



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAPEL MEDIANTE PLC
Y HMI**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Electrónica

AUTOR: Fabricio Joel Carriel Eras

TUTOR: ING. VÍCTOR DAVID LARCO TORRES, MGTR

Guayaquil – Ecuador

Febrero-2024

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

Yo, Fabricio Joel Carriel Eras con documento de identificación N° 0940273113, 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, 19 de febrero del año 2024.

Atentamente,



Fabricio Joel Carriel Eras

094027311-3


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

Yo, Fabricio Joel Carriel Eras con documento de identificación N° 0940273113 expreso mi 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 del proceso de fabricación de papel 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, 19 de febrero del año 2024.

Atentamente,


Fabricio Joel Carriel Eras

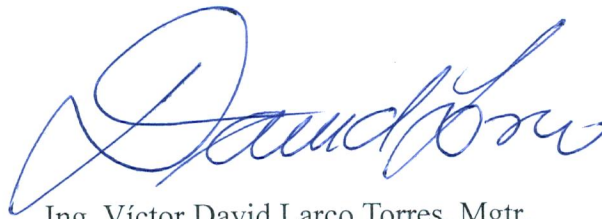
094027311-3

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Víctor David Larco Torres con documento de identificación N° 0923270136, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAPEL MEDIANTE PLC Y HMI, realizado por Carriel Eras Fabricio Joel con documento de identificación N° 0940273113, 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, 19 de febrero del año 2024.

Atentamente,



Ing. Víctor David Larco Torres, Mgtr.

0923270136

Resumen

El presente estudio se centra en el diseño y simulación de un sistema integrado de automatización para el proceso de fabricación de papel mediante PLC y plataforma para sistemas SCADA, en sí, este proyecto parte del interés de profundizar conocimientos mediante la práctica, especialmente de temas no tratados en el transcurso del programa de estudios. Por ende, se procede a un estudio experimental mediante la implementación de procesos de simulación, serie de pruebas y ajuste iterativos, integrándose técnicas de diseño bajo una accesible, comprensible y fácil de uso del HMI. Mientras que la programación de PLC se centra en una metodología experimental. Una vez puesta en marcha el procedimiento se observa cada etapa del proceso de fabricación de papel con un enfoque académico-práctico que mejora la comprensión de este. Asimismo, se evidencia la comprensión de la teoría en la simulación e implementación práctica debido a la correcta aplicación del conocimiento adquirido en una situación real, a su vez, permite visualizar los cambios suscitados en la programación del PLC y la interfaz HMI con respecto a la fabricación de papel, la intervención de ciertos parámetros en el resultado final conforme a los diversos escenarios de problemas que se manifiesten. Finalmente, la interacción con simulaciones como TIA PORTAL y WinCC motivan a los estudiantes a ser insertados en el mercado laboral por su gran aporte de habilidades y capacidades a dicha industria.

Palabras Clave: Papel, PLC, HMI, TIA PORTAL, WinCC

Abstract

The present study focuses on the design and simulation of an integrated automation system for the paper manufacturing process using PLC and a platform for SCADA systems. This project is based on the interest of deepening knowledge through practice, especially on topics not treated during the course of the study program. Finally, an experimental study is carried out by implementing simulation processes, series of tests and iterative adjustment, integrating design techniques under an accessible, understandable, and easy-to-use HMI. While PLC programming focuses on an experimental methodology. Once the procedure is launched, each stage of the paper manufacturing process is observed with an academic-practical approach that improves understanding of it. Likewise, the understanding of the theory is evident in the simulation and practical implementation due to the correct application of the knowledge acquired in a real situation, in turn, it allows viewing the changes caused in the programming of the PLC and the HMI interface with respect to the paper manufacturing, the intervention of certain parameters in the result according to the various problem scenarios that arise. Finally, the interaction with simulations such as TIA PORTAL and WinCC motivate students to be inserted in the labor market due to their great contribution of skills and abilities to said industry.

Keywords: Paper, PLC, HMI, TIA PORTAL, WinCC

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

1 REVISIÓN LITERARIA.....	5
1.1 Preparación de la Pasta Química y obtención de la pulpa	5
1.2 Depuración	6
1.3 Prensado	6
1.4 Secado	6
1.5 Estucado.....	6
1.6 Calandrado	7
1.7 Acabado.....	7
2 MARCO METODOLÓGICO	7
2.1 Diseño de la Interfaz Hombre-Máquina (HMI)	7
2.2 Preparación de la Pasta Química y obtención de la pulpa	8
2.3 Depuración	9
2.4 Prensado y secado	9
2.5 Estucado y Calandrado	10
2.6 Acabado.....	11
2.7 Programación PLC	12
3 ANÁLISIS DE RESULTADO	13
3.1 Aplicación en Entornos Educativos.....	15
3.2 Evaluación de datos	15
3.3 Análisis comparativo: Simulación vs implementación física.....	15
3.4 Implementación Física:.....	17
4 CONCLUSIONES.....	19
BIBLIOGRAFÍA	20

INTRODUCCIÓN

La inserción e integración de nuevas tecnologías a nivel mundial, principalmente en el sector industrial, se ha vuelto inevitable, de tal manera que se impulsa a aspectos de innovación, renovación y adaptación constante en los diversos sectores económicos relacionados en un país. En ese sentido, se evidencia que este primer cambio parte de las áreas y empresas dedicadas a actividades manufactureras, donde sus principales procesos son la elaboración, preparación y fabricación de un producto bajo la integración de acciones o equipos estratégicos para contribuir en la optimización de recursos mientras se minimiza el tiempo e incrementa el nivel de productividad, rentabilidad y competitividad.

