



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE PROCESO DE MEZCLADO DE COLORANTES
ORIENTADO A LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE PLC Y HMI**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTOR: VICTOR HUGO MACÍAS ALAVA

TUTOR: ING. DIEGO FREIRE QUIROGA, MSc.

Guayaquil – Ecuador

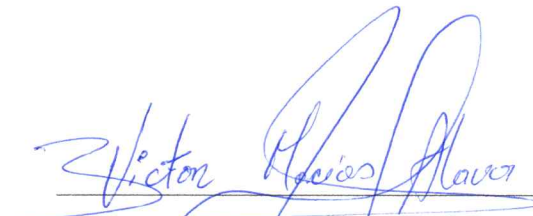
2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Victor Hugo Macías Alava con documento de identificación N° 0928760495, manifiesto que: Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación

Guayaquil, 2 de septiembre del año 2025.

Atentamente,



Victor Hugo Macías Alava
C.I.: 0928760495

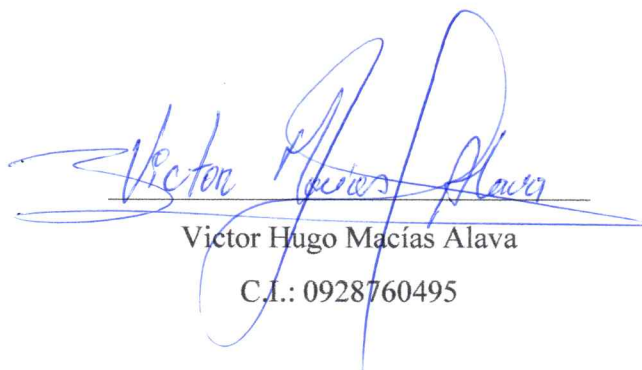
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Victor Hugo Macías Alava con documento de identificación N° 0928760495, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño y simulación de proceso de mezclado de colorantes orientado a la industria textil mediante PLC y HMI”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 2 de septiembre del año 2025.

Atentamente,



Victor Hugo Macías Alava
C.I.: 0928760495

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego Freire Quiroga con documento de identificación N° 0917208084, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE PROCESO DE MEZCLADO DE COLORANTES ORIENTADO A LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE PLC Y HMI, realizado por Victor Hugo Macías Alava con documento de identificación N° 0917208084, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 2 de septiembre del año 2025.

Atentamente,



Ing. Diego Freire Quiroga, MSc.
C.I.: 0917208084

DEDICATORIA

*A mi amada esposa, Dra. Mabel Jakeline Bacilio Rosario,
mi compañera, mi inspiración y mi soporte en cada paso de este camino.*

Gracias por tu amor, tu paciencia y por creer en mí.

*A mis padres del alma, Luis Armando Vera Mero y Rosa Carmen Alava Márquez,
por abrirme las puertas de su corazón y tratarme como un hijo.*

Su cariño y sabiduría han sido un faro en mi vida.

*Todo lo que soy se lo debo a ustedes, en Especial a mi Esposa y todo lo que logro, es por
ustedes.*

¡Con todo mi amor!

Victor Macías Alava.

AGRADECIMIENTO

"A Dios, por bendecirme con una vida llena de amor y oportunidades.

A mis padres, Luis Armando Vera Mero y Rosa Alava Márquez, por ser los cimientos de mi existencia. Gracias por su sacrificio incansable, por enseñarme el valor del trabajo honesto y por llenar mi vida de amor y sabiduría. Cada logro mío es también el suyo.

A mi esposa, la Dra. Mabel Jakeline Bacilio Rosario, mi compañera de vida, mi apoyo inquebrantable y mi inspiración constante. Gracias por estar a mi lado en cada paso, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por ser mi fortaleza en los momentos más desafiantes. Contigo, todo tiene más sentido.

A mis hermanas, por su cariño incondicional, su paciencia infinita y por ser mis cómplices en la vida. Ustedes son mi refugio y mi alegría.

A mis amigos, por las noches de estudio, las risas compartidas y por demostrarme que la verdadera amistad resiste cualquier prueba.

A mis maestros y mentores, especialmente a mi tutor de tesis, por su paciencia, dedicación y por enseñarme que el conocimiento no solo se aprende, sino que se vive.

Este logro no es solo mío, sino de todos aquellos que han creído en mí. ¡Gracias por ser parte de mi historia!"

Victor Macías Alava.

RESUMEN

En documento se realiza el análisis y desarrollo de una aplicación de automatización para proceso de mezclado de materia prima para procesos textiles considerando que esta industria representa un sector productivo importante en nuestro país y a nivel mundial. Se aborda la utilización de diferentes bloques estructurados como las funciones (FC), bloques de función (FB) y bloques de datos (DB) en la programación de PLC mediante lenguaje de escalera (Ladder).

A través de programación se realiza una simulación del comportamiento dinámico de un motor simulando la dinámica que puede presentarse en la implementación y a la vez tener en cuenta los detalles de visualización en la interfaz humano-máquina (HMI). Estas simulaciones son posibles gracias a las herramientas desarrolladas tiempo atrás para procesos de control que pueden ser llamadas directamente desde el software TIA PORTAL. En conjunto con los bloques de simulación, se hace uso de un controlador proporcional integral derivativo (PID) para observar y ajustar parámetros de comportamiento del motor como el tiempo de respuesta para alcanzar la respuesta deseada sea en velocidad o en frecuencia.

Como complemento y apuntando a las tendencias actuales de uso de dispositivos inteligentes para supervisión de procesos, se ha considerado el desarrollo de una interfaz de usuario para monitoreo de datos mediante la utilización del Servidor Web disponible en el PLC del laboratorio de automatización.

Palabras Clave: PLC, industrial textil, Hmi, Servidor web, Mescladora.

ABSTRACT

This document analyzes and develops an automation application for the raw material mixing process for textile processing, considering that this industry represents an important productive sector in our country and worldwide. It addresses the use of different structured blocks such as functions (FC), function blocks (FB), and data blocks (DB) in PLC programming using ladder programming.

Through programming, a simulation of the dynamic behavior of a motor is performed, simulating the dynamics that may occur during implementation while also taking into account the visualization details in the human-machine interface (HMI). These simulations are possible thanks to tools developed some time ago for control processes that can be called directly from the TIA PORTAL software. In conjunction with the simulation blocks, a proportional-integral-derivative (PID) controller is used to observe and adjust motor behavior parameters such as response time to achieve the desired response in either speed or frequency. As a complement and in line with current trends in the use of smart devices for process monitoring, the development of a user interface for data monitoring has been considered by utilizing the Web Server available on the PLC in the automation laboratory.

Keywords: PLC, textile industrial, HMI, Web server, Mixer

ÍNDICE DE CONTENIDO

I	INTRODUCCIÓN	1
II	PROBLEMA.....	2
2.1	Antecedentes	2
2.2	Importancia y Alcances.....	3
2.3	Delimitación	4
III	OBJETIVOS	5
3.1	Objetivo general.....	5
3.2	Objetivos específicos	5
IV	FUNDAMENTO TEÓRICO	6
4.1	Automatización Industrial con PLC.....	6
4.2	Interface Humano – Máquina (HMI).....	6
4.3	Monitoreo Remoto e Industria 4.0	8
4.4	Automatización en la industria textil	9
4.5	Software TIA Portal v18.....	10
4.6	Web Server como herramienta de monitoreo	11
4.7	Comunicación inalámbrica	12
4.8	Variador de Frecuencia SINAMICS V20.....	12
4.9	Recetas de colores.....	14

4.10	Controlador PID.....	15
4.11	Librería LSIM.....	16
V	MARCO METODOLÓGICO.....	19
5.1	Arquitectura de Red.....	19
5.2	Programación del PLC.....	22
5.2.1	Control PID para motor simulado.....	27
5.3	Diseño de Interfaz Humano - Máquina.....	31
5.3.1	Pantalla “Portada”.....	31
5.3.2	Pantalla “Proceso”.....	33
5.3.3	Pantalla “Gráficas de tendencias”.....	41
5.4	Monitoreo Remoto del proceso.....	43
5.5	Conexiones eléctricas entre PLC y VDF.....	46
VI	RESULTADOS.....	48
VII	CRONOGRAMA.....	51
VIII	PRESUPUESTO.....	52
IX	CONCLUSIONES.....	53
X	RECOMENDACIONES.....	54
XI	REFERENCIAS.....	55
XII	ANEXOS.....	57

Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplo de uso de una interfaz HMI con equipos de automatización	7
Figura 2. Integración entre el proceso de la cadena de valor y el IoT	8
Figura 3. Ejemplo de automatización con equipos de automatización	11
Figura 4. Conexiones de referencia para un VDF V20 de Siemens	13
Figura 5. Modelo RYB para combinación de colores.....	14
Figura 6. Controlador PID en CPU S7-1500	15
Figura 7. Librería LSim_PT2osc	16
Figura 8. Gráfica de la dinámica del bloque LSim_PT2osc	17
Figura 9. Arquitectura de red utilizada	20
Figura 10. Vista Topológica de red cableada.....	21
Figura 11. Configuración de dispositivos en TIA PORTAL v18	22
Figura 12. Variables de Entradas y Salidas del Autómata Programable	23
Figura 13. Segmentos programados en el software TIA PORTAL v18	24
Figura 14. Bloques de programación utilizados	26
Figura 15. Bloques utilizados para control PID.....	27
Figura 16. Configuración de bloque PID (1)	28
Figura 17. Configuración de bloque PID (2)	29
Figura 18. Configuración de bloque PID (3)	30
Figura 19. Configuración de bloque PID (4)	30
Figura 20. Pantalla de portada para el proyecto de titulación.....	32
Figura 21. Configuración de cambio de pantalla	32
Figura 22. Pantalla de portada para el proyecto de titulación.....	34
Figura 23. Configuración de evento pulsar – botón verde.....	35

Figura 24. Configuración de evento pulsar – botón rojo	36
Figura 25. Configuración de evento pulsar – botón gris claro.....	36
Figura 26. Configuración de evento pulsar – botón gris oscuro	36
Figura 27. Configuración de cambio de pantalla	37
Figura 28. Configuración de cambio de pantalla	38
Figura 29. Lista de textos para recetas.....	38
Figura 30. Uso de lista de textos.....	39
Figura 31. Listado de gráficos para proceso	40
Figura 32. Uso de listado de gráficos - amarillo.....	40
Figura 33. Pantalla de gráficas de tendencias para el proyecto de titulación	41
Figura 34. Configurador de Tendencias.....	42
Figura 35. Configuración de cambio de pantalla - tendencias.....	42
Figura 36. Pantalla para el acceso al web server y monitoreo remoto inalámbrico.....	44
Figura 37. Detalle de conexiones para el PLC y variador de frecuencia.....	46
Figura 38. Memoria utilizada por el programa propuesto en la CPU S7-1500	48
Figura 39. Tiempo de ciclo en la CPU.....	49
Figura 40. Respuesta en frecuencia del motor mezclador mediante simulación de encendido	49
Figura 41 Respuesta en frecuencia del motor mezclador mediante simulación de apagado	50

Índice de Tablas

Tabla 1. Recetas predefinidas en el HMI con el respectivo porcentaje de colores primarios	34
Tabla 2. Cronograma de actividades para el desarrollo del Proyecto de Titulación.....	51
Tabla 3. Presupuesto estimado para el desarrollo del Proyecto de Titulación.....	52

I INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de titulación aborda una problemática frecuente en el área de automatización que incluye análisis de la planta o proceso en el sector textil, definición de entradas/salidas para el controlador lógico programable, programación de la secuencia de operación, diseño de la interfaz humano-máquina y la simulación del proceso mediante el software TIA PORTAL v18.

En este trabajo se ha considerado el proceso de mezcla de colorantes para la obtención de colores predeterminados según recetas establecidas según la necesidad de producción, con la finalidad de agregar colores. Este diseño representa una buena base para la comprensión de los procesos de automatización para sistemas secuenciales.

Para efectos de simulación se utiliza los bloques presentes en las librerías para sistemas de control considerando un comportamiento dinámico típico de los motores eléctricos de segundo orden con un tiempo de respuesta referencial. Esto permite la simulación y ajuste de un controlador proporcional integral derivativo de la unidad central de proceso y la utilización de las herramientas de configuración propias del autómeta industrial.

El trabajo de titulación está estructurado en diferentes secciones que incluyen información general del proyecto, marco teórico referencial, metodología y desarrollo, resultados obtenidos a partir de la simulación, así como recomendaciones y conclusiones.

II PROBLEMA

La automatización de procesos industriales se ha convertido en un eje clave para mejorar la eficiencia y competitividad en diversos sectores productivos, entre ellos el textil. Sin embargo, en el ámbito académico, se observa una carencia en la formación práctica sobre automatización de procesos, lo cual limita la preparación de los futuros profesionales. Pero no solo se hace referencia a un contenido teórico, sino más bien a la sinergia entre los procesos manufactureros actuales con las posibles soluciones a plantear.

Esta situación se debe, en gran parte, a la limitada incorporación de tecnologías como PLC y HMI en los entornos de formación debido a múltiples motivos como inversión inicial. Lo anterior genera un desfase entre la oferta académica y las demandas del sector industrial que a su vez implicaría dificultades para el graduado que sale al mundo industrial bastante competitivo y donde se requiere criterios desarrollados a través de prácticas con procesos.

Dicho esto, podría considerarse la siguiente interrogante: ¿Cómo puede contribuir el diseño y simulación de un proceso automatizado de mezcla de colorantes a través del software TIA Portal v18 al fortalecimiento de las competencias técnicas en automatización industrial en el contexto universitario?

2.1 Antecedentes

La industria textil y de confección representa un componente clave dentro de la economía ecuatoriana, no solo por su peso en la producción manufacturera nacional, sino también por su impacto en la generación de empleo (Revista Gestión, 2024).

De acuerdo con la información más reciente, el sector ha tenido buen comportamiento desde 2022 hasta 2024, tanto en volumen de exportación como en valor. El valor FOB, que equivale a exportaciones, pasó de USD 11,8 millones en el periodo correspondiente a enero-julio de 2022 a USD 16,6 millones en el mismo periodo en 2024. Por su parte, el valor por tonelada también ha tenido un aumento bastante significativo, lo que indica que el incremento del valor agregado o la calidad de los productos es importante (Revista Gestión, 2024).

Las provincias que agrupan la mayor parte de la industria textil son Pichincha, Tungurahua, Guayas e Imbabura, que concentran el 93% de la actividad textil del país. No obstante, a pesar de esta buena situación, surge una valiosísima inquietud en torno a la cantidad y la calidad de los conocimientos que se dan y se enseñan en las universidades teniendo en cuenta los procesos industriales textiles, lo que, a su vez, puede restringir las oportunidades laborales de los estudiantes, a determinado grado, dado que la automatización y las nuevas tecnologías son el estándar y la necesidad (AITE, 2025).

2.2 Importancia y Alcances

El trabajo de titulación es relente debido a que aporte un mayor componente práctico a los futuros ingenieros lo que a su vez implica el desarrollo de criterios a considerar en procesos orientados en el área textil. Estos criterios que se agregan a los estudiantes no solo implican mejorar la forma de abordar las problemáticas desde la programación, sino también desde el dimensionamiento de elementos de hardware con elementos clave como el tipo de entradas y salidas necesarias para las soluciones a proponer.

La falta de práctica efectiva en la práctica de los sistemas automatizados del sector textil provoca que la competitividad de los estudiantes de los cuales se espera que estén formados para un entorno que se encuentra en la Industria 4.0 sea cada vez menor. Las máquinas del sector textil pueden ser automatizadas, monitorizadas y optimizadas para mejorar la eficiencia del flujo de trabajo gracias a la incorporación de las nuevas tecnologías de PLC y HMI, pero dicha incorporación aún no se utiliza de forma habitual en el ámbito académico.

Este proyecto de titulación contempla el uso de herramientas simulación como las librerías LSIM en trabajo conjunto con los bloques lógicos para control digital, así como control de variables analógicas a través del controlador PID_Compact. Esto aporta un aprendizaje con una baja inversión y sin la necesidad de ensamblar máquinas de grandes dimensiones. Estas simulaciones pueden ser utilizadas para generar un conjunto de subprocesos a fin de emular gemelos digitales para prácticas remotas. Es importante mencionar que este proyecto se enfoca únicamente en la mezcla de colorantes para el área textil, el cual puede ser parte de algún desarrollo futuro para una estructura más compleja.

2.3 Delimitación

- **Espacial:** Para la realización de este trabajo de titulación se ha considerado su implementación en el laboratorio de automatización industrial de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.
- **Temporal:** Se considera la ejecución del trabajo de titulación durante el periodo vigente 2025 – 2025.
- **Sectorial e institucional:** Se considera el análisis y la aplicación de los conceptos de ingeniería para la industria textil que es parte importante del sector productivo del país.

III OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar un proceso automatizado de mezclado de colorantes en una planta textil mediante el uso de PLC y HMI con fines de monitoreo e interacción con el usuario.

3.2 Objetivos específicos

- Programar un autómata programable que controle las etapas de dosificación y mezclado.
- Diseñar una interfaz HMI para monitoreo e interacción del proceso de forma local.
- Implementar la programación del PLC y HMI en un módulo de laboratorio automatización industrial.

IV FUNDAMENTO TEÓRICO

4.1 Automatización Industrial con PLC

Los controladores lógicos programables (PLC) han tenido un historial impresionante desde su primer lanzamiento en la década de 1960, hasta ahora incluso el PLC se caracteriza por su pequeño tamaño, su gran potencia de cálculo y sus precios cada vez más competitivos, cualidades que han contribuido a su presentación; todavía por la aparición del Internet de las Cosas (IoT), de la inteligencia de los sistemas y de los servicios de la nube, ha sido un gran salto en su uso (Imepi, 2025).

Hoy en día se puede decir que el PLC es un activo ineludible en la automatización actual, un elemento básico de las instalaciones industriales más seguras, eficaces y flexibles, en un contexto donde la transformación digital es una continua necesidad (Grupo ORS, 2025).

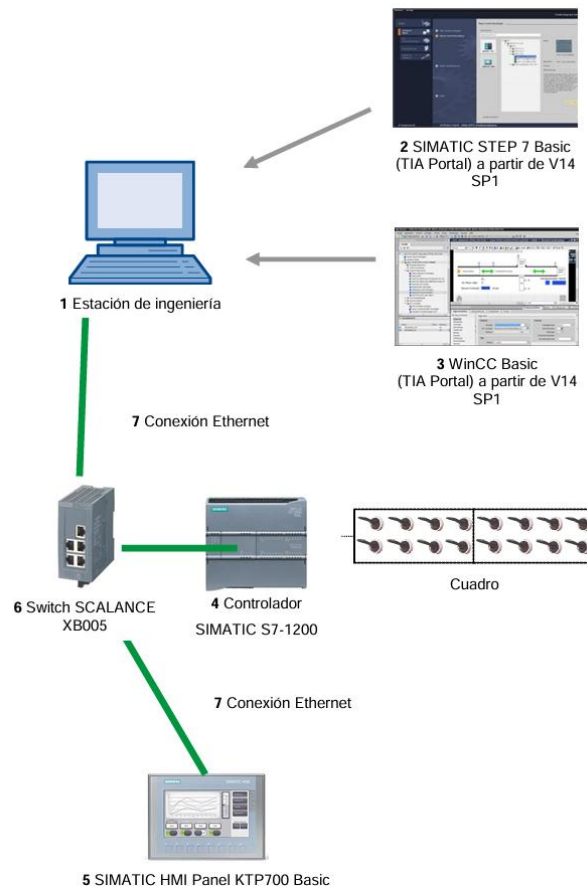
4.2 Interface Humano – Máquina (HMI)

La evolución de los sistemas de fabricación en la actualidad no se limita a aumentar su tamaño, sino que también pasa por incrementar su complejidad. Un sistema HMI (Human Machine Interface) es precisamente aquel sistema que establece la comunicación entre el operador y el proceso productivo, sea una máquina o una instalación entera. La responsabilidad de esta comunicación recae sobre el controlador, mientras que el HMI le facilita la comunicación al mostrar la información necesaria y permitir la ejecución de determinada acción. En el caso concreto de WinCC, se establecen dos niveles de comunicación: el operador con el panel HMI y WinCC con el controlador (Siemens AG, 2018).

La visualización puede realizarse de manera centralizada o descentralizada, dependiendo de las características del uso productivo del HMI. En un proceso textil, contar con un HMI permite no solo mejorar la interacción entre el operador y la máquina, sino también coordinar un sistema de visualización remota. Esto permite realizar la supervisión y el control de la producción a través de dispositivos móviles, lo que conlleva una mejora en la eficiencia, una reducción de los tiempos de respuesta ante un fallo y una mayor trazabilidad de la información en toda la cadena productiva (Siemens AG, 2018).

Figura 1

Ejemplo de uso de una interfaz HMI con equipos de automatización.



