

Desarrollo de algoritmo para incrementar la productividad de rebobinado de motores eléctricos de 3HP en la empresa Sermel Líder.

Development of an Algorithm to Increase the Productivity of Rewinding 3HP Electric Motors at the Sermel Líder Company.

Abraham Leandro Torres Huaylla ¹



DOI: <https://doi.org/10.26495/hs3np606>

Resumen

El presente artículo tuvo como objetivo desarrollar un algoritmo para incrementar la productividad del rebobinado de motores eléctricos de 3HP en la empresa Sermel Líder, alineado con los objetivos del desarrollo sostenible especialmente con la acción por el clima, al promover la preservación de los recursos empleados en el proceso de rebobinado como una forma de reutilización. Debido a la falta de una base de datos y errores en los cálculos manuales, se desarrolló un algoritmo programado que optimiza el cálculo de los devanados de las bobinas del motor. La investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental y un alcance descriptivo. Se utilizaron técnicas de observación y análisis documental, utilizando como instrumento una ficha de registro. La población estudiada incluyó 50 motores eléctricos asíncronos de 3HP, analizados antes y después de la implementación del algoritmo. Los principales resultados mostraron que el algoritmo incrementó la productividad en partes clave del proceso de rebobinado de motores eléctricos asíncronos. Esto permitió pasar de 0,38me/h, cuando se utilizaban cálculos manuales, a 1me/h, logrando un incremento del 167% en la productividad clave del proceso. En conclusión, la implementación del algoritmo incrementó el proceso clave de rebobinado al reducir el tiempo necesario para completar el trabajo y asegurar que los cálculos fueran más precisos. Además, facilitó la recolección de información para la complementación de la base de datos. Esto resultó en una disminución del tiempo de trabajo y en una reducción de costos, asegurando un rebobinado de motores eléctricos más efectivo.

Palabras clave:

Algoritmo, cálculo, electricidad, procesamiento de datos, productividad.

Abstract

The objective of this article was to develop an algorithm to increase the productivity of rewinding 3HP electric motors in the Sermel Líder company, aligned with the objectives of sustainable development, especially with climate action, by promoting the preservation of the resources used in the rewinding process as a form of reuse. Due to the lack of a database and errors in manual calculations, a programmed algorithm was developed that optimizes the calculation of the motor coil windings. The research was carried out under a quantitative approach, with an experimental design and a descriptive scope. Observation and documentary analysis techniques were used, using a record sheet as an instrument. The studied population included 50 3HP asynchronous electric motors, analyzed before and after the implementation of the algorithm. The main results showed that the algorithm increased productivity in key parts of the asynchronous electric motor rewinding process. This allowed us to go from 0.38me/h, when manual calculations were used, to 1me/h, achieving a 167% increase in the key productivity of the process. In conclusion, the implementation of the algorithm increased the key process of rewinding by reducing the time needed to complete the work and ensuring that the calculations were more accurate. In addition, it facilitated the collection of information to complement the database. This resulted in a decrease in working time and a reduction in costs, ensuring more effective rewinding of electric motors.

Keywords:

Algorithm, calculation, data processing, electricity, productivity.

¹ Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú, abtorreshu@ucvvirtual.edu.pe.

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería y el mantenimiento industrial, la optimización de procesos es clave para la sostenibilidad y competitividad de las empresas. En este contexto, Sermel Líder enfrenta un desafío crítico; aumentar la productividad en el rebobinado de motores eléctricos, un proceso fundamental para la operación y competitividad de la empresa. Sin embargo, la empresa enfrenta problemas recurrentes relacionados con motores que carecen de placas de datos o presentan alteraciones provenientes de otros talleres, lo que dificulta la estandarización en el rebobinado. Estas limitaciones generan excesivas, reducción de potencia de corriente y sobrecalentamiento (Ortiz, 2020), afectando la calidad del servicio y la competitividad de la empresa, (Silva et al., 2021).

La importancia de abordar esta problemática también radica en su conexión con la sostenibilidad. El proceso de rebobinado de motores fomenta la reutilización de recursos, minimizando residuos y promoviendo prácticas alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, como la acción por el clima (Ramírez et al., 2022). Además, en los últimos años, la eficiencia energética de motores eléctricos ha sido estandarizada a nivel global mediante la norma IEC 60034-30-1, la cual regula la clasificación de eficiencia energética y ha sido adoptada por empresas del sector como base para mejorar la productividad y la sostenibilidad (Fong et al., 2020).

Ante este panorama, las empresas de rebobinado, como Sermel Líder, reconocen la necesidad de incorporar tecnologías avanzadas que no solo optimizan el trabajo, sino también reduzcan los tiempos de producción y mejoren la calidad del servicio (Palomares y Torres, 2023). El diseño y cálculo de los devanados son aspectos importantes, ya que afectan directamente el rendimiento y la eficiencia energética del motor. Alteraciones en el número de vueltas o en la disposición de los alambres de cobre pueden generar fallos operativos que disminuyen la vida útil del motor (Báez et al., 2020)

Para abordar estos desafíos, este artículo tiene como objetivo desarrollar un algoritmo que incremente la productividad del proceso de rebobinado de motores eléctricos de 3HP en Sermel Líder. Este algoritmo permite calcular e iterar de manera precisa los devanados, utilizando una base de datos históricos de la empresa para garantizar resultados estandarizados. Esto no solo optimiza los métodos de trabajo, sino que también mejora la competitividad de la empresa al asegurar la calidad, reducción del tiempo de entrega de los motores eléctricos rebobinados.

2. ANTECEDENTES

A partir de una búsqueda exhaustiva de trabajos relacionados con el incremento de la productividad y el desarrollo de algoritmos, se han identificado referencias significativas que destacan el papel de estas herramientas en la optimización de procesos industriales. Entre ellas, destaca el estudio de Guerrero (2024), realizado en Ecuador, que abordó el aumento de la eficiencia de generadores síncronos de polos salientes en centrales hidroeléctricas. Mediante una metodología mixta que combinó cuestionarios y entrevistas semiestructuradas a ingenieros y técnicos especializados, se implementó un algoritmo que no solo mejoró la precisión en la evaluación de la eficiencia de los generadores, sino que también redujo significativamente las pérdidas económicas. Este estudio subraya la relevancia de los algoritmos en la optimización de procesos industriales complejos, demostrando su aplicabilidad en diversos entornos técnicos, incluido el rebobinado de motores eléctricos.

Por otro lado, Raziee et al. (2023)) exploran la optimización del diseño de devanados en motores eléctricos de inducción, empleando métodos analíticos avanzados y simulaciones computacionales. En la investigación presentaron una ecuación más precisa para calcular el factor devanado en configuraciones de ranura fraccionada de una sola capa, mejorando significativamente la precisión en el diseño y optimizando la eficiencia energética de los motores. Los hallazgos de esta investigación resaltan cómo las herramientas computacionales pueden ser utilizadas para innovar en procesos técnicos, ofreciendo una base teórica sólida para la aplicación de algoritmos en el rediseño y optimización de devanados en motores eléctricos.

En esta misma línea Vargas (2022), desarrolló una bobinadora semiautomática que logró reducir los tiempos y costos asociados al rebobinado de motores eléctricos de baja tensión en la empresa SIEM. Mediante entrevistas con técnicos y operadores, identificó problemas críticos en los procesos tradicionales de rebobinado, lo que permitió diseñar una solución tecnológica que mejoró sobresaliente la eficiencia operativa. Este antecedente enfatiza cómo las innovaciones tecnológicas pueden impactar directamente en la productividad, sentando las bases para la implementación de herramientas como algoritmos en procesos de producción similares.

