



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGÍSTER

Título del proyecto:
Implementación de una bobinadora automática para la empresa MTS Multitecni Servicios S.A.S.
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor/a:
Daniel Alejandro Ayala Zurita
Tutor/a:
PhD. Henry Díaz

Quito – Ecuador
2025

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Henry Paúl Díaz Iza con C.I: 1719180877 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: Implementación de una bobinadora automática para la empresa MTS Multitecni Servicios S.A.S.

Elaborado por: Daniel Alejandro Ayala Zurita, de C.I: 1726661190, estudiante de la Maestría: Electrónica y Automatización Industrial de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 19 de marzo de 2025



Firmado electrónicamente por:
HENRY PAUL DIAZ
IZA

Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Daniel Alejandro Ayala Zurita con C.I: 172666119-0, autor/a del proyecto de titulación denominado: Implementación de una bobinadora automática para la empresa MTS Multitecni Servicios S.A.S. Previo a la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización Industrial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 19 de marzo de 2025



Firmado electrónicamente por:
DANIEL ALEJANDRO
AYALA ZURITA

Firma

Tabla de contenidos

INFORMACIÓN GENERAL	8
Contextualización del tema	8
Problema de investigación	9
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	10
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	12
1.1. Contextualización general del estado del arte	12
1.2. Proceso investigativo metodológico	16
CAPÍTULO II: PROPUESTA	18
2.1. Fundamentos teóricos aplicados	18
2.2. Descripción del sistema automatizado	19
2.2.1. PLC SIEMENS S7-1200	19
2.2.2. KTP400 SIMATIC HMI	20
2.2.3. Motor paso a paso de lazo cerrado	21
2.2.4. VFD WEG CFW500	22
2.2.5. Motor reductor	23
2.2.6. Siemens 6ES7 241-1CH30-1XB0	23
2.2.7. CFW500-RS485.	24
2.3. Descripción de la propuesta	25
a) Explicación del aporte	25
2.3.1. Topología	27
b) Explicación del aporte	28
c) Estrategias y/o técnicas	32
2.4. Análisis de costos y retorno de la inversión	32
2.4.1. Desglose de costos del proyecto	33
2.4.1.1. Costos de equipos y materiales	33
2.4.1.2. Costos de implementación	33
2.4.1.3. Costos de mantenimiento	34
2.4.1.4. Análisis de costos	35
2.4.2. Comparación de costos de mano de obra	36
2.4.3. Comparación de costos de material desperdiciado	37

2.4.4.	Retorno de la inversión	38
2.5.	Matriz de articulación de la propuesta	39
2.6.	Análisis de resultados. presentación y discusión.	41
CONCLUSIONES		44
RECOMENDACIONES		45
BIBLIOGRAFÍA		47
ANEXO 1		48

Índice de tablas

Tabla 1 costo de equipos y materiales	32
Tabla 2 costos de implementación	32
Tabla 3 costos de mantenimiento preventivo	33
Tabla 4 costo de mantenimiento correctivo	33
Tabla 5 costos de insumos y repuestos	33
Tabla 6 costos de mano de obra	34
Tabla 7 costo total de mantenimiento	34
Tabla 8 comparación de costos de mano de obra	35
Tabla 9 utilidad pérdida por desperdicio de material	36
Tabla 10 máquinas necesarias para retornar la inversión	37
Tabla 11 Matriz de articulación de la propuesta	38

Índice de figuras

Figura 1 PLC Siemens s7 1200 DC/DC/DC	20
Figura 2 KTP400 panel básico	21
Figura 3 Motor paso a paso + driver	22
Figura 4 VFD CFW500	23
Figura 5 Módulo RTU Siemens	24
Figura 6 Módulo RTU para CFW500	24
Figura 7 Diagrama de flujo	26
Figura 8 Diagrama de conexión eléctrica	27
Figura 9 Diseño de bobinadora	29
Figura 10 Ruta de HMI	30
Figura 11 Pregunta 1 de encuesta	48
Figura 12 Pregunta 2 de encuesta	48
Figura 13 Pregunta 3 de encuesta	48
Figura 14 Pregunta 4 de encuesta	49
Figura 15 Pregunta 5 de encuesta	49