Nota. Ejemplo de unas de las maneras de conectar un HMI. Reproducido del documento de formación didáctica “*WinCC Basic con KTP700 Basic y SIMATIC S7-1200*”, por (Siemens AG, 2018)

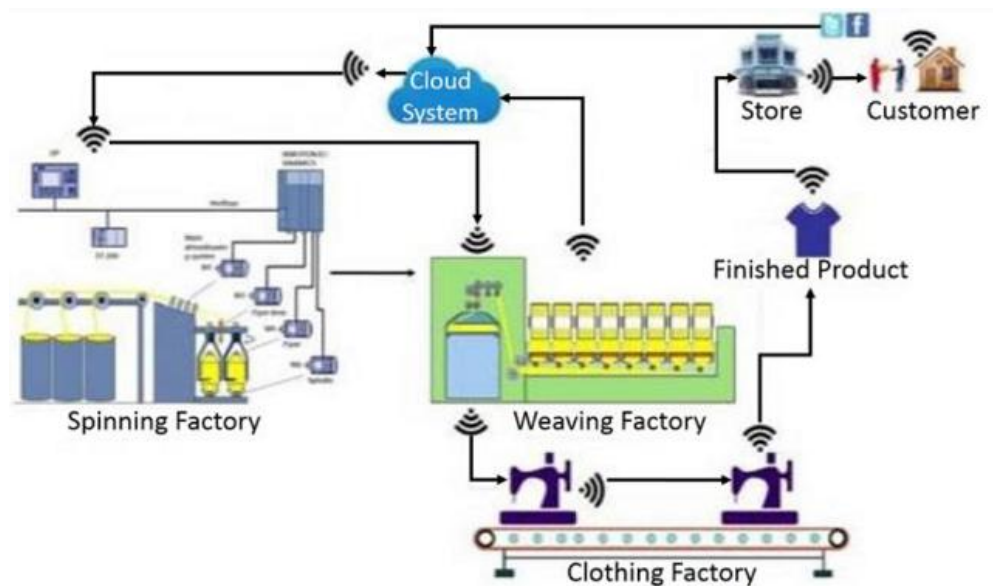
4.3 Monitoreo Remoto e Industria 4.0

La expansión de la Industria 4.0 ha llegado a transformar los sistemas tanto mecánicos como industriales. Uno de los principales activos que han prosperado ha sido el auge de las redes de sensores inteligentes que, en parte, son gracias al IoT. Gracias a ellas no sólo se llega a realizar el seguimiento de los procesos o el mantenimiento de los mismos, sino que se llegan a reconocer averías antes de que estas se produzcan, es decir, llegar a superar el mantenimiento preventivo por el de las averías (Carrera et al., 2024). Cabe mencionar que en este proyecto de titulación se hace uso del servidor web disponible en la CPU con un ingreso sencillo a través de un navegador de internet convencional.

La otra parte que ha dado lugar a la Industria 4.0 son los algoritmos tomados de la inteligencia artificial y de la analítica de datos que le llegan a permitir a los sistemas de fabricación que estos sistemas se lleguen a optimizar, lo que se traduce en mejoras de la productividad, disminución de errores y optimización de la toma de decisiones (Carrera et al., 2024).

Figura 2

Integración entre el proceso de la cadena de valor y el IoT.



Nota. Ejemplo de proceso de la cadena de valor y el IoT (Textile Today, 2020).

Como se observa en la figura 2, que incluye el flujo integral de la cadena de producción textil de las materias primas en la nube (Cloud) al producto final entregado en el cliente.

4.4 Automatización en la industria textil

El proceso del desarrollo de la técnica textil, ha tenido un notable desarrollo, a tener lugar muy especialmente en los últimos años de la anterior década, gracias al hecho que la técnica tuvo una gran importancia, lo cual daría lugar, una vez más, al aumento considerable de la productividad, así como en la exactitud de los procesos, así como también en su calidad; para una mejora integral, se refleja claramente en la progresión de la mediana de los estándares de las industrias textiles (Mochuan Drives, 2023).

En este sentido, los PLC (controladores lógicos programables) forman parte de este proceso, puesto que suponen uno de los sistemas técnicos más novedosos que fueron incorporándose a la técnica textil. Entre otras cosas, lo PLC llegan a ser uno de los sistemas de control más innovadores para la automatización del control de los procesos para la fabricación textil, modificando el modo de trabajar, ya que se obtienen tasas de rendimiento y de precisión insólitas en el sector de la fabricación textil (Mochuan Drives, 2023).

Por otro lado, la reestructuración de la industria de la confección junto con la automatización de la fabricación textil reconstituye una serie de ventajas por las que la industria de la confección puede ir replicando la producción textil de cualquier materia prima (QodeNext, 2023).

- Incremento de la productividad: la automatización asegura la producción de los procesos a la hora de trabajar con tela, logrando tener una producción mayor a la hora de trabajar en ella sin aumentar la inversa.
- Mejorar el control de calidad: un sistema automatizado en las industrias ofrece un resultado más correcto y preciso, es decir, se hacen productos finales con un menor margen de oscilación, como consecuencia de ello se producen menos productos defectuosos.
- Ahorros de costes: mediante la automatización se producen grandes ahorros tanto en lo que se refiere a mano de obra como en tiempo. Esto se debe a que el modelo de producción se optimiza en función de las posibilidades de la maquinaria y, por lo tanto, se requiere menos mano de obra directa.
- Más seguridad: al aplicar los sistemas automatizados se producen incrementos en las condiciones higiénicas y de seguridad para los operarios puesto que se eliminan tareas potencialmente peligrosas que, hasta el momento eran llevadas a cabo manualmente, de este modo se evitan los riesgos físicos asociados (QodeNext, 2023).

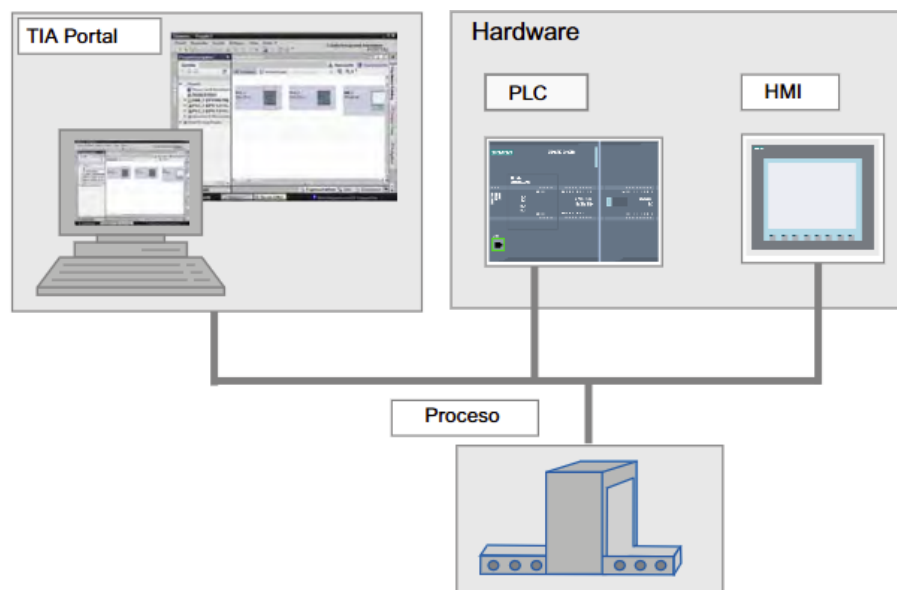
4.5 Software TIA Portal v18

El TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) combina diferentes productos SIMATIC en un único software que le proporcionará la ganancia en productividad y la eficiencia del proceso. En el interior del TIA Portal, los productos TIA se comunican entre ellos y le dan soporte en cualquiera de los sectores implicados en la creación de una solución de automatización.

En la figura 3 se puede observar una estructura típica de automatización con equipos SIEMENS y software TIA PORTAL en la cual se muestran elementos de hardware como el controlador lógico programable, el panel de operador y estación de programación o monitoreo según sea el requerimiento a través de un computador (SIEMENS, 2009).

Figura 3

Ejemplo de automatización con equipos de automatización.



Nota. Ejemplo de una solución de automatización típica “STEP 7 Basic V10.5. Primeros pasos”, por (SIEMENS, 2009)

4.6 Web Server como herramienta de monitoreo

El servidor web permite a los usuarios monitorear y administrar funciones de la CPU a través de una red. Ello permite evaluar y diagnosticar el proceso o subproceso de forma remota. La monitorización es posible sin tener instalado STEP 7 en el pc del usuario, tan solo se requiere un navegador web.

Es muy importante asegurar la protección de la CPU con las medidas apropiadas para prevenir accesos no autorizados (p. ej., restricción del acceso a la red, uso de firewalls). Hay que considerar que tener un servidor web en el controlador, se debe en cuenta la minimización del uso de recursos computacionales para no sobrecargar el pc de monitoreo. (SIEMENS, 2014).

4.7 Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica wifi para aplicaciones como servidores web requiere de un ruteador inalámbrico que se conecta a un módem que tenga acceso a Internet, y un adaptador de red inalámbrica en la computadora donde esté ejecutándose el servidor web, permitiendo que se pueda acceder a la red e ir recibiendo solicitudes a través de ondas de radiación en lugar de por las conexiones tradicionales mediante cables par trenzado. Se utiliza el protocolo IP, y el modo de infraestructura es el más habitual, donde un punto de acceso central (el router) es el responsable de coordinar la red salvo el caso donde se tenga una infraestructura más compleja (Eleno, 2021).

El estándar IEEE 802.11 tiene los conceptos y especifica la operación de las redes Wi-Fi, es en dicho estándar y sus respectivos derivados donde podemos encontrar información por demás muy interesante que nos va a resultar útil en el momento de querer ampliar nuestra red inalámbrica (Eleno, 2021).

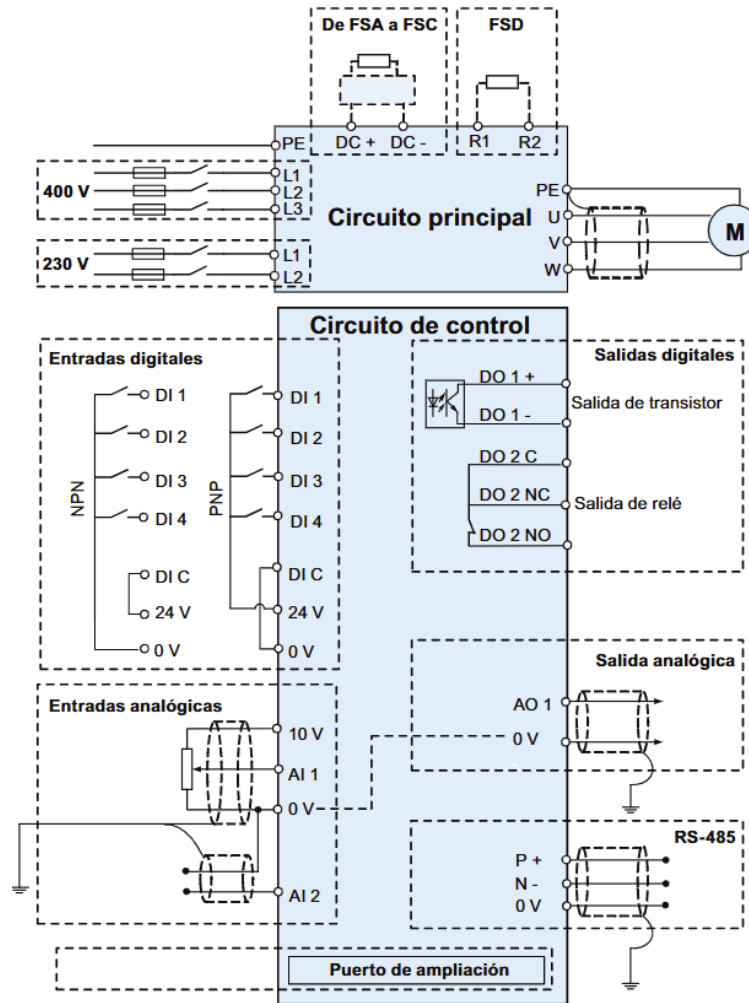
4.8 Variador de Frecuencia SINAMICS V20

El Siemens SINAMICS V20 es un variador de frecuencia (VFD) compacto de alta calidad y bajo coste, destinado a controlar la velocidad de los motores asincrónicos trifásicos en aplicaciones simples. Las principales características que muestra son: rápida puesta en marcha y un sencillo

funcionamiento, funciones de ahorro energético, una robustez diseñada para resistir sobrecargas y la integración en otros sistemas que controlan y regulan.

Figura 4

Conexiones de referencia para un VDF V20 de Siemens.



Nota. Conexiones de control y fuerza para el variador V20 (SIEMENS, 2012).

La potencia cubierta va de 0.12 kW a 30 kW y puede ser alimentado bien de manera monofásica o trifásica (SIEMENS, 2012). En la actualidad los variadores de frecuencia corresponden a una de las herramientas más utilizadas en los procesos industriales y debido al

desarrollo de tecnología reciente es bastante común encontrar de forma integrada puertos de comunicación Ethernet. Las conexiones de control y fuerza es relativamente sencilla, con información en Internet tal como se puede apreciar en la figura 4.

4.9 Recetas de colores

Para este proyecto de titulación se ha considerado las combinaciones de colores basadas en el estándar RYB (Rojo – Amarillo – Azul). Este modelo computacional mapea colores y permite simular las mezclas de los pigmentos de manera realista. Se pone de manifiesto que, a diferencia del modelo aditivo RGB (Rojo – Verde – Azul), el modelo RYB reproduce mejor la percepción del color que tradicionalmente tienen los artistas, donde los colores primarios de este modelo son rojo, amarillo y azul; se crean aplicaciones en composición digital tipo pintura, aportando unos resultados visuales que simulan mejor las mezclas físicas que se dado en contextos artísticos y educativos (Sugita & Takahashi, 2017). En la figura 5 se muestra el esquema RYB considerado para las combinaciones de colores a través del PLC:

Figura 5

Modelo RYB para combinación de colores.



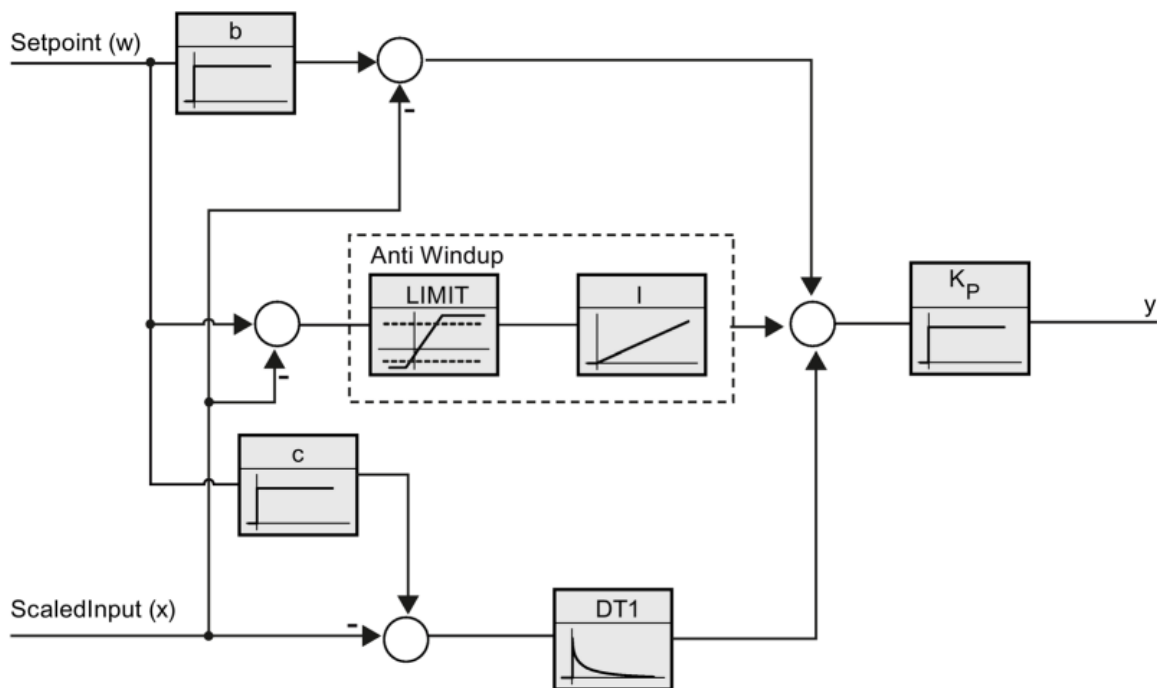
Nota. Ejemplo de proceso de la cadena de valor y el IoT (Sugita & Takahashi, 2017).

4.10 Controlador PID

El controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) es un tipo de control por realimentación que emplea una función para mostrar la evolución de la salida de un sistema para con la entrada de referencia. Su objetivo principal es llevar el error en el estado estacionario a cero. Este controlador se caracteriza por tres parámetros: el proporcional que tiene en cuenta solamente la información presente del sistema, el integral que considera la información pasada del sistema, y establece que el error de estado estacionario del sistema es cero asintóticamente en el tiempo y el derivativo que efectúa un efecto predictivo del sistema (Bermeo, Gonzalo, & Mantilla, 2021).

Figura 6

Controlador PID en CPU S7-1500.



Nota. Estructura de control PID existente en el PLC S7-1500 (SIEMENS, 2014).

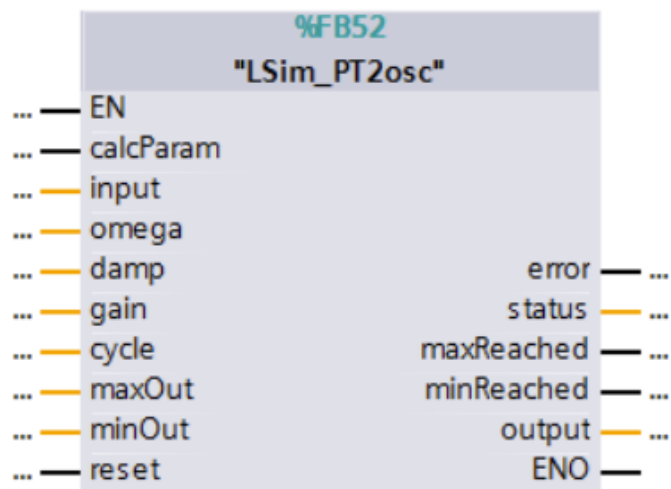
Existen diversas estrategias para la implementación de controladores PID basadas en las teorías comprobadas mediante experimentación y de forma documentada en artículos científicos. La estructura utilizada por SIEMENS en sus controladores S7-1500 se muestra en la figura 6, considerando la posibilidad de ajustar los parámetros clásicos como K_p , K_i y K_d . Esta estructura es visible desde el editor de programa a través del bloque PID_Compact (SIEMENS, 2014).

4.11 Librería LSIM

La librería denominada "LSIM" propone bloques de función (FB) estables y verificados, con interfaces definidas, y que simulan sistemas de control lineales dentro de las unidades centrales de procesamiento SIMATIC (S7-1200 y S7-1500) en STEP 7 (TIA Portal). Esta librería contiene una gran variedad de bloques que simulan elementos de sistema de control, y de esos bloques nos encontramos con sistemas desde primer a tercer orden sin retardo y con retardo (SIEMENS, 2017).

Figura 7

Librería LSim_PT2osc.



Nota. Conexiones de bloque para sistema de segundo orden (SIEMENS, 2017).

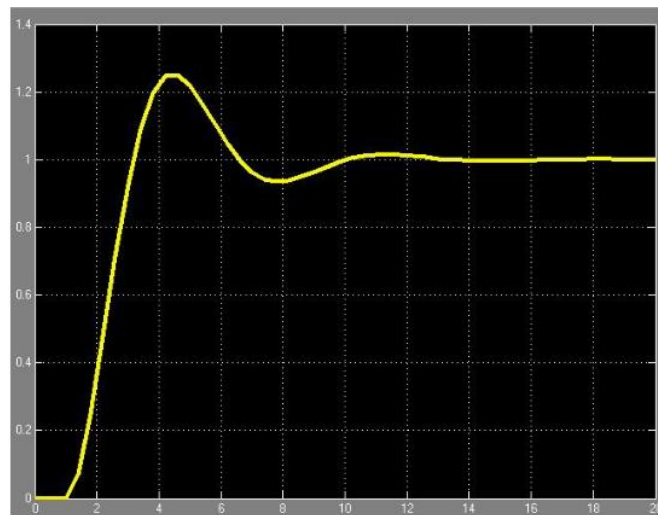
Para el presente trabajo de titulación se está haciendo uso de una función de transferencia de segundo orden sin retardo, lo cual implica el uso del bloque “LSim_PT2osc” cuyos terminales de conexión se muestran en la figura 7 mostrada a continuación:

Para comprender el funcionamiento de este bloque se debe considerar la siguiente función de transferencia:

$$F(p) = \frac{gain}{\left(\frac{p}{\omega}\right)^2 + 2 * damp * \frac{p}{\omega} + 1}$$

Figura 8

Gráfica de la dinámica del bloque LSim_PT2osc.



Nota. Sistema de segundo orden con amortiguamiento entre 0 y 1 (SIEMENS, 2017).

La expresión mostrada describe el comportamiento del bloque LSim_PT2osc, en donde podemos observar la dependencia de variables como “omega”, “damp” y “gain”. Omega representa la frecuencia angular cuando el proceso está en libre oscilación, la variable damp

corresponde al factor de amortiguamiento que puede oscilar desde 0 a 1, y la variable gain corresponde al factor de ganancia en el terminal de salida “output” (SIEMENS, 2017).

Adicional a estos parámetros mencionados previamente, hay terminales importantes que se deben tener en cuenta para el funcionamiento del bloque, como por ejemplo “maxOut” y “minOut” que ayudan a limitar la señal de salida del bloque para términos de seguridad o aproximación a las restricciones que ocurren de forma física en los sistemas reales. Finalmente, en la figura 8 se puede apreciar el comportamiento del bloque en función del tiempo (SIEMENS, 2017).

V MARCO METODOLÓGICO

El desarrollo del trabajo de titulación lleva consigo la propuesta, diseño y simulación de un sistema automatizado que se fundamenta en un mezclador de colorantes para la industria textil. Dicho sistema, cuya característica reside en el hecho de que un controlador lógico programable (PLC) y una interfaz de hombre-máquina (HMI) son los que llevan a cabo el proceso.

Este trabajo de titulación consiste en un conjunto de tanques dosificadores con válvulas de tipo todo o nada mediante las que se puede permitir el ingreso de colorantes hacia un tanque mezclador de acuerdo con fórmulas o recetas establecidas. La tarea de mezcla considera en el proceso de mezcla los tiempos asociados a cada receta y se contempla que el usuario pueda modificar las recetas conforme al entretenido.

