

Design and implementation of an automatic winding machine for AC rotary machines

Jefferson Miguel Gonzalez Espino¹, Humberto Chavarri Pelaez¹, Daniela M. Anticona-Valderrama, Ph.D¹,
Marco Antonio Tomaylla Huamani, Msc¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U19308902@utp.edu.pe, U19201960@utp.edu.pe, c18620@utp.edu.pe,
c21901@utp.edu.pe

Abstract – The winding materials manufacturing and processing industry faces the challenge of improving its efficiency and competitiveness by adopting new technologies and optimizing industrial processes. The purpose of this article is to offer an innovative solution that will not only increase operational efficiency and reduce production costs, but also boost the modernization and competitiveness of companies. A qualitative approach is adopted to capture perspectives and experiences, contributing to a non-experimental design. The descriptive scope thoroughly understands the manual winding process, identifying its particularities and specific needs of the operators. An experimental approach is used in the design and evaluation of the prototype, ensuring systematic testing to measure its performance and production efficiency. The results reveal an innovative design that significantly improves operational efficiency and reduces production costs compared to traditional manual processes. The implementation with the Logo! software that comes bundled with the HMI proves to be highly effective since the parameters can be included and demonstrated with production accuracy. The most significant conclusion lies in the contribution of fundamental knowledge on the economic and operational benefits derived from the adoption of these technologies, improving productivity, quality, labor safety and alignment with the principles of Industry 4.0. The goal is not only to optimize a specific process, but also to boost modernization and competitiveness in a demanding global market.

Keywords– rotary machines, winding machine, alternating current, automation, programming.

Diseño e implementación de una bobinadora automática para máquinas rotativas en AC

Jefferson Miguel Gonzalez Espino¹, Humberto Chavarri Pelaez¹, Daniela M. Anticona-Valderrama, Ph.D¹,
Marco Antonio Tomaylla Huamani, Msc¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U19308902@utp.edu.pe, U19201960@utp.edu.pe, c18620@utp.edu.pe,
c21901@utp.edu.pe

Resumen – La industria de manufactura y procesamiento de materiales para bobinados enfrenta el reto de mejorar su eficiencia y competitividad mediante la adopción de nuevas tecnologías y la optimización de procesos industriales. El propósito de este artículo es ofrecer una solución innovadora que no solo aumente la eficiencia operativa y reduzca los costos de producción, sino que también impulse la modernización y competitividad de las empresas. Se adopta un enfoque cualitativo para capturar las perspectivas y experiencias, contribuyendo a un diseño no experimental. El alcance descriptivo comprende a fondo el proceso de bobinado manual, identificando sus particularidades y necesidades específicas de los operadores. Se utiliza un método experimental en el diseño y evaluación del prototipo, garantizando pruebas sistemáticas para medir su rendimiento y eficacia en la producción. Los resultados revelan un diseño innovador que mejora significativamente la eficiencia operativa y reduce los costos de producción en comparación con los procesos manuales tradicionales. La implementación con el software Logo! que va anexado con el HMI demuestra ser altamente efectiva dado que se pueden incluir los parámetros y en el que se demuestra con la precisión en la producción. La conclusión más significativa radica en el aporte de conocimientos fundamentales sobre los beneficios económicos y operativos derivados de la adopción de estas tecnologías, mejorando la productividad, calidad, seguridad laboral y alineación con los principios de la Industria 4.0. La meta no es solo optimizar un proceso específico, sino también impulsar la modernización y competitividad en un mercado global exigente.

Palabras claves – maquinas rotativas, bobinadora, corriente alterna, automatización, programación.

I. INTRODUCCIÓN

En la industria de manufactura y procesamiento de materiales enrollados, la adopción de tecnologías avanzadas ha sido en la búsqueda de mejorar la eficiencia, la calidad y la competitividad.

Las bobinadoras automáticas, máquinas que incorporan automatización de vanguardia y controles precisos para optimizar los procesos [1]. Se propondrá la búsqueda de nuevas máquinas automatizadas que trascienden en la calidad del área de rebobinados. Por consiguiente, esta investigación tendrá un aporte fundamental para las empresas, reduciendo errores, pérdidas de material y enfermedades ocupacionales. Cabe señalar, que el proceso para la confección de las bobinas es minucioso y demanda entre 6 a 8 horas de trabajo, si en el proceso se comete un mínimo error en el rebobinado de la máquina rotativa, presentaría fallas en el funcionamiento siendo percibido en pérdidas que afectan directamente a la empresa [2].