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

El proyecto está orientado en mejorar los procesos de fabricación de bobinas de la empresa MTS Multitecni Servicios S.A.S. Esta empresa se la puede categorizar como una “empresa de servicios industriales” siendo su principal actividad, la reparación y mantenimiento de maquinaria electromecánica. Dentro de su flujo de trabajo se encuentran tres áreas fundamentales las cuales son: Mecánica, Mecánica Industrial y Eléctrica. El proyecto se lo implantará en el área eléctrica; el flujo de trabajo de esta área es el siguiente:

- Recepción de máquina
- Toma de datos
- Extracción y limpieza del núcleo
- Preparación del núcleo
- Fabricación de bobinas
- Inserción de bobinas
- Pruebas de aceptación
- Barnizado
- Pruebas eléctricas finales

Para esto se enfocará en el proceso de fabricación de bobinas. Esto se debe a que dentro del rebobinado es una actividad crítica, por lo cual se pretende abordar este proceso y mejorarlo de manera que la confiabilidad del producto final cumpla con los requerimientos del área de calidad.

La fabricación de bobinas para máquinas eléctricas, consiste en el enrollamiento de un conductor sobre un molde. Esta bobina debe tener cuatro características para ser utilizada en una máquina eléctrica, esta información se la obtiene de la toma de datos ya que mediante esta se determinará:

- Número de conductores en mano
- Número de vueltas
- Número de bobinas
- Número de grupos

Mediante esta información se procede a preparar los materiales para la fabricación de la bobina. Una vez se tengan las medidas adecuadas se fabricarán todo el set de bobinas para la actividad de rebobinado.

Para el proceso de fabricación de bobinas se pueden utilizar tres tipos de bobinadoras: manual, semiautomática y automática. Hoy en día en el mercado nacional este tipo de máquinas son poco comunes siendo la fabricación artesanal una de las principales fuentes para obtener esta máquina. La empresa MTS Multitecni Servicio S.A.S actualmente posee una máquina manual y una semiautomáticas.

Dentro del proceso de rebobinado en la empresa, la bobinadora manual resulta ser la más utilizada debido a que permite fabricar bobinas para motores desde 0.5 Hp hasta 50 Hp, por lo cual la automatización de este proceso mejorará la confiabilidad del producto final entregado por el área eléctrica.

En resumen, la implementación de una bobinadora automática dentro del rebobinado representa un avance importante dentro de los procesos de la empresa ya que de esta manera aumentará la confiabilidad del producto y disminuirán los tiempos de fabricación en comparación a la máquina manual.

Problema de investigación

Actualmente, la empresa MTS Multitecni Servicios S.A.S. se encuentra dentro de una reestructuración tanto tecnológica como de recursos humanos, es por ello por lo que el gerente requiere mejorar el proceso y la calidad de la fabricación de bobinas para así mejorar la confiabilidad de la máquina a ser rebobinada. Hoy en día la empresa cuenta con una máquina bobinadora manual la cual requiere ser operada por un técnico durante todo su proceso, lo cual implica que el técnico descuida otra de las actividades necesarias para lograr cumplir con los tiempos programados.

Dentro de este proceso de fabricación se puede encontrar con diversos problemas siendo los principales el maltrato del alambre de cobre y una falla en el conteo de las vueltas, de igual manera para lograr un uso correcto de esta máquina se requiere que el técnico posea experiencia necesaria para no estropear la bobina.