Por su parte, Zabala (2019) destaca que la industria innova y automatiza sus procesos operativos para la adquisición y promoción de eficiencia socioeconómica y productiva garantizando su estabilidad y sostenibilidad en el mercado actual, siendo partícipe de la nueva industria digital denominada 4.0, el sector manufacturero. Asimismo, se describe a la industria 4.0 como una estructura o sistema denominado pirámide de automatización que impulsa una transformación digital y automatizada efectiva.

Según Mejía et al. (2020), los avances tecnológicos están transformando los procesos en diversas áreas, incluyendo la administración, las finanzas y las operaciones. Las organizaciones deben estar preparadas para utilizar eficientemente los recursos en todos los procesos administrativos, financieros y operativos es así que se describe que la automatización de procesos como el cambio y cumplimiento de acciones a través de la inserción de aplicaciones o sistemas digitales mientras se garantiza un valor agregado al sistema, proceso, producto o entidad (Suárez et al., 2021).

Describiéndose dentro del presente estudio, la aplicación del sistema SCADA, el cual consiste en un proceso con interacciones de supervisión, control y adquisición de datos (Gallardo, 2022), que se integran en una planta industrial con una interconexión y comunicación digital mediante herramientas y una interfaz de gran nivel con el usuario. Asimismo, permite una comunicación con componentes de campo para el control automático desde la pantalla del ordenador. Es así, que este estudio se centra en la elaboración de un sistema integrado automatizado para el proceso de

fabricación de papel bajo la integración de PLC en sistemas SCADA asegurando resultados positivos con la simulación.

1 REVISIÓN LITERARIA

La fabricación de papel es un proceso que combina precisión, control y tecnología para transformar materias primas en productos finales que se pueden usar en el día a día. Este proceso industrial se divide en varios pasos, en la figura 1 se observan las etapas, a continuación, se lo describe:



Figura 1: Proceso de la fabricación de papel. (ASpapel, n.d.)

1.1 Preparación de la Pasta Química y obtención de la pulpa

- **Proceso:** En este proceso es esencial, el cocimiento de astillas en un licor blanco en una solución acuosa que contiene principalmente hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S) que contiene sustancias como sulfato de sodio o dióxido de azufre para descomponer y remover la lignina (FabIndus, 2024).
- **Sensores:** Los sensores de temperatura y pH ayudan a monitorear el licor de cocción, sensores de conductividad para medir la concentración de químicos.
- **Actuadores:** Dispositivos como válvulas, estos componentes trabajan en controlar la entrada de químicos y ajustar la presión en los digestores.

1.2 Depuración

- **Proceso:** En el tamizado se eliminan las impureza y partículas indeseadas. La pasta ya está lista para usar se directamente o para blanquearse para obtener papel blanco (Espinoza Ibarra, 2023).
- **Sensores:** Se utiliza dispositivos como sensores de humedad para monitorear el contenido de agua en la pulpa, sensores de presión en filtros.
- **Actuadores:** Los sistemas de bombeo y válvulas para la circulación y drenaje de la pulpa, sistemas de calefacción para el secado.

1.3 Prensado

- **Proceso:** Se lleva a cabo la compresión de la hoja húmeda para extraer más agua y aumentar la cohesión de las fibras. Se reduce su contenido de agua al 50% (DsSmith, 2024).
- **Sensores:** Se emplean sensores de presión y humedad para monitorizar la efectividad del prensado.
- **Actuadores:** Se utilizan actuadores específicos, como las prensas hidráulicas o mecánicas para aplicar presión uniforme.

1.4 Secado

- **Proceso:** En el proceso de fabricación de papel, la hoja húmeda se somete a un paso crucial, pasa por rodillos calentados a más de 100° C para eliminar la humedad restante (Espinoza, 2022) .
- **Sensores:** Los dispositivos Termopares o sensores infrarrojos se utilizan para medir la temperatura de los rodillos y la hoja.
- **Actuadores:** Sistemas de control de temperatura para los rodillos y ajuste de la velocidad de la cinta transportadora.

1.5 Estucado

- **Proceso:** Para obtener un resultado de un papel con una superficie más uniforme, se aplicación de capas de estuco para mejorar las propiedades superficiales del papel.
- **Actuadores:** Para aplicar capas uniformes de estuco sobre la superficie del papel se emplean actuadores específicos como cabezales de aplicación para distribuir uniformemente el estuco, rodillos dosificadores.

1.6 Calandrado

- **Proceso:** Este proceso consiste en la compresión y calentamiento del papel para alisar y dar brillo a la superficie (Britannica, s.f.)
- **Sensores:** Durante el calandrado se utilizan sensores de presión y temperatura para monitorear los rodillos de la calandra.
- **Actuadores:** Los actuadores hidráulicos o neumáticos ajustan la presión de los rodillos y los sistemas de calefacción proporcionan el calor necesario.

1.7 Acabado

- **Proceso:** El bobinado o corte del papel en hojas finales, es necesario para la apariencia y la sensación táctil, así el producto estará óptimo para su uso o venta (Polaridad, 2024).
- **Actuadores:** Las cuchillas automatizadas se utilizan para el corte, dividiendo grandes rollos de papel y los sistemas de control para el bobinado, ajustan la velocidad de enrollado, la tensión del papel y la posición de corte.