Así mismo, es importante mencionar que la bobinadora inteligente reduce el tiempo de mano de obra al sistema convencional. Esto se debe a que la bobinadora automatiza muchas de las tareas que en la actualidad realizan manualmente las bobinadoras convencionales, debido a que puede controlar automáticamente la posición de las bobinas y los alambres, mejorando la eficiencia del proceso de bobinado de máquinas rotativas en AC.

Es importante mencionar que la capacidad de mejora en la productividad y reducción de costos las hace altamente atractivas para las empresas que buscan mantenerse competitivas en un mercado global cada vez más exigente.

El contexto de esta investigación se centra en abordar uno de estos desafíos claves: la optimización de procesos de bobinado automatizado y su impacto en la eficiencia operativa, así mismo se busca analizar la optimización de los procesos de bobinados manuales utilizando bobinadoras automatizadas, y cómo esta optimización puede traducirse en mejoras significativas en la eficiencia y la reducción de costos en la producción industrial [3].

La implementación de una bobinadora automática en entornos industriales se justifica por una serie de beneficios clave. Estos incluyen una notable eficiencia de producción gracias a la operación continua y rápida, una precisión y consistencia superiores en la fabricación de bobinas, la reducción de errores humanos y desperdicios, y la flexibilidad para adaptarse a diferentes materiales y dimensiones.

Además, la automatización mejora la seguridad laboral al eliminar tareas peligrosas, optimiza la asignación de recursos humanos, y ofrece un monitoreo avanzado para la identificación temprana de problemas. Estos aspectos no solo aumentan la competitividad en el mercado, sino que también alinean la operación con los principios de la Industria 4.0, impulsando la modernización y la eficiencia en las operaciones industriales [4].

Para la etapa de la transmisión mecánica es necesario contar con la reducción de la velocidad del giro del molde de bobinas [5]. El método de transmisión mecánica por fajas consiste en transmitir la energía del eje conductor al eje conducido mediante las poleas. El cambio de velocidad de un eje a otro dependerá del diámetro de las poleas del eje conductor y conducido [6].

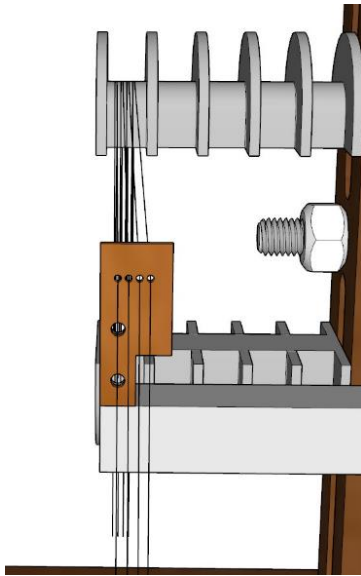


Fig. 1 Modelado referido al eje del conductor para dichos hilos de las bobinas- *Elaboración propia.*

Por otra parte, se propone una alternativa referente al variador de frecuencia para la variación de velocidad del motor [7]. La etapa de la programación es necesario para contar con un Controlador Lógico Programable (PLC) para controlar las medidas de la producción y proporcionar datos más precisos, es una opción económica y fácil de implementar [8].

También permite al sistema recopilar datos de producción de todas ellas. Para interactuar con la máquina se necesita un complemento bilateral que provee la interfaz del usuario, [9] nos muestra que el HMI (interfaz hombre-máquina) es un componente esencial que permite al operador controlar y monitorizar el proceso de bobinado [10].

La pantalla HMI es intuitiva y fácil de usar, para que el operador pueda realizar sus tareas de forma rápida y eficiente, permite al operador monitorear el proceso de bobinado, incluyendo el estado del motor, el estado de los sensores y los datos de producción [11]. Este sistema automatizado se adapta a las necesidades específicas de la aplicación y permite el monitoreo de múltiples bobinas simultáneamente y sin cortar el hilo conductor [12].

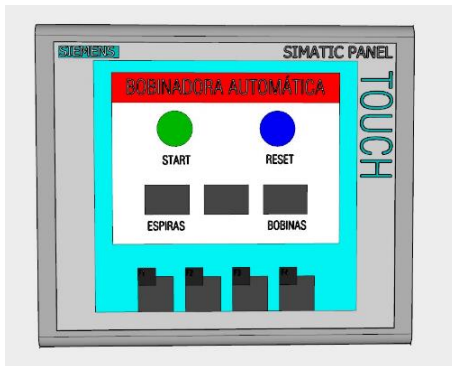


Fig. 2 Modelado de la interfaz panel HMI – *Elaboración propia.*

II. ALCANCE

En esta modalidad de investigación, se rige bajo las particularidades en la producción que genera inexactitud en el proceso que genera muchos residuos (mermas) que afecta a la contaminación ambiental, por otro lado, la ergonomía de los trabajadores que bajo estudio son previamente identificadas, y el objetivo es exponer y describir los elementos involucrados [13].

