



Desarrollo e integración de un sistema de control y supervisión por medio de SIMATIC WinCC Unified Runtime, para el módulo de visualización Local/Remoto del Laboratorio de Instrumentación

Modalidad:
Desarrollo Tecnológico

Edgar Andrés Florez Villamizar
CC 1098760784
Oscar Mauricio Díaz Carvajal
CC 1098714396
Rubén Darío Agredo Nova
CC 1102369224

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales E Ingenierías
Ingeniería Electromecánica
Bucaramanga (21, marzo 2025)



Desarrollo e integración de un sistema de control y supervisión por medio de SIMATIC WinCC Unified Runtime, para el módulo de visualización Local/Remoto del Laboratorio de Instrumentación

Modalidad:
Desarrollo Tecnológico

Edgar Andrés Florez Villamizar
CC 1098760784
Oscar Mauricio Díaz Carvajal
CC 1098714396
Rubén Darío Agredo Nova
CC 1102369224

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero electromecánico**

DIRECTOR
Nilson Castillo

Grupo de investigación – GISEAC

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales E Ingenierías
Ingeniería Electromecánica
Bucaramanga (21, marzo 2025)

Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de
los requisitos exigidos por las
Unidades Tecnológicas de Santander
para optar al título de Ingenieros electromecánicos
según acta del comité de trabajo de grado
número 09 del día 01/04/2025
Evaluador: Brayan Tarazona



Firma del Evaluador



Firma del Director

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	8
INTRODUCCIÓN	9
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	13
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	17
2. MARCO REFERENCIAL	27
2.1. MARCO TEÓRICO.....	27
2.1.1. SISTEMA DE CONTROL INDUSTRIAL.....	27
2.1.2. ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL	28
2.1.3. INTERFAZ GRÁFICA	29
2.1.4. SIMATIC WINCC UNIFIED RUNTIME	30
2.1.5. PORTAL TIA	31
2.1.6. COMUNICACIONES INDUSTRIALES	32
2.1.7. SEGURIDAD EN LAS COMUNICACIONES INDUSTRIALES	33
2.2. MARCO LEGAL	34
2.3. MARCO CONCEPTUAL	36
2.4. MARCO AMBIENTAL	37
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	38
3.2. ENFOQUE METODOLÓGICO	39
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	40
3.4. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	41
3.4.1. OBSERVACIÓN	41
3.4.2. EXPERIMENTOS	42
3.5. PROCEDIMIENTO O FASES	42
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	44

5.	<u>RESULTADOS.....</u>	<u>46</u>
5.1.	PLANTEAMIENTO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN TENIENDO EN CUENTA LOS ELEMENTOS PRIMARIOS Y ACTUADORES PARA EL MÓDULO DE VISUALIZACIÓN LOCAL/REMOTO DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN.	46
5.2.	DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA EN LA HERRAMIENTA DE INGENIERÍA TIA PORTAL PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN.....	52
5.3.	PROCESO DEL DESARROLLO E INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN POR MEDIO DE UN RUNTIME DE WINCC UNIFIED	58
5.4.	VALIDACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE LAS COMUNICACIONES ENTRE EL PLC, EL PC INDUSTRIAL Y EL PROCESO.	85
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>87</u>
7.	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>90</u>
8.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>91</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Arquitectura del sistema de control y supervisión</i>	47
Figura 2 <i>Automatización en TIA Portal</i>	50
Figura 3 <i>Software de programación TIA Portal de Siemens</i>	51
Figura 4 <i>Pantalla de una HMI</i>	54
Figura 5 <i>Visualización de datos históricos del proceso</i>	56
Figura 6 <i>Procedimiento</i>	58
Figura 7 <i>Ejecutar software TIA PORTAL</i>	59
Figura 8 <i>Selección de PC System</i>	60
Figura 9 <i>PC System sin módulo de comunicación</i>	61
Figura 10 <i>PC System con módulo de comunicación</i>	61
Figura 11 <i>Modulo de comunicación genérico</i>	63
Figura 12 <i>conexión topológica</i>	64
Figura 13 <i>Selección de indicador numérico</i>	65
Figura 14 <i>Selección botón de maniobra</i>	65
Figura 15 <i>Selección Indicador grafico</i>	66
Figura 16 <i>Tabla de variables</i>	66
Figura 17 <i>Panel de control</i>	67
Figura 18 <i>Seleccionar Ajustar interface PG/PC</i>	68
Figura 19 <i>Ajustar interface PG/PC</i>	69
Figura 20 <i>Instalador WinCC Unified Configuration</i>	70
Figura 21 <i>Ajustes del sitio web</i>	71
Figura 22 <i>Ajuste de administración del usuario</i>	72
Figura 23 <i>Configuración del fichero</i>	73

Figura 24 Ubicación de reportes	74
Figura 25 Configuración de la Ubicación de proyectos	75
Figura 26 Selección de configuración final	76
Figura 27 Instalador de SIMATIC Runtime Manager.....	77
Figura 28 Definir IP del Runtime	77
Figura 29 Configuración de dirección IP	78
Figura 30 Abrir Ventana de comandos CDM.....	79
Figura 31 Enlace de equipos desde el CDM	80
Figura 32 Verificar ping	80
Figura 33 Descarga de Runtime.....	81
Figura 34 Ejecución del Runtime.....	82
Figura 35 Ejecutar el shortcut en el escritorio de la PC.....	83
Figura 36 Validación del sistema.....	84

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo e integración de un sistema de control y supervisión mediante SIMATIC WinCC Unified Runtime marca un hito importante en la automatización industrial. Es importante indicar que, la implementación de este sistema en el Laboratorio de Instrumentación no solo facilita la visualización y monitoreo de variables clave, sino que también optimiza la toma de decisiones mediante el acceso instantáneo a datos críticos. En este contexto, se exhibe como objetivo general de la investigación desarrollar e integrar un sistema de control y supervisión por medio de SIMATIC WinCC Unified Runtime para el módulo de visualización Local/Remoto del Laboratorio de Instrumentación. Es fundamental, hacer referencia a que la investigación es descriptiva se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y método inductivo, empleando técnicas de observación y experimentos en tres fases. El desarrollo de la arquitectura del sistema de control y supervisión para el Laboratorio de Instrumentación fue un proceso riguroso y metódico, de ahí que, la implementación de la arquitectura propuesta ha permitido establecer una base sólida para el desarrollo posterior del sistema. De tal manera que, la configuración detallada de los componentes hardware y software, así como la definición de las comunicaciones entre los diferentes elementos, garantizan una operación eficiente y confiable del sistema. Además, la utilización de herramientas de software como TIA Portal ha facilitado la programación y configuración del PLC, permitieron una adaptación flexible a las necesidades específicas del proceso. Asimismo, el desarrollo e integración de la interfaz gráfica en el sistema de control y supervisión demostró ser un componente esencial para la optimización de los procesos industriales.

PALABRAS CLAVE. Interfaz gráfica, TIA-Portal, SIMATIC WinCC Unified Runtime.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un sistema de control y supervisión mediante SIMATIC WinCC Unified Runtime representa un avance significativo en la automatización de procesos industriales. Cabe destacar que, este sistema permite una visualización tanto local como remota, lo que facilita el monitoreo y control de variables críticas en el Laboratorio de Instrumentación. Además, la integración de herramientas que optimicen la gestión de datos y mejoren la eficiencia operativa justifica la relevancia de esta investigación. (Schofield et al., 2020)

Por otra parte, una arquitectura robusta es fundamental, en donde, se contemplen todos los elementos primarios y actuadores necesarios para el módulo de visualización. De tal manera que, la correcta identificación y selección de estos componentes garantiza un funcionamiento eficiente y mejora la interacción entre los dispositivos involucrados, mediante, un diseño meticuloso, cada parte del sistema cumple con su función específica dentro del proceso general de control y supervisión. (Amaya y Virviescas, 2022).

Asimismo, el desarrollo de una interfaz gráfica en TIA-Portal es otra pieza clave, puesto que, esta herramienta proporciona una representación visual intuitiva y permite a los operadores interactuar con el sistema de manera efectiva. Al facilitar la comprensión del estado del proceso y las variables en tiempo real, se mejora la capacidad de respuesta ante cualquier eventualidad, esencial en entornos industriales donde el tiempo y la precisión son vitales. (Balla et al., 2023)

Ahora bien, validar la funcionalidad de las comunicaciones entre el PLC, el PC industrial y el proceso es un paso crucial para garantizar la integridad del sistema. Es por ello que, este proceso de validación asegura que todos los componentes interactúen

correctamente, permitiendo una supervisión efectiva y un control preciso. Además, se subraya que el trabajo no solo contribuye al desarrollo tecnológico del laboratorio, sino que también sirve como modelo para futuras implementaciones en otros entornos industriales. (Corella y Reyes, 2022)

En otro orden de ideas, el objetivo general de esta investigación radica en el desarrollo e integración de un sistema de control y supervisión mediante SIMATIC WinCC Unified Runtime, con el fin de mejorar la visualización local y remota en el Laboratorio de Instrumentación, mediante, una arquitectura robusta y una selección precisa de componentes, se busca garantizar una eficiente gestión de datos y una mayor eficiencia operativa, lo cual es fundamental en entornos industriales donde la precisión y el tiempo son críticos. Ahora bien, este sistema permitirá a los operadores interactuar de manera efectiva con el proceso, mejorando así la capacidad de respuesta ante cualquier eventualidad y contribuyendo al desarrollo tecnológico del laboratorio, así como sirviendo de modelo para futuras implementaciones en otros entornos industriales.

Al mismo tiempo, es fundamental hacer referencia a que la investigación es descriptiva se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y método inductivo, empleando técnicas de observación y experimentos en tres fases. En la primera fase, se llevó a cabo la planificación y diseño del estudio, definiendo las variables y la muestra. En la segunda fase, se desarrolló e integró el sistema de control y supervisión mediante SIMATIC WinCC Unified Runtime, estableciendo los parámetros y pruebas necesarios. Posteriormente, en la tercera fase, se realizó la ratificación y puesta en marcha del sistema, evaluando su funcionamiento y eficacia en la visualización local y remota en el Laboratorio de Instrumentación. Ahora bien, esta metodología permitió un análisis detallado de los resultados obtenidos, contribuyendo al desarrollo tecnológico del laboratorio y a la mejora de la eficiencia operativa en entornos industriales.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El desarrollo e integración de un sistema de control y supervisión mediante SIMATIC WinCC Unified Runtime marca un hito importante en la automatización industrial. Debido a que, este sistema se encuentra basado en el software de Runtime, el cual permite la supervisión y el control en tiempo real de procesos industriales, tanto a nivel local como remoto. Ahora bien, SIMATIC WinCC Unified Runtime es considerada una plataforma de software avanzada, está diseñada para la visualización y monitoreo de procesos industriales. Además, ofrece a los usuarios la capacidad de supervisar y gestionar maquinaria y plantas en tiempo real a través de una interfaz intuitiva accesible mediante navegadores web, eliminando la necesidad de software adicional en los dispositivos. De ahí que, esta característica no solo optimiza el control operativo, sino que también simplifica el acceso y la gestión de datos críticos en el entorno industrial. (Schofield et al., 2020)

Es importante indicar que, la implementación de este sistema en el Laboratorio de Instrumentación no solo facilita la visualización y monitoreo de variables clave, sino que también optimiza la toma de decisiones mediante el acceso instantáneo a datos críticos. Además, la capacidad de supervisar de forma remota permite una mayor flexibilidad y eficiencia operativa, reduciendo la necesidad de intervención física en el sitio. De ahí que, los sistemas de control y supervisión basados en software Runtime son esenciales para mejorar la productividad y garantizar la seguridad en entornos industriales. (Corella y Reyes, 2022)

En este contexto, la industria colombiana particularmente en los sectores de bebidas y alimentos, energía y minería, ha mostrado un creciente interés en la adopción de sistemas de control y supervisión basados en software Runtime. Puesto que, este tipo de software no solo facilita la optimización de procesos y el incremento de la eficiencia energética, sino que también contribuye a aumentar la productividad y a asegurar la seguridad en las operaciones. Al utilizar estos sistemas, las empresas pueden mejorar significativamente sus prácticas operativas, lo cual resulta en un entorno más seguro y eficiente. (Beltrán et al., 2022)

Por otra parte, la acelerada evolución tecnológica impone la necesidad de renovar continuamente tanto el equipamiento como el software en los laboratorios, lo que conlleva a costos recurrentes de mantenimiento y actualización. Por ende, esta dinámica provoca una brecha entre la formación académica y las exigencias del mercado laboral, donde se espera que los profesionales estén al día con las últimas tendencias en automatización industrial. Como resultado, se requiere una constante adaptación y familiarización con estas innovaciones para mantener la competitividad y eficacia en el ámbito profesional. (Pérez et al., 2023)

En este sentido, la implementación de un sistema de control y supervisión mediante SIMATIC WinCC Unified Runtime en el Laboratorio de Instrumentación enfrenta una problemática significativa relacionada con la falta de integración efectiva de tecnologías avanzadas en el proceso educativo. A medida que, la industria avanza hacia la automatización y el control remoto, los estudiantes y profesionales deben estar equipados con las competencias necesarias para operar y gestionar estos sistemas.

Sin embargo, la brecha entre la formación académica y las exigencias del mercado laboral se amplía, lo que resulta en una preparación insuficiente para los futuros ingenieros, lo cual se traduce en una incapacidad para adaptarse a las innovaciones tecnológicas que son cruciales para el éxito en la industria moderna. De ahí que, las causas primarias de esta problemática incluyen la rápida evolución tecnológica y la falta de actualización constante en los laboratorios académicos.

A menudo, los equipos y software utilizados en la enseñanza no reflejan las herramientas actuales que se emplean en el sector industrial. Además, existe una resistencia al cambio por parte de algunas instituciones educativas, que pueden no priorizar la inversión en nuevas tecnologías. Como consecuencia, los estudiantes se gradúan sin el conocimiento práctico necesario para enfrentar los retos laborales, lo que afecta su empleabilidad y la competitividad del país en sectores clave como alimentos y bebidas, energía y minería.

Para abordar esta situación, es esencial formular preguntas de investigación claras que guíen el desarrollo del sistema propuesto. Desde esta perspectiva, se formula como pregunta de Investigación: ¿Cómo desarrollar e integrar un sistema de control y supervisión por medio de SIMATIC WinCC Unified Runtime para el módulo de visualización Local/Remoto del Laboratorio de Instrumentación?

1.2. Justificación

La automatización es crucial para la competitividad en la industria global, pero la industria colombiana enfrenta limitaciones significativas en la adopción de sistemas de control y automatización, (Amaya y Virviescas, 2022). Es importante indicar que, esto restringe su capacidad para optimizar procesos, reducir costos y mejorar la

calidad de los productos. Por lo tanto, es fundamental integrar tecnologías avanzadas para impulsar el crecimiento y la eficiencia industrial, (Cadavid y Pilonieta, 2023). Es por ello que, la implementación del proyecto de Desarrollo e Integración de un Sistema de Control y Supervisión mediante SIMATIC WinCC Unified Runtime en el Laboratorio de Instrumentación responde a esta necesidad crítica.

Cabe destacar que, la falta de procesos automáticos en la industria colombiana compromete su visibilidad tecnológica a nivel global. De tal manera que, el uso de sistemas de control obsoletos y procesos semiautomáticos resulta en menor eficiencia, mayores márgenes de error y una calidad de producto inconsistente. Ahora bien, estas limitaciones incrementan los costos operativos y dificultan la adaptación a las cambiantes demandas del mercado y a la producción personalizada. En un contexto global donde la automatización promueve la calidad, flexibilidad y sostenibilidad, las empresas colombianas que no adopten estas tecnologías corren el riesgo de quedarse rezagadas frente a sus competidores internacionales. (Ochoa y Ramírez, 2024)

Cabe destacar, por otro lado que los Estudios del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) (2023) y de McKinsey & Company (2022) demuestran que la adopción de tecnologías de automatización reduce los costos operativos y mejora la calidad del producto, además de aumentar la productividad. Por ende, la implementación del proyecto en cuestión permitirá adquirir conocimientos sólidos en automatización industrial y responderá a la creciente demanda de personal calificado. Asimismo, proporcionará a la academia, profesores y estudiantes, la oportunidad de formar grupos de investigación y desarrollo tecnológico,

fortaleciendo así las competencias necesarias para enfrentar los retos del mercado laboral y contribuir al avance de la industria.

Desde esta perspectiva, la propuesta de desarrollar e integrar un sistema de control y supervisión mediante SIMATIC WinCC Unified Runtime para el módulo de visualización Local/Remoto del Laboratorio de Instrumentación es fundamental para abordar las carencias actuales en la automatización de la industria colombiana. Debido a que, la falta de sistemas automáticos eficientes limita la capacidad de las empresas para optimizar sus procesos, lo que se traduce en mayores costos operativos y una calidad de producto inconsistente. Al implementar esta investigación, se busca no solo mejorar la formación académica de los estudiantes, sino también preparar a futuros profesionales que puedan satisfacer la creciente demanda de personal calificado en el sector industrial.

Además, este proyecto tiene implicaciones significativas en el ámbito tecnológico, económico y social. Desde un punto de vista tecnológico, la integración de un sistema avanzado de control y supervisión permitirá a las empresas colombianas alinearse con las mejores prácticas internacionales, mejorando su competitividad en el mercado global. Económicamente, se espera que la adopción de este tipo de sistemas contribuya a una reducción notable en los costos operativos y a un aumento en la calidad del producto, tal como lo indican estudios previos. Socialmente, al formar profesionales capacitados en estas tecnologías, se impulsará el desarrollo económico del país y se generarán oportunidades laborales en un sector que requiere cada vez más expertos en automatización.

Por último, la relevancia de esta propuesta radica en su capacidad para alimentar líneas de investigación dentro del grupo académico correspondiente, fomentando la

creación de proyectos innovadores que beneficien tanto a la academia como a la industria. De ahí la posibilidad de establecer grupos de investigación permitirá a profesores y estudiantes colaborar en el desarrollo tecnológico, fortaleciendo así el vínculo entre la educación superior y las necesidades del mercado laboral. En síntesis, esta investigación no solo contribuirá al avance del conocimiento en automatización industrial, sino que también tendrá un impacto positivo en la formación integral de los estudiantes y en el desarrollo sostenible del país.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar e integrar un sistema de control y supervisión por medio de SIMATIC WinCC Unified Runtime para el módulo de visualización Local/Remoto del Laboratorio de Instrumentación.

1.3.2. Objetivos específicos

- Plantear la arquitectura del sistema de control y supervisión teniendo en cuenta los elementos primarios y actuadores para el módulo de visualización Local/Remoto del Laboratorio de Instrumentación
- Desarrollar la interfaz gráfica en la herramienta de ingeniería TIA-PORTAL para el desarrollo del sistema de control y supervisión.
- Validar la funcionalidad de las comunicaciones entre el PLC, el PC industrial y el proceso, que permitan el control y supervisión del sistema

1.4. Estado del arte

- **Internacional**

En México, la investigación de Zarza Díaz (2023), titulada "Simulación de eventos discretos desde la ingeniería industrial", del Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec, destaca el uso de la simulación de eventos discretos como una herramienta computarizada esencial. Cabe destacar que, esta técnica permite representar modelos de producción reales para evaluar diversos escenarios de mejora, facilitando así la selección de condiciones óptimas a través del análisis estadístico. Asimismo, la ingeniería industrial ha evolucionado y ahora emplea esta simulación para proyectar mejoras en los sectores público, privado y social. De tal modo que, el proceso general de simulación incluye la formulación del problema, la recolección de datos, la creación del modelo computarizado, la experimentación y las conclusiones. Sin embargo, se necesita establecer herramientas y técnicas específicas para definir problemas, recolectar datos y experimentar. Durante, estas fases son cruciales, ya que permiten a los ingenieros fundamentar escenarios de mejora y concebir soluciones viables. En este contexto, la obra de Zarza Díaz se centra en las pequeñas y medianas empresas, cuyas limitaciones de recursos hacen que la simulación sea una opción viable y económica para experimentar y mejorar procesos. Además, en el artículo "Simulación de Eventos Discretos: Herramienta para la Mejora en Pequeñas y Medianas Empresas", se presenta un enfoque innovador sobre el uso de la simulación de eventos discretos en la ingeniería industrial. Este enfoque resalta la importancia de esta herramienta computarizada para modelar y evaluar diferentes escenarios de mejora en procesos de producción reales. Para nuestro proyecto, donde abordamos el control de eventos discretos en procesos de flujo continuo, la simulación podría ser una herramienta valiosa para validar nuestro sistema de control (Zarza, 2023).

Con respecto a, el aporte de la investigación de Zarza (2023) se destaca que la simulación de eventos discretos se ha convertido en una práctica habitual en la ingeniería industrial, utilizada tanto en los sectores público, privado y social. Además, el artículo detalla los pasos esenciales en el proceso de simulación, que incluyen la formulación del problema, la experimentación y las conclusiones, lo cual proporciona una base sólida para comprender cómo aplicar la simulación en la mejora de procesos industriales, lo que resulta beneficioso para la presente investigación, ofreciendo una metodología probada para evaluar y optimizar nuestro sistema de control.

Corella Zamora y Reyes Anguisaca (2022) presentaron una investigación titulada "Elaboración de un sistema SCADA para el monitoreo y control en una línea automatizada de snacks fritos y acceso a tecnología 4.0" en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, en Guayaquil, Ecuador. Cabe destacar que, el propósito del proyecto fue diseñar una automatización de bajo costo para las pequeñas y medianas industrias ecuatorianas dedicadas a la producción de snacks fritos, como yuca, papa, chifles o maduros. Para lograr esto, se realizaron inspecciones de campo en varias empresas de este sector, identificando el flujo de procesos y los equipos utilizados. Posteriormente, se investigaron equipos comerciales de bajo costo que cumplieran con los requisitos de estos procesos y se crearon cuadros comparativos para seleccionar los más adecuados para la automatización. Es por ello que, se diseñó una línea automatizada que incluyó la selección de instrumentación, como sensores y actuadores, y se creó la topología de red y la lógica de programación utilizando el software TIA Portal y el PLC S7-1500 de Siemens, siguiendo las normas IEC-61131 con lenguajes de programación como SFC, FC, FB y DB. Al mismo tiempo, el sistema SCADA se desarrolló utilizando

Indusoft Web Studio Educational, que permite una vista general del proceso y pantallas detalladas para cada etapa. Además del monitoreo y control, el sistema genera bases de datos en Excel con reportes diarios y permite la generación de reportes mediante un servidor web con acceso desde la nube. Finalmente, se llevaron a cabo pruebas simuladas de la programación usando un controlador de comunicación SIETH, parte del listado de Indusoft SP4.