2 MARCO METODOLÓGICO

En proyectos que involucran la automatización y el control de procesos industriales, la metodología es experimental. Su aplicación facilita la creación y programación de ambientes simulados cercanos a la realidad del proceso, así como la evaluación de cada una de sus etapas. La implementación de simulaciones del sistema de control, seguidas de una serie de pruebas y ajustes iterativos, es la característica distintiva de esta metodología.

En un principio, el objetivo del diseño de la interfaz de usuario (HMI) es crear una interfaz fácil de entender y eficiente que permita a los operadores interactuar de manera efectiva con el sistema de control durante el proceso de fabricación de papel.

Por otro lado, la programación de PLC se realiza en lenguaje escalera de forma secuencial considerando cada etapa de la fabricación de papel. Lo que implica el diseño cuidadoso de la lógica de control, la selección adecuada de bloques de programación según sea (temporizadores, contadores y bloques de operaciones lógicas y matemáticas).

2.1 Diseño de la Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

La interfaz del proyecto se diseña en función de la usabilidad y la accesibilidad. El proceso implica crear un prototipo de HMI y luego realizar pruebas iterativas para mejorar la interfaz. Para dar

comienzo al diseño del proceso se comienza creando la interfaz HMI del proceso, La interfaz presenta el proceso de fabricación de papel. Se utiliza la pantalla KTP-700 ya que es la pantalla con la que cuenta la UPS, como se muestra en la figura 2.

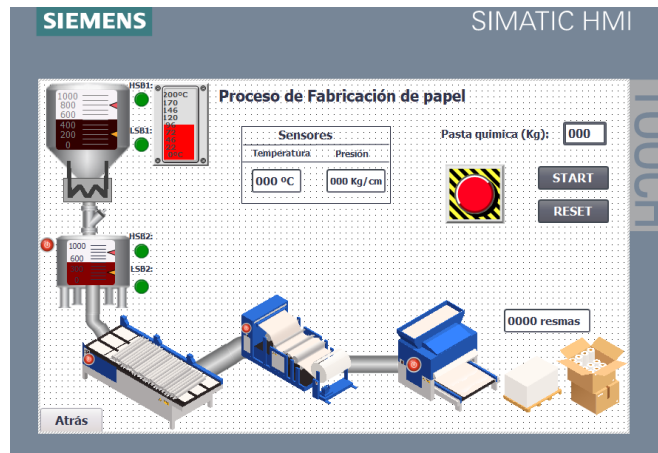


Figura 2: Diseño HMI.

2.2 Preparación de la Pasta Química y obtención de la pulpa

La simulación comienza seteando la cantidad de pasta química que se va a procesar en Kg. Para luego dar paso al Cocimiento de astillas en un licor blanco (solución acuosa que contiene principalmente hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S)) que contiene sustancias como sulfato de sodio o dióxido de azufre para descomponer y remover la lignina. Para realizar la simulación se usan contadores Count Up/Down (CTDU) para simular el cambio de la variable que muestra la cantidad de Kg de pasta que tiene el depósito, tal como se ve en la figura 3.

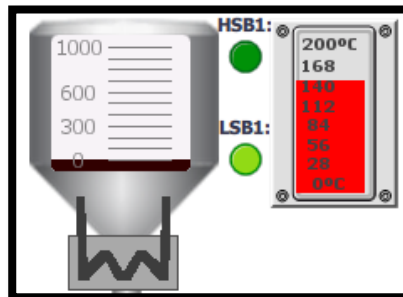


Figura 3: Preparación de la pasta.

El sistema cuenta con un contador ascendente que simula un sensor de temperatura para monitorear el licor de cocción que llega a 150 ° C. Además, se usan variables booleanas y bloques IN-RANGE para simular sensores de nivel HSB1 que significa highest significant bit y LSB1(Least significant bit) y comprobar en qué nivel se encuentra.

2.3 Depuración

El primer paso en la simulación del proceso de depuración es enviar la pasta cocida al tanque de depuración. Para garantizar la eliminación efectiva de cualquier impureza o contaminante presente en la pasta, este paso es crucial. La pasta se somete a un proceso de tamizado durante el llenado del tanque de depuración, que elimina físicamente las impurezas tal como se ve en la figura 4.

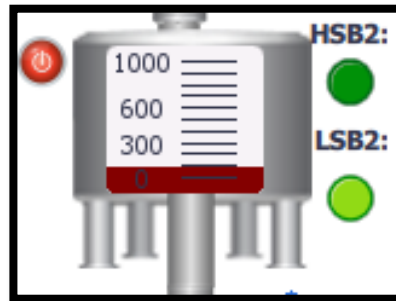


Figura 4: Proceso de depuración.

Este tamizado puede realizarse de varias maneras, pero su objetivo principal es asegurarse de que la pasta esté libre de componentes indeseables que puedan afectar la calidad del papel final. Dentro de este proceso intervienen variables enteras, booleanas y marcas de ciclo para realizar el conteo de las variables.

2.4 Prensado y secado

El proceso comienza con la compresión de la hoja húmeda para extraer más agua y aumentar la cohesión de las fibras. La extracción efectiva del agua logra una reducción del contenido de humedad hasta el 50%. La compresión no solo elimina el exceso de líquido, sino que también promueve la cohesión entre las fibras del papel, lo que es fundamental para mejorar su resistencia y textura. En esta etapa la simulación muestra un como en las mesas formadoras se produce la compresión de la hoja, esto se logra a través de un contador que realiza el movimiento vertical de los actuadores que realizan el prensado tal como se ve en la figura 5.