Un tema para considerar son los tiempos que hoy en día exige la industria, por lo cual invertir demasiado tiempo en esta actividad resulta en algunos casos ser poco rentable para la empresa ya que el tiempo invertido en una bobina puede llegar a ser de hasta 5 minutos lo cual dependiendo de la máquina puede llegar a tomar hasta 2 a 3 horas.

De continuar con esta situación la empresa puede llegar a verse afectada ya que en algunos casos el material se llega a comprometer de tal manera que se llega a perder una

cantidad considerable de dinero lo cual puede llegar a dejar sin rentabilidad incurriendo en pérdidas.

Por la antes comentado se propone mejorar el sistema de fabricación de bobinas con una máquina autónoma la cual permita la fabricación precisa de bobinas cuidando así el material y disminuyendo en gran medida la falla humana, esto mejorará notablemente la confiabilidad del producto, así como los tiempos invertidos en realizar esta actividad. Por otra parte, mediante el buen uso de la bobinadora se podrá permitir al técnico enfocar su atención en otra actividad para así avanzar en la actividad de rebobinado. Es importante resaltar que el sistema a implementar tiene que ser amigable con el operario llegando al punto de ser utilizado de manera intuitiva.

Objetivo general

Implementar una bobinadora automática para la empresa MTS Multitecni Servicios S.A.S., con el propósito de mejorar la eficiencia y la confiabilidad del proceso de fabricación de bobinas

Objetivos específicos

- Investigar las tecnologías actuales de bobinado, motores paso a paso, servomotores e interfaces HMI para determinar la mejor combinación que garantice precisión y facilidad de uso en la bobinadora automática.
- Desarrollar un sistema de control el cual incorpora motores de precisión como los servomotores o motores paso a paso, lo cual permite un control preciso de los parámetros requeridos dentro de la máquina.
- Realizar un protocolo de pruebas del sistema implementado, dentro de este protocolo se evaluará la precisión en el conteo de vueltas, calidad del bobinado y la eficiencia del sistema, de esta manera se busca corregir los errores localizados durante las pruebas
- Evaluar el sistema en el ámbito económico y operativo buscando una relación directa con la reducción de tiempos el el proceso de bobinado

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

El proyecto "Diseño e implementación de una máquina automática para la fabricación de bobinas para motores hasta 50HP" busca tener un impacto positivo en la comunidad, esto se debe a que a raíz de este sistema se busca beneficiar a los diversos sectores sociales, comenzando con que esta implementación aportará avances tecnológicos enfocados en la

eficiencia industrial. Dentro del sector de servicios, la automatización del proceso de fabricación de bobinas reducirá significativamente los tiempos de producción mejorando la rentabilidad. Además, al optimizar los recursos energéticos y materiales se busca contribuir con el medio ambiente logrando que esta actividad sea una solución sostenible para la industria del rebobinado

La implementación de este proyecto beneficiará a los profesionales del área y a sectores de la industria. Se promoverá la capacitación y actualización de conocimientos mediante la organización de talleres y seminarios dirigidos a operarios, especialistas y personal administrativo enfocándose en la importancia de un buen proceso de fabricación de bobinas. El proyecto incentivará a la comunidad a adoptar tecnologías más avanzadas y eficientes, contribuyendo a la modernización y competitividad del sector industrial.

En cuanto a los beneficiarios directos, se estima que parte del sector industrial enfocado en la reparación y rebobinado de motores serán beneficiados mediante capacitación y acceso a nuevas tecnologías. Asimismo, los administrativos y gerentes de las empresas que adopten esta tecnología se verán beneficiados por la mejora en la gestión y eficiencia de sus procesos productivos. En términos concretos, se espera una reducción en los costos de producción y un aumento en la eficiencia operativa, impactando positivamente en los resultados económicos y ambientales de las organizaciones involucradas.