En ese contexto García (2024)) investigó en SENATI, Lima, la relación entre competencias técnicas en el rediseño de devanados y el uso de software especializado en motores eléctricos de corriente alterna. Su enfoque cuantitativo reveló una conexión significativa entre la formación técnica y la aplicación de herramientas digitales, destacando que el uso de software mejora la precisión y reduce errores en el diseño de vanados. Este estudio es particularmente relevante en el contexto de la empresa Sermel Líder, ya que subraya el potencial de las tecnologías avanzadas para mejorar competencias técnicas y optimizar procesos productivos.

Asimismo, Garcia (2023) realizó un estudio en 3K Servicios Generales EIRL, proponiendo mejoras en la fabricación de pinos y bocinas para incrementar la productividad mediante la optimización del uso de mano de obra y maquinaria. Este enfoque permitió elevar la productividad del 85% al 92%, demostrando cómo la reingeniería de procesos puede impactar positivamente en la eficiencia. Estos conceptos son aplicables al rebobinado de motores eléctricos, donde el diseño de algoritmos puede cumplir un papel fundamental para maximizar el uso de recursos disponibles.

Por último, en el área de mejora continua, se hallaron investigaciones que demuestran cómo la implementación de herramientas como Lean Manufacturing y el análisis de datos operativos pueden aumentar significativamente la productividad en empresas industriales. Peña (2023) logró una reducción del 16% en tiempos de producción aplicando la metodología de las 5S, mientras que De la Cruz Escobedo y Ventura (2023) evidenciaron un incremento del 19.90% en la productividad mediante cambios operativos específicos. Estos resultados destacan la importancia de estandarizar procesos y aplicar metodologías innovadoras, principios que pueden ser extendidos al diseño de algoritmos para el rebobinado de motores eléctricos en Sermel Líder.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de investigación

La investigación realizada fue de naturaleza aplicada, también conocida como utilitaria, ya que abordó problemas específicos con soluciones prácticas y rápidas, como lo describe, (Baena, 2017). Este enfoque fue elegido para proporcionar respuestas inmediatas a los desafíos en la productividad del rebobinado de motores eléctricos en la empresa Sermel.

Diseño de investigación

El diseño adoptado fue cuasiexperimental, según Hernández y Mendoza (2018), dado que los elementos de estudio no fueron seleccionados aleatoriamente, sino que ya estaban determinados antes de la intervención. Este diseño permitió trabajar con los motores eléctricos disponibles en la empresa Sermel, lo que facilitó la implementación del algoritmo para mejorar la productividad del proceso de rebobinado.

Método de investigación

El estudio se basó en el método científico cuantitativo, que se centra en la recopilación y análisis de datos numéricos para validar hipótesis, como señalan (Hernández y Mendoza, 2018). Este enfoque permitió analizar el comportamiento de las variables estudiadas y comparar los datos obtenidos a partir del algoritmo con información preexistente, con el objetivo de minimizar el margen de error y asegurar la validez de los resultados.

Variables

Variable Independiente: El *algoritmo* de optimización de la productividad en el proceso de rebobinado.

Variable Dependiente: La *productividad* medida en términos de eficiencia y tiempo de rebobinado, la cual fue operacionalizada y detallada en los anexos correspondientes.

Población

La población “Es un conjunto limitado o inmenso de componentes específicos comunes sobre las cuales se aplicarán los resultados de la investigación”, Según (Arias et al., 2022, p. 93). La población de estudio estuvo constituida por 50 motores eléctricos de 3 HP, los cuales fueron intervenidos en un periodo de 10 meses, de acuerdo con los requerimientos de los clientes de la empresa Sermel. Se incluyeron en el estudio todos los motores eléctricos asíncronos de corriente alterna (AC) con una potencia nominal de 3 caballos de fuerza (3 HP), mientras que se excluyeron los motores monofásicos, los motores de corriente continua (DC) y aquellos trifásicos de corriente directa que también se encontraban en la empresa.

Muestra

La muestra es “Es la parte de la población que se selecciona, de la cual realmente se obtiene la información para el desarrollo del estudio y sobre la cual se efectuarán la medición y la observación de las variables objeto de estudio”, según (Bernal, 2010, p. 161), se constituyó por los motores eléctricos de 3 HP (AC) durante el periodo comprendido entre octubre de 2023 y agosto de 2024, evaluados antes y después de la implementación del algoritmo.

Unidad de análisis

La unidad de análisis, “se refiere a los sujetos que serán evaluados. Por lo tanto, la unidad de análisis del estudio”, Según (Hernández et al., 2006, p. 409). La unidad de análisis fue cada motor eléctrico de 3 HP (AC) después del estudio de los 5 motores sobre el cual se aplicó el algoritmo para incrementar la productividad en el proceso de rebobinado.

Técnica

La técnica es “el recabar información es el proceso de reunir datos sobre variables relevantes en una muestra”, Según (Hernández y Mendoza, 2018). Para la recolección de datos, se empleó la técnica de observación, acompañada del análisis documental.

Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos, “son herramientas utilizados para recolectar información a través de preguntas o ítems que requieren una respuesta por parte de los expertos”, Según (Ñaupas et al., 2018).

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron:

Fichas de Registro: Para documentar las características técnicas y el desempeño de los motores.

Cronómetro: Para medir el tiempo de cada fase del proceso de rebobinado.

Vernier y Flexómetro: Para realizar mediciones precisas de las dimensiones de los motores.

Algoritmo de Cálculo: Para procesar los datos técnicos de los motores y calcular parámetros como la cantidad de espiras por ranura y la sección del conductor. Los resultados fueron introducidos y procesados a través de una plataforma automatizada (Anexo D1).

Validez

La validez, “es un instrumento preciso que evalúa lo que se desea medir; en resumen, la validez está vinculada al proceso de medición”, (Ñaupas et al., 2018). La validez de los instrumentos fue verificada a través de juicios de expertos pertenecientes a la Universidad César Vallejo (UCV), quienes analizaron su adecuación y pertinencia, siguiendo los criterios de importancia, comprensión y adecuación

Procedimientos

El proceso de recolección de datos comenzó con la coordinación con la gerencia de Sermel para obtener acceso a los motores eléctricos y la solicitud del historial de los motores de 3 HP, lo que permitió comparar modelos y frames. Se aplicaron las normas IEC 60034 para asegurar que la instalación y el mantenimiento de los

motores que cumplan con los estándares internacionales de calidad y seguridad. La recolección de datos se realizó mediante técnicas de observación y análisis documental, utilizando herramientas de medición precisas como vernier, flexómetro y cronómetro. Estas herramientas fueron fundamentales para mediciones exactas de los motores y asegurar la confiabilidad de los datos registrados.

Métodos de análisis de datos

El análisis de los datos se realizó mediante un cuadro de cálculo en Excel con macros, que permitió procesar y analizar los datos obtenidos para determinar aspectos clave como la cantidad de espiras por ranura, el tipo de bobinado y la sección del conductor. Para mejorar la eficiencia del análisis, se implementó un algoritmo desarrollado en Visual Basic (VB), que aplicó iteraciones para analizar los datos y buscar la solución óptima en base a las fórmulas matemáticas programadas (Anexo A2).

Este algoritmo procesa la información utilizando las fórmulas correspondientes a la sección del devanado, las aspiraciones por ranura y el calibre en American Wire Gauge (AWG). Su implementación permitió reducir significativamente los tiempos de cálculo manual, incrementando así la productividad del proceso de rebobinado. Además, la integración del algoritmo con cálculos iterativos en Excel garantizó una mayor precisión en los resultados y facilitó la toma de decisiones basadas en datos confiables.

Con la implementación del algoritmo, se consolidó una base de datos robusta, centralizando toda la información histórica de los motores intervenidos. La digitalización de los registros ha eliminado la dependencia de documentos en papel, que son propensos al deterioro, y ha mejorado la trazabilidad y el acceso a los datos relevantes. Esta base de datos no solo facilita la toma de decisiones en tiempo real, sino que también optimiza el análisis de tendencias y mejora la gestión de futuros proyectos.