El proyecto de diseño de una bobinadora automática se asemeja a la fase descriptiva de la investigación mencionada. En este contexto, el "fenómeno" se refiere al proceso de bobinado de manera manual, con todas sus particularidades y características. El objetivo principal del proyecto de diseño es identificar cómo se manifiesta este proceso de bobinado en un entorno de producción y, en última instancia, reemplazarlo con una solución automática eficiente y efectiva [14].

La fase descriptiva del proyecto de diseño implica comprender en profundidad las operaciones manuales existentes, considerando factores como la velocidad, la calidad, los tiempos de producción y las necesidades de los operadores [15]. Al igual que en la investigación descriptiva, donde se busca entender la manifestación de un fenómeno en un grupo humano específico, en el proyecto de diseño se busca comprender cómo se manifiesta el proceso de bobinado en un contexto de producción particular, con el grupo humano formado por los operadores y técnicos [16].

Esta comprensión detallada es esencial para guiar el diseño de la bobinadora automática de manera que pueda replicar o mejorar las características y el rendimiento del proceso manual, logrando una transición exitosa hacia la automatización.

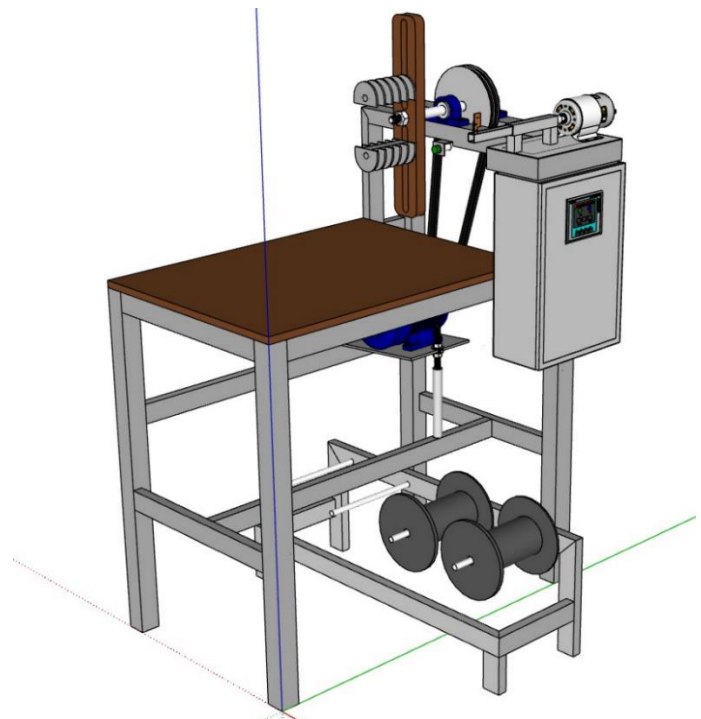


Fig. 3 Modelado referido a los parámetros de la tecnología que concluye con la parte del diseño – *Elaboración propia.*

III. PROCEDIMIENTOS

A continuación, se presentan los procedimientos generales para diseñar una máquina bobinadora automática:

A. Definición de objetivos y requisitos

- Comprender el propósito de la máquina bobinadora automática, en las metas de producción y su versatilidad que lo hacen más novedosos.
- Establecer los requisitos clave, como la capacidad de bobinado, la velocidad, la calidad del bobinado, la versatilidad y la seguridad.

B. Análisis de procesos existentes

- Examinar el proceso de bobinado manual o existente para comprender sus características y limitaciones.
- Identificar los puntos críticos, las ineficiencias y los problemas que la máquina automatizada debe abordar.

C. Investigación y diseño conceptual

- Investigar tecnologías y soluciones existentes en el mercado que puedan ser aplicadas al diseño de la máquina bobinadora.
- Generar conceptos de diseño preliminares, considerando la mecánica, la electrónica, el software de control y otros aspectos relevantes.

D. Selección de componentes y tecnologías

- Elige los componentes, sensores, motores y sistemas de control adecuados para el diseño.
- Considera la durabilidad, la precisión y la compatibilidad de los componentes seleccionados.