En este proyecto se considera la utilización de al menos cinco recetas estándar mediante la mezcla de tres colores primarios: rojo, azul y amarillo, esto abre un sinfín de posibles mezclas en el procesamiento de la simulación. Se utiliza la red Ethernet de forma alámbrica para equipos de control e inalámbrica para conexión con dispositivos móviles, con la finalidad de observar en tiempo real los cambios suscitados en las diversas variables del proceso.

5.1 Arquitectura de Red

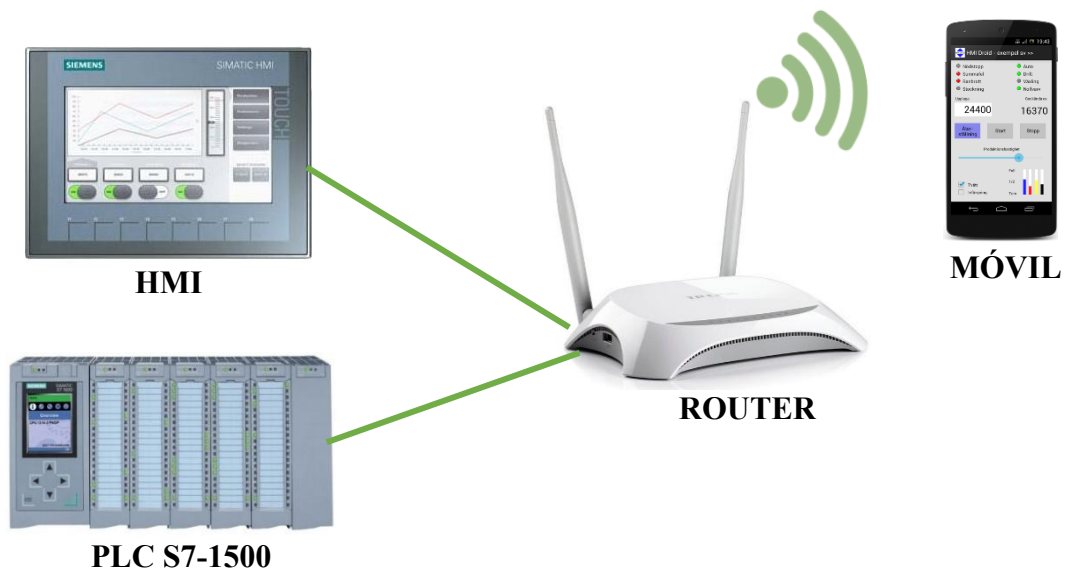
La arquitectura de red utilizada en este proyecto se basa en la conexión de elementos de automatización (nivel más bajo de la pirámide de automatización) mediante cable par trenzado de

cobre y haciendo uso de una topología estrella teniendo como nodo central un Router configurado de manera predeterminada.

El nodo central permitirá la conexión de diferentes elementos inalámbricos para desarrollos futuro o mejoras continuas. Actualmente se incluirá el monitoreo del proceso mediante un dispositivo inteligente con las respectivas seguridades. En la figura 9, se puede observar los elementos utilizados con la respectiva conexión.

Figura 9

Arquitectura de red utilizada



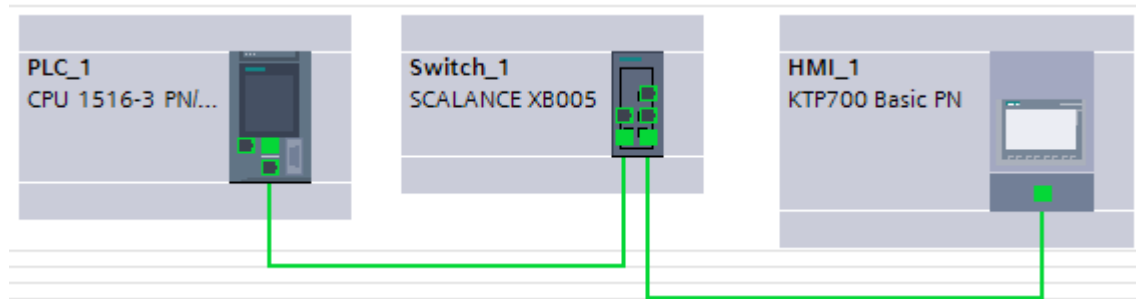
Nota: Esquema de conexión de red Ethernet de forma alámbrica e inalámbrica para el funcionamiento.

El esquema mostrado en la figura 10, se puede representar de forma parcial en el entorno de programación TIA PORTAL ya que los componentes disponibles corresponden solamente

para los dispositivos de la marca Siemens. En el caso de router, se considera la marca TP-Link por tema de bajo costo, buena funcionalidad y configuración sencilla.

Figura 10

Vista Topológica de red cableada



Nota: Topología utilizada por los componentes de automatización configurada del software TIA PORTAL.

Para llevar a cabo esta red de equipos vía Ethernet se han considerado las siguientes direcciones IP:

- PLC S7-1500: 172.18.135.63 configurada en el puerto X1 LAN.
- Panel HMI: 172.18.135.64 configurada en el único puerto LAN.
- Router TpLink: 172.18.135.79 configurada para la red LAN. Cabe mencionar que existen al menos 3 puertos libres para adicionales para la conexión de otros equipos a futuro.
- Dispositivo móvil: La IP se asigna de forma automática al momento de conectarse de forma inalámbrica con el router tp-link.

Como parte de las seguridades agregadas al sistema, la conexión a la red inalámbrica tiene contraseña que sigue los parámetros solicitados por el fabricante considerado conceptos de ciberseguridad.

5.2 Programación del PLC

El controlador lógico programable que forma parte de este sistema contiene la codificación indispensable para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto. En la figura 11 se puede observar la ubicación de cada módulo en el riel de trabajo.

Figura 11

Configuración de dispositivos en TIA PORTAL v18



Nota: Se consideran todos los elementos físicamente conectados con el CPU. Ubicar la fuente de poder resulta opcional.

Los equipos que se están utilizando en la configuración propuesta se encuentran disponibles en el laboratorio de automatización y se listan a continuación:

- CPU 1516-3 PN/DP: Unidad central de procesamiento con puertos de comunicación PROFINET, PROFIBUS DP / Modbus RTU y sin entradas /salidas integradas.
- DI 32x24VDC HF: Módulo de 32 entradas digitales a 24VDC.
- DQ 32x24VDC/0.5A HF: Módulo de 32 salidas digitales a 24VDC.
- AI 8xU/I/RTD/TC ST: Módulo de 8 entradas analógicas configurables para voltaje, lazos de corriente, RTD y termocuplas.
- AQ 4xU/I ST: Módulo de 4 salidas analógicas para voltaje y lazo de corriente.

Figura 12

Variables de Entradas y Salidas del Autómata Programable

	Name	Data type	Address ▲	Comment
1	PLC_MARCHA	Bool	%I0.0	Pulsador de marcha en el PLC
2	PLC_PARO	Bool	%I0.1	Pulsador de paro en el PLC
3	PLC_RESET	Bool	%I0.2	Pulsador de reset en el PLC
4	PLC_LIMPIEZA	Bool	%I0.3	Pulsador de limpieza en el PLC
5	BR	Bool	%Q0.0	Bomba color rojo
6	BAZ	Bool	%Q0.1	Bomba color verde
7	BAM	Bool	%Q0.2	Bomba color azul
8	BS	Bool	%Q0.3	Bomba solvente
9	BD	Bool	%Q0.4	Bomba descarga
10	M	Bool	%Q0.5	Motor mezclador
11	PLC_MIXER_ON	Bool	%Q0.6	Indicador de secuencia de mezclado
12	PLC_LIMPIEZA_ON	Bool	%Q0.7	Indicador de secuencia de limpieza

Nota: Direccionamiento de señales de entrada y salidas digitales conectadas al PLC para interacción con el operador.

En la figura 12 se encuentra la configuración de entradas y salidas que se utilizan dentro de la programación. Cabe mencionar que estas variables no son las únicas, sin embargo, son

aquellas que modifican la dinámica del proceso ya que controlan bombas de materia prima, mezclador, bomba de descarga y señalización de encendido.

Figura 13

Segmentos programados en el software TIA PORTAL v18

▶	Network 1: Calculo de porcentajes por colores primarios
▶	Network 2: Animación de tanques de colores
▶	Network 3: Animación de mezclador
▶	Network 4: Control de encendido de secuencia de mezclado
▶	Network 5: Control de bomba para color rojo
▶	Network 6: Control de bomba para color amarillo
▶	Network 7: Control de bomba para color azul
▶	Network 8: Control de bomba para limpieza (solvente)
▶	Network 9: Nivel de tanque mezclador
▶	Network 10: Control de motor mezclador
▶	Network 11: Control de bomba para descarga
▶	Network 12: Fin de secuencia de mezclado
▶	Network 13: Reinicio de simulación
▶	Network 14: Control de salida analógica para variador de velocidad
▶	Network 15: Escalamiento de variable analógica de velocidad del motor
▶	Network 16: Señal de control de VDF
▶	Network 17: Control de encendido de secuencia de limpieza
▶	Network 18: Animaciones de apagado
▶	Network 19: Lectura de fecha y hora local
▶	Network 20: Gestion de Web Server
▶	Network 21: Textos para visualización en web server

Nota: Cada segmento utilizado tiene un nombre relacionado con el contenido facilitando al usuario la rápida comprensión y detección de errores.

Para la programación de este controlador se ha utilizado el lenguaje LADDER (contactos y bobinas) con 21 segmentos en el bloque principal OB1 para las secuencias propuestas, adquisición de datos, animaciones en el HMI y cálculos varios. En la figura 13 se puede observar lo mencionado previamente:

El detalle de la programación del bloque principal OB1 se puede encontrar en el Anexo2 con los comentarios respectivos. A pesar de que la mayoría de la programación se encuentra en el Main, también es importante la ubicación de codificación en el bloque de interrupción cíclica OB30 con un tiempo de ejecución de 100ms. Este bloque permite tener un comportamiento determinista para funciones de control, adquisición y comunicación. En este caso puntual es usado para la ejecución del controlador PID para regular la velocidad de motor mezclador, así como la correcta ejecución del bloque de simulación de sistema de segundo orden LSIM_PT2OSC para el motor eléctrico.

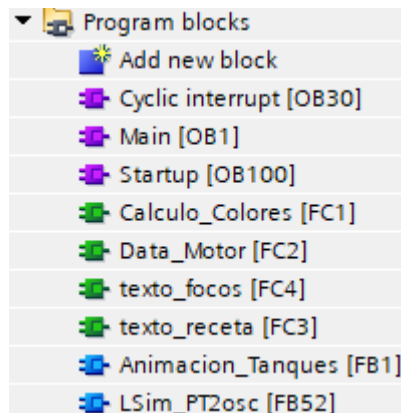
Los primeros segmentos del bloque OB1 permiten la ejecución de las operaciones necesarias para calcular el porcentaje correspondiente a cada color primario y el control de las animaciones de los tanques. El uso de funciones y bloques de datos permite representar los niveles de control, activar las señales luminosas y sincronizar visualización gráfica de las señales físicas y lógicas del sistema. Más adelante se ejecutan las operaciones de los estados del mezclador: arranque, paro, limpieza y carga y descarga. Se controlan por señales digitales, temporizador TON y operaciones de comparación. El desarrollo de las operaciones del mezclador se ejecuta en el orden y condiciones adecuadas y en un orden correcto, según el cual las operaciones siempre se ejecutan en la secuencia correcta y en una secuencia segura.

Cada color considerado para este proceso (rojo, amarillo, azul) así como el solvente, cuenta con una red independiente que controla su correspondiente bomba, calculando los niveles en función de volúmenes de referencia y del estado de mezcla. Además, se generan rutinas para sumar los volúmenes parciales en un único nivel total en el tanque mezclador, que será utilizado tanto para control de procesos como para la interfaz web. También se controlan rutinas de escalamiento de la variable analógica de velocidad del motor, además de generar la señal de control hacia el variador de frecuencia (VDF) para la modulación de la velocidad en tiempo real.

Adicional a los bloques OB1 y OB30, se ha utilizado el bloque de ejecución inicial OB100 para fijar ciertos parámetros del programa como por ejemplo los niveles iniciales de los tanques, considerando que inician al 100% al iniciar el PLC. Este bloque también podría ser utilizado para fijar parámetros de controladores que luego de un reinicio o posterior a un corte de energía necesiten inicializarse con valores específicos. Los detalles de programación de los bloques OB30 y OB100 se encuentran en los anexos 3 y 4 respectivamente. En la figura 14 se puede apreciar la estructura de bloques que se utilizan en la programación del PLC.

Figura 14

Bloques de programación utilizados



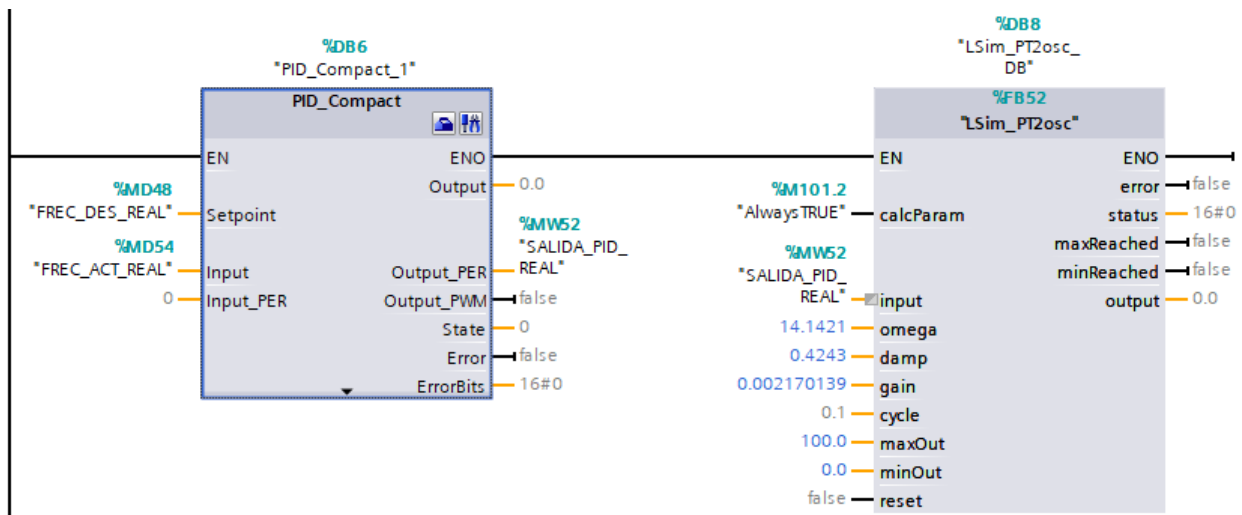
Nota: Los bloques utilizados en el proyecto se han realizado en lenguaje LADDER.

5.2.1 Control PID para motor simulado

Para realizar el control proporcional integral derivativo para el motor del mezclador se ha considerado la simulación mediante el uso de los bloques “PID_Compact” y “LSim_PT2osc” como se muestran en la figura 15. Dado que estos bloques realizan funciones de control, resulta importante agregarlos en áreas de memoria donde la ejecución tenga determinismo como por ejemplo los bloques de interrupción cíclica; en este caso el bloque OB30 que se ejecuta cada 100ms.

Figura 15

Bloques utilizados para control PID



Nota: Bloque PID_Compact y LSim_PT2osc.

La parametrización utilizada en el bloque LSim_PT2osc para la dinámica de la planta (motor + sensor), hace referencia a una función de transferencia de segundo orden se aproxima a la siguiente expresión:

$$output_Hz(s) = \frac{0.002170139}{(14.1421 * s)^2 + 2 * (0.4243) * \frac{s}{14.1421} + 1}$$

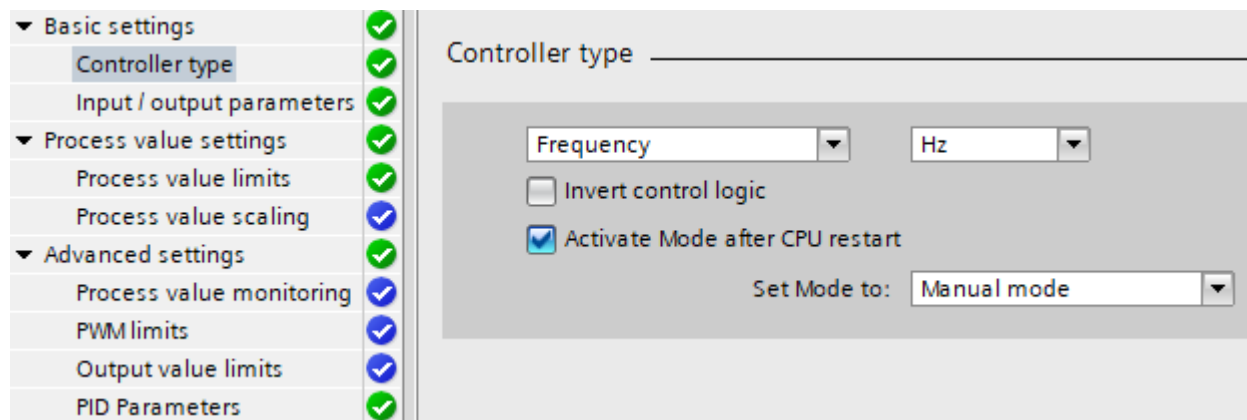
$$output_Hz(s) = \frac{0.002170139}{200s^2 + 0.06s + 1}$$

Una vez obtenida la función de transferencia de referencia para simulación, se procede a la configuración del bloque PID_Compact desde su herramienta de configuración integrada a la hora de utilización de este.

En la figura 16, se puede observar el primer paso para la configuración del controlador PID. En esta sección se configura el tipo de control que se va a realizar, en este caso se ha elegido Frecuencia (Hz) ya que el control que se tiene en los variadores de velocidad regularmente es de tipo escalar V/F donde la referencia enviada es en Hertz; a su vez es posible configurar una salida de voltaje o corriente en el VDF para tener un feedback aproximado y establecer un lazo cerrado.

Figura 16

Configuración de bloque PID (1)

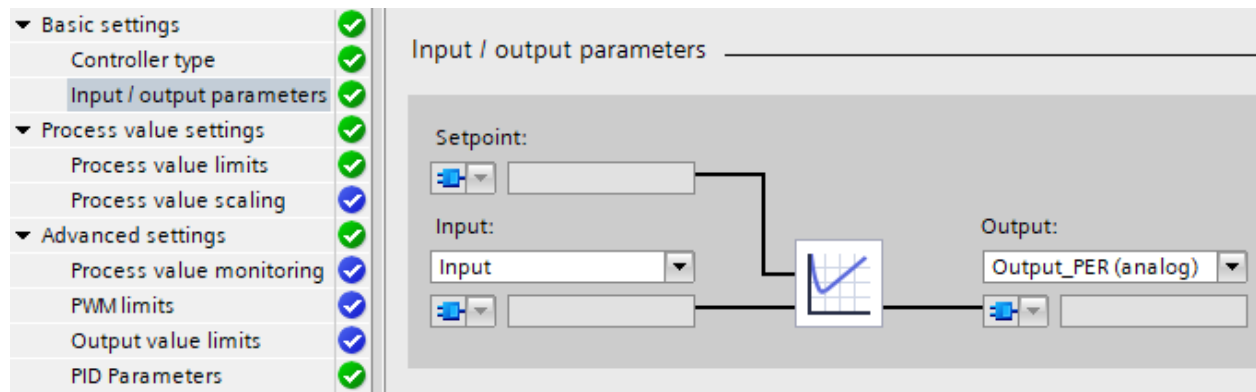


Nota: Primer paso para configuración.

En este caso la realimentación es dada por la salida del bloque de simulación, lo cual da la flexibilidad de hacer cambios en la función de transferencia como si fueran motores distintos y ver la efectividad del control. Como segundo punto importante, tal cual se aprecia en la figura 17, se especifica al bloque el origen de la entrada de datos para el PID (Input) y la salida calculada (Output_PER (analog)). Cuando se escoge una salida o entrada de tipo PER, se debe de tener en cuenta que el rango de trabajo es de -27648 a 27648, lo cual corresponde a los rangos manejados por las entradas y salidas de tipo analógico.

Figura 17

Configuración de bloque PID (2)

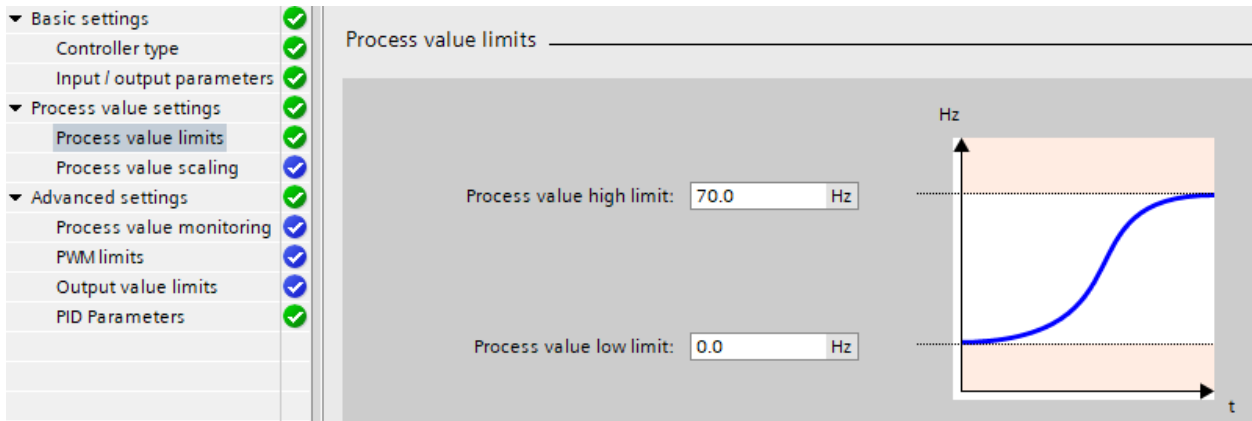


Nota: Segundo paso para configuración.

