



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA

**SISTEMA AUTOMÁTIZADO PARA MEJORAR LA CALIDAD DE
NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES EN UNA FÁBRICA QUÍMICA, LIMA 2025**

**Línea de investigación:
Sistemas eléctricos y electrónicos**

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecatrónico

Autor

Saenz Vera, Marco Antonio Samir

Asesor

Casas Miranda, Roberto Jose Maria

ORCID: 0000-0002-2648-167X

Jurado

Solis Fonseca, Justo Pastor

Flores Masias, Edward José

Peña Carrillo, César Serapio

Lima - Perú

2026



SISTEMA AUTOMÁTIZADO PARA MEJORAR LA CALIDAD DE NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES EN UNA FÁBRICA QUÍMICA, LIMA 2025.

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %

INDICE DE SIMILITUD

7 %

FUENTES DE INTERNET

1 %

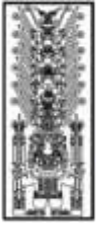
PUBLICACIONES

4 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	es.wikipedia.org Fuente de Internet	1 %
2	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1 %
3	dl.dropboxusercontent.com Fuente de Internet	1 %
4	legrand.com.pe Fuente de Internet	1 %
5	cl.rsdelivers.com Fuente de Internet	<1 %
6	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
7	pishrosanatnovin.com Fuente de Internet	<1 %
8	repositorios.unimet.edu.ve Fuente de Internet	<1 %



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA

**SISTEMA AUTOMÁTIZADO PARA MEJORAR LA CALIDAD DE NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES
EN UNA FÁBRICA QUÍMICA, LIMA 2025.**

Línea de investigación

Sistemas eléctricos y electrónicos

Trabajo de suficiencia profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico

Autor:

Saenz Vera, Marco Antonio Samir

Asesor:

Casas Miranda, Roberto Jose Maria

ORCID: 0000-0002-2648-167X

Jurado:

Solis Fonseca, Justo Pastor

Flores Masias, Edward José

Peña Carrillo, César Serapio

Lima – Perú

2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, quienes siempre confiaron en mí y me apoyaron en cada etapa de mi vida, brindándome el soporte emocional necesario para continuar en el camino de la ciencia y e innovación tecnológica, incluso en los momentos de mayor reto y exigencia.

Marco Antonio S.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres, quienes fueron los pilares fundamentales en mi formación personal y profesional, brindándome siempre apoyo y motivación. Extiendo también mi agradecimiento a los profesores de la universidad, quienes transmitieron su conocimiento y experiencia en el ámbito biomédico, contribuyendo significativamente en mi desarrollo académico. Finalmente, agradezco a mis compañeros de trabajo, cuyo apoyo y colaboración resultaron esenciales en mi aprendizaje y en la aplicación práctica de mis conocimientos en el campo

Marco Antonio S.

ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Trayectoria del autor	3
<i>1.1.1 Proyectos participados</i>	5
<i>1.1.2 Capacitación profesional</i>	7
1.2. Descripción de la empresa	10
<i>1.2.1 Misión</i>	11
<i>1.2.2 Visión:</i>	12
1.3 Organigrama de empresa:	12
1.4 Áreas y funciones desempeñadas.....	13
<i>1.4.1 Ingeniero de proyectos</i>	14
II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA	15
2.1. Planteamiento del problema.....	18
<i>2.1.1 Determinación del problema</i>	18
<i>2.1.2 Problema principal</i>	18
<i>2.1.3 Problema secundarios</i>	20
<i>2.1.4 Objetivo principal</i>	20
<i>2.1.5 Objetivo secundarios</i>	20
<i>2.1.6 Justificación</i>	20
<i>2.1.7 Alcances y limitaciones</i>	21
2.2 Marco teórico	23

2.2.1. Antecedentes bibliográficos	23
2.2.2. Bases teóricas.....	23
2.2.3 Definición de términos básicos	34
2.3 Propuesta de solución:	34
2.3.1 Descripción de la propuesta.....	35
2.3.2 Proceso de implementación.....	36
2.3.3 Desarrollo de la solución	41
2.3.4 Factibilidad técnica-operativa	42
2.4.4 Tabla de inversión	61
2.4 Análisis de resultados.....	63
2.4.1 Costos del Proyecto.....	63
2.4.2 Beneficios del Proyecto	63
2.4.3 Cálculo del Retorno de Inversión (ROI)	65
2.4.4 Cálculo del Valor Actual Neto (VAN).....	66
2.4.5 Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR).....	67
2.4.6 Análisis cualitativo.....	68
III. APORTES MÁS DESTACABLES DE LA EMPRESA / INSTITUCIÓN.....	70
IV. CONCLUSIONES	72
V. RECOMENDACIONES	74
VI. REFERENCIAS	75
VII. ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación Sielec Industrial	11
Figura 2: Organigrama Sielec Industrial E.I.R.L.....	13
Figura 3: Pantalla HMI de proceso	17
Figura 4: Sensor de nivel	27
Figura 5: Tablero eléctrico	28
Figura 6: PLC S7-1200.....	29
Figura 7: HMI KTP700 Basic.....	31
Figura 8: Actuador eléctrico.....	32
Figura 9: Fusible de Vidrio 5x20	33
Figura 10: Transmisor SC45000 marca HACH.....	35
Figura 11: Área designada para el proyecto.....	37
Figura 12: Montaje y conexionado de equipos eléctricos.....	38
Figura 13: Instalación de controlador de PH	38
Figura 14: Cable de red y fuerza en sala eléctrica	39
Figura 15: Instalación de sensor de nivel y PH.....	40
Figura 16: Sistema de neutralización de efluentes instalado	40
Figura 17: Señales de PLC.....	44
Figura 18: S7-1200 y módulos de expansión.....	47
Figura 19: Vista exterior de ingeniería de tablero de control.....	49
Figura 20: Vista interior de ingeniería de tablero de control plano	50
Figura 21: Vista interior de tablero de control en planta.....	51

Figura 22: Vista exterior de tablero de control en planta.....	52
Figura 23: Protocolo de pruebas SAT de tablero de control	54
Figura 24: Protocolo de pruebas SAT de PLC S7-1200	55
Figura 25: Protocolo de pruebas SAT de PLC-DI	55
Figura 26: Protocolo de pruebas SAT de PLC-DO	56
Figura 27: Protocolo de pruebas SAT de modulo A1-DI.....	56
Figura 28: Protocolo de pruebas SAT de modulo A1-DO	57
Figura 29: Protocolo de pruebas SAT de modulo A2-AI.....	57
Figura 30: Protocolo de pruebas SAT de modulo A2-AO	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cursos de capacitación.....	9
Tabla 2: Maestría.....	10
Tabla 3: Tabla de actuadores y sensores	16
Tabla 4: Agentes de proceso de neutralización	22
Tabla 5: Capacitación de personal operario	22
Tabla 6: Equipos eléctricos de tablero	46
Tabla 7: Consumibles de tablero de control.....	49
Tabla 8: Comparativo de ahorro de insumos	59
Tabla 9: Comparativo de antes y después del sistema de neutralización.....	59
Tabla 10: Propuesta técnico - comercial	61
Tabla 11: Retorno de Inversión.....	66

Resumen

El desarrollo del sistema para la neutralización de efluentes en una fábrica de química se fundamenta en encontrar la optimización del tratamiento de efluentes generados por los procesos productivos de la fábrica en Lima, Perú, 2025. Para ello se implementará el sistema como un medio para cumplir que los efluentes generados satisfagan las normas ambientales y reglamentaciones vigentes, implementando un sistema automático de control y dosificación de productos reactivos de neutralización. El principal objetivo del proyecto es mejorar la eficiencia del proceso de neutralización, ajustando el pH en cada paso del proceso y minimizando la intervención manual; además de ayudar a minimizar los errores operativos, ayudar a la preservación del medioambiente y tener un entorno seguro para los operarios. El sistema automatizado de tratamiento de efluentes incluye la implementación de controladores que supervisan los parámetros críticos del proceso, como el pH, caudal y nivel de los tanques de tratamiento. Además, coordina el abrir de las válvulas, la dosificación de los reactivos y la activación de las bombas de agitación. Con ello, el sistema obtiene el flujo de trabajo más estable y confiable; y tiene la certeza de que cada efluente que es vertido cumple con los mínimos estándares ambientales, reduciendo el impacto en cuerpos receptores. Asimismo, se disminuyen los riesgos por la manipulación, mejorando la seguridad en el área. En el aspecto económico, el proyecto es viable, ya que el equilibrio entre la inversión y los beneficios generados refleja un impacto positivo en la sostenibilidad y rentabilidad de la operación.

Palabras clave: automatización, consumo, neutralización, controladores.

Abstract

The development of a wastewater neutralization system for a chemical plant is based on optimizing the treatment of effluents generated by the plant's production processes in Lima, Peru, by 2025. To achieve this, the system will be implemented to ensure that the generated effluents meet current environmental standards and regulations. This will be accomplished through the implementation of an automated control and dosing system for neutralization reagents. The project's main objective is to improve the efficiency of the neutralization process by adjusting the pH at each step and minimizing manual intervention. Furthermore, it aims to minimize operational errors, contribute to environmental preservation, and provide a safe working environment for operators. The automated wastewater treatment system includes controllers that monitor critical process parameters, such as pH, flow rate, and treatment tank levels. It also coordinates valve opening, reagent dosing, and the activation of agitation pumps. This results in a more stable and reliable workflow. And it ensures that every effluent discharged meets minimum environmental standards, reducing the impact on receiving water bodies. Likewise, handling risks are reduced, improving safety in the area. Economically, the project is viable, as the balance between investment and generated benefits reflects a positive impact on the sustainability and profitability of the operation.

Keywords: automation, consumption, neutralization, controllers.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo del proyecto “Sistema Automático para la Neutralización de Efluentes en una Fábrica Química, Lima – 2025” tiene como objetivo principal optimizar el tratamiento de aguas residuales generadas en los procesos productivos de la planta. Su finalidad es garantizar que los efluentes cumplan con los parámetros ambientales exigidos por las normativas vigentes, a través de la implementación de un sistema automatizado de control, dosificación y monitoreo de reactivos neutralizantes.

El sistema se estructura en tres fases. La primera de ellas, correspondiente a la recepción y acondicionamiento de efluentes, incluye la producción de aguas residuales con un elevado nivel de alcalinidad. Estas aguas son generadas como producto de la producción de soda cáustica en condiciones de funcionamiento normal de las instalaciones. Los efluentes se transportan primero a través de un canal de concreto de dimensiones 20 x 40 cm (ancho x alto), diseñado para la conducción de efluentes de mucho grado de corrosividad y grandes caudales, llevando el efluente de forma controlada y continua hacia el tanque de almacenamiento del tratamiento, constituyendo un canal de recolección y transporte de efluentes.

Como hemos mencionado al modelar la dinámica de fluidos para este sistema, se parte de la idea de que el efluente se comporta como un fluido (o líquido) que no se puede comprimir. Por eso, se considera que su densidad (ρ) se mantiene constante. De este modo, esta idealización permite hacer la conexión directa entre la masa y el volumen del fluido. (Seborg et al., 2020, p. 25)

La segunda fase se refiere a la neutralización en el tanque de proceso; las aguas residuales recogidas del tanque de almacenamiento se neutralizan de forma automática a través del sistema que utiliza un sensor de nivel ultrasónico LU240 para controlar el nivel

del tanque y un sensor de pH que lleva a cabo la dosificación según la medida de pH a través de una bomba dosificadora hasta alcanzar los valores de neutralidad que se precisan. Para garantizar una correcta homogeneización de la mezcla, se emplea una válvula de tres vías en modo recirculación, complementada por una válvula de dos vías que acciona una bomba de diafragma (pulmón), optimizando así la circulación interna del agua y asegurando la eficiencia del proceso de tratamiento.

La arquitectura fundamental del control por retroalimentación, que se distingue por la medición continua de la variable controlada para modular sistemáticamente la variable manipulada, ofrece la ventaja decisiva de una robustez inherente, permitiendo que la acción correctiva se inicie y ejecute basándose únicamente en la desviación del setpoint, independientemente del origen, magnitud o naturaleza de la perturbación que la causó, como una fluctuación en la recirculación. (Seborg et al., 2020, p. 5)

En tercer lugar, la última fase es la descarga controlada. Luego de haber alcanzado una adecuada neutralización de los efluentes, el propio sistema procederá a llevar a cabo la descarga controlada. Para ello, la bomba de diafragma sigue funcionando para mantener la circulación del agua, mientras que la válvula de tres vías cambia al modo descarga permitiendo el vaciado de los efluentes ya tratados hacia el sistema de exposición final de los efluentes, el cual, en este caso, se devuelve al mar cumpliendo las directrices del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y la normativa vigente sobre vertimientos.

El proceso cuenta con un seguimiento constante de las variables importantes, lo que garantiza que cada liberación cumpla con los parámetros ambientales requeridos, reduciendo así el riesgo de efectos negativos en los cuerpos de agua. Este esquema no solo garantiza la sostenibilidad medioambiental del funcionamiento, sino que traslada la

manipulación directa de sustancias corrosivas a un estado puramente mecánico, por lo cual se incrementa considerablemente la seguridad del área de tratamiento.

Desde la óptica económica, la aplicación del sistema automatizado se visualiza como favorable para equilibrar la inversión inicial en infraestructura, con beneficios de gran envergadura: el cumplimiento de la normativa, la disminución de las sanciones y el ajuste de la ingesta de reactivos químicos. De forma conjunta, estas acciones mejoran la viabilidad y la sostenibilidad del proceso en el mediano y largo plazo, firmando la planta como un proceso eficiente y sostenible, seguro y respetuoso con el medioambiente.

Resulta imperativo diferenciar conceptual y normativamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), diseñados para prescribir los objetivos de calidad que debe mantener el cuerpo receptor como el mar, con el fin de salvaguardar la integridad de la biota acuática, de los Límites Máximos Permisibles (LMP), los cuales definen rigurosamente las concentraciones máximas de contaminantes toleradas en el efluente industrial, constituyendo la obligación legal de control en el punto de descarga antes de su vertimiento al ecosistema. (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM)

1.1. Trayectoria del autor

El autor obtuvo el grado de Bachiller en Ingeniería Mecatrónica el 26 de octubre de 2021 por la Facultad de Ingeniería Electrónica e Informática de la Universidad Nacional Federico Villareal. Durante la época de su formación académica hizo sus prácticas preprofesionales en la Unidad de Investigación de la facultad, sumando un total de 644 horas. Participó en proyectos de I+D, con elaboración de documentación técnica y apoyo en el desarrollo de prototipos tecnológicos.

En julio del año 2023 adquirió el grado de maestría especializada en Gestión de Proyectos Hospitalarios, que mejora considerablemente su formación como ingeniero

mecatrónico. Dicha experiencia le permitió aprender a gestionar la planificación, la ejecución y el control de proyectos, y le facultó con competencias de gestión estratégica, liderazgo técnico y toma de decisiones. El aprovechamiento de los conocimientos de ingeniería con los enfoques de gestión son claves para su desarrollo, puesto que le ha permitido ingresar al mundo del planeamiento de proyectos complejos. Además, esta formación le permitió tener una visión más amplia de la gestión organizacional, llevándole a conocer mejor los procesos administrativos, normativos y operativos que operan en la resolución de soluciones tecnológicas aplicadas a los entornos clínicos.

También completó su perfil técnico con certificaciones y cursos orientados a la convergencia en automatización, redes y protección de equipos sensibles, entre ellos: Automatización industrial con PLC, redes industriales-PLC, redes inteligentes y sistemas domóticos para viviendas y edificios y protección en instalaciones de electrónica sensible en equipos industriales y telecomunicaciones. Al mismo tiempo, cursó formación complementaria en Business Intelligence, capacitación especializada en servicio técnico de mantenimiento y reparación de equipos, y redes y conectividad, con el fin de llevar enfoques analíticos y la gestión de datos a proyectos técnicos.

La experiencia profesional del autor se desarrolló en empresas de los sectores electrónicos, de automatización y empresas de equipos biomédicos, desempeñándose en roles técnicos y de campo. Entre las organizaciones en las que ha trabajado se encuentran: SIELEC INDUSTRIAL E.I.R.L, Innovality S.A.C. y Tecnología en Imágenes Médicas – Perú S.A. Durante su trayectoria participó en tareas de selección y especificación de equipos eléctricos, diseño de planos electromecánicos 2D/3D, fabricación y montaje de tableros eléctricos, puesta en marcha y supervisión de instalaciones, así como en la

elaboración de informes técnicos y seguimiento de avance en campo lo cual me llevo a ocupar a puesto de Ingeniero de Proyectos.

Aplicó estos conocimientos en proyectos que requieren instrumentación de campo (medidores de flujo, nivel, presión y temperatura), validación de pruebas y cumplimiento de estándares de calidad y seguridad. El perfil del autor combina capacidad técnica para resolver problemas en obra con experiencia en coordinación y gestión de actividades con contratistas y proveedores, enfocándome en la entrega de soluciones fiables y conformes a especificaciones técnicas.

En conjunto, su formación práctica y la experiencia en distintos entornos industriales y biomédicos le permiten aportar una visión integral en proyectos de automatización, mantenimiento e implementación de sistemas eléctricos y de control, siempre orientado a la eficiencia operativa, seguridad y cumplimiento normativo.

1.1.1 Proyectos participados

A continuación, presento algunos de los proyectos más relevantes en los que el autor ha participado, aplicando conocimientos de gestión, control y desarrollo:

- NESTLÉ – Automatización del sistema de suministro de agua: Ejecución de ingeniería, selección de equipos de control y diseño de planos electromecánicos, junto con la administración del presupuesto y cronograma. Se alcanzó una exactitud del 97% en relación con el plazo establecido.

- ALICORP – Automatización de faja transportadora: Desarrollo de ingeniería, selección de equipos de control, diseño de la faja y gestión integral de presupuesto y cronograma. El proyecto fue entregado con un 100% de cumplimiento del tiempo programado.

- FAMESA EXPLOSIVOS – Planta Chancay, Automatización de Línea L9: Desarrollo de ingeniería, elaboración de Tablas de carga y planos electromecánicos, además de la gestión de presupuesto y cronograma. El proyecto se culminó con una precisión del 92% respecto al tiempo planificado.

- HOSPITAL NEGREIROS – Gestión de equipos de Diagnostico de Imagen: Planificación y ejecución de un plan de mantenimiento anual, inspección mecánico y electrónico, acompañados de pruebas de aceptación en sitio (SAT). Con implementación se logró aumentar mucho la vida útil de los equipos, disminuir la frecuencia de fallas operativas y mejorar la optimización del uso de recursos institucionales.

- HOSPITAL SABOGAL – Gestión de monitores de soporte y seguimiento: Planificación y puesta en marcha de un plan de mantenimiento anual e inspección mecánica y electrónica, junto con pruebas de aceptación en el lugar (SAT). Después de la implementación, nos permitimos conseguir una vida útil del equipo notablemente prolongada, una reducción de la frecuencia de las fallas operativas y una optimización de los recursos de la institución.

1.1.2 Capacitación profesional

El autor, en virtud de su experiencia en el ámbito de la automatización y del biomédico, ha llegado a la conclusión de que la formación permanente para `actualizarse y ser competitivo en un entorno cambiante de la tecnología` es uno de los pilares básicos de la carrera. Estas formaciones le han permitido fortalecer sus competencias técnicas y de gestión para ampliar el rendimiento en proyectos de automatización industrial y de elaboración de soluciones para hospitales o entornos de alta precisión.

El experto en cuestión solo conocía un circuito de fibra óptica y la aplicación de este en centros de procesamiento de datos, sensores de ese tipo, seguridad eléctrica en

obras de construcción, redes inteligentes y sistemas domóticos para viviendas y edificios, y en la protección de instalaciones de electrónica sensible en equipos industriales y de telecomunicaciones; este tipo de certificados le han permitido integrar el conocimiento de tecnologías de última generación aplicadas a sistemas complejos, buscando garantizar la fiabilidad y la eficiencia.

Inversamente, su formación ha sido complementada con cursos en Business Intelligence, interconexión y conectividad, programación de PLC con Siemens y formación en el servicio técnico de mantenimiento y reparación de equipos biomédicos. Estas vivencias le brindaron herramientas prácticas para optimizar procesos, mejorar la toma de decisiones basada en datos y garantizar la continuidad operativa de sistemas críticos.

En conjunto, esta combinación de experiencia práctica y formación especializada le permitieron desarrollar un perfil versátil y orientado a resultados, capaz de abordar proyectos interdisciplinarios que exigen tanto conocimiento técnico profundo como visión estratégica.

A continuación, se detallan las capacitaciones profesionales del autor tal como se muestra en las siguientes Tablas 1 y 2:

Tabla 1

Cursos de capacitación

Cursos				
Ítem	Institución	Descripción	Fecha	Horas
1	UNFV	Redes y conectividad	May-19	30
2	UNFV	Capacitación especializada en servicio técnico de mantenimiento y reparación del equipo	Oct-19	12
3	UNFV	Business intelligence	Nov-19	32
4	UNI	Automatización PLC	Jul-20	30
5	UNI	REDES INDUSTRIALES - PLC	Sept-20	30

Nota. Todos los cursos de capacitación fueron realizados desde la etapa universitaria hasta la actualidad, ordenados cronológicamente mostrando las diferentes áreas de preparación.