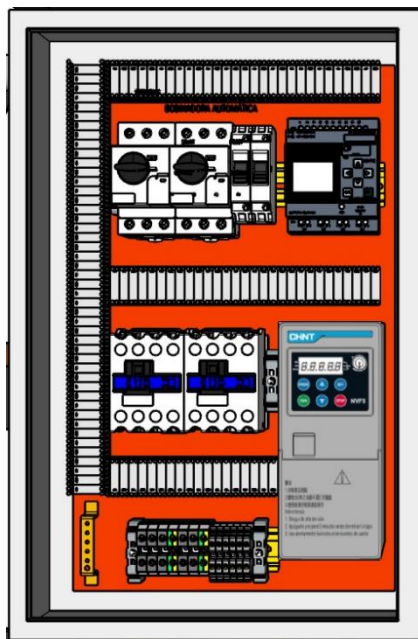


Fig. 4 Modelado de los componentes del sistema eléctrico para el tablero - Elaboración propia.

E. Diseño

- Realiza un diseño de la máquina, incluyendo planos, esquemas eléctricos y especificaciones técnicas.

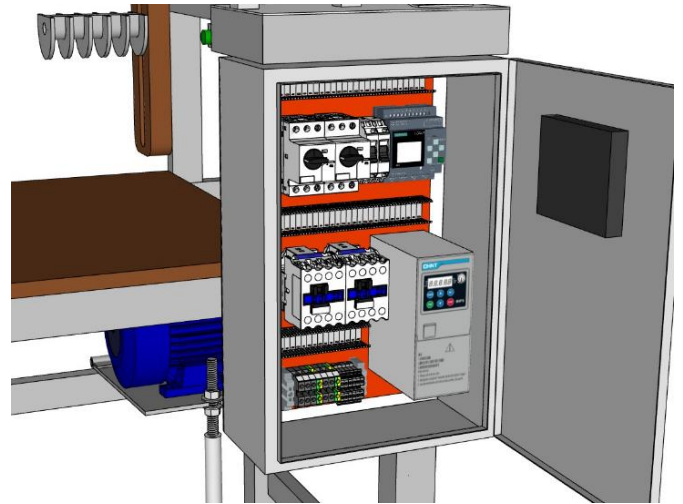


Fig. 5 Montaje del Tablero eléctrico - Elaboración propia.

F. Construcción y montaje

- Fabrica o adquiere los componentes necesarios y ensambla la máquina según las especificaciones del diseño.

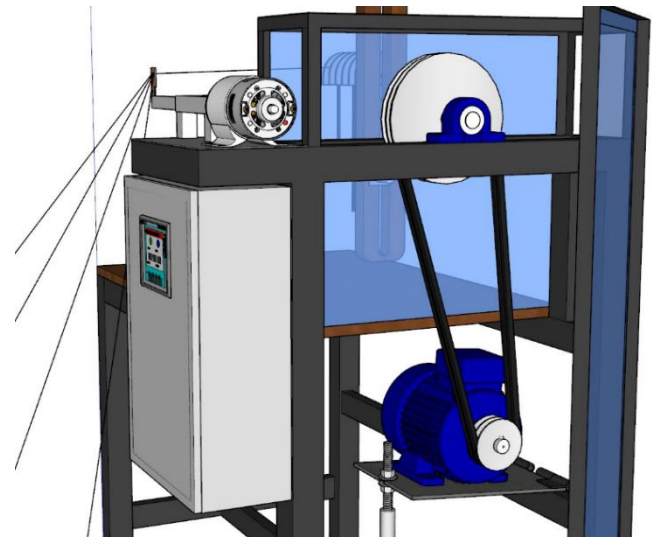


Fig. 6 Ejecución montaje del eje que se ayuda en base regulable para la fijación correcta de la faja - Elaboración propia.

G. Desarrollo de software y control

- Diseñar y programar el software de control para la máquina bobinadora.
- Hay que asegurar que el sistema de control pueda gestionar la velocidad, la tensión y otros aspectos críticos del bobinado.

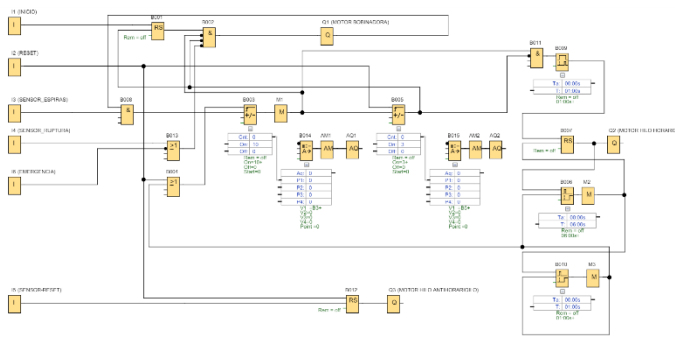


Fig. 7 Estructura de la programación en PLC Logo en el que se relaciona con todos los componentes eléctricos de entradas y salidas para la ejecución del prototipo - Elaboración propia

H. Ajuste

- Realiza ajustes y refinamientos según sea necesario.