Este proyecto representa un aporte social significativo al crear un ambiente industrial más limpio y eficiente. La reducción de costos en el consumo de energía y materiales, junto con un proceso productivo más controlado y monitoreado, disminuirá considerablemente el índice de fallas y paradas

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

Para el desarrollo de este trabajo resulta indispensable tener un conocimiento básico respecto a motores eléctricos, modo de falla de motores eléctricos, automatización y control industrial. De esta manera se busca que la implementación de este proyecto sea fundamentada en bases teóricas

Durante el proceso de rebobinado, una de las actividades primordiales resulta ser la fabricación de bobinas las cuales posteriormente serán insertadas en el motor eléctrico a reparar. Para esto se utiliza alambre de cobre revestido con un aislamiento llamado “Enamel”, durante la fabricación de las bobinas este aislamiento puede comprometerse debido a una mala manipulación.

Esta falla en el sistema de aislamiento del conductor de no ser corregida puede comprometer seriamente el equipo a ser rebobinado, para esto es necesario realizar un protocolo de pruebas para detectar que bobina es la que presenta el problema para su posterior recuperación. Otra falla muy recurrente resulta ser la falla humana, durante el proceso de fabricación al depender directamente de la capacidad del técnico eléctrico, se puede incurrir en un mal conteo de vueltas lo cual debe corregirse inmediatamente debido a que se puede comprometer la confiabilidad de la máquina derribando en fallas al momento de operar la máquina a carga nominal.

Dentro del proyecto se propone mitigar las fallas más recurrentes al momento de rebobinar una máquina eléctrica. Para lograr esto se requiere entender los principios de funcionamiento de una máquina eléctrica, modos de falla de un motor eléctrico y las técnicas para mitigar los cortes entre espiras producidos por un deficiente proceso de fabricación de bobinas. Debido que el trabajo se centra netamente en la mitigación de fallas por un corto entre espiras, no se tocarán los otros modos de falla que se pueden presentar en un motor eléctrico.

Para el desarrollo de este trabajo resulta necesario buscar toda la bibliografía, estudios y tesis referentes a los siguientes temas:

- Máquinas eléctricas
- Modos de falla de motores eléctricos
- Prácticas recomendadas para un buen rebobinado de motores eléctricos
- Programación de PLC y HMI

- Uso de máquinas de precisión para la actividad de fabricación de bobinas

Todos estos temas compartidos derivaran en una correcta aplicación del proyecto ya que mediante estos se busca entender desde las causas de un mal proceso de fabricación de bobinas hasta la importancia de utilizar máquinas de precisión para el correcto proceso de rebobinado.

El proyecto contempla varios términos claves que se requieren conocer para el correcto desarrollo de la actividad; a continuación, se nombran algunos de ellos:

- Máquina eléctrica
- Bobina
- Partes de una bobina
- Corto entre espiras
- Pruebas eléctricas
- Implementación de sistemas automatizados
- Control y monitoreo de procesos
- Normativa y estándares

De igual manera resulta necesario buscar investigaciones similares buscando como estas abordaron el problema y el método de resolución. Entre estas se buscará información de instituciones como la IEEE (Instituto de ingeniería eléctrica y electrónica), EASA (Asociación de servicios de aparatos eléctricos), WEG, Siemens, ABB etc.

Por otra parte, se buscarán trabajos relacionados con la fabricación de bobinas y como estos presentaron y afrontaron el problema, para esto se procede a realizar una búsqueda en trabajos publicados por universidades.

Masoumi et al. (2022) en su publicación comparte las diferentes técnicas para realizar bobinas con alambre redondo, estos, especifican que una bobina debe ser diseñada de manera óptima dependiendo de la máquina eléctrica. Masoumi et al. (2022) consideran aspectos críticos para la fabricación de bobinas como su diámetro, clase térmica del aislamiento, tipo de conductor. Comentan que la fabricación automática de bobinas está ligada directamente al volumen de producción de estas.

