paneles eléctricos bajen un 100 %. Además, se asegura la protección de las bombas sumergibles.

El programa TIA PORTAL V17 se integra bien al proyecto, debido a las múltiples herramientas para la automatización y recolección de datos del sistema de bombeo. Además, deja las puertas abiertas a mejoras y nuevas funciones.

Al analizar los datos de la parte económica, con el ahorro del costo de recopilar los datos diariamente, se puede recuperar la inversión inicial en menos de 5 años. Sin embargo, el cálculo del VAN y la TIR se estiman en 10 años debido a la vida útil de los sensores y el PLC. Según los cálculos el VAN es mayor que 0, por lo que se afirma que el proyecto es viable. Además, con un TIR de 17 %, siendo superior al 7.02 % solicitado por la empresa, es rentable la implementación del sistema Scada para un sistema de bombeo de la planta avícola ubicada en Atenas.

Sin dejar de lado que la implementación de este proyecto puede ahorrar más dinero, debido a que las fallas por el equipo de control de los pozos disminuirán con la instalación de componentes nuevos, si se produjeran fallas el tiempo de respuesta es más rápido que antes, lo que le ahorra a la empresa la compra de agua de ese tiempo de paro. Además, ya con el Scada trabajando, se pueden hacer diferentes bases de datos y aprovechar la información para crear gráficos, historiales de fallas, planes de mantenimiento y medir la eficiencia de los pozos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En el desarrollo del proyecto se define el funcionamiento de los pozos actualmente, entendiendo las necesidades del proyecto y lo que se debe implementar en el diseño de automatizar el sistema de bombeo de una planta avícola en Atenas.
- En las visitas de campo se determinó que los paneles de control de los pozos no eran aptos para la automatización, debido a su mal estado y pueden interferir en el funcionamiento correcto del Scada, por lo que se cotizan los componentes nuevos.
- Se creó la programación del Scada en el programa TIA PORTAL, en el que se simuló las entradas y salidas, con lo que se logró comprobar el funcionamiento correcto de la programación.
- Se diseñó la interfaz HMI para el proyecto, utilizando un programa de uso libre, con lo que se logró representar el caudal de los pozos, el nivel de los tanques y el estado de funcionamiento de los pozos, así como poder apagar y encender el sistema remotamente.
- Se estima que el costo del proyecto es de ₡12.200.000, dejando un ahorro de ₡2.601.768 anualmente. Al calcular que el VAN es superior a 0 se puede concluir que el proyecto es viable y la TIR de 17 % supera el valor del 7.02 %, por lo que cumple con los criterios de rentabilidad.

Recomendaciones

- Se recomienda crear una base de datos para guardar toda la información del sistema de bombeo y así llevar un control de los datos, tener un respaldo a través de los años, gráficos y monitorear estadísticas de fallas.
- Con la información adquirida se recomienda llevar un control de los caudales de los pozos, debido a que se pueden ver con el paso del tiempo bajas en la eficiencia y se puede hacer un mantenimiento programado, no correctivo como se hace hasta ahora.
- A partir de los datos de fallas adquiridos, se recomienda cotizar los repuestos de los equipos que más tienden a fallar según la información adquirida.

- En la elaboración del proyecto se nota que la tubería que llega a los tanques de reserva está sobredimensionada con la capacidad de los pozos, debido a esto la selección del medidor de flujo electromagnético queda sobredimensionado. Por lo tanto, se recomienda un rediseño del sistema de bombeo para hacerlo más eficiente.
- Se recomienda hacer una limpieza periódica a los paneles de control de los pozos, así como al del PLC, para evitar fallos y realizar una inspección visual periódicamente.
- Se recomienda expandir este diseño automatizado a otros sistemas de medición de agua ubicados en la planta.
- Se recomienda que, si se expande el Scada, se valore el costo de aumentar la capacidad de la base de datos.
- Se recomienda crear un enlace de contingencia de la conexión del PLC a la red interna de la empresa, para que en caso de un fallo en la conexión principal se mantengan los equipos conectados a la red.
- Se recomienda agregar al sistema alarmas automáticas que avisen vía mensaje de texto o correo electrónico si acontecen fallas.
- Se recomienda, con los datos adquiridos, crear un análisis del sistema de bombeo y verificar si los dispositivos de bombeo son los adecuados para el sistema.