Los métodos descritos permitieron analizar de manera precisa el estado inicial del proceso de rebobinado, estableciendo una línea base para evaluar las mejoras implementadas. Posteriormente, la implementación del algoritmo permitió desarrollar datos comparativos que evidencian los resultados de antes y después, como se detalla a continuación

4. RESULTADOS

Análisis de productividad inicial de rebobinado de motores eléctricos

La siguiente Tabla 1 muestra la cantidad de equipos que se producían al realizar el servicio de rebobinado mensualmente. El tiempo variaba relativamente dependiendo de las características y el estado en que se encontraba el equipo eléctrico, lo que conllevaba a la solicitud de las Unidades Mineras

Tabla 1. Productividad inicial del proceso de rebobinado de motores.

| Ítems | Año | Fecha | Motores Rebobinados (unidades) | Tiempo Empleado (horas) | Productividad (m/h) |
|-------|------|-----------|--------------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | 2023 | Octubre | 5 | 13.3 | 0.38 |
| 2 | 2023 | Noviembre | 4 | 10.7 | 0.38 |
| 3 | 2023 | Diciembre | 7 | 18.7 | 0.38 |
| 4 | 2024 | Enero | 3 | 8.0 | 0.38 |
| 5 | 2024 | Febrero | 6 | 16.0 | 0.38 |
| TOTAL | | | 25 | 67 | 0.38 |

Nota. Tabla que explica el tiempo de estudio inicial.

Fuente: elaboración propia.

Según los datos obtenidos, la productividad del proceso de rebobinado de 25 motores eléctricos, analizada desde octubre de 2023 hasta febrero de 2024, se mantuvo constante en 0.38 motores por hora en todos los meses evaluados (Anexo E1). Este tiempo se expresó en horas hombre trabajadas en la recolección de información, la cual específicamente incidió en la recepción, la toma de datos del bobinado dañado, el pesaje

de nuevas bobinas y la elaboración del informe de protocolo para el rebobinado (Anexo D1). Esto indicó que, independientemente de la cantidad de motores rebobinados o del tiempo empleado, la productividad del proceso fue estable.

Diseñar e implementar el algoritmo de rebobinado de motores eléctricos de 3HP en Sermel

El diseño e implementación del algoritmo automatizó los procesos manuales, los cuales requerían precisión en el conteo de vueltas, la disposición correcta de los hilos y la selección adecuada de materiales. Esto minimizó los errores humanos y redujo los tiempos prolongados de ejecución.

Como se muestra en la Figura 1, esta fue una interfaz gráfica utilizada para registrar y calcular parámetros importantes en el proceso de rebobinado de motores eléctricos de 3HP. Permitió ingresar datos del cliente, características del motor (serie, marca, coseno de ϕ , rendimiento, velocidad y medidas del estator) y facilitaba el cálculo automático de valores como la sección del conductor, las vueltas por ranura y el peso del alambre. También incluía información sobre el inicio del bobinado (número de polos y fases). Esta herramienta optimizó el proceso de recolección de información y mejoró la eficiencia en el cálculo de parámetros eléctricos, reduciendo errores gracias a su base de datos robusta, como se detalló en el flujograma (Anexo A1).



Figura 1. Interfaz de datos geométricos del estator del motor eléctrico.
Fuente: Elaboración propia.

Evidencias el incremento de la productividad posterior al desarrollo del algoritmo

Los datos que se presentan en la Tabla 2 corresponden al resultado del seguimiento realizado durante los 5 meses siguientes a la implementación del algoritmo en esta investigación.

Tabla 2. Incremento de la productividad al implementar el algoritmo.

| Ítems | Año | Fecha | Motores rebobinados (unidades) | Tiempo empleado (horas) | Productividad (me/h) | Incremento de productividad |
|-------|------|-------|--------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 6 | 2024 | Marzo | 4 | 4.0 | 1.0 | 167% |
| 7 | 2024 | Abril | 7 | 7.0 | 1.0 | 167% |
| 8 | 2024 | Mayo | 4 | 4.0 | 1.0 | 167% |
| 9 | 2024 | Junio | 3 | 3.0 | 1.0 | 167% |
| 10 | 2024 | Julio | 7 | 7.0 | 1.0 | 167% |
| TOTAL | | | 25 | 25 | 1.0 | 167% |

Nota. Tabla que explica el tiempo de estudio posterior a la implementación del algoritmo y el incremento.
Fuente: elaboración propia.

Posterior a la implementación del algoritmo, la productividad en el proceso de rebobinado de motores aumentó significativamente a 1.0 motores por hora (me/h) en todos los meses evaluados (Anexo E2), en comparación con la productividad anterior de 0.38 me/h. Esto evidenció que el algoritmo permitió procesar la información para el rebobinado aproximadamente 5 veces más motores por hora, dando un resultado del 167% (Anexo E3). En total, se rebobinaron 25 motores en 25 horas, lo que representó un incremento del 167% de la productividad con respecto a los procesos habituales que se tenían.

Análisis del costo del desarrollo de un algoritmo para incrementar la productividad

En la Tabla 3, se muestra la rentabilidad que genera el proyecto para la empresa en condiciones económicas.

Tabla 2. Análisis económico del desarrollo del algoritmo para incrementar para productividad.

| ANÁLISIS ECONÓMICO | |
|--------------------|----------|
| INVERSIÓN | S/ 3,750 |
| VAN | S/ 3,055 |
| TIR | 46% |
| B/C | 2.5 |

Fuente: Elaboración propia.

El análisis financiero de la Tabla 3 mostró que el proyecto fue rentable. Con un VAN positivo de S/ 3,055, una TIR del 46%, y una relación B/C de 2.5, todos los indicadores sugirieron que el proyecto no solo cubría los costos de inversión de S/ 3,750, sino que también generaba un retorno considerable. La comparación de la TIR con la tasa de interés del 12% resaltó que el proyecto tuvo un margen de ganancia significativo, lo que lo convirtió en una inversión razonable para la empresa Sermel, en un mayor detalle se puede apreciar las comparaciones en el (Anexo D1).

5. DISCUSIÓN

En esta pesquisa, el objetivo específico primera fue evaluar la productividad inicial del rebobinado de motores eléctricos de 3HP en Sermel. La productividad en procesos industriales depende del uso eficiente de tecnologías, equipos certificados y la estandarización de los procesos. Según Ramírez et al (2022) la productividad mediante se evalúa mediante el cociente entre resultados y recursos, subrayando la importancia de la estandarización y la tecnología para reducir tiempos inactivos y errores, lo que mejora la eficiencia. En este estudio, la productividad inicial se evaluó a lo largo de cinco meses, en consecuencia, los resultados mostraron una productividad de 0.38 m/h en el procesamiento de la información para el rebobinado, calculada en base a los motores analizados con las horas hombre ejecutadas, determinando un volumen de 25 unidades.

Al comparar estos resultados con estudios previos, se observan algunas diferencias. Loayza (2019) reportó que, antes de implementar capacitaciones, rebobinaba 6 motores al día, con un tiempo promedio de 577 minutos para procesos de desmontaje, tratamiento térmico y pruebas eléctricas. En Sermel, el tiempo estándar general fue de 815 minutos, y en el punto de incidencia específico, 160 minutos. Tras implementar el algoritmo en Sermel, la productividad aumentó a 25 motores diarios en cinco meses. Las diferencias entre ambos estudios se deben, en parte, a que Loayza se centró en la capacitación del personal para mejorar la velocidad de los procesos, mientras que en Sermel la optimización se logró mediante un algoritmo diseñado para mejorar los tiempos de rebobinado. Además, las variaciones en la demanda de clientes provenientes de diferentes unidades mineras afectaron los tiempos y la capacidad productiva en Sermel. En contraste Damas (2022) encontró que la productividad en el servicio de reparación de motores eléctricos de 2 HP fue del 57% antes de estandarizar los procesos. En Sermel, la productividad fue de 0.38 motores por hora, lo que muestra una diferencia significativa en comparación con los porcentajes obtenidos en estudios anteriores. Esta discrepancia puede explicarse por las diferencias metodológicas, ya que Damas enfocó su estudio en la estandarización de procesos, mientras que Sermel no había implementado un enfoque similar. Las variaciones en los métodos de trabajo y en el análisis de unidades de los motores contribuyen a las diferencias observadas en la productividad entre los dos contextos.