Un punto relevante a la hora de configurar un controlador resulta la definición de límites ya que en la práctica siempre existentes restricciones o inclusive comportamientos no lineales que es bueno considerar para simulaciones. Como se muestra en la figura 18 el límite considerado en este caso es de 70Hz, a pesar de que en condiciones ideales no se debería superar los 60Hz, pero podría emularse algún perturbación o condición de falla en el motor que implica un rango entre 60 y 70 Hz.

Figura 18

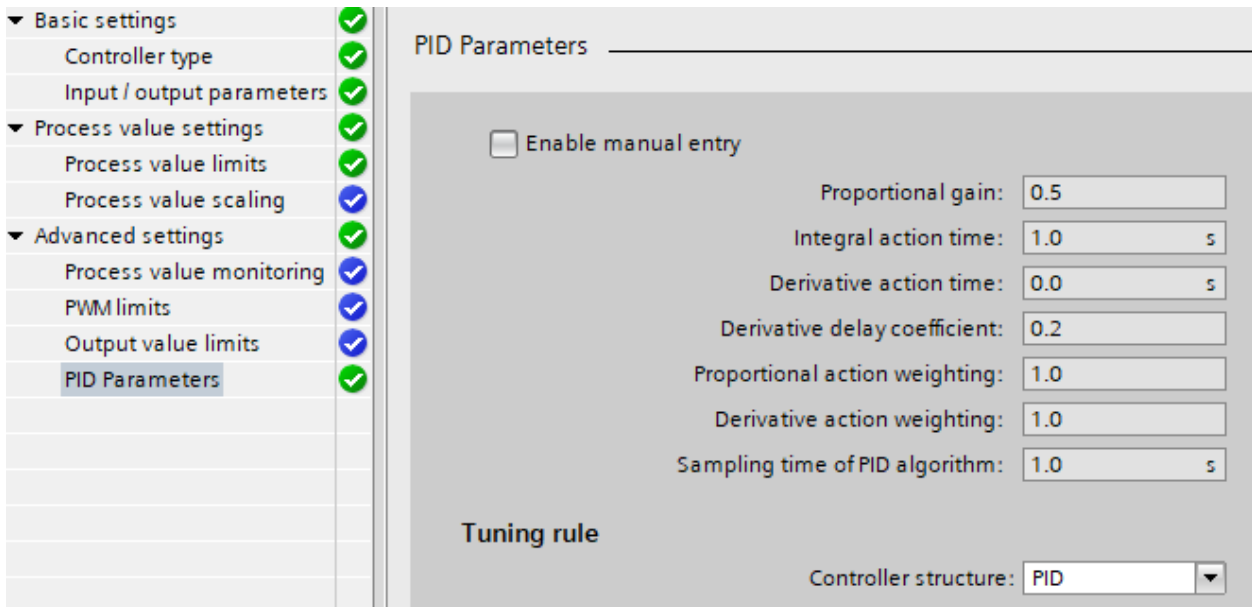
Configuración de bloque PID (3)



Nota: Tercer paso para configuración.

Figura 19

Configuración de bloque PID (4)



Nota: Cuarto paso para configuración.

En la figura 19 podemos observar un paso fundamental para la configuración del controlador en donde se puede seleccionar la estructura de control como PID, PI, P. En este caso se ha seleccionado la estructura PID con los coeficientes $P = 0.5$, $T_i = 1s$ y $T_d = 0s$. A pesar de tener una estructura PID por los coeficientes podemos observar el uso del componente proporcional e integral.

5.3 Diseño de Interfaz Humano - Máquina

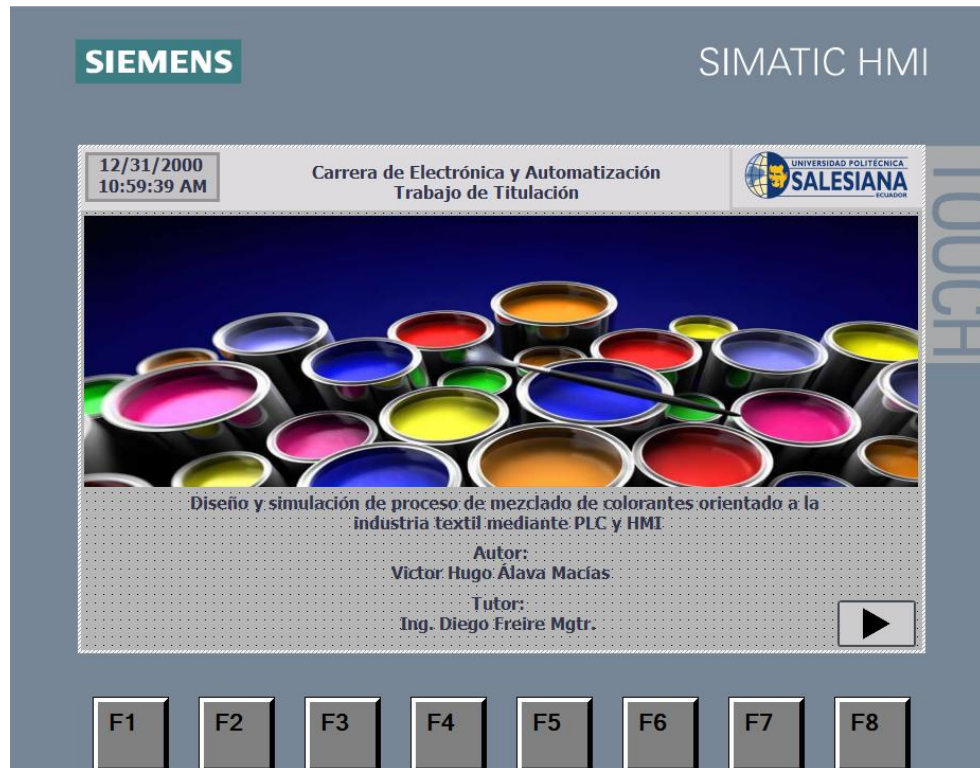
La interacción entre el PLC y el operador se realiza mediante la interfaz humano-máquina, cuyo diseño propuesto se basa en tres pantallas con navegación entre ellas. Las pantallas propuestas son: Portada, Proceso y Alarmas. Para el desarrollo de la interfaz se utilizó un panel de operador de 7" táctil a colores con modelo KTP700 PN. Este equipo cuenta con un puerto de comunicación PROFINET que brinda facilidad de comunicación con el autómatas programable S71500. Para mayor detalle de las bondades que ofrece cada pantalla, a continuación, se describen cada una de ellas.

5.3.1 Pantalla "Portada"

En la figura 20, se puede apreciar los datos informativos del proyecto de titulación. En esta pantalla se puede observar la hora y fecha del sistema, y para el cambio de pantalla se cuenta con un botón en la sección inferior derecha que tiene una flecha. Para que esto sea posible se considera la configuración del evento pulsar en el botón y a través de la función activar pantalla se hace el direccionamiento hacia la pantalla "2_Mezclador". Esta configuración se puede visualizar en la figura 21.

Figura 20

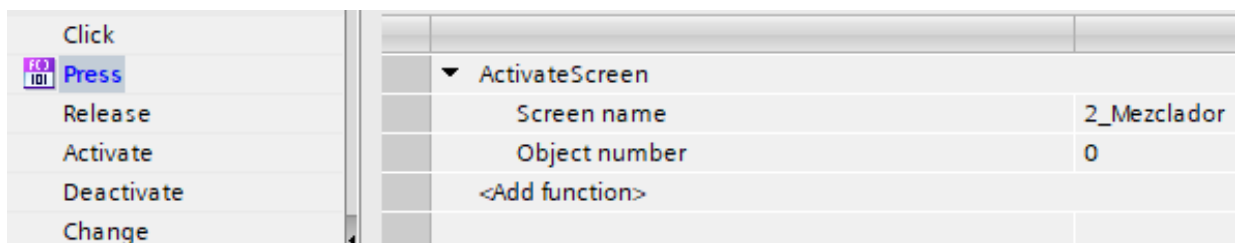
Pantalla de portada para el proyecto de titulación



Nota: Portada con los datos principales del trabajo de titulación.

Figura 21

Configuración de cambio de pantalla



Nota: Evento presente en botón de navegación.

5.3.2 Pantalla “Proceso”

En la pantalla proceso se puede controlar y monitorear el proceso de mezcla de colores para la industria textil. A continuación, se describen los principales elementos que se pueden apreciar en la figura 22.

- Botón Verde de Marcha: Tiene la tarea de iniciar la secuencia de mezclado normal con el color seleccionado en el selector de recetas. Hay que considerar que el botón está disponible en todo momento.
- Botón Rojo de Paro: Es el encargado de pausar la secuencia de operaciones tanto en modo mezclador, así como en modalidad de limpieza de tanque. Hay que considerar que el botón está disponible en todo momento y una pausada una secuencia se debe concluir la misma antes de un cambio.
- Pulsador de Reset: Este botón permite un reinicio de las secuencias siempre y cuando estas hayan sido pausadas con el botón de parada.
- Pulsador de Limpieza: Este pulsador permite el inicio de la rutina de limpieza del tanque con solvente o químicos según el tipo de materia prima y material del tanque. Cuando se activa la secuencia de limpieza no se permite la activación de la secuencia de mezclado regular y viceversa.
- Selector de Recetas: Este componente permite la selección de las diversas recetas que están disponibles en la interfaz dependiendo de los colores a mezclar.

Los colores disponibles y las recetas respectivas se muestran en la tabla 1 lo cual se detalla a continuación:

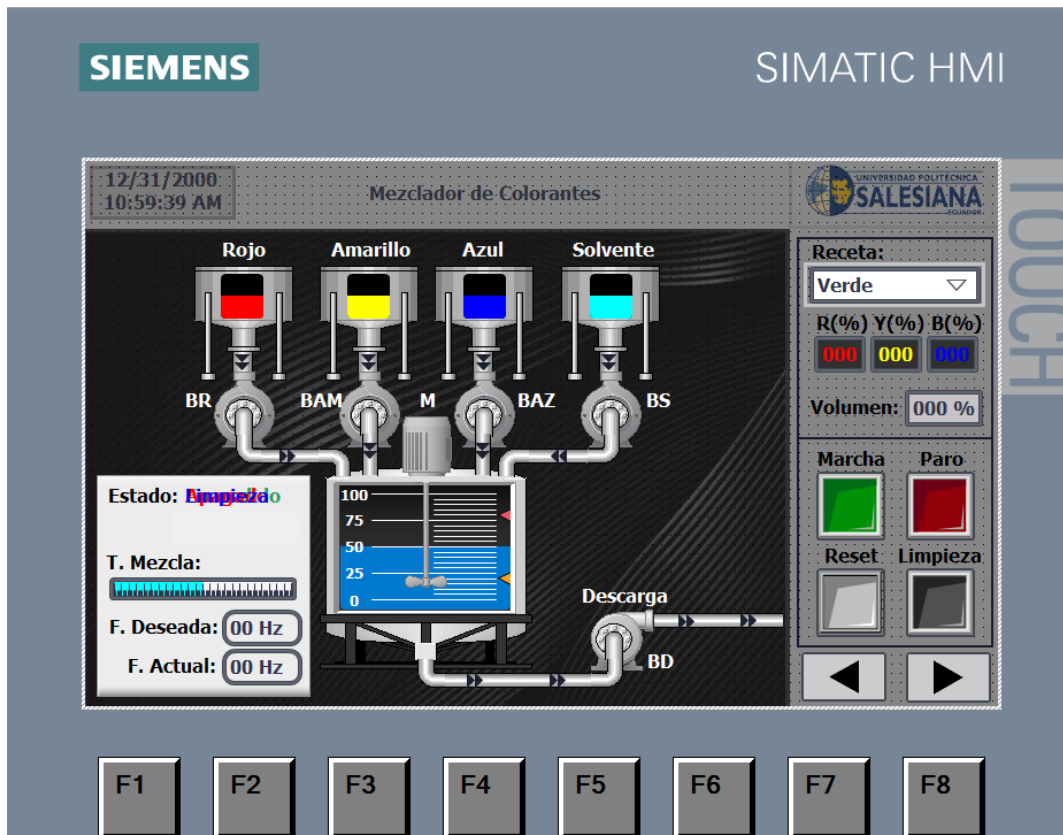
Tabla 1

Recetas predefinidas en el HMI con el respectivo porcentaje de colores primarios.

Color	Colores primarios		
	Rojo	Amarillo	Azul
Verde	0%	50%	50%
Magenta	50%	0%	50%
Naranja	50%	50%	0%
Café	50%	25%	25%
Azul verdoso	0%	25%	75%
Miel	25%	75%	0%

Figura 22

Pantalla de portada para el proyecto de titulación



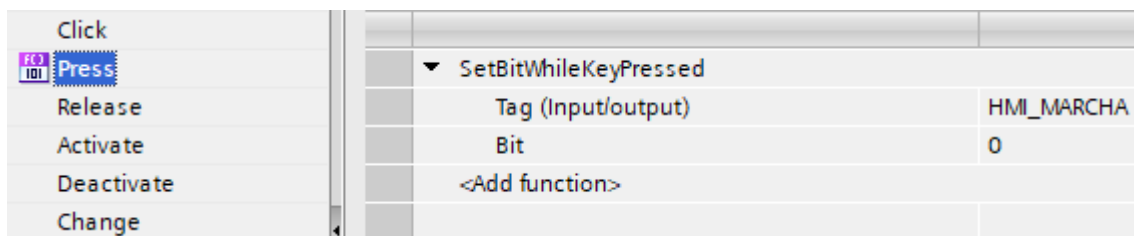
Nota: Portada con los datos principales del trabajo de titulación.

- Botones de navegación: Se considera dos botones para hacer cambios de pantallas representados con flechas hacia la derecha o izquierda. La flecha que apunta a la derecha permite la apertura de la pantalla de gráficos de tendencia. La flecha que apunta a la izquierda apunta hacia la pantalla de portada.
- Animaciones del proceso: En la pantalla se puede encontrar una representación con los elementos físicos, tanques, bombas, tuberías con las respectivas animaciones para mostrar las variaciones de niveles de tanque de la materia prima, mezclador y descarga.

A continuación, se muestran la configuración de los eventos configurados en cada botón de la pantalla que permite la operación del sistema. En la figura 23, se puede apreciar el evento pulsar (botón verde) con la función asociada “activar bit mientras tecla pulsada” así como la variable asociada al encendido del proceso “HMI_MARCHA”.

Figura 23

Configuración de evento pulsar – botón verde

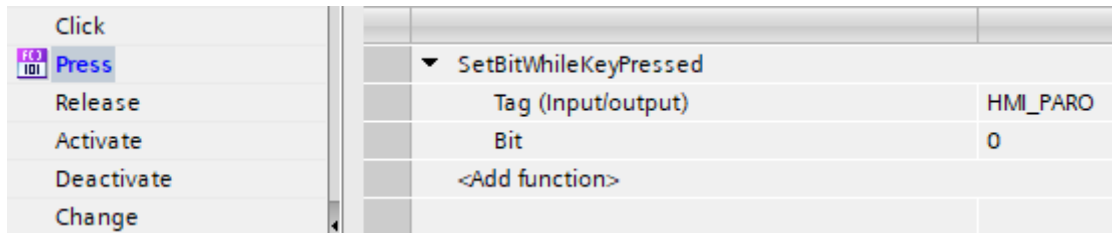


Nota: Función activar bit mientras tecla pulsada.

Para el apagado remoto desde el panel HMI, se tiene configurado el evento pulsar (botón rojo) con la función asociada “activar bit mientras tecla pulsada” así como la variable asociada al encendido del proceso “HMI_PARO”.

Figura 24

Configuración de evento pulsar – botón rojo

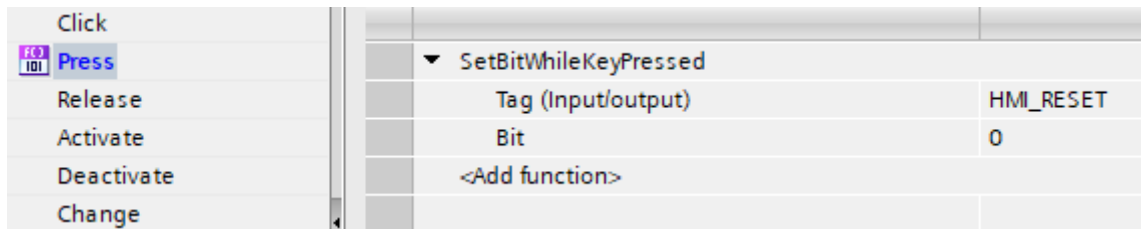


Click		
Press	▼ SetBitWhileKeyPressed	
Release	Tag (Input/output)	HMI_PARO
Activate	Bit	0
Deactivate	<Add function>	
Change		

Nota: Función activar bit mientras tecla pulsada.

Figura 25

Configuración de evento pulsar – botón gris claro

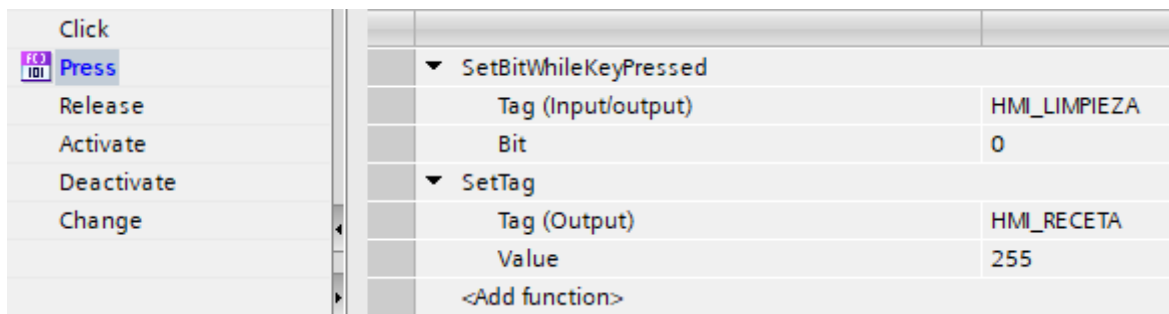


Click		
Press	▼ SetBitWhileKeyPressed	
Release	Tag (Input/output)	HMI_RESET
Activate	Bit	0
Deactivate	<Add function>	
Change		

Nota: Función activar bit mientras tecla pulsada.

Figura 26

Configuración de evento pulsar – botón gris oscuro



Click		
Press	▼ SetBitWhileKeyPressed	
Release	Tag (Input/output)	HMI_LIMPIEZA
Activate	Bit	0
Deactivate	▼ SetTag	
Change	Tag (Output)	HMI_RECETA
	Value	255
	<Add function>	

Nota: Función activar bit mientras tecla pulsada.


Para el reinicio de la secuencia desde el panel HMI, se tiene configurado el evento pulsar (botón gris claro) con la función asociada “activar bit mientras tecla pulsada” así como la variable asociada al encendido del proceso “HMI_RESET”. Para dar inicio de la secuencia de limpieza desde el panel HMI, se tiene configurado el evento pulsar (botón gris oscuro) con la función asociada “activar bit mientras tecla pulsada” así como la variable asociada al encendido del proceso “HMI_LIMPIEZA”.

Estas configuraciones se pueden apreciar en las figuras 25 y 26 respectivamente. Cabe mencionar que el caso de la figura 26, se puede visualizar el uso de otra función fijar variable con la variable HMI_RECETA un valor de 255 para que el PLC tenga confirmación de que se ha pulsado dicho botón.

Al igual que las otras pantallas, se cuenta con elementos de navegación o cambio. En este caso se cuenta con dos botones con flechas, una flecha hacia la izquierda para dirigirse a la portada y una flecha hacia la derecha para abrir la pantalla de gráficas de tendencias. En las figuras 27 y 28 se puede apreciar el evento pulsar en el botón y a través de la función activar pantalla para el direccionamiento hacia las pantallas “1_Portada” y “3_Tendencias”.

Figura 27

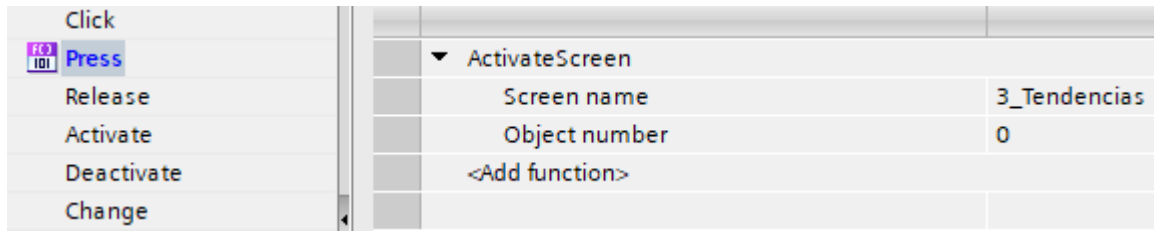
Configuración de cambio de pantalla

Click		
 Press	▼ ActivateScreen	
Release	Screen name	1_Portada
Activate	Object number	0
Deactivate	<Add function>	
Change		

Nota: Evento presente en botón de navegación.