Tabla 2

Maestría

Maestría				
Ítem	Institución	Descripción	Fecha inicio	Fecha fin
1	UNAC	Maestría en ciencias de la electrónica con mención en ingeniería biomédica	02-22	Jul-23

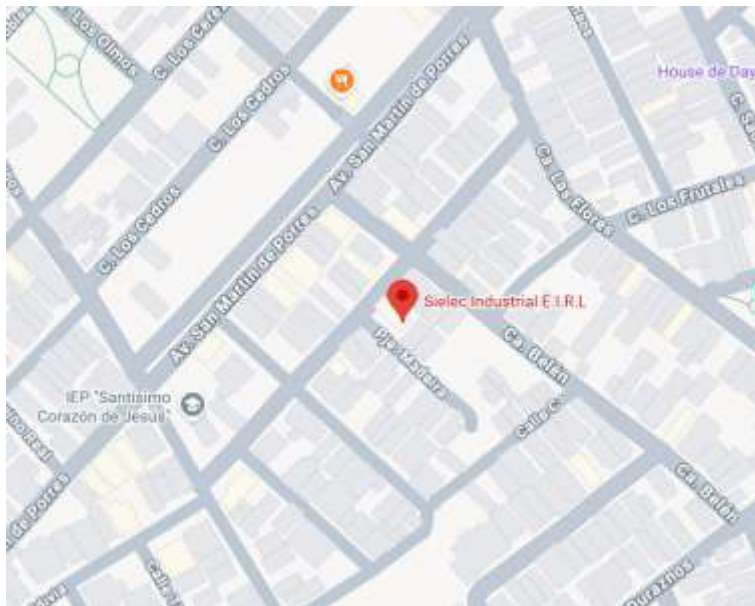
Nota. La maestría viene siendo un excelente apoyo de conocimientos en el ámbito laboral en el que el autor se viene desempeñando, mejorando su nivel de gestión en los diferentes proyectos desarrollados.

1.2. Descripción de la empresa

SIELEC INDUSTRIAL E.I.R.L. se constituyó como empresa en el año 2013 e inició formalmente sus operaciones el mismo año. La empresa está ubicada en el distrito de Puente Piedra, Lima, Perú, donde ha desarrollado un sólido portafolio de servicios especializados en sistemas electromecánicos, fabricación de equipos de medición, prueba y control, así como en proyectos eléctricos e industriales.

Figura 1

Ubicación Sielec Industrial



Nota. Figura 1 extraída de Google photos. (s.f.). [Ubicación Sielec Electric]. Recuperado el 1 de setiembre, 2024, de <https://www.google.com/maps>

Los servicios que ofrece Sielec Industrial E.I.R.L. son variados y altamente especializados. Entre otros servicios, ofrece ingeniería eléctrica, el diseño y la fabricación de tableros eléctricos, además de la instalación de sistemas de puesta a tierra, el mantenimiento industrial y la ejecución de proyectos eléctricos como baja, media y alta tensión. De entre todos ellos resaltan el diseño y la instalación de subestaciones eléctricas, la fabricación y mantenimiento de tableros eléctricos a medida, la realización completa de instalaciones eléctricas industriales cumpliendo los niveles de seguridad, eficiencia y normativa vigente.

Además, la empresa tiene una larga trayectoria en hacer proyectos de automatización eléctrica y de control, utilizando soluciones innovadoras, integrando equipos de última tecnología. Esta capacidad técnica le da la capacidad de dar solución a sectores industriales clave, garantizando así la continuidad de la operación y la optimización de recursos. También, Sielec Industrial dispone de un equipo de

profesionales altamente calificados que desarrollan cada proyecto con enfoque en calidad, seguridad y sostenibilidad.

Sielec Industrial ha estado presente desde sus inicios en sectores estratégicos como los de minería, de industria química, de explosivos, de manufactura y de energía, ofreciendo soluciones fiables en entornos complejos. Tres son las características que definen su porfolio de servicios: flexibilidad para adaptarse a las especificidades del cliente, con lo que garantizan eficacia y capacidad de aportar un alto valor añadido.

Esta buena base de experiencia y la confianza de sus clientes hacen de Sielec Industrial E.I.R.L. un referente en ingeniería eléctrica aplicada, consolidándose en la integración de servicios de instalación, mantenimiento automatizado y cumplidores de las exigencias de calidad y seguridad en las instalaciones.

1.2.1 Misión

Brindar prestación del servicio de capacitación, mantenimiento y ejecución de proyectos en las plantas industriales que satisfagan las necesidades de acuerdo con las exigencias tecnológicas, calidad, seguridad y medio ambiente, ayudando de esta forma al desarrollo del País.

1.2.2 Visión:

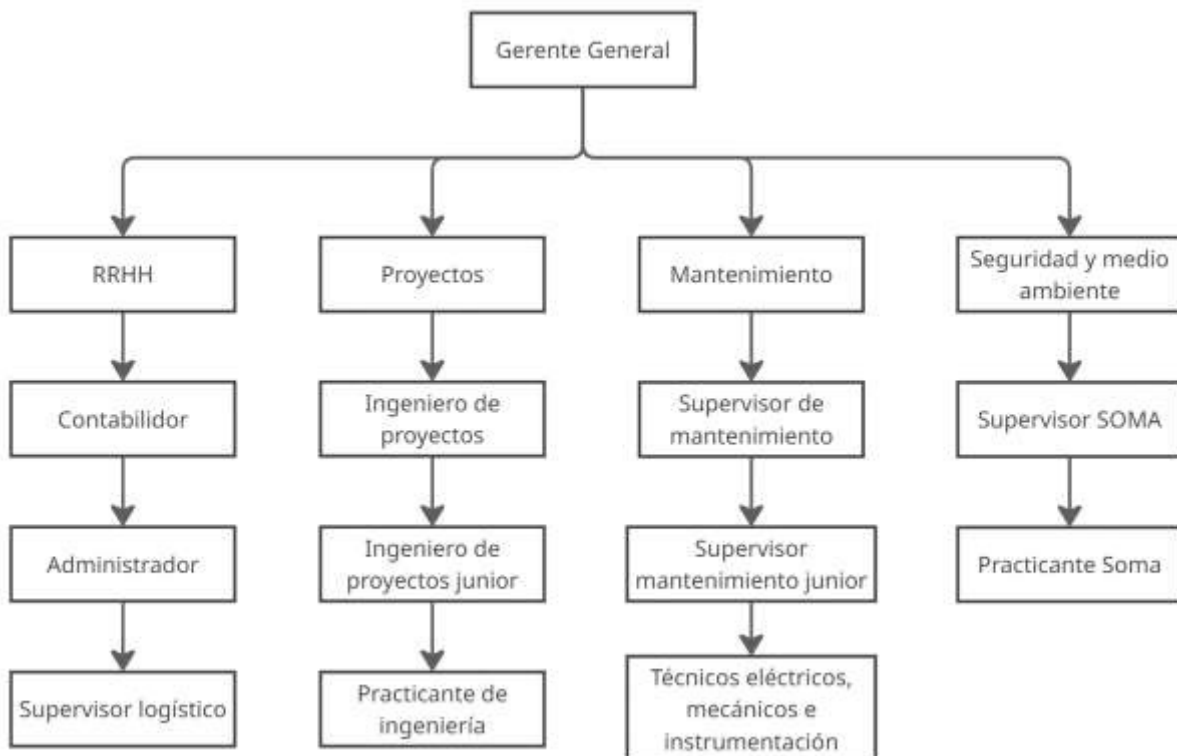
Consolidarnos como el principal proveedor de la industria y el comercio del país, con un crecimiento sostenido, ofreciendo un excelente servicio, ya que estamos comprometidos con la calidad, implementación, innovación y conocemos perfectamente las necesidades de nuestro mercado.

1.3 Organigrama de empresa:

A continuación, la representación del organigrama funcional – operativo de la empresa:

Figura 2

Organigrama Sielec Industrial E.I.R.L.



Nota. El organigrama mostrado en la figura 2 refleja la estructura organizacional de Sielec Industrial E.I.R.L. Está conformado por cuatro niveles jerárquicos, los cuales se subdividen en áreas específicas según las funciones y responsabilidades que desempeña cada una dentro de la empresa.

1.4 Áreas y funciones desempeñadas

A continuación, se describirán las funciones desempeñadas por el autor a lo largo de su trayectoria en la empresa “Sielec Industrial E.I.R.L.”.

1.4.1 Ingeniero de proyectos

- Gestión de proyectos eléctricos y de automatización, aplicando buenas prácticas de ingeniería y metodologías basadas en el PMI para garantizar el cumplimiento de plazos, costos y calidad.
- Desarrollo de ingeniería básica y de detalle para proyectos de electricidad, instrumentación y automatización, especialmente orientados a los sectores minero y alimentario.
- Diseño e ingeniería electromecánica, incluyendo tableros eléctricos de control y fuerza, sistemas SCADA, salas eléctricas, tableros para sistemas de bombeo, diagramas de lazo y planos P&ID.
- Planificación, control y coordinación de proyectos, abarcando la evaluación técnica, elaboración de reportes, control de avances y la gestión de adquisiciones de insumos y activos necesarios para la ejecución.
- Diseño y modelado de planos con software especializado como SolidWorks 2024, Eplan Electric P8, AutoCAD 2024, MS Project 2019, asegurando precisión y estandarización en la documentación técnica.
- Supervisión técnica en campo, realizando pruebas FAT y SAT de tableros eléctricos de control y fuerza, además de coordinar el precomisionamiento, comisionamiento y puesta en marcha de los sistemas.
- Optimización de procesos electromecánicos y automatizados, asegurando la confiabilidad operativa, eficiencia energética y cumplimiento de normativas nacionales e internacionales de seguridad.

II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

El presente informe aborda los aspectos técnicos y operativos del proyecto denominado “Sistema Automatizado para mejorar la calidad de neutralización de Efluentes en una Fábrica Química”, ejecutado en Lima, Perú – 2025.

La neutralización del efluente industrial se define como uno de los procedimientos más importantes en el tratamiento de las aguas residuales, que lleva en su seno el establecimiento de un sistema de control automatizado que permita manejar señales digitales y analógicas, donde las variables monitorizadas y que se ajustan van a ser nivel y pH. Este control va a permitir un tratamiento de las aguas residuales que propenda a un menor riesgo de incumplir la normativa de las descargas de las aguas residuales a los cuerpos de agua natural. Esto cumplirá con la normativa establecida de los organismos del Estado, como por ejemplo el OEFA y otros órganos de control.

La ejecución del proyecto comenzó con un proceso de levantamiento de la información técnico operativa en campo, mediante la evaluación de la situación actual de los procesos de producción, así como las necesidades concretas de la planta química. Cuando se terminó de evaluar lo anterior, se elaboró una propuesta técnico-comercial exhaustiva, alineada a las expectativas y finalidades del cliente y orientada a la sostenibilidad ambiental. Con la aceptación del proyecto se llevó a cabo un proceso de planificación muy ordenado y sometido a control respecto a la duración de los plazos, costes y objetivos técnicos.

La ingeniería de detalle fue clave para el éxito del sistema, en la que se eligió el equipo de control de alta fiabilidad, priorizando los equipos de Siemens, por el prestigio que tenía en el medio y su robustez en aplicaciones industriales severas. La solución incluye un tablero de control y fuerza, sensores de nivel y pH, bombas de dosificación,

válvulas automáticas y de recirculación, todos ellos integrados en una arquitectura de control centralizada.

Tal y como establece el administrador de los ANTM, este método resulta mucho más eficiente, seguro y sostenible, y optimiza el consumo de reactivos químicos gracias a esta implementación, reduciendo la intervención manual y asegurando la calidad ambiental de los efluentes antes de su disposición final.

Tabla 3

Tabla de actuadores y sensores

Actuadores y sensores						
Ítem	Marca	Código	Descripción	Función	Cantidad	Unidad
1	Bray	7000/8000	Válvula de bola de 2 vías de 3/4" inoxidable	Válvula de aire	1	und.
2	Hayward	3/80	Válvula de bola de 3 vías de 3" de PVC	Válvula rec. / des.	1	und.
3	Hayward	ECP5	Actuador eléctrico giratorio de 24 VDC	Actuador eléctrico	2	und.
4	HACH	SC45000	Control digital de pH	Controlador de pH	1	und.
5	HACH	6028P0	Sensor de pH diferencial de 1.5", 5 hilos, de 3m	Sensor de pH	1	und.
6	Siemens	LU240	Sensor de nivel ultrasónico	Sensor de nivel	1	und.
7	ProMinent	GXLa	Bomba dosificadora con solenoide	Bomba de ácido	1	und.
8	Bozza	PP-3/4-V	Bomba de Diafragma Plástico 3/4" Viton	Bomba neumática	1	und.

Nota. En el Tabla 3 se representan los equipos que actualmente se encuentran instalados en el área de tratamiento y neutralización de efluentes de la fábrica de química.

Los equipos auxiliares de control se realizaron bajo criterios de fiabilidad, compatibilidad y capacidad de respuesta ante las exigencias que suponen las exigencias del proceso de neutralización de efluentes. Esta etapa incluyó el diseño electromecánico

de los cuadros de control, así como la integración del sistema automatizado en la infraestructura existente de la planta.

La programación de los controladores tuvo en cuenta variables críticas del proceso, por ejemplo, el caudal de entrada, la concentración de las sustancias químicas neutralizantes, el pH de las aguas residuales y el nivel de los tanques.

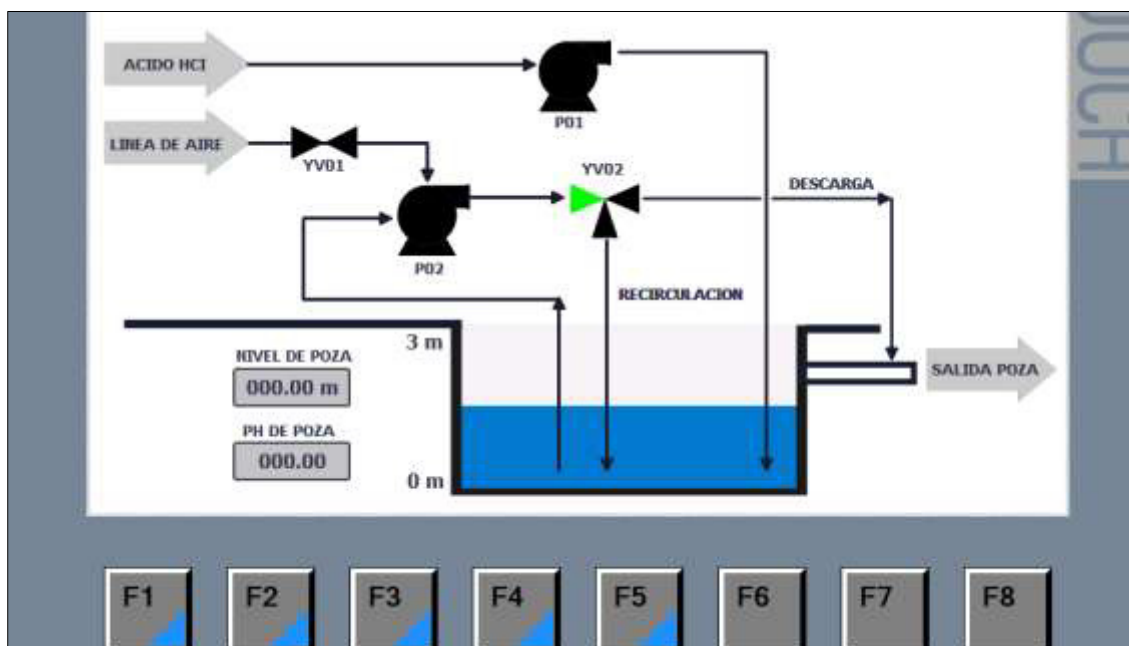
Esto permitió la creación de una regulación exacta que asegura el cumplimiento de los parámetros medioambientales requeridos por la normativa y la estabilidad del sistema.

Después, se hicieron pruebas de rendimiento bajo las condiciones normales de operación para verificar la adecuada interacción entre válvulas, sensores y bombas, así como la correcta regulación automática del pH en distintas circunstancias operativas.

Finalmente, las pruebas confirmaron el correcto funcionamiento del sistema y su integración en el tratamiento de efluentes. A continuación, se presenta el diagrama de operación en la interfaz HMI.

Figura 3

Pantalla HMI de proceso



Nota. Se presenta la pantalla de HMI donde se visualiza en tiempo real el proceso de neutralización de efluentes, integrando los principales sensores y actuadores del sistema. En esta interfaz se muestran de manera clara y organizada los valores de pH y nivel, así como el estado de las bombas de dosificación y las válvulas de control.

Por último, el proyecto concluyó con la implementación del sistema, significando, por tanto, un incremento considerable en la eficiencia operativa del proceso. Los tiempos de ejecución en la etapa de la neutralización disminuyeron notablemente y redujeron las intervenciones manuales, lo que también aumentó la precisión y redujo los errores asociados al manejo de insumos. El sistema automatizado permitió, además, una mayor flexibilidad para modificar los parámetros operativos según las exigencias de la producción, optimizando así los recursos empleados y logrando una mejora en la calidad final del producto.

2.1. Planteamiento del problema

2.1.1 Determinación del problema

La industria química resulta una de las más relevantes en la producción actual y, a su vez, se enfrenta a un reto crucial y permanente simultáneamente, que se refiere a la gestión de sus efluentes, residuos líquidos caracterizados, en la gran mayoría de los casos, por un alto grado de alcalinidad o acidez, que no pueden ser evacuados al medio ambiente si no es mediante un tratamiento anterior debido a su carácter contaminante y a la estricta aplicación de la normatividad ambiental, como son los Límites Máximos Permitidos. Por este motivo, la neutralización se convierte en una operación esencial y no negociable en cualquier fábrica química, siendo su aplicación a nivel industrial proporcionalmente efectiva a la precisión del control, y la dependencia de un sistema manual genera una

problemática muy difundida que impacta también en la calidad del propio tratamiento de efluentes.

Esta problemática general se presenta de una forma marcada en la fábrica química situada en la ciudad de Lima, que es en concreto el objeto del presente estudio. En esta planta, dedicada a la producción de soda cáustica, el proceso de neutralización de efluentes alcalinos se gestiona mediante un método enteramente manual y rudimentario. El procedimiento actual sería la dosificación de ácido desde los contenedores IBC donde se abre una válvula inferior y el operario realiza muestreos periódicos con probetas para verificar el pH. Este método presenta deficiencias críticas, ya que la precisión del proceso recae exclusivamente en el operario, el muestreo discreto impide una dosificación exacta y la dificultad para determinar el cierre de las válvulas genera incidentes recurrentes de sobre dosificación y derrames.

Las limitaciones del sistema manual generan un conjunto de efectos negativos las limitaciones del sistema manual generan un conjunto de efectos negativos que impactan directo/a la competitividad y sostenibilidad de la planta. Principalmente, la variabilidad del método impide garantizar un control de pH estable y preciso, resultando en una calidad de neutralización del efluente no uniforme y genera un riesgo de un posible incumplimiento normativo. Asimismo, la sobre dosificación de ácido y el excesivo tiempo de intervención operativa representan un consumo de recursos elevado e innecesario, tanto de reactivos químicos como de horas-hombre. Finalmente, los tiempos de ejecución inconsistentes y los riesgos de seguridad comprometen la eficiencia operativa general del proceso. Si esta operación no se moderniza, la planta seguirá expuesta a riesgos regulatorios y altos costos, justificando así la necesidad de implementar un sistema automatizado que mejore la calidad de la neutralización, el control del pH, el uso de recursos y la eficiencia en esta fábrica.

2.1.2 Problema principal

P.G: ¿Cómo un sistema automatizado mejora la calidad de neutralización de efluentes en una fábrica química, Lima 2025?

2.1.3 Problema secundarios

P.S.1: ¿De qué manera un sistema automatizado mejora el control de PH en la neutralización de efluentes en una fábrica química, Lima 2025?

P.S.2: ¿De qué manera un sistema automatizado reduce el consumo de recursos en la neutralización de efluentes en una fábrica química, Lima 2025?

P.S.3: ¿De qué manera un sistema automatizado garantiza la eficiencia operativa en la neutralización eficiente de efluentes en una fábrica química, Lima 2025?

2.1.4 Objetivo principal

O.G: Diseñar e implementar un sistema automatizado para mejorar la calidad de neutralización de efluentes en una fábrica química, Lima 2025.

2.1.5 Objetivo secundarios

OS1: Mejorar el control de PH en la neutralización de efluentes mediante un sistema automatizado en una fábrica química, Lima 2025.

OS2: Reducir el consumo de recursos en la neutralización de efluentes mediante un sistema automatizado en una fábrica química, Lima 2025.

OS3: Garantizar la eficiencia operativa en la neutralización de efluentes mediante un sistema automatizado en una fábrica química, Lima 2025.

2.1.6 Justificación

La automatización del proceso de neutralización de efluentes alcalinos en la planta de soda cáustica ha permitido reducir en un 56% los tiempos de ejecución, en comparación con las operaciones manuales previamente realizadas por los operarios. Esto se logró gracias a la implementación del PLC S7-1200, que controla de manera automática cada etapa del proceso, optimizando la secuencia de operación y garantizando mayor estabilidad.

Asimismo, la implementación del sistema automatizado ha permitido disminuir en un 2.4% el consumo de ácidos, ya que en el método manual la dosificación de ácido dependía de la experiencia de cada operario, lo que ocasionaba pérdidas e ineficiencias. Con la nueva configuración, el sistema asegura un control preciso mediante el sensor de pH HACH SC45000 y el sensor de nivel ultrasónico LU240, evitando sobredosificaciones y derrames en los tanques de tratamiento.

En conclusión, la automatización del proceso de neutralización no solo incrementa la eficiencia y confiabilidad operativa, sino que también contribuye directamente a la reducción de costos de producción, mejora la seguridad del personal al minimizar la manipulación manual de sustancias corrosivas y garantiza el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos por la normativa vigente.

2.1.7 Alcances y limitaciones

La automatización del proceso de neutralización de efluentes en una planta química está diseñada para operar bajo un sistema Batch, considerando el tratamiento de 6 m³ de aguas residuales altamente alcalinas en un tiempo de ciclo de 21 minutos. En el siguiente Tabla se presenta el detalle del proceso Batch de neutralización de efluentes.