EASA (2021), en sus cursos sobre cómo rebobinar motores eléctricos, contemplan el tema de la fabricación de bobinas como un proceso crítico dentro del proceso de rebobinado, dentro de los videos educativos comparten los métodos para un correcto proceso de

fabricación evitando las diferentes fallas que puedan darse durante la manufactura de las bobinas. Por otro lado, contemplan la importancia de conocer las máquinas utilizadas para esta activada ya que hoy en día se disponen de tres tecnologías las cuales son: manual, semiautomática y automática.

Chávez (2018) en su tesis aborda el tema de la falta de capacidad del técnico bobinador, esto llega a ser relevante al momento de dedicarse a una actividad crítica ya que, debido al desconocimiento del técnico, el riesgo de fallo durante la manufactura de la bobina aumenta en gran medida. Esto se debe a que al tomarlo como un trabajo artesanal sin fundamento técnico se obvian parámetros que se deben considerar al momento de fabricar una bobina.

Chávez (2018) propone como solución la manufactura de una máquina especializada en la fabricación de bobinas, de esta manera se trata de mitigar en gran medida un fallo producido por un error humano, además, propone la implementación de una mayor cantidad de máquinas eléctricas automatizadas para agilizar el proceso de rebobinado.

Vargas (2022) sustenta en su tesis que la tasa de reprocesos durante el proceso de rebobinado se debe a la falta de capacidad que tienen los técnicos para supervisar los parámetros fundamentales durante la manufactura de bobinas, entre estos parámetros esta: número de vueltas, distancia en el molde y la tensión que se utiliza para la fabricación de estas.

Además, sustenta que una falla en estos parámetros puede llegar a afectar directamente la funcionalidad del motor eléctrico. De igual manera la implementación de su proyecto propone la disminución del tiempo de fabricación de bobinas y además asegura que las propiedades del material (alambre de cobre) no se verán afectadas por la manufactura de la bobina.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizarán los siguientes trabajos como fuentes de información ya que estos están relacionados directamente con el proyecto propuesto.

- Carrión Palacios, J. H. (2022). Interfaz HMI para control y supervisión de los parámetros del sistema de bombeo de combustibles de la estación Osayacu. Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL.
- Córdova Suárez, J. C. (2024). Diseño e implementación de una interfaz humano-máquina para optimizar la dosificación química en los pozos con levantamiento artificial de petróleo. Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL. (Córdova Suárez, 2024)

- López Guayta, E. M. (2024). Diseño y construcción de un prototipo para automatizar procesos de soldado lineal en la U.E. Marcelino Maridueña. Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
- Chávez Ñontol, A. (2018). DISEÑO DE UNA MÁQUINA DEVANADORA AUTOMÁTICA PARA MEJORAR LA CALIDAD EN FABRICACIÓN DE BOBINAS DE MOTORES ELÉCTRICOS EN SELTROMIND-CAJAMARCA-2017. Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- Vargas, G. (2022). *DESARROLLO DE UNA BOBINADORA CONCÉNTRICA SEMI AUTOMÁTICA PARA LA REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN PARA LA EMPRESA SIEM*. Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

Durante el desarrollo del trabajo se pretende añadir mejoras durante la implementación, de esta manera se mantiene la perspectiva de mejora continua del sistema desarrollando e implementando nuevas tecnologías. Para orientar este trabajo se pretende ir de la mano con los objetivos propuestos, de esta manera se mantendrá un plan bien estructurado.

Es importante que el desarrollo del trabajo preste las herramientas necesarias para la toma de decisiones. En el caso del desarrollo una mala toma de decisiones puede llegar a afectar considerablemente el tiempo de implementación del proyecto.

Algo a acotar resulta ser la adición de tecnologías de vanguardia, resulta necesario evaluarlas para así enfocar la selección de estas. De igual manera para la realización de este proyecto se debe apegar a un presupuesto establecido por la empresa MTS Multitecni Servicios S.A.S. para evaluar el éxito del proyecto se debe analizar el valor agregado de esta máquina y además que aporta el proyecto tanto administrativamente como técnicamente.