Figura 28

Configuración de cambio de pantalla

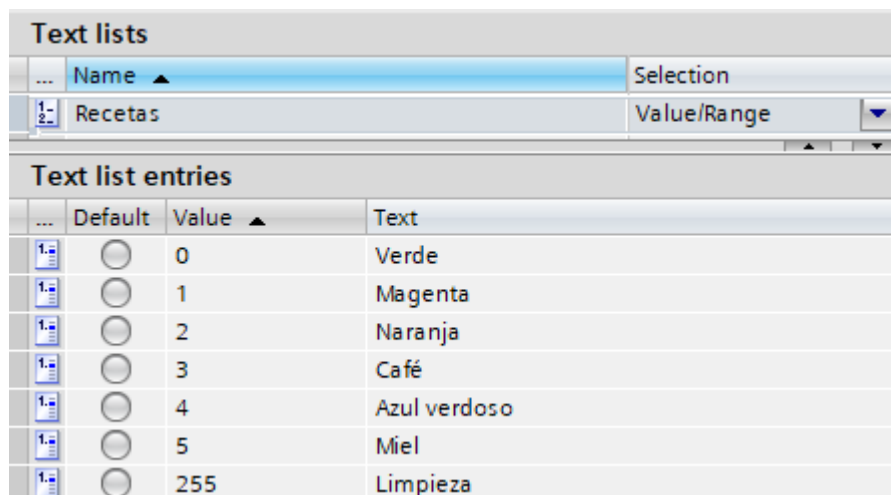


Nota: Evento presente en botón de navegación.

En el caso del selector de recetas, se considera el uso de lista de textos que son equivalentes a un valor numérico asignado a una variable determinada y programada en el PLC, para este caso la variable es HMI_RECETA. En la figura 29 se puede observar la configuración de la lista de textos configurados desde 0 a 5 para las 6 combinaciones de colores y un ítem adicional para considerar la secuencia de limpieza.

Figura 29

Lista de textos para recetas

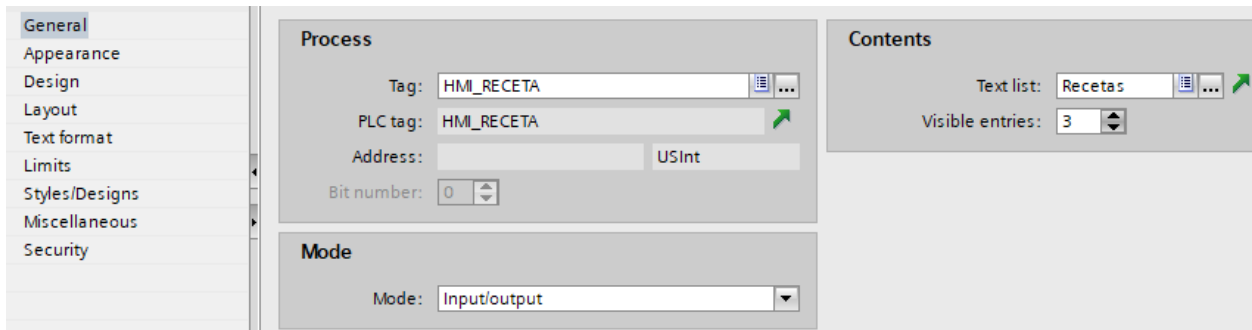


Nota: Siete textos configurados para las diferentes recetas.

Estos listados de textos son bastante utilizados para presentación de mensajes personalizados al operador y no un valor numérico de manera directa. En la figura 30 se puede observar el uso de la lista de textos en elemento de entradas y salidas simbólicas o en otras plataformas llamada combo box.

Figura 30

Uso de lista de textos



Nota: Configuración de campo de entrada-salida simbólico.

Adicional al listado de textos, se encuentra disponible el listado de gráficos para dinamizar los elementos del proceso. En este proyecto de titulación se hace uso de varios listados de gráficos para visualizar la activación de las bombas de materia prima y de solvente. Para cada valor booleano, se tiene una imagen asociada. En la figura 31 se puede observar un ejemplo de esta estrategia para la bomba de colorante amarillo, donde se tiene la bomba de color gris para el valor de 0 (false) y se tiene la bomba de color amarillo para el valor de 1 (true). Posterior a la definición, se debe asignar alguno de los listados en un campo de imagen como se muestra en la figura 32. En esa figura se muestra el uso del listado de gráficos llamado “Bomba_Amarillo” para la animación de la planta.

Figura 31

Listado de gráficos para proceso

Graphic lists			
...	Name ▲	Selection	Comment
	Bomba_Amarillo	Bit (0, 1) ▼	
	Bomba_Azul	Bit (0, 1)	
	Bomba_Descarga	Bit (0, 1)	
	Bomba_Rojo	Bit (0, 1)	
	Bomba_Verde	Bit (0, 1)	
	Mezclador	Value/Range	

Graphic list entries			
...	Value ▲	Graphic na...	Graphic
	0	Graphic_1	
	1	Graphic_2	

Nota: listados de gráficos configurados.

Figura 32

Uso de listado de gráficos - amarillo

Property list

- General
- Appearance
- Layout
- Limits
- Miscellaneous
- Security

General

Process

Tag: BAM

PLC tag: BAM

Address: Bool

Bit number: 0

Mode

Mode: Output

Contents

Graphic list: Bomba_Amarillo

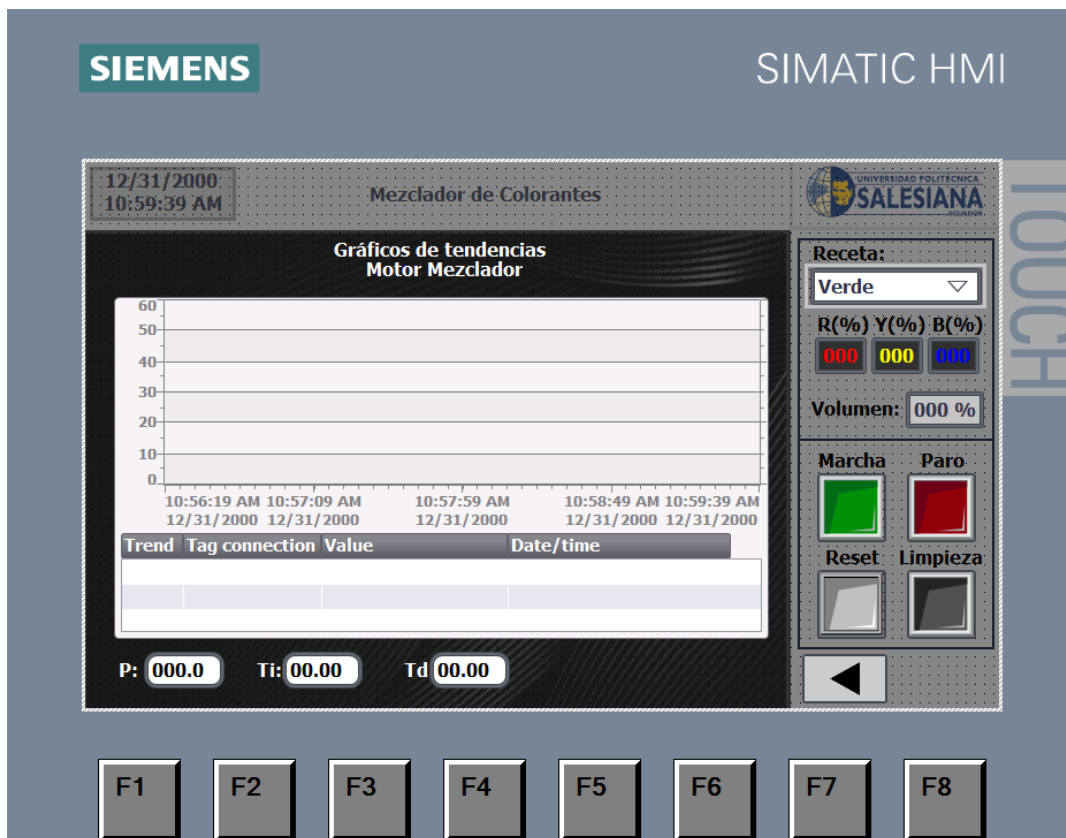
Nota: Configuración de campo de imagen en modo salida.

5.3.3 Pantalla “Gráficas de tendencias”

En esta pantalla se puede visualizar el comportamiento dinámico simulado de la velocidad del motor mezclador considerando dos señales la frecuencia de consigna en el variador de velocidad y la frecuencia estimada en el motor considerando una relación lineal entre la velocidad en revoluciones por minuto (*RPM*) y la frecuencia aplicada por el variador de frecuencia (*Hz*). La figura 33 permite graficar los cambios obtenidos en las variables de interés considerando tiempos de lectura 300 ms para cada variable.

Figura 33

Pantalla de gráficas de tendencias para el proyecto de titulación







Nota: Información de parámetros PID del controlador.

Adicionalmente se ha considerado un tiempo total en el eje horizontal de 2 minutos. En la figura 34 se puede notar la configuración de las tendencias a visualizar en el graficador, en la cual se observa una columna de valores para tendencia como 999. Hay que recordar que este parámetro limita el porcentaje de gráfico que aparecerá en el visualizador donde 0 es el mínimo y 999 corresponde al 100%.

Figura 34

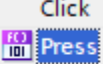
Configurador de Tendencias

Trend							
	Name	Style	Trend v...	Trend type	Source settings	Side	Limits
	Frecuencia_Deseada		999	Cyclical real time	[FREC_DES_REAL]	Left	
	Frecuencia_Medida		999	Cyclical real time	[FREC_ACT_REAL]	Left	

Nota: Curvas configuradas para graficar.

Figura 35

Configuración de cambio de pantalla - tendencias

Click		
 Press	▼ ActivateScreen	
Release	Screen name	2_Mezclador
Activate	Object number	0
Deactivate	<Add function>	
Change		

Nota: Evento presente en botón de navegación.

Este comportamiento dinámico es obtenido de los bloques de simulación LSIM trabajando en conjunto con el bloque de control PID_Compact. Para la simulación de esos bloques es muy importante el determinismo en la ejecución de estos, para este caso particular se ha considerado un tiempo de ejecución cada 100ms en el bloque de interrupción cíclica OB30.

Para la navegación entre pantallas se considera la configuración del evento pulsar en el botón y a través de la función activar pantalla se hace el direccionamiento hacia la pantalla “2_Mezclador” como se muestra en la figura 35.

5.4 Monitoreo Remoto del proceso

La plataforma de automatización utilizada, TIA PORTAL v18, permite el diseño de pantallas con funciones básicas para acceso remoto mediante el web server. El uso de elementos básicos para el monitoreo remoto corresponde a tener un uso equilibrado de los recursos dependiendo del dispositivo a conectarse al proceso. Al estar embebido en la CPU no hay necesidad de crear nuevas variables, sino que se enlaza directamente a las variables creadas previamente.

La página generada para el servidor web del PLC Siemens S7-1500 representa una pantalla HMI para la visualización en tiempo real del proceso de mezclado de colorantes en un ambiente industrial textil, siendo un recurso HTML con soporte de CSS que permite un visual correspondiente a la actualidad e incluso que sea responsive. Su estructura está concebida para ser visualizada en computadores de mesa y, a su vez, en dispositivos móviles, asegurando la correcta visualización de la información operativa.

Las funciones de la pantalla de monitoreo en el web server se han configurado para tener solamente la lectura de los elementos ya que el operador podría tener activaciones involuntarias de la secuencia desde la pantalla debido a la característica táctil de la mayoría de los smartphones. En la figura 36 se puede observar la configuración mencionada previamente:

Figura 36

Pantalla para el acceso al web server y monitoreo remoto inalámbrico.



	Name	Data type	Address
1	BR	Bool	%Q0.0
2	BAZ	Bool	%Q0.1
3	BAM	Bool	%Q0.2
4	BS	Bool	%Q0.3
5	BD	Bool	%Q0.4
6	M	Bool	%Q0.5
7	HMI_RECETA	USInt	%MB1
8	N_TANQUE_ROJO	DWord	%MD14
9	N_TANQUE_AMARILLO	DWord	%MD18
10	N_TANQUE_AZUL	DWord	%MD22
11	FREC_DES_REAL	Real	%MD48
12	FREC_ACT_REAL	Real	%MD54
13	VEL_ACT_REAL	Real	%MD58
14	N_TANQUE_SOL	DWord	%MD66
15	N_TANQUE_TOTAL	DWord	%MD26
16	HMI_RECETA_NOMBRE	Char	%MB90

Nota: Parametrización básica de elementos para evitar un consumo excesivo en el dispositivo móvil.

En la sección inicial y como se puede apreciar en la figura 16, los tanques de tintes (rojo, amarillo, azul y disolvente) se muestran gráficamente en columnas dinámicas, cuyas alturas se modifican en tiempo real a partir de las variables simbólicas que se introducen en la unidad central de proceso. Se aplica una animación de transición suave con la idea de aportar la percepción visual de un llenado progresivo y así potenciar la correcta comprensión del operador. En paralelo se representa el nivel general del tanque mezclador y se integra un mini-panel de indicadores tipo “led” (simulados por medio de barras cuadradas) que indican el estado de las señales digitales de las válvulas o de los motores del proceso.

La segunda parte de la página está destinada a la gestión de recetas y de parámetros de control relacionados en el tiempo de la receta, entre los que se incluye un listado de recetas preconfiguradas y la última receta activa actualizada en tiempo real, a su vez, se presentan los valores de la frecuencia deseada y la frecuencia real, esenciales para la supervisión del sistema de agitación o de la dosificación. Todos estos elementos se aprueban en tarjetas visuales diferenciadas, que utilizan transparencias y sombras, reforzando así un estilo moderno y técnico.

Funcionalmente, esta página se ubica en el marco de la operatividad “User-Defined Pages” que permite el acceso al programa de control del servidor web nativo del PLC Siemens S7-1500, mediante la posibilidad de acceder a las variables del programa de control a partir de las referencias simbólicas (sintaxis del estilo: ="TQ_ROJO":) de los programas de control, sin requerir ejecutar software adicional ni tener que compilar el programa de control extrínsecamente. Esta actualización de los datos se realiza periódicamente cada 500 ms, de tal forma que la visibilidad de la información en la interfaz gráfica de usuario corresponda con el estado que dicho aspecto debería mantener. Esta interfaz gráfica de usuario, en su conjunto, representa una solución

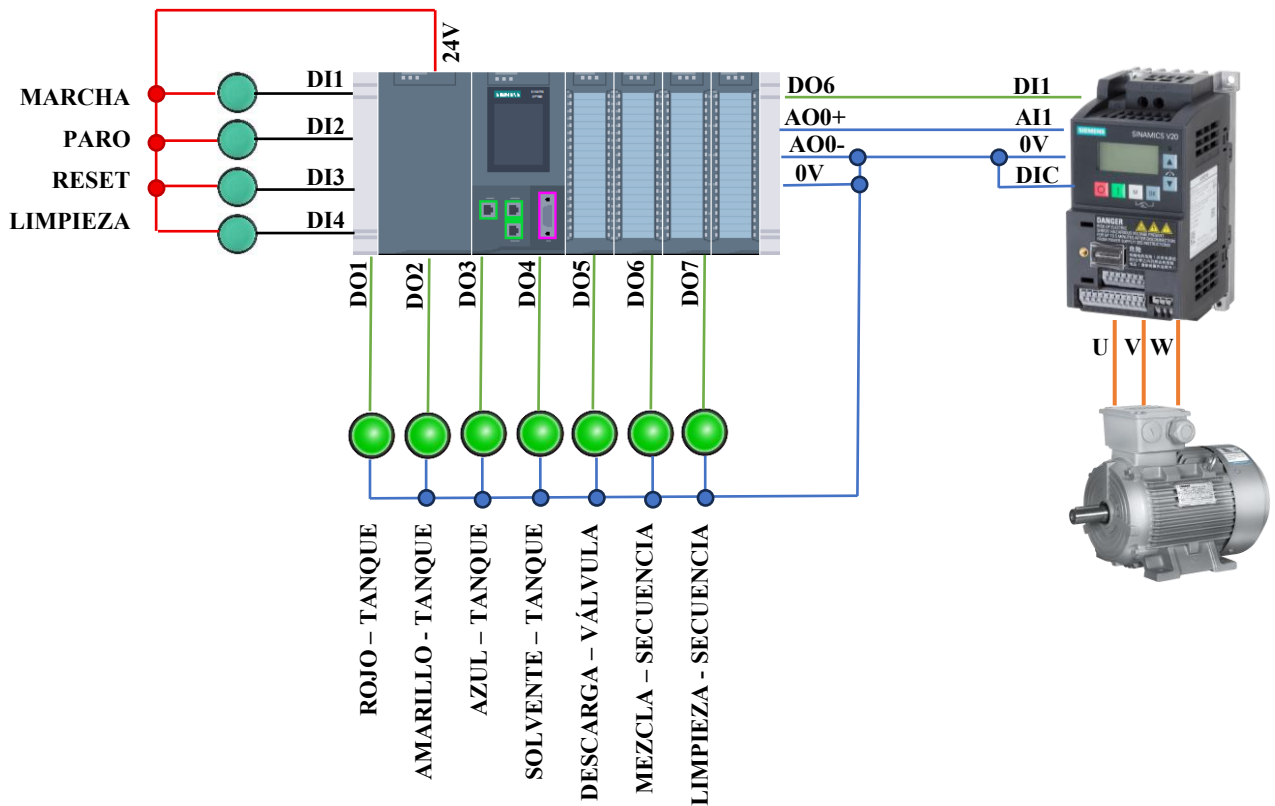
relativamente compacta, portable y efectiva para la supervisión industrial desde cualquier navegador compatible.

5.5 Conexiones eléctricas entre PLC y VDF

En el proyecto de titulación se ha considerado programación basada en simulación del motor mezclador, sin embargo, se contempla la posibilidad de tener la conexión de entradas y salidas remotas tanto digitales como analógicas.

Figura 37

Detalle de conexiones para el PLC y variador de frecuencia.



Nota: Conexiones de entradas y salidas.

En la figura 37 se puede apreciar un esquema simplificado de las conexiones consideradas para el funcionamiento. Es importante indicar que el variador de frecuencia requiere de señales digitales y análogas para la puesta en marcha en modo más básico. Esto depende de la parametrización que tenga el VDF y el tipo de aplicación que se desea realizar.

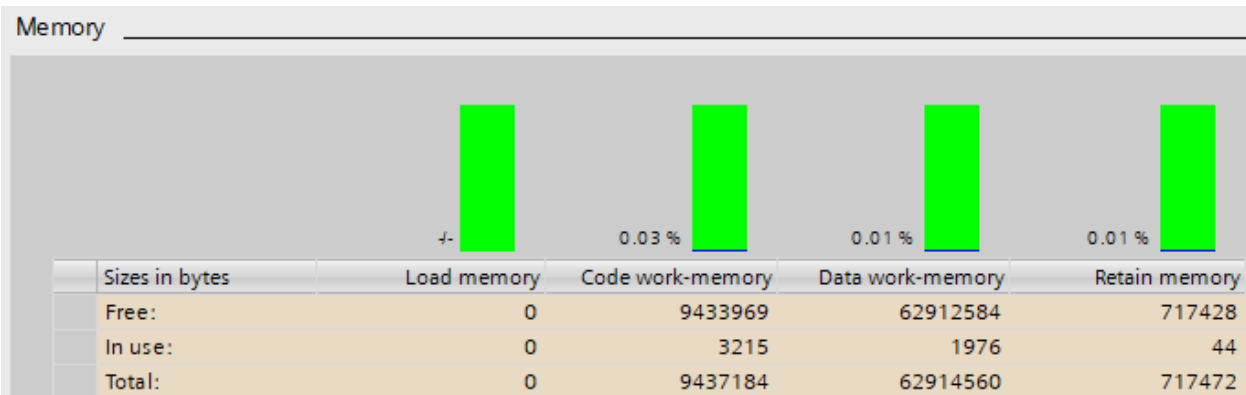
En la parte inferior se muestran las salidas digitales (DO0 a DO7), que activan diferentes indicadores luminosos asociados al estado de operación, incluyendo la presencia de productos en los tanques, la ejecución de secuencias de mezcla y la fase de limpieza. Para el planteamiento de este proyecto de titulación se considera una señal digital para el control de encendido del motor (DI1) y una señal analógica (AI1) de 0 a 10Vdc para el envío de la consigna (set point) de frecuencia que se aplicará al motor.

VI RESULTADOS

Una vez realizada la programación e implementación de lógica secuencial en el controlador lógico programables, así como la interfaz humano-máquina, se procede a evaluar y depurar el control para llegar al comportamiento deseado. Considerando aquello, se verifica que la memoria de la CPU S7-1500 utilizada con la codificación actual corresponde al 0.03% en el área de trabajo, el 0.01% del área de datos y el 0.01% de retención o permanente. En la figura 38 se puede observar los resultados capturados del CPU mediante la conexión en línea.

Figura 38

Memoria utilizada por el programa propuesto en la CPU S7-1500.

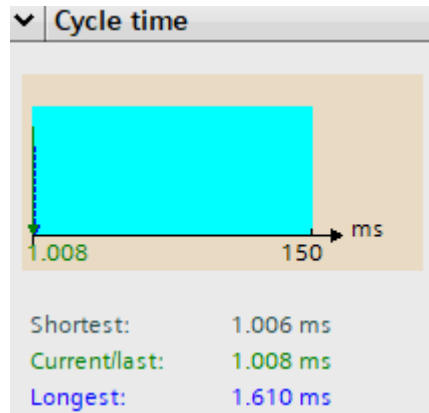


Nota: Detalle de las diferentes áreas de memoria en el PLC.

Adicional al consumo de memoria en la CPU es importante comprobar que los bloques de programación, datos y controladores no generen un retardo excesivo en los tiempos de ciclo para ejecución del programa. Como se muestra en la figura 39, en este caso se tienen tiempos de ciclo de aproximadamente 1 milisegundo lo cual permite la ejecución de controladores según lo planeado y manteniendo el determinismo requerido.