Tabla 4*Agentes de proceso de neutralización*

Insumos	Cantidad	Unidad
Efluente de planta de soda	6000	Litros
Acido	1000	Litros

Nota. Se muestran los agentes en el proceso de neutralización de efluentes de una planta de soda caustica.

Durante la ejecución del proyecto de automatización del sistema de neutralización de efluentes, uno de los principales retos fue la disponibilidad de tiempo para la implementación, ya que la planta productora de soda cáustica debía mantener su continuidad operativa y cumplir con los volúmenes de producción comprometidos. Ante ello, se gestionó una ventana de trabajo de 5 días consecutivos, en la cual se realizó el montaje del tablero de control, el conexionado eléctrico y las pruebas con efluentes reales, asegurando la validación integral del nuevo sistema instalado.

Asimismo, se identificó la necesidad de capacitar al personal encargado de la operación. Para garantizar su correcta adaptación al sistema, se diseñó un programa de formación intensiva de 2 días con 5 horas por jornada, dirigido a 2 operarios responsables del proceso. Este entrenamiento permitió reforzar sus conocimientos en el procedimiento automatizado y asegurar un manejo adecuado del HMI en las diferentes etapas de neutralización de efluentes.

Tabla 5*Capacitación de personal operario*

Operario	Turno	Capacitación realizada	Fechas de capacitación		Tiempo de capacitación
Operario 1	Mañana	Manejo de tablero de control	7/04/2025	8/04 /2025	10 horas

Operario 2	Tarde	Manejo de tablero de control	7/04/2025	8/04/2025	10 horas
------------	-------	---------------------------------	-----------	-----------	----------

Nota. En el siguiente Tabla se muestran los tiempos de capacitación para la operar el HMI en la automatización del proceso de neutralización de efluentes en una planta productora de soda cáustica.

2.2 Marco teórico

2.2.1. Antecedentes bibliográficos

Un sistema es un objeto en el que variables de distintos tipos interactúan y producen señales observables. Las señales observables que nos son de interés se suelen denominar salidas. El sistema está afectado también por estímulos externos. Las señales externas que pueden ser manipuladas por el observador se denominan entradas; las que no se pueden manipular se denominan perturbaciones y se dividen en aquellas que son directamente medibles y aquellas que son sólo observables por su influencia sobre la salida.(Brunete et al., 2025)

En la industria, debido a la complejidad que adquieren los sistemas por el número de elementos, se usan diagramas de flujo donde las conexiones se representan de manera normalizada, según sean señales, flujo de material, cables de potencia, etc. Un tipo de diagrama bien conocido es el diagrama de flujo de proceso (PFD en inglés), el cual representa en un nivel, sin tanto detalle, los distintos elementos del sistema; es decir, es una representación esquemática del proceso, sus condiciones normales de operación y su control básico, Este diagrama proporciona información clara, ordenada y concisa de todos los pasos que conforman los diversos procesos industriales. Generalmente, un diagrama de flujo de proceso muestra solo el equipo principal y no muestra detalle.(Escaño et al., 2019)

Un sistema de control se define como una interconexión de componentes diseñada para dirigir el comportamiento de un sistema o proceso, denominado planta, con el objetivo de lograr una respuesta deseada. La característica fundamental de este arreglo es que el operador no interviene directamente sobre los elementos finales de control; en su lugar, establece un valor de referencia o 'setpoint', que es una señal de baja energía. A partir de esta entrada, el sistema de control, a través de sus actuadores, se encarga de gestionar y aplicar la potencia necesaria para gobernar la planta y asegurar que su salida se ajuste a la consigna especificada. (Dorf y Bishop, 2011)

Un automatismo es un sistema que realiza una labor de manera automática de acuerdo a los parámetros con los cuales ha sido diseñado. Los objetivos de un automatismo son mejorar la eficiencia del proceso incrementando la velocidad de ejecución de las tareas, la calidad y la precisión, disminuyendo además los riesgos que se podrían tener si las mismas fuesen manuales. (Daneri, 2008)

En la actualidad, la automatización industrial contemporánea es el resultado de la convergencia de múltiples disciplinas científicas y tecnológicas. Fundamentos como la teoría de control y los avances en sistemas de medición y de sensores han sido pilares esenciales, complementados por la evolución de los servomecanismos y, de manera crucial, por el desarrollo de los sistemas informáticos y la tecnología digital. Esta sinergia tecnológica ha impulsado la transición hacia instalaciones de producción cada vez más autónomas. Actualmente, esta evolución se enmarca en el concepto de Industria 4.0, o la cuarta revolución industrial, que integra tecnologías disruptivas como los sistemas ciberfísicos, el Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube para crear ecosistemas de fabricación inteligentes, interconectados y basados en datos. (Groover, 2019)

2.2.2. Bases teóricas

Es importante recordar que el progreso, al igual que el uso correcto de la automatización industrial, se basa en el entendimiento de que es una disciplina construida sobre los principios de la ingeniería de control moderno. Para crear un proyecto de automatización de manera innovadora, es muy importante usar principios de modelado matemático de sistemas, analizar la respuesta dinámica y diseñar controladores en lazo cerrado. Estos son los conceptos teóricos que nos proporcionan las herramientas necesarias para construir sistemas no únicamente automáticos, sino también estables, eficientes y predecibles frente a las perturbaciones del proceso. (Ogata, 2010)

La automatización industrial se emplea en dos ámbitos de producción totalmente diferentes: la disponibilidad de procesos continuos, cuya finalidad es ajustar variables físicas estables, como puede ser el caso de la temperatura o el nivel en las industrias farmacéuticas, y la fabricación discreta, cuya finalidad consiste en llevar a cabo una secuencia de operaciones sobre determinadas piezas singularmente, como si de líneas de producción en ensamblaje se tratara. Esta distinción resulta relevante, dado que establece la forma de programar el sistema de control a utilizar. El control de procesos continuos utiliza sistemas de regulación analógica y algoritmos PID. Por otro lado, la fabricación discreta se basa principalmente en la lógica secuencial y el control por eventos. Esto define la estructura del sistema y la programación del PLC. (Petruzella, 2017)

Los profesionales en el campo de la automatización necesitan tener conocimientos firmes sobre los siguientes conceptos:

2.2.2.1. Sensor de nivel. Un sensor de nivel es un transductor que actúa como el elemento primario de medición en un lazo de control de nivel. Su propósito es captar el estado de la variable del proceso (el nivel) y transmitir esta información al controlador (autómata programable o PLC) para que este pueda tomar decisiones. La selección del tipo

de sensor —ya sea por flotador, ultrasonido, radar, capacitivo o hidrostático— depende críticamente de las propiedades del material a medir (líquido, sólido, corrosivo, etc.) y de las condiciones del proceso, siendo un componente clave para la automatización de tareas como el llenado, el vaciado o la dosificación de tanques. (Balcells y Romeral, 2012)

También se pueden definir como detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar. Estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente donde tenemos presencia de aire (no pueden trabajar en el vacío, necesitan medio de propagación), y pueden detectar objetos con diferentes formas, diferentes colores, superficies y de diferentes materiales. Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo, han de ser deflectores de sonido. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco. (Artagaveytia y Gutiérrez, 2013)

Para nuestro caso, el transmisor de nivel ultrasónico SITRANS Probe LU240 es una solución de nivel inteligente, compacta y rentable para el inventario de productos químicos líquidos, la monitorización de pequeños recipientes de proceso y la medición de nivel en la industria medioambiental.

Figura 4

Sensor de nivel



Nota. Sensor de ultrasónico LIT para tanque de neutralización de efluentes. Siemens. (s.f.). [Sensor LU240]. Recuperado el 10 de marzo, 2025, de <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/level-measurement/continuous/ultrasonic/sitrans-probe-lu240.html>

2.2.2.2. Tablero eléctrico. Un tablero eléctrico es un conjunto de varios dispositivos de protección y maniobra agrupados en una o más envolventes que dan soporte y protección mecánica a los dispositivos eléctricos. Este sistema debe ser montado de una manera que cumpla los requisitos de seguridad y realice de forma óptima las funciones para las cuales ha sido diseñado. Como sistema debe ser considerado como un componente estándar de la instalación al igual que una luminaria, un motor, una toma de corriente o una protección termomagnética. (Ticino del Perú, s.f.)

Un tablero eléctrico es el soporte físico que integra el hardware de un sistema de automatización, separando los equipos de control de la máquina o proceso que gobiernan. En su interior se montan de forma estructurada tanto los componentes de la parte de

mando, como el autómata programable (PLC) y sus módulos, como los de la parte operativa, que incluyen los dispositivos de protección (interruptores, guardamotors), los contactores y los bornes de conexión. Su diseño no solo busca la organización lógica de los componentes, sino también garantizar la seguridad del personal y la protección de los equipos contra factores ambientales adversos. (Mandado et al., 2009)

El tablero de control que instalaremos para neutralización de efluentes, tiene el grado de protección IP66 / NEMA 4X, chapa de acero de la marca RITTAL de código AX 1058.000 en el cual se instalaron todos los componentes eléctricos para el correcto conexionado de los cables de fuerza, control e instrumentación que integraron todo el sistema de control.

Figura 5

Tablero eléctrico



Nota. El tablero chapa de acero garantizara la hermeticidad y protección de los equipos eléctricos para un buen funcionamiento. Rittal. (s.f.). [Armarios compactos AX chapa de acero]. Recuperado el 10 de marzo, 2025, de <https://www.rittal.com/pe-es/products/PG20231215SCH101/PG20231512SCH301/PRO70743?variantId=1058000>

2.2.2.3. Control Lógico Programable. PLC Siemens S7-1200 es una solución muy eficaz para mejorar el control del sistema de motores. En los últimos años, el PLC Siemens S7-1200 se ha convertido en uno de los más utilizados en la industria. La implementación del control de motores trifásicos con este PLC ofrece numerosas ventajas. Este control puede reducir el consumo de energía necesario para su funcionamiento.(Muslimin y Nurhayati, 2023)

Para el tablero de control se instaló el PLC S7-1200 de la marca Siemens como controlador principal, conectado al HMI y SWITCH.

Figura 6

PLC S7-1200



Nota. El PLC S7-1200 es una de los PLC's modernos de la marca Siemens con el cual se pueden realizar diversos trabajos automatizados en procesos industriales. Siemens. (s.f). [SIMATIC S7-1200, CPU 1214C]. Recuperado el 10 de marzo, 2025, de <https://sieportal.siemens.com/en-za/products-services/detail/6ES7214-1BG40-0XB0?tree=CatalogTree>

2.2.2.4. Human Machine Interface. Una Interfaz Humano-Máquina (HMI) es un dispositivo o software que proporciona una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para un

operador, permitiéndole monitorear y controlar un proceso de automatización en tiempo real. Su función principal es traducir datos complejos del proceso, como temperaturas, presiones o estados de actuadores, en representaciones visuales e intuitivas como gráficos, medidores y diagramas mímicos. A través del HMI, el operador puede introducir comandos, ajustar parámetros (setpoints) y reconocer alarmas, sirviendo como el puente de comunicación fundamental entre el ser humano y el sistema controlado por un PLC o SCADA. (Groover, 2019)

También se puede definir como el componente de un sistema de control que permite al usuario interactuar con la maquinaria o el proceso automatizado, facilitando la supervisión y la toma de decisiones. Más que una simple pantalla, el HMI es un sistema de comunicación bidireccional que presenta información de estado y retroalimentación del sistema al operador, mientras que traduce las intenciones y comandos del operador en acciones concretas para la máquina. En el contexto de la mecatrónica, es el panel de mando que unifica los dominios mecánico, electrónico e informático en una interfaz operable por un humano. (Bolton, 2019)

Para el tablero de control se instaló un HMI Basic de 7" de la marca Siemens para la visualización e ingreso de parámetros de receta.

Figura 7*HMI KTP700 Basic*

Nota. SIMATIC HMI, KTP700 Basic, Basic Panel, Key/touch operation, 7" TFT display, 65536 colors, PROFINET interface, configurable from WinCC Basic V13/ STEP 7 Basic V13, contains open-source software, which is provided free of charge see enclosed CD. Siemens. (s.f.). [SIMATIC HMI KTP700 BASIC]. Recuperado el 10 de marzo, 2025, de <https://sieportal.siemens.com/en-pe/products-services/detail/6AV2123-2GB03-0AX0?SiepCountryCode=PE&tree=CatalogTree>

2.2.2.5. Actuador eléctrico. El actuador eléctrico constituye el elemento final de control en un lazo de automatización, siendo el componente que ejecuta directamente la orden enviada por el controlador para modificar el comportamiento del proceso. Su función es recibir la señal de mando del sistema de control y proporcionar la energía motriz para operar un dispositivo final, como una válvula de control, una compuerta o una bomba. La selección del actuador eléctrico adecuado es crítica y depende de factores como la fuerza o par motor requerido, la velocidad de respuesta y la precisión de posicionamiento que exija la aplicación industrial. (Creus, 2010)

El ECP cuenta con una carcasa de polipropileno reforzado con fibra de vidrio (GFPP) que proporciona al actuador una resistencia superior a la corrosión y un rendimiento superior en entornos y atmósferas donde la mayoría de los actuadores metálicos no pueden. Actuador compacto para todas las aplicaciones. Alimentación estándar de 24 a 265 V CA/CC, 2 interruptores de límite auxiliares, calentador, LED de estado, indicador de posición y accionamiento manual. Carcasa termoplástica de GFPP. NEMA 4X (IP67).(Hayward Industries, 2025)

Figura 8

Actuador eléctrico



Nota. Las válvulas instaladas tienen confirmación para asegurar la correcta apertura de las mismas en el suministro de insumos. Hayward. (s.f.). [Actuador eléctrico serie ECP 530]. Recuperado el 10 de marzo, 2025, de https://www.haywardflowcontrol.com/en_us/ecp5

2.2.2.6. Fusible de vidrio. Un fusible de vidrio es un componente de protección contra sobrecorrientes, fundamental en circuitos electrónicos y sistemas de automatización. Consiste en un filamento o lámina metálica, con un punto de fusión bajo y calibrado con precisión, encapsulado en un tubo de vidrio transparente. Cuando la corriente que atraviesa el circuito excede el valor nominal del fusible, el filamento se

derrite y se rompe, interrumpiendo el flujo de electricidad de manera instantánea. Esta acción protege a componentes más sensibles y costosos del sistema, como microcontroladores, sensores o actuadores, de daños permanentes causados por una sobrecarga o un cortocircuito (Boylestad y Nashelsky, 2018).

Esta gama de fusibles de cartucho de vidrio de Eaton Bussmann es ideal para proporcionar protección a dispositivos o circuitos internos contra cortocircuitos y sobre corriente. Son componentes más débiles a propósito con el objetivo de fundirse cuando la corriente sea demasiado alta. Una vez que el fusible se haya fundido, será necesario sustituirlo para completar el circuito y permitir el flujo de corriente.

Para la fabricación de tablero de control de utilizaron fusibles de vidrio de 500mA de tamaño 5x20mm.

Figura 9

Fusible de Vidrio 5x20



Nota. Los fusibles de vidrio son usados para proteger la alimentación del PLC, módulos, switch y HMI. Eaton. (s.f.). [Fusible de vidrio]. Recuperado el 10 de marzo, 2025, de <https://cl.rsdelivers.com/product/eaton/s506-500-r/fusible-de-cartucho-de-cristal-eaton-250v-ac-500ma/5371385>

II.2.3 Definición de términos básicos

A continuación, nombraremos algunos términos básicos más usados en la industria de la automatización:

- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
- NTP: Norma Técnica Peruana
- AC: Corriente Alterna
- DC: Corriente Directa
- ASME: American Society of Mechanical Engineers
- IEC: International Electrotechnical Commission.
- IoT: Internet of Things
- IP: Ingress Protection
- FAT: Factory Acceptance Test
- SAT: Site Acceptance Test
- PMI: Project Management Institute
- PROFINET: Process Field Bus
- P&ID: Piping and Instrumentation Diagram
- ECA: Estándares de Calidad Ambiental

2.3 Propuesta de solución:

En el sistema automático de neutralización de efluentes de la planta de producción de soda cáustica, uno de los componentes más relevantes es el PLC Siemens S7-1200, que actúa como el cerebro del proceso. Este controlador centraliza la información recibida por los sensores instalados en campo y gestiona en tiempo real la operación de las válvulas, bombas y equipos auxiliares, garantizando una respuesta precisa y segura en cada etapa del tratamiento. La etapa de dosificación se lleva a cabo mediante una bomba dosificadora

ProMinent GXLa, diseñada para inyectar ácido con alta exactitud y confiabilidad. Este equipo asegura que cada descarga cumpla con los parámetros de calidad ambiental exigidos, brindando confiabilidad al sistema y contribuyendo a la sostenibilidad de la operación, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 10

Transmisor SC45000 marca HACH



Nota. El transmisor de pH modelo SC45000 de la marca HACH se comunica con 4-20 mA al PLC para poder monitorear la lectura del sensor de pH.

2.3.1 Descripción de la propuesta

Se realizó un análisis detallado del sistema que neutraliza los residuos producidos durante el proceso de soda cáustica. El objetivo fue entender los requisitos técnicos y elegir correctamente el control y los equipos necesarios para garantizar que el sistema funcione de manera estable. Se consideraron en este análisis aspectos relevantes, tales como el caudal, el nivel, el pH de los efluentes, etc., teniendo en cuenta que los componentes deben cumplir con las condiciones de operación y la demanda del proceso.

La propuesta incluye el establecimiento de un sistema de supervisión automatizado conveniente, usando como base un sistema de control PLC Siemens S7-1200, que será responsable de coordinar la función de los sensores de pH, de nivel ultrasónico y de las válvulas de control de la dosificación de ácido por medio de bombas de precisión. Este método permite que la neutralización sea constante, equilibrada y segura, reduciendo así la interacción humana y los riesgos asociados con la manipulación de líquidos corrosivos.

Asimismo, el diseño busca garantizar una unión correcta de los diferentes subsistemas, maximizando simultáneamente el consumo de reactivos químicos y recursos energéticos de la planta. Como quiera que se siguen las coherentes buenas prácticas de gestión y administración de proyectos, se garantiza un proceso de planificación detallada, un control exhaustivo de fechas, costes y recursos, así como también de la correcta realización y cierre del mismo.

El sistema de tratamiento de efluentes incluye un enfoque integral, ya que aumenta la confiabilidad operativa y permite asegurarse del cumplimiento normativo ambiental, incrementa la seguridad del personal y consolida la sostenibilidad del proceso en el mediano y largo plazo.

2.3.2 Proceso de implementación

Se realizó la fabricación de los tableros de control y soportes para instalarlos en el área designada, a continuación, se detallará el proceso de implementación del sistema automatizado:

2.3.2.1. Verificación del área de implementación de proyecto. Se realizó la visita al área designada para la implementación en la planta de 100 TN de soda caústica, a continuación, se muestra el área antes de la implementación del sistema de neutralización de efluentes:

Figura 11

Área designada para el proyecto

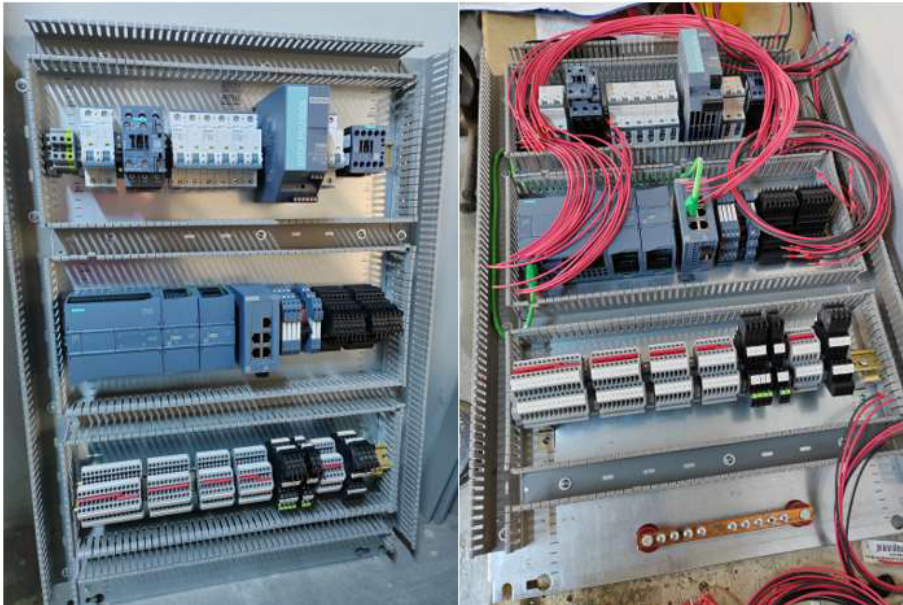


Nota. Imagen de la primera visita para la evaluación del área donde se implementará el sistema automatizado de neutralización de efluentes.

2.3.2.2. Fabricación de tablero de control. Se realizó la fabricación del tablero de control en el taller de la empresa SIELEC posterior a la aprobación de planos electromecánicos.

Figura 12

Montaje y conexionado de equipos eléctricos

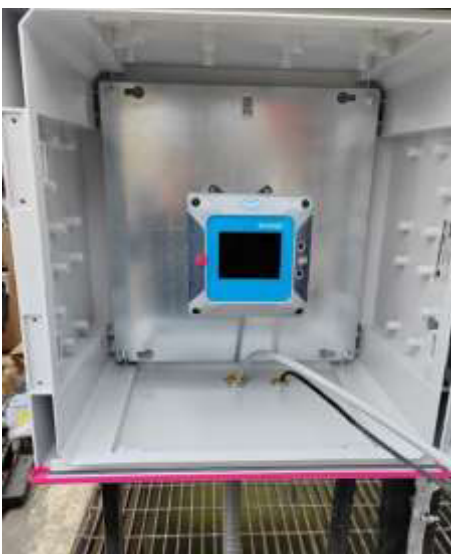


Nota. Se realizó el montaje de los equipos eléctricos en la placa base del tablero de control para posteriormente conectarlos de acuerdo al plano eléctrico aprobado.