Por otra parte, la investigación de Corella Zamora y Reyes Anguisaca (2022) aporta una solución automatizada de bajo costo para la industria ecuatoriana de snacks fritos, optimizando procesos mediante un sistema SCADA accesible con tecnología 4.0. Realizaron inspecciones de campo, seleccionaron equipos económicos y diseñaron una línea automatizada eficiente. Además, desarrollaron una plataforma de monitoreo y control en tiempo real que mejora la gestión y el análisis de datos, promoviendo así la competitividad y eficiencia industrial.

En la Universidad de La Laguna, ubicada en San Cristóbal de La Laguna, España, se desarrolló una investigación titulada "Desarrollo de Sistema SCADA para la automatización de células de fabricación" por Rodríguez de la Rosa (2023). Es importante indicar que, este proyecto se centró en el diseño y desarrollo de un sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), que consiste en componentes de software y hardware para supervisar y controlar plantas industriales. En este sentido, el sistema SCADA incluye tres elementos principales: un servidor central para el procesamiento y almacenamiento de datos, la transmisión a través de la red de campo donde los PLCs (Controladores Lógicos Programables) interactúan con sensores y actuadores, y la interacción con el usuario mediante interfaces hombre-máquina (HMI) que permiten al operador monitorear y controlar los dispositivos de campo. También, este SCADA fue

implementado para las estaciones de la compañía FESTO, que son células de fabricación a pequeña escala representando procesos industriales clave. De ahí que, la implementación involucró la conexión de pantallas HMI, autómatas programables y estaciones FESTO, utilizando el protocolo de comunicación PROFINET, asimismo, el protocolo facilita la integración de dispositivos, mejorando la velocidad y seguridad de las comunicaciones, ya que utiliza Ethernet en tiempo real para conectar diversos dispositivos en una red PROFINET, donde todos pueden ser proveedores y consumidores de datos.

Ahora bien, la investigación de Rodríguez (2023) contribuye significativamente al desarrollo de sistemas SCADA en la industria. Al implementar un sistema SCADA para estaciones FESTO utilizando el protocolo PROFINET, se logró mejorar la velocidad y la seguridad de las comunicaciones entre dispositivos industriales. Este enfoque no solo optimiza los procesos de fabricación a pequeña escala, sino que también facilita la supervisión y el control eficientes, promoviendo la adopción de tecnologías avanzadas en la industria.

- **Nacional**

En la ciudad de Medellín, la Universidad EAFIT llevó a cabo la investigación "Control para sistemas continuos y discretos basado en la ingeniería dirigida por modelos", dirigida por Erazo (2020). En este contexto, el trabajo enfatiza la importancia del control en el desarrollo tecnológico, aplicándose cotidianamente en situaciones como la regulación de la temperatura en una ducha o la luminosidad en un invernadero. También, un sistema de control busca producir una salida específica o mantener un estado particular dentro de un sistema más complejo. A medida que los sistemas de control retroalimentados se vuelven más complejos, los desafíos también aumentan. Por ende, la investigación propone un enfoque sencillo

basado en la ingeniería dirigida por modelos para controlar sistemas continuos y con eventos discretos, utilizando la plataforma VariaMos para su implementación en dos pruebas de concepto. Experimentalmente, este enfoque permite obtener el modelo analítico del sistema y las ganancias del controlador PID. En relación a, los resultados demuestran que este método puede aplicarse eficazmente tanto en sistemas continuos como discretos, proporcionando capacidades de retroalimentación. Además, su implementación facilita el uso del sistema a usuarios que no son expertos en control, haciendo el enfoque accesible y práctico.

Con respecto a, la contribución el trabajo ofrece un marco innovador, al igual que el control de eventos discretos en procesos de flujo continuo. Este enfoque demuestra su efectividad en las pruebas de concepto, sirviendo como referencia práctica para la presente investigación. Por otro lado, la investigación resalta la importancia del control en una amplia gama de aplicaciones, desde ajustar la temperatura de una ducha hasta mantener niveles de luminosidad en un invernadero, lo que subraya la relevancia del control en la vida cotidiana y en numerosos procesos industriales.

En Bogotá, en la Universidad Antonio Nariño, se llevó a cabo la investigación "Diseño e Implementación de un Sistema de Supervisión y Control para el Proceso de Vidrio Laminado para la Planta AGP Colombia de Bogotá" por Amaya y Virviescas (2022). Ahora bien, dicho proyecto se enfocó en desarrollar un sistema de supervisión y control de las variables de temperatura, presión y vacío en el proceso de fabricación de vidrio laminado para la planta AGP Colombia, utilizando señales analógicas y digitales en la máquina autoclave 034. En cuanto a, el objetivo del proyecto fue mejorar la etapa de laminado de vidrio, aumentando la productividad, optimización, calidad, seguridad y eficiencia del producto final. De ahí

que, la implementación del sistema de supervisión y control se realizó utilizando el software IFIX-SCADA, permitiendo la interacción, control, evaluación y ejecución automática de los procesos de fabricación. Además, se emplearon diversas herramientas tecnológicas para facilitar la interacción de cada equipo y componente electrónico, representando una innovación significativa dentro de la planta AGP Colombia. Cabe destacar que, este cambio transformó las formas tradicionales de seguimiento del proceso, generando un impacto social, empresarial, económico y tecnológico considerable.

Es fundamental subrayar que, la investigación aportó significativamente al desarrollo de la automatización en la planta AGP Colombia. Mediante, la implementación de un sistema de supervisión y control utilizando IFIX-SCADA, se logró mejorar la productividad, calidad y eficiencia del vidrio laminado. Puesto que, este avance tecnológico, que involucró herramientas avanzadas para la interacción y control de equipos, generó un impacto considerable a nivel social, empresarial, económico y tecnológico.

En la ciudad de Medellín, en la Universidad EAFIT, Ochoa y Ramírez (2024) llevaron a cabo una investigación titulada “Elaboración de un Modelo de Excelencia Operacional para el Sector Industrial Colombiano”. En este orden de ideas, el estudio abordó la implementación de modelos de excelencia operacional, utilizados globalmente para guiar las operaciones empresariales, asegurar su sostenibilidad y rentabilidad. Donde, a diferencia de otros países Colombia carece de un modelo propio documentado para promover la excelencia operacional en sus empresas. En este contexto, el objetivo del trabajo fue realizar una revisión bibliográfica de los modelos de excelencia operacional más relevantes y, con el apoyo de expertos, desarrollar un modelo de referencia específico para las empresas colombianas.

Ahora bien, este modelo incluye herramientas de mejora e indicadores que permiten a las empresas enfocarse en sus resultados globales, en lugar de solo en las eficiencias locales. Además, adopta un enfoque holístico para comprender las interacciones entre las diferentes áreas de la organización y cómo estas generan sinergias. Además, el estudio también recopiló los modelos más utilizados tanto a nivel nacional como internacional, para crear una herramienta que identifique la posición estratégica actual de las empresas. Con respecto a, este modelo sirve como herramienta de diagnóstico y evaluación para revisar el grado de madurez en la búsqueda de la excelencia operacional, identificando oportunidades de mejora y promoviendo una mejora continua sistemática en las empresas del sector industrial en Colombia.

Se hace hincapié, en el aporte de la anterior investigación puesto que proporciona un modelo de excelencia operacional específico para el sector industrial colombiano. Al revisar modelos globales y desarrollar herramientas e indicadores de mejora, esta investigación permite a las empresas colombianas centrarse en resultados globales y no solo en eficiencias locales. Al mismo tiempo, su enfoque holístico facilita la comprensión y mejora de las interacciones organizacionales, promoviendo así una mejora continua y sistemática en el sector.

En la Universidad de Pamplona, Ramírez Rodríguez (2021) desarrolló la investigación titulada "Implementación de un Control Neuronal Directo en el Controlador Lógico Programable S7-1200 para Aplicaciones Industriales". Por lo consiguiente, en el estudio aborda los avances en técnicas de control no convencional, como el control adaptativo e inteligente, para optimizar la calidad y competitividad en la producción industrial. Asimismo, se propone implementar un algoritmo adaptativo basado en redes neuronales artificiales directamente en un

PLC S7-1200 de Siemens, permitiendo su uso en diversas aplicaciones. Por otra parte, el control adaptativo resulta esencial para solucionar problemas de control no lineal donde los métodos convencionales no son eficaces. De ahí que, dos algoritmos de control neuronal, basados en redes ADALINE y MLP, se desarrollaron y validaron en diferentes plantas junto a un controlador PID. Desde este enfoque, demostró ser útil para mejorar la flexibilidad y eficacia en el control de procesos industriales, proporcionando una herramienta valiosa para optimizar la producción.

Es necesario, hacer mención del aporte de la investigación mencionada con anterioridad el cual se hace énfasis en una innovación significativa al implementar un control neuronal directo en el PLC S7-1200 de Siemens. A partir de, este enfoque basado en redes neuronales ADALINE y MLP, mejora la flexibilidad y eficacia en el control de procesos industriales no lineales. Al validar estos algoritmos en diferentes plantas, la investigación demostró su potencial para optimizar la producción y aumentar la competitividad industrial mediante técnicas avanzadas de control.

Tapias, Niño y Reyes (2023) publicaron una investigación titulada “Diseño de pautas para la implementación del software WinCC flexible aplicado a un SCADA para el manejo de variables de proceso a nivel de planta”. En efecto, el trabajo aborda la configuración y ejecución de tareas en un sistema SCADA utilizando el software WinCC flexible Engineering System. Igualmente, el documento proporciona una guía detallada sobre las características del software, los conceptos básicos de SCADA y un paso a paso para su uso, dirigido a estudiantes de Ingeniería Mecatrónica y Especialización en Automatización Industrial de la Universidad Santo Tomás. De acuerdo con, el estudio comienza con una introducción a los conceptos básicos del tema, incluyendo los equipos y materiales necesarios para su implementación, disponibles en la universidad. Luego, describe

las principales características del software. Finalmente, ofrece un paso a paso para configurar y utilizar WinCC flexible Engineering System, destacando la configuración de pantallas basadas en PC y el manejo de entradas y salidas digitales y analógicas.

Cabe indicar que, la investigación de Tapias, Niño y Reyes (2023) contribuye significativamente a la formación de estudiantes de Ingeniería Mecatrónica y Especialización en Automatización Industrial. Puesto que, proporciona una guía detallada para la implementación de WinCC flexible en sistemas SCADA, desde la configuración hasta el manejo de variables de proceso. Desde este enfoque, facilita la comprensión y aplicación práctica de SCADA en un entorno industrial, mejorando la competencia técnica y operativa de los estudiantes, y promoviendo su integración efectiva en la industria.

- **Regional**

En 2023, Roa Niño, Dueñas Vivas y Jaimes Rico presentaron la investigación "Construcción de un banco de prueba de automatización para los cursos de accionamientos eléctricos en los programas de Tecnología en Electricidad Industrial e Ingeniería Eléctrica de las Unidades Tecnológicas de Santander, sede Bucaramanga". Es importante acotar que, este proyecto buscó diseñar y construir un banco de pruebas compuesto por equipos de accionamiento eléctrico como interruptores, contactores, pulsadores, sensores y PLC. Es significativo resaltar que, el Banco de Pruebas para Accionamientos Eléctricos (BPAE) tiene como objetivo apoyar la consolidación de conocimientos teóricos mediante la práctica para los estudiantes de Tecnología en Electricidad Industrial. Puesto que, permite a los

estudiantes realizar prácticas experimentales que les ayuden a resolver situaciones específicas relacionadas con la automatización industrial. Además, el BPAE incluye contactores, relés térmicos, pulsadores, pilotos, temporizadores, selectores, protecciones, finales de carrera y un controlador lógico. Por otra parte, la diversidad de componentes y dispositivos instalados permite simular diversos circuitos de potencia y control para múltiples aplicaciones. Además, la implementación del BPAE se complementa con un manual de prácticas de laboratorio, diseñado para que los estudiantes aprovechen al máximo los elementos y equipos del banco, facilitando una metodología más didáctica y desarrollando prácticas aplicables en la industria.

La investigación contribuyó significativamente al desarrollo práctico de los estudiantes, al diseñar y construir un banco de pruebas de automatización con diversos componentes eléctricos, esta investigación proporcionó una herramienta educativa esencial que permite la simulación de circuitos y la realización de prácticas experimentales, mejorando así la formación teórica y práctica de los estudiantes en la automatización industrial.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco teórico

2.1.1. *Sistema de control industrial*

Un sistema de control industrial es un conjunto de dispositivos y software que, en combinación, monitorean, regulan y automatizan procesos en entornos industriales, optimizando la producción, mejorando la calidad y garantizando la seguridad de las operaciones, (Amaya y Virviescas, 2022). Es importante indicar que, los componentes esenciales incluyen sensores, que recopilan información del proceso y la convierten en señales eléctricas; actuadores, que ejecutan acciones en respuesta a las señales del controlador; y el controlador, que procesa las señales de los sensores y ajusta los actuadores para mantener el proceso dentro de los límites establecidos. Existen diferentes tipos de control, como el control en lazo abierto, donde el controlador envía una señal sin retroalimentación; el control en lazo cerrado, que ajusta las señales en función de la retroalimentación recibida; y el control PID, que es un tipo de control en lazo cerrado que utiliza términos proporcional, integral y derivativo para calcular la señal de control, siendo muy versátil y adaptable a diversos procesos industriales. (Díaz y Rivera, 2021)

Ahora bien, un sistema de lazo abierto es un tipo de control en el que la salida no influye directamente sobre la entrada, ya que no se compara ni ajusta en función de la misma. Cabe destacar que, este tipo de sistema se basa únicamente en una señal de entrada predefinida y no realiza ajustes o correcciones en tiempo real. Los sistemas de lazo abierto son simples y económicos de implementar, pero carecen de precisión y no pueden compensar perturbaciones externas. En esencia, estos

sistemas, denominados también de flujo de señal unidireccional, no dependen de su salida, ya que no cuentan con retroalimentación. (Castro et al., 2023)

A diferencia del sistema de lazo abierto, un sistema de lazo cerrado incluye retroalimentación para ajustar y controlar su salida. En este tipo de sistema, la salida se monitorea constantemente y se compara con los valores deseados (setpoints). Cualquier desviación se corrige en tiempo real, mejorando la precisión y adaptabilidad del control, lo cual admite que el sistema responda eficazmente a perturbaciones externas, manteniendo el proceso dentro de los parámetros establecidos. (González et al., 2020)

2.1.2. Arquitectura de los sistemas de control industrial

La arquitectura de los sistemas de control industrial se basa en la interacción eficiente entre diversos componentes, incluyendo dispositivos de campo como sensores y actuadores, así como controladores lógicos programables (PLC). Cabe destacar que, esta interacción es fundamental para el funcionamiento del sistema, ya que permite la recolección de datos en tiempo real y la ejecución de acciones basadas en esos datos. Así, cada elemento desempeña un papel específico que contribuye a la operatividad general del sistema. (Ramírez, 2024)

Un aspecto crítico en esta arquitectura es la correcta asignación de entradas y salidas (E/S), que asegura que cada dispositivo esté debidamente conectado y pueda comunicarse con el PLC. De acuerdo a, esta asignación no solo implica identificar qué señales se recibirán y enviarán, sino también diseñar una red de comunicación que minimice interferencias y maximice la eficiencia. Por lo tanto, una planificación meticulosa es esencial para evitar problemas que puedan afectar el rendimiento del sistema. (Quiza et al., 2023)

Además, el diseño de la red de comunicación debe considerar factores como la topología y los protocolos utilizados, lo que influye directamente en la velocidad y fiabilidad de las transmisiones. Al establecer una conexión sólida entre los dispositivos, se garantiza que el sistema responda adecuadamente a las condiciones del proceso. De este modo, una arquitectura bien estructurada no solo optimiza el funcionamiento del sistema de control industrial, sino que también permite una gestión más efectiva de los recursos y una mejora continua en los procesos operativos. (Barona López & Velasteguí, 2021)

2.1.3. Interfaz gráfica

Una interfaz gráfica de usuario, comúnmente conocida como GUI (Graphical User Interface), permite a los usuarios interactuar con dispositivos electrónicos utilizando elementos visuales como iconos, botones y menús, en lugar de depender de comandos de texto. Cabe subrayar que, esta forma de interacción no solo facilita el uso de la tecnología, sino que también hace que la experiencia sea más intuitiva y accesible. Al presentar la información de manera organizada, las GUI mejoran la navegación y el manejo de funciones en una amplia gama de dispositivos, desde computadoras hasta equipos industriales. (Uribe, et al., 2022)

De tal manera que, la GUI se ha convertido en el método principal para interactuar con sistemas informáticos, aprovechando las capacidades humanas para realizar diversas tareas, como la búsqueda de información y la multitarea. Para diseñar una interfaz efectiva, es crucial equilibrar factores técnicos y humanos, lo cual implica tomar decisiones interrelacionadas que consideren cómo los usuarios perciben y utilizan la información presentada, lo que a su vez puede influir en su aprendizaje y rendimiento en entornos educativos y laborales. (Oulasvirta et al., 2020)

Además, la importancia de una interfaz gráfica se extiende al ámbito industrial, donde su capacidad para ofrecer visualización en tiempo real es fundamental para el control de procesos. Al facilitar la monitorización y gestión de variables a través de componentes visuales, se optimiza la toma de decisiones para los operadores. Ahora bien, esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también fomenta una comunicación más clara entre los humanos y las máquinas, contribuyendo a un entorno de trabajo más seguro y efectivo. (Chicala et al., 2021) (Coello et al., 2020)

Además, el uso de herramientas como TIA Portal es fundamental para la creación de interfaces gráficas que faciliten la supervisión y control del sistema. De acuerdo a, esta plataforma permite a los ingenieros diseñar y simular sistemas antes de su implementación, asegurando que todos los componentes interactúen correctamente. Por ende, la validación de las comunicaciones entre el PLC, el PC industrial y el proceso es otro aspecto crítico que garantiza la fiabilidad del sistema. Esto incluye verificar las direcciones de comunicación y los protocolos utilizados, asegurando que los datos se transfieran correctamente entre los dispositivos. (Balla et al., 2023)

2.1.4. SIMATIC wincc Unified Runtime

SIMATIC WinCC Unified Runtime es una herramienta versátil y poderosa en el ámbito de la automatización industrial, diseñada para optimizar la visualización y supervisión de procesos. De ahí que, se destaca por su capacidad para crear interfaces gráficas de usuario (HMI) personalizadas y escalables, permitiendo la visualización de datos en tiempo real de diversos equipos industriales. Además, ofrece gestión avanzada de alarmas, notificaciones y eventos, facilitando la respuesta a situaciones críticas y la generación de informes personalizados. (Schofield et al., 2020)

Ahora bien, la integración de WinCC Unified Runtime en el entorno TIA Portal de Siemens es una de sus mayores ventajas, permitiendo una configuración y programación fluida de todo el sistema de automatización desde una única interfaz. En este sentido, los protocolos industriales estándar garantizan una comunicación eficiente y la flexibilidad del sistema. Por otra parte, entre sus ventajas destacan la unificación de la ingeniería, una amplia gama de funcionalidades, escalabilidad y un robusto soporte técnico y comunidad de usuarios. Sin embargo, presenta una curva de aprendizaje pronunciada y un costo significativo para pequeñas escalas. Es por ello que, estos factores hacen que sea una herramienta ideal para optimizar sistemas industriales de diferentes tamaños y complejidades. (Schofield et al., 2020)

2.1.5. Portal TIA

El TIA Portal, acrónimo de Totally Integrated Automation Portal, es una plataforma de software desarrollada por Siemens que integra diversas herramientas para la automatización industrial. Cabe subrayar que, este entorno permite a los ingenieros programar, configurar y diagnosticar una amplia gama de dispositivos, incluidos controladores lógicos programables (PLCs), interfaces hombre-máquina (HMI) y variadores de frecuencia. Además, su diseño unificado facilita la gestión de proyectos y mejora la eficiencia operativa, convirtiéndose en un recurso esencial para los profesionales del sector. (Balla et al., 2023)

Ahora bien, para Balla et al. (2023) una de las características más destacadas del TIA Portal es su capacidad para integrar múltiples aplicaciones en un solo entorno, lo que simplifica el proceso de automatización. De tal modo que, los usuarios pueden desarrollar programas utilizando diferentes lenguajes de programación, como Ladder y texto estructurado, y realizar configuraciones de

hardware de manera intuitiva, de ahí que, esto no solo reduce el tiempo necesario para completar proyectos, sino que también minimiza los errores asociados con el uso de múltiples plataformas, permitiendo una implementación más fluida y efectiva.

Además, el TIA Portal ofrece herramientas avanzadas para la simulación y diagnóstico de sistemas, lo que permite a los ingenieros verificar el funcionamiento del sistema antes de su puesta en marcha. En este sentido, la funcionalidad es trascendental para identificar y corregir problemas potenciales en las fases iniciales del desarrollo; ya que al facilitar la colaboración entre diferentes equipos a través de su servidor de proyectos, el TIA Portal se posiciona como una solución integral que impulsa la productividad y competitividad en la industria automatizada. (Balla et al., 2023)

2.1.6. Comunicaciones industriales

Las comunicaciones industriales son esenciales en la automatización, ya que permiten el intercambio eficiente y confiable de información entre sensores, actuadores y controladores. Es por ello que, se utilizan diversos protocolos de comunicación como PROFIBUS, PROFINET y Modbus, y topologías de red como bus, estrella y anillo, estos sistemas garantizan la integración de todos los componentes. De ahí, la seguridad se refuerza mediante cifrado, autenticación, autorización y redundancia, protegiendo así los datos y asegurando la disponibilidad del sistema. Siemens y OMRON son dos recursos clave para más información y ejemplos prácticos. (Belomonte, 2018)

Cabe destacar que, los protocolos de comunicación industrial, como PROFIBUS, PROFINET y Modbus, establecen reglas y formatos para que los dispositivos intercambien información; dichos protocolos son cruciales para garantizar una

comunicación eficiente y confiable en sistemas de automatización. Mientras que, PROFIBUS y PROFINET se destacan por su robustez y flexibilidad, Modbus es conocido por su simplicidad y bajo costo. Cabe destacar que, estos protocolos permiten la integración y operación sin problemas de diversos equipos industriales. (Sepúlveda, 2023)

Por otra parte, la topología de una red determina cómo están conectados físicamente los dispositivos en un sistema de control. Por ende, las topologías más comunes incluyen la bus, donde todos los dispositivos comparten un único cable; la estrella, con dispositivos conectados a un nodo central; y el anillo, que ofrece redundancia al conectar dispositivos en un círculo. De tal manera que, estas configuraciones influyen en la eficiencia, fiabilidad y costo de la red. (Vegas, 2023)

2.1.7. Seguridad en las Comunicaciones Industriales

La seguridad en las comunicaciones industriales es crucial debido al aumento de ciberataques. Para proteger la información, se utilizan medidas como el cifrado, que encripta los datos y los hace ilegibles para intrusos. En este sentido, la autenticación garantiza que solo dispositivos autorizados accedan a la red, mientras que la autorización establece los permisos de cada dispositivo. Además, la redundancia de componentes y rutas de comunicación incrementan la disponibilidad del sistema y disminuye el riesgo de interrupciones. (Babativa, 2023)

Según los planteamientos de Hernández (2024) la seguridad en las comunicaciones industriales se ha vuelto un aspecto fundamental, especialmente ante el creciente número de ciberataques. Para salvaguardar la información crítica, se implementan diversas estrategias, entre las cuales destaca el cifrado. De tal manera que, esta técnica convierte los datos en un formato ilegible para cualquier

persona no autorizada, lo que añade una capa de protección esencial. Así, se busca mitigar el riesgo de accesos no deseados y garantizar la integridad de la información.