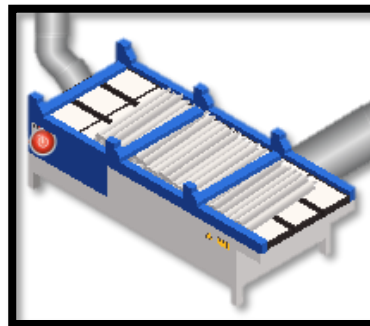


Figura 5: Proceso de prensado.

Seguidamente, el papel entra en la fase de secado, un proceso igualmente vital que se lleva a cabo mediante rodillos cuidadosamente calentados a una temperatura superior a los 100° C. Este calor facilita la evaporación rápida y uniforme de la humedad restante, asegurando que la hoja de papel

alcance el grado de sequedad necesario para su uso final. Para monitorear y controlar con precisión la temperatura a lo largo de este proceso, se utilizan termopares tal como se ve en la figura 6.

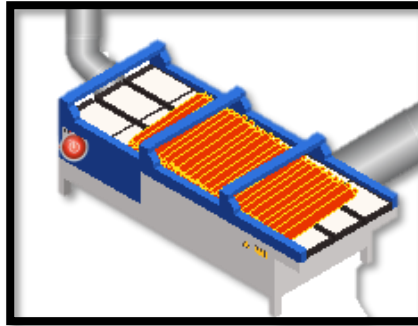


Figura 6: Proceso de secado.

2.5 Estucado y Calandrado

Los procesos de estucado y calandrado son formas de las siguientes etapas en la fabricación de papel para mejorar las cualidades del producto final. Utilizando cabezales de estucado y rodillos dosificadores, se aplica una capa uniforme de estuco sobre el papel durante el proceso de estucado. Este paso mejora la textura del papel y la capacidad de impresión. En la simulación se puede validar una luz piloto que representa el accionamiento del proceso tal como se ve en la figura 7.

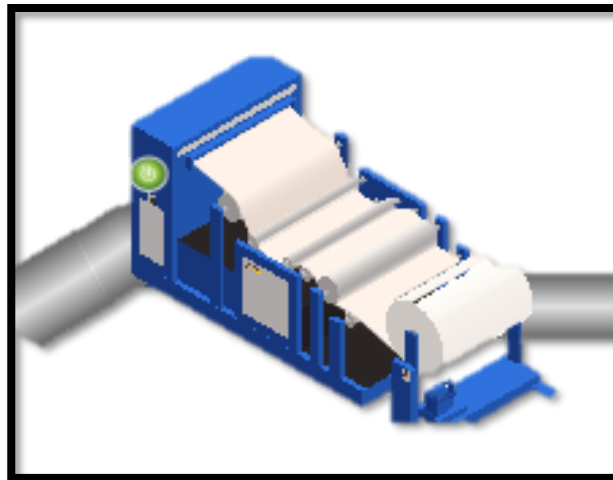


Figura 7: Proceso de estucado.

A continuación, el papel pasa por rodillos calientes y presurizados en el calandrado, lo que lo limpia y le da brillo. Para garantizar la calidad del acabado, este proceso es controlado por sensores de presión y temperatura. Este proceso se muestra en la simulación con un indicador que cambia de color según el estado de la variable booleana, así como se ve en la figura 8.

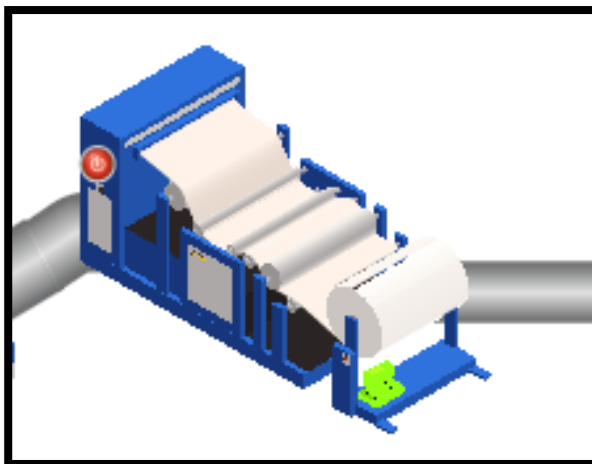


Figura 8: Proceso de calandrado.

Se usan sensores de presión y temperatura simulados para monitorear los rodillos de la calandra que se muestran en un panel de sensores de la pantalla, tal como se ve en la figura 9.

Sensores	
Temperatura	Presión
0 °C	89 Kg/cm

Figura 9: Panel de sensores.

2.6 Acabado

El proceso de acabado en la fabricación de papel implica las etapas finales de bobinado o corte del papel. Este proceso permite transformar las grandes bobinas de papel en formatos más manejables, ya sean hojas individuales o rollos más pequeños adecuados para la venta o para aplicaciones específicas. En esta primera parte del proceso de acabado llega la carga al dispositivo y en base al cálculo del pesaje se estiman el número de resmas de 500 hojas cada uno que se deben procesar tal como se ve en la figura 10.



Figura 10: Proceso de acabado.