Para complementar este trabajo se utilizaron los siguientes trabajos dentro de los cuales se encuentra información que llega a ser relevante para el desarrollo de este.

Chávez publica una tesis en el año 2018 denominada “DISEÑO DE UNA MÁQUINA DEVANADORA AUTOMÁTICA PARA MEJORAR LA CALIDAD EN FABRICACIÓN DE BOBINAS DE MOTORES ELÉCTRICOS EN SELTROMIND-CAJAMARCA-2017”; dentro de su trabajo se desarrolla una bobinadora con el fin de mitigar los errores producidos por el personal técnico, esta publicación está relacionada al sistema a implementar ya que abordan los mismos problemas. Dentro de este trabajo se pudo recabar información respecto a la implementación y resultados obtenidos.

Gonzalo Vargas en su trabajo publicado el 2022 denominado *“UNA BOBINADORA CONCÉNTRICA SEMI AUTOMÁTICA PARA LA REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN PARA LA EMPRESA SIEM”*; aborda una problemática relacionada con la tesis de Chávez Ñontol, estos autores identificaron los problemas relacionados con una mala fabricación de las bobinas por lo cual propones una solución viable en la cual se disminuya la intervención humana mitigando la falla producida por el humano, este trabajo además de aportar con el análisis de la problemática existente en la actividad de la fabricación de bobinas, compartir información respecto a las características de la bobinadora lo cual resulta de mucha utilidad para este trabajo ya que se puede llegar a solventar de mejor manera los retos presentados.

Carrión, J. H. en el 2022 propone el diseño de un “Interfaz HMI para control y supervisión de los parámetros del sistema de bombeo de combustibles de la estación Osayacu”, básicamente, dentro de este trabajo se puede apreciar la importancia de seleccionar y compartir la información requerida para los operarios, de esta manera se mitiga el mal tratamiento de datos. Esta es la razón por la cual se pretende implementar un sistema HMI amigable con el operador logrando así una eficiencia en el proceso de manufactura de bobinas.

López, E. M. en el 2024 desarrolla un “Prototipo para automatizar procesos de soldado lineal en la U.E. Marcelino Maridueña”, dentro de este explica la importancia de un buen proceso de soldado mediante el uso de actuadores de precisión. Dentro de este trabajo se implementarán actuadores de precisión como lo son los motores paso a paso y servomotores; por este motivo, el trabajo de López resulta importante para la gestión eficiente de estos actuadores.

1.2. Proceso investigativo metodológico

El tipo de investigación aplicado en este proyecto es de carácter descriptivo y experimental. La investigación descriptiva se utilizó para obtener una comprensión detallada del estado actual de la fabricación de bobinas dentro de MTS Multitecni Servicios S.A.S. y los problemas asociados con los métodos manuales. Para la investigación experimental, se buscó que la máquina esté en su fase de pruebas, de esta manera se busca evaluar su desempeño y eficiencia al comparar con los métodos tradicionales utilizados por la empresa.

Para llevar a cabo esta investigación, se emplearon tanto métodos teóricos y prácticos. Como primera instancia la fase teórica, se realizó una investigación sobre los temas relacionados al proceso de rebobinado siendo los principales: motores eléctricos, modos de

falla, fabricación de bobinas y procesos de automatización. Para esto, la revisión de publicaciones académicas, tesis de grados y manuales técnicos, para así realizar el diseño y construcción de prototipos que cumplan con los objetivos del proyecto.