Otro elemento clave en la seguridad industrial es la autenticación, que asegura que únicamente los dispositivos previamente autorizados puedan acceder a la red. Durante, este proceso es crucial para mantener un entorno seguro, ya que evita que intrusos puedan infiltrarse en el sistema. Complementariamente, la autorización juega un papel importante al definir los permisos específicos de cada dispositivo dentro de la red, lo que permite un control más riguroso sobre las acciones permitidas y el acceso a información sensible. (Hernández Candelario, 2024)

Finalmente, la implementación de redundancia en los componentes y rutas de comunicación es una estrategia efectiva para aumentar la disponibilidad del sistema. Al contar con elementos duplicados o rutas alternativas, se reduce significativamente el riesgo de interrupciones en el servicio, dicha medida no solo mejora la resiliencia ante posibles fallos, sino que también asegura una operación continua y confiable, aspectos esenciales en entornos industriales donde la eficiencia es primordial. (Babativa Santos, 2023)

2.2. Marco legal

El marco legal para el desarrollo e integración de un sistema de control y supervisión mediante SIMATIC WinCC Unified Runtime en el contexto colombiano se fundamenta en varias normativas que regulan el control interno en entidades públicas. En este sentido, se hace alusión a la Ley 87 de 1993 establece las directrices para el ejercicio del control interno, exigiendo que todas las entidades implementen sistemas que aseguren la correcta administración de recursos y la

prevención de riesgos, esto implica que el diseño del sistema de control y supervisión debe alinearse con los principios de eficiencia, transparencia y rendición de cuentas, garantizando que todas las transacciones y operaciones se registren de manera precisa y oportuna.

Además, el Decreto 1083 de 2015 complementa esta legislación al establecer un marco regulatorio único para el sector público, enfatizando la importancia del control interno como herramienta para la gestión del riesgo y la mejora continua. Cabe destacar que, este decreto resalta la responsabilidad de los directivos en la implementación de sistemas que faciliten el monitoreo y la evaluación de la gestión institucional. Por lo tanto, al desarrollar el sistema propuesto, es fundamental considerar estos lineamientos legales para asegurar que se cumplan los requisitos normativos y se optimice la funcionalidad del sistema.

Finalmente, es relevante mencionar que el artículo 269 de la Constitución Política también subraya la obligación de las entidades públicas de diseñar y aplicar métodos de control interno adecuados a sus funciones, implicando que el sistema de control y supervisión debe ser capaz de adaptarse a las especificidades del laboratorio de instrumentación, garantizando así no solo su operatividad, sino también su conformidad con las normativas vigentes. En este sentido, se debe prestar especial atención a los mecanismos de verificación y evaluación que permitan detectar desviaciones en la gestión y asegurar una comunicación eficaz entre todos los componentes del sistema.

2.3. Marco conceptual

La investigación sobre el desarrollo e integración de un sistema de control y supervisión utilizando SIMATIC WinCC Unified Runtime se centra en varios conceptos clave que son fundamentales para comprender el funcionamiento del sistema. En un inicio, el término sistema SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos) es esencial, ya que se refiere a la tecnología que permite el monitoreo y control de procesos industriales a distancia. Debido a que, este sistema integra datos provenientes de diversos dispositivos de campo, como sensores y actuadores, facilitando así una gestión más eficiente de las operaciones. (Tapias et al., 2023)

Otro concepto relevante es el controlador lógico programable (PLC), que actúa como el cerebro del sistema, procesando la información recibida y ejecutando las acciones necesarias para mantener las variables del proceso dentro de los parámetros establecidos. De tal modo que, la interacción entre el PLC (Ramírez, 2024) y otros componentes, como las unidades terminales remotas (RTU) y la interfaz hombre-máquina (HMI) (Albarracín y Quintana, 2024), es trascendental para garantizar una comunicación fluida y efectiva. Cabe destacar que, esta interconexión permite que los operarios supervisen y controlen los procesos en tiempo real, mejorando la toma de decisiones y optimizando la producción.

En definitiva, el desarrollo de una interfaz gráfica en TIA Portal es un aspecto clave para facilitar la interacción usuario-máquina, (Pin y Criollo, 2024). Ahora bien, esta interfaz debe ser intuitiva y accesible, permitiendo a los usuarios visualizar datos críticos y realizar ajustes necesarios en el sistema. De tal manera que, la validación de las comunicaciones entre el PLC, el PC industrial y el proceso asegura que toda la información se transmita correctamente, lo que es vital para el correcto

funcionamiento del sistema. En conjunto, estos conceptos forman la base teórica necesaria para abordar la implementación del sistema propuesto en el laboratorio de instrumentación. (Gómez et al., 2020)

2.4. Marco ambiental

Es fundamental considerar cómo las actividades del laboratorio de instrumentación pueden afectar el aire, el agua, el suelo y la biodiversidad. Para ello, se deben implementar prácticas que minimicen cualquier posible daño al medio ambiente, alineándose con la normatividad colombiana vigente en materia ambiental.

En Colombia, la Ley 99 de 1993 establece las bases para la gestión y conservación del medio ambiente, creando un marco legal que promueve el desarrollo sostenible. Desde este contexto, la ley exige que todas las actividades industriales, incluyendo las relacionadas con sistemas de control y supervisión, sean evaluadas en términos de su impacto ambiental. Por lo tanto, es necesario realizar estudios de impacto que aseguren que las operaciones del laboratorio no comprometan los ecosistemas circundantes ni los recursos naturales disponibles.

Además, es fundamental que el sistema propuesto contemple mecanismos para la gestión adecuada de residuos y la utilización eficiente de recursos. Con el fin, no solo de ayudar a cumplir con los requisitos legales, sino que también fomenta una cultura de responsabilidad ambiental entre los usuarios del laboratorio. Al integrar estos principios en el diseño y operación del sistema de control y supervisión, se contribuye a la sostenibilidad y se asegura un equilibrio entre la innovación tecnológica y la protección del medio ambiente.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El marco metodológico de esta investigación se centra en un enfoque descriptivo, basado en los planteamientos de Hernández y Mendoza (2018). Según estos autores, una investigación descriptiva tiene la finalidad de detallar las propiedades, características y rasgos relevantes de un fenómeno específico, lo que, permite obtener una visión precisa de las variables implicadas sin necesidad de manipularlas, proporcionando una descripción exhaustiva de la situación actual.

A su vez, la metodología se describe a través de varios aspectos clave. En primer lugar, se especifica el tipo de investigación, que en este caso es descriptiva, puesto que, se encuentra enfocada en analizar y detallar cada elemento del sistema de control y supervisión desarrollado. Por otra parte, el diseño experimental, como señala Ñaupas et al. (2018), se distingue por su enfoque en la manipulación y control de variables para establecer relaciones causales precisas. De ahí que, este tipo de diseño permite que el investigador altere deliberadamente una o más variables independientes y observe los efectos de estos cambios en las variables dependientes, lo cual facilita la identificación de relaciones claras y directas de causa y efecto.

Por lo tanto, mediante la implementación de un diseño experimental, se pueden controlar las condiciones en las que se realiza el estudio. Debido a que, esto es clave para minimizar la influencia de factores externos que podrían sesgar los resultados. Además, se logra asignando aleatoriamente a los sujetos a diferentes

grupos experimentales, lo cual garantiza que las diferencias observadas se deban exclusivamente a la manipulación de las variables independientes.

Cabe destacar que, la investigación es tanto descriptiva como experimental porque detalla las características y funcionamiento del sistema de control y supervisión del Laboratorio de Instrumentación, a la vez que manipula variables para validar su efectividad. Asimismo, se enfoca en diseñar la arquitectura del sistema, desarrollar la interfaz gráfica en TIA-PORTAL y asegurar la comunicación entre PLC, PC industrial y proceso, permitiendo evaluar la funcionalidad integral del sistema implementado.

3.2. Enfoque metodológico

Hernández et al. (2014) señalan que el enfoque cuantitativo destaca por su énfasis en la medición numérica y el análisis estadístico de los datos recolectados. A partir de este enfoque, se busca establecer patrones y relaciones entre variables mediante el uso de instrumentos estructurados, como encuestas y experimentos, lo que permite obtener datos precisos y replicables. Además, su objetividad se basa en la recopilación de datos empíricos verificables y reproducibles por otros investigadores.

Desde esta perspectiva, el enfoque cuantitativo permite formular hipótesis específicas sobre cómo las diferentes configuraciones del sistema afectan la precisión y eficiencia del monitoreo. Mediante, del uso de instrumentos estructurados, se obtienen datos precisos y objetivos que identifican patrones y relaciones entre las variables. Cabe destacar que, esto no solo ayuda a reconocer

las mejores prácticas para optimizar el sistema, sino que también proporciona una base sólida para generalizar los resultados a otras aplicaciones similares.

Asimismo, se destaca el enfoque cuantitativo, dado que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos que permitirán validar la funcionalidad del sistema. Entonces, la investigación es cuantitativa porque se enfoca en la medición numérica y el análisis estadístico de los datos recolectados. Además, utiliza instrumentos estructurados, como encuestas y experimentos, para obtener datos precisos y objetivos que permiten establecer patrones y relaciones entre variables. Ahora bien, este enfoque proporciona una base sólida para formular hipótesis, identificar mejores prácticas y generalizar los resultados a otras aplicaciones similares, asegurando la robustez y eficiencia del sistema.

3.3. Método de investigación

El método inductivo parte de la observación de casos particulares para identificar patrones recurrentes y, a partir de ellos, establecer condiciones. Este enfoque, basado en datos experimentales, permite derivar teorías y conclusiones amplias mediante un análisis sistemático, Bernal (2016). Así, el conocimiento obtenido se fundamenta en la evidencia, mejorando la comprensión de los fenómenos estudiados con un sustento real y verificable.

En cuanto al método usado en la investigación es inductivo, debido a que parte de observaciones específicas y datos empíricos para llegar a conclusiones sobre el desempeño del sistema. Dentro de las técnicas empleadas se incluyen experimentos controlados y encuestas a los usuarios del sistema, para evaluar su eficacia y usabilidad. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

En este contexto, la investigación es inductiva, basada en observaciones específicas y datos experimentales para llegar a conclusiones sobre el sistema de control y supervisión. A partir del análisis de datos, obtenidos del desarrollo y validación del sistema, se identifican similitudes que se relacionan para poder comprender el funcionamiento, asegurando así la robustez y confiabilidad del sistema implementado en el Laboratorio de Instrumentación.

3.4. Técnicas de investigación

3.4.1. Observación

La observación es un método que consiste en registrar de forma sistemática hechos, fenómenos en la naturaleza, con el fin de alcanzar objetivos de investigación. Permite recopilar información objetiva y organizada, facilitando el análisis y la interpretación de los eventos observados centrado en el proceso y en la validez de los datos obtenidos. (Cabezas et al., 2018).

Cabe destacar que, la observación es fundamental en esta investigación porque permite identificar problemas operativos y evaluar la precisión y eficiencia del sistema de control y supervisión. Al observar directamente cómo interactúan las variables en un entorno controlado, se pueden obtener datos precisos en tiempo real, lo cual, facilita la identificación de áreas de mejora y la validación de resultados, asegurando que el sistema funcione de manera óptima en el Laboratorio de Instrumentación.

3.4.2. Experimentos

Hernández et al. (2014) definen un experimento como un entorno controlado donde se manipulan variables independientes para medir su efecto en variables dependientes, permitiendo establecer causas y analizar el impacto de factores bajo condiciones controladas. Este enfoque permite fundamentar y comprender cómo las variaciones en las primeras afectan los resultados, proporcionando una base para el análisis científico.

Es por ello que, la realización de experimentos es crucial en esta investigación porque permite validar el sistema de control y supervisión mediante la manipulación de variables independientes y la observación de sus efectos. Desde este enfoque, se pudo validar el intercambio de datos entre el PLC y Runtime y la conmutación de la variable en la HMI.

3.5. Procedimiento o fases

Para obtener resultados del desarrollo de un runtime, se debe definir el alcance del sistema, identificando los procesos y variables esenciales a controlar. Luego, es crucial optimizar las conexiones, seleccionando solo los dispositivos enduro y el uso de protocolos de comunicación. Posteriormente, se diseña la arquitectura del Runtime, eligiendo una topología adecuada y empleando estrategias como la agrupación de señales para reducir el número de conexiones necesarias. En la fase de desarrollo, se configuran las pantallas gráficas enfocándose en datos críticos, implementando graficas de tendencias. Una vez terminado, se realizan pruebas funcionales con datos en tiempo real para evaluar la estabilidad y rendimiento del sistema. Finalmente, se analizan los resultados en términos de latencia, actualización de datos, planteando posibles mejoras como la integración de

pasarelas para los variadores para optimizar la funcionalidad sin agregar más conectores físicos, permitiendo una evaluación objetiva del sistema de control y supervisión implementado en el Laboratorio de Instrumentación.

A continuación, se muestra paso a paso el desarrollo del Runtime propuesto.

Fase 1. Ingeniería de detalle y diseño

Actividad 1.1 Realizar un análisis detallado del proceso industrial a automatizar, identificando las variables a controlar, instrumentos, puntos de control.

Actividad 1.2 Selección de plataforma Runtime a implementar con características escalable, flexible, sostenible e integrable.

Fase 2. Desarrollo e integración de Runtime Simatic WinCC Unified

Actividad 2.1 Generar lista de tags apoyado en la lista de equipos control y medición.

Actividad 2.2 Utilizar driver de comunicación del Runtime para establecer la red de control entre Runtime con PLC mediante protocolo (Profinet)

Actividad 2.3 Diseño y animación del panel de instrumentos, ventanas emergentes, tendencias, del sistema de visualización y control del laboratorio de instrumentación.

Fase 3. Puesta en marcha

Actividad 3.1 Verificar la funcionalidad completa del sistema Runtime, validando el completo desempeño de la aplicación y la estabilidad del programa.

Actividad 3.2 Pruebas FAT

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Para llevar a cabo la investigación, se ha diseñado un plan de trabajo estructurado en tres etapas claramente definidas, esta metodología organizada y sistemática asegura que todas las actividades y tareas se realicen de manera coherente y orden adecuado. Al dividir el proceso en fases, se facilita la gestión y el seguimiento del proyecto, lo que mejora la eficiencia y la efectividad en su ejecución. Además, esta estructura permite una evaluación continua y la toma de decisiones informadas, posibilitando ajustes y mejoras a lo largo del desarrollo del estudio.

De tal manera que, el procedimiento para llevar a cabo esta investigación se divide en varias fases. En primer lugar, se plantea la arquitectura del sistema de control y supervisión, considerando los elementos primarios y los actuadores necesarios para el módulo de visualización Local/Remoto del Laboratorio de Instrumentación. Seguidamente, se desarrolla la interfaz gráfica utilizando la herramienta de ingeniería TIA-PORTAL. Finalmente, se valida la funcionalidad de las comunicaciones entre el PLC, el PC industrial y el proceso, asegurando la integración efectiva de todos los componentes.

De ahí que, la primera fase sea de planificación y diseño, incluye actividades como el análisis detallado del proceso industrial a automatizar y la selección de una plataforma Runtime adecuada. Mientras que, la segunda fase, de desarrollo e integración de Runtime Simatic WinCC Unified, abarca la generación de listas de tags y el diseño de paneles de control. Finalmente, la tercera fase, de puesta en marcha, se centra en verificar la funcionalidad completa del sistema y realizar pruebas FAT. De tal modo que, esta metodología asegura una ejecución eficiente y

eficaz del proyecto, cumpliendo con los objetivos establecidos y facilitando la validación de los resultados obtenidos.

Asimismo, cabe resaltar que las fases planteadas son fundamentales para la planificación y diseño lo cual permiten un análisis detallado del proceso y la selección de herramientas adecuadas, mientras que la fase de desarrollo e integración garantiza la implementación efectiva del sistema. Definitivamente, la ratificación y puesta en marcha validan la funcionalidad y estabilidad del sistema, asegurando que se cumplan los objetivos del proyecto y facilitando la evaluación de resultados.

5. RESULTADOS

5.1. Planteamiento de la arquitectura del sistema de control y supervisión teniendo en cuenta los elementos primarios y actuadores para el módulo de visualización Local/Remoto del Laboratorio de Instrumentación.

Fase 1. Ingeniería de detalle y diseño

La primera fase del proyecto se centra en la planificación y diseño del sistema de control y supervisión. De tal modo que, a través de las actividades realizadas en esta etapa, se obtendrá una base sólida para el desarrollo posterior del sistema. El análisis detallado del proceso industrial permitirá comprender a profundidad las dinámicas del sistema y establecer los requerimientos técnicos necesarios. Por otro lado, la selección de SIMATIC WinCC Unified Runtime como plataforma garantiza la implementación de un sistema robusto, flexible y preparado para enfrentar los desafíos de la industria actual. Con esta base, se procederá al diseño de la arquitectura del sistema, incluyendo la selección de los componentes hardware y software adecuados, y la definición de las comunicaciones entre los diferentes elementos.

Actividad 1.1 Realizar un análisis detallado del proceso industrial a automatizar, identificando las variables clave a controlar, los setpoint de control y alcances esperados.

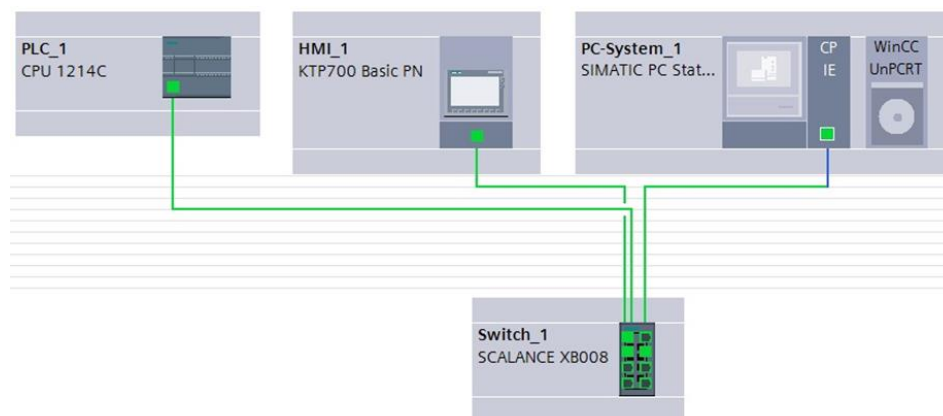
Cabe destacar que, para iniciar el desarrollo del sistema de control y supervisión se realizó un análisis exhaustivo del proceso industrial del laboratorio de instrumentación, el cual, permitió identificar las variables críticas que requieren control, como temperatura, presión, flujo, entre otras. Asimismo, se establecieron los valores de referencia (setpoints) a los cuales se desea mantener estas variables.

Con esta información detallada, se definirán los alcances del sistema, es decir, las funciones específicas que este deberá cumplir para optimizar el proceso y garantizar su correcto funcionamiento.

Actividad 1.2 Selección de plataforma Runtime que sea escalable, flexible, sostenible e integrable a la industria 4.0

Por otra parte, la elección de la plataforma Runtime es una decisión estratégica que impactará directamente en el desempeño y la escalabilidad del sistema. SIMATIC WinCC Unified Runtime se presenta como una opción altamente viable, gracias a su capacidad para adaptarse a diferentes entornos industriales y su alineación con los principios de la Industria 4.0. Asimismo, esta plataforma ofrece una interfaz intuitiva para el desarrollo de aplicaciones de supervisión y control, así como una amplia gama de funcionalidades que permiten integrar diversos dispositivos y sistemas. Además, su arquitectura escalable garantiza que el sistema pueda crecer y evolucionar de acuerdo con las necesidades futuras del laboratorio.

Figura 1 Arquitectura del sistema de control y supervisión



Fuente: Elaboración propia

La imagen muestra una configuración típica de un sistema de automatización industrial compuesto por varios elementos clave. En el centro de la red se encuentra un switch industrial SCALANCE XB008, que actúa como el punto de conexión central para todos los dispositivos. A este switch están conectados un PLC Siemens S7-1200 (PLC_1), una pantalla táctil HMI KTP700 Basic PN (HMI_1) y una PC industrial (PC-System_1). El PLC se encarga de controlar los procesos industriales, la HMI sirve como interfaz para monitorear y controlar estos procesos, y la PC alberga el software de supervisión WinCC.