Figura 39

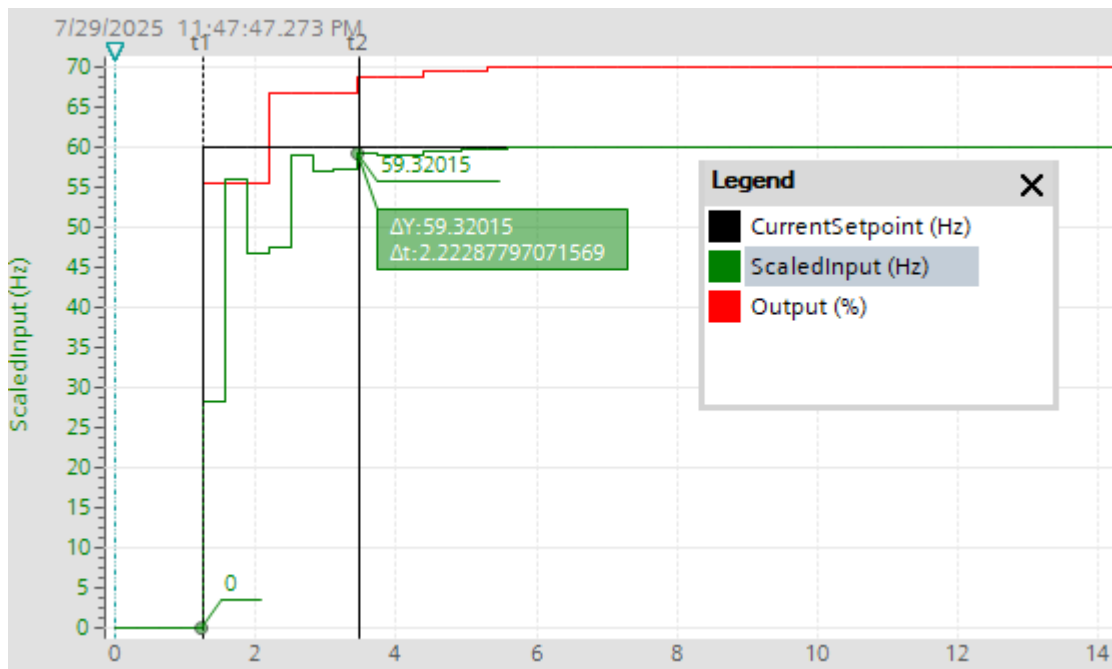
Tiempo de ciclo en la CPU.



Nota: Detalle las mediciones de tiempo en los ciclos de ejecución mínimo, máximo y actual.

Figura 40

Respuesta del motor mezclador mediante simulación de encendido.



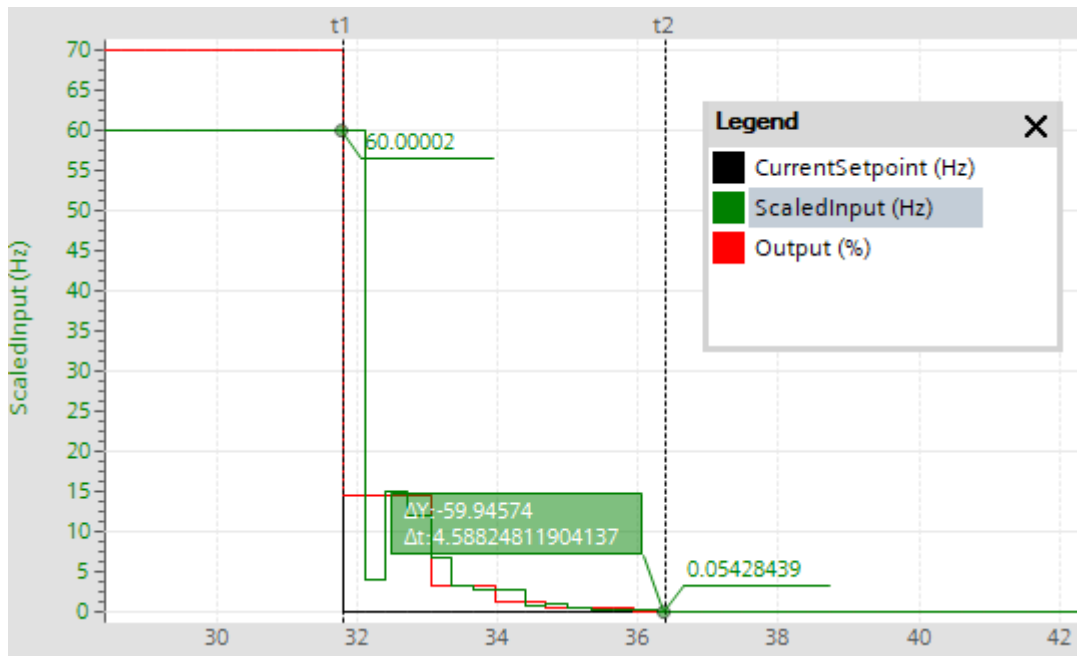
Nota: Gráfica de respuesta temporal con el controlador ajustado en encendido.

En las figuras 40 y 41 se puede apreciar la respuesta en frecuencia aplicada al motor mezclador mediante el variador de frecuencia (VDF) a través de control escalar voltaje-frecuencia (V/F) durante el encendido y el apagado respectivamente. En las gráficas se encuentran la señal de referencia de frecuencia en color negro (Set Point), la señal de realimentación de frecuencia obtenida desde la salida analógica del VDF y el porcentaje de potencia aplicada al VDF mediante la salida analógica del PLC.

Durante el encendido del motor se puede apreciar un tiempo de respuesta de aproximadamente 2.22 segundos con un porcentaje de sobrepaso de 0%. En el caso del apagado del motor se observa un tiempo de parada de aproximadamente de 4.588 segundos considerando un valor inferior al tiempo esperado en el marco hipotético inicial.

Figura 41

Respuesta en frecuencia del motor mezclador mediante simulación de apagado.



Nota: Gráfica de respuesta temporal con el controlador ajustado en apagado.

VII CRONOGRAMA

La planificación de trabajo se observa en la Tabla 2 organizado por semanas, sumando 10 semanas de trabajo en total, el desarrollo del Proyecto de Titulación se realizó en los meses de mayo a julio correspondientes al periodo académico vigente.

Tabla 2

Cronograma de actividades para el desarrollo del Proyecto de Titulación

ACTIVIDADES	Mayo		Junio				Julio				
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Planteamiento del tema, edición y ajustes del anteproyecto del proyecto de titulación											
Revisiones con el tutor y aprobación del tema de titulación.											
Desarrollo y programación de PLC / HMI para simulación.											
Pruebas de funcionamiento y depuración de programa.											
Presentación y revisión de primer avance del documento al tutor.											
Presentación y revisión de segundo avance del documento al tutor.											
Culminación de documentación de titulación											

Nota. Cronograma de actividades propuesto a cumplir en el tiempo indicado.

VIII PRESUPUESTO

El proyecto fue desarrollado en base a simulación, en el presupuesto se ha considerado horas de desarrollo para ingeniería invertidas en investigación, programación, pruebas y ajustes necesarios, así como herramientas de trabajo requerido para el proyecto, costos que se visualizan en la Tabla 3, sumando un estimado de \$ 167,20.

Tabla 3

Presupuesto estimado para el desarrollo del Proyecto de Titulación

Cantidad.	Detalle	Valor unitario	Valor total
40	Horas de trabajo	\$2,93	\$117,20
1	Router Tp-Link	\$30,00	\$30,00
1	Material de trabajo	\$20,00	\$20,00
Valor Total			\$167,20

Nota. Valor aproximado del presupuesto.

IX CONCLUSIONES

El desarrollo del diseño, pruebas de laboratorio y simulación del procedimiento de mezclado de colorantes ha permitido constatar que el controlador PLC puede modificar la dinámica del motor mezclador para tener un tiempo de respuesta a tiempo deseado menor a 1 minuto y un porcentaje de sobrepaso despreciable para una correcta estabilidad y precisión en los procesos industriales reales.

En esta aplicación se ha combinado la lógica de programación mediante variables tipo booleanas típica de un controlador digital en conjunto con un control cuyas variables utilizadas son de tipos real (analógica con decimales) llevando esta aplicación a una perspectiva realista.

La utilización de redes de comunicación basadas en Ethernet Industrial permite obtener tiempos de ciclo cortos con un gran número de dispositivos incluyendo integración multimarca. En este caso particular se puede notar que no se genera retrasos en tiempos de repuesta y eso permite mantener el determinismo de los bloques por interrupción cíclica para control de proceso como es el caso del PID y librerías LSIM.

X RECOMENDACIONES

En este trabajo de titulación hace uso de una pantalla táctil multicolor KTP700 la cual tiene ciertas limitaciones en cuando a herramientas de configuración para colores priorizando otras cualidades como la comunicación PROFINET y confiabilidad, pero al requerir mayor número de recetas y una mayor animación de colores se recomienda el cambio de pantalla de operador por la versión Comfort o Unified.

En este proyecto se ha utilizado la plataforma TIA PORTAL v18 para la programación del controlador lógico y el panel de operador con la finalidad de realizar mezclas de colores ya predeterminadas por el usuario, sin embargo, se sugiere el uso de valores personalizados para los colores primarios modificables desde la interfaz humano-máquina.

Es recomendable poder adicionar subprocesos del área textil para fines de investigación, mejoramiento de recursos didácticos para aprendizaje mediante de prácticas de laboratorio y análisis de diferentes estrategias de programación lógica aplicada a procesos de mayor número de variables.

XI REFERENCIAS

- AITE. (2025). *Historia y Actualidad*. Obtenido de AITE: <https://www.aite.com.ec/industria.html>
- Bermeo, L., Gonzalo, J., & Mantilla, W. (2021). Comparación del desempeño de un controlador PID sobre el proceso de nivel usando un controlador lógico programable y un sistema embebido. *Revista chilena de ingeniería*, 622-632.
- Carrera, D. E., Tibanquiza, S. E., Taboada, P. H., & Ocaña, L. S. (Diciembre de 2024). Impacto de la Industria 4.0 en los sistemas mecatrónicos: una revisión de normativas internacionales. *Ciencia Digital*, págs. 75-91.
- Eleno, F. (2021). *Guía del Router Inalámbrico*.
- Grupo ORS. (24 de Febrero de 2025). *PLC: La Revolución en la Automatización Industrial*. Obtenido de Grupo ORS: <https://grupoors.com.mx/2025/02/24/plc-la-revolucion-en-la-automatizacion-industrial/>
- Imepi. (2025). *Cómo los PLC Revolucionan la Automatización Industrial*. Obtenido de Automatización Industrial: <https://imepi.com.mx/3066-2/>
- Mochuan Drives. (16 de Octubre de 2023). *Controladores PLC en la fabricación textil: precisión y calidad*. Obtenido de <https://www.mochuan-drives.com/a-news-plc-controllers-in-textile-manufacturing-precision-and-quality#:~:text=Through%20efficient%20automation%2C%20PLCs%20reduce,data%20exchange%20and%20synchronized%20operations.>
- QodeNext. (17 de Julio de 2023). *Automatización en la industria textil: impactos, ventajas y desventajas*. Obtenido de <https://qodenext.com/blog/automation-in-textile-industry/>
- Revista Gestión. (06 de Noviembre de 2024). *Hilos de resiliencia: el sector textil de Ecuador ante nuevos desafíos*. Obtenido de Primicias.ec:

<https://revistagestion.primicias.ec/analisis-economia-y-finanzas/hilos-de-resiliencia-el-sector-textil-de-ecuador-ante-nuevos-desafios/>

SIEMENS. (2009). *STEP 7 Basic V10.5. Primeros pasos*. Nuremberg: SIEMENS AG.

SIEMENS. (2012). *Convertidor SINAMICS V20. Primeros pasos*. Nurnberg: SIEMENS AG.

SIEMENS. (2014). *S7-1200, S7-1500, Regulación PID*. Nurnberg: SIEMENS AG.

SIEMENS. (2014). *S7-1500. Servidor Web*. Nurnberg: SIEMENS AG.

SIEMENS. (2017). *Library for Controlled System Simulation with STEP 7 (TIA Portal)*.

SIEMENS AG.

Siemens AG. (Septiembre de 2018). *WinCC Basic con KTP700 Basic y SIMATIC S7-1200*. (F.

Digital Factory, Ed.) Obtenido de Módulo TIA Portal 041-101.

Sugita, J., & Takahashi, T. (2017). Computational RYB Color Model and its Applications. *IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing*, 110-122.

Textile Today. (19 de Febrero de 2020). *Skill sets required in textile industries for industry 4.0*.

Obtenido de <https://www.textiletoday.com.bd/skill-sets-required-textile-industries-industry-4-0>

XII ANEXOS

Anexo 1: Tabla de variables utilizadas por el PLC.

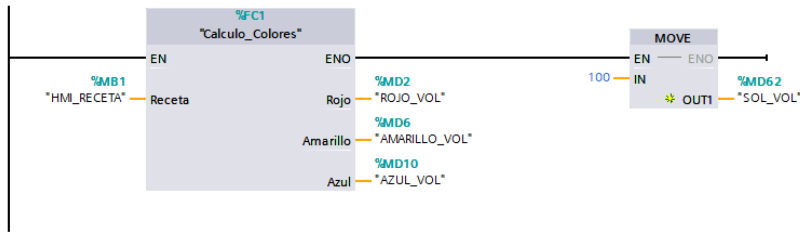
	Name	Tag table	Data type	Address ▲
1	PLC_MARCHA	Default tag table	Bool	%I0.0
2	PLC_PARO	Default tag table	Bool	%I0.1
3	PLC_RESET	Default tag table	Bool	%I0.2
4	PLC_LIMPIEZA	Default tag table	Bool	%I0.3
5	VDF_VEL_ACT	VDF_Real	Int	%IW4
6	BR	Default tag table	Bool	%Q0.0
7	BAZ	Default tag table	Bool	%Q0.1
8	BAM	Default tag table	Bool	%Q0.2
9	BS	Default tag table	Bool	%Q0.3
10	BD	Default tag table	Bool	%Q0.4
11	M	Default tag table	Bool	%Q0.5
12	PLC_MIXER_ON	Default tag table	Bool	%Q0.6
13	PLC_LIMPIEZA_ON	Default tag table	Bool	%Q0.7
14	VDF_CTRL_SIGNAL	VDF_Real	Int	%QW4
15	HMI_MARCHA	Default tag table	Bool	%M0.0
16	HMI_PARO	Default tag table	Bool	%M0.1
17	HMI_RESET	Default tag table	Bool	%M0.2
18	HMI_LIMPIEZA	Default tag table	Bool	%M0.3
19	TANQUE_FULL1	Default tag table	Bool	%M0.4
20	FIN_SQ_MEZCLA	Default tag table	Bool	%M0.5
21	TANQUE_FULL2	Default tag table	Bool	%M0.6
22	Clock	Default tag table	Bool	%M0.7
23	HMI_RECETA	Default tag table	USInt	%MB1
24	ROJO_VOL	Default tag table	DWord	%MD2
25	AMARILLO_VOL	Default tag table	DWord	%MD6
26	AZUL_VOL	Default tag table	DWord	%MD10
27	N_TANQUE_ROJO	Default tag table	DWord	%MD14
28	N_TANQUE_AMARILLO	Default tag table	DWord	%MD18
29	N_TANQUE_AZUL	Default tag table	DWord	%MD22
30	N_TANQUE_TOTAL	Default tag table	DWord	%MD26
31	TQ_ROJO	Default tag table	DWord	%MD30
32	TQ_AMARILLO	Default tag table	DWord	%MD34
33	TQ_AZUL	Default tag table	DWord	%MD38
34	TQ_SOL	Default tag table	DWord	%MD42
35	EST_MEZCLADOR	Default tag table	USInt	%MB46
36	Apagado	Default tag table	Bool	%M47.0
37	calc	Default tag table	Bool	%M47.1
38	FREC_DES_REAL	Default tag table	Real	%MD48
39	SALIDA_PID_REAL	Default tag table	Int	%MW52
40	FREC_ACT_REAL	Default tag table	Real	%MD54

	Name	Tag table	Data type	Address ▲
41	VEL_ACT_REAL	Default tag table	Real	%MD58
42	SOL_VOL	Default tag table	DWord	%MD62
43	N_TANQUE_SOL	Default tag table	DWord	%MD66
44	input_test	Default tag table	Real	%MD70
45	sp_test	Default tag table	Real	%MD74
46	RET_VAL_DT	Default tag table	Int	%MW78
47	OUT_DT	Default tag table	LDT	%M80.0
48	Clock_Byte	Default tag table	Byte	%MB100
49	Clock_10Hz	Default tag table	Bool	%M100.0
50	Clock_5Hz	Default tag table	Bool	%M100.1
51	Clock_2.5Hz	Default tag table	Bool	%M100.2
52	Clock_2Hz	Default tag table	Bool	%M100.3
53	Clock_1.25Hz	Default tag table	Bool	%M100.4
54	Clock_1Hz	Default tag table	Bool	%M100.5
55	Clock_0.625Hz	Default tag table	Bool	%M100.6
56	Clock_0.5Hz	Default tag table	Bool	%M100.7
57	System_Byte	Default tag table	Byte	%MB101
58	FirstScan	Default tag table	Bool	%M101.0
59	DiagStatusUpdate	Default tag table	Bool	%M101.1
60	AlwaysTRUE	Default tag table	Bool	%M101.2
61	AlwaysFALSE	Default tag table	Bool	%M101.3
62	AUX1	Default tag table	Bool	%M102.0
63	AUX2	Default tag table	Bool	%M102.1
64	AUX3	Default tag table	Bool	%M102.2
65	AUX4	Default tag table	Bool	%M102.3
66	AUX5	Default tag table	Bool	%M102.4
67	AUX6	Default tag table	Bool	%M102.5
68	AUX7	Default tag table	Bool	%M102.6
69	AUX8	Default tag table	Bool	%M102.7
70	AUX9	Default tag table	Bool	%M103.0

Anexo 2: Programación del bloque principal OB1 – Main.

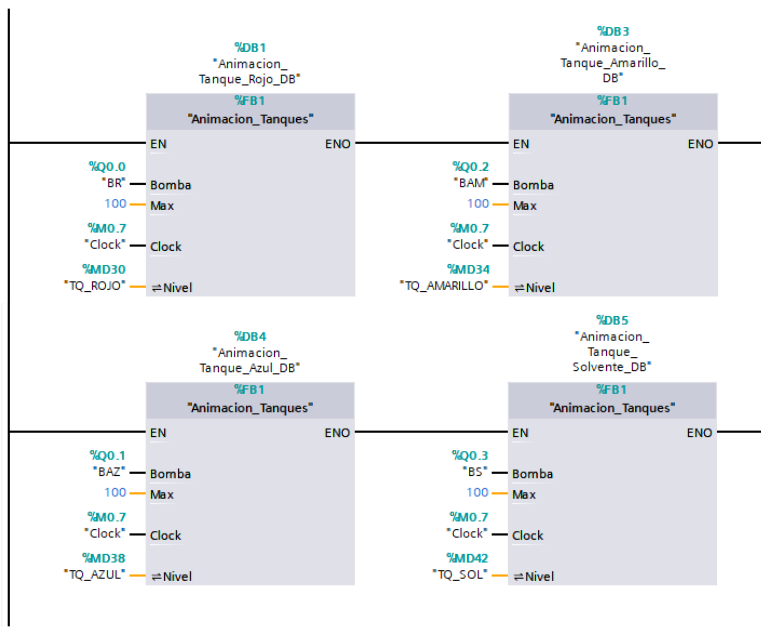
Network 1: Cálculo de porcentajes por colores primarios

Comment



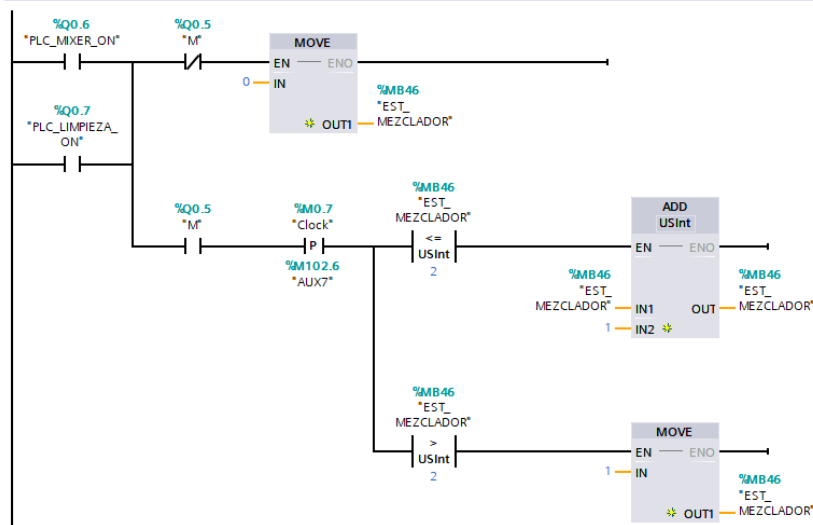
Network 2: Animación de tanques de colores