Las técnicas utilizadas para la recopilación de información incluyeron observación, encuestas y entrevistas de los procesos de fabricación de bobinas. La observación a los técnicos que fabrican las bobinas permitió identificar los problemas existentes durante la fabricación de bobinas mediante máquinas manuales. Se buscó identificar los problemas en el uso de este método para corregirlas durante el proceso de diseño de la máquina. Para obtener información respecto a la opinión de los técnicos sobre las nuevas tecnologías es necesario realizar encuestas enfocadas a los métodos actuales de fabricación de bobinas. Esta información y datos se deben analizar buscando patrones y deficiencias en los procesos de fabricación actuales. Además, para complementar el proyecto se buscó la opinión de expertos en el área de automatización y control para obtener una perspectiva más profesional y recomendaciones sobre el diseño del sistema en base a la experiencia.

Para realizar el proceso investigativo se recurre a todo el personal técnico y administrativo de la empresa MTS Multitecni Servicios S.A.S. enfocándose en quienes están involucrados en el proceso de rebobinado de motores eléctricos. Los técnicos a los cuales se observa fueron elegidos entre antigüedad y experiencia buscando localizar las deficiencias que tiene el personal experimentado como el personal novato. Para este trabajo se tomó como muestra 10 trabajadores entre técnicos bobinadores y administrativos.

La metodología utilizada para el desarrollo de este trabajo buscó seguir un enfoque sistemático y estructurado. Iniciando con la identificación de problemas de los métodos actuales durante la observación del proceso de manufactura de bobinas; logrando así obtener información y datos para realizar las correspondientes propuestas de diseño. Posteriormente, se llevó a cabo una fase de diseño y desarrollo del prototipo. Se implementaron ciclos iterativos de pruebas y ajustes para mejorar el diseño y asegurar su funcionalidad. Finalmente, se capacitó al personal en el uso de la nueva máquina y se evaluó su desempeño en condiciones reales de producción. La metodología adoptada garantiza una implementación efectiva y alineada con los objetivos específicos del proyecto.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

1.1. Fundamentos teóricos aplicados

Para el desarrollo se basó la electrónica y automatización como ciencias relacionadas, debido a que estas abarcan cada uno de los conceptos teóricos para el correcto desarrollo del trabajo. Para la correcta implementación de este tema, se requiere conocer acerca de cada uno de los sistemas de control industrial que aplicarían de mejor manera para este proyecto, mediante estos se ahorraría una gran cantidad de tiempo en la implementación del trabajo.

El trabajo como tal propone la implementación de una bobinadora automática, mediante el término “implementación” se busca cubrir todas las etapas de diseño, prototipado, construcción y capacitación. Estas etapas resultan esenciales y son necesarias para el proyecto. Así como es importante el concepto de implementación, es importante hablar sobre la máquina a desarrollar y el problema que pretende solucionar.

Según, Hagedorn et al. (2019) definen a la bobina como un conductor eléctrico (alambre de cobre) enrollado en un molde, esta afirmación es la más apropiada ya que independientemente de la máquina eléctrica, siempre se tiene un conductor enrollado en un molde el cual al ser energizado con energía eléctrica genera un campo magnético mediante el cual se puede mover una carga o generar electricidad.

EASA (2023) dentro de su manual técnico comentan la importancia de mantener el aislamiento del conductor intacto y además la condición física de este material no debería cambiar debido a una mala tensión durante la fabricación de las bobinas. De igual manera proponen un banco de baterías para determinar la existencia de un corto entre espiras, esto resulta de gran ayuda ya que de determinar un corto entre espiras en el proceso de rebobinado se puede buscar una causa de esto y determinar si el proceso de manufactura tiene defectos.

Dentro de su manual de rebobinado de máquinas eléctricas (EASA, 2021), EASA trata sobre la importancia del uso de máquinas para manufactura de bobinas, EASA (2021) informa que las bobinadoras, son máquinas que devana un conductor eléctrico en un molde que rota en función de la velocidad requerida, este proceso puede verse modificado dependiendo de la tecnología utilizada, en el caso de las máquinas automáticas, se posee una ventaja respecto a las demás ya que evita en gran medida la falla humana durante el conteo de vueltas. Adicional, se habla de los beneficios de cada una de ellas, siendo las bobinadoras automáticas las que mejores resultados han tenido a lo largo de sus usos.