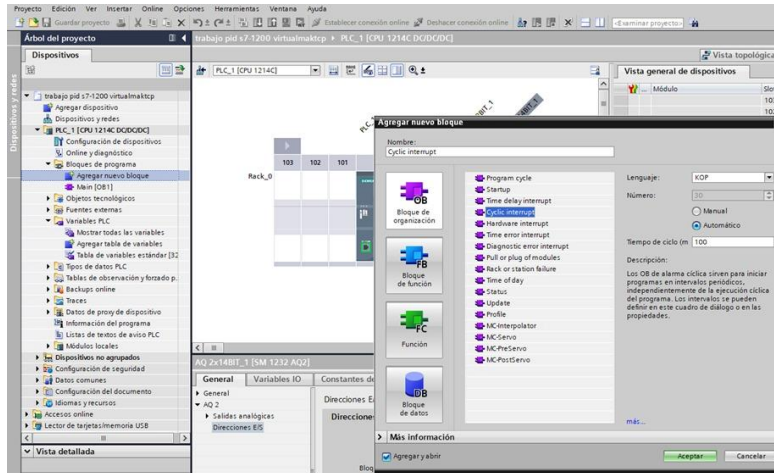
Todos los dispositivos están conectados al switch a través de cables de red. El PLC y la HMI están conectados directamente al switch, mientras que la PC industrial utiliza una tarjeta de comunicaciones (CP) para establecer la conexión. De tal manera que, la comunicación entre los dispositivos se realiza a través de un protocolo de red industrial, probablemente PROFINET, que permite el intercambio de datos en tiempo real, lo cual significa que las señales de control y los datos de proceso fluyen continuamente entre el PLC, la HMI y la PC.

Ahora bien, esta configuración permite una supervisión y control eficiente de los procesos industriales. De tal modo que, el PLC adquiere datos de los instrumentos y actuadores conectados a él, procesa esta información y envía las señales de control necesarias para mantener el proceso dentro de los límites establecidos. De ahí que, la HMI presenta de forma gráfica los datos del proceso, permitiendo a los operadores monitorear el estado del sistema y realizar ajustes si es necesario. A su vez, la PC proporciona una interfaz de usuario más avanzada para la configuración, diagnóstico y optimización del sistema. WinCC, el software de supervisión instalado en la PC, permite visualizar y analizar datos históricos, así como generar informes y alarmas.

Mientras que, en la Figura 2 la imagen captura un momento clave en la configuración de un proyecto de automatización en TIA Portal, una herramienta de software de Siemens. En la parte izquierda de la pantalla, se observa el árbol del proyecto, que organiza de manera jerárquica todos los elementos que conforman la aplicación. De ahí que, este árbol nos permite navegar fácilmente entre los distintos dispositivos, bloques de programa, variables y otros objetos que componen el proyecto.

Cabe destacar que, la sección central de la pantalla muestra un diálogo para agregar un nuevo bloque de organización (OB). Asimismo, los bloques OB son fundamentales en la programación de PLC, ya que se utilizan para ejecutar tareas específicas en momentos determinados del ciclo de programa. En este caso, se está configurando un OB de interrupción cíclica, el cual se ejecutará periódicamente cada cierto tiempo, permitiendo implementar funciones como la lectura de entradas, el cálculo de salidas y la actualización de variables.

Figura 2 Automatización en TIA Portal



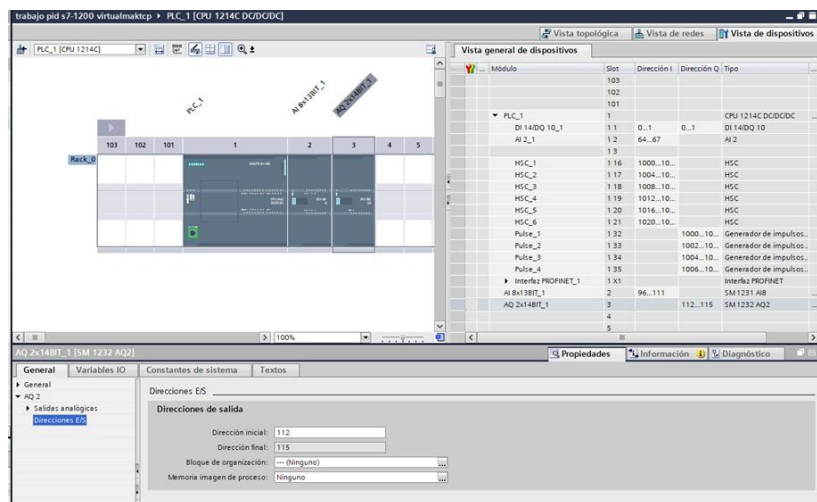
Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, en la parte inferior de la pantalla, se detallan las propiedades del bloque de organización que se está creando. Aquí se pueden configurar parámetros como el lenguaje de programación (en este caso, KOP), el número del bloque, la descripción y el tiempo de ciclo. Además, se puede seleccionar el tipo de interrupción (cíclica, por hardware, por tiempo, entre otros.) y definir las acciones que se llevarán a cabo dentro del bloque. Igualmente, esta configuración detallada permite adaptar el funcionamiento del bloque a las necesidades específicas de la aplicación. En síntesis, la figura 2 exhibe un capture de la creación y configuración de un bloque de organización en un proyecto de automatización con TIA Portal, esta tarea es esencial para estructurar el programa del PLC y garantizar que las labores se ejecuten de manera eficiente y confiable.

A continuación, en la figura 3 se presenta el software de programación TIA Portal de Siemens, el cual se utiliza para configurar y programar los controladores lógicos programables (PLC). En la parte superior, podemos observar el nombre del proyecto y el tipo de PLC utilizado (CPU 1214C), lo que sugiere que se trata de un sistema

de tamaño mediano. Asimismo, la representación gráfica en el centro de la pantalla nos muestra una vista hardware del PLC, donde se identifican los módulos de entrada/salida, las interfaces de comunicación y otros componentes físicos.

Figura 3 Software de programación TIA Portal de Siemens



Fuente: Elaboración propia

Desde esta perspectiva, la sección inferior izquierda de la imagen se enfoca en la configuración de las direcciones de entrada/salida (E/S) del PLC. Aquí se detallan las direcciones de las señales analógicas y digitales que se utilizarán para comunicarse con los dispositivos externos, como sensores y actuadores. Es decir, se está definiendo qué parte de la memoria del PLC se asignará a cada señal física del proceso, esta configuración es crucial para garantizar que el PLC interprete correctamente las señales que recibe y envíe las señales de control adecuadas.

Al mismo tiempo, la sección inferior derecha muestra las propiedades de un módulo de salida analógica específico (AQ 2x14BIT 1). En esta sección, se configuran parámetros como la dirección inicial y final de las salidas, el bloque de

organización al que pertenecen y la memoria de imagen de proceso, estos parámetros determinan cómo se manejarán las señales analógicas que se enviarán desde el PLC a los dispositivos externos. En suma, la imagen presenta un capture de la configuración de un PLC Siemens, donde se están definiendo las conexiones físicas entre el PLC y los dispositivos externos, así como la asignación de memoria para el manejo de las señales de entrada y salida. Por lo tanto, esta configuración es fundamental para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de automatización.

5.2. Desarrollo de la interfaz gráfica en la herramienta de ingeniería tia portal para el desarrollo del sistema de control y supervisión.

Fase 2. Desarrollo e integración de Runtime Simatic WinCC Unified

Cabe destacar que, dicha fase es fundamental para dar vida a la configuración virtual del PLC. Tras una meticulosa programación y configuración, se ha procedido a integrar el entorno de ejecución WinCC Unified Runtime. De tal modo que, esta etapa ha permitido materializar la interfaz gráfica de usuario, estableciendo una conexión fluida entre el mundo digital del software y el hardware real de la planta. Gracias a esta integración, ahora es posible monitorear en tiempo real los procesos industriales, visualizar datos clave y realizar ajustes de manera intuitiva, optimizando así la eficiencia y productividad del sistema.

Actividades 2.1 Generar lista de estructuras de tags apoyado en la jerarquía de control, reflejando el sistema de visualización local/remoto del laboratorio de control.

En esta primera actividad, se ha construido el esqueleto de la comunicación entre el sistema de visualización y el PLC. Al generar una lista de estructuras de tags, se

ha definido de manera precisa qué datos se intercambiarán entre ambos equipos. En este sentido, es como crear un diccionario donde cada palabra (tag) representa una variable específica del proceso, como la temperatura de un sensor o el estado de una válvula; esta estructura jerárquica permite organizar la información de manera lógica y facilita la navegación y el acceso a los datos.

Actividad 2.2 Utilizar drivers del Runtime para establecer comunicaciones industriales mediante protocolo (*Profinet*) con PLC.

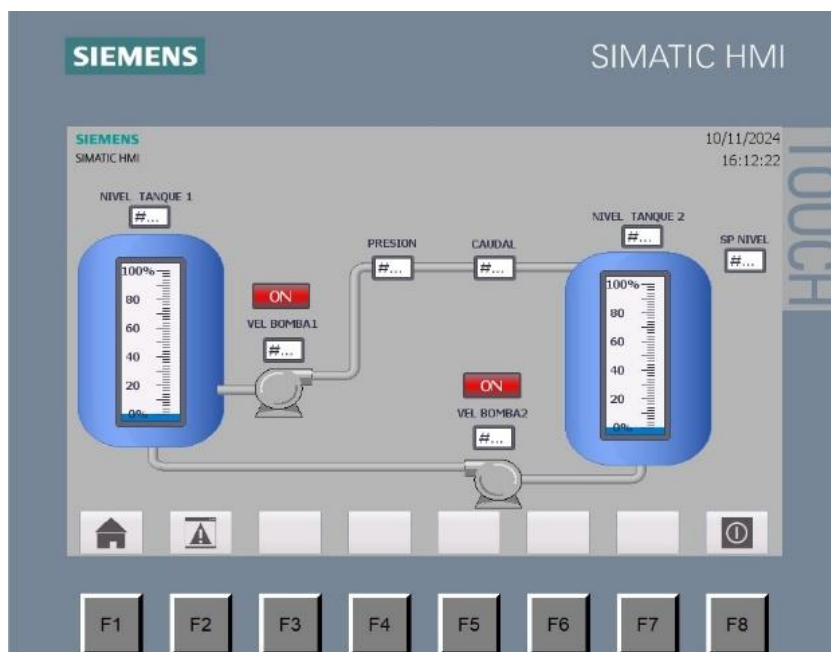
Con el objetivo de hacer "hablar" al sistema de visualización con el PLC, se han empleado los drivers del Runtime. Estos drivers son como traductores que permiten que ambos equipos se comuniquen utilizando un lenguaje común, en este caso, el protocolo Profinet. Gracias a estos drivers, se ha establecido un canal de comunicación bidireccional, permitiendo que los datos fluyan sin interrupciones entre el mundo físico (representado por el PLC) y el mundo virtual (representado por la interfaz gráfica).

Actividad 2.3 Diseño y animación del panel de instrumentos, ventanas emergentes, panel de alarmas y tendencias, del sistema de visualización y control del laboratorio de instrumentación.

En esta última actividad, se ha dado vida a la interfaz gráfica del sistema. Se han diseñado y animado paneles de instrumentos, ventanas emergentes, paneles de alarmas y tendencias, creando una experiencia de usuario intuitiva y visualmente atractiva. Estos elementos gráficos no solo permiten monitorear el proceso en tiempo real, sino también interactuar con él, modificando parámetros o activando alarmas. Es como crear un tablero de control de un avión, donde cada instrumento y botón tiene una función específica y contribuye a la seguridad y eficiencia del vuelo.

Es fundamental hacer referencia a, que la Fase 2 ha sido fundamental para establecer una conexión sólida entre el mundo físico y el digital. Puesto que, ee ha definido la estructura de los datos, se han establecido los canales de comunicación y se ha creado una interfaz gráfica intuitiva. Todo esto con el objetivo de proporcionar una herramienta poderosa para monitorear, controlar y optimizar el proceso industrial.

Figura 4 Pantalla de una HMI



Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior, se presenta la pantalla de una HMI que a simple vista indica señala el sistema que controla el nivel de líquido en dos tanques. En este contexto, los elementos gráficos como los indicadores de nivel, las bombas y los botones,

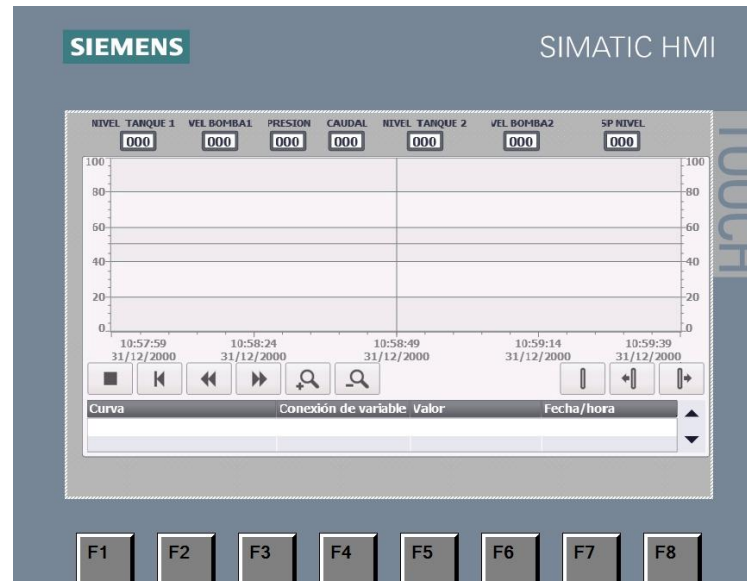
sugieren que esta HMI está diseñada para monitorear y controlar un proceso industrial que involucra el llenado y vaciado de estos tanques. De tal manera que, la interfaz es intuitiva y fácil de entender, lo que permite a los operadores realizar ajustes y tomar decisiones de manera rápida y eficiente.

Además, la HMI muestra una serie de elementos clave para la operación del sistema. En donde, los indicadores de nivel nos proporcionan información en tiempo real sobre el nivel de líquido en cada tanque. Igualmente, los botones "ON" y los indicadores de velocidad de las bombas sugieren que se pueden controlar las bombas para llenar o vaciar los tanques. Además, se incluyen botones funcionales (F1, F2, etc.) que probablemente están asociados a otras funciones del sistema, como alarmas, modos de operación o ajustes de parámetros.

Ahora bien, esta HMI actúa como una ventana al proceso industrial. Los operadores pueden utilizarla para monitorear el estado de los tanques, controlar las bombas y realizar ajustes en los parámetros del proceso. En donde, la información visualizada en la pantalla es actualizada en tiempo real, lo que permite a los operadores tomar decisiones informadas y reaccionar rápidamente ante cualquier evento inesperado. Además, la HMI puede generar alarmas visuales y sonoras para alertar al operador de cualquier condición anormal, como un nivel de líquido demasiado alto o bajo.

En síntesis, la imagen que indica la interfaz gráfica de usuario que facilita la interacción entre el operador y un proceso industrial, por lo que, esta HMI permite monitorear y controlar de manera eficiente un sistema que involucra el manejo de líquidos en tanques, contribuyendo a la optimización de los procesos y a la seguridad de la operación.

Figura 5 Visualización de datos históricos del proceso



Fuente: Elaboración propia

En efecto, en esta pantalla de la HMI se centra en la visualización de datos históricos del proceso. A diferencia de la pantalla anterior, que mostraba los valores actuales de las variables, esta permite observar cómo han evolucionado estas variables a lo largo del tiempo. De ahí que, los gráficos de línea muestran la tendencia del nivel de los tanques, la presión, el caudal y la velocidad de las bombas en un intervalo de tiempo específico. Al mismo tiempo, esta información es invaluable para analizar el comportamiento del sistema, identificar patrones y detectar posibles problemas.

Además, la HMI proporciona una serie de herramientas que facilitan la navegación y la configuración de los gráficos. De tal manera que, los botones de desplazamiento permiten avanzar o retroceder en el tiempo, mientras que los botones de zoom permiten ampliar o reducir la escala de los gráficos. También, se puede seleccionar la variable que se desea visualizar y configurar el rango de fechas

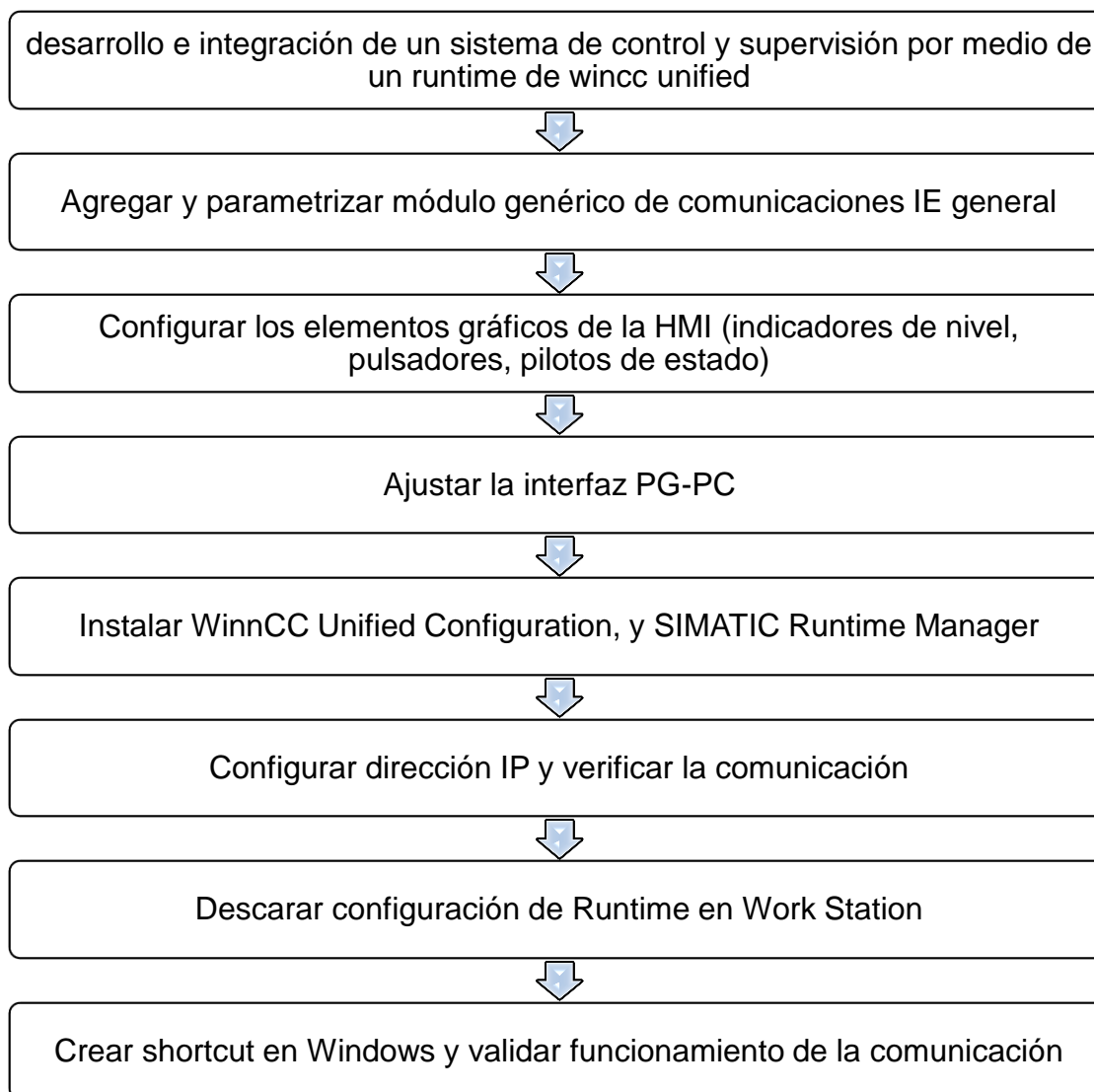
y horas, estas opciones brindan al operador una gran flexibilidad para analizar los datos de acuerdo a sus necesidades.

Por otro lado, la visualización de datos históricos tiene múltiples aplicaciones en la industria. Por ejemplo, se puede utilizar para identificar las causas de fallos en el proceso, optimizar los parámetros de operación, predecir futuras tendencias y generar informes para la gestión. Además, esta información puede ser utilizada para realizar análisis estadísticos y aplicar técnicas de inteligencia artificial para mejorar la eficiencia y la productividad del sistema. En extracto, esta pantalla de la HMI muestra una poderosa herramienta para el análisis de datos históricos. Al permitir visualizar la evolución de las variables del proceso a lo largo del tiempo, los operadores pueden obtener una comprensión más profunda del comportamiento del sistema y tomar decisiones más informadas para mejorar su rendimiento.

En definitiva, las interfaces, tanto HMI como SCADA, ofrecen una visión integral de la planta. Es decir, la HMI como punto de acceso principal, presenta una pantalla general con los parámetros clave del proceso. A partir de ahí, se puede acceder a pantallas de configuración más detalladas, donde se ajustan los valores de los actuadores. Para una mayor flexibilidad, se incluye una pantalla adicional que permite forzar manualmente el valor de las variables de los actuadores, brindando un control preciso y directo sobre el proceso.