REFERENCIAS

- Alexander, C. y Sadiku, M. N. (2013). *Fundamentos de circuitos eléctricos*. McGraw-Hill Education.
- Almachi Chiguano, J. y Naranjo Barrera, E. (2021). *Desarrollo de un sistema Scada para una estación de bombeo de agua a presión constante*. Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8123/1/PI-001803.pdf>
- Bello, U. y Pino, Q. (2000). *Medición de presión y caudal*. Punta Arenas.
- Blanco Marigorta, E.; Velarde Suárez, S. y Fernández Francos, J. (1994). *Sistemas de bombeo*. Gijón.
- Brenes González, W. (2021). *Rediseño del sistema eléctrico y automatización de la planta potabilizadora de agua de Liberia de 225 kVA del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Caffaggi Félix, A. A.; Rodal Canales, E. A. y Sánchez Huerta, A. (2021). *Sistemas de bombeo*: Unidad de Apoyo Editorial.
- Campiño Figueroa, C. A.; Rincón Roso, L. A. y Granados Delgado, O. (2020). *Propuesta de diseño de un generador de alaras para el ahorro de agua de los hogares colombianos a partir del consumo mínimo nacional*.
- Carrión Salinas, H. (2016). *Diseño e implementación de un banco experimental para el control de procesos en el laboratorio de automatización del A.E.I.R.N.N.R. de la Universidad Nacional de Loja*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17321/1/Carri%C3%B3n%20Salinas%20Hern%C3%A1n%20Daniel.pdf>
- Cengel, Y. A. y Cimbala, J. M. (2018). *Mecánica de fluidos Fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill Education Global.
- Chacón Sandoval, L. (2022). *Rediseño y automatización del sistema de bombeo de agua potable de Cedes San Bosco*. Universidad Internacional de las Américas.
- Chapman, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas*. McGraw Education.

- Chuquín Vasco, N. S.; Chuquín Vasco, J. P. y Chuquín Vasco, D. A. (2020). *Hidráulica en tuberías y accesorios (válvulas industriales)*. CIDE.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2017). *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias de edificaciones*.
- Condumex cables. (2009). *Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión*. Servicios Condumex.
- Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación industrial*. Alfaomega Grupo Editor, S. A.
- Daneri, P. A. (2008). *PLC: automatización y control Industrial*. Hasa.
- Decreto n.º 37548-MAG. (2012). *Reglamento Sanitario y de Inspección Veterinaria de Establecimientos de Sacrificio y Procesadores de Aves*.
- Delta Electronics. (2022). *PLC grande de la serie AH500*. <https://delta-electronics.com.br/es/produtos/clp-de-grande-porte-serie-ah500/>
- Eaton. (s. f.). *Controlador lógico programable compacto EC4P*. <https://www.eaton.com/mx/es-mx/catalog/industrial-control--drives--automation---sensors/ec4p-compact-plc.html>
- González Navarro, C. (2016). *Sistema de Control Automático y Monitorización del Sistema de Suministro de Agua de la Planta Este de Trimpot Electrónicas Ltda*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6856/sistema_control_automatico_monitorizacion_sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández Sampieri, R.; Baptista Lucio, P. y Fernández Collado, C. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Lehr, J. H. y Keeley, J. (2005). *Water encyclopedia*. Jhon Wiley and Sons.
- López Herrera, J. y Vargas Soria, L. (2021). *Implementación de un sistema Scada para el control de temperatura de dos hornos a través de una red Ethernet*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Marqués, M. (2011). *Bases de datos*. Publicacions de la Univerditat Jaume I.

- Martin Castillo, J. C. y García García, M. P. (2009). *Automatismos industriales*. Pozuelo de Alarcón, Editex.
- Matamoros Gamboa, R. (2021). *Automatización y optimización del procesado de Plastisol para la empresa Proquinal*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13439?show=full>
- Ojeda Jiménez, C. y Aguilera Vargas, R. (2021). *Reingeniería del sistema de bombeo e implementación de un Scada para la supervisión y control automático del sistema contra incendio, en la planta industrial Petróleos Paraguayos Petropar*. <https://revista-ucsa-ct.edu.py/ojs/index.php/ucsa/article/view/72/65>
- OPC Foundation. (s. f.). *OPC Unified Architecture*. <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>
- Ortiz Benavides, E. (2020). *Ingeniería económica para todos*. Universidad de Nariño.
- Peciña Belmonte, L. (2018). *Comunicaciones industriales y WINCC*. Ulzama: Marcombo, S. A.
- Quezada Quezada, J. C.; Flores García, E.; González Cadena, M. y Bautista López, J. (2018). Sistema HMI-PLC-ADF- Motor CA para control de velocidad. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, XIX(4), 1-15. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.040>
- Reckmann, A. O. (s. f.). *Pozos de captación de aguas subterráneas*. INIA, n.º 190, 15.
- Rodríguez Penin, A. (2013). *Sistemas Scada*. Alfaomega Grupo editor.
- Rojano Tituaña, A. y Toapanta Ortega, W. (2020). *Sistema de control del consumo de agua, mediante el sistema Scada para el invernadero #1 en el Campus Salache*. Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7964/1/PI-001737.pdf>
- Rosas Bello, W.; Medina Becerra, F. y Mesa Jara, J. (2020). *Metodologías de evaluación del riesgo en ciberseguridad aplicadas a sistemas Scada para compañías eléctricas*. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n07/a20v41n07p27.pdf>
- Salazar Acosta, F. (2019). *Diseño de un sistema Scada para la automatización de la planta de tratamiento de aguas de la empresa Cargill en San Rafael de Alajuela*. Instituto