En base a lo comentado anteriormente, se puede determinar el problema que este proyecto va a solventar; la falla humana es muy común al momento de realizar un rebobinado, este está presente en la mayoría de proceso artesanales, en el caso de la fabricación de bobinas, un mal conteo en las vueltas puede perjudicar el trabajo de motor. Es por ello por lo que, al implementar un sistema automático, se mitiga en gran escala la falla humana ya que al tener un sistema automatizado se posee mayor precisión al momento de la fabricación de las bobinas.

Por otra parte, el uso de tecnologías automáticas puede ayudar a disminuir un problema producido por lastimar el material, este error es de los más comunes y de no ser corregido puede llegar a comprometer todo el bobinado, esto se debe a que al ser una falla muy pequeña puede ser complicado su recuperación.

1.2. Descripción del sistema automatizado

La máquina por implementar consta de una estructura capaz de cumplir con los requerimientos del proyecto, PLC acorde a los equipos utilizados, HMI configurado para facilitar su uso, máquinas de precisión las cuales disminuirán los reprocesos producidos por una mala fabricación. A continuación; se enlista los dispositivos utilizados para el desarrollo de este trabajo:

1.2.1. PLC SIEMENS S7-1200

Controlador lógico programable diseñado para la automatización de procesos industriales, caracterizado por su capacidad de operar con una fuente de alimentación de 24V DC, tanto para su propia alimentación como para las señales de entrada y salida digitales. Este modelo específico ofrece una solución para los requerimientos del proyecto, debido a su software de programación intuitivo para el programador. De igual manera este dispositivo permite la fácil instalación de módulos adicionales, esto resulta útil al momento de realizar actualizaciones en el programa (Ver figura 1).

Figura 1 PLC Siemens s7 1200 DC/DC/DC



Nota. Tomado de (Siemens A. , S7-1200 Easy Book, 2022)

1.2.2. KTP400 SIMATIC HMI

Este HMI fue desarrollado por Siemens para aplicaciones industriales. Para este trabajo se utilizó una pantalla táctil de 4 pulgadas, ya que es suficiente para la supervisión y control de procesos automatizados implementados. Este panel básico facilita la programación del sistema y es flexible a los cambios que se realicen durante las pruebas de la máquina. Finalmente este HMI es compatible con Profinet y MPI, lo que permite que el dispositivo se integre de manera sencilla y eficiente en un sistema industrial estructurado(ver figura 2).

Figura 2 KTP400 panel básico



Nota: Tomado de (Siemens, 2021)

1.2.3. Motor paso a paso de lazo cerrado

Un motor paso a paso de lazo cerrado es un motor eléctrico además de cumplir con sus funciones básicas, cuenta con un encoder que aumenta la precisión del sistema mediante una retroalimentación constante, esto permite un control más preciso y eficiente del movimiento. Gracias a su sistema de lazo cerrado, la tarea de supervisión y ajustes en tiempo real resulta ser más eficiente. Este tipo de motor es especialmente adecuado para aplicaciones que exigen precisión y fiabilidad, como máquinas CNC, impresoras 3D, robótica y sistemas de automatización industrial (Ver figura 3).

Figura 3 Motor paso a paso + driver



Nota: Tomado de "Stepperonline"

1.2.4. VFD WEG CFW500

Este Variador de frecuencia (VFD) desarrollado por WEG . Ofrece un control vectorial y escalar de un motor eléctrico logrando cubrir un amplio rango de potencias. Su interfaz de usuario posee varios parámetros que pueden llegar a facilitar la programación ya que se puede obtener datos específicos del proceso. Esto resulta ser de mucha utilidad al momento de implementar un sistema PID. Este VFD busca optimizar la eficiencia energética en motores de inducción eléctrica ya que cuenta con un amplio rango de utilidades siendo