Durante el bobinado, sistemas de control avanzados supervisan la tensión y alineación del papel para asegurar un enrollado uniforme. Actuadores precisos y controlados por el PLC gestionan la velocidad y la presión aplicada al papel para evitar arrugas o desgarros, garantizando la calidad del rollo final. En cuanto a la simulación se visualiza como va apareciendo las resmas en la pantalla a la vez que se mantiene encendido una luz piloto para verificar el accionamiento del proceso tal como se ve en la figura 11.



Figura 11: Proceso de acabado-conteo de resmas.

2.7 Programación PLC

En la fabricación de papel, el proceso de carga y cocción de la pasta química para preparar la pulpa se describe en el segmento del programa de PLC de la imagen. La carga de pasta química en el depósito comienza al activar el interruptor K1. Se activa un temporizador para simular la cocción por 5 segundos tal como se ve en la figura 12.

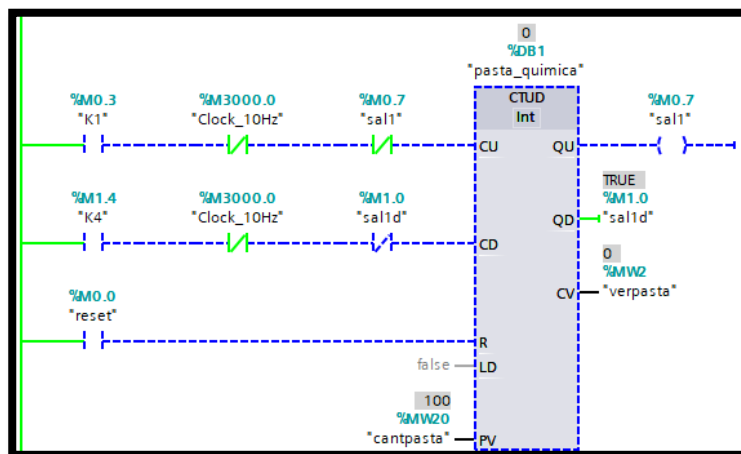


Figura 12: Contadores CTUD.

Para la temperatura del depósito se utiliza un contado ascendente que aumenta durante este tiempo, lo cual se visualiza y controla en el sistema tal como se ve en la figura 13. Este proceso es necesario para preparar la pulpa, que luego será procesada en las siguientes etapas de la fabricación de papel.

Antes de que este segmento del programa se implemente en el sistema de control en el mundo real, se puede simular utilizando PLCSIM.

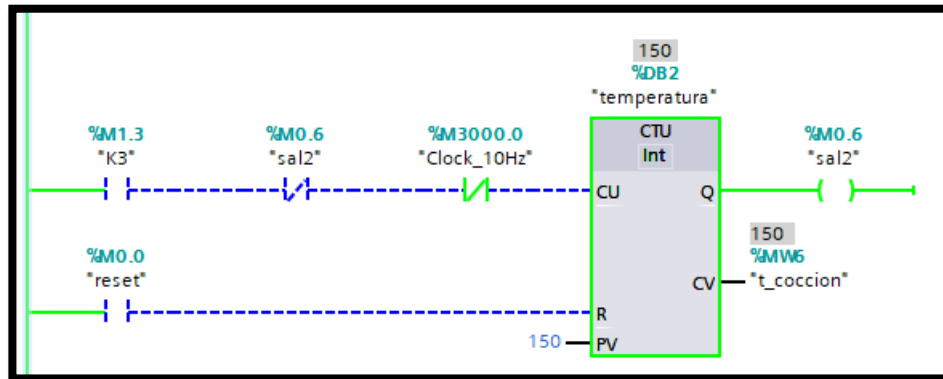


Figura 13: Contadores CTU.

3 ANÁLISIS DE RESULTADO

Este apartado se concentra en los resultados del diseño e implementación de la simulación del proceso para la fabricación de papel. Se examina la programación del proceso de la fabricación de papel en el software de automatización TIA PORTAL, para luego realizar la integración de la interfaz HMI. Los resultados muestran la relación entre la variable "cantpasta" que representa la cantidad de kilogramos de pasta en relación con el número de resmas que se obtienen luego de pasar por todas las etapas del proceso de fabricación de papel tal como se ve en la gráfica de la figura 14.

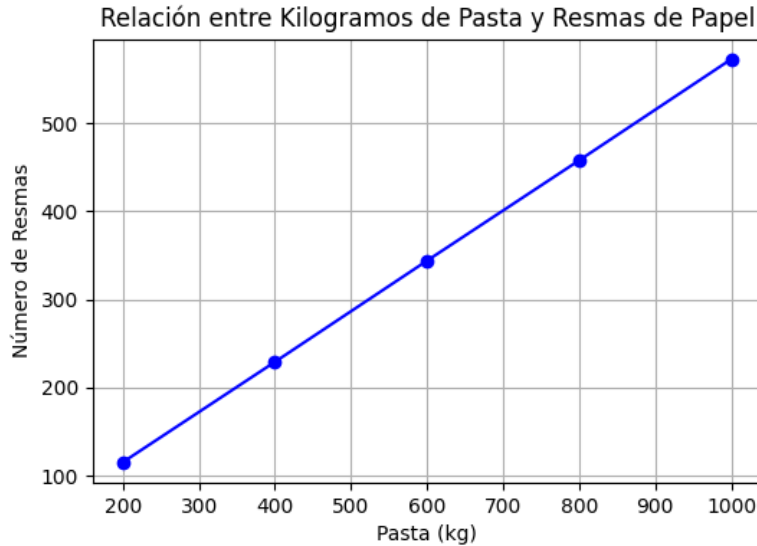


Figura 14: Relación entre Kg de pasta y resmas de papel.