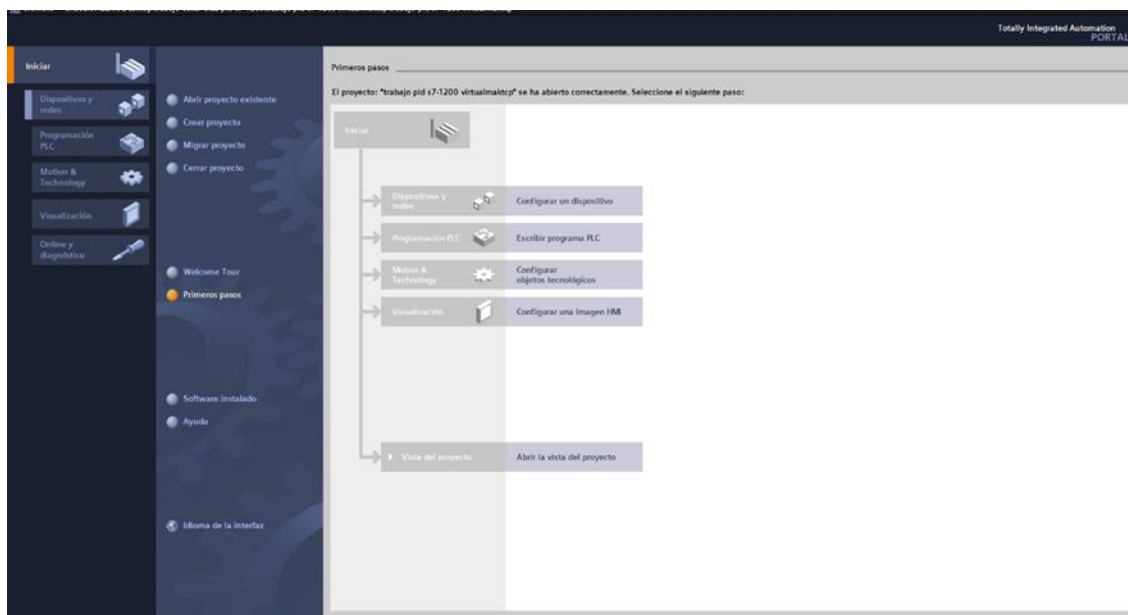
5.3. Proceso del desarrollo e integración de un sistema de control y supervisión por medio de un Runtime de WinCC unified

Figura 6 Procedimiento



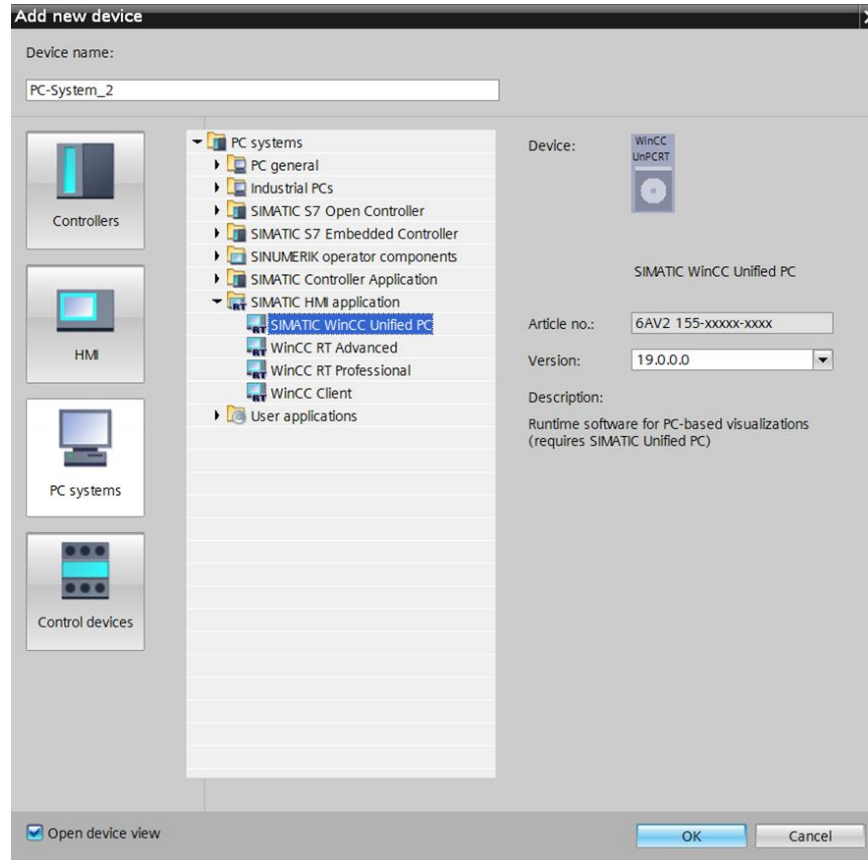
En el navegador de Windows iniciar el programa de Siemens, Tia portal, y abrir el proyecto en el que se encuentran configurados el PLC y la interfaz HMI como se muestra en la *figura 7*. A continuación agregar el dispositivo Simatic WinCC Application y seleccionar la referencia Simatic WinCC Unified PC, y dar “ok” para seleccionar el pc industrial como lo muestra en la *Figura 8*. Al seleccionar, en el sistema se genera automáticamente una topología de red, en donde el dispositivo con nombre de WinCC UNPCRT no está conectado a la red ni esta asignado módulos de comunicación como se indica en la *Figura 9*.

Figura 7 Ejecutar software TIA PORTAL.



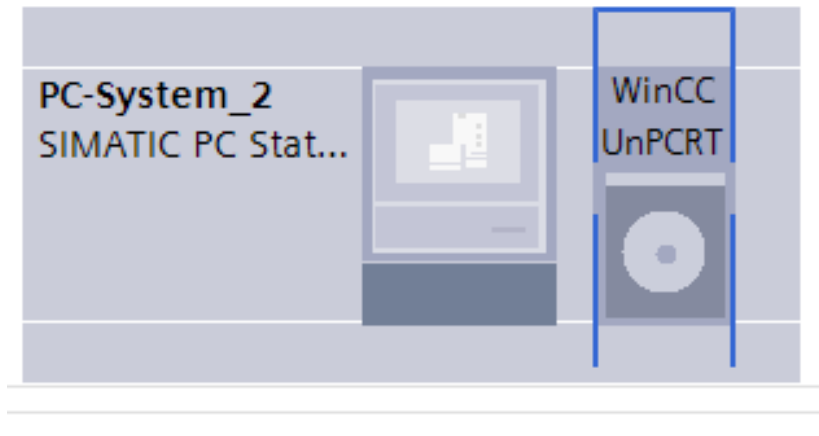
Fuente: elaboración propia

Figura 8 Selección de PC System



Fuente: elaboración propia

Figura 9 PC System sin módulo de comunicación

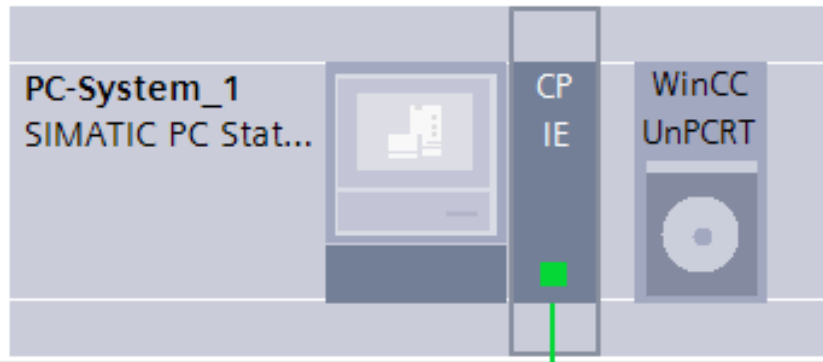


Fuente: elaboración propia

En este entorno de trabajo, agregar módulo genérico de comunicación denominado IE General *Figura 10* ubicado en *catálogo de hardware - módulos de comunicación - Profinet driver*, el cual actúa como intermediario en la transmisión de datos entre los distintos dispositivos de la red. Al realizar este procedimiento el dispositivo debe tener la apariencia de la *Figura 11*.

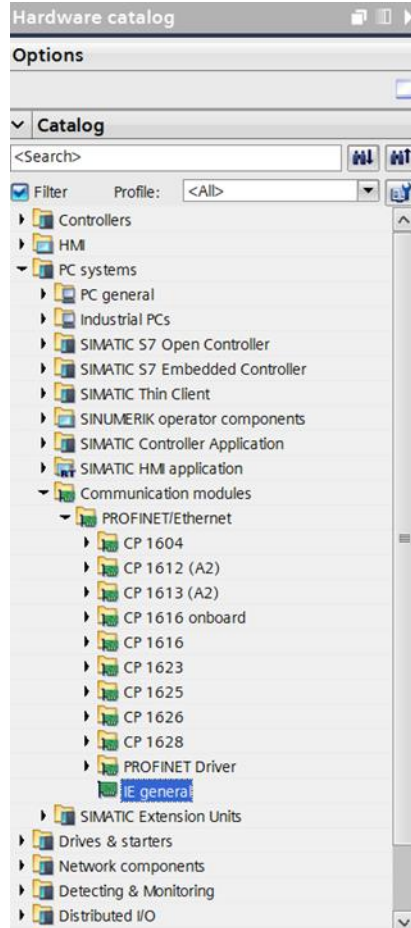
Continuar con la parametrización de la comunicación, y asegurar la selección correctamente de los protocolos industriales (Profinet o Ethernet/IP, según el caso) y las direcciones IP de los equipos para garantizar la integridad en la transmisión de datos como se muestra en la figura *Figura 12*

Figura 10 PC System con módulo de comunicación



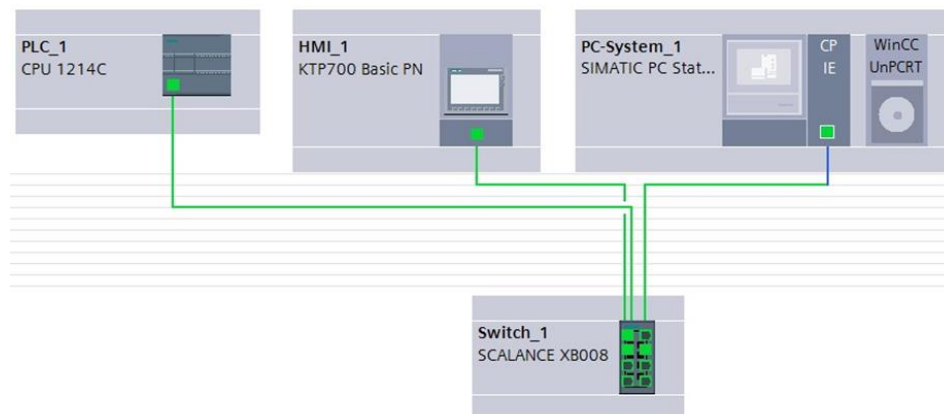
Fuente: elaboración propia

Figura 11 Modulo de comunicación genérico



Fuente: elaboración propia

Figura 12 conexión topológica

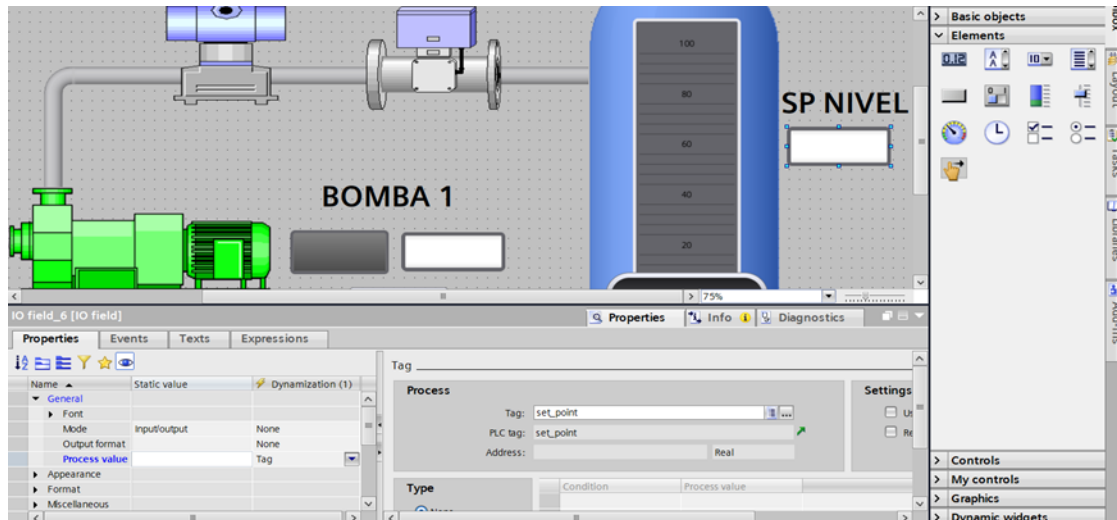


Fuente: elaboración propia

Posteriormente, configurar los elementos gráficos de la HMI, integrando indicadores numéricos del setpoint de nivel, frecuencia de la bomba e, indicadores booleanos en pilotos de estado y pulsadores, para la ejecución y el funcionamiento del proceso. Al vincular se debe tener en cuenta las variables del proceso y los tags usados. Como es ilustrado en las *Figuras 13, 14 y 15*.

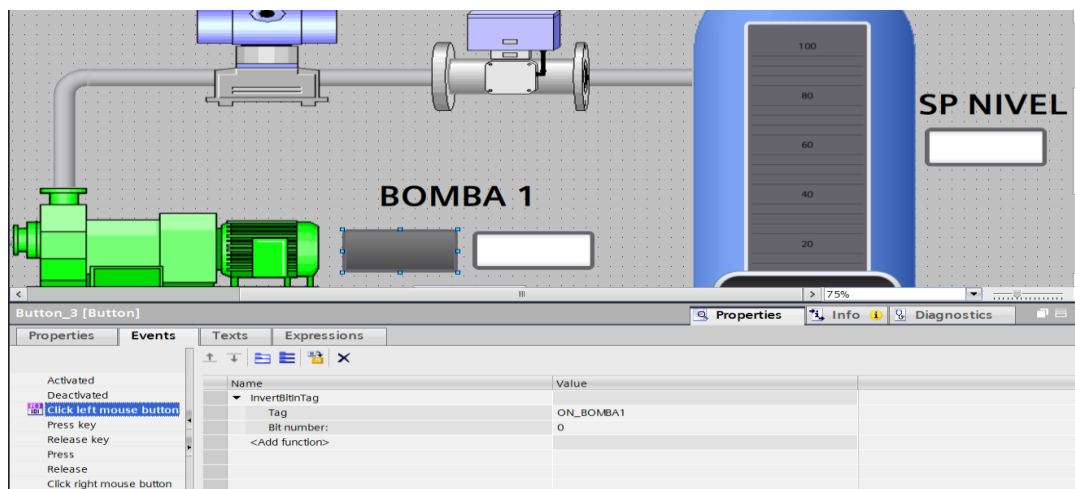
Cada variable vinculada a la interfaz del runtime es importada de las variables del PLC, creando así una nueva tabla de variables dentro del runtime como se demuestra en la *Figura 16*.

Figura 13 Selección de indicador numérico



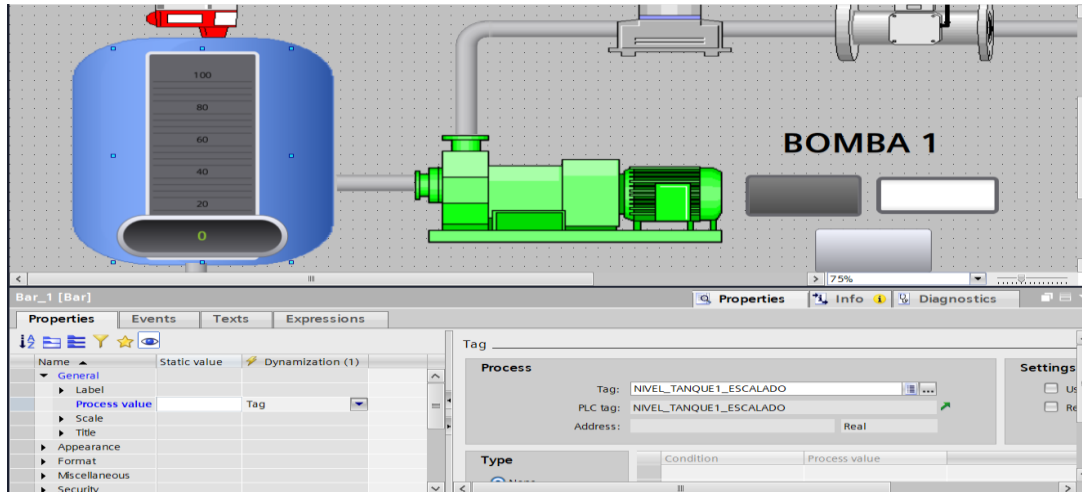
Fuente: elaboración propia

Figura 14 Selección botón de maniobra



Fuente: elaboración propia

Figura 15 Selección Indicador grafico



Fuente: elaboración propia

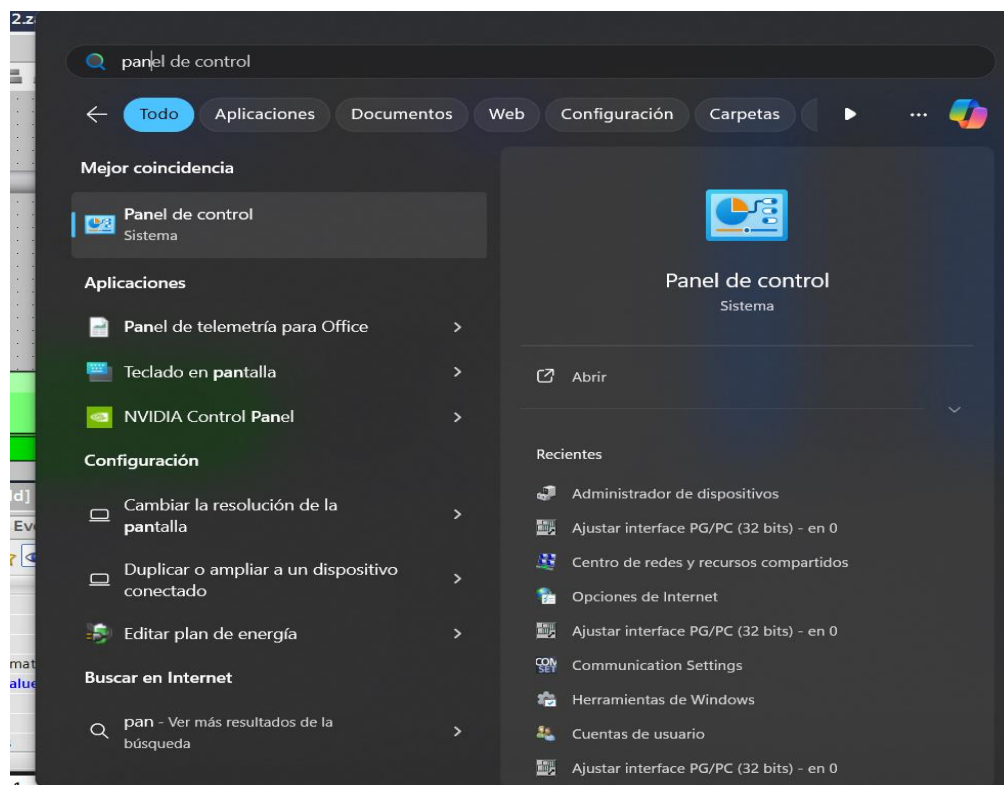
Figura 16 Tabla de variables

HMI tags									
Name	Tag table	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address	Access mode	Acquisition cycle	
CAUDAL_ESCALADO	Default tag ta...	Real	HML_Conne...	PLC_1	CAUDAL_ESCALADO ...		<symbolic ac...	T1s	
CAUDAL_WORD	Default tag table	Word	HML_Connectio...	PLC_1	CAUDAL_WORD		<symbolic access>	T1s	
LUZ1	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	LUZ1		<symbolic access>	T1s	
LUZ2	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	LUZ2		<symbolic access>	T1s	
LUZ3	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	LUZ3		<symbolic access>	T1s	
LUZ4	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	LUZ4		<symbolic access>	T1s	
NIVEL_TANQUE1_ESCALADO	Default tag table	Real	HML_Connectio...	PLC_1	NIVEL_TANQUE1_ESC...		<symbolic access>	T1s	
NIVEL_TANQUE1_WORD	Default tag table	Word	HML_Connectio...	PLC_1	NIVEL_TANQUE1_WO...		<symbolic access>	T1s	
NIVEL_TANQUE2_ESCALADO	Default tag table	Real	HML_Connectio...	PLC_1	NIVEL_TANQUE2_ESC...		<symbolic access>	T1s	
NIVEL_TANQUE2_WORD	Default tag table	Word	HML_Connectio...	PLC_1	NIVEL_TANQUE2_WO...		<symbolic access>	T1s	
ON_BOMBA1	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	ON_BOMBA1		<symbolic access>	T1s	
ON_BOMBA2	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	ON_BOMBA2		<symbolic access>	T1s	
PARO_EMERGENCIA	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	PARO_EMERGENCIA		<symbolic access>	T1s	
PLC_1_bomba1_auto_man	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	bomba1_auto_man		<symbolic access>	T1s	
PRESION_ESCALADO	Default tag table	Real	HML_Connectio...	PLC_1	PRESION_ESCALADO		<symbolic access>	T1s	
PRESION_WORD	Default tag table	Word	HML_Connectio...	PLC_1	PRESION_WORD		<symbolic access>	T1s	
RELE1	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	RELE1		<symbolic access>	T1s	
RELE2	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	RELE2		<symbolic access>	T1s	
salida activa	Default tag table	Int	HML_Connectio...	PLC_1	"salida activa"		<symbolic access>	T1s	
SALIDAPWM	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	SALIDAPWM		<symbolic access>	T1s	
set_point	Default tag table	Real	HML_Connectio...	PLC_1	set_point		<symbolic access>	T1s	
VARIADOR_ON_BOMBA1	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	VARIADOR_ON_BOMB...		<symbolic access>	T1s	
VARIADOR_ON_BOMBA2	Default tag table	Bool	HML_Connectio...	PLC_1	VARIADOR_ON_BOMB...		<symbolic access>	T1s	
VEL_BOMBA_TANQUE1_ENTRA...	Default tag table	Word	HML_Connectio...	PLC_1	VEL_BOMBA_TANQUE...		<symbolic access>	T1s	
VEL_BOMBA_TANQUE1_ESCAL...	Default tag table	Real	HML_Connectio...	PLC_1	VEL_BOMBA_TANQUE...		<symbolic access>	T1s	
VEL_BOMBA_TANQUE2_salida...	Default tag table	Int	HML_Connectio...	PLC_1	VEL_BOMBA_TANQUE...		<symbolic access>	T1s	
VEL_FUJA_BOMBA_TANQUE2_S...	Default tag table	Real	HML_Connectio...	PLC_1	VEL_FUJA_BOMBA_TA...		<symbolic access>	T1s	

Fuente: elaboración propia

En el menú de inicio de Windows abrir el panel de control como se indica en la *Figura 17*, y seleccionar “ajustar la interface PG/PC (32 bits)” *Figura 18*, a continuación, en la ventana emergente elegir la tarjeta Realtek como punto de acceso de la aplicación *Figura 19*.