Tecnológico de Costa Rica.

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10959/Dise%c3%blo%20de%20un%20sistema%20SCADA%20para%20la%20automatizaci%c3%b3n%20de%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20de%20la%20empresa%20Cargill%20en%20San%20Rafael%20de%20Alajuela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sanchis Llopis, R.; Romero Pérez, J. A. y Ariño Latorre, C. V. (2010). *Automatización Industrial*. Universidad Jaime I.

Schneider Electric. (2023). *Relé de control de nivel rm22-l - 24..240 v ac/dc - 2 c/o*.

<https://www.se.com/es/es/product/RM22LA32MR/re%C3%A9-de-control-de-nivel-rm22l-24-240-v-ac-dc-2-c-o/>

Schneider Electric. (s. f.). *Manual y catálogo del electricista*.

Schneider Electric. (2021). https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Catalog+Harmony+Control+Relays.pdf&p_Doc_Ref=DIA5ED2160501EN

Siemens. (2021). *Simatic step 7 Basic/Professional V17 y Simatic WinCC V17*.

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109798671/simatic-step-7-basic-professional-v17-y-simatic-wincc-v17?dti=0&lc=es-WW>

Siemens. (2023, 18 de octubre). *Industry Mall*.

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/?mlfb=7ML51...-.....-.....>

Solórzano-Alfaro, S. (2021). *Sistema de control y monitoreo hídrico, basado en LoRaWAN™, para el acueducto principal de la Asociación Administradora del Acueducto Rural de Playa Sámara de Nicoya*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Torres Pino, L. (2013). *Investigación y desarrollo de un sistema automático para monitoreo y control de un motor eléctrico conectado en delta utilizando un equipo de medición Sentrón PAC3200*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1606/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-5.pdf>

Volk, M. (2014). *Pump characteristics and applications*. Taylor and Francis Group.

APÉNDICES Y FIGURAS

SIEMENS

Hoja de datos
6ES7222-1BF32-0XB0


SIMATIC S7-1200, módulo de salidas digitales SM 1222, 8 DO, DC 24V, Transistor 0,5 A

Información general	
Designación del tipo de producto	SM 1222, DQ 8x24 VDC/0,5 A
Tensión de alimentación	
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
de bus de fondo 5 V DC, máx.	120 mA
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	1,5 W
Salidas digitales	
Número de salidas	8
• En grupos de	1
Protección contra cortocircuito	No; a prever externamente
Limitación de la sobretensión inductiva de corte a	típ. (L+) -48 V
Poder de corte de las salidas	
• con carga resistiva, máx.	0,5 A
• con carga tipo lámpara, máx.	5 W
Tensión de salida	
• Valor nominal (DC)	24 V
• para señal "0", máx.	0,1 V; con carga de 10 kOhm
• para señal "1", mín.	20 V DC
Intensidad de salida	
• para señal "1" valor nominal	0,5 A
• para señal "0" intensidad residual, máx.	10 µA
Retardo a la salida con carga resistiva	
• "0" a "1", máx.	50 µs
• "1" a "0", máx.	200 µs
Corriente total de salidas (por grupo)	
Posición de montaje horizontal	
— hasta 50 °C, máx.	4 A; Corriente por común
Longitud del cable	
• apantallado, máx.	500 m
• no apantallado, máx.	150 m
Alarmas/diagnósticos/información de estado	
Alarmas	
• Alarma de diagnóstico	Sí
LED señalizador de diagnóstico	
• para el estado de las salidas	Sí
Aislamiento galvánico	
Aislamiento galvánico módulos de S digitales	