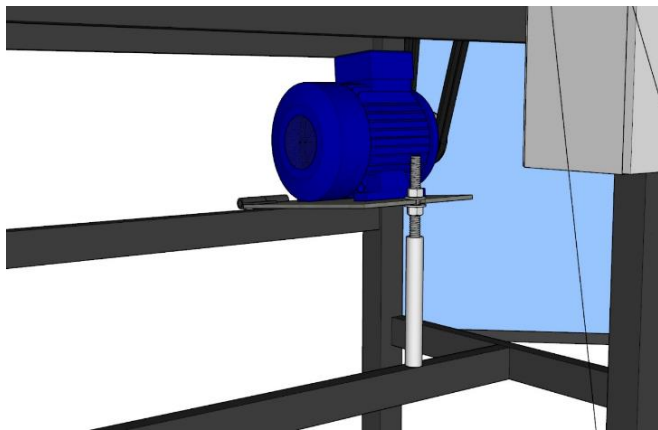


Fig. 8 Calibración y ajuste de la faja transmisora - Elaboración propia

IV. TÉCNICAS

Implica el uso de diversas técnicas para crear un producto eficaz y funcional.

A. Estándares y regulaciones

Se deben seguir normativas y estándares industriales, como las directrices de seguridad y calidad, para garantizar que la máquina cumpla con los requisitos legales y de seguridad.

B. Diseño ergonómico

La ergonomía es crucial para garantizar la seguridad y la comodidad de los operadores. Herramientas como el software de análisis ergonómico ayudan a diseñar estaciones de trabajo eficientes.

C. Pruebas y análisis

- Equipos de prueba, como máquinas de ensayo universal, se utilizan para evaluar la resistencia y el rendimiento de componentes y conjuntos.
- El análisis de vibraciones y la termografía infrarroja son técnicas que pueden aplicarse para detectar problemas potenciales en funcionamiento.

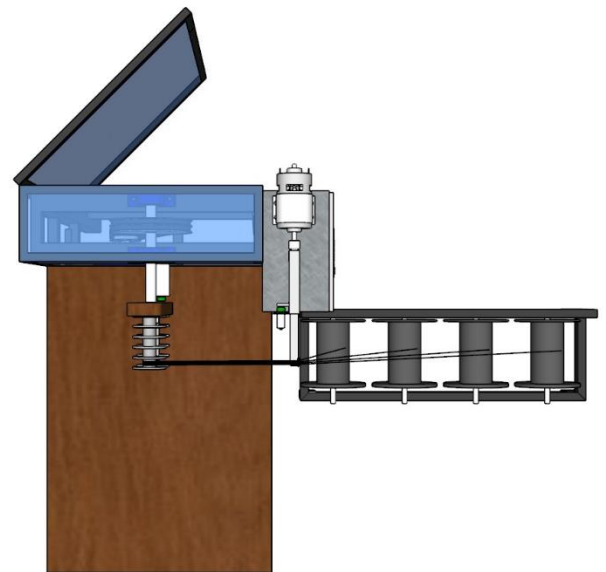


Fig. 9 Sistema de calibración relacionados a los sistemas por fase de grupo y tensión de los bobinados - Elaboración propia.

V. INSTRUMENTOS

El diseño de una máquina bobinadora automática implica el uso de diversas herramientas para lograr un producto eficiente y funcional.

A. Diseño asistido por computador (Sketchup)

- Software que permite crear modelos 2D y 3D detallados de la máquina.

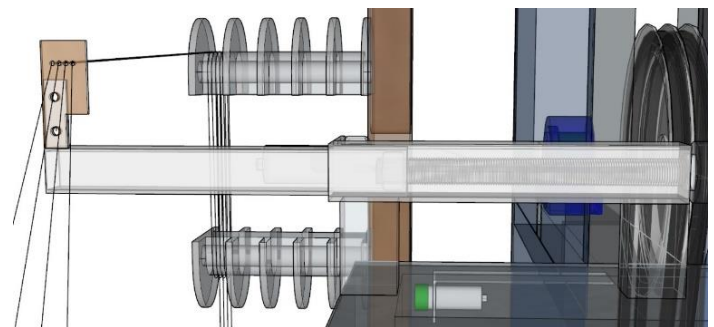


Fig. 10 detalle interno del sistema mecánico para centrar el hilo conductor - Elaboración propia.