2.3.2.3. Fabricación de tablero de controlador de PH. Se realizó el montaje de controlador de PH en la placa base del tablero RITTAL, como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 13

Instalación de controlador de PH

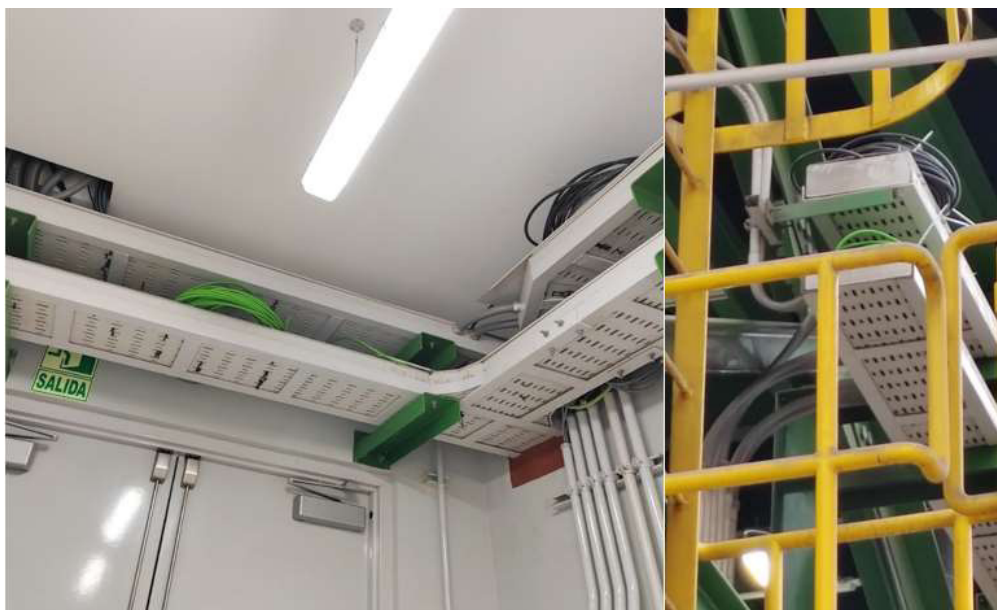


Nota. Se instala el controlador SC4500 en la placa base para realizar la configuración y las pruebas antes de la puesta en marcha.

2.3.2.4. Tendido de cable de red y fuerza. Se realizó el tendido de cables de red y fuerza desde el tablero de control del sistema automatizado de neutralización de efluentes hasta la sala de tableros.

Figura 14

Cable de red y fuerza en sala eléctrica



Nota. Se realizó el tendido y conexionado de cables eléctrico en la sala eléctrica de acuerdo a los puntos designados por el cliente.

2.3.2.5. Instalación de sensores. Se realizó la instalación de un sensor de nivel LU240 para controlar el volumen del tanque y un sensor de PH para controlar el nivel de variación de alcalinidad del efluente.

Figura 15

Instalación de sensor de nivel y PH



Nota. Se realizó la instalación del sensor LU240 en el soporte fabricado y el sensor de PH con un tubo de 1 ½” de 1.8 metros.

2.3.2.5. Puesta en marcha. Una vez instalado el tablero de control, tablero de PH, cables eléctricos y sensores se realizaron las pruebas de control de calidad con los protocolos SAT que se detallaran más adelante.

Figura 16

Sistema de neutralización de efluentes instalado



Nota. El sistema de neutralización de efluentes fue instalado de acuerdo a la distribución aprobada en los planos por el cliente, realizándose las pruebas de puesta en marcha.

2.3.3 Desarrollo de la solución

Una vez obtenido el listado de señales tanto análogas como digitales, se procede a elaborar los planos electromecánicos necesarios para la fabricación del tablero de control. Los planos resultan imprescindibles para determinar la colocación y conexión de los equipos dentro del propio cuadro, garantizando que se encuentren todos los requerimientos del sistema automatizado, ya que se utilizan también como listado de señales para poder seleccionar correctamente los cables eléctricos que se utilizarán para la fabricación según NTP, asegurando el cumplimiento de las especificaciones eléctricas de corriente y de voltaje; y posteriormente se procederá a la compra de los cables correspondientes y su instalación en el cuadro y en el proceso de neutralización.

Para asegurar la correcta ejecución del proyecto, a continuación, se detallan las referencias de los documentos necesarios:

- SIELEC0925-PEM001-Tablero de control sistema neutralizado de efluentes en una planta química REV0: Documento que contiene los planos electromecánicos del tablero de control de neutralización de efluentes. ANEXO B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, Ñ, O Y P
- SIELEC-SAT001-Protocolo de pruebas SAT_REV0: Documento que describe el protocolo para la realización de pruebas SAT de la mesa de control, garantizando su correcto funcionamiento previo a su instalación en campo.

Estos archivos serán imprescindibles para la correcta planificación, ejecución y verificación del proyecto, de tal forma que todas las fases de este último podrán desarrollarse de forma adecuada y siguiendo los requisitos de calidad existentes.

2.3.4 Factibilidad técnica-operativa

El proyecto “Sistema Automático para la Neutralización de Efluentes en una Fábrica de Química, Lima 2025”, realizado para esta planta productora de soda cáustica en escamas, será una intervención estratégica para lograr el cumplimiento ambiental y la optimización de la eficiencia en el tratamiento de efluentes. El proyecto se basa en la automatización del proceso de neutralización de efluentes altamente alcalinos, que es un paso crítico que determina la seguridad, sostenibilidad y continuidad de las operaciones industriales.

2.3.4.1. Análisis técnico inicial. La primera etapa del proyecto surge a partir de una inspección técnica en planta, en la zona de canalización y almacenamiento de los efluentes. En base a esta visita se realizó un análisis profundo de las condiciones actuales, en donde se pudo comprobar que el sistema era completamente manual, teniendo como operación de campo el accionamiento de válvulas y la dosificación de ácido ejecutadas por medio de equipos manuales y de baja precisión. Esta perspectiva del problema efecto del diagnóstico nos ofrece las primeras limitaciones sobre la homogeneidad del proceso y los riesgos que la manipulación directa de ácidos corrosivos puede conllevar.

Mediante la correcta recolección de la información se capturaron señales analógicas y digitales de los parámetros de pH, el nivel y caudal de los tanques de proceso y el control de válvulas y bombas de dosificación. Dicha recolección de datos inicial, como análisis técnico básico, permitió establecer los puntos críticos y a partir de esta información definir adecuadamente las necesidades de la planta que posibiliten implementar un sistema automatizado de mayor robustez y eficiencia en su operación.

2.3.4.2. Desarrollo de propuesta técnico-comercial. A raíz de la diagnosis, se elaboró una propuesta técnico-comercial, según los requerimientos del cliente y la legislación ambiental aplicable. La propuesta consideró la puesta en marcha de un sistema

de control automático con un PLC Siemens S7-1200 que fuera capaz de controlar en tiempo real mediante variables críticas de neutralización. El diseño que se realizó previó la colocación de sensores de pH, niveles ultrasónicos, válvulas de control y bombas dosificadoras conectadas a un terminal HMI para la operación y el control.

La propuesta incluía también los costes por partidas, así como las utilidades operativas y la planificación de actividades en un cronograma Gantt, lo que permite contar con una visión adecuada del desarrollo del proyecto. Aprobar esta propuesta fue un indicador significativo, ya que confirmaba la factibilidad del sistema desde su punto de vista técnico y económico.

2.3.4.3. Fase de ingeniería y selección de componentes. Luego continuó con la elaboración del listado de señales de campo, determinando las entradas y salidas digitales y analógicas que se necesitan para la gestión y control automatizado del proceso de neutralización. Se optó por escoger equipos de reconocida fiabilidad, como el transmisor de pH HACH SC45000, válvulas de bola automáticas, una bomba dosificadora ProMinent para el ácido, y una bomba de tipo diafragma para la recirculación. Estos elementos permiten que exista un control preciso del proceso, mejorando la estabilidad operativa y reduciendo los riesgos ambientales y de seguridad.

A continuación, en la siguiente figura se menciona el listado de señales de campo:

Figura 17*Señales de PLC*

ÍTEM	TIPO	TAG	DESCRIPCIÓN DATOS TÉCNICOS	SEÑAL
1	DI	PLC	Reset sirena	24 VDC
2	DI	PLC	Manual	24 VDC
3	DI	PLC	Automático	24 VDC
4	DI	PLC	Bomba dosificadora (P01) Start	24 VDC
5	DI	PLC	Bomba dosificadora (P01) Stop	24 VDC
6	DI	PLC	Bomba neumática (P01) Start	24 VDC
7	DI	PLC	Bomba neumática (P01) Stop	24 VDC
8	DI	PLC	Confirmación bomba energizada	24 VDC
9	DI	PLC	Válvula 3 vías (YV02) Recircular	24 VDC
10	DI	PLC	Válvula 3 vías (YV02) Descargar	24 VDC
11	DI	PLC	Válvula 2 vías (YV01) Confirmación cerrado	24 VDC
12	DI	PLC	Válvula 2 vías (YV01) Confirmación abierto	24 VDC
13	DI	PLC	Válvula 3 vías (YV02) Confirmación recirculando	24 VDC
14	DI	PLC	Válvula 3 vías (YV02) Confirmación descargar	24 VDC
15	DI	A1	Reserva	24 VDC
16	DI	A1	Reserva	24 VDC
17	DI	A1	Reserva	24 VDC
18	DI	A1	Reserva	24 VDC
19	DI	A1	Reserva	24 VDC
20	DI	A1	Reserva	24 VDC
21	DI	A1	Reserva	24 VDC
22	DI	A1	Reserva	24 VDC
23	DO	PLC	Alarma sonora	24 VDC
24	DO	PLC	Alarma visual	24 VDC
25	DO	PLC	Bomba dosificadora (P01) Start	24 VDC
26	DO	PLC	Bomba dosificadora (P01) Stop	24 VDC
27	DO	PLC	Reserva	24 VDC
28	DO	PLC	Válvula 2 vías (YV01) Posición abierto	24 VDC
29	DO	PLC	Válvula 2 vías (YV01) Posición cerrado	24 VDC
30	DO	PLC	Válvula 3 vías (YV02) Posición recircular	24 VDC
31	DO	PLC	Válvula 3 vías (YV02) Posición descargar	24 VDC
32	DO	PLC	Bomba dosificadora (P01) Arranque	24 VDC
33	DO	A1	Pausa bomba dosificadora	24 VDC
34	DO	A1	Exterm Contactor bomba dosificadora	24 VDC
35	DO	A1	Reserva	24 VDC
36	DO	A1	Reserva	24 VDC
37	DO	A1	Reserva	24 VDC
38	DO	A1	Reserva	24 VDC
39	DO	A1	Reserva	24 VDC
40	DO	A1	Reserva	24 VDC
41	AI	A1	Transmisor de nivel	4-20 mA
42	AI	A1	Analizador de pH	4-20 mA
43	AI	A1	Reserva	4-20 mA
44	AI	A1	Reserva	4-20 mA
45	AO	A1	Reserva	4-20 mA
46	AO	A1	Reserva	4-20 mA

Nota. Listado de señales analógicas y digitales correspondientes al proceso de neutralización de efluentes.

Esta fase fue clave para la implementación de una exhaustiva evaluación técnica en la selección de los controladores de automatización que controlarían el proceso de neutralización de los efluentes. Cada componente se escogió atendiendo a su fiabilidad y compatibilidad con el sistema y la respuesta a los requerimientos de un proceso químico muy sensible. Se apostó por un diseño electromecánico reducido y seguro para la consola de control que garantizara una integración adecuada en el entorno de la planta y un funcionamiento óptimo del sistema bajo condiciones reales de funcionamiento.

Un aspecto que tuvo una gran importancia en esta etapa fue la elaboración de un Tabla de señales de control, de tipo analógica y digital, que permita controlar de forma efectiva y precisa las variables críticas del proceso, p. ej., pH, nivel de los tanques, caudal de los efluentes, accionamientos de las válvulas y de bombas de dosificación. Esta tabla asegura una gestión confiable, estabilidad a través del tiempo y reducción de los riesgos en las operaciones.

Se optó inicialmente por un armario de acero inoxidable de la marca RITTAL, el cual es idóneo para ambientes duros y corrosivos, como los que se presentan con la planta de soda cáustica.

A continuación, se definió el Tabla de controladores y equipos eléctricos, poniendo de manifiesto la importancia del uso del PLC Siemens S7-1200 como controlador principal junto a los dispositivos que permiten garantizar el funcionamiento correcto y seguro del sistema automatizado de neutralización:

Tabla 6*Equipos eléctricos de tablero*

DENOMINACIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE	CÓDIGO
-	1	Tablero de chapa de acero de 600x800x250 (Anch*Alt*Prof), IP 66	Rittal	AX 1058.000
-	1	Tablero de poliéster de 500x500x300 (Anch*Alt*Prof), IP 66	Rittal	AX 1453.000
-A1	1	E/S Digital SM 1223, 8DI/8DO	Siemens	6ES7223-1PH32-0XB0
-A2	1	E/S Analógico SM 1234, 4AI/2AO	Siemens	6ES7234-4HE32-0XB0
-H01	1	Lampara de señalización, verde	Siemens	3SU1102-6AA40-1AA0
-HMI	1	Simatic HMI, KTP700 Basic 7"	Siemens	6AV2123-2GB03-0AX0
-K1...-K4; -K6; -K7	6	Elemento acoplador de salida AC/DC24V,1 CO	Siemens	3RQ3018-1AB00
-K5	1	Relé de interfaz unido completo DC24V/2CO	Siemens	LZS: RT4A4L24
-KM1	1	Contactador de potencia, AC-3e/AC-3, 25 A, 220 V AC, 60 Hz, cont: 1 NA+1 NC	Siemens	3RT2026-1AN20
-KM2	1	Contactador 3RT20 - 7A/AC3 - 220VAC	Siemens	3RT2015-1AN21
-PLC	1	CPU 1214C, AC/DC/Relés, 14DI/10DO/2AI	Siemens	6ES7214-1BG40-0XB0
PSU	1	Sitop PSU100S 24 V/5 A Entrada de alimentación estabilizada: 120/230 V CA	Siemens	6EP133-2BA20
-Q1; -Q3	2	Automático magnetotérmico, 400 V 10 KA, 2 polos, C, 10A	Siemens	5SY4210-7
-Q2	1	Interruptor termomagnético 2P - 2A - C curve	Siemens	5SY4202-7
-Q4	1	Interruptor termomagnético 2P - 6A - C curve	Siemens	5SY4206-7
-QG	1	Automático magnetotérmico, 400 V 10 KA, 2 polos, C, 25A	Siemens	5SY4225-7
-S01	1	Pulsador seta paro emergencia, 40MM, ROJO	Siemens	3SU1100-1HB20-1CG0
-S02	1	Pulsador, amarillo	Siemens	3SU1100-0AB30-1BA0
-S03; -S06; -S07	3	Selector, I-O-II, negro, blanco	Siemens	3SU1100-2BL60-1NA0
-S04	1	Pulsador iluminado, verde	Siemens	3SU1102-0AB40-1BA0
-S05	1	Pulsador iluminado, rojo	Siemens	3SU1102-0AB20-1BA0
-SW	1	Scalance XB005	Siemens	6GK5005-0BA00-1AB2

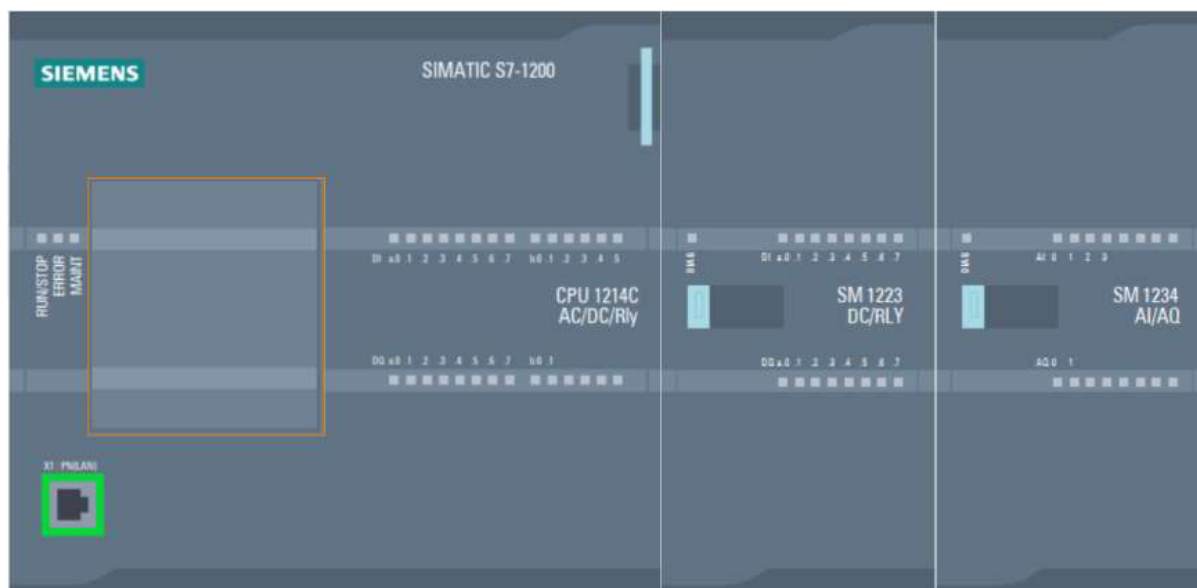
Nota. Relación de equipos eléctricos empleados en la fabricación del tablero de control, incluyendo la descripción del gabinete de acero inoxidable y del transmisor de peso utilizado para la lectura de las celdas de carga.

En segundo lugar, se procedió a la selección de los equipos de control específicos para cubrir las necesidades de control que se habían definido en el Tabla de señales de la que se había hecho mención anteriormente. Para el control principal, se seleccionó un PLC Siemens S7-1200, el cual garantiza un rendimiento suficientemente fiable, escalabilidad y una capacidad de procesamiento adecuada al nivel de complejidad del sistema de neutralización de efluentes.

El sistema operativo fue complementado con módulos de expansión de la serie S7-1200, los cuales permitieron integrar, eficientemente y de manera funcional, las señales analógicas y digitales de la lectura de los instrumentos del campo, como el transmisor de pH HACH SC45000, el sensor de nivel ultrasónico LU240, así como las bombas y las válvulas del proceso. Así mismo, esta arquitectura permite tener un control de las variables más importantes, tales como el pH y los niveles de los tanques, así como la correcta actuación de los actuadores de recirculación, de dosificación y de descarga.

Figura 18

S7-1200 y módulos de expansión



Nota. Se presenta el módulo de periferia del sistema S7-1200, el cual incluye una unidad de 8 entradas y 8 salidas digitales (8DI/8DO), así como un módulo adicional con 4 entradas

y 2 salidas analógicas (4AI/2AO), destinado a la adquisición y control de señales en el proceso automatizado.

Este sistema de control se ha adaptado a las necesidades de rigurosidad y fiabilidad que exige la neutralización de los efluentes, de forma que queda asegurada la correcta regulación del pH y la sincronización de la etapa operativa que le corresponde. De esta manera, se optimiza el funcionamiento integral del sistema, garantizando tanto la eficiencia del tratamiento como el cumplimiento de los parámetros ambientales establecidos.

Asimismo, se presenta a continuación el diseño mecánico del tablero de control, el cual contempla una distribución ordenada y funcional de los equipos eléctricos, seleccionados en base a criterios técnicos que aseguran durabilidad, seguridad y facilidad de mantenimiento.

Finalmente, se incluye el plano unifilar con las cargas de alimentación en campo, donde se representan las conexiones principales que integran al PLC, bombas dosificadoras, válvulas de control, sensores de pH y nivel, todos alineados con las mejores prácticas de ingeniería para sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales.

Para la implementación del sistema de neutralización de efluentes se seleccionó un tablero de la marca RITTAL, modelo AX 1058.000, diseñado en material de alta resistencia y con protección IP66, lo que asegura un óptimo desempeño en condiciones industriales exigentes. En su interior se integrarán el PLC S7-1200, las fuentes de alimentación, protecciones eléctricas y los equipos de control necesarios para la operación automatizada del proceso. Adicionalmente, se consideró un listado de consumibles que incluye borneras, conectores, canaletas y accesorios de montaje, elementos indispensables para garantizar la confiabilidad y durabilidad del sistema en planta.