La relación lineal entre la cantidad de pasta utilizada y el número de resmas producidas se muestra en la gráfica anterior, indica una proporción constante. Esto muestra la tendencia de producción que se espera en un sistema de control automático en la industria del papel y gracias a la simulación de este proceso se puede analizar cada etapa del proceso para la planificación y optimización de recursos en la industria del papel.

Esta relación se ve implementada usando el bloque de DIV de TIA portal para mostrar el número exacto de resmas que representa cada kg de pasta química tal como se ve en la figura 15 donde se ve que para (1):

$$kg \text{ requeridos} = \frac{1000 \text{ kg pasta química}}{1.7458 \text{ kg celulosa/resma}} = 572.83 \text{ resmas} \approx 573 \text{ resmas} \quad (1)$$

Esta fórmula fue obtenida de la empresa Italiana publicada en su página web (O.M.A.R s.r.l, 2020).

Las resmas de papel de forma estándar son de 500 resmas, generalmente, en los sectores de negocios y consumo (López, 2024)

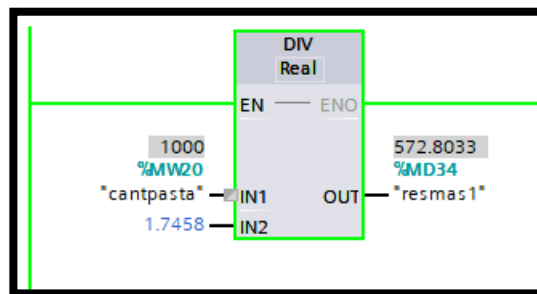


Figura 15: Relación entre kg de pasta y resmas.

3.1 Aplicación en Entornos Educativos

La simulación cierra la brecha entre el conocimiento teórico y la experiencia real al permitir la aplicación de las teorías de automatización y control en escenarios reales.

Al interactuar con la simulación, se puede visualizar y comprender mejor cómo los cambios en la programación del PLC y la interfaz HMI afectan el proceso de fabricación de papel. Esto puede ser más difícil de captar solo con métodos de enseñanza tradicionales.

3.2 Evaluación de datos

La simulación permite analizar los datos producidos por el proceso (como la relación entre la pasta de papel y las resmas producidas) y comprender cómo varios parámetros afectan el resultado final.

Se puede experimentar con una variedad de escenarios de problemas, aprendiendo a identificar, analizar y solucionar problemas en entornos controlados y de bajo riesgo.

El uso de la simulación con TIA PORTAL y WinCC le permite sentar las bases para las herramientas y tecnologías lo que aumenta significativamente la probabilidad de encontrar trabajo y otorga habilidades necesarias para la industria actual.

3.3 Análisis comparativo: Simulación vs implementación física

El desarrollo de sistemas de control automático para la fabricación de papel se aborda mediante dos etapas esenciales: inicialmente se diseña y simula el sistema, seguido por la implementación en un entorno físico. En la fase de simulación, se utilizan entornos virtuales para modelar el proceso, permitiendo la detección y corrección de errores en la programación sin riesgos físicos. Se simulan las interacciones de los componentes y se evalúan las respuestas del sistema ante variables controladas.

Posteriormente, en la implementación física, se valida la efectividad del sistema en condiciones académicas mediante placas de mando y señalización. Los resultados obtenidos ofrecen perspectivas sobre el rendimiento real de la interacción de variables del proceso. Se observan diferentes aspectos entre la simulación y la implementación física, particularmente en la respuesta del sistema a factores externos impredecibles.

Este análisis comparativo destaca la diferencia entre simulación y práctica física, cada una proporcionando información para la comprensión del proceso automatizado de fabricación de papel. Las simulaciones proveen un medio eficaz para perfeccionar la programación y la lógica de control. El siguiente diagrama de flujo muestra el proceso de fabricación de papel en detalle, dividiendo cada etapa importante del proceso. Tal como se ve en la figura 16 el flujo de trabajo

secuencial desde la preparación inicial de la pasta química hasta la fase de acabado, destacando los componentes y acciones importantes en cada paso del proceso.