- Facilita la visualización, modificación y análisis del diseño, además de generar planos técnicos precisos.

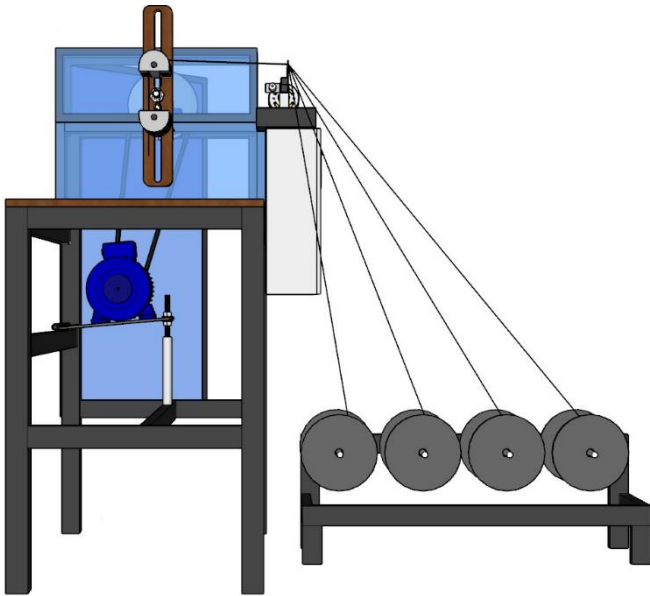


Fig. 11 Estructura para los carretes de los hilos conductores - Elaboración propia.

B. Sensores

- Se utilizan sensores de posición, velocidad, tensión, temperatura, entre otros, para monitorear y controlar diversos parámetros del proceso de bobinado.
- Los instrumentos de medición, como calibradores y micrómetros, se emplean para verificar la precisión de las dimensiones de los componentes.

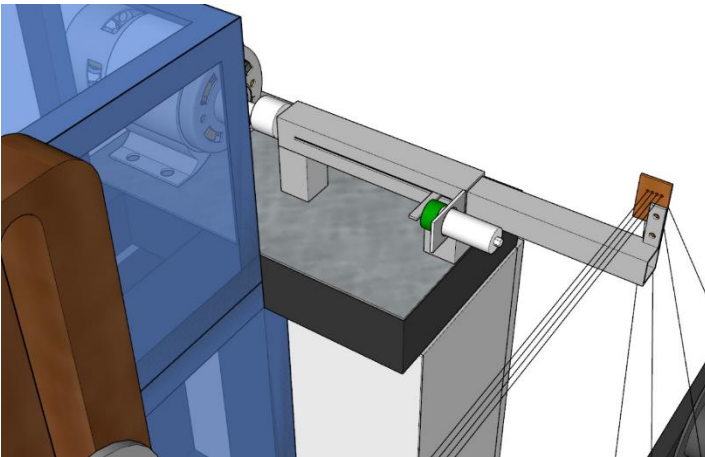


Fig. 12 Aplicación del sensor de reinicio del ciclo para un nuevo grupo de bobina - Elaboración propia.

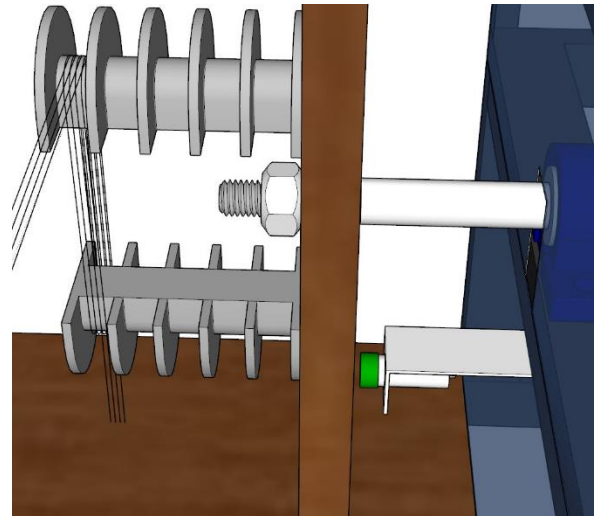


Fig. 13 Aplicación del sensor conteo del número de espiras - Elaboración propia.