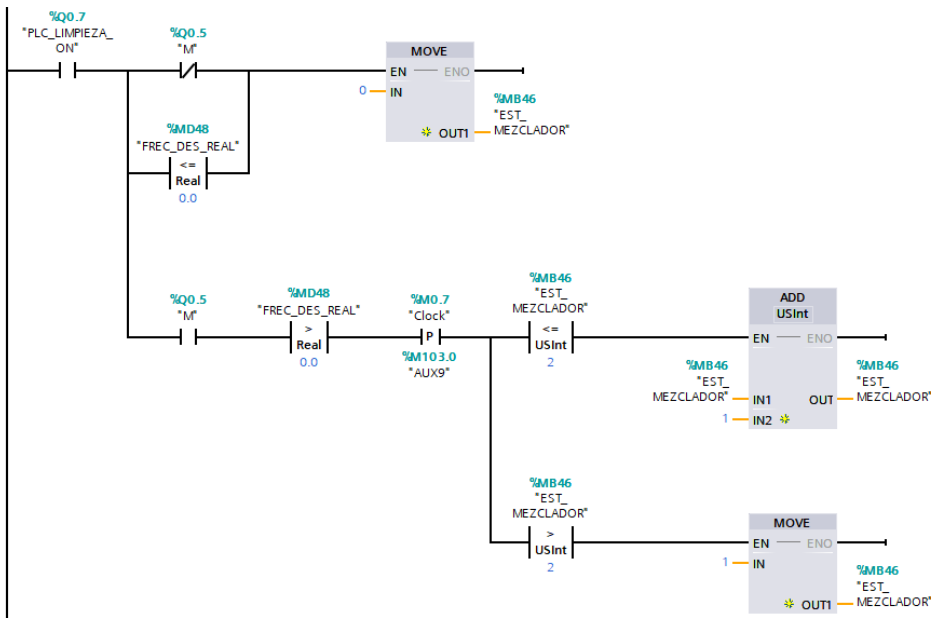
Comment



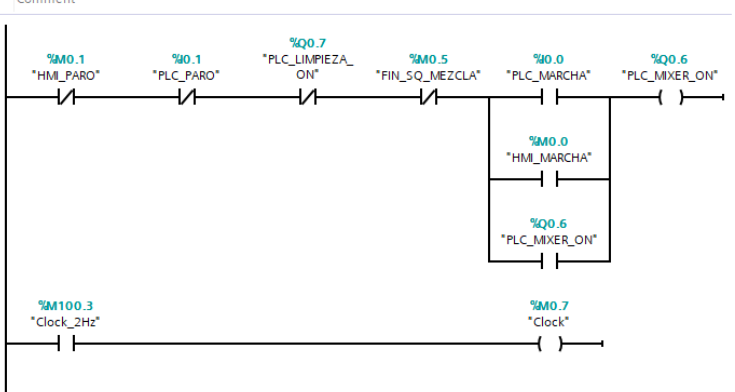
Network 3: Animación de mezclador

Comment

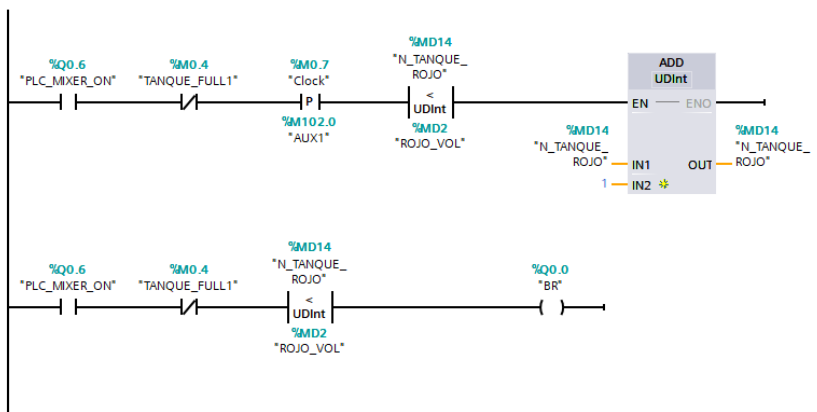




Network 4: Control de encendido de secuencia de mezclado

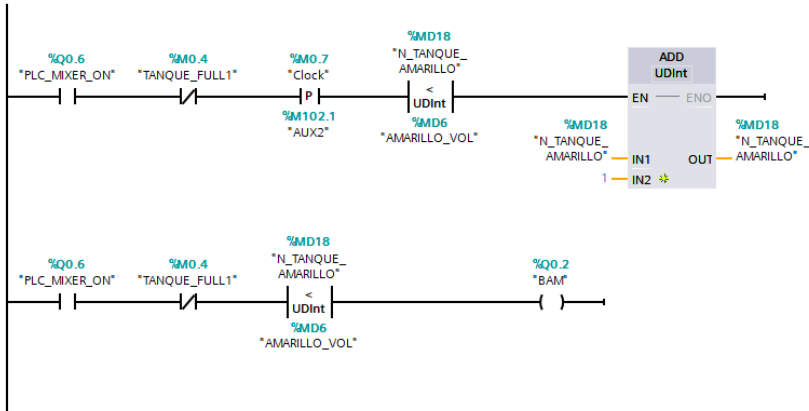


Network 5: Control de bomba para color rojo



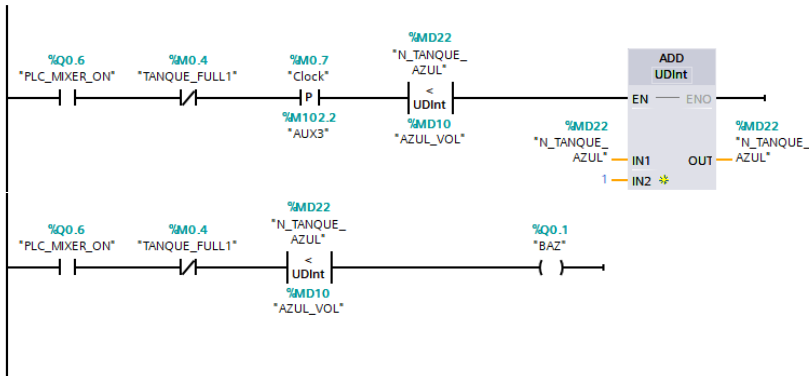
Network 6: Control de bomba para color amarillo

Comment



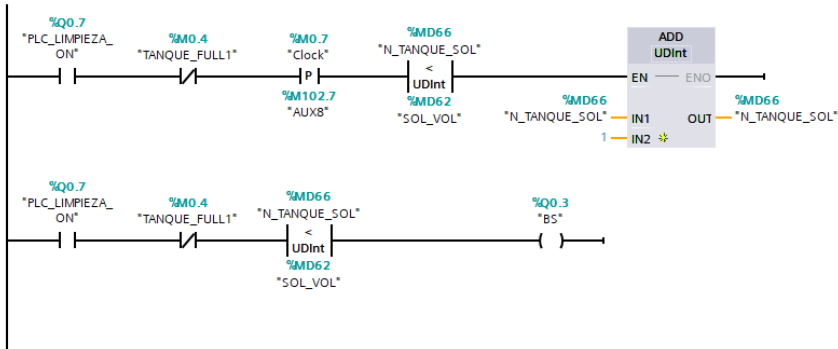
Network 7: Control de bomba para color azul

Comment



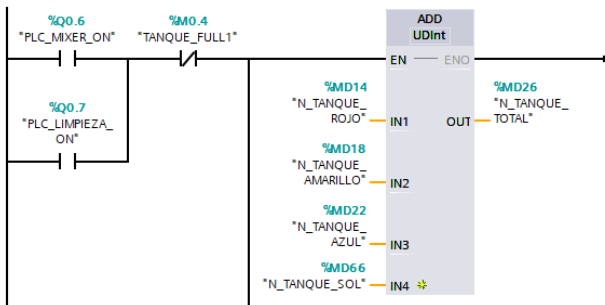
Network 8: Control de bomba para limpieza (solvente)

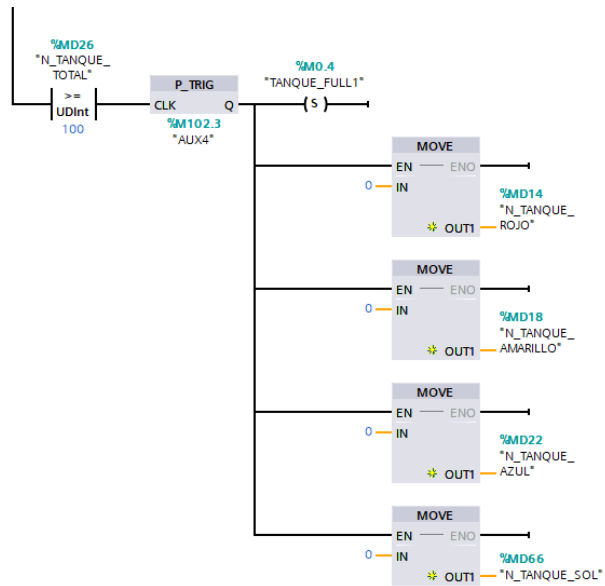
Comment



Network 9: Nivel de tanque mezclador

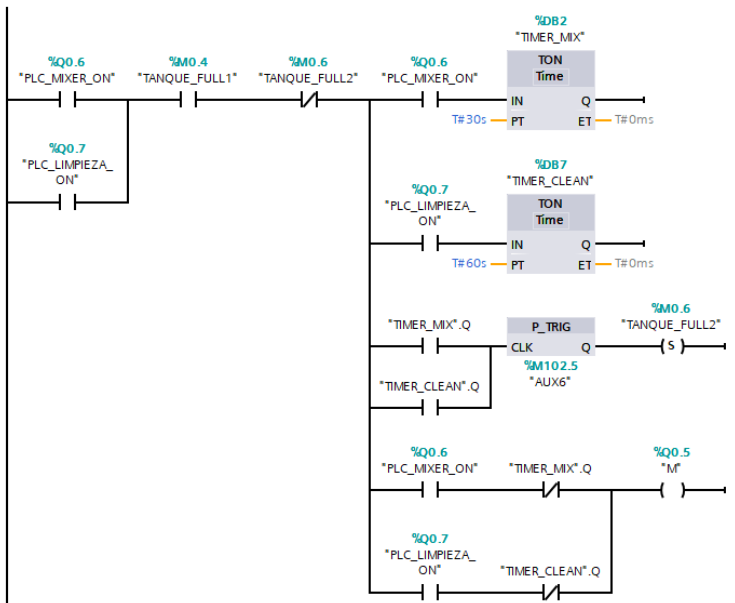
Comment





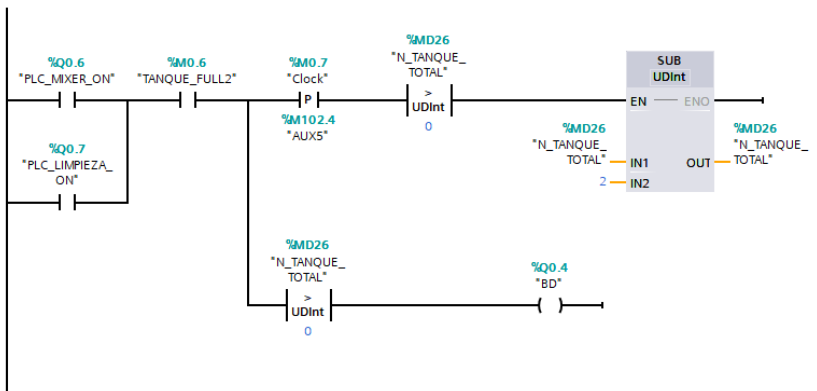
Network 10: Control de motor mezclador

Comment



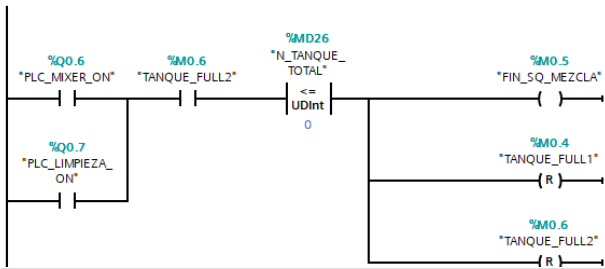
Network 11: Control de bomba para descarga

Comment



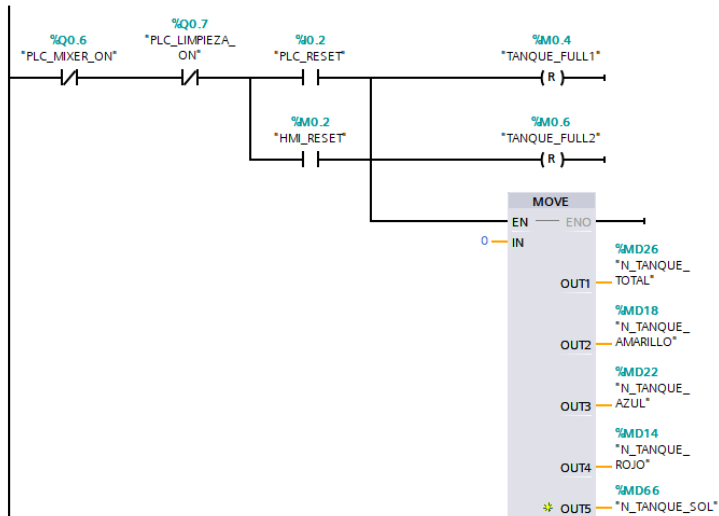
Network 12: Fin de secuencia de mezclado

Comment



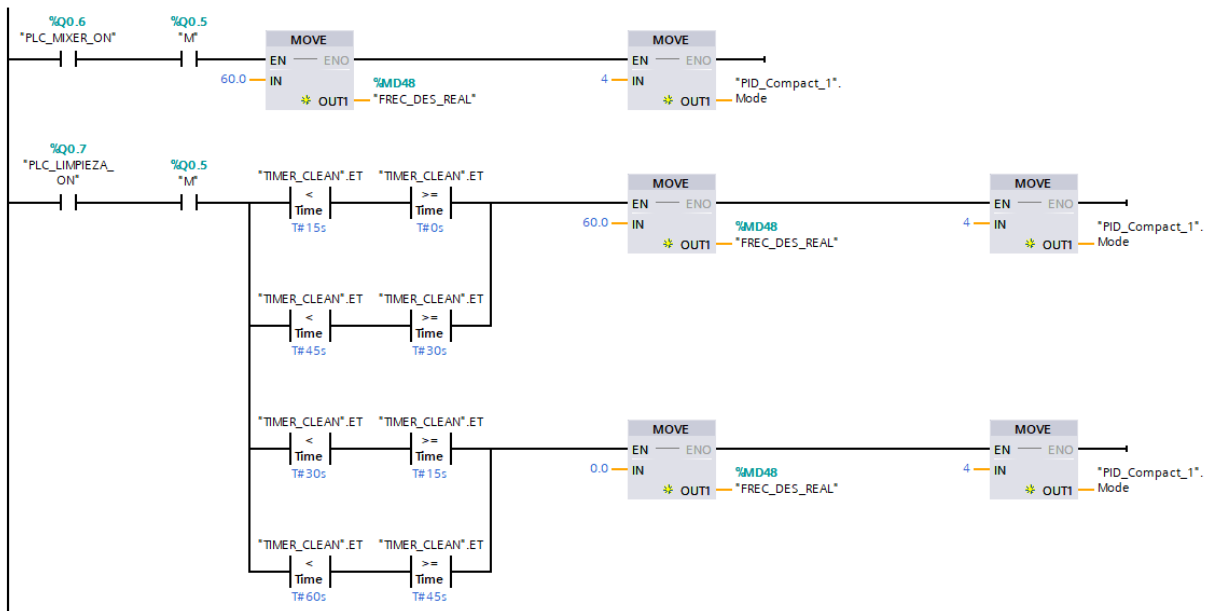
Network 13: Reinicio de simulación

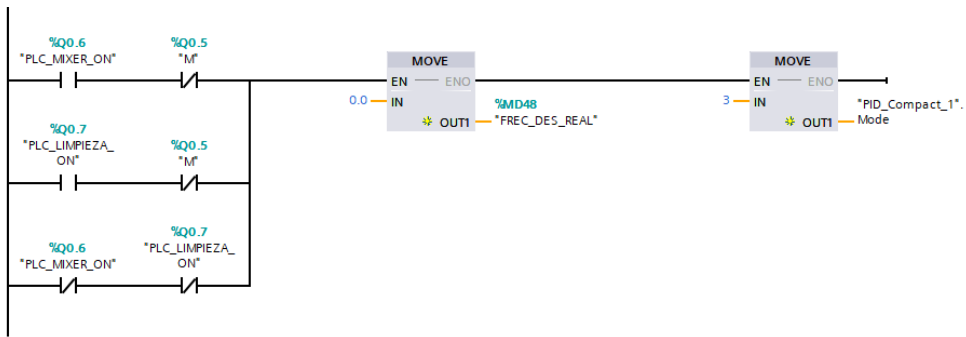
Comment



Network 14: Control de salida analógica para variador de velocidad

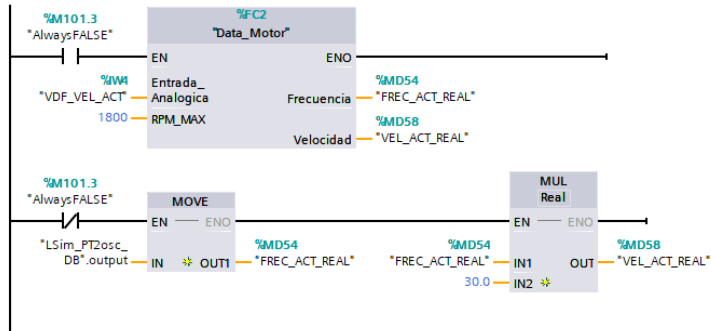
Comment





Network 15: Escalamiento de variable analógica de velocidad del motor

Comment



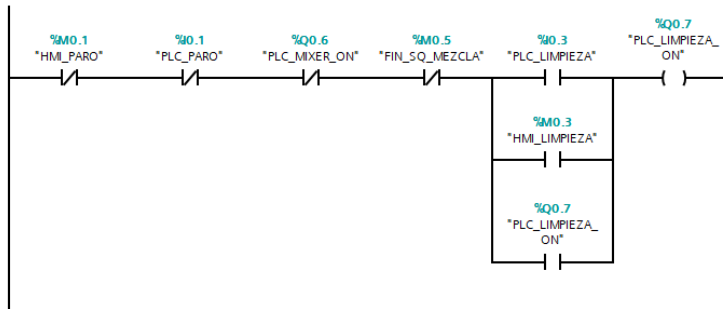
Network 16: Señal de control de VDF

Comment



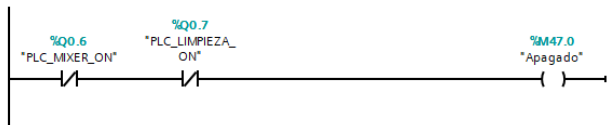
Network 17: Control de encendido de secuencia de limpieza