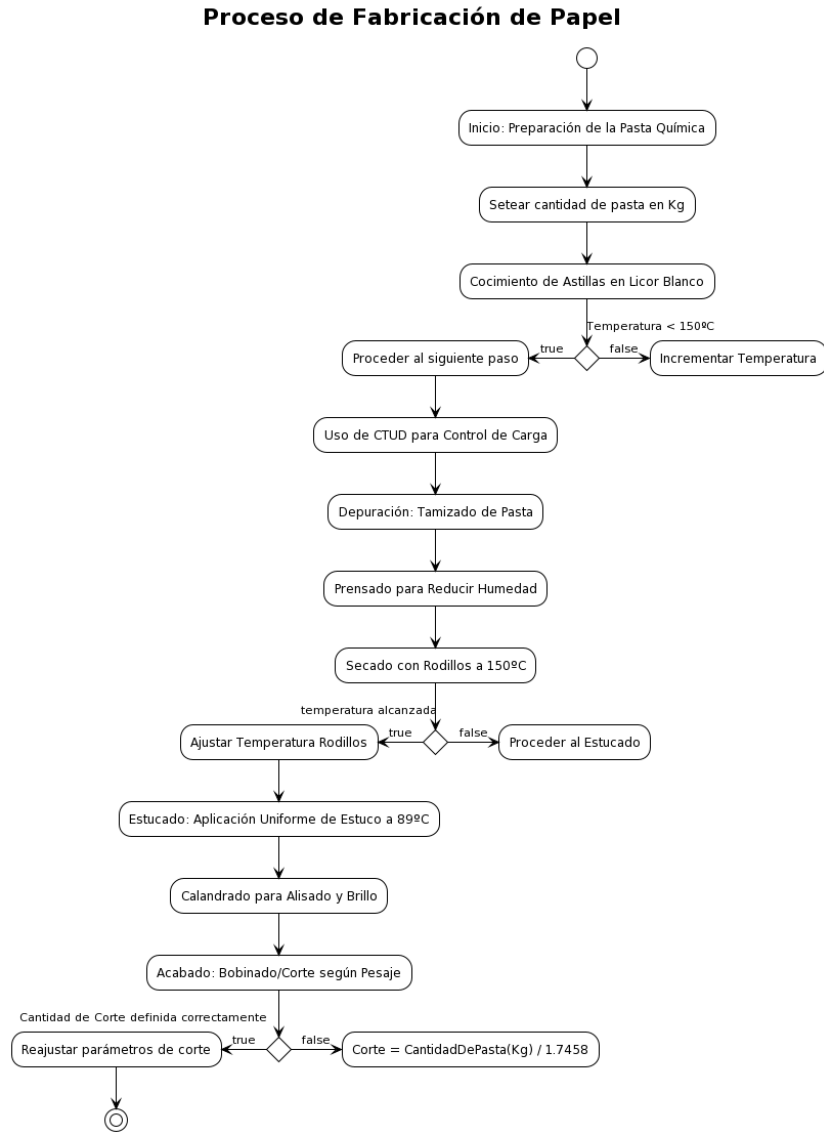


Figura 16: Diagrama de flujo del proceso.

La simulación y el diseño se realizan en un entorno virtual (ver figura 17), lo que permite una iteración rápida y la prueba de varios escenarios sin dañar los componentes físicos. Los errores de programación y lógica de control se pueden identificar y corregir de manera segura y eficiente durante esta fase. Sin embargo, la representación precisa de las interacciones físicas y la dinámica del proceso real puede estar limitada en esta etapa.

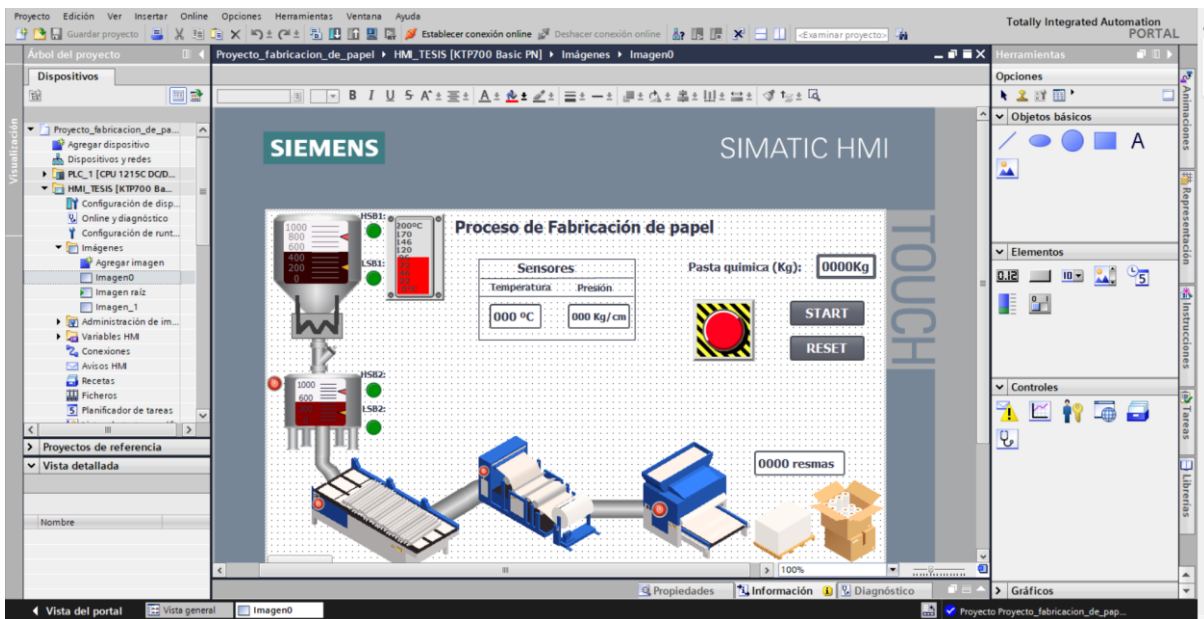


Figura 17: Simulación del proceso de fabricación de papel.

Se observa que el proceso de simulación permite una comprensión teórica detallada del funcionamiento del sistema.

La simulación proporciona retroalimentación inmediata sobre los errores de programación, lo que permitió ajustes rápidos.

No se enfrentaron desafíos físicos como la variabilidad de las señales de entrada o problemas de hardware.

3.4 Implementación Física en ambiente controlado:

Por otro lado, la implementación física en el laboratorio de Automatización 2 pone a prueba el sistema en el mundo real. Conectar el CPU PLC con el HMI y cargar el programa principal demostró ser un desafío inicial debido a dificultades en la identificación correcta de las entradas y salidas digitales. Estos problemas, aunque no presentes en la simulación, son comunes en la

práctica real y requieren una comprensión profunda de los componentes físicos del sistema, así como se ve en la figura 17.