C. Automatización y control

- Controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de control basados en microcontroladores son esenciales para automatizar la máquina.

D. Prototipo rápido

- La impresión 3D y otros métodos que permiten crear prototipos físicos de componentes antes de la producción final.
- Esto facilita la validación del diseño y la detección temprana de posibles problemas.

VI. RESULTADOS

La implementación y pruebas del prototipo de la máquina rebobinadora han producido resultados significativos en varios aspectos clave, destacando su impacto positivo en la eficiencia operativa y en la salud ocupacional. A continuación, se detallan los principales hallazgos:

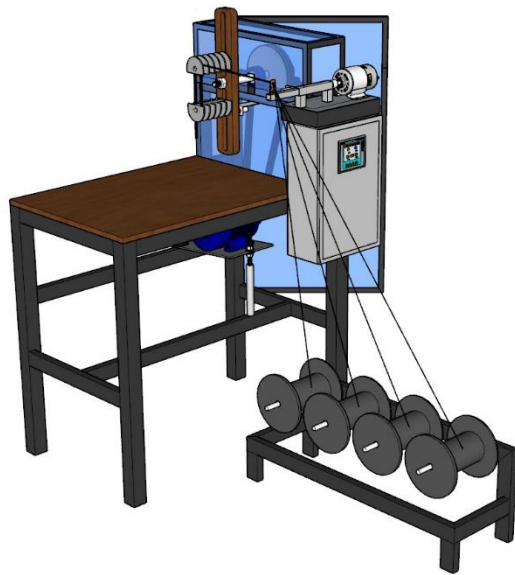


Fig. 14 Prototipo final que concluye con todos los equipos ensamblados que otorgan varios aspectos claves. – Elaboración propia

La máquina bobinadora controla el proceso de enrollado, asegurando la disposición correcta y la cantidad adecuada de vueltas del material alrededor del núcleo, lo que resulta en una distribución uniforme y coherente del material.

La nueva máquina rebobinadora tendrá una notable capacidad para disminuir el estrés laboral entre los operarios. La automatización de procesos críticos reduce la carga de trabajo manual, proporcionando un entorno más relajado y productivo.

Reducción significativa en el tiempo de producción de las bobinas. El prototipo optimiza los ciclos de producción, logrando una mayor velocidad sin comprometer la calidad del producto final.

La tecnología avanzada incorporada en el prototipo asegura una exactitud superior en el conteo de las bobinas. Esto se notará en la disminución de desperdicios, permitiendo un uso más eficiente de los materiales y mejorando la sostenibilidad del proceso y contaminación ambiental.

La máquina cuenta con un panel HMI (Human-Machine Interface) intuitivo, que facilita su manejo incluso para operarios con poca experiencia. Esta interfaz simplificada mejora la eficiencia operativa y reduce los errores humanos.

Permite ajustar factores como la tensión del hilo conductor, la velocidad de enrollado y la densidad de la bobina para adaptarse a diferentes tipos de materiales y requisitos específicos de producción.

Suele contar con sistemas automatizados, incluyendo sensores y controladores lógicos, que supervisan y regulan el proceso de bobinado para asegurar la consistencia y minimizar errores.

Se utiliza en diversas industrias, como eléctrica, electrónica, para producir bobinas que se puedan emplear en transformadores de pequeñas potencias, motores.

El diseño ergonómico del prototipo contribuye significativamente a la reducción de enfermedades ocupacionales. Los operarios tendrán una disminución en las molestias físicas y una mejora en su bienestar general, atribuible a la menor demanda física del proceso.

La máquina bobinadora no solo garantiza la calidad y uniformidad de las bobinas, sino que también contribuye a una mayor eficiencia en la producción al agilizar el proceso y reducir el desperdicio de material.

El prototipo ha sido diseñado conforme a los más altos estándares de calidad, seguridad y salud en el trabajo.

VII. CONCLUSIONES

Mantener un enfoque en la mejora continua de la eficiencia operativa mediante la revisión regular de procesos y la identificación de áreas adicionales donde la automatización podría aplicarse para reducir aún más los tiempos de producción y los costos operativos.

Hay que asegurar que el entorno de trabajo alrededor de la bobinadora automática esté diseñado ergonómicamente. Esto incluye la altura y disposición de los controles, el acceso fácil a las áreas de trabajo y la optimización de los movimientos repetitivos.

Nos presenta en mejora de la contaminación ambiental, dado que la automatización ha contribuido reduciendo el desperdicio de materiales y optimizando su uso, lo cual es clave para minimizar el impacto ambiental y promover prácticas más sostenibles en la industria.