Tabla 7*Consumibles de tablero de control*

CANT	UND	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE	CÓDIGO
47	und	Borne de doble piso - UTTB 2,5	Phoenix Contact	3044636
6	und	Borne de carril para fusible - UT 4-PE/L/HESI (5X20)	Phoenix Contact	3214320
22	und	Fusible de Vidrio 5x20mm 0.5A	BUSSMAN	H090512P
3	und	Borne de carril para fusible - UT 4-L/HESILA 250 (5X20)	Phoenix Contact	3214368
1	und	Fusible de Vidrio 5x20mm 1A	Bussman	-
4	und	UT 4 - Borne de paso	Phoenix Contact	UT 4
1	und	UT 4-PE - Borna de tierra	Phoenix Contact	UT 4-PE
14	und	Bornera Porta Fusible 2 Pisos, Tipo de conexión por tornillo, 0,2-4 mm ²	Phoenix Contact	3214325
1	Rollo	Cable de 4mm ² color negro	Indeco	-
2	Rollo	Cable de 1.5mm ² color negro	Indeco	-
1	und.	Cintillos de 200 mm color negro.	Hont	-
1	und.	Porta cintillos de 20x20mm	Hont	-
3	und.	Cable de Red Panduit 4x2 - 24AWG - Cat6 - RJ-45, largo de 3m	Panduit	-
1	und.	Canal ranurado Riel Din	F. E	-
2	und.	Canaleta de PVC gris ranurado de 2m	Camso	-

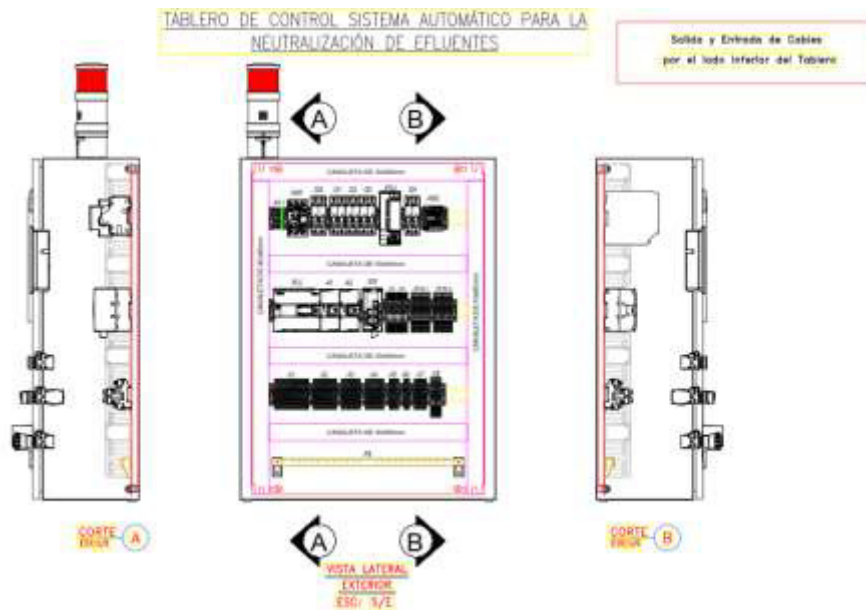
Nota. Lista de consumibles de tablero de control de neutralización de efluentes.

Figura 19*Vista exterior de ingeniería de tablero de control*

Nota. En la parte externa del tablero de control se encuentra un HMI Basic de 7", acompañado de un pulsador de parada de emergencia, rotulación correspondiente, señalética de advertencia por riesgo eléctrico y la placa de datos del tablero.

Figura 20

Vista interior de ingeniería de tablero de control plano



Nota. La disposición interna del tablero de control ha sido diseñada conforme a criterios técnicos óptimos, asegurando una instalación eficiente de los equipos de control y los elementos consumibles.

2.3.4.4. Instalación y programación de equipos. Finalizada la etapa de ingeniería y aprobada ésta por parte del cliente, se llevó a cabo la fabricación de la caja del control que iría destinada al sistema de neutralización de efluentes, donde se integraban cada uno de los componentes que se habían determinado en etapas anteriores, esto es el PLC S7-1200, módulos de expansión y un conjunto de equipos auxiliares. En esta fase se llevó a cabo la integración de los componentes realizados en las etapas anteriores, los módulos de conexión y un conjunto de otros accesorios. El proceso de montar y cablear se realizó de acuerdo a la técnica y normativa vigente.

El diseño correspondiente del tablero fue desarrollado para garantizar una buena distribución de los controles, protecciones eléctricas y elementos de la automatización, facilitando así la operación y el mantenimiento preventivo y correctivo. A su vez, la programación del PLC tuvo en cuenta la gestión de las señales de las entradas y salidas analógicas y digitales de los sensores de pH, nivel y caudal junto con el control de las bombas y válvulas envueltas en el proceso.

El armario RITTAL AX 1058.000 con grado de protección IP66, del que está realizado el tablero de control, se ha diseñado para resistir las drásticas condiciones de operación a las que ha de someterse la planta de producción de soda cáustica, proporcionándole una operación fiable, segura y duradera en la operación en continuo del sistema automatizado.

Figura 21

Vista interior de tablero de control en planta



Nota. Vista interior del tablero fabricado según los planos mostrados, la distribución es fiel al plano mecánico aprobado por el cliente.

Figura 22

Vista exterior de tablero de control en planta



Nota. Vista exterior del tablero fabricado según los planos mostrados, el tablero mostrado se encuentra adosado a la superficie designada por el cliente.

La programación del PLC S7-1200 se llevó a cabo conforme a los parámetros críticos que rigen el proceso específico de neutralización de los efluentes para la planta y a las directrices reguladas en los protocolos de operación de planta; y fue durante este proceso donde se programaron cada una de las secuencias correspondiente, ajuste de variables estratégicas para poder lograr el control preciso y seguro de éstas, entre las que no debe faltar la dosificación de ácido, la recirculación del agua y la descarga final.

Se realizaron pruebas exhaustivas de las variables analógicas y digitales que proporcionan el sensor de nivel ultrasónico LU240, el sensor de pH HACH SC45000, así como de los actuadores principales, las bombas dosificadora ProMinent GXLa, la bomba de diafragma Bozza PP-3/4-V y de las válvulas de dos y de tres vías Hayward, mediante las cuales se pudo confirmar la correcta interacción entre estos sensores y actuadores, garantizando también la respuesta estable y coherente del sistema ante las condiciones de ejercicio reales.

Los ensayos realizados incluyeron tanto el FAT (Factory Acceptance Test) para validar la fabricación y programación del control de panel del sistema tal y como se presenta el producto, como el SAT (Site Acceptance Test) con las condiciones de planta y con las condiciones de operación. Los ensayos se llevaron a cabo de manera rigurosa, constituyendo la garantía técnica de que el sistema automatizado cumple en cuanto a los requisitos de operatividad, seguridad y eficiencia, que se definieron en el proyecto.

Figura 23

Protocolo de pruebas SAT de tablero de control

DOCUMENTO		CLIENTE:	PLANTA QUIMICA	PROYECTO	SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES EN UNA FÁBRICA DE QUIMICA	CÓDIGO
		DESCRIPCIÓN:	TABLERO DE CONTROL	GABINETE	GABINETE DE CONTROL PARA SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES	-
Sistema de Control	S7-1200	Plano de Referencia:	SIELEC0925-PEM001		Fecha	5/03/2025
Voltaje General	220 VAC	Voltaje de Control:	24 VDC		Nivel de Protección	IP66
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN		TIPO/UNID	MULTIMETRO		MARCA	FLUKE-189
		CODIGO DE SERIE	50631752WS		VALIDEZ DE CALIBRACIÓN	IT-00589-2025
Pag.		1				

I- INSPECCIÓN MECÁNICA:		COMENTARIOS	CONDICIÓN
1.1	Color de pintura		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
1.2	Condición Externa (Base inferior, Base superior, etc)		<input type="checkbox"/> OK <input checked="" type="checkbox"/> NA
1.3	Condición de Cerrado		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
1.4	Condición Puerta Frontal		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
1.5	Condición de Enchufe		<input type="checkbox"/> OK <input checked="" type="checkbox"/> NA
1.6	Pernos de Izaje		<input type="checkbox"/> OK <input checked="" type="checkbox"/> NA
1.7	Simetría y Corte en el Ducto de Cableado		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
1.8	Puesta a tierra y Blindaje		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
1.9	Localización y Adherencia de Bolsillo para Documentos		<input type="checkbox"/> OK <input checked="" type="checkbox"/> NA
II- VERIFICACIÓN DE COMPONENTES:			
2.1	Planos Eléctricos y Mecánicos en Puerta Frontal		<input type="checkbox"/> OK <input checked="" type="checkbox"/> NA
2.2	Cantidad, Condición y Distribución de Unidades de acuerdo a planos		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
2.3	Cantidad, Condición y Distribución de Bloques Terminales Simples de acuerdo a planos		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
2.4	Cantidad, Condición y Distribución de Bloques Terminales Portafusibles de acuerdo a planos		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
2.5	Cantidad, Condición y Distribución de Salidas Eléctricas		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
III- IDENTIFICACIÓN:			
3.1	Placa de Identificación del Gabinete		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
3.2	Placa de Identificación de Unidades y Componentes		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
3.3	Identificación de Bloques Terminales		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
3.4	Identificación de Unidades de E/S		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
3.5	Identificación en los dos lado del cable de conexión		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
IV- CABLEADO:			
4.1	Llenado de Ducto de Cableado (%)		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
4.2	Verificación de Unidades de Iluminación		<input type="checkbox"/> OK <input checked="" type="checkbox"/> NA
4.3	Verificación de Unidades de Control		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
4.4	Verificación de Conexión, Color y Tamaño del Cable de Alimentación		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
4.5	Verificación de Conexión, Color y Tamaño del Cable de Control		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
4.6	Verificación de Color y Calibre de Cables de Aterramiento		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
4.7	Ajuste de terminales para cables		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
V- FUNCIONAMIENTO ELÉCTRICO:			
5.1	Continuidad del Circuito de Alimentación de acuerdo a planos		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
5.2	Continuidad del Circuito de Señales de E/S de acuerdo a planos		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
5.3	Continuidad del Circuito Puesta a Tierra		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
5.4	Verificación del Voltaje de Entrada y Salida de Fuente de Alimentación		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
5.5	Verificación de Redundancia en Fuente de Alimentación		<input type="checkbox"/> OK <input checked="" type="checkbox"/> NA
5.6	Verificación de Fusibles e Interruptores		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
5.7	Verificación del Voltaje de Alimentación en Unidades de E/S		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
5.8	Verificación del Voltaje de Alimentación en Unidades		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
5.9	Verificación del Voltaje en Salidas Eléctricas		<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NA
5.10	Funcionamiento del Sistema de Ventilación		<input type="checkbox"/> OK <input checked="" type="checkbox"/> NA
5.11	Funcionamiento del Sistema de Calefacción		<input type="checkbox"/> OK <input checked="" type="checkbox"/> NA
5.12	Funcionamiento del Sistema de Iluminación		<input type="checkbox"/> OK <input checked="" type="checkbox"/> NA

Nota. La Figura 23 presenta un resumen de las pruebas efectuadas al tablero tras su instalación.

Figura 24

Protocolo de pruebas SAT de PLC S7-1200

DOCUMENTO		CLIENTE:	PLANTA QUIMICA		PROYECTO:	SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES EN UNA FÁBRICA DE QUIMICA		CÓDIGO
-								-
TAG:		-PLC	LUGAR:	LIMA	UNID:	6ES7214-1BG40-0XB0 <input checked="" type="checkbox"/>		
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN		TIPO/UNID		MULTÍMETRO	MARCA	FLUKE-15B+		
		CODIGO DE SERIE		50631752WS	VALIDEZ DE CALIBRACIÓN	IT-00589-2025		
INSPECCIÓN DE FUNCIONAMIENTO				INSPECCIÓN VISUAL				
Indicadores LEDs		Esperado	Verificación	Función	Voltaje de Alimentación			
<input checked="" type="checkbox"/> CONTROLADOR	F	<input type="checkbox"/> OFF	<input type="checkbox"/> OK	Falla	Alimentación			
	R	<input checked="" type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OK	Funcionamiento Normal	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
	P	<input checked="" type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OK	Voltaje de alimentación apropiado	Controlador			
	Firmware				Puertos Conectados			
	COMUNICACIÓN ETHERNET PRUEBA				Placa de Identificación			
IP		-		Dirección IP Controlador				-PLC
MASK		-		Mascara de Red				
RX				Recepción de información Controlador				
TX				El controlador responde al comando ping				

Nota. La Figura 24 ilustra las pruebas de suministro eléctrico y comunicación llevadas a cabo en el PLC S7-1200 de la marca Siemens.

Figura 25

Protocolo de pruebas SAT de PLC-DI

DOCUMENTO		CLIENTE:	PLANTA QUIMICA		PROYECTO:	SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES EN UNA FÁBRICA DE QUIMICA		CÓDIGO			
-								-			
TAG:		-PLC	LUGAR:	LIMA	UNID:	6ES7214-1AG40-0XB0 <input checked="" type="checkbox"/>					
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN		TIPO/UNID		MULTÍMETRO	MARCA	FLUKE-15B+					
		CODIGO DE SERIE		50631752WS	VALIDEZ DE CALIBRACIÓN	IT-00589-2025					
DESCRIPCIÓN DE SEÑAL	TAG	Canal	Indicador LED		Especificación Bloque de Terminales		Tipo de Señal	Voltaje de entrada 0V	Voltaje de entrada 24V	CONDICIÓN FINAL	
			N°	Indicación	ID	Bloque de Terminales					
PARADA DE EMERGENCIA	-PE1	CH1	1	NA	-PLC	X1:1	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
RESET SIRENA	-S02	CH2	2	NC		X1:3	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
MANUAL	-S3_MAN	CH3	3	NA		X1:5	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
AUTOMÁTICO	-S3_AUT	CH4	4	NA		X1:7	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
BOMB. DOSF. (P01) START	-S04	CH5	5	NA		X1:9	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
BOMB. DOSF. (P01) STOP	-S05	CH6	6	NA		X1:11	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
BOMB. NEUM. (P02) START	-S6_STR	CH7	7	NA		X1:13	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
BOMB. NEUM. (P02) STOP	-S6_STP	CH8	8	NA		X1:15	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
VÁLV. 3 VÍAS (V02) RECIRCULAR	-S7_REC	CH9	9	NA		X1:17	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
VÁLV. 3 VÍAS (V02) DESCARGAR	-S7_DES	CH10	10	NA		X1:19	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
VÁLV. 2 VÍAS (V01) POSICIÓN CERRADA	-V01_CR	CH11	11	NA		X1:21	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
VÁLV. 2 VÍAS (V01) POSICIÓN ABIERTA	-V01_AB	CH12	12	NA		X1:23	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
VÁLV. 3 VÍAS (V02) POSICIÓN RECIRCULANDO	-V02_RES	CH13	13	NA		X1:25	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
VÁLV. 3 VÍAS (V02) POSICIÓN DESCARGAR	-V02_DES	CH14	14	NA		X1:27	XF24-2-4	DI	0 VDC	24 VDC	OK

Nota. La Figura 25 presenta las pruebas efectuadas al módulo de entradas digitales del PLC Siemens.

Figura 26

Protocolo de pruebas SAT de PLC-DO

DOCUMENTO		CLIENTE:	PLANTA QUIMICA		PROYECTO:	SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES EN UNA FÁBRICA DE QUIMICA		CÓDIGO			
-								-			
TAG:		-PLC	LUGAR:	LIMA	UNID:	6ES7214-1AG40-0XB0 <input checked="" type="checkbox"/>					
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN		TIPO/UNID	MULTÍMETRO		MARCA	FLUKE-15B+					
		CODIGO DE SERIE	50631752WS		VALIDEZ DE CALIBRACIÓN	IT-00589-2025					
DESCRIPCIÓN DE SEÑAL	TAG	Canal	Indicador LED		Especificación Bloque de Terminales		Tipo de Señal	Voltaje de entrada 0V	Voltaje de entrada 24V	CONDICION FINAL	
			N°	Indicación	ID	Bloque de Terminales					
ALARMA SONORA	-H01.1	CH1	1	NA	-PLC	X3:1	X3:2	DO	0 VDC	24 VDC	OK
ALARMA VISUAL	-H01.2	CH2	2	NA		X3:3	X3:4	DO	0 VDC	24 VDC	OK
BOMB. DOSIF. (P01) START	-H04	CH3	3	NA		X3:5	X3:6	DO	0 VDC	24 VDC	OK
BOMB. DOSIF. (P01) STOP	-H05	CH4	4	NA		X3:7	X3:8	DO	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH5	5	NA		X3:9	X3:10	DO	0 VDC	24 VDC	OK
VÁLV. 2 VÍAS (YV01) POSICIÓN ABIERTA	K1	CH6	6	NA		X3:11	X3:12	DO	0 VDC	24 VDC	OK
VÁLV. 2 VÍAS (YV01) POSICIÓN CERRADA	K2	CH7	7	NA		X3:13	X3:14	DO	0 VDC	24 VDC	OK
VÁLV. 3 VÍAS (YV02) POSICIÓN RECIRCULANDO	K3	CH8	8	NA		X3:15	X3:16	DO	0 VDC	24 VDC	OK
VÁLV. 3 VÍAS (YV02) POSICIÓN DESCARGAR	K4	CH9	9	NA		X3:17	X3:18	DO	0 VDC	24 VDC	OK
BOMB. DOSIF. (P01) ARRANQUE	K5	CH10	10	NA		X3:19	X3:20	DO	0 VDC	24 VDC	OK

Nota. La Figura 26 presenta las pruebas efectuadas al módulo de entradas digitales del PLC Siemens.

Figura 27

Protocolo de pruebas SAT de modulo A1-DI

DOCUMENTO		CLIENTE:	PLANTA QUIMICA		PROYECTO:	SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES EN UNA FÁBRICA DE QUIMICA		CÓDIGO			
-								-			
TAG:		-A1	LUGAR:	LIMA	UNID:	6ES7223-1PH32-0XB0 <input checked="" type="checkbox"/>					
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN		TIPO/UNID	MULTÍMETRO		MARCA	FLUKE-15B+					
		CODIGO DE SERIE	50631752WS		VALIDEZ DE CALIBRACIÓN	IT-00589-2025					
DESCRIPCIÓN DE SEÑAL	TAG	Canal	Indicador LED		Especificación Bloque de Terminales		Tipo de Señal	Voltaje de entrada 0V	Voltaje de entrada 24V	CONDICION FINAL	
			N°	Indicación	ID	Bloque de Terminales					
CONFIRMACIÓN ARRANQUE	-CONF_A	CH1	1	NA	-A1	X3:1	X3:2	DI	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH2	2	NA		X3:3	X3:4	DI	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH3	3	NA		X3:5	X3:6	DI	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH4	4	NA		X3:7	X3:8	DI	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH5	5	NA		X3:9	X3:10	DI	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH6	6	NA		X3:11	X3:12	DI	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH7	7	NA		X3:13	X3:14	DI	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH8	8	NA		X3:15	X3:16	DI	0 VDC	24 VDC	OK

Nota. La Figura 27 presenta las pruebas realizadas al módulo A1 de salidas digitales del fabricante Siemens.

Figura 28

Protocolo de pruebas SAT de modulo A1-DO

DOCUMENTO		CLIENTE: PLANTA QUIMICA			PROYECTO: SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES EN UNA FABRICA DE QUIMICA		CÓDIGO				
TAG:		LUGAR: LIMA		UNID: 6ES7223-1PH32-0XB0							
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN		TIPO/UNID: MULTÍMETRO		MARCA: FLUKE-15B+		VALIDEZ DE CALIBRACIÓN: IT-00589-2025					
DESCRIPCION DE SEÑAL	TAG	Canal	Indicador LED		Especificación Bloque de Terminales		Tipo de Señal	Voltaje de entrada 0V	Voltaje de entrada 24V	CONDICION FINAL	
			N°	Indicación	ID	Bloque de Terminales					
RESERVA	RESERVA	CH1	1	NA	A1	X3.1	X3.2	DO	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH2	2	NA		X3.3	X3.4	DO	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH3	3	NA		X3.5	X3.6	DO	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH4	4	NA		X3.7	X3.8	DO	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH5	5	NA		X3.9	X3.10	DO	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH6	6	NA		X3.11	X3.12	DO	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH7	7	NA		X3.13	X3.14	DO	0 VDC	24 VDC	OK
RESERVA	RESERVA	CH8	8	NA		X3.15	X3.16	DO	0 VDC	24 VDC	OK

Nota. La Figura 28 presenta las pruebas realizadas al módulo A1 de entradas digitales del fabricante Siemens.

Figura 29

Protocolo de pruebas SAT de modulo A2-AI

DOCUMENTO		CLIENTE: PLANTA QUIMICA			PROYECTO: SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES EN UNA FABRICA DE QUIMICA		CÓDIGO								
TAG:		LUGAR: LIMA		UNID: 6ES7234-4HE32-0XB0											
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN		TIPO/UNID: CALIBRADOR DE LAZO		MARCA: FLUKE-15B+		VALIDEZ DE CALIBRACIÓN: IT-00589-2025									
DESCRIPCION DE SEÑAL	TAG	Canal	Especificación Bloque de Terminales		Tipo de conexión en módulo		Corriente entrada 4mA	Corriente entrada 8mA	Corriente entrada 12mA	Corriente entrada 16mA	Corriente entrada 20mA	CONDICION FINAL			
			ID	Bloque de Terminales	ID	Bloque de Terminales									
TRANSMISOR DE NIVEL	LIT	CH1	A2	X5.1	X5.2	2 Hilos	<input checked="" type="checkbox"/>	4 Hilos	<input type="checkbox"/>	4mA	8mA	12mA	16mA	20mA	OK
ANALIZADOR DE PH	AIC	CH2		X5.3	X5.4	2 Hilos	<input checked="" type="checkbox"/>	4 Hilos	<input type="checkbox"/>	4mA	8mA	12mA	16mA	20mA	OK
RESERVA	RESERVA	CH3		X5.5	X5.6	2 Hilos	<input checked="" type="checkbox"/>	4 Hilos	<input type="checkbox"/>	4mA	8mA	12mA	16mA	20mA	OK
RESERVA	RESERVA	CH4		X5.7	X5.8	2 Hilos	<input checked="" type="checkbox"/>	4 Hilos	<input type="checkbox"/>	4mA	8mA	12mA	16mA	20mA	OK

Nota. La Figura 29 presenta las pruebas realizadas al módulo A2 de entradas análogas del fabricante Siemens.