Figura 18: Implementación física.

Se identificaron las entradas y salidas digitales del programa una vez que se cargó (ver figura 18). La experimentación permitió corregir los números de identificación para resolver algunos problemas de conexión. Los problemas de conexión que no se detectaron durante la simulación se revelaron durante las pruebas físicas. Se necesitó una comprensión más profunda del hardware para resolver problemas como la correcta identificación de los números de identificación. La implementación física brindó una valiosa experiencia en el monitoreo y control del sistema en tiempo real, con variables y condiciones que solo ocurren fuera del entorno de simulación.

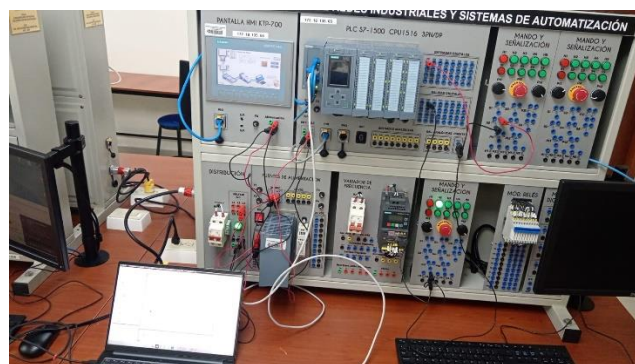


Figura 19: Comprobación del sistema automático.

4 CONCLUSIONES

La implementación de la simulación permite una comprensión detallada de cómo interactúan los diversos componentes del proceso. Como resultado, se creó un modelo de simulación que reproduce las operaciones reales, en el cual se presentó inconvenientes con la selección de contadores y la secuencia de los procesos sincronizando los temporizadores para que interactúen el tiempo suficiente para continuar con la secuencia.

Para la integración entre la programación de bloques y las imágenes de la pantalla HMI se usaron archivos .svg con la simbología adecuada para la simulación que muestra la capacidad de visualizar y controlar el proceso de fabricación de papel de manera efectiva. La interfaz HMI desarrollada proporcionó una visualización intuitiva y un control en tiempo real del proceso, mejorando la capacidad de los usuarios para interactuar con el sistema.

La realización de pruebas del sistema de simulación en los laboratorios de automatización permite validar la practicidad del sistema creado. Estas pruebas brindan una plataforma para experimentar de primera mano el proceso de fabricación de papel en un entorno controlado, lo que permite identificar y corregir posibles fallas en tiempo real. En conclusión, proporcionan pruebas tangibles de la eficacia del sistema de simulación, reforzando la importancia del enfoque práctico en la educación y la formación en automatización.

BIBLIOGRAFÍA

- ASpapel. (s.f.). *ASpapel*. Obtenido de <https://aspapel.es/el-papel/como-se-hace>
- Britannica. (s.f.). Obtenido de <https://www.britannica.com/technology/calendering>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2021). *Automatización de procesos*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/26878>
- Da Silva, D. (2022). GUÍA PRÁCTICA: Automatización de procesos y sus beneficios. *LATAM*. Obtenido de <https://www.zendesk.com.mx/blog/automatizacion-de-procesos/>
- DsSmith. (2024). <https://www.dssmith.com>. Obtenido de <https://www.dssmith.com/es/noticias/nuestras-historias/2022/5/como-se-fabrica-el-papel> año de publicación de esta página para mi tesis
- Espinoza, E. (2022). *dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23223>
- FabIndus. (2024). <https://fabricacionindustrial.com>. Obtenido de <https://fabricacionindustrial.com/como-se-fabrica-papel-proceso-completo/>
- Gallardo, E. (2022). Protocolo de comunicación para la integración de dispositivos en los sistemas scada de las subestaciones eléctricas. *Télématique: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, 21(1), 59-82. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8578124>
- López, J. L. (2 de 1 de 2024). *Resma de papel: el aliado esencial en el mundo de la impresión comercial*. Obtenido de www.cevagraf.coop: <https://www.cevagraf.coop/blog/resma-de-papel/>
- Mejía, K. P., Sicheri, L. G., & Nolzco, F. A. (2020). La liquidez en los procesos económicos de una empresa de decoración de interiores, Lima 2019. *Espíritu Emprendedor TES*, 4(1), 1-12. Obtenido de <http://206.189.217.80/index.php/revista/article/view/178/204>
- O.M.A.R s.r.l. (2020). *Sostenibilidad*. Italia : <https://www.blisteromar.com/es/azienda-2/sostenibilita/>.
- Polaridad. (2024). <https://polaridad.es>. Obtenido de <https://polaridad.es/proceso-de-produccion-del-papel/>
- Suárez, F., Piñero, R., Prieto, A., Alfonso, A., Carbó, J., & LLanes, O. (2021). Metodología para la automatización de procesos tecnológicos en la industria

farmacéutica cubana. *Ingeniería Industrial*, 43(1), 1-14. Obtenido de <https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/1140>

Zabala, A. (2019). *La Guía Witorg. Un enfoque integral para evolucionar tu sistema organizativo y alcanzar tus metas*. Witorg. Obtenido de <https://www.witorg.org/piramide-de-la-automatizacion-e-industria-4-0/>

Espinoza Ibarra, A. J. (2023). *Automatización del Limpiador de alta densidad (HDC) para el proceso de preparación pasta de la industria papelera ABSORPELSA. SA.*