Figura 17 Panel de control



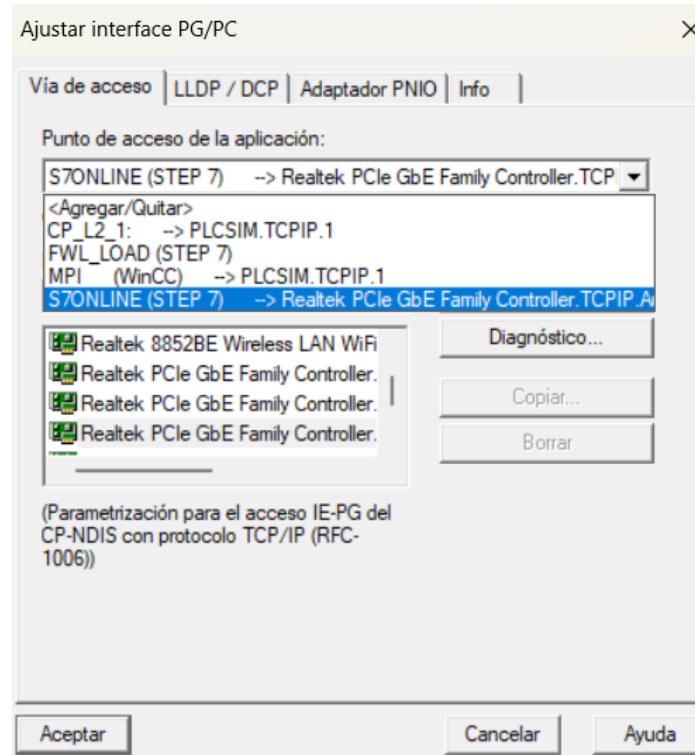
Fuente: elaboración propia

Figura 18 Seleccionar Ajustar interface PG/PC



Fuente: elaboración propia

Figura 19 Ajustar interface PG/PC



Fuente: elaboración propia

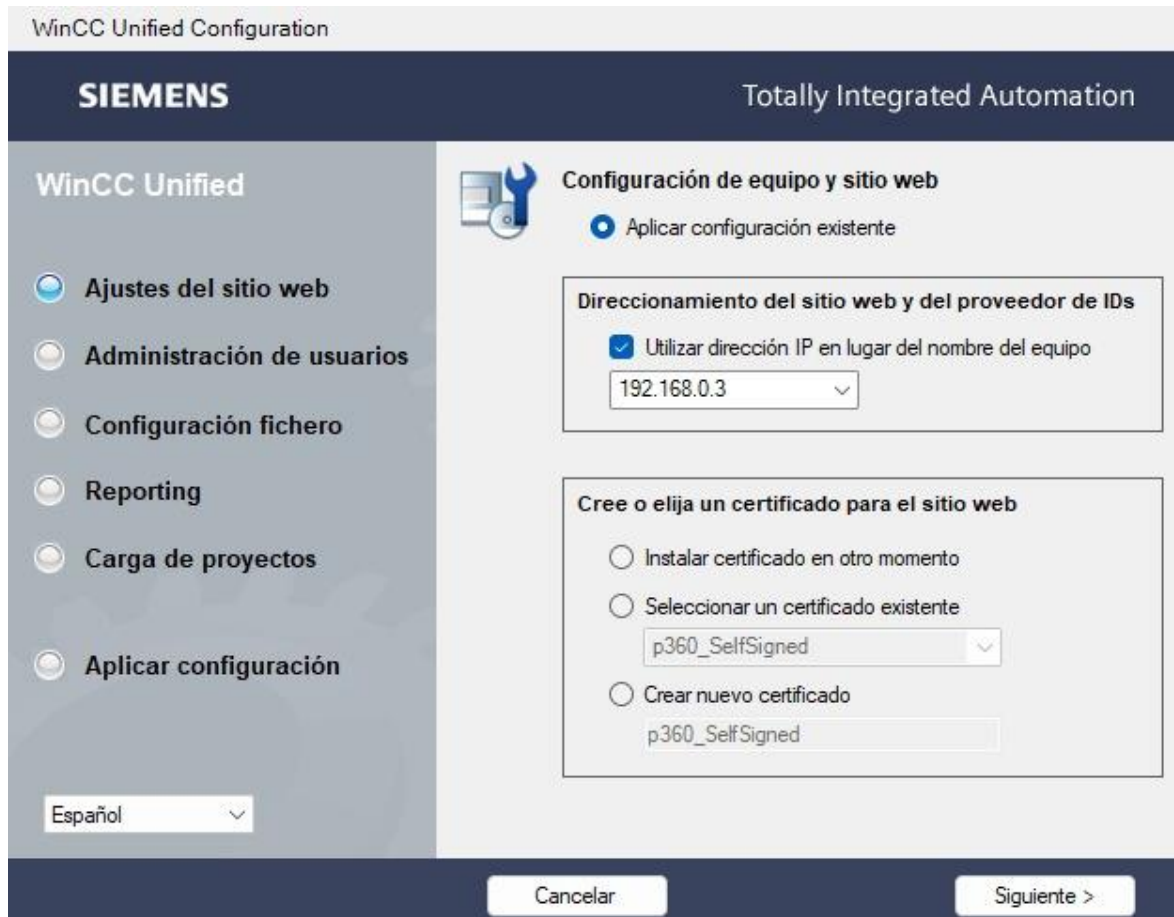
Descargar desde la página de Siemens, WinnCC Unified Configuration e instalar
Figura 20 digitar la dirección IP de la work station Figura 21 siguiente aplicar la
configuración existente en la administración de usuario, configuración fichero,
reporting y carga de proyectos sin realizar cambios Figura 22, Figura 23, Figura 24,
Figura 25,y Figura 26.

Figura 20 Instalador WinCC Unified Configuration



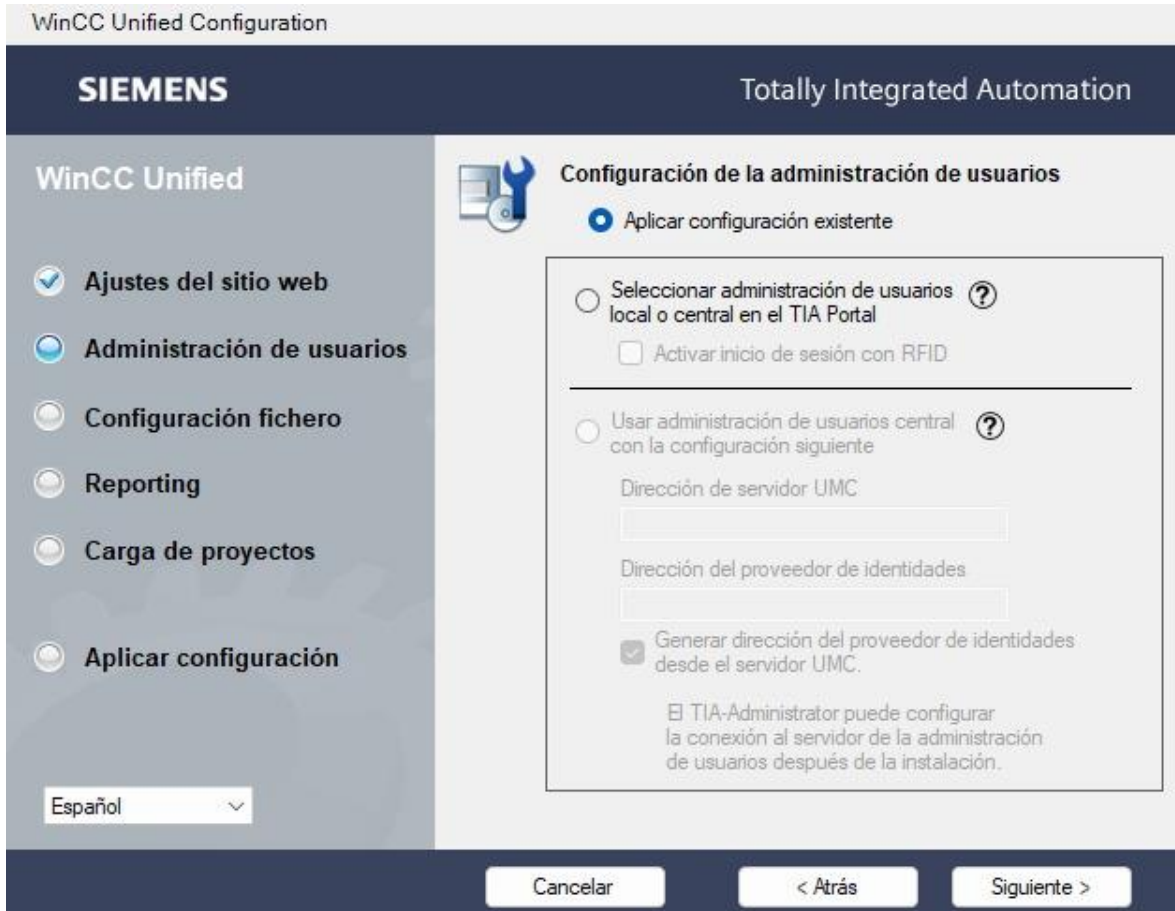
Fuente: elaboración propia

Figura 21 Ajustes del sitio web



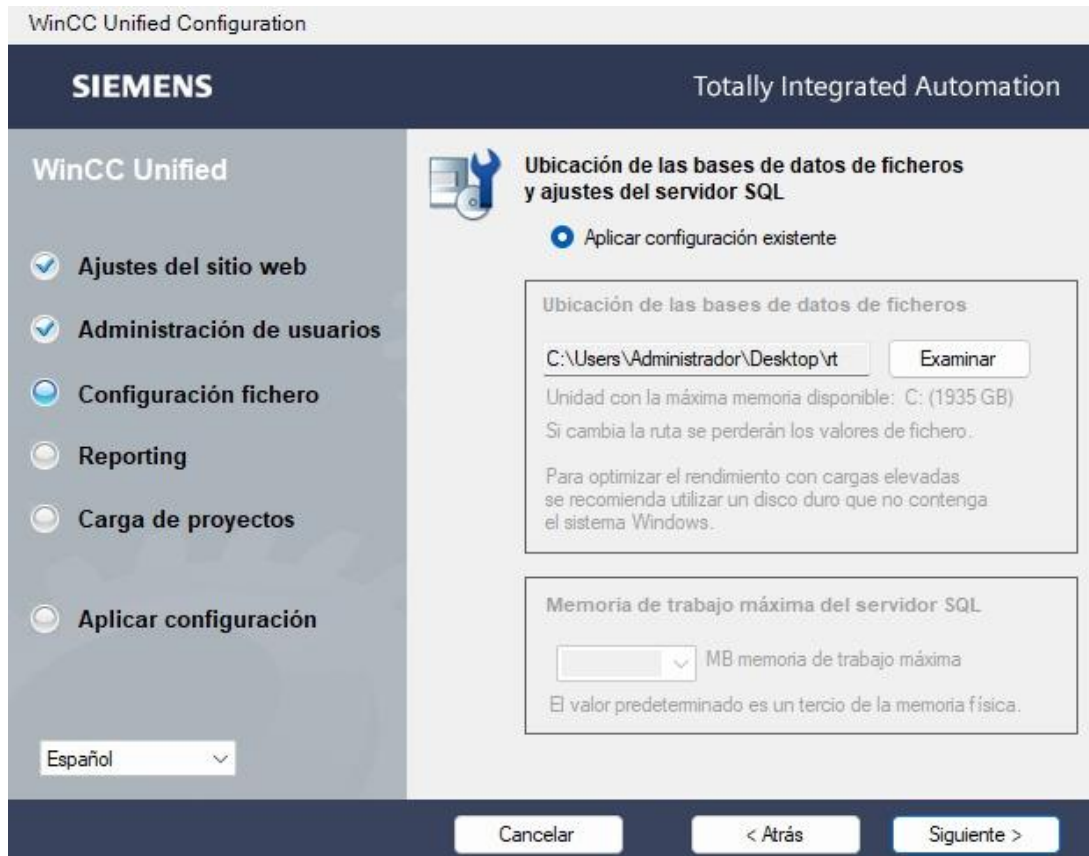
Fuente: elaboración propia

Figura 22 Ajuste de administración del usuario



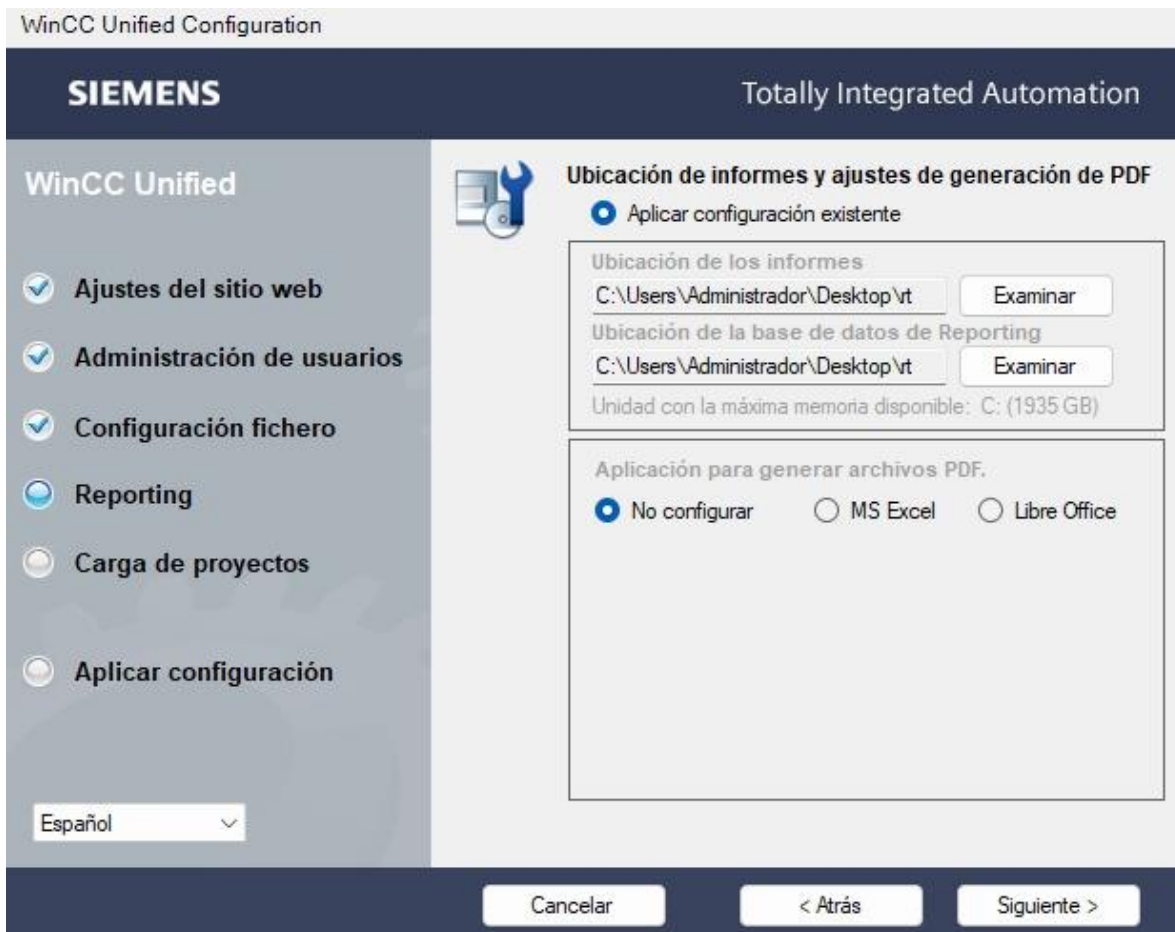
Fuente: elaboración propia

Figura 23 Configuración del fichero



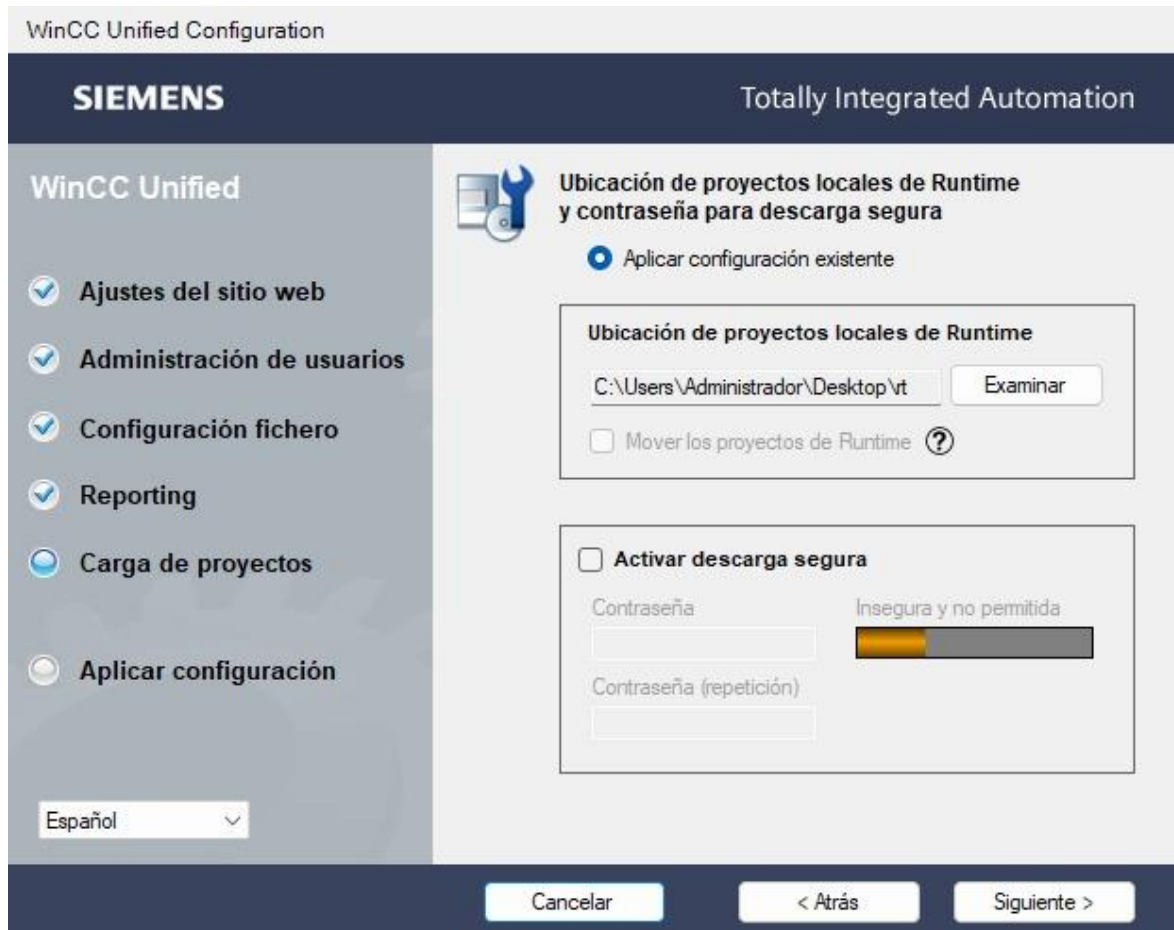
Fuente: elaboración propia

Figura 24 Ubicación de reportes



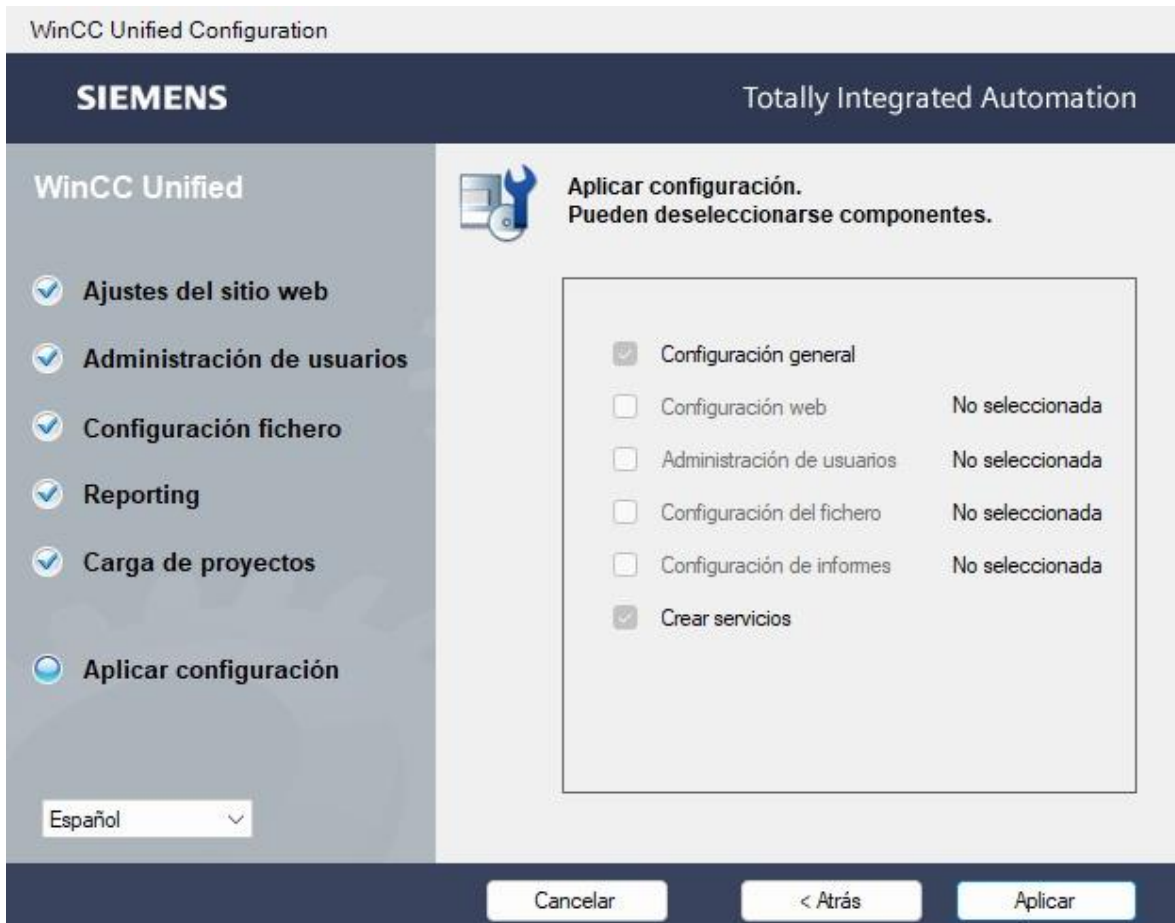
Fuente: elaboración propia

Figura 25 Configuración de la Ubicación de proyectos



Fuente: elaboración propia

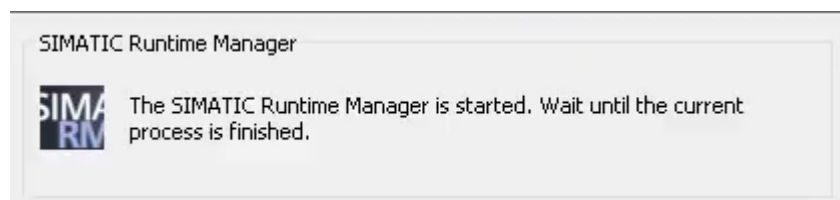
Figura 26 Selección de configuración final



Fuente: elaboración propia

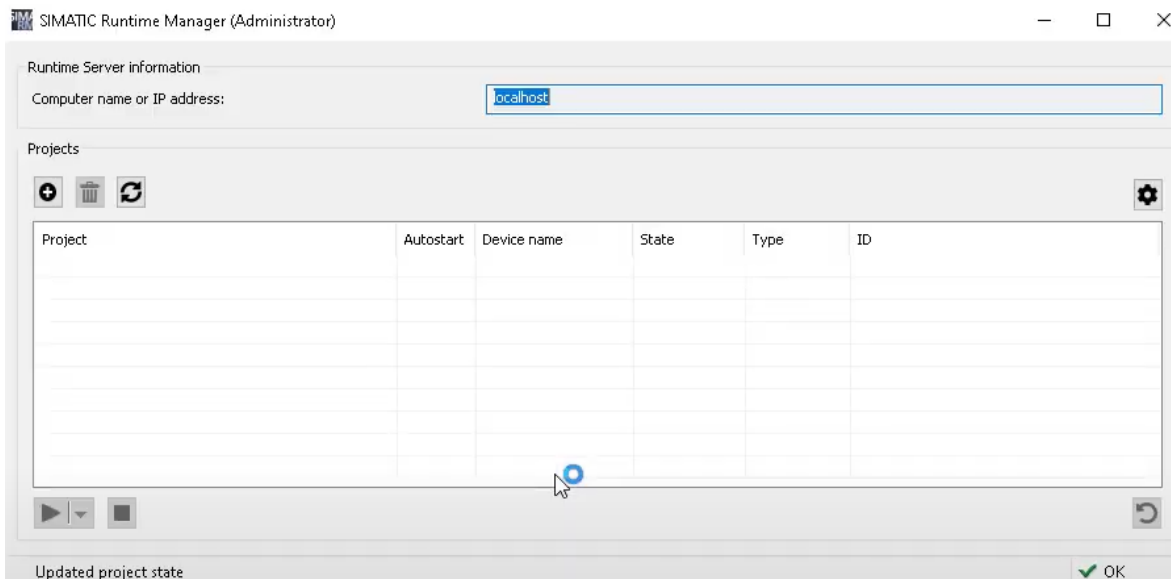
Descargar de la página de Siemens, SIMATIC Runtime Manager, e instalar *Figura 27*, digitar la IP del Work Station o el Computer name “p360” *Figura 28*.