En el segundo objetivo específico, se buscó diseñar e implementar un algoritmo para el rebobinado de motores eléctricos de 3HP en Sermel. Un algoritmo es una serie de pasos detallados que orientan la resolución de un problema particular, abarcando desde la entrada de datos hasta la obtención del resultado esperado. La complejidad y eficiencia de estos algoritmos pueden variar según el problema en cuestión, como lo señaló Pérez (2024).

El algoritmo desarrollado facilitó la entrada de datos geométricos del estator cuando la placa de datos del motor no estuvo disponible, y permitió una introducción eficiente cuando la placa estuvo presente. Su implementación generó avances significativos en la precisión y eficiencia del rebobinado de motores, lo cual se alineó con los resultados de estudios previos como los de Báez et al (2020), quien desarrolló un software en C# para el recálculo del enrollado de motores asincrónicos trifásicos, que permitía realizar cálculos precisos con solo las dimensiones geométricas de la máquina. Este software, similar al algoritmo en VBA desarrollado en Sermel, optimizaba el proceso sin requerir personal altamente calificado, lo que resultó en un ahorro significativo de recursos humanos y materiales. Además, Kurilin et al (2024) realizaron un estudio sobre modelos matemáticos y herramientas de software, destacando un algoritmo con dos subrutinas en Maple, adaptado posteriormente a C++ para ampliar su accesibilidad. El algoritmo diseñado en Sermel, aunque más sencillo, se enfocó en el cálculo de devanados de motores eléctricos utilizando fórmulas matemáticas específicas. A pesar de su simplicidad comparativa, demostró ser eficiente para las necesidades de la empresa, permitiendo iteraciones y consultas en la base de datos, lo que optimizó el proceso de rebobinado y mejoró la productividad. Las diferencias en complejidad metodológica entre el algoritmo de Sermel y los modelos más avanzados se deben a las necesidades específicas de la empresa y a los recursos disponibles, resaltando cómo una solución más básica puede ser efectiva en un entorno industrial con requisitos específicos.

En el tercer objetivo específico de la investigación, se buscó evidenciar el incremento de la productividad posterior al desarrollo del algoritmo en el rebobinado de motores eléctricos de 3HP en Sermel. Aumentar la productividad fue un objetivo estratégico esencial para las empresas que desearon mantenerse competitivas en el mercado globalizado. Como señala Ramírez et al (2022) sin un aumento constante en la productividad, los productos o servicios no alcanzan los niveles de competitividad necesarios en el mundo actual.

Tras la implementación del algoritmo, se observó un incremento notable en la productividad, alcanzando 1.0 motores por hora, lo que representó un aumento del 167%. Este resultado evidenció que el algoritmo permitió procesar aproximadamente cinco veces más motores por hora en comparación con el periodo anterior.

Comparando con los resultados obtenidos por Mendoza y García (2024), quién demostró una reducción en el tiempo promedio de reparación del 20%, pasando de 5.78 horas a 4.62 horas. Cotejando estos resultados con los obtenidos en Sermel, donde el tiempo de reparación disminuyó de 2.67 horas a 1.00 hora, una reducción del 63%, se observa una disminución más significativa en Sermel. Las diferencias se deben a la naturaleza de los dispositivos reparados, televisores frente a motores eléctricos y a las metodologías utilizadas en cada estudio, ellos mejoraron procesos generales, mientras que Sermel utilizó un algoritmo específico para rebobinado, optimizando el proceso más profundamente. Por su parte, Bravo (2023), aplicó herramientas Lean como 5S, Andon y tiempo estándar, logrando un aumento en la productividad de 0.26 tn/soles a 0.33 tn/soles. Este aumento es comparable con el incremento observado en Sermel, donde la productividad pasó de 0.38 a 1.0 motores por hora tras la implementación del algoritmo. Aunque Bravo (2023), aplicó métodos Lean y Sermel usó un algoritmo, ambos enfoques reflejan la importancia de adaptar soluciones específicas para mejorar la productividad. Las similitudes en los resultados destacan cómo diferentes estrategias de mejora, ya sea Lean o algorítmica, son efectivas en aumentar la productividad en diversos ámbitos industriales.

En el cuarto objetivo específico, se calculó el costo del desarrollo de un algoritmo para incrementar la productividad del rebobinado de motores eléctricos de 3HP en Sermel.

El VAN se considera una herramienta financiera confiable para tomar decisiones y evaluar proyectos de inversión, tanto antes como después de su ejecución, Rebollar & Posadas (2020). La TIR de un proyecto es la tasa de descuento que hace que el VAN sea cero y representa la rentabilidad generada para los inversionistas. Es el método más utilizado para el análisis de inversiones en proyectos industriales. Silva et al (2024).

El análisis financiero mostró una mejora significativa en la rentabilidad tras la implementación del algoritmo de rebobinado de motores. Antes del programa, la rentabilidad era regularmente buena, con un VAN de S/ 2,514.15 y una TIR del 35%. Después del programa, el VAN aumentó a S/ 3,055 y la TIR a 46%, lo que reflejó un incremento en los beneficios generados por cada sol invertido. La relación Beneficio/Costo también mejoró de 1.18 a 2.5, indicando que el programa hizo que la inversión fuera mucho más rentable. Estos resultados destacaron la eficacia del programa en mejorar la productividad y la rentabilidad.

En la investigación desarrollada por Guimarey et al (2021), determinaron una relación beneficio-costo de 1.85, indicando una ganancia de 0.85 soles por sol invertido. En contraste, el presente estudio estimó una relación de 2.5, superando significativamente el valor anterior. Esta mejora se debe a la incorporación de técnicas adicionales y un algoritmo específico para optimizar la productividad. Las diferencias en los procesos y metodologías explican el incremento en el beneficio-costo, destacando el valor agregado de las innovaciones implementadas. Por otro lado, García (2023) reportó una evaluación financiera con un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 4,621.37, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 33% y un índice de rentabilidad (IR) de 1.69. En comparación, el presente estudio mostró una relación beneficio-costo de 2.6 y una TIR del 46%, indicando un mayor retorno sobre la inversión. Las diferencias pueden explicarse por la variación en la ejecución del proyecto y la optimización de los procesos implementados en el estudio actual, que superó las métricas financieras reportadas por García.

Finalmente, en el objetivo general se desarrolló un algoritmo para incrementar la productividad del rebobinado de motores eléctricos de 3HP en Sermel.

El algoritmo se ajustó a las deficiencias observadas en el proceso de rebobinado, incrementando la productividad mediante la reducción de tiempos, tal como lo señalaron Intriago & Castro (2024), donde Baéz et al (2020), destacaron que su software permitía el recálculo del enrollado de motores utilizando solo las dimensiones geométricas de la máquina, sin requerir personal especializado. En este estudio, nuestro algoritmo coincidió plenamente con esta metodología. Además, la implementación en Sermel incluyó una base de datos que registró de manera confiable los resultados obtenidos durante la producción de motores rebobinados. Esta incorporación de una base de datos mejora la precisión y el seguimiento de la productividad, confirmando la efectividad específica del algoritmo en comparación con los métodos anteriores propuestos por Baéz et al.