VIII. REFERENCES

- [1] Castillo Romero, F., Medina Cervantes, J., Barojas Payán, E., Juárez Rivera, V. & Villafuerte Díaz, R. (2020). *Sistema automatizado controlado por un ESP32 para medir la producción de una máquina bobinadora de hilo*. <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=1930a11f-508c-4c2e-8c77-f1dc7df0d22d%40redis>
- [2] Adame-Delgado, R., Favela-Herrera, R.A. Reynoso-Segovia, A (2017). *Máquina bobinadora semiautomática de mínimo error*. (75-80). <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2017/13%20M%C3%A1quina%20Bobinadora%20Semiautom%C3%A1tica%20de%20M%C3%ADnimo%20Error.pdf>.
- [3] Alan Neill, D., & Cortez Suárez, L. (2017). *Procesos y fundamentos de la investigación científica*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12498/1/Procesos-y-FundamentosDeLainvestigacionCientifica.pdf>
- [4] Olivera, R. C., Cosgalla, J. J. M., & Sánchez, F. D. *Los métodos experimentales y su importancia en la enseñanza de la ingeniería mecánica como complemento al diseño asistido por computadora*.

- https://www.revistaelectronicaipn.org/ResourcesFiles/Contenido/26/TECNOLOGIA_26_001016.pdf
- [5] Patiño-Duque. H. D., López-Posada. L. m. & Mosquera-Angulo. E.S. (2017). *Metodología de diseño y modelado de un accionamiento mecánico*. (24-33). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6018643.pdf>.
- [6] Erazo-Velasaco. I.E., Chere-Quiñones. B.F., Anchundia-Morales. J.C. Martínez-Peralta. A.J. (2023). *Diseño y modelado de un variador de velocidad para motores trifásicos en MATLAB/Simulink* (267-276). <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i6.2330>.
- [7] Liu, J., Aydim, M., Akyuz, E., Arslan, O., Uflaz, E., Emek Krut, R. & Turan, O. (2021). *Prediction of human-machine interface (HMI) operational errors for maritime autonomous surface ships (MASS)* <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=75&sid=91c137b1-b560-43a2-ad04-e48330eea1e1%40redis>
- [8] Ramos Peña D., Medina Cervantes J., Villafuerte Díaz R., Barojas Payán E. & Juárez Rivera V. (2020). *Implementación de un sistema automatizado basado en PLC para medir la producción* (742-747) <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=7b143e6d-5fba-49cc-b12d-f9094d49c8ce%40redis>
- [9] Quezada-Quezada J., González-Cadena M., Flores-García E. & Bautista-López J. (2018). *Sistema HMI-PLC-ADF-Motor CA para control de velocidad* (1-15) <https://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v19n4/1405-7743-iit-19-04-e040.pdf>
- [10] Murillo Martínez, H., Pulido Ruiz, H. & Raymundo Villareal, J. (2018). *Sistema de conveyors didáctico de manufactura automatizado*. <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=38&sid=91c137b1-b560-43a2-ad04-e48330eea1e1%40redis>
- [11] Pham, D. & Htay, L. (2019). *Control system connectivity update: Digitalization requires communication hubs, a role well-suited to PLCs and HMIs*. <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=53&sid=91c137b1-b560-43a2-ad04-e48330eea1e1%40redis>
- [12] Vargas- Barbosa, J., Castrillón, O. & Giraldo-García, J. (2022). *Modelo de simulación de eventos discretos y emulación de sensores para mejorar una ruta de transporte rural al reducir los tiempos de espera*. <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=81&sid=91c137b1-b560-43a2-ad04-e48330eea1e1%40redis>
- [13] Ramos Galarza, C. (2020). Los alcances de una investigación. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7746475.pdf>
- [14] Mayoral Lagunes, R, Juárez Abad, J., Aguilar López, A., Linares Flores, J. & Barahona Ávalos, J. (2019). *Control de velocidad de un motor síncrono de imanes permanentes accionado por un inversor trifásico multinivel*. <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=2099d603-41f6-48fa-9124-f7afb0778119%40redis>
- [15] Ruelas Santoyo, E. A. & Cardiel Ortega, J. J. (2019). *Estimación de parámetros operativos eficientes enfocados a la fabricación de bobinas eléctricas empleando un diseño experimental* <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=17&sid=91c137b1-b560-43a2-ad04-e48330eea1e1%40redis>
- [16] Hernández Sampieri, R., Fernández Callado, C., Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20BaptistaMetodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>