Figura 30

Protocolo de pruebas SAT de modulo A2-AO

DOCUMENTO		CLIENTE:	PLANTA QUIMICA		PROYECTO:	SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES EN UNA FÁBRICA DE QUIMICA				CÓDIGO			
TAG:	-A2	LUGAR:	LIMA		UNID:	6ES7234-4HE32-0XB0 <input checked="" type="checkbox"/>							
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN		TIPO/UNID	CALIBRADOR DE LAZO		MARCA	FLUKE-15B+							
		CODIGO DE SERIE			VALIDEZ DE CALIBRACIÓN	IT-00589-2025							
DESCRIPCION DE SEÑAL	TAG	Canal	Especificación Bloque de Terminales		Tipo de conexión en módulo		Corriente entrada	Corriente entrada	Corriente entrada	Corriente entrada	Corriente entrada	VALORES ESCRITOS SOBRE LA ESTACION DE INGENIERIA	CONDICION FINAL
			ID	Bloque de Terminales	2 Hilos	4 Hilos	4mA	8mA	12mA	16mA	20mA		
RESERVA	RESERVA	CH1	X6.1	X6.2	2 Hilos <input checked="" type="checkbox"/>	4 Hilos <input type="checkbox"/>	4mA	8mA	12mA	16mA	20mA		OK
RESERVA	RESERVA	CH2	X6.3	X6.4	2 Hilos <input checked="" type="checkbox"/>	4 Hilos <input type="checkbox"/>	4mA	8mA	12mA	16mA	20mA		OK

Nota. La Figura 30 presenta las pruebas realizadas al módulo A2 de salidas análogas del fabricante Siemens.

2.3.4.5. Pruebas y validación del sistema automatizado. Una vez finalizado el conexiónado eléctrico y cargado el programa en el PLC S7-1200, se procedió a verificar detalladamente las señales eléctricas y la comunicación a través de la red Profinet, asegurando que cada componente estuviera correctamente configurado y sincronizado con el sistema de control. Con esta validación completada, se llevaron a cabo las pruebas SAT (Site Acceptance Testing) en campo, evaluando la funcionalidad del sistema en condiciones reales de operación, tal como se presenta en las figuras 21, 22, 23 y 24.

Posteriormente, se realizaron pruebas con los efluentes alcalinos generados en la planta, bajo condiciones reales de proceso. Estas pruebas permitieron validar el desempeño del sistema automatizado en las etapas de recepción, neutralización y descarga controlada, verificando el comportamiento de los equipos principales, como el sensor de nivel ultrasónico LU240, el sensor de pH HACH SC45000, la bomba dosificadora ProMinent GXLa, la bomba de diafragma Bozza PP-3/4-V y las válvulas de control Hayward.

Finalmente, en las figuras 25, 26, 27 y 28, se muestran los resultados comparativos obtenidos antes y después de la implementación del sistema automatizado, evidenciando una mejora significativa en la precisión del control de pH y nivel de señales análogas, la

reducción en el consumo de reactivos químicos y una mayor estabilidad en el cumplimiento de los parámetros ambientales establecidos por la normativa.

Tabla 8

Comparativo de ahorro de insumos

Aspecto	Antes	Después	Mejora
Método de Suministro	Manual	Automatizado	% Mejora
Cantidad de ácido clorhídrico (L)	840	820	2.4%

Nota. El Tabla 9 detalla los ahorros obtenidos en los insumos, expresados en nuevos litros.

También se presenta el rendimiento del sistema automatizado en relación con la precisión de la dosificación de ácido, la reducción de pérdidas en el suministro de reactivos y la optimización de los tiempos de neutralización de los efluentes alcalinos generados en la planta de soda cáustica.

Tabla 9

Comparativo de antes y después del sistema de neutralización

Aspecto	Antes	Después	Mejora
Método de Suministro	Manual	Automatizado	-
Mezclado con ácido	40 a 45 min (promedio)	20.9 a 21 min (promedio)	52.25% a 46.67% de mejora en tiempo

Nota. El Tabla 10 presenta una comparación porcentual de las mejoras logradas mediante la automatización del proceso de neutralización de efluentes, específicamente en el uso de insumos y en los tiempos de ejecución.

Al confirmar que el sistema de neutralización de efluentes operaba de manera óptima y cumplía con los parámetros de seguridad y calidad ambiental establecidos, se procedió a formalizar la aprobación del proyecto mediante un acta de conformidad firmada por el cliente. Este documento respalda la satisfacción del usuario con el servicio brindado y certifica que la implementación cumplió con todas las expectativas y requerimientos

definidos en la etapa de cotización. Con ello se dio por concluido exitosamente el proyecto de automatización del proceso de neutralización de efluentes en la planta de soda cáustica.

2.3.4.6. Resultados y mejora continua. La gestión del diseño e implementación de un sistema automatizado de esta investigación ha culminado en avances significativos que mejoran la calidad de la neutralización de efluentes, transformando la gestión ambiental y operativa de la planta y garantizando el cumplimiento de los estándares regulatorios. El éxito de este objetivo principal se evidencia mediante el resultado de los tres objetivos secundarios planteados, comenzando por mejorar el control de PH. Este se alcanzó al reemplazar el método anterior, un procedimiento manual obsoleto que dependía de la experiencia del operario para el vaciado de ácido clorhídrico desde recipientes IBC (1000 L) y la verificación mediante probetas, lo cual generaba tiempos prolongados, imprecisiones y un alto riesgo de exposición a sustancias corrosivas. El nuevo sistema implementado, donde el operario únicamente ingresa los valores de pH objetivo en la interfaz HMI (figura 3), permite un control confiable y continuo; el controlador de pH HACH SC45000 supervisa la variable crítica en tiempo real, mientras el PLC Siemens S7-1200 con sus módulos de expansión ejecuta la lógica de control, regulando de forma precisa la bomba dosificadora ProMinent para asegurar un cumplimiento estricto de los parámetros ambientales exigidos por la OEFA. Este nivel de precisión en el control permitió, a su vez, alcanzar reducir el consumo de recursos, ya que la dosificación optimizada eliminó las variaciones y el desperdicio de insumos inherentes al proceso manual, resultando en una optimización del consumo de ácido de aproximadamente un 2.4%, lo que disminuye pérdidas y costos operativos. Paralelamente, se cumplió con garantizar la eficiencia operativa en múltiples dimensiones: primero, el tiempo de neutralización promedio se ha reducido en más del 50%, liberando al operario para tareas de supervisión; segundo, se incrementó drásticamente la seguridad operativa al reducir la

manipulación directa de sustancias peligrosas. La eficiencia del proceso también se vio reforzada por la recirculación interna mediante bomba de diafragma, que asegura una mezcla homogénea del efluente, y por las válvulas automáticas de dos y tres vías que conmutan entre los modos de recirculación y descarga controlada, todo bajo la supervisión del sensor de nivel ultrasónico Siemens LU240. La fase final de la gestión del proyecto comprendió la instalación y programación siguiendo altos estándares de calidad industrial, validando la operatividad mediante pruebas FAT (Factory Acceptance Test) y SAT (Site Acceptance Test), que proporcionaron una base técnica confiable. En conclusión, el trabajo de automatización del sistema de neutralización de la planta de soda cáustica ha optimizado, en primer lugar, la eficacia, la seguridad durante el funcionamiento de la planta, y ha permitido consolidar la planta como una instalación ambientalmente correcta y tecnológicamente avanzada, por lo que se ha aproximado a un proceso de fabricación más sostenible y competitivo en el sector químico en ningún caso.

2.4.4 Tabla de inversión

A continuación, se presenta el Tabla de inversión desglosado por partidas, con el fin de facilitar un control más preciso del proyecto, en concordancia con el cronograma de avance mostrado en el diagrama GANTT del Anexo A

Tabla 10

Propuesta técnico - comercial

Ítem	Descripción	Cantidad (unidad)	Precio Unitario \$	Precio Total \$
SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES PLANTA SODA OQUENDO				
1.1	FABRICACIÓN DE TABLERO	1	\$ 5,800.00	\$ 5,800.00

- Fabricación de Tablero de control.
- Protocolos de pruebas FAT.
- Planos eléctricos y/o mecánicos.
- Entrega de tablero en Quimpac Oquendo.

CANALIZADO CONDUIT

1.2	<ul style="list-style-type: none"> - Corte, pintado y montaje de tubería Conduit IMC desde sala eléctrica hasta bandeja existente. - Corte, pintado y montaje de tubería conduit IMC desde bandeja existente hasta ubicación del tablero de control. - Corte, pintado y montaje de tubería conduit IMC desde tablero de control hasta sensores y/o actuadores. - Acabado de tubería conduit con arenado, epoxi y pintura RAL 7035(10 - 12 mils). - Uso de andamios y manlift. 	1	\$ 3,900.00	\$ 3,900.00
-----	--	---	-------------	-------------

TENDIDO Y CONEXIONADO ELECTRICO

1.3	<ul style="list-style-type: none"> - Tendido de cables eléctricos de fuerza, tierra y comunicación ethernet desde sala eléctrica hasta tablero de control. - Tendido de cables de control e instrumentación desde tablero de control hasta actuadores, transmisor de ph y transmisor de nivel. - Uso de andamios y manlift. 	1	\$ 2,200.00	\$ 2,200.00
-----	--	---	-------------	-------------

MONTAJE MECANICO.

1.4	<ul style="list-style-type: none"> - Montaje de tablero de control con protector hermético para HMI. - Montaje de medidor de PH en gabinete de poliéster. - Protección de bulbo con PVC hacia el buzón de efluentes. - Montaje de soporte metálico y transmisor de nivel tipo radar. - Corte de tapa metálica de poza de efluentes para montaje de transmisor de nivel y tubo de PVC. - Acabado de soportaría metálica con arenado, epoxi y pintura RAL 7035 (12 - 16 mils). 	1	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00
-----	--	---	-------------	-------------

PROGRAMACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO

1.5	<ul style="list-style-type: none"> - Programación de lógica de PLC en modo Manual y Automático. - Diseño de pantalla HMI con interfaz simple y efectiva para la operación del sistema. - Disponer de un registro histórico para las variables de proceso y de los eventos. - Validación de funcionamiento y afinaciones programa PLC. - Validación de funcionamiento y afinaciones de pantalla monitoreo. - Modificación de sistema SCADA Planta Soda 50Tn (Agregar una pantalla de monitoreo del proceso del sistema de neutralización zona efluente). - Validación de modificación en SCADA. - Acompañamiento con el cliente. - Documentación. 	1	\$ 2,700.00	\$ 2,700.00
-----	---	---	-------------	-------------

2	TOTAL		\$ 15,600.00
3	DESCUENTO		\$ 600.00
4	TOTAL, CON DESCUENTO		\$ 15,000.00

Nota. El Tabla 11 presenta el desglose de precios por partidas, conforme a la propuesta técnico-comercial entregada al cliente.

2.4 Análisis de resultados

El proyecto “Automatización del sistema de neutralización de efluentes en una planta de producción de soda cáustica” tiene como objetivo principal optimizar el tratamiento de aguas residuales mediante la implementación de un sistema automatizado de control, con miras a garantizar el cumplimiento normativo ambiental y elevar la eficiencia operativa de la planta en Lima, Perú, 2025.

Con base en los datos actuales y en los costos detallados, que ascienden a \$15,000 dólares americanos, se desarrolla un análisis de costo-beneficio orientado a evaluar la viabilidad económica del proyecto. Este análisis contempla no solo los beneficios tangibles derivados de la reducción en el consumo de reactivos químicos, la minimización de pérdidas y la disminución de tiempos de operación, sino también los costos asociados a la implementación, tales como la adquisición de componentes técnicos, el montaje de equipos, la integración de sistemas de control y los gastos generales del proceso.

En conjunto, esta evaluación respalda la pertinencia del proyecto, al demostrar que la automatización del sistema de neutralización no solo asegura el cumplimiento regulatorio, sino que también ofrece un retorno de inversión sostenible a través de la eficiencia, la seguridad operacional y la reducción de riesgos ambientales.

2.4.1 Costos del Proyecto

Los costos del proyecto incluyen desde la adquisición de equipos y componentes eléctricos hasta la programación e instalación, así como los gastos generales de operación:
Costo Total del Proyecto: \$15,000.00 dólares americanos.

Este monto cubre la compra de componentes eléctricos, fabricación del tablero de control Rittal AX 1058.000, pruebas de sensores y actuadores, programación del PLC S7-1200 y del HMI, además de los materiales asociados a la automatización del proceso de neutralización de efluentes, así como los gastos generales necesarios para la implementación, como se detalla en el Tabla 11.

2.4.2 Beneficios del Proyecto

2.4.2.1 Beneficios tangibles.

a) Incremento de la eficiencia operativa. La automatización del sistema de neutralización de efluentes permite reducir significativamente los tiempos de operación. El mezclado con ácido, que antes demandaba entre 40 y 45 minutos en promedio, ahora se ejecuta en un rango de 20.9 a 21 minutos, lo que representa una mejora del 52.25 % al 46.67 % en la eficiencia operativa, según lo evidenciado en el Tabla 10.

b) Reducción de costos operativos. El sistema automatizado de control de pH y al suministro dosificado mediante bombas automáticas, el consumo de ácido clorhídrico se optimizó, pasando de 840L a 820L, lo que refleja una reducción cercana al 2.4 % en insumos químicos.

c) Mejora de la calidad de neutralización. El control automatizado de variables críticas como pH y nivel asegura que los efluentes tratados cumplan de manera constante con los parámetros ambientales exigidos, mejorando la confiabilidad del proceso y garantizando descargas controladas que cumplen con la normativa de vertimientos.

2.4.2.2 Beneficios intangibles.

a) Mejora de la seguridad operacional. La reducción de la manipulación manual de sustancias corrosivas disminuye los riesgos de accidentes laborales, protegiendo al personal de exposición directa a productos altamente peligrosos.

b) Reducción del desgaste de equipos. La operación controlada de bombas, válvulas y sensores bajo parámetros automatizados reduce el desgaste prematuro, prolongando la durabilidad de los equipos y disminuyendo los costos de mantenimiento correctivo.

2.4.3 Cálculo del Retorno de Inversión (ROI)

Para calcular el retorno de la inversión del proyecto de automatización del sistema de neutralización de efluentes en la planta de soda cáustica, se consideran los beneficios anuales generados por la reducción en el consumo de ácido clorhídrico frente a la inversión inicial. Para este análisis se toma como referencia el porcentaje de ahorro económico por disminución de pérdidas de insumos, tal como se detalla en el Tabla 9. Con esta información es posible estimar el tiempo necesario para recuperar la inversión realizada mediante los ahorros generados en la operación.

A continuación, se presenta la fórmula utilizada para calcular el retorno de inversión del sistema automatizado de neutralización de efluentes en la planta de soda cáustica:

$$X = ((A+B) * D * M) / T$$

- X: Retorno mensual en dólares.
- A: Ahorro en ácido clorhídrico (S/. por ciclo).
- B: Ahorro de Mano de obra por ciclo (S/. por ciclo).
- D: Número de ciclos diarios de operación.
- M: Número de días de trabajo al mes.
- T: Tasa de cambio a dólares

Tabla 11*Retorno de Inversión*

Mes	Retorno mensual (X)	Retorno acumulado	Inversión inicial pendiente
1	\$ 3,234.70	\$ 3,234.70	\$ 11,765.30
2	\$ 3,234.70	\$ 6,469.40	\$ 8,530.60
3	\$ 3,234.70	\$ 9,704.10	\$ 5,295.90
4	\$ 3,234.70	\$ 12,938.80	\$ 2,061.20
5	\$ 3,234.70	\$ 16,173.50	\$ -1,173.50
6	\$ 3,234.70	\$ 19,408.20	\$ -4,408.20

Nota. Considerando una producción de dos ciclos diarios durante 26 días al mes, y según los porcentajes indicados en el Tabla 9, se puede comprobar que el retorno de la inversión se alcanza en el quinto mes.

2.4.4 Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

A continuación, para la evaluación financiera del proyecto de tratamiento de efluentes en la fábrica química, que requiere una inversión inicial de \$15,000, luego de verificar la tasa de descuento anual (k) con el área contable se ha establecido un valor del 20%. Dado que el análisis del Valor Actual Neto (VAN) se realizará con flujos de caja mensuales, se utilizará la tasa de descuento mensual equivalente, la cual es de aproximadamente 1.53%:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

- n: Numero de periodos.
- t: Periodo.
- Ft: Flujo de caja
- k: Tasa de descuento anual.
- I₀: Inversión inicial.

$$VAN = -15000 + \frac{10,000}{(1+k)^1} + \frac{10,000}{(1+k)^2} + \frac{10,000}{(1+k)^3} \dots \frac{10,000}{(1+k)^6}$$

$VAN = \$ 40,597.58$ (Van positivo rentable)

2.4.5 Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para el proyecto de implementación del sistema de tratamiento de efluentes en la fábrica química, que tiene una inversión de \$15,000, se procedió a calcular su Tasa Interna de Retorno (TIR). Este indicador clave representa la tasa de descuento específica que iguala a cero el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto, marcando así la rentabilidad intrínseca de la inversión:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} - I_0$$

- n: Numero de periodos.
- t: Periodo.
- Ft: Flujo de caja
- TIR: Tasa Interna de Retorno.
- I_0 : Inversión inicial.

$$0 = -15000 + \frac{10,000}{(1+TIR)^1} + \frac{10,000}{(1+TIR)^2} + \frac{10,000}{(1+TIR)^3} \dots \frac{10,000}{(1+TIR)^6}$$

El resultado de este cálculo es:

$$TIR_{Mensual} = 63.13\%$$

Para entender la magnitud anual de esta rentabilidad, la convertimos a una Tasa Efectiva Anual:

$$TIR_{Anual} = (1 + 0.6313)^{12} - 1$$

$TIR_{Anual} = 35,411.8\%$ (Es mayor que “k”, es rentable para inversión)

2.4.6 Análisis cualitativo.

A) Impacto en la flexibilidad operacional: La automatización aumenta la capacidad del proceso de neutralización de efluentes para que el sistema HMI permita realizar ajustes rápidos en los parámetros de operación que permiten adaptar la dosificación de ácido así como el control de nivel a las variaciones en el caudal y en la composición de los efluentes, y esta flexibilidad reduce el riesgo de paradas operativas y garantiza la continuidad del proceso de tratamiento sin interferir en la producción principal de la planta.

B) Contribución a la Innovación: La puesta en práctica de tecnología de tipo avanzado, con respecto al PLC S7-1200 y a sensores industriales de pH y nivel, no solamente se hace cargo de optimizar la eficiencia del tratamiento de efluentes, sino que, al mismo tiempo, otorgan a la empresa el rol de compañía emblemática en relación con la industria química debido a su perseverancia para con la sostenibilidad ambiental, de manera que esté continuación de tratamiento de efluentes, también constituye el punto de partida para futuras ampliaciones o para integrarse con sistemas SCADA, para garantizar el progreso tecnológico de la planta y mantenerla a la vanguardia en cuestión de cumplimiento ambiental.

La iniciativa de proyecto asignado “Automatización del sistema de neutralización de efluentes en una planta de soda cáustica” ha dado lugar a numerosas e interesantes mejoras en términos de seguridad y de confiabilidad del proceso y se ha enmarcado en un esquema de sostenibilidad que argumenta la responsabilidad que la empresa tiene con el entorno social y el medio ambiente. Al mismo tiempo, esta ejecución también ha puesto de manifiesto la idea de que el foco de toda esa ejecución tiene una base que argumenta la lógica de la responsabilidad social y medioambiental. Y, por otro lado, ha pasado a ser un modelo que refleja la eficiencia y la protección medioambiental para la industria química.

III. APORTES MÁS DESTACABLES DE LA EMPRESA / INSTITUCIÓN

A continuación, se detallan los aportes más destacados de Sielec Industrial E.I.R.L., cuyos efectos han contribuido a consolidar la gestión de proyectos eléctricos e industriales en importantes empresas del sector productivo. Estos logros no sólo han permitido optimizar la seguridad y confiabilidad de las operaciones, sino también mejorar considerablemente la productividad y sostenibilidad.

MOLITALIA: En el ámbito de la modernización de instalaciones y mantenimiento industrial en líneas de producción de alimentación, Sielec encontró su punto de partida para participar en la modernización de tableros eléctricos implementando equipos de control automatizados, lo que permitió reducir los tiempos de parada y aumentar la disponibilidad de los equipos de planta.

NESTLÉ: Para esta compañía, Sielec llevó a cabo desarrollos de proyectos de subestaciones eléctricas e instalaciones para alta capacidad, permitiendo así el suministro seguro de energía en procesos de producción mucho más críticos. La correcta ejecución de estas soluciones permitió garantizar la calidad de los productos y la continuidad de la operación en el marco de los estándares internacionales más altos.

FAMESA EXPLOSIVOS: En relación a proyectos de mantenimiento industrial y sistemas de electricidad, Sielec llevó a cabo la instalación de armarios de control, así como sistemas de puesta a tierra en los centros de producción de explosivos. Gracias a esta ejecución se evidenció la continuidad operativa en ambientes exigentes, reduciendo riesgos eléctricos, así como también mejorando la seguridad de los procesos.

ENAEEX: Sielec aportó su experiencia en mantenimiento de equipos eléctricos industriales y en la instalación de sistemas de puesta a tierra en lugares de alto riesgo. Estas tareas ayudaron a incrementar la seguridad en planta y a mejorar la eficiencia de las operaciones mineras y de fabricación de insumos energéticos.

EXSUR: La compañía decidió contar con Sielec para el diseño y construcción de tableros eléctricos que permitirían el control de procesos de industria. Estos sistemas favorecieron una optimización del funcionamiento de los equipos en campo, cumpliendo el objetivo de aumentar la exactitud y disminuir las pérdidas energéticas que estaban originadas en la operación manual.