6. CONCLUSIONES

La implementación del algoritmo para el rebobinado de motores eléctricos de 3HP en la empresa Sermel marcó un avance significativo en la mejora de la productividad, pasando de 0.38 a 1.0 motores por hora. Este logro fue posible gracias a la reducción de errores humanos y a una mayor precisión en el proceso, aspectos fundamentales para optimizar el desempeño de la empresa en un contexto competitivo.

Este incremento en la productividad se evidencia inicialmente a partir de un análisis histórico realizado con 25 motores, que mostró una tasa de 0.38 motores por hora antes de la implementación del algoritmo. Este diagnóstico no solo reveló la necesidad de mejorar los procesos operativos, sino que también desarrolló una base sólida para evaluar el impacto posterior de las mejoras introducidas. Así, el algoritmo no solo se presentó como una solución, sino como un catalizador para transformar las dinámicas de trabajo existentes.

El desarrollo del algoritmo, programado en VBA, incluyó un enfoque práctico orientado a la facilidad de uso mediante una interfaz gráfica intuitiva. Esta herramienta, además de reducir errores en el ingreso de datos, integra una base de datos robusta que gestiona el historial de motores rebobinados. Gracias a esta funcionalidad, los operadores cuentan con información confiable que no solo facilita el control del proceso, sino que también optimiza la toma de decisiones, alineándose con las necesidades estratégicas de la empresa.

Asimismo, el análisis del desempeño durante el período comprendido entre marzo y julio de 2024 reflejó una reducción significativa en el tiempo de rebobinado, pasando de 165 a 65 minutos por motor. Esta mejora

aumentó permitió la productividad en un 167%, consolidando el impacto positivo de la herramienta implementada. Estos resultados no solo validan la eficacia del algoritmo, sino que también

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Gerente General de la empresa Sermel Líder y grupo laboral por las facilidades brindadas para la realización del trabajo de investigación

REFERENCIAS

- Arias Gonzáles, J. L., Holgado Tisoc, J., Tafur Pittman, T. L., & Vasquez Pauca, M. J. (2022). *Metodología de la investigación*. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la investigación* (Issue 2017). <http://www.editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074384093.pdf>
- Báez Matos, J. F., Hidalgo Arias, R. M., & Jiménez Rodríguez, R. A. (2020). Aplicación informática para recalcular devanado de motores asincrónicos trifásicos rotor jaula de ardilla hasta 110 kw y 660 volt. *Revista científico-educacional de la provincia Granma*. 4(2020), 2074–0735. <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/download/1241/2251/>
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación* (Pearson (ed.)).
- Bravo Fernandez, J. A. (2023). Aplicación de herramientas Lean Manufacturing (5S, Andon y Tiempo Estándar) para el aumento de la productividad en el área de producción de una empresa metalmeccánica. *Industrial Data*, 26(1), 217–245. <https://doi.org/10.15381/IDATA.V26I1.24580>
- Cacho Ortiz, H. D. (2020). *Pruebas eléctricas para máquinas eléctricas rotativas bajo normas ieee y rediseño de devanados estatóricos de motores asincronos* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Digital. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/15658/>
- Damas Davila, F. L. (2022). *Estudio del trabajo para mejorar la productividad del servicio de motores eléctricos en la Corporación Sein Ingenieros S.R.L, Independencia 2022* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio digital. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/118384>
- De la Cruz Escobedo, E. J., & Ventura Felipe, F. A. (2023). Incremento de la productividad de Manantial's Tito EIRL, perfeccionando los métodos de trabajo y la eficacia en su proceso productivo. *Impulso, Revista de Administración*, 3(5), 45–59. <https://doi.org/10.59659/IMPULSO.V.3I4.24>
- Fong, J., Ferreira, F. J. T. E., Silva, A. M., & de Almeida, A. T. (2020). IEC61800-9 system standards as a tool to boost the efficiency of electric motor driven systems worldwide. *Inventions*, 5(2), 1–15. <https://doi.org/10.3390/inventions5020020>
- García Cuadros, R. (2024). *Competencias de rediseño de devanados y software de rediseño de devanados en motores de corriente alterna, propuesta para estudiantes de electricidad industrial de un instituto superior tecnológico de Lima*. [Tesis de grado, Universidad tecnológica del Perú]. Repositorio Digital. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/9168>
- García Quiliche, M. R. (2023). *Diseño de mejora de procesos en el área de producción para incrementar la productividad en la empresa 3K Servicios Generales E.I.R.L.* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Digital. <https://hdl.handle.net/11537/36232>
- Guerrero Ochoa, C. R. (2024). *Diseño e implementación de un algoritmo para el cálculo de la eficiencia de un generador síncrono de polos salientes de eje vertical por el método calorimétrico para una central hidroeléctrica*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Digital. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27661>
- Guimarey López, F. A., Hernández Monsalve, L. L., & Vasquez Coronado, M. H. (2021). Mejora de la productividad empleando la metodología dmaic. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 8(2), 77–91. <https://doi.org/10.26495/icti.v8i2.1907>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación* (McGRAW-HILL (ed.); 6ta ed.).
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de investigación Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. In *Metodolo1. Sampieri R. Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta [Internet]. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. 2018. 1-753 p. Available from: shorturl.at/mwS39* shorturl.at/mwS39
- Intriago, L. M., & Castro, W. G. (2024). Metodología de planificación de la producción para mejorar la

- productividad de una empresa electrónica. *Revista Científica FINIBUS - Ingeniería, Industria y Arquitectura*, 7(14), 77–86. <https://doi.org/10.56124/FINIBUS.V7I14.008>
- Kurilin, S. P., Fedotov, V. V., Savateeva, I. S., & Zakharov, A. V. (2024). Mathematical model for the design of linear asynchronous electric motors and its software implementation. *Journal Of Applied Informatics*, 19(1), 96–112. <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2024-19-1-96-112>
- Loayza Reyes, R. D. (2019). *Mejora de la productividad en el procedimiento del rebobinado de motores eléctricos, en base a la metodología Estudio del trabajo, en la empresa Servicio Eléctrico Industrial EIRL-Talara, 2018* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio digital. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/41365>
- Mendoza Intriago, L., & García Castro, W. (2024). Metodología de planificación de la producción para mejorar la productividad de una empresa electrónica. *Revista Científica y Arbitrada Del Observatorio Territorial, Artes y Arquitectura: FINIBUS*, 7(14), 77–86. <https://doi.org/10.56124/FINIBUS.V7I14.008>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero Delgado, H. E. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Palomares, M., & Torres, A. (2023). VIP optimización de producción en empresa fabricante de motores. *March*.
- Peña Cubas, L. C. (2023). *Propuesta de Aplicación de Lean Manufacturing para mejorar los tiempos de producción en una empresa Electromecánica* [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio digital. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/7102>
- Pérez Tavera, I. H. (2024). Algoritmos para la resolución de problemas. *Vida Científica Boletín Científico de La Escuela Preparatoria No. 4*, 12(24), 14–15. <https://doi.org/10.29057/prepa4.v12i24.12802>
- Ramírez, G., Magaña, D., & Ojeda López, R. N. (2022). Productividad, aspectos que benefician a la organización. *Revista Trascender, Contabilidad y Gestión*, 7(20), 189–208.
- Ramírez Méndez, G. G., Magaña Medina, D. E., & Ojeda López, R. N. (2022). Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica. *Trascender, Contabilidad Y Gestión*, 8(20), 189–208. <https://doi.org/10.36791/tcg.v8i20.166>
- Raziee, S. M., Steinbrink, J., & Ponick, B. (2023). Winding Factor Equation for Main Pattern of Single-Layer Fractional-Slot Distributed Windings. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. <https://doi.org/10.1109/TEC.2023.3341868>
- Rebollar, S., & Posadas, R. R. (2020). Aportes a Indicadores. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 46, 444–463.
- Silva, E., Pinto, D., Ferreira, Ricardo Damasceno, D., Lima, G., Santana, L., & Azevedo, N. (2024). Análise incremental da taxa interna de retorno. *Researchgate*, 1–21. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n8-126>
- Silva, J. G., Macías Hernández, B. A., Tello Leal, E., & Delgado Rivas, J. G. (2021). La relación entre la calidad en el servicio, satisfacción del cliente y lealtad del cliente: un estudio de caso de una empresa comercial en México. *Ciencia UAT*, 15(2), 85–101. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i2.1369>
- Vargas Quinaluisa, G. R. (2022). *Desarrollo de una bobinadora concéntrica semi automática para la reparación de motores eléctricos de baja tensión para la empresa SIEM* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Digital. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23440>