Figura 27 Instalador de SIMATIC Runtime Manager



Fuente: elaboración propia

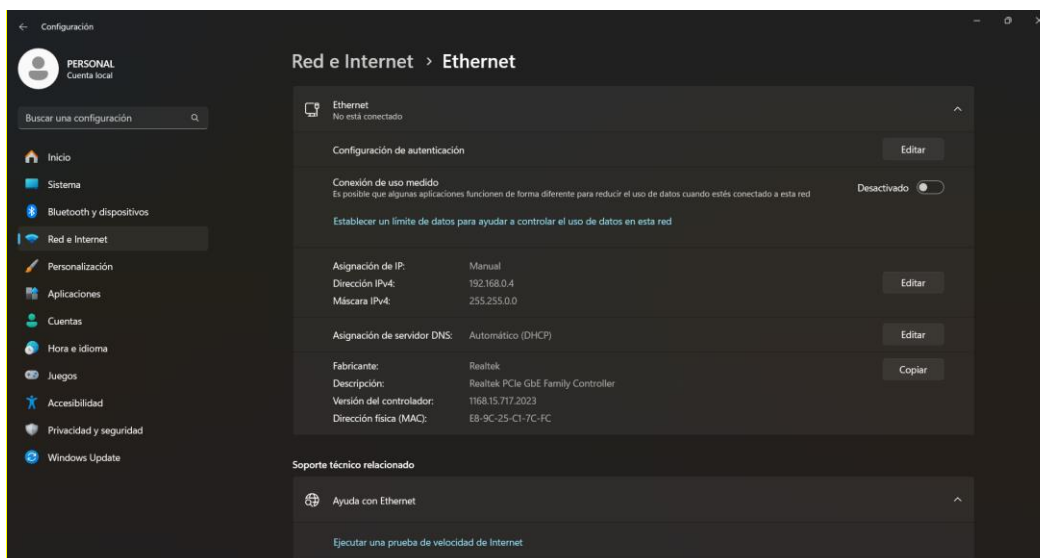
Figura 28 Definir IP del Runtime



Fuente: elaboración propia

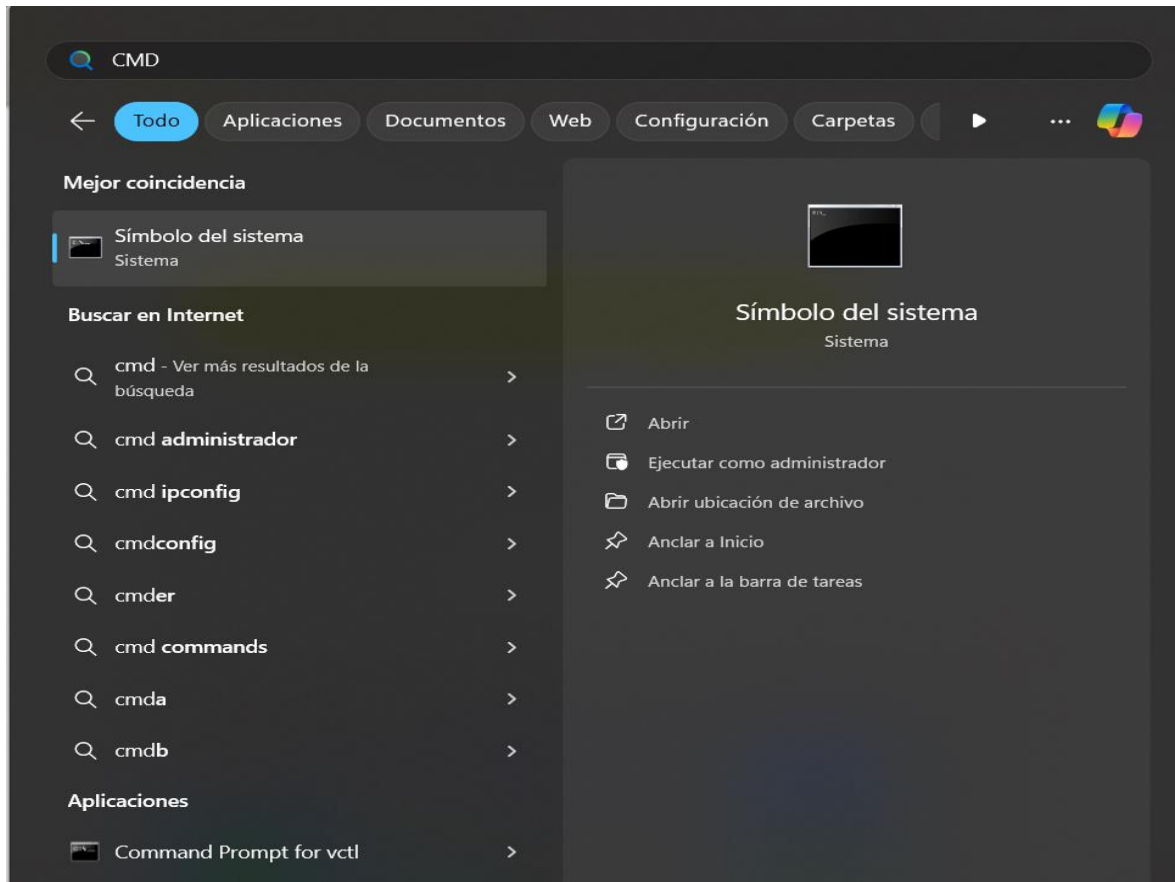
Abrir la configuración de Windows, red e internet, asignación de IP, editar y asignar la IP 192.168.0.4 *Figura 29*, en el menú de Windows iniciar la ventana de comandos CMD *Figura 30*, y dar ping PC-HMI, PC-PLC, PC-Work Station, digitando el comando “ping 192.168.0.1” *Figura 31*, y verificar la comunicación con la recepción del ping enviado *Figura 32*.

Figura 29 Configuración de dirección IP



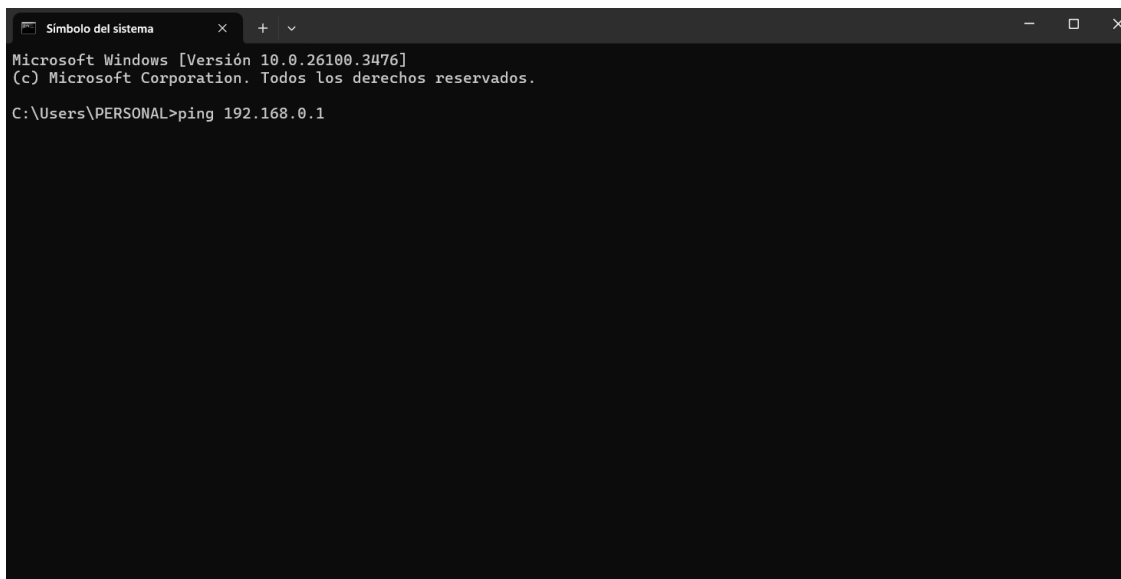
Fuente: elaboración propia

Figura 30 Abrir Ventana de comandos CDM



Fuente: elaboración propia

Figura 31 Enlace de equipos desde el CDM

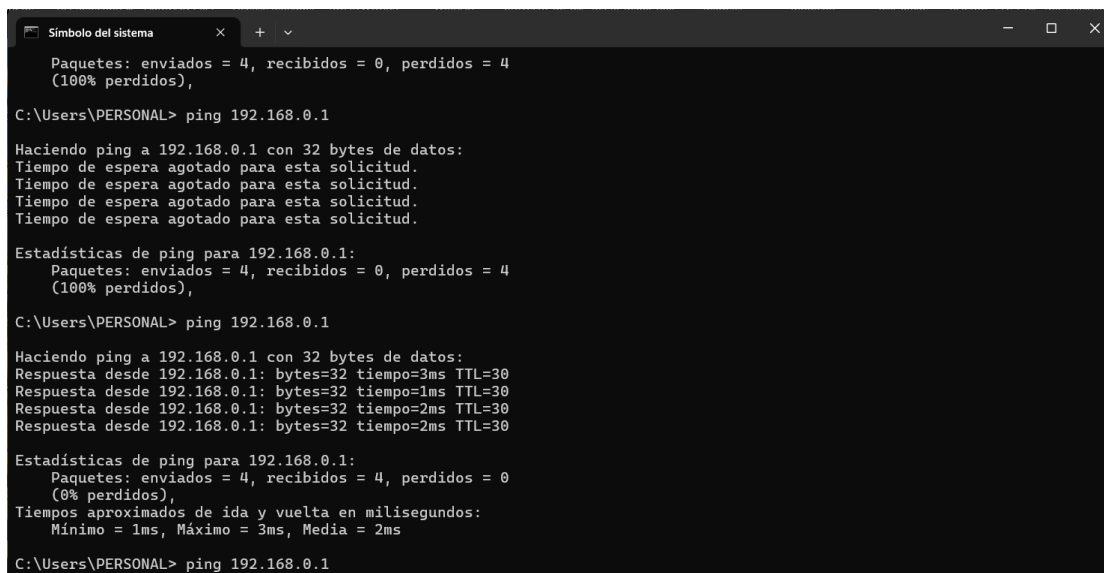


```
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.26100.3476]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\PERSONAL>ping 192.168.0.1
```

Fuente: elaboración propia

Figura 32 Verificar ping



```
Símbolo del sistema
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 0, perdidos = 4
(100% perdidos),

C:\Users\PERSONAL> ping 192.168.0.1

Haciendo ping a 192.168.0.1 con 32 bytes de datos:
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.

Estadísticas de ping para 192.168.0.1:
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 0, perdidos = 4
(100% perdidos),

C:\Users\PERSONAL> ping 192.168.0.1

Haciendo ping a 192.168.0.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=1ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=30

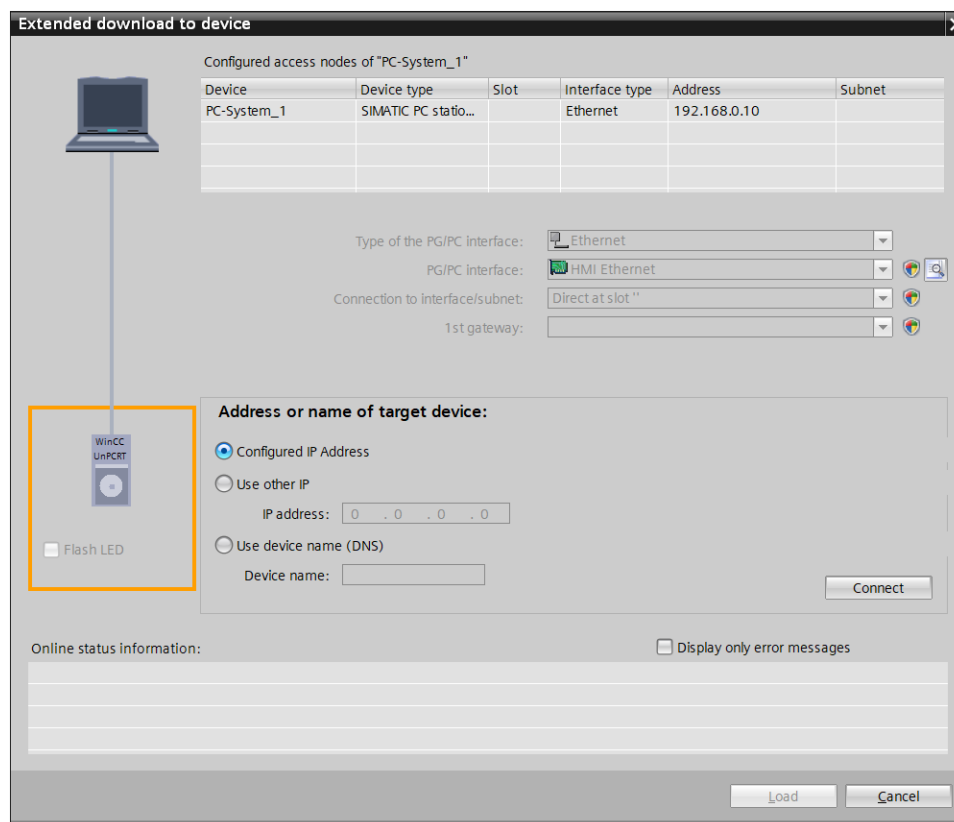
Estadísticas de ping para 192.168.0.1:
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
(0% perdidos),
Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
Mínimo = 1ms, Máximo = 3ms, Media = 2ms

C:\Users\PERSONAL> ping 192.168.0.1
```

Fuente: elaboración propia

En el árbol de proyectos, seleccionar PC-System_1, dar clic derecho a descargar, y en la ventana emergente seleccionar Ethernet, HMI-Ethernet, Direct at slot, y dirección IP configurada *Figura 33*.

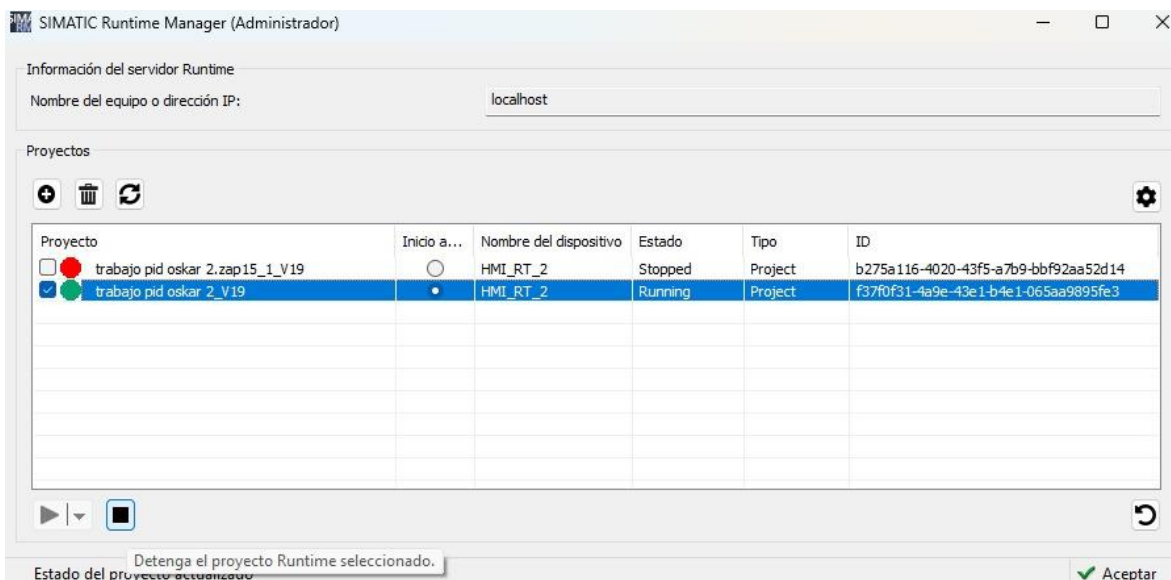
Figura 33 Descarga de Runtime



Fuente: elaboración propia

En el apartado del Work Station una vez cargada la versión desarrollada del Runtime, se evidencia en el Runtime Manager el proyecto ya cargado y ejecutándose *Figura 34*.

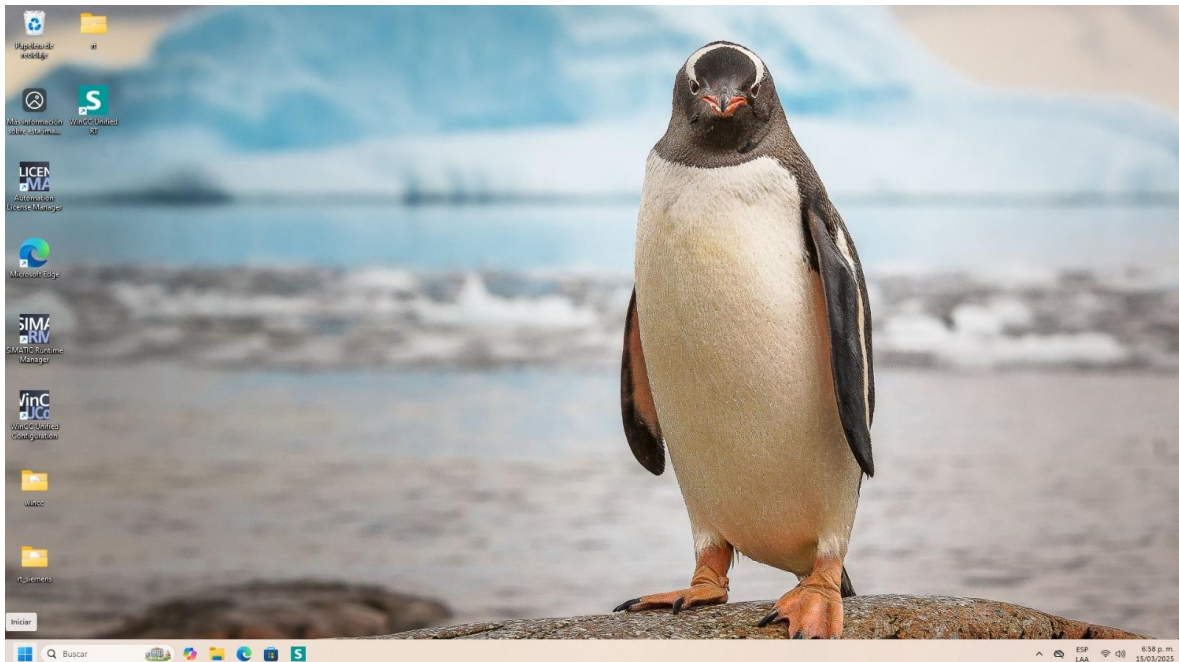
Figura 34 Ejecución del Runtime



Fuente: elaboración propia

Abrir el buscador Google Chrome y digitar la dirección IP 192.168.0.3, a continuación, se visualiza el Runtime, en la esquina superior derecha dar clic a los 3 puntos para desplegar las opciones del buscador y seleccionar guardar página en “enviar, guardar y compartir”, definir nombre y ubicación del shortcut *Figura 35*.