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7231-4HF32-0XB0



Figura similar

SIMATIC S7-1200, módulo de entradas analógicas, SM 1231, 8 AI, +/-10V, +/-5V, +/-2,5V, o 0-20 mA/4-20 mA, 12 bits + signo o (13 bits ADC)

Información general	
Designación del tipo de producto	SM 1231, AI 8x13 bit
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	24 V
Intensidad de entrada	
Consumo, típ.	60 mA
de bus de fondo 5 V DC, típ.	90 mA
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	1,5 W
Entradas analógicas	
Nº de entradas analógicas	8; Entradas diferenciales tipo corriente o tensión
Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx.	35 V
Intensidad de entrada admisible para entrada de corriente (límite de destrucción), máx.	40 mA
Tiempo de ciclo (todos los canales), máx.	625 µs
Rangos de entrada	
• Tensión	Si; ±10 V, ±5 V, ±2,5 V
• Intensidad	Si; 4 a 20 mA, 0 a 20 mA
• Termopar	No
• Termorresistencias	No
• Resistencia	Si
Rangos de entrada (valores nominales), tensiones	
• -10 V a +10 V	Si
— Resistencia de entrada (-10 V a +10 V)	≥ 9 MOhm
• -2,5 V a +2,5 V	Si
— Resistencia de entrada (-2,5 V a +2,5 V)	≥ 9 MOhm
• -5 V a +5 V	Si
— Resistencia de entrada (-5 V a +5 V)	≥ 9 MOhm
Rangos de entrada (valores nominales), intensidades	
• 0 a 20 mA	Si
— Resistencia de entrada (0 a 20 mA)	280 Ω
• 4 mA a 20 mA	Si
— Resistencia de entrada (4 mA a 20 mA)	280 Ω
Termopar (TC)	
Compensación de temperatura	
— parametrizable	No
Formación de valor analógico para entradas	
Tiempo de integración y conversión/resolución por canal	

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7214-1BG40-0XB0



Figura similar

SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU compacta AC/DC/relé, E/S INTEGRADAS:
14 DI 24 V DC; 10 DO, relé 2 A; 2 AI 0-10V DC, alimentación: AC 85-264 V AC
con 47-63 Hz, Memoria de programas/datos 100 KB

Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1214C AC/DC/Relais
Versión de firmware	V4.5
Ingeniería con	
• Paquete de programación	STEP 7 V17 o superior
Tensión de alimentación	
Valor nominal (AC)	
• 120 V AC	Sí
• 230 V AC	Sí
Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V
Rango admisible, límite superior (AC)	264 V
Frecuencia de red	
• Rango admisible, límite inferior	47 Hz
• Rango admisible, límite superior	63 Hz
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	100 mA con 120 V AC; 50 mA con 240 V AC
Consumo, máx.	300 mA con 120 V AC; 150 mA con 240 V AC
Intensidad de cierre, máx.	20 A; con 264 V
I ^t	0,8 A ² ·s
Intensidad de salida	
Para bus de fondo (5 V DC), máx.	1 600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	
• 24 V	20,4 a 28,8 V
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	14 W
Memoria	
Memoria de trabajo	
• integrada	100 kbyte
Memoria de carga	
• integrada	4 Mbyte
• enchufable (SIMATIC Memory Card), máx.	con SIMATIC Memory Card
Respaldo	
• existente	Sí
• libre de mantenimiento	Sí
• sin pila	Sí
Tiempos de ejecución de la CPU	
para operaciones de bits, típ.	0,08 µs; /instrucción
para operaciones a palabras, típ.	1,7 µs; /instrucción

SIEMENS

Data sheet

6EP1331-5BA10

SITOP PSU100C 24 V/1.3 A
 SITOP PSU100C 24 V/1.3 A stabilized power supply input: 120/230
 V AC (DC 110-300 V) output: 24 V DC/1.3 A



Input	
Input	1-phase AC or DC
Rated voltage value V_{in} rated	100 ... 230 V
Voltage range AC	85 ... 264 V
Input voltage	
• at DC	110 ... 300 V
Wide-range input	Yes
Overvoltage resistance	$2.3 \times V_{in}$ rated, 1.3 ms
Mains buffering at I_{out} rated, min.	20 ms; at $V_{in} = 230$ V
Rated line frequency 1	50 Hz
Rated line frequency 2	60 Hz
Rated line range	47 ... 63 Hz
Input current	
• at rated input voltage 100 V	0.63 A
• at rated input voltage 230 V	0.31 A
Switch-on current limiting (+25 °C), max.	34 A
I^2t , max.	1.2 A ² ·s
Built-in incoming fuse	internal