ANEXOS

ANEXO D1

Tabla 4. Proceso de rebobinado en la empresa Sermel Líder.

| ITEM | PROCESO DE REBOBINADO DE MOTOR ELÉCTRICO | TIEMPO | ALG | UND |
|--------------|---|--------|-----|------|
| 1 | Recepción del motor | 15 | 7 | Min. |
| 2 | Medición de aislamiento del motor | 35 | | Min. |
| 3 | Marcado/inspección de áreas para el montaje del motor | 10 | | Min. |
| 4 | Desmontaje de las partes del motor eléctrico | 10 | | Min. |
| 5 | Inspección visual para determinar la causa del problema | 15 | 10 | Min. |
| 6 | calibración de tapas rotor | 30 | | Min. |
| 7 | Corte de la cabeza de la bobina | 30 | | Min. |
| 8 | Toma de datos del estator / rotor | 40 | 15 | Min. |
| 9 | Calentamiento del motor para retirar las bobinas | 30 | | Min. |
| 10 | Extracción de las bobinas | 15 | | Min. |
| 11 | Toma de datos, cantidad de espiras y sección del conductor | 45 | 10 | Min. |
| 12 | Medición del perímetro de la bobina intermedia | 5 | | Min. |
| 13 | Preparación de moldes según la sección y el número de espiras | 75 | | Min. |
| 14 | Pesaje de las nuevas bobinas | 5 | 3 | Min. |
| 15 | Lijado de las ranuras | 60 | | Min. |
| 16 | Limpieza del estator exterior | 10 | | Min. |
| 17 | Colocación de los aislantes Mylar | 25 | | Min. |
| 18 | Montaje de las bobinas según el esquema | 60 | | Min. |
| 19 | Estañado y conexiónado de cables de salida del motor | 40 | | Min. |
| 20 | Calentado del estator para el barnizado | 40 | | Min. |
| 21 | Barnizado de motor eléctrico | 10 | | Min. |
| 22 | Secado del barniz al horno | 25 | | Min. |
| 23 | Limpieza de los excedentes del barniz | 10 | | Min. |
| 24 | Armado de las partes del motor eléctrico | 30 | | Min. |
| 25 | Pintado del motor eléctrico | 20 | | Min. |
| 26 | Pruebas de continuidad y resistencia | 10 | | Min. |
| 27 | Prueba de funcionamiento en vacío | 60 | | Min. |
| 28 | Protocolo de pruebas e informe | 40 | 15 | Min. |
| 29 | Empaquetado y envío | 15 | | Min. |
| TIEMPO TOTAL | | 815 | 60 | Min. |

Nota. En la tabla se menciona los tiempos que se demoran cada actividad y la columna ALG se encuentra la disminución de tiempo que se logró con el algoritmo.

Fuente: elaboración propia

ANEXO D2

Tabla 5. Conversión de tiempos pre y post implementación

| | Tiempos | Min | Horas | % |
|--|--------------------------|-----|-------|------|
| | Tiempo estándar | 160 | 2.67 | 100% |
| | Tiempo con algoritmo | 60 | 1.00 | 38% |
| | Tiempo reducido ahorrado | 100 | 1.67 | 63% |

Nota. En la tabla se comparan los tiempos del proceso estándar con los obtenidos tras implementar el algoritmo.

Fuente: elaboración propia.

Interpretación

Inicialmente, el tiempo estándar fue de 160 minutos (2.67 horas, 100%). Con el uso del algoritmo, el tiempo se redujo a 60 minutos (1.00 hora, 38%), lo que representa un ahorro de 100 minutos (1.67 horas, 63%).

Anexo E1

Las fórmulas empleadas para ver la productividad del antes y después se consideraron de esta forma.

Formula de productividad empleada en las condiciones iniciales del instrumento de recolección de dato.

$$\begin{aligned} \text{PRODUCTIVIDAD} &= \frac{\text{Cantidad de motores rebobinados(Total)}}{\text{Tiempo empleado en horas (total)}} \\ \text{PRODUCTIVIDAD} &= \frac{25}{67} \\ \text{PRODUCTIVIDAD} &= 0.38\text{m/h} \end{aligned}$$

Este resultado viene a ser el tiempo analizado en la recepción del motor, Toma de datos del motor, inspección visual, toma de datos de la cantidad de espira y sección del conductor, pesaje de las bobinas, informe del resultado del protocolo de pruebas, este proceso suma 160 min por cada motor dando un total de 4000 minutos que en horas darían 66.67 horas.

Anexo E2

Fórmula de productividad empleada en las condiciones posteriores a la implementación del algoritmo para el rebobinado del instrumento de recolección de dato.

$$\begin{aligned} \text{PRODUCTIVIDAD} &= \frac{\text{Cantidad de motores rebobinados(Total)}}{\text{Tiempo empleado en horas (total)}} \\ \text{PRODUCTIVIDAD} &= \frac{25}{25} \\ \text{PRODUCTIVIDAD} &= 1\text{me/h} \end{aligned}$$

Este resultado viene a ser el tiempo analizado en la recepción del motor, Toma de datos del motor, inspección visual, toma de datos de la cantidad de espira y sección del conductor, pesaje de las bobinas, informe del resultado del protocolo de pruebas, este proceso suma 60 min por cada motor dando un total de 1500 minutos que en horas darían 25 horas.

Anexo E3

Para desarrollar el incremento del 167% en la productividad se calculó utilizando la fórmula del porcentaje del incremento:

$$\% \text{ Incremento} = \frac{\text{nuevo valor} - \text{antiguo valor}}{\text{Recursos empleados Hantiguo valor}} * 100$$

En este caso, el antiguo valor es la productividad mensual antes de la implementación del algoritmo (0.38mh) y el valor nuevo es la productividad mensual después de la implementación (1.0m/h). Aplicamos la fórmula:

$$\begin{aligned} \% \text{ aumento} &= \frac{1.0\text{m/h} - 0.38\text{m/h}}{0.38\text{m/h}} * 100 \\ \% \text{ aumento} &= 167\% \end{aligned}$$

Anexo D3

En la tabla 6, se puede ver el costo de la mano de obra antes y después de la implementación del algoritmo desarrollado.

Tabla 6. Costos antes y después de la implementación del algoritmo.

| Motores rebobinados (unidades) | Flujo de egresos | | Flujo Caja Neto | |
|-----------------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| | antes | después | antes | después |
| 4 | S/ 704 | S/ 286 | S/ 1,601 | S/ 2,019 |
| 7 | S/ 704 | S/ 286 | S/ 3,330 | S/ 3,748 |
| 4 | S/ 704 | S/ 286 | S/ 1,601 | S/ 2,019 |
| 3 | S/ 704 | S/ 286 | S/ 1,025 | S/ 1,443 |
| 7 | S/ 704 | S/ 286 | S/ 3,330 | S/ 3,748 |
| 25 | S/ 3,520 | S/ 1,430 | S/ 10,888 | S/ 12,978 |

Fuente: elaboración propia.