Figura 35 Ejecutar el shortcut en el escritorio de la PC



Fuente: elaboración propia

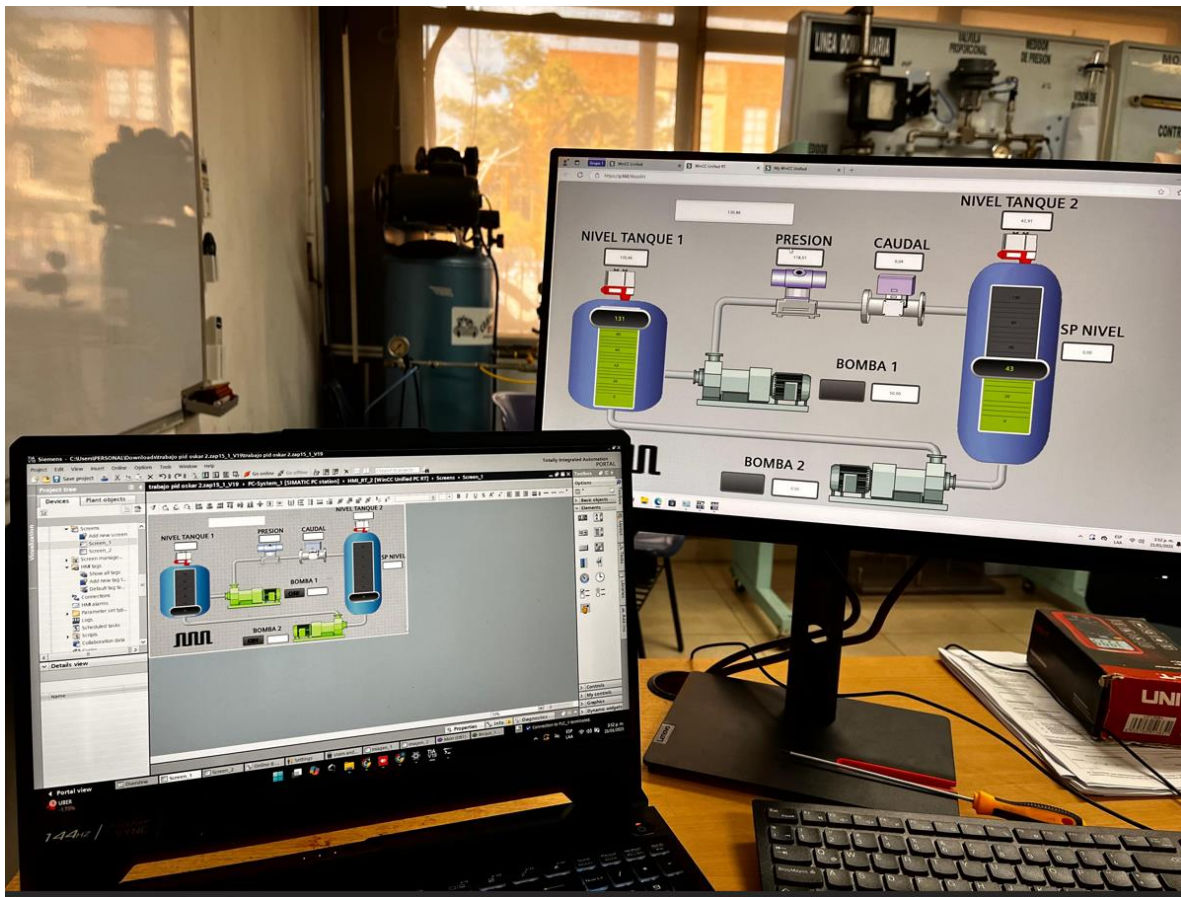
ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder proceso Sistema Integrado de
Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Abrir el shortcut desde el escritorio del work station y verificar los estados, indicadores y controles *Figura 36*.

Figura 36 Validación del sistema



Fuente: elaboración propia

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder proceso Sistema Integrado de
Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

5.4. Validación de la funcionalidad de las comunicaciones entre el PLC, el PC industrial y el proceso.

En este caso, la validación permite asegurar de que el PLC, el PC industrial y los sensores y actuadores del proceso se comuniquen de manera efectiva y precisa. Cabe destacar que, al llevar a cabo esta validación, podemos verificar que los datos se estén transmitiendo correctamente entre los dispositivos, que los comandos se estén ejecutando según lo programado y que el sistema esté respondiendo de forma adecuada a los cambios en el proceso.

Fase 3. Ratificación y puesta en marcha

La Fase 3 marca el punto de inflexión en el trabajo de investigación. Puesto que, después de diseñar, configurar y probar cada componente por separado, ahora se integra todo para crear un sistema funcional y confiable. Es importante indicar que, en esta fase se realizaron una serie de pruebas exhaustivas para verificar que el sistema esté listo para operar en el entorno industrial y cumplir con los requisitos del cliente. En este sentido, las actividades de la Fase 3 tienen como objetivo garantizar que el sistema desarrollado cumpla con todos los requisitos y esté listo para su puesta en marcha en el entorno industrial real.

Actividad 3.1 Verificar la funcionalidad completa del sistema Runtime, validando el completo desempeño de la aplicación y la estabilidad del programa.

En esta actividad, se somete a prueba el software de ejecución (Runtime) de manera exhaustiva. Además, se verificó que cada función, desde la más simple hasta la más compleja, opere correctamente y que la aplicación sea estable, es decir, que no se cuelgue ni presente errores inesperados. Con la intención de, que se controle el proceso industrial de manera confiable y segura.

Actividad 3.2 Pruebas FAT

Las pruebas FAT (Factory Acceptance Test, o Prueba de Aceptación en Fábrica) son un examen final antes de entregar el producto al cliente. En esta etapa, se invita a los estudiantes del Laboratorio de Instrumentación a sus instalaciones para que compruebe de primera mano que el sistema funciona según sus especificaciones. Con el fin de, verificar que la interfaz gráfica es intuitiva, que los datos se muestran correctamente y que el sistema responde a sus comandos de manera adecuada.

Ahora bien, cabe destacar que para validar la funcionalidad del sistema, se realizaron pruebas exhaustivas en las redes de control, los actuadores y los sensores. En donde, la arquitectura de control basada en el protocolo PROFINET y una topología en estrella, conecta un PLC, un HMI y un WinCC a través de un switch. En este sentido, se verificó el correcto funcionamiento de las señales analógicas de los sensores de nivel (4-20 mA) y de la señal de control para el variador de velocidad (4-20 mA), estas pruebas garantizaron la comunicación efectiva entre los componentes del sistema y la correcta interpretación de las señales de campo por parte del PLC.

6. CONCLUSIONES.

El desarrollo de la arquitectura del sistema de control y supervisión para el Laboratorio de Instrumentación ha sido un proceso riguroso y metódico, a través de un análisis detallado del proceso industrial, se identificaron las variables críticas y se establecieron los requerimientos técnicos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. En este sentido, la selección de SIMATIC WinCC Unified Runtime como plataforma de desarrollo ha sido fundamental para asegurar la escalabilidad, flexibilidad y alineación con las tendencias de la Industria 4.0.

Además, la implementación de la arquitectura propuesta ha permitido establecer una base sólida para el desarrollo posterior del sistema. De tal manera que, la configuración detallada de los componentes hardware y software, así como la definición de las comunicaciones entre los diferentes elementos, garantizan una operación eficiente y confiable del sistema. Asimismo, la utilización de herramientas de software como TIA Portal ha facilitado la programación y configuración del PLC, permitiendo una adaptación flexible a las necesidades específicas del proceso.

En este contexto, los resultados obtenidos en esta primera fase del proyecto demuestran la viabilidad técnica de la solución propuesta. En donde, la arquitectura diseñada cumple con los requisitos establecidos y proporciona una base sólida para la implementación de las funcionalidades de control y supervisión del Laboratorio de Instrumentación.

En relación a, la fase de desarrollo e integración de la interfaz gráfica en el sistema de control y supervisión ha demostrado ser un componente esencial para la optimización de los procesos industriales, mediante, una cuidadosa programación

y la implementación de herramientas como TIA-Portal y WinCC Unified Runtime, se logró establecer una conexión efectiva entre el software y el hardware. Cabe destacar que, esta integración no solo facilitó el monitoreo en tiempo real, sino que también permitió a los operadores interactuar de manera intuitiva con el sistema, mejorando así la eficiencia operativa.

Durante el proceso, se presentaron desafíos relacionados con la comunicación entre el sistema de visualización y el PLC. Sin embargo, la utilización de drivers del Runtime y el protocolo Profinet resultaron ser soluciones efectivas para superar estos obstáculos. Al establecer un canal de comunicación bidireccional, se garantizó un flujo continuo de datos, lo que permitió una supervisión precisa y una respuesta rápida ante cualquier eventualidad. Por ende, esta capacidad de respuesta es crucial en entornos industriales donde el tiempo es un factor determinante.

Definitivamente, la creación de una interfaz gráfica atractiva y funcional ha sido fundamental para la experiencia del usuario. De tal manera que, los elementos visuales, como paneles de instrumentos y alarmas, no solo mejoran la usabilidad, sino que también proporcionan información crítica de manera clara y accesible, lo cual permite a los operadores tomar decisiones informadas y realizar ajustes necesarios en tiempo real, contribuyendo así a la seguridad y efectividad del proceso industrial. En síntesis, el desarrollo de esta interfaz ha sido un paso significativo hacia la modernización y optimización de los sistemas de control industrial.

Por otra parte, durante el desarrollo del trabajo de grado, se logró validar de manera efectiva la funcionalidad de las comunicaciones entre el PLC, el PC industrial y el proceso, este resultado es significativo ya que asegura que todos los

elementos del sistema se interconectan y operan de manera coherente, lo que es fundamental para el control industrial. De tal forma que, la validación permitió confirmar que los datos se transmiten correctamente entre los dispositivos, y que los comandos se ejecutan según lo programado, garantizando así una respuesta adecuada a los cambios en el proceso.

A lo largo del proceso, surgieron desafíos relacionados con la integración de los distintos componentes del sistema. Es importante indicar que, uno de los problemas más destacados fue la inconsistencia en la interpretación de las señales analógicas por parte del PLC. Para superar este obstáculo, se implementaron pruebas exhaustivas en las redes de control, así como ajustes en la configuración del protocolo PROFINET, dichas acciones no solo solucionaron el problema, sino que también optimizaron la comunicación entre los sensores y actuadores, asegurando una operación más fluida y confiable.

Finalmente, en la fase de ratificación y puesta en marcha, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas que confirmaron la estabilidad del sistema. Ahora bien, las pruebas FAT demostraron que el sistema cumplía con las especificaciones requeridas y que la interfaz gráfica era intuitiva para los usuarios. Por lo que, la integración exitosa de todos los componentes no solo validó su funcionalidad, sino que también proporcionó una base sólida para futuras implementaciones en entornos industriales reales, destacando la importancia de un enfoque metódico en el desarrollo y validación de sistemas electromecánicos.

7. RECOMENDACIONES

Para futuros trabajos relacionados con el sistema de control y supervisión, se recomienda la implementación de laboratorios acreditados que permitan realizar pruebas más rigurosas y controladas, ya que, estos laboratorios pueden facilitar la evaluación de la funcionalidad del sistema en condiciones reales, lo que contribuirá a identificar áreas de mejora y optimización. Además, contar con un entorno de pruebas adecuado puede aumentar la confianza en los resultados obtenidos y asegurar la calidad del producto final.

Otra recomendación es la inversión en equipos y software actualizados que se alineen con las tendencias de la Industria 4.0. Debido a que, la adquisición de tecnología avanzada permitirá no solo mejorar la eficiencia operativa, sino también facilitar la integración de nuevas funcionalidades en el sistema. Al utilizar herramientas modernas, se puede garantizar una mayor flexibilidad y escalabilidad del sistema, adaptándose a los cambios y exigencias del entorno industrial.

Finalmente, es transcendental realizar una adecuada capacitación del personal encargado de operar y mantener el sistema. Puesto que, la formación continua en el uso del software, así como en la interpretación de datos y manejo de situaciones críticas, mejorará significativamente la efectividad del equipo humano. Asimismo, invertir en el desarrollo de competencias técnicas no solo optimiza el rendimiento del sistema, sino que también asegura una respuesta rápida y efectiva ante cualquier eventualidad que pueda surgir durante las operaciones industriales.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín Guarochico, W. F., & Quintana Tenorio, G. F. (2024). Implementación de una interfaz HMI basado en software libre Node Red para el control, monitoreo de forma local y remota del sistema de bombeo en el conjunto habitacional Rivotorto. Obtenido de Universidad Tecnológica Israel, Quito, Ecuador: <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/4060>
- Amaya Guevara, B. D., & Virviescas Rincón, J. S. (2022). Diseño e Implementación de un Sistema de Supervisión y Control para el Proceso de Vidrio Laminado para la Planta AGP Colombia de Bogotá. Obtenido de Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia: <https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/f6049527-80ee-4394-a910-f80f513d2672/content>
- Babativa Santos, K. (2023). Pruebas de seguridad aplicadas a infraestructura IoT. . Obtenido de Universidad de los Andes. Bogotá D.C, Colombia: <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/a619c81d-8bbf-457e-846f-3da9b059e560>
- Balla, M., Haffner, O., Kucera, E., & Cigánek, J. (2023). Educational Case Studies: Creating a Digital Twin of the Production Line in TIA Portal, Unity, and Game4Automation Framework. *Sensors*, 23(4977), 1 - 35. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/10/4977>
- Barona López, G., & Velasteguí, L. E. (2021). Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0 . *AlfaPublicaciones*, 3(3.1), 98 - 115. Obtenido de <https://www.alfapublicaciones.com/index.php/alfapublicaciones/article/view/80>

- Belomonte, L. P. (2018). Comunicaciones industriales y WinCC (Primera ed.). Ulzama, España: Marcombo S. A. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=UExOEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Comunicaciones+Industriales:+El+Puente+entre+Dispositivos&ots=V62yP9hvu&sig=7ee5BRok4dimXD7w5GOALPBuV08#v=onepage&q=Comunicaciones%20Industriales%3A%20El%20Puente%20entre%20Dispositivos>
- Beltrán Gallego, J. D., Quintero Ríos, M., & López García, D. (2022). Sistemas de gestión de la energía en la industria latinoamericana: caso de estudio Colombia. *Tecnológicas*, 25(54), 1 - 26. Obtenido de <https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/2379>
- Bernal Torres, C. A. (2016). Metodología de la investigación. Administración, economía, humanidades u ciencias sociales. (Cuarta ed.). Bogotá: Pearson. Obtenido de https://www.academia.edu/44228601/Metodologia_De_La_Investigacion_Bernal_4ta_edicion
- Cabezas, E., Andrade, D., & Torres, J. (2018). Introducción a la metodología de la investigación científica (Primera ed.). Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/329362268_Metodologia_de_la_investigacion_definiciones_y_conceptos
- Cadavid Cañas, I., & Pilonieta Cortés, J. C. (2023). Identificación de las Tecnologías de la Industria 4.0 Implementadas por las Empresas de Medellín y el Valle de Aburrá. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 10(1), 246 - 264. Obtenido de <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/2410>
- Castro Martín, A. P., Contreras Clavijo, S. A., & Rojano Mueses, X. G. (Marzo de 2023). Sistema inteligente de monitoreo y control para la planta de tratamiento de agua potable "El Carrizal Salcedo" basado en IOT e inteligencia artificial.

Obtenido de Universidad Técnica de Ambato - Ambato - Ecuador:
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/38419>

Chicala Arroyave, J., Arizaga Gamboa, J., & Alvarado Unamuno, E. (2021). Análisis y desarrollo de interfaz gráfica de usuario (GUI). Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, 14(8), 73 - 84. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8590613>

Coello Galindo, L. R., Cruz Segura, E., & Santillan Ramírez, O. (2020). Sistema de monitoreo y comunicación en tiempo real mediante una interfaz de usuario, para mejorar el proceso de estibación y el registro del producto embotellado en la industria Pascual Tizayuca. Boletín Científico INVESTIGIUM De La Escuela Superior De Tizayuca, 5(10), 1 - 6. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/investigium/article/view/3923>

Constitución Política de Colombia. (04 de 07 de 1991). Asamblea Nacional Constituyente. Obtenido de Gaceta Constitucional N° 114: <https://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>

Corella Zamora, J. P., & Reyes Anguisaca, J. A. (2022). “Elaboración de un sistema SCADA para el monitoreo y control en una línea automatizada de snacks fritos y acceso a tecnología 4.0”. Obtenido de Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54280>

Decreto 1083 de. (26 de 05 de 2015). Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector de Función Pública. Obtenido de Presidencia de la república de Colombia: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=62866>

Díaz Maldonado, A. A., & Rivera Ponce, S. R. (2021). Desarrollo de un sistema de automatización industrial aplicado a una máquina de moldeo por inyección para elaborar y enfriar piezas de plástico de polietileno de alta densidad. Obtenido de

Universidad Perusana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú:
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/655533>

Erazo Ramos, A. F. (2020). Control para sistemas continuos y discretos basado en la ingeniería dirigida por modelos. Obtenido de Universidad EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia: <https://repository.eafit.edu.co/items/29104360-431e-4622-9f16-781e748f9b3b>

Gómez Borges, M. I., Acosta Corzo, A. V., & Fundora Curbelo, Y. (2020). Programación de un controlador lógico difuso en un PLC M241: Aplicación práctica a un túnel de lavado industrial de textil. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 14(3), 105 - 123. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/3783/378365834006/378365834006.pdf>

González Camarillo, H., Calleja, R., Pérez Enciso, R. A., Pérez Rábago, C., & Estrada Gasca, C. (2020). Corrección de la deriva en sistemas de seguimiento solar mediante control de lagos cerrados. En H. Gonçalves, & M. Romero, CIES2020: Energías Renovables en la Transición Energética: Libro de Ponencias del XVII Congreso Ibérico y XIII Congreso Iberoamericano de Energía Solar. (págs. 601 - 609). Lisboa: CIES 2020. Obtenido de <https://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/3409>

Hernández Candelario, E. (2024). Ciberseguridad en Sistemas de Control Industrial. Obtenido de Universidad de Sevilla, Sevilla, España: <https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/255f96d4-c1fa-41fb-8412-be35c746512f/content>

Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, (Sexta ed.). México: McGraw Hill. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=5A2QDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=estudio+explicativo+segun+sampieri&ots=TjUk-XVIF->

&sig=WQa0_ry3IX5B1NQNP-pA7R8B-

kU#v=onepage&q=estudio%20explicativo%20segun%20sampieri&f=false

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta Edición ed.). México: McGraw-Hill. Obtenido de [https://www.uca.ac.cr/wp-](https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf)

[content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf](https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf)

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). (2023). Reducción de costos y mejora de la calidad con tecnologías de automatización. Obtenido de <https://www.inti.gob.ar/reduccion-costos?form=MG0AV3>

Ley 87 de . (29 de 11 de 1993). "Por la cual se establecen normas para el ejercicio del control interno en las entidades y organismos del estado y se dictan otras disposiciones". Obtenido de Congreso de Colombia: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=300>

Ley 99 de . (22 de 12 de 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la. Obtenido de Congreso de Colombia,: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>

McKinsey & Company. (2022). El impacto de la automatización en la productividad empresarial. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/impacto-automatizacion?form=MG0AV3>

Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis (Quinta ed.). Bogotá: Ediciones de la U. Obtenido de http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf

- Ochoa Naranjo, J. E., & Ramírez Echeverri, S. A. (2024). Modelo de excelencia operacional sector industrial colombiano. Obtenido de Universidad EAFIT, Medellín, Colombia: <https://repository.eafit.edu.co/items/5f1dd091-7c6e-4bce-9c39-7889865d02ed>
- Oulasvirta, A., Dayama, N., Shiripour, M., John, M., & Karrenbauer, A. (2020). "Optimización combinatoria de diseños de interfaz gráfica de usuario". *Proceedings of the IEEE*, 108(3), 434-464. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9000519>
- Pérez Martínez, M., Ramos Guardarrama, J., Santos Baranda, J., & Silvério Freire, R. C. (2023). Empleo de softwares libres en la propuesta de las prácticas de laboratorios para las asignaturas de Circuitos Eléctricos. *Ingeniería Energética*, XLIV(1), 23 - 31. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/3291/329175192003/329175192003.pdf>
- Pin López, D. A., & Criollo Zárate, F. M. (2024). Diseño y simulación en interfaz HMI y software TIA Portal el proceso de producción de aceites lubricantes semi - sintéticos para motocicletas. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana, guayaquil, Ecuador: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27740/1/UPS-GT005234.pdf>
- Quiza, R., Hernández Ramírez, O., Cuba Arana, Y., & Rivas Santana, M. (2023). Propuesta de una arquitectura de monitoreo industrial orientada a Industria 4.0. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 4(3), 7 - 12. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9495474>
- Ramírez Baquerizo, F. C. (2024). Comparación entre sistemas Distribuidos de Control y sistemas SCADA: Caso de Estudio de la distribución de Energía Eléctrica. *Polo del conocimiento*, 9(8), 3510-3522. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/7894/pdf>

- Ramírez Rodríguez, J. F. (2021). Implementación de un control neuronal directo en el controlador lógico programable S7-1200 para aplicaciones industriales. Obtenido de Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia: <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/4349>
- Roa Niño, Y., Dueñas Vivas, D. C., & Jaimes Rico, J. L. (2023). Construcción de un banco de prueba de automatización para el uso en los cursos de accionamientos eléctricos para los programas de Tecnología en Electricidad Industrial e Ingeniería Eléctrica, de las Unidades Tecnológicas de Santander sede Bucaramanga. Obtenido de Unidades Tecnológicas de Santander, Bucaramanga, Colombia: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/14802>
- Rodríguez de la Rosa, J. (2023). “Desarrollo de Sistema SCADA para la automatización de células de fabricación”. Obtenido de Universidad de la Laguna, San Crstóbal de la Laguna, España: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/24769/%BFDesarrollo%20de%20Sistema%20SCADA%20para%20la%20automatizacion%20de%20celulas%20de%20fabricacion%BF.pdf?sequence=1>
- Schofield, B., Blanco Viñuela, E., & Borrego, J. (2020). Integración continua para sistemas de control basados en PLC. 17.^a Conferencia internacional bienal sobre sistemas de control de aceleradores y grandes sistemas experimentales de física (ICALEPCS)(17), 1527 - 1531. Obtenido de https://cds.cern.ch/record/2778545/files/10.18429_JACoW-ICALEPCS2019-WESH4003.pdf
- Sepúlveda Balbín, J. C. (2023). Exploración y comparación de métodos o herramientas para servicios de comunicación industrial inteligente, haciendo uso del cloud, fog y edge computing, aplicado a un módulo de variables industriales en el laboratorio de docencia del ITM. Obtenido de Instituto Tecnológico

Metropolitano - ITM, Medellín, Colombia:
<https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/6062>

Tapias Pava, W. A., Niño Sandoval, K. J., & Reyes Martínez, D. C. (2023). Diseño de pautas para la implementación del software WinCC flexible aplicado a un SCADA para el manejo de variables de proceso a nivel de planta. Obtenido de Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia:
<https://bibliotecadigital.oducal.com/Record/ir-11634-50602/Description?sid=4469>

Uribe Suárez, F., Santos Pérez, R., Trejo Jiménez, P. Y., Hernández Aranzolo, D. K., & Hernández Paredes, J. M. (2022). Interfaz Hombre Máquina para el Control de Nivel en un Tanque de Agua con Implementación en Piscinas de Parques Acuáticos. REIA, 6(3), 17 - 27. Obtenido de <http://38.49.158.181/reia/descargables/ediciones/2022/17-27.pdf>

Vegas Niño, Ó. T. (2023). Nuevas herramientas para la gestión técnica de redes de distribución de agua basadas en el modelo matemático y la topología de la red. Obtenido de Universitat Politècnica de València:
<https://riunet.upv.es/handle/10251/192474>

Zarza Díaz, R. (2023). Simulación de eventos discretos desde la ingeniería industrial. Pádi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI,, 10(20), 110-121. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/10207>