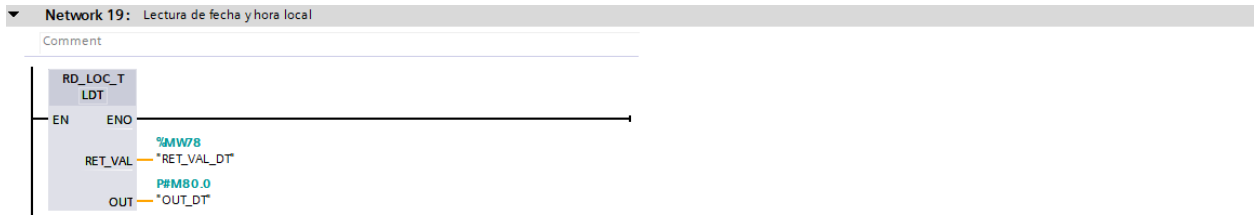
Comment



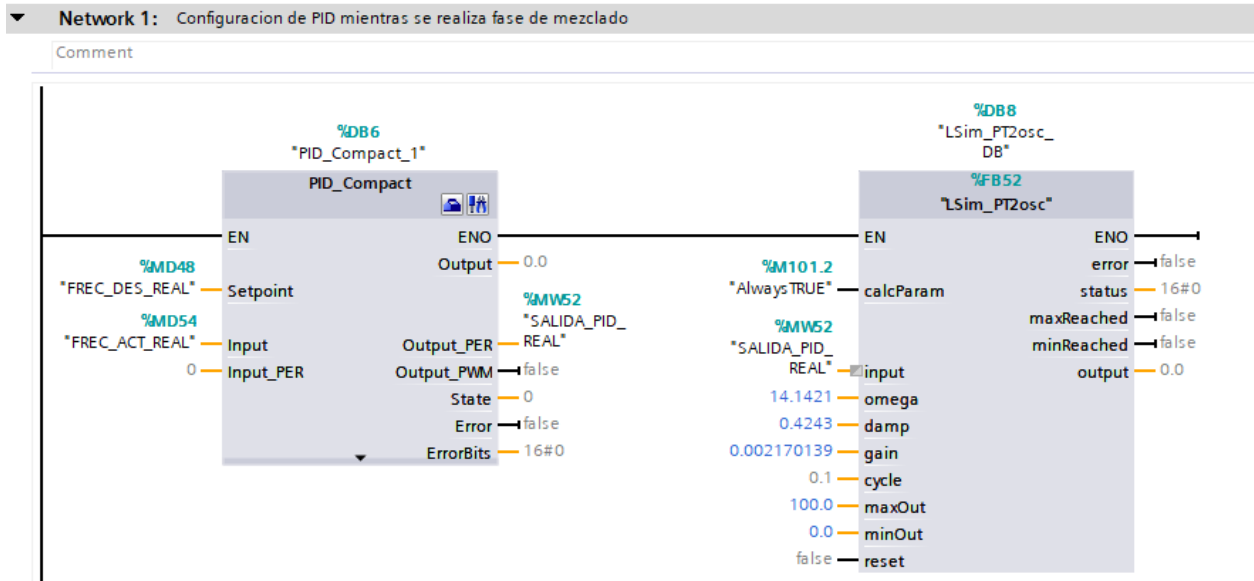
Network 18: Animaciones de apagado

Comment

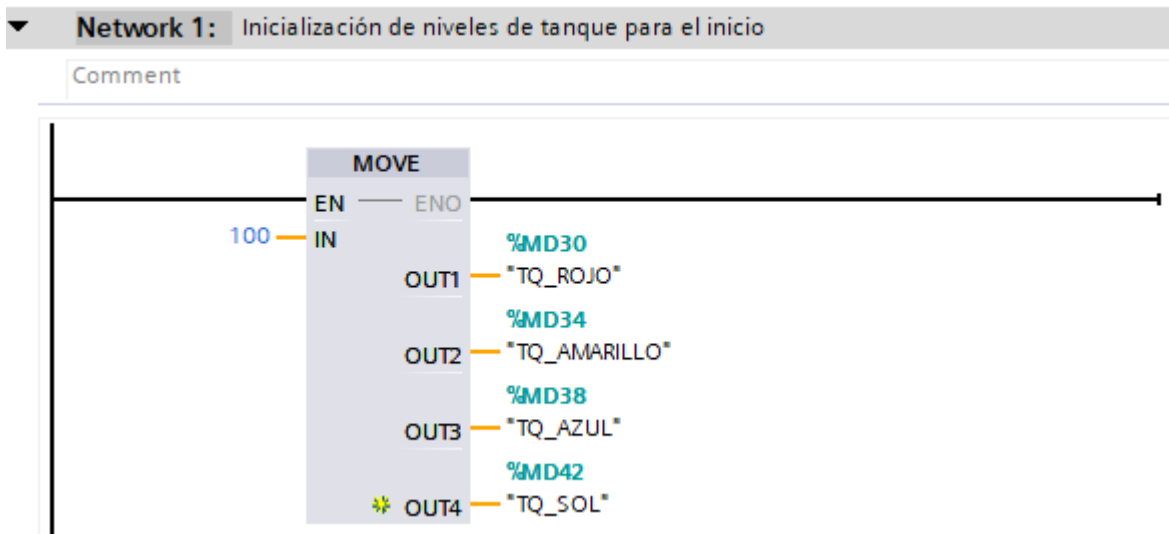




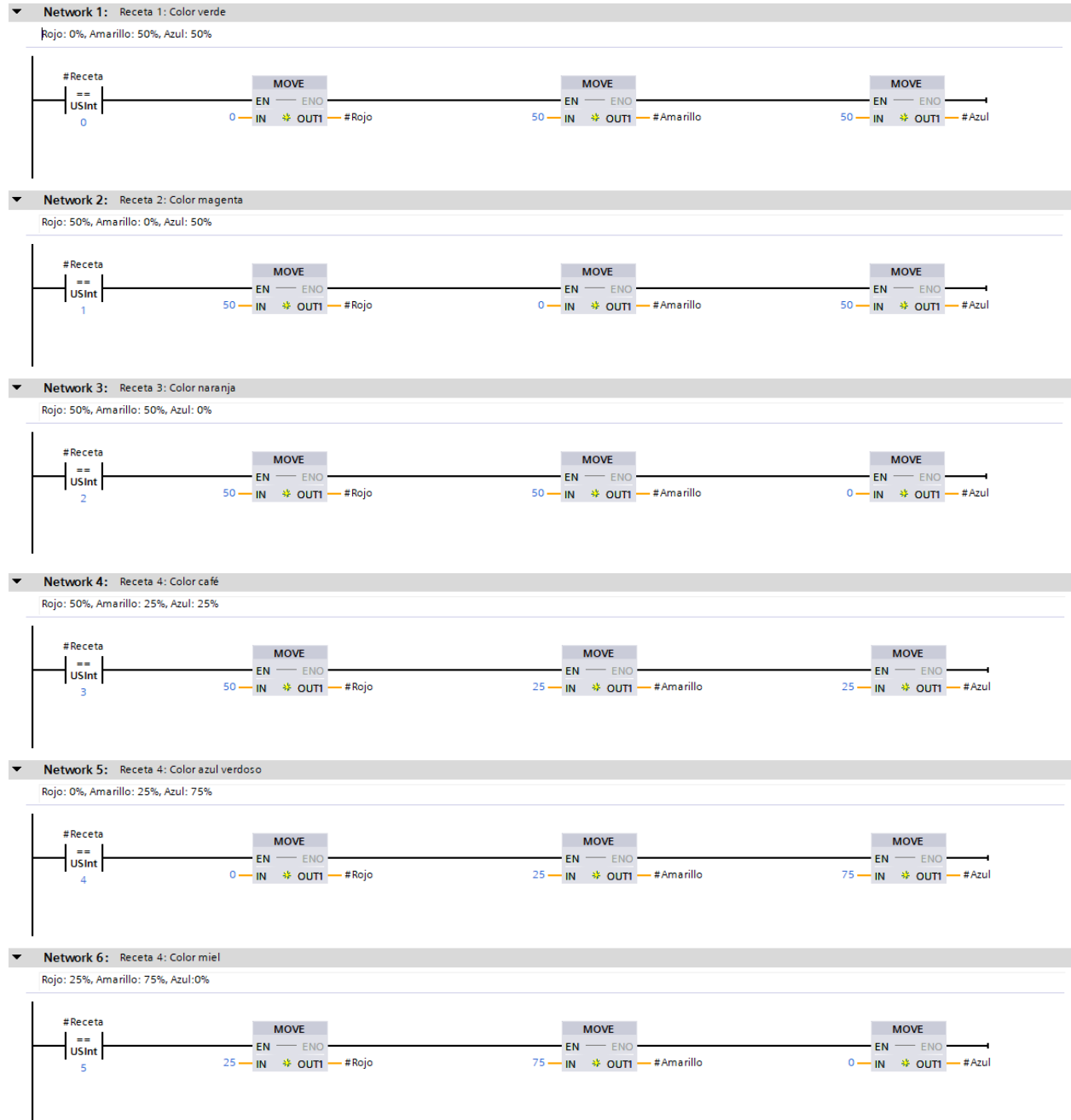
Anexo 3: Programación del bloque de interrupción cíclica OB30 – Cyclic Interrupt.



Anexo 4: Programación del bloque de arranque OB100 – Startup.



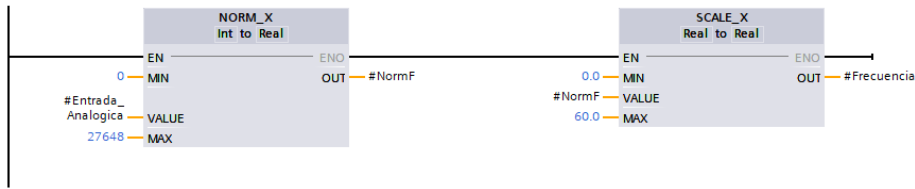
Anexo 5: Función FC1 – Calculo_Colores



Anexo 5: Función FC2 – Data_Motor

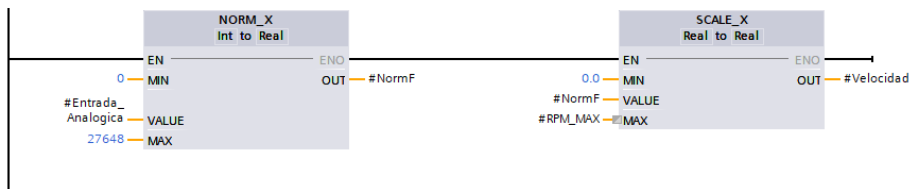
Network 1: Acondicionamiento de señal análoga para conversión a Frecuencia Hz

Comment



Network 2: Acondicionamiento de señal análoga para conversión a Velocidad RPM

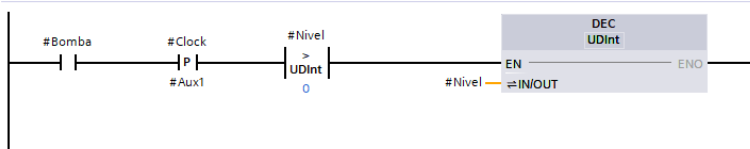
Comment



Anexo 6: Función FB1 – Animacion_Tanques

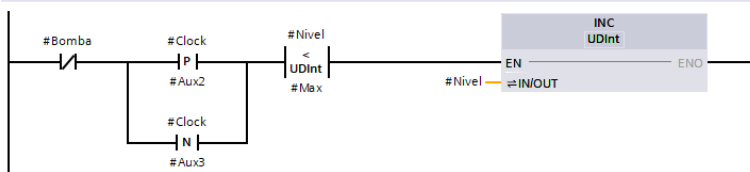
Network 1: Animación para decremento de nivel en tanques

Comment



Network 2: Animación para incremento de nivel en tanques

Comment



Anexo 7: Codificación HTML para página de usuario en el Servidor Web

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="es">
<head>
  <meta charset="utf-8" />
  <meta http-equiv="refresh" content="1">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1" />
  <title>HMI Textil - Monitor S7-1500</title>
  <style>
    :root{
      --bg1:#0b6fae; --bg2:#0a5a9c; --bg3:#0a3f7e;
      --glass: rgba(255,255,255,0.14);
      --glass2: rgba(0,0,0,0.2);
      --txt: #fff;
      --ok: #19c37d; --off:#7a7a7a;
    }
    *{box-sizing:border-box}
    body{
      margin:0; font-family:ui-sans-serif,system-ui,Segoe UI,Roboto,Arial;
      color:var(--txt);
      background: linear-gradient(135deg,var(--bg1),var(--bg2) 50%,var(--bg3));
      min-height:100vh;
    }
    .page{padding:18px; max-width:1100px; margin:0 auto}
    header{display:flex; gap:14px; align-items:center; margin-bottom:14px}
    header .logo{width:54px;height:54px;border-radius:50%; background:#ffffff22; display:flex; align-items:center; justify-content:center; font-size:24px; box-shadow:0 6px 20px #0003}
    h1{font-size:20px; margin:0 0 4px 0}
    .subtitle{font-size:12px; opacity:.8}
    .status{margin-left:auto; text-align:right}
    .status .s{font-size:12px; opacity:.8}
    .status .v{font-weight:700}
    .grid{display:grid; gap:16px}
    @media(min-width:960px){ .grid{grid-template-columns:1fr 1fr} }
    .card{
      background:linear-gradient(180deg, #ffffff22, #00000022);
      border-radius:18px; padding:16px; box-shadow:0 10px 30px #0004; backdrop-filter: blur(6px);
    }
    .card h2{margin:0 0 10px 0; font-size:18px}
    .tanks{display:grid; grid-template-columns:repeat(4,1fr); gap:12px}
    .tank{display:flex; flex-direction:column; align-items:center; gap:8px}
    .tube{
      width:78px; height:230px; border-radius:14px; padding:8px;
      background: #00000022; box-shadow: inset 0 6px 14px #0008;
      display:flex; align-items:flex-end; overflow:hidden;
    }
    .fill{width:100%; border-radius:10px; transition:height .35s ease}
    .red{background:linear-gradient(180deg,#ff5252,#c81e1e)}
    .yellow{background:linear-gradient(180deg,#ffd84a,#d4a800)}
    .blue{background:linear-gradient(180deg,#4aa1ff,#1550c2)}
    .cyan{background:linear-gradient(180deg,#75f0ff,#1aaebf)}
    .gauge{display:grid; grid-template-columns:1fr 1fr; gap:12px; align-items:start}
    .valuebox{background:#00000022; border-radius:14px; padding:12px; box-shadow: inset 0 4px 10px #0006}
    .valuebox .l{font-size:12px; opacity:.8}
    .valuebox .n{font-size:28px; font-weight:800}
    .valuebox .suf{font-size:12px; opacity:.7}
    .recipes{max-height:260px; overflow:auto; background:#00000022; border-radius:14px; padding:8px}
    .recipes h3{margin:0 0 8px 0; font-size:14px}
    .recipes ul{list-style:none; padding:0; margin:0}
    .recipes li{margin:6px 0; padding:8px 10px; border-radius:10px; background:#ffffff19}
    .recipes li.active{background:#ffffff35}
    .mixer{display:grid; grid-template-columns:1fr 1fr; gap:12px}
    .mixer .lamp{height:90px; border-radius:999px; display:flex; align-items:center; justify-content:center; font-weight:700}
    .io-grid{display:grid; grid-template-columns:repeat(6,1fr); gap:8px; margin-top:8px}
    .io{background:#00000022; border-radius:10px; padding:8px; text-align:center}
```

```

/* Estilo de focos simulados como barras cuadradas */
.ledbar {
width: 20px;
height: 20px;
border-radius: 4px;
background: #444;
overflow: hidden;
margin: 0 auto 4px auto;
box-shadow: inset 0 0 6px #000;
}
.ledbar .fill {
height: 100%;
background: #19c37d;
transition: width .2s ease;
}

footer{margin-top:14px; text-align:center; font-size:12px; opacity:.7}
</style>
</head>
<body>
<div class="page">
<header>
<div class="logo"><img alt="logo" data-bbox="308 333 323 343"/></div>
<div>
<h1>Diseño y simulación de proceso de mezclado de colorantes (PLC + HMI)</h1>
<div class="subtitle">CPU 1516-3 PN/DP - Firmware 2.6 • User-Defined Page</div>
</div>
<div class="status">
<div class="s">Estado</div>
<div id="conn" class="v">Cargando...</div>
</div>
</header>

<div class="grid">
<!-- Columna izquierda: Tanques + Mixer -->
<section class="card">
<h2>Tanques</h2>
<div class="tanks">
<div class="tank">
<div>Rojo</div>
<div class="tube"><div id="lv1_rojo" class="fill red" style="height::="TQ_ROJO":%"></div></div>
<div id="txt_rojo">:"TQ_ROJO": %</div>
</div>
<div class="tank">
<div>Amarillo</div>
<div class="tube"><div id="lv1_amarillo" class="fill yellow" style="height::="TQ_AMARILLO":%"></div></div>
<div id="txt_amarillo">:"TQ_AMARILLO": %</div>
</div>
<div class="tank">
<div>Azul</div>
<div class="tube"><div id="lv1_azul" class="fill blue" style="height::="TQ_AZUL":%"></div></div>
<div id="txt_azul">:"TQ_AZUL": %</div>
</div>
<div class="tank">
<div>Solvente</div>
<div class="tube"><div id="lv1_solvente" class="fill cyan" style="height::="TQ_SOL":%"></div></div>
<div id="txt_solvente">:"TQ_SOL": %</div>
</div>
</div>

<div class="mixer" style="margin-top:16px">
<div class="valuebox">
<div class="l">Nivel Mezclador</div>
<div id="lv1_mezclador_txt" class="n">:"N_TANQUE_TOTAL":</div>
<div class="suf">%</div>
</div>
</div>

<!-- FOCOS como led cuadrado (barra con width controlada por BOOL) -->
<div class="io-grid" style="grid-column:1 / -1">
<div class="io"><div class="ledbar"><div class="fill" style="width::="Texto".HMI_BR:%"></div></div><div>BR</div></div>
<div class="io"><div class="ledbar"><div class="fill" style="width::="Texto".HMI_BAZ:%"></div></div><div>BAZ</div></div>
<div class="io"><div class="ledbar"><div class="fill" style="width::="Texto".HMI_BAM:%"></div></div><div>BAM</div></div>
<div class="io"><div class="ledbar"><div class="fill" style="width::="Texto".HMI_BS:%"></div></div><div>BS</div></div>
<div class="io"><div class="ledbar"><div class="fill" style="width::="Texto".HMI_BD:%"></div></div><div>BD</div></div>
<div class="io"><div class="ledbar"><div class="fill" style="width::="Texto".HMI_M:%"></div></div><div>M</div></div>
</div>

```

```

</div>
</section>

<!-- Columna derecha: Recetas + Frecuencias -->
<section class="card">
  <h3>Receta & Frecuencia</h3>
  <div class="gauge">
    <div class="recipes" style="max-height:none; overflow-y:visible; background:#00000022; border-radius:14px; padding:8px;">
      <h2>Recetas</h2>
      <div style="margin:6px 0; font-weight:bold; color:#7ffd4">
        Actual: :="Texto".HMI_RECETA_NOMBRE:
      </div>
      <ul style="margin:0; padding:0; list-style:none;">
        <li>1. Verde</li>
        <li>2. Magenta</li>
        <li>3. Naranja</li>
        <li>4. Café</li>
        <li>5. Azul Verdoso</li>
        <li>6. Miel</li>
        <li>7. Limpieza</li>
      </ul>
    </div>
    <div>
      <div class="valuebox" style="margin-bottom:12px">
        <div class="l">Frec. Deseada</div>
        <div id="f_des" class="n":="FREC_DES_REAL":</div>
        <div class="suf">Hz</div>
      </div>
      <div class="valuebox">
        <div class="l">Frec. Actual</div>
        <div id="f_act" class="n":="FREC_ACT_REAL":</div>
        <div class="suf">Hz</div>
      </div>
    </div>
  </div>
</section>
</div>

<footer>Actualización cada 500 ms • Página HTML autónoma</footer>
</div>

</body>
</html>

```

Anexo 8: Función FB2 – LSim_PT2osc

```
1 //=====
2 //SIEMENS AG
3 //(c)Copyright 2017 All Rights Reserved
4 //-----
5 //Library:      Library for Controlled System Simulation
6 //Tested with:  S7-1500 FW V2.0 / S7-1200 FW V4.2
7 //Engineering:  STEP 7 V14 Upd2 (TIA Portal)
8 //Restrictions: Cyclic interrupt
9 //Requirements: memory card needed for S7-1500
10 //Functionality: Simulation of a vibrating PT2-System
11 //
12 //          gain
13 // F(p) = -----
14 //          SQR(p/omega) + 2*damp*p/omega + 1
15 //
16 // Call the simulation in a cyclic interrupt with
17 // cyclic interrupt time at least = tmLagl/10!
18 //-----
19 //Change log table:
20 //Version Date      Expert in charge      Changes applied
21 //02.00.00 03.02.2016 Siemens Industry Online Support Release (STEP 7 V13 SP1)
22 //02.00.01 02.03.2017 Siemens Industry Online Support Release (STEP 7 V14)
23 //=====
24
25 // check parameter
26 IF #damp >= 1 OR #damp <= 0 OR #omega <= 0 THEN
27   #error := TRUE;
28   #status := W#16#8001;
29   #statRxn1 := 0.0;
30   #statRyn1 := 0.0;
31   #statRxn2 := 0.0;
32   #statRyn2 := 0.0;
33   #statOutput := 0;
34   #output := 0;
35   RETURN;
36 ELSE
37   #error := FALSE;
38   #status := W#16#0000;    // no error
39 END_IF;
40
41 // calculates the z-parameter for the difference equation
42 IF #calcParam = True THEN
43   // Calculate z-parameters for oscillating PT2-System
44   #statRo := EXP(-2*#omega*#damp*#cycle);
45   #statSigma := (COS(#omega * #cycle * SQR(1 - SQR(#damp)))) * EXP(-#damp*#omega*#cycle);
46   #statNue := (SIN(#omega*#cycle*SQR(1-SQR(#damp)))) * (EXP(-#damp*#omega*#cycle)) * (#damp / SQR(1 - SQR(#damp)));
47   #statRal := -2*#statSigma;
48   #statRa2 := #statRo;
49   #statRb1 := #gain*(1 - #statSigma - #statNue);
50   #statRb2 := #gain*(#statRo - #statSigma + #statNue);
51 END_IF;
52
53 // reset Memory
54 IF #reset = True THEN
55   #statRxn1 := 0.0;
56   #statRyn1 := 0.0;
57   #statRxn2 := 0.0;
58   #statRyn2 := 0.0;
59   #statOutput:=0;
60   #error := False;
61   #status := W#16#0000;
62 END_IF;
63
64 // save delayed output signals
65 #statRyn2:=#statRyn1;
66 #statRyn1:= #statOutput;
67
68 // difference equation for PT2-System
69 #statOutput := #statRxn1* #statRb1 + #statRxn2*#statRb2 - #statRyn1*#statRal - #statRyn2*#statRa2;
70
71 // save delayed input signals
72 #statRxn2 := #statRxn1;
73 #statRxn1 := #input;
74
```

```

75 // max limit of acutating variable
76 IF #statOutput > #maxOut THEN
77     #statOutput := #maxOut;
78     #maxReached:= True;
79 ELSE
80     #maxReached := False;
81 END_IF;
82
83 // min limit of acutating variable
84 IF #statOutput < #minOut THEN
85     #statOutput := #minOut;
86     #minReached := True;
87 ELSE
88     #minReached := False;
89 END_IF;
90
91 #output := #statOutput;

```

Anexo 9: Función FC4 – texto_focos

```

1 IF "BR" THEN
2     "Texto".HMI_BR := 100;
3 ELSE
4     "Texto".HMI_BR := 0;
5 END_IF;
6 IF "BAZ" THEN
7     "Texto".HMI_BAZ := 100;
8 ELSE
9     "Texto".HMI_BAZ := 0;
10 END_IF;
11 IF "BAM" THEN
12     "Texto".HMI_BAM := 100;
13 ELSE
14     "Texto".HMI_BAM := 0;
15 END_IF;
16 IF "BS" THEN
17     "Texto".HMI_BS := 100;
18 ELSE
19     "Texto".HMI_BS := 0;
20 END_IF;
21 IF "BD" THEN
22     "Texto".HMI_BD := 100;
23 ELSE
24     "Texto".HMI_BD := 0;
25 END_IF;
26 IF "M" THEN
27     "Texto".HMI_M := 100;
28 ELSE
29     "Texto".HMI_M := 0;
30 END_IF;

```

Anexo 10: Función FC4 – texto_receta

```
1 CASE #HMI_RECETA OF
2     0:
3         #HMI_RECETA_NOMBRE := 'Verde';
4     1:
5         #HMI_RECETA_NOMBRE := 'Magenta';
6     2:
7         #HMI_RECETA_NOMBRE := 'Naranja';
8     3:
9         #HMI_RECETA_NOMBRE := 'Cafe';
10    4:
11        #HMI_RECETA_NOMBRE := 'Azul Verdoso';
12    5:
13        #HMI_RECETA_NOMBRE := 'Miel';
14    6:
15        #HMI_RECETA_NOMBRE := 'Limpieza';
16    ELSE
17        #HMI_RECETA_NOMBRE := '---';
18 END_CASE;
```

Anexo 11: Fotos de implementación y pruebas en laboratorio