Interpretación

La implementación del algoritmo se evidenció por la reducción del 59.3% en el flujo de egresos. El aumento del 19.2% en el flujo de caja neto reflejó la reducción del costo de mano de obra de S/ 3,520 a S/ 1,430 para rebobinar 25 motores antes y después. El flujo de caja neto aumentó de S/ 10,888 a S/ 12,978, reflejando una mejora en la rentabilidad del proceso después de la implementación.

Anexo D4

La productividad del proceso de rebobinado de motores eléctricos presentaba apartados donde las demoras eran significativas. Como se observa en la Tabla 7, el tiempo total previo a la implementación del algoritmo era de 160 minutos, tras la mejora este se redujo a 60 minutos.

Tabla 7. Identificación de los puntos de demora con su respectiva mejora.

| Ítem | Proceso de Rebobinado de Motor Eléctrico | Tiempo | Und | Mejora |
|------|---|------------|-------------|-----------|
| 1 | Recepción del motor | 15 | min. | 7 |
| 5 | Inspección visual para determinar la causa del problema | 15 | min. | 10 |
| 8 | Toma de datos del estator / rotor | 40 | min. | 15 |
| 11 | Toma de datos de la cantidad de espiras y sección del conductor | 45 | min. | 10 |
| 14 | Pesaje de las nuevas bobinas | 5 | min. | 3 |
| 28 | Protocolo de pruebas e informe | 40 | min. | 15 |
| | Tiempo total | 160 | min. | 60 |

Fuente: elaboración propia

Interpretación

El algoritmo automatizó tareas críticas, disminuyó considerablemente los tiempos de cálculo y minimizó errores, impactando directamente en la eficiencia del proceso y aumentando la productividad.

Entre las principales demoras identificadas, se encontraba el registro manual de los datos del cliente durante la recepción del motor, donde se necesitaba tiempo adicional para recopilar la información básica. Durante la inspección visual para determinar la causa del problema, se realizaban observaciones que requerían mayor precisión y tiempo. Asimismo, el proceso de toma de datos del estator y rotor, que incluía medidas del diámetro interno, diámetro externo y longitud axial, era especialmente laborioso y propenso a errores.

Otra etapa crítica correspondía a la identificación manual del número de espiras y la calibración de la sección del conductor en las ranuras del motor quemado, donde factores como la impregnación de barniz complicaban la precisión de las mediciones. Además, la preparación del protocolo de pruebas e informe también presentaban retrasos, dado que el protocolo certifica la funcionalidad del motor y exige datos precisos de todas las etapas previas.

En este contexto, se destacó la necesidad de contar con un especialista en el rebobinado de motores eléctricos. Su conocimiento técnico era fundamental no solo para garantizar la precisión en la toma de datos utilizados para alimentar el algoritmo, sino también para interpretar y gestionar los parámetros importantes que aseguran la funcionalidad y la calidad del motor rebobinado. La experiencia de un especialista resultó esencial para implementar con éxito las mejoras automatizadas y validar los resultados obtenidos

Anexo A1

PROCESO DEL ALGORITMO PARA EL DEVANADO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE 3HP

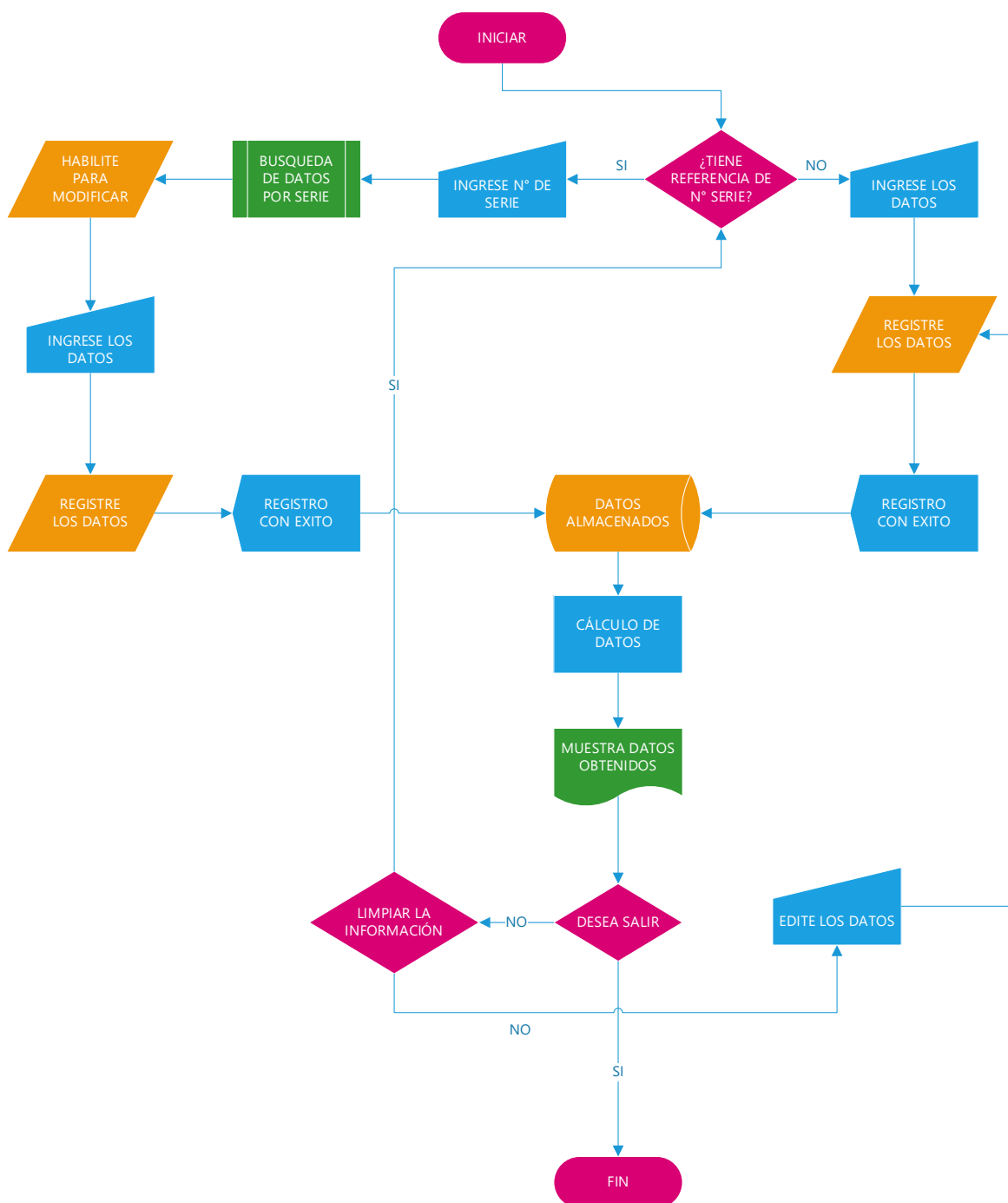


Figura 2. Flujograma de la operación del algoritmo.
Fuente: elaboración propia

Anexo A2

Códigos del algoritmo.

```
' Obtener la fila activa
fila = ActiveCell.Row

' Asignar la hoja "DATOS"
Set ws = Sheets("DATOS")

' Obtener el valor a buscar desde TextSERIE
valorBuscar = Trim(Me.TextSERIE.Value)

' Asegurarse de que el valor a buscar no esté vacío
If valorBuscar = "" Then
    MsgBox "Por favor, ingrese un número de serie.", vbExclamation, "Error"
    Exit Sub
End If

' Inicializar la bandera de encontrado
encontrado = False

' Recorrer la columna E para buscar el valor
For Each celda In ws.Range("E2:E" & ws.Cells(ws.Rows.Count, "E").End(xlUp).Row)
    If Trim(celda.Value) = valorBuscar Then
        fila = celda.Row
        encontrado = True
        Exit For
    End If
Next celda

If Not encontrado Then
    MsgBox "Número de serie no encontrado. Por favor, registre los datos primero.", vbExclamation, "Error"
    Exit Sub
End If
```

Figura 3. Código del algoritmo, inicialización y búsqueda.