TOTTUS: Sielec ha ejecutado en el ámbito retail sus instalaciones eléctricas y mantenimiento preventivo de subestaciones de centros de distribución y locales comerciales. Ese trabajo permitió asegurar la continuidad de las operaciones, así como reducir riesgos de interrupción y aumentar la fiabilidad del suministro eléctrico en entornos de alta demanda.

Los proyectos desarrollados son una muestra de la versatilidad de Sielec Industrial E.I.R.L. se adapta a diferentes sectores productivos y entrega soluciones integrales en automatización, seguridad eléctrica y mantenimiento industrial, su compromiso con la calidad y la innovación lo posiciona como un partner estratégico en la modernización y sostenibilidad de los procesos industriales en el Perú.

IV. CONCLUSIONES

- Conforme al objetivo general, se ha culminado con éxito el diseño y la implementación del sistema automatizado, logrando una mejora palpable en la calidad de la neutralización de efluentes. El sistema elimina el margen de error humano, facilitando la forma de procesar dos batch's por día de forma segura y consistente. Esta implementación no solo le asegura el cumplimiento normativo (sanciones de la OEFA de hasta 15 000 UIT), sino que también genera un impacto ambiental positivo directo al proteger el ecosistema marino. La automatización del proceso está fundamentada en un PLC (S7-1200) como procesador principal y un HMI (KTP 700 Basic) que permite un manejo realmente intuitivo, probando ser un sistema robusto y confiable.
- En relación con el primer objetivo específico, se logró una mejora sustancial en el control del pH. Esta mejora se realizó con la automatización del sistema implementando un monitoreo preciso de pH con un sensor (6028P0), encargado de la lectura de pH y el controlador (SC45000) que procesa la señal del sensor para enviarla al PLC y posteriormente reflejar este valor numérico de pH a través del HMI (Figura 3), el sistema no solo visualiza el pH en tiempo real, sino que habilita la función esencial de ingresar el setpoint (valor de pH deseado). Esta capacidad de configurar el setpoint es el pilar de la mejora, pues permite al sistema automatizado tomar acciones correctivas para alcanzar y mantener la neutralización del efluente requerido en la fábrica química.
- Siguiendo con el segundo objetivo específico, se logró una reducción significativa en el consumo de recursos mediante la optimización del proceso de dosificación. La integración de la bomba ProMinent (modelo GXLa) al sistema automatizado permitió un control de alta precisión, eliminando el desperdicio. Esto se tradujo en una reducción cuantificable del 2.4% en el uso de ácido clorhídrico (Tabla 9), el equivalente

a 20 litros por batch. Considerando el elevado costo de dicho insumo, esta optimización representa una mejora sustancial que impacta directamente en la rentabilidad y sostenibilidad del proceso de neutralización.

- Finalmente, en cumplimiento del tercer objetivo específico, se logró un incremento del 50 % en promedio (Tabla 10) en la eficiencia operativa respecto a la operación manual. La implementación del sistema automatizado, específicamente la bomba de diafragma (PP-3/4-V) cuyas funciones son recircular y descargar el efluente, optimizó los ciclos del proceso y redujo significativamente el tiempo de mezclado de ácido. Esta automatización eliminó la dependencia del operario, mejorando la consistencia del resultado.

V. RECOMENDACIONES

- El sistema de neutralización de efluentes implementado actualmente con un tanque de $1.5 \times 1.5 \times 2$ m y un IBC de 1000 litros ha demostrado ser eficiente; sin embargo, para optimizar su desempeño se recomienda sustituir las válvulas ON/OFF por válvulas proporcionales que permitan un control más preciso en la dosificación de ácido.
- Instalar un agitador en el tanque principal para garantizar una mezcla homogénea de los efluentes.
- Mejorar la integración del sistema en el HMI/SCADA incorporando alarmas configurables y reportes históricos de consumo de ácido y evolución del pH.
- Estas mejoras fortalecerán la confiabilidad del sistema, optimizarán el consumo de reactivos y garantizarán un control más estable y seguro del proceso de neutralización.

VI. REFERENCIAS

- Artagaveyti y Gutiérrez. (2013). *Sensores Capacitivos*. 1. https://www.academia.edu/36551942/Sensores_Capacitivos?auto=download
- Balcells, J., y Romeral, J. L. (2012). *Autómatas programables*. Marcombo. https://books.google.com.pe/books?id=xfSjADge70C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Bolton, W. (2019). *Mechatronics: Electronic control systems in mechanical and electrical engineering* (7a ed.). https://books.google.com.pe/books?id=BIV1DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Boylestad, R. L., y Nashelsky, L. (2018). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos* (10a ed.). https://hugochoque.com/documentos/Electronica_Boylestad_10a_Ed.pdf
- Brunete, A., San Segundo, P., y Herrero, R. (2025). *Introducción a la Automatización Industrial*. Universidad Politécnica de Madrid. https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/intro_automatica.pdf
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (8a ed.). http://academia.edu/14196268/Instrumentacion_industrial_Creus_8th
- Daneri, P. (2008). PLC: Automatización y Control Industrial. En *Paper Knowledge. Toward a Media History of Documents* (1a ed., Vol. 1, Issue 2). Hasa. <https://es.scribd.com/document/376251203/PLC-Automatizacion-y-Control-Industrial>
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias (7 de junio de 2017). <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>

Dorf, R. C., y Bishop, R. H. (2011). *Modern control systems* (12a ed.). Prentice Hall.

<https://www.muslimuniversity.edu.af/uploads/library/Modran%20control%20System%20904.pdf>

Escaño, J., García, J., y Nuevo, A. (2019). Integración de sistemas de automatización industrial.

En C. Lara (Ed.), Ediciones Praninfo, SA (1a ed.). Paraninfo.

<https://books.google.com.pe/books?id=gj2dDwAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

Groover, M. P. (2016). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (4a ed.).

https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292076126_A24270953/preview-9781292076126_A24270953.pdf

Hayward Industries. (2025). Actuator eléctrico serie ECP 530. Hayward Flow Control.

https://www.haywardflowcontrol.com/en_us/ecp5

Mandado, E., Marcos, J., y Fernández, C. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*.

<https://books.google.es/books?id=5jp3bforBB8C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Muslimin y Nurhayati, J. (2023). Implementation of Forward Reverse Control and Monitoring on Three Phase Motor with Siemens S7-1200 PLC Based on LabView HMI and OPC.

JEAT: Journal of Electrical and Automation Technology, 2(1), 39–45.

<https://doi.org/10.61844/jeat.v2i1.513>

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5a ed.). Pearson Educación.

<https://ingenierovizcaino.com/material/libros/sd/ingenieria-de-control-moderna-ogata-5ed.pdf>

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

<https://es.scribd.com/document/706248856/Programmable-Logic-Controllers-by-Frank-D-Petruzella>

Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A., y Doyle III, F. J. (2020). *Process Dynamics and*

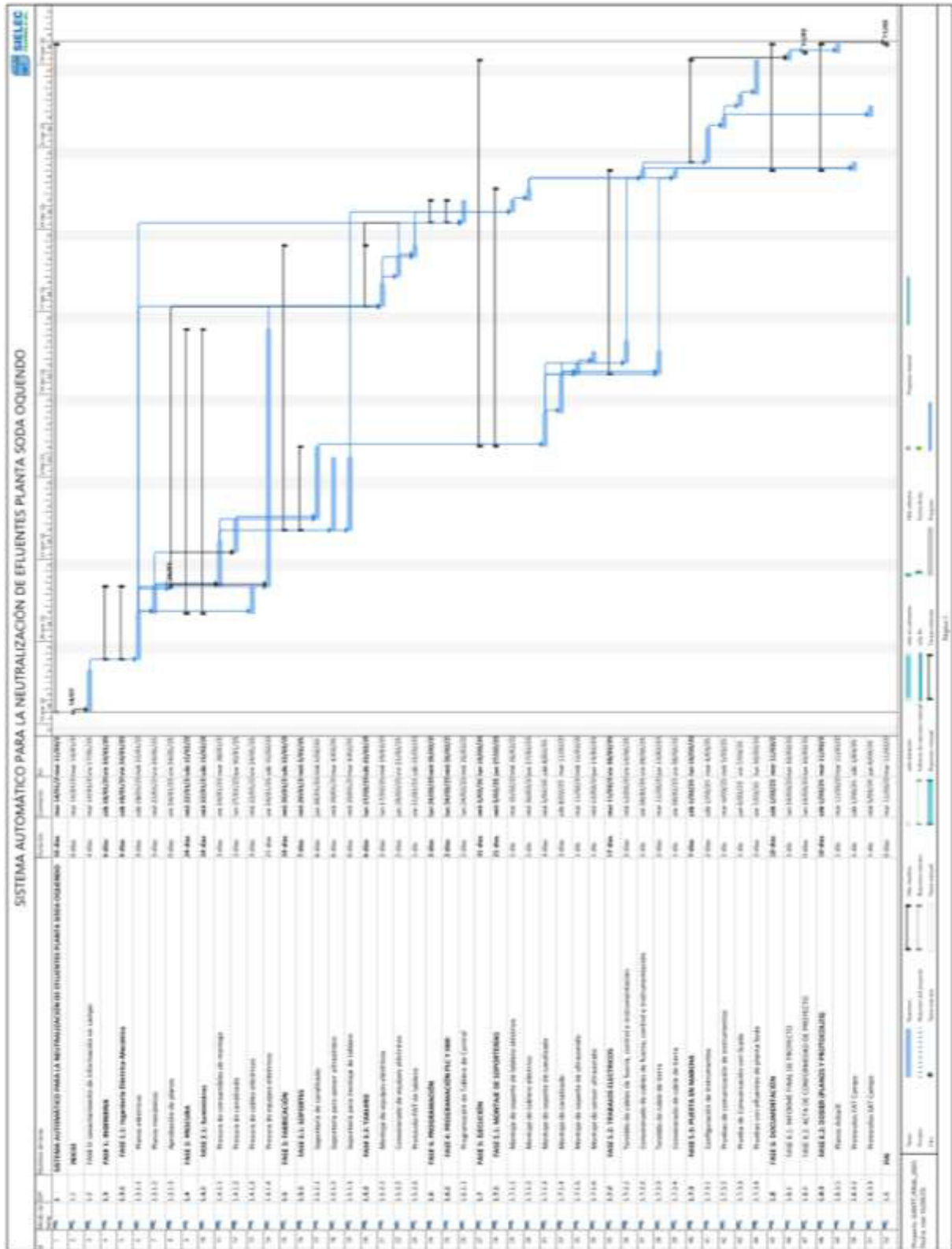
Control (5a ed.). Wiley, https://elmoukrie.com/wp-content/uploads/2022/06/process-dynamics-and-control-dale-e.-seborg-thomas-f.-edgar-etc.-z-lib.org_.pdf

Ticino del Perú. (s.f.). *Tableros eléctricos*. [https://www.bticino.com.pe/es/e-catalogo/tableros-](https://www.bticino.com.pe/es/e-catalogo/tableros-y-protecciones-electricas/tableros-electricos)

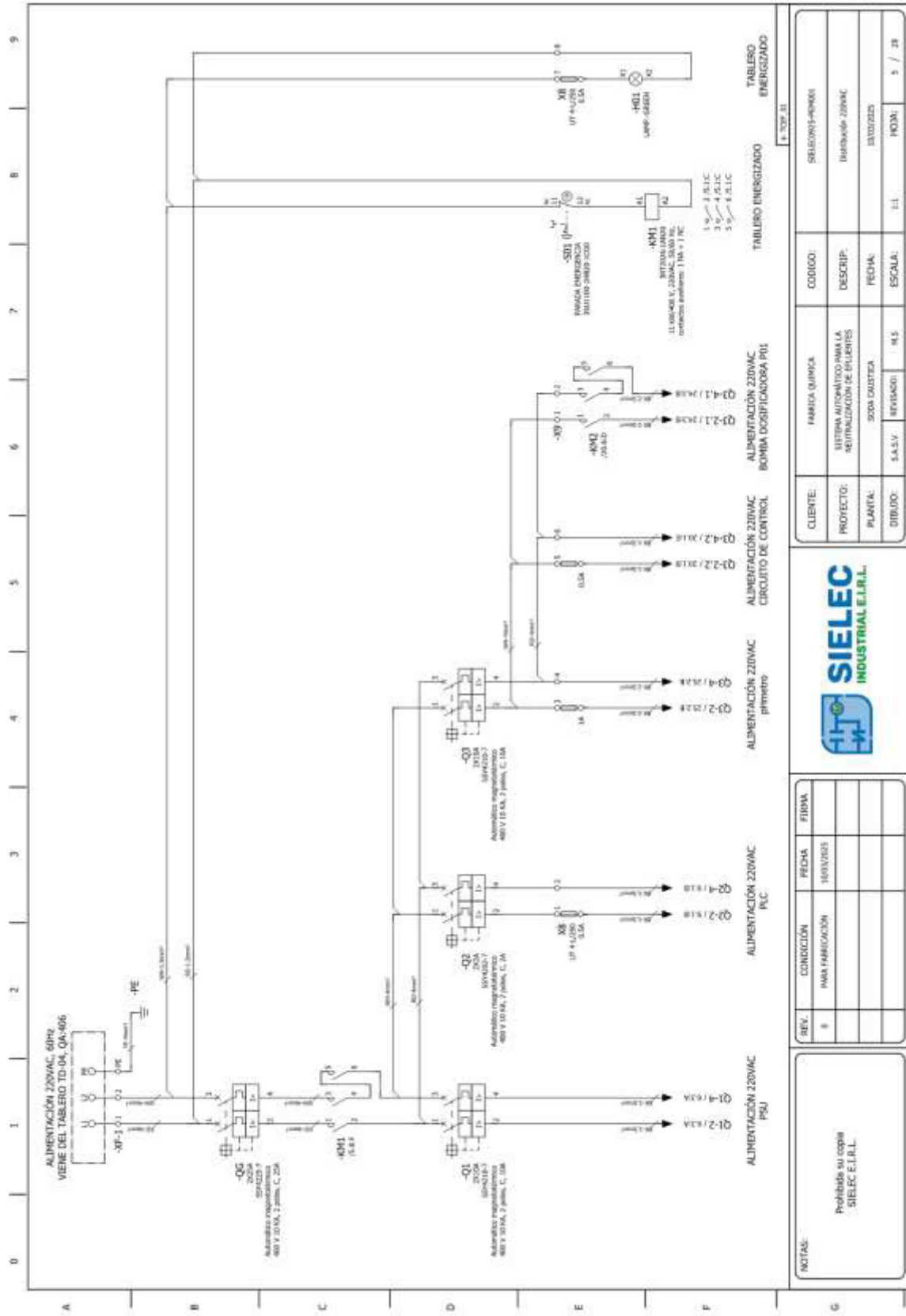
[y-protecciones-electricas/tableros-electricos](https://www.bticino.com.pe/es/e-catalogo/tableros-y-protecciones-electricas/tableros-electricos)

VII. ANEXOS

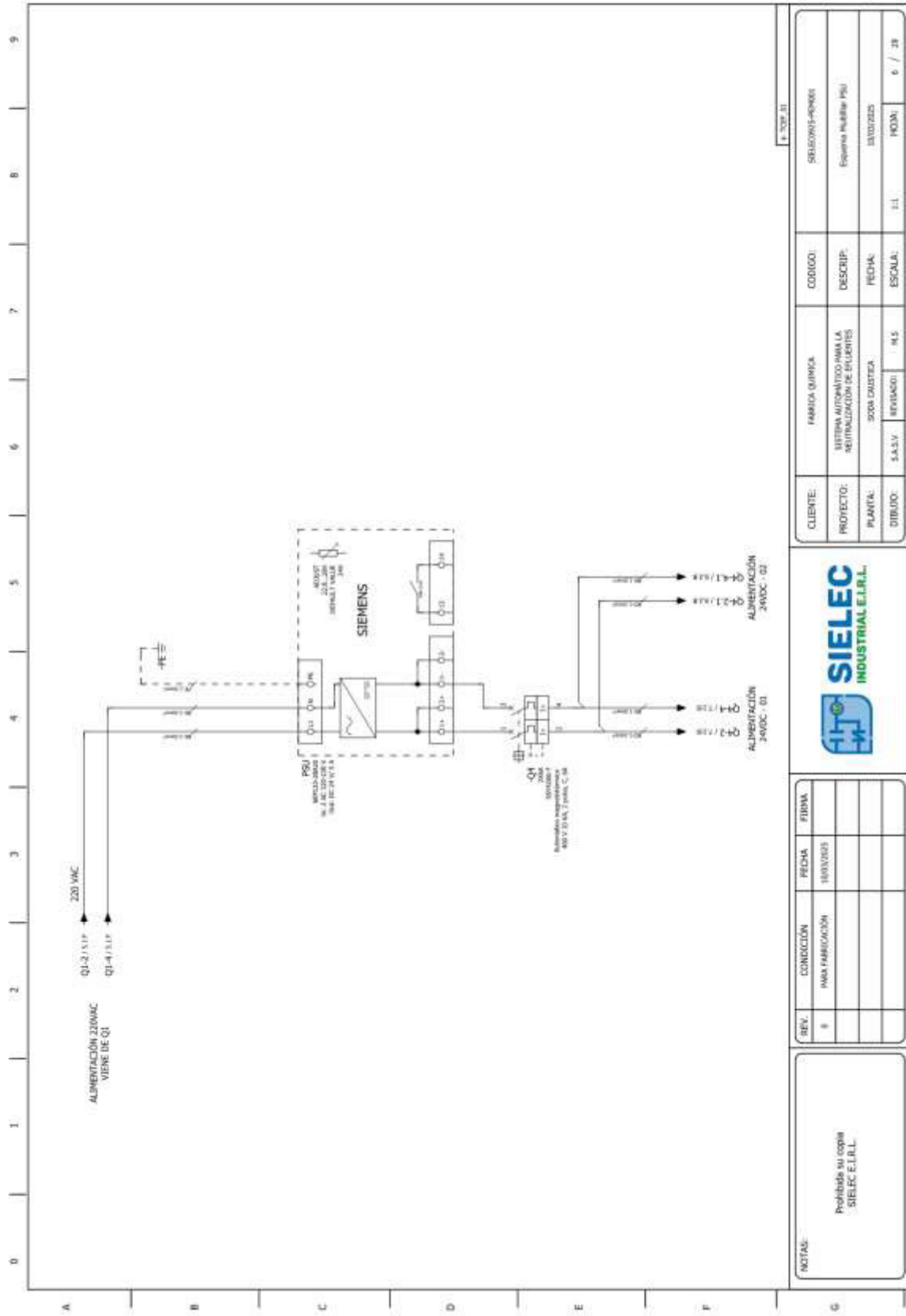
Anexo A – Diagrama de Gantt del Sistema automático para la neutralización de efluentes



Anexo B – Diagrama de distribución eléctrica 220VAC



Anexo C – Esquema Multifilar PSU



CODIGO:	SIELEC0003-000004
DESCRIP:	Esquema Multifilar PSU
FECHA:	13/10/2025
ESCALA:	1:1
HODM:	6 / 28