Fuente: elaboración propia

```
' Obtener los valores de cosfi y rendimiento desde las celdas correspondientes
If IsNumeric(ws.Cells(fila, "K").Value) And IsNumeric(ws.Cells(fila, "L").Value) Then
    cosfi = Cdbl(ws.Cells(fila, "K").Value)
    rendimiento = Cdbl(ws.Cells(fila, "L").Value)
Else
    MsgBox "Los valores de cosfi o rendimiento no son válidos.", vbExclamation, "Error"
    Exit Sub
End
```

Figura 4. Obtención de valores de cosfi y rendimiento.

Fuente: elaboración propia


```
' Calcular la potencia aparente (S), 3 hp a watts vienen a ser 2238 de forma redondeada
potenciaAparente = 2238 / (rendimiento * cosfi)

' Calcular la corriente de línea (I) solo si TextBox12 está vacío
If Me.TextBox12.Value = "" Then
    corrienteLinea = potenciaAparente / (220 * Sqr(3))
    Me.TextBox12.Value = Format(Round(corrienteLinea, 2), "0.00")
Else
    If IsNumeric(Me.TextBox12.Value) Then
        corrienteLinea = CDb1(Me.TextBox12.Value)
    Else
        MsgBox "El valor en TextBox12 no es válido.", vbExclamation, "Error"
        Exit Sub
    End If
End If
```

Figura 5. Cálculo de potencia aparente y corriente de línea.

Fuente: elaboración propia

```
' Establecer la densidad de corriente (constante)
densidadCorriente = 7.5

' Calcular el área (A)
area = corrienteLinea / densidadCorriente

' Calcular la sección utilizando la fórmula  $\text{Sqr}((4 * \text{area}) / \text{pi})$ 
seccion = Sqr((4 * area) / Application.WorksheetFunction.Pi())

' Mostrar el resultado en TextBox6
Me.TextBox6.Value = Format(Round(seccion, 2), "0.00")

' Almacenar la corriente de línea en la celda N de la fila correspondiente
ws.Cells(fila, "N").Value = Round(corrienteLinea, 2)

' Almacenar el resultado de la sección en la celda P de la fila correspondiente
ws.Cells(fila, "P").Value = Round(seccion, 2)
```

Figura 6. Cálculo de área y sección.

Fuente: elaboración propia

```
' Obtener DE, DI, LA y K desde la hoja "DATOS"
If IsNumeric(ws.Cells(fila, "G").Value) And IsNumeric(ws.Cells(fila, "F").Value) And _
IsNumeric(ws.Cells(fila, "H").Value) And IsNumeric(ws.Cells(fila, "I").Value) Then

    DE = CDbI(ws.Cells(fila, "G").Value) / 100 ' Convertir DE de cm a metros
    DI = CDbI(ws.Cells(fila, "F").Value) / 100 ' Convertir DI de cm a metros
    LA = CDbI(ws.Cells(fila, "H").Value) / 100 ' Convertir LA de cm a metros
    K = CDbI(ws.Cells(fila, "I").Value)

    ' Verificar que DI no sea cero para evitar divisiones por cero
    If DI = 0 Then
        MsgBox "El valor de DI no puede ser cero.", vbExclamation, "Error"
        Exit Sub
    End If
End If
```

Figura 7. Obtención de valores de diámetro externo, diámetro interno, longitud axial y ranuras.
Fuente: elaboración propia

```
' Calcular N.M.P (Número Mínimo de Polos)
nmp = DE / DI

' Almacenar el valor de N.M.P en la hoja "DATOS" en la columna J
ws.Cells(fila, "J").Value = Round(nmp, 2)

' Determinar el valor de P basado en el rango de N.M.P
Select Case True
    Case nmp >= 1.7 / 1 And nmp <= 1.9 / 1
        P = 2
    Case nmp >= 1.55 / 1 And nmp < 1.65 / 1
        P = 4
    Case nmp >= 1.4 / 1 And nmp < 1.5 / 1
        P = 6
    Case nmp >= 1.3 / 1 And nmp < 1.4 / 1
        P = 8
    Case Else
        MsgBox "El valor de DE/DI (" & Round(nmp, 2) & ") no está en el rango válido (1.30 - 1.90 cm).", vbExclamation, "Error"
        Exit Sub
End Select
```

Figura 8. Cálculo de N.M.P (Número Mínimo de Polos) y Pares de Polos.
Fuente: elaboración propia

```
' Definir V y F para la fórmula
V = 220 ' Voltaje
F = 60 ' Frecuencia

' Calcular el valor de Espira por Ranura
espiraPorRanura = (1.44 * P * V) / (2 * F * LA * DI * K * 0.8)

' Redondear el resultado al entero más cercano
espiraPorRanura = Round(espiraPorRanura)

' Mostrar el resultado en TextBox7
Me.TextBox7.Value = Replace(Format(espiraPorRanura, "0"), ",", ".")

' Almacenar el resultado de Espira por Ranura en la celda Q de la fila correspondiente
ws.Cells(fila, "Q").Value = espiraPorRanura
```

Figura 9. Cálculo de espira por ranura.
Fuente: elaboración propia

```
' Calcular el número de bobinas (B = K / 2)
bobinas = K / 2

' Mostrar el resultado de las bobinas en TextBox23
Me.TextBox23.Value = Format(Round(bobinas, 2), "0")

' Almacenar el resultado en la hoja "DATOS" en la columna AE
ws.Cells(fila, "AE").Value = Round(bobinas, 2)
```

Figura 10. Cálculo del número de bobinas.
Fuente: elaboración propia

```
' Combinación óptima de calibres AWG basada en la sección calculada
alambreData = Array( _
    Array(17, 1.04), _
    Array(18, 0.82), _
    Array(19, 0.65), _
    Array(20, 0.52), _
    Array(21, 0.41), _
    Array(22, 0.33), _
    Array(23, 0.26), _
    Array(24, 0.2), _
    Array(25, 0.16), _
    Array(26, 0.13) _
)

sumaSeccion = 0
mejorCombinacion = ""
diferenciaMinima = 99999999

' Mejorar la búsqueda de combinaciones de calibres
For i = 0 To UBound(alambreData)
    ' Buscar una sola sección (1 calibre)
    If alambreData(i)(1) >= seccion - 0.3 And alambreData(i)(1) <= seccion + 0.3 Then
        sumaSeccion = alambreData(i)(1)
        If Abs(sumaSeccion - seccion) < diferenciaMinima Then
            diferenciaMinima = Abs(sumaSeccion - seccion)
            mejorCombinacion = alambreData(i)(0) & " AWG"
        End If
    Else
        ' Buscar combinaciones de 2 calibres (si no encontramos un solo calibre adecuado)
        For j = i + 1 To UBound(alambreData)
            sumaSeccion = alambreData(i)(1) + alambreData(j)(1)
            If sumaSeccion >= seccion - 0.3 And sumaSeccion <= seccion + 0.3 Then
                If Abs(sumaSeccion - seccion) < diferenciaMinima Then
                    diferenciaMinima = Abs(sumaSeccion - seccion)
                    mejorCombinacion = alambreData(i)(0) & " AWG + " & alambreData(j)(0) & "
                    AWG"
                End If
            End If
        Next j
    End If
Next i
```

Figura 11. Búsqueda de combinaciones óptimas de calibres AWG.

Fuente: elaboración propia

```
' Mostrar la mejor combinación de calibres
If mejorCombinacion <> "" Then
    Me.TextBox24.Value = mejorCombinacion
Else
    MsgBox "No se encontró una combinación óptima de calibres.", vbExclamation, "Error"
End If
```

Figura 12. Mostrar Resultado de combinación óptima.

Fuente: elaboración propia