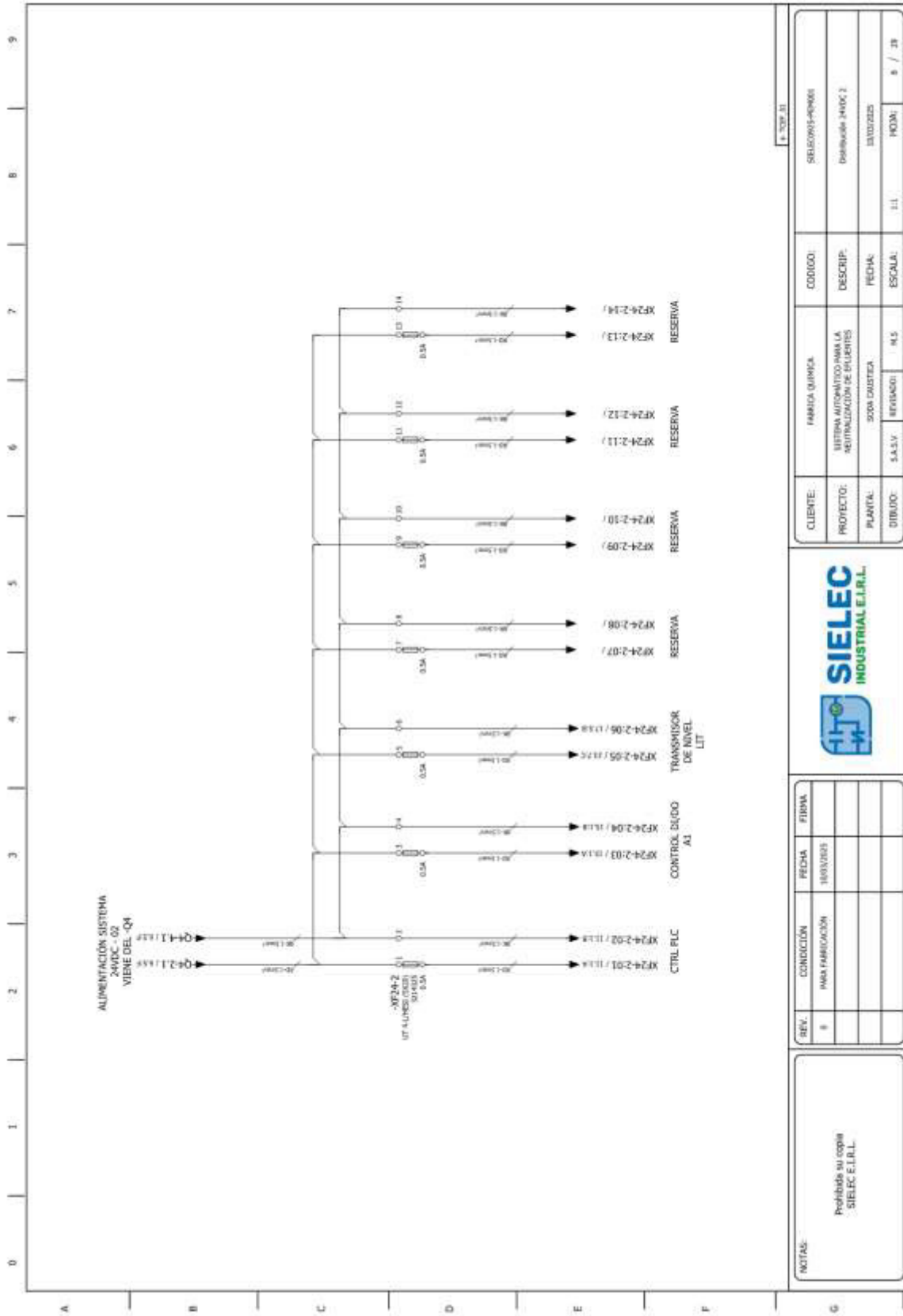


REV.	CONDICIÓN	FECHA	FIRMA
0	PARA FABRICACIÓN	18/07/2025	

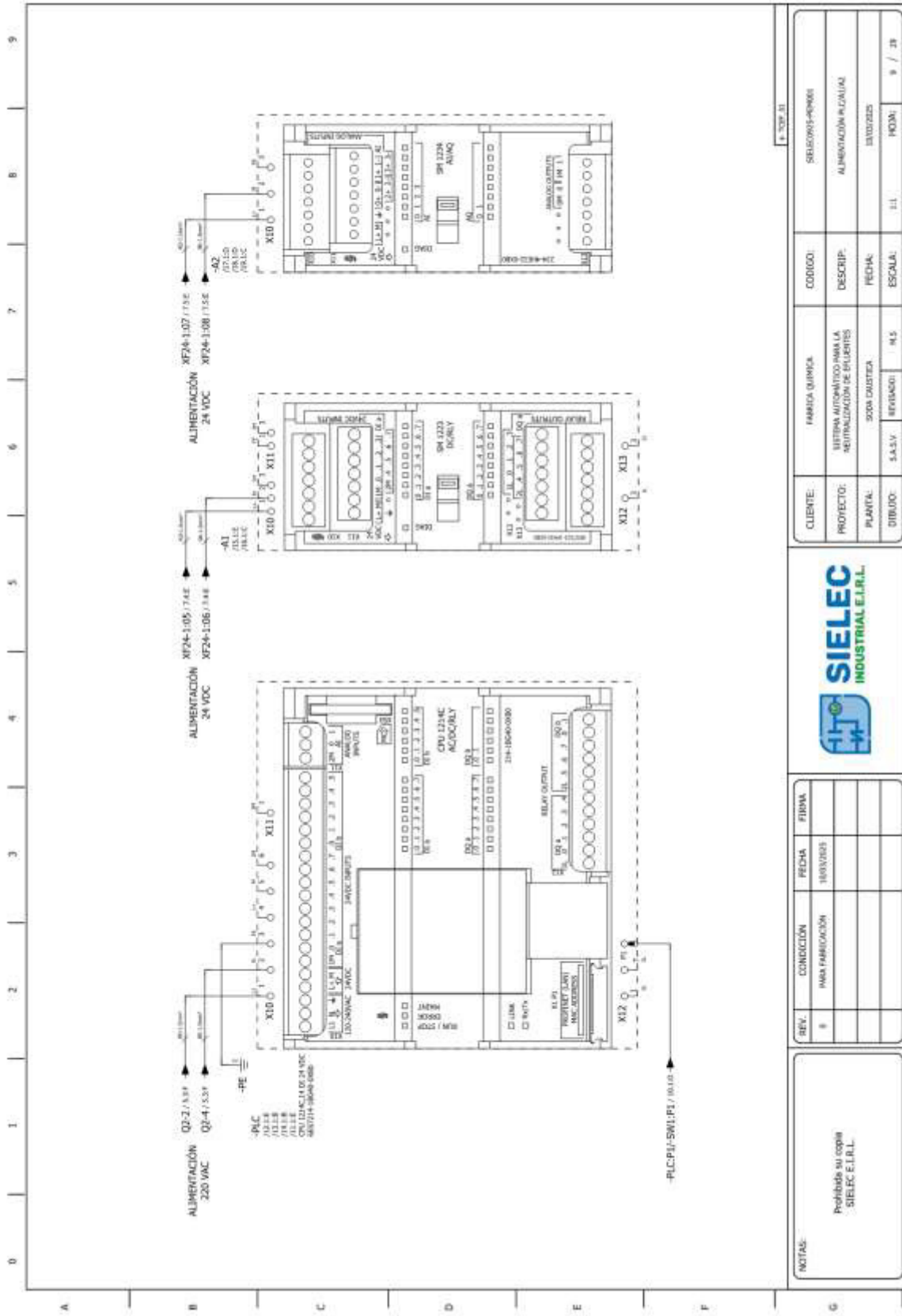
CLIENTE:	FABRICA QUINCA
PROYECTO:	SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PLANTAS
PLANTA:	SOCA DASTECA
DIBUJO:	S.A.S.V. REVISADO: N.5

2025-31

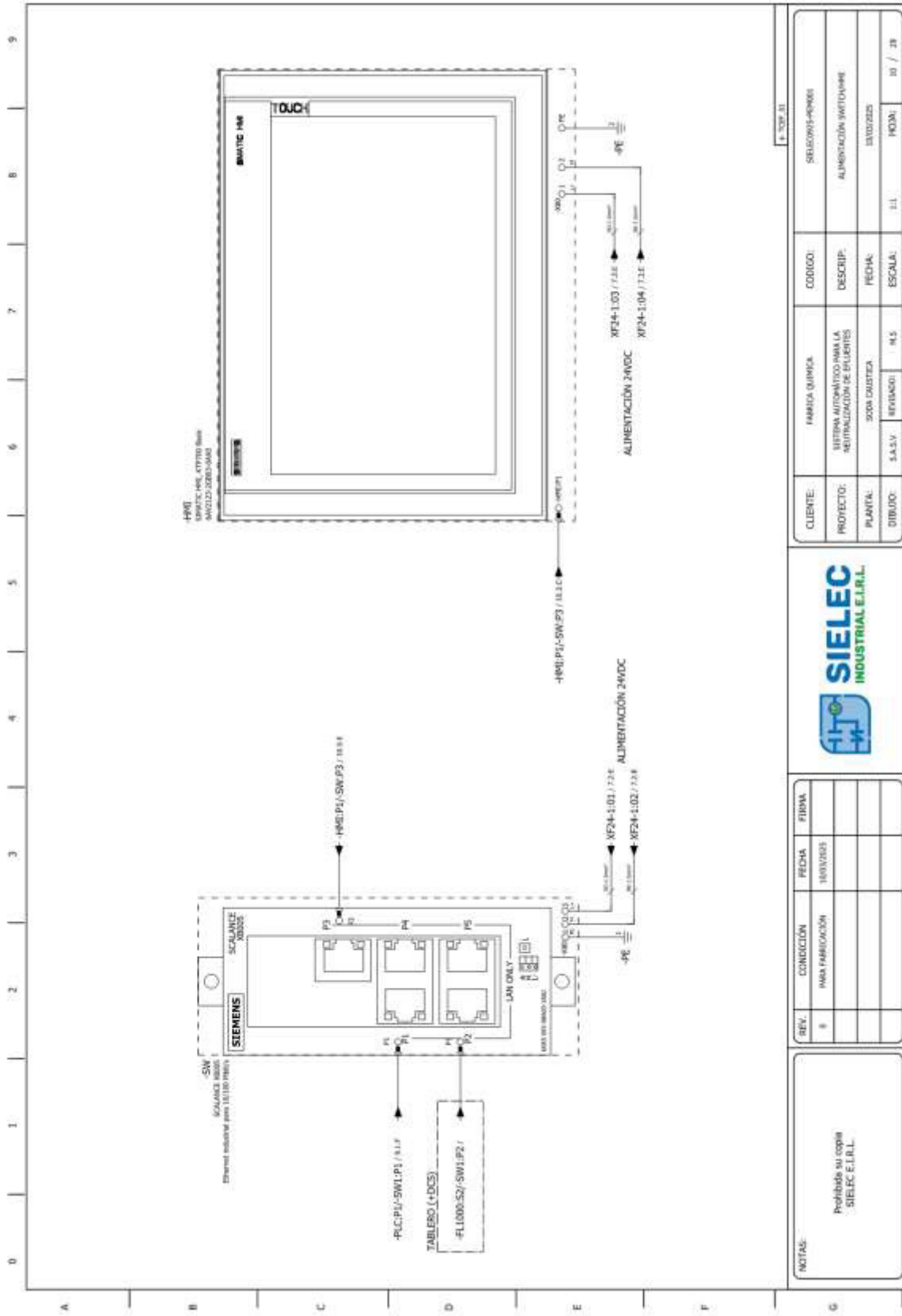
Anexo E - Diagrama de distribución eléctrica 24VDC - 2



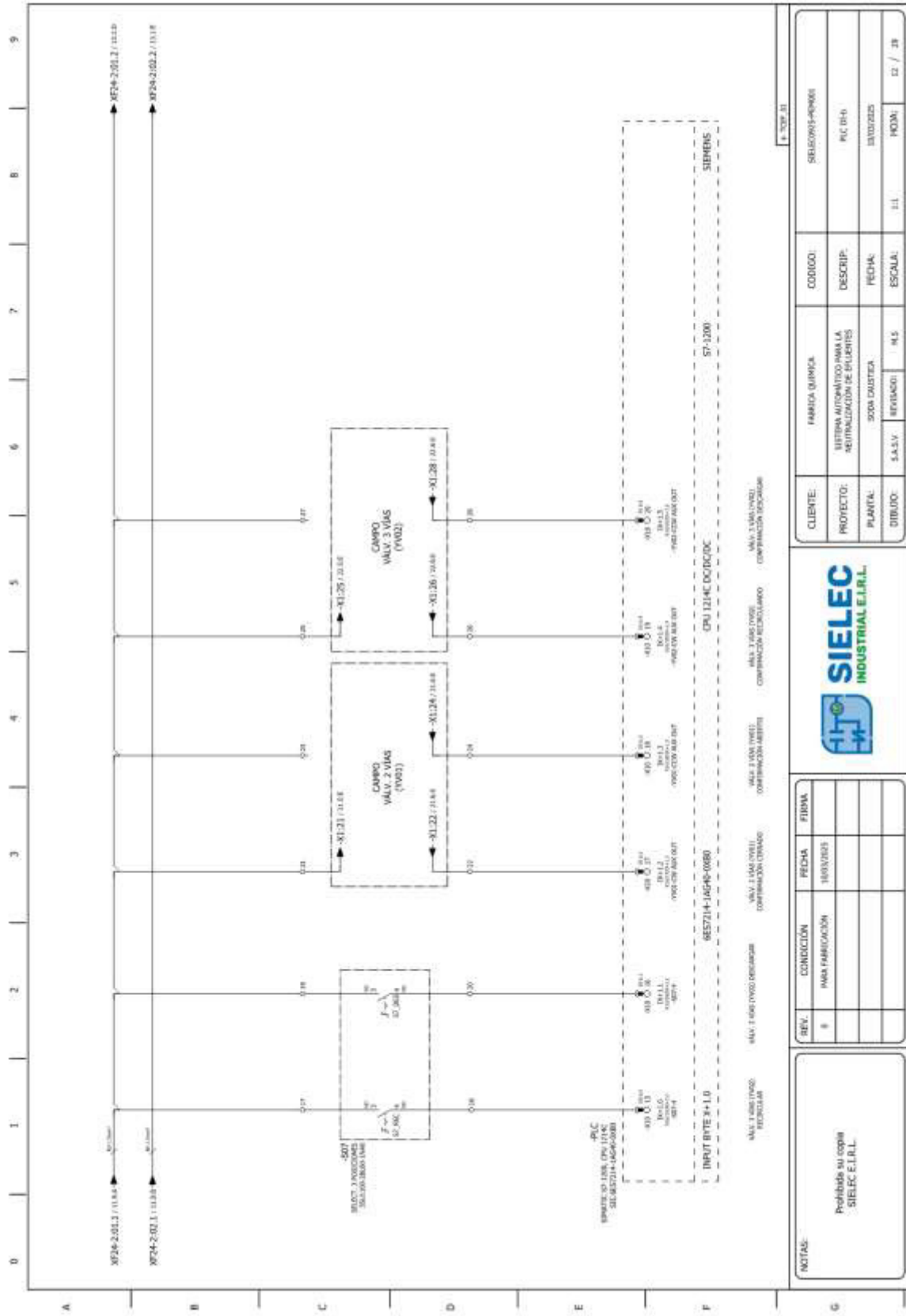
Anexo F – Diagrama de alimentación PLC/A1/A2



Anexo G - Diagrama de alimentación SWITCH/HMI



Anexo I - Diagrama de Conexiones PLC DI-b



CUENTE:	FABRICA QUINCA	CODIGO:	SIELC0001-0000
PROYECTO:	SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA AUTOMATIZACION DE FLUENTES	DESCRIP:	PLC DI-b
PLANTA:	SIDA DUSTECA	FECHA:	13/10/2025
DIBUJO:	S.A.S.V	REVISADO:	N.5
		ESCALA:	1:1
		HORA:	02 / 28

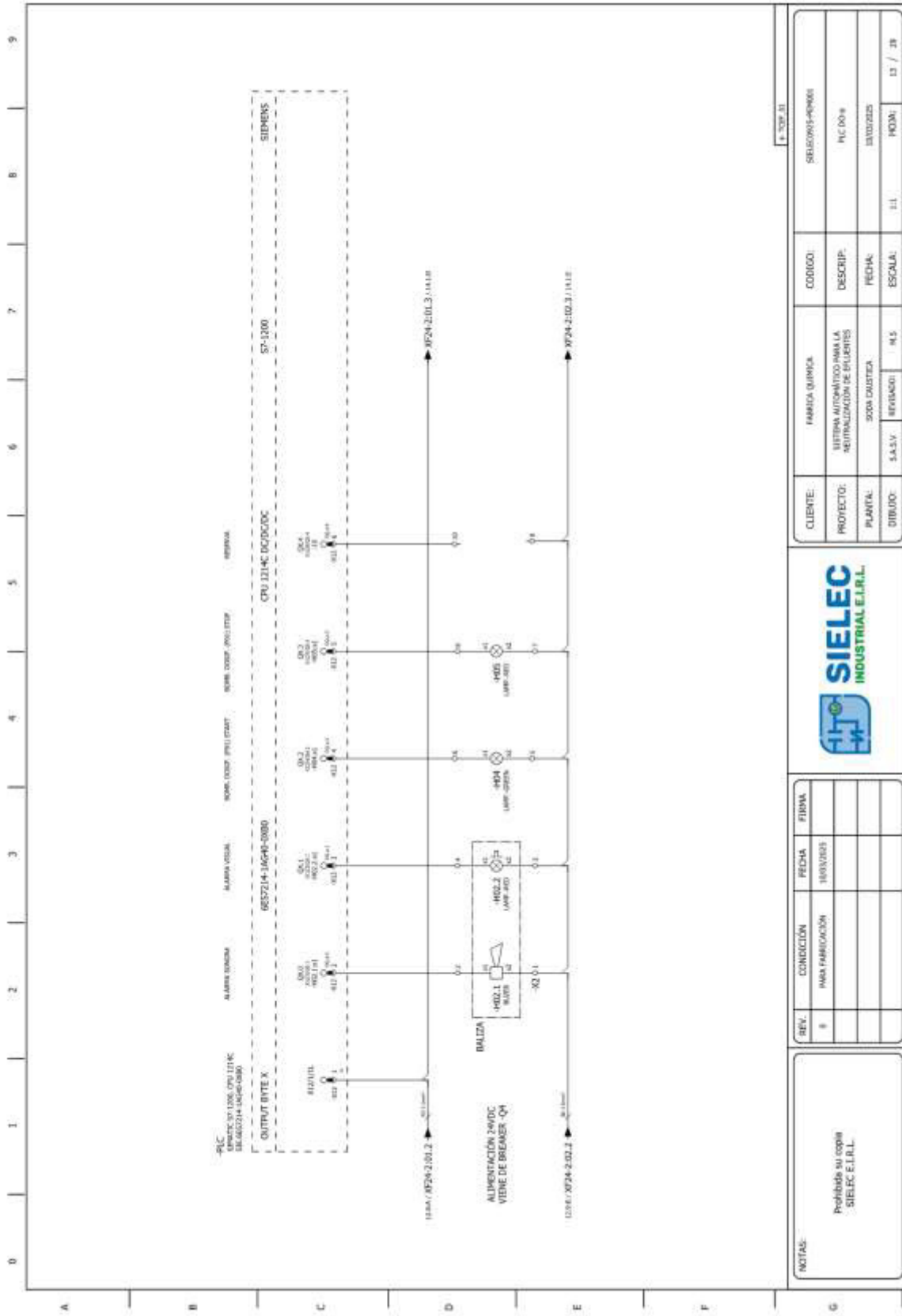


REV.	CONDICION	FECHA	FIRMA
1	PARA FABRICACION	10/07/2025	

NOTAS:

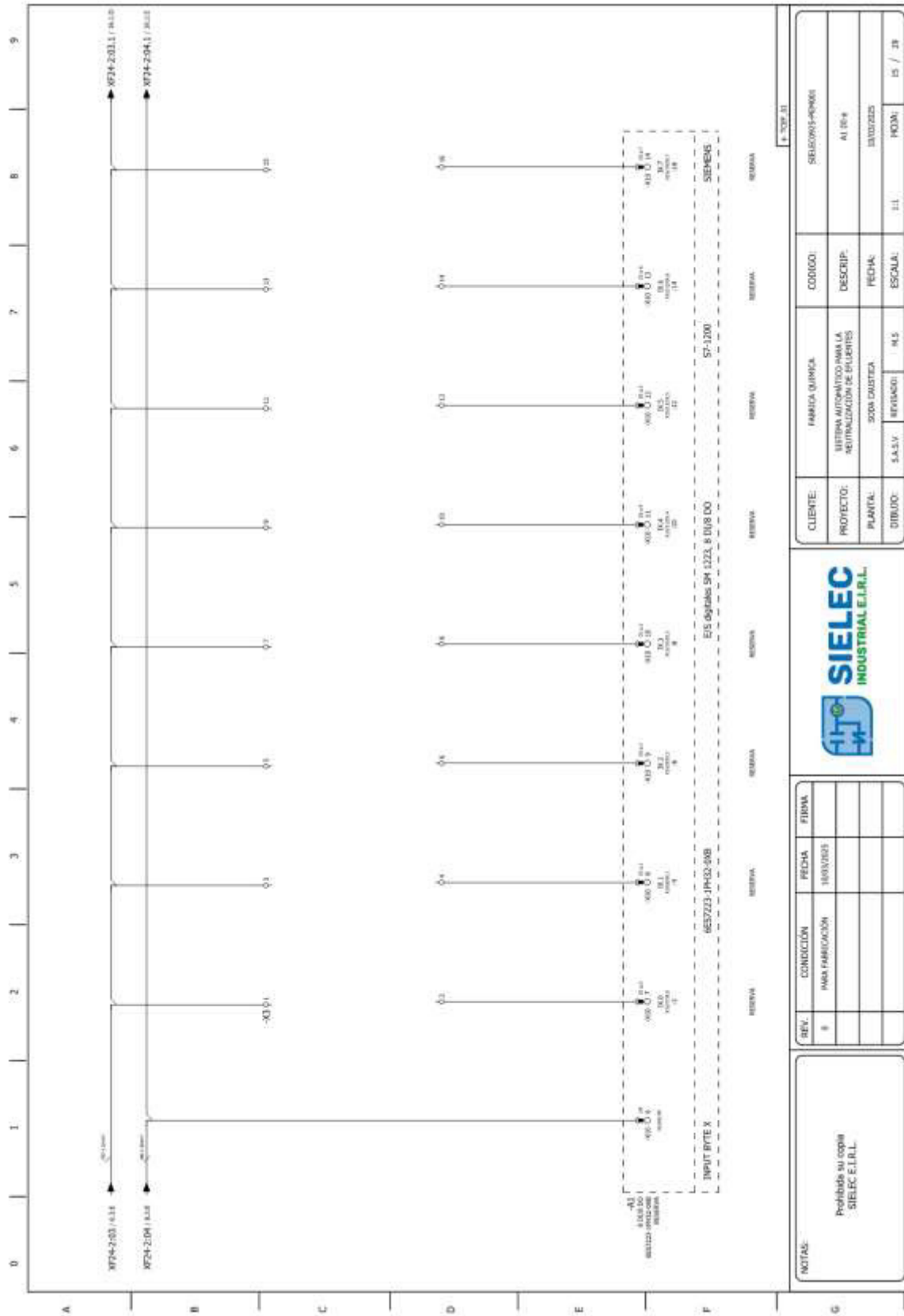
1. Perfilado sui copia SIELEC E.I.R.L.

Anexo J - Diagrama de Conexiones PLC DO-a



NOTAS:		REV. 01		CONDICIÓN		FECHA		FIRMA	
Prohibido su copia		PARA FABRICACIÓN		10/07/2025					
SIELEC E.I.R.L.									
CIENTE:		FABRICA QUINCA		CODIGO:		SIELEC0001-00000			
PROYECTO:		SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE FLECHAS		DESCRIP:		PLC DO 16			
PLANTA:		SOMA CASTEJA		FECHA:		13/10/2025			
DIB./DC:		S.A.S.V		REVISADO:		N.5		ESCALA:	
								HOM: 13 / 28	

Anexo L - Diagrama de Conexiones A1 DI-a



Anexo O - Diagrama de Conexiones A2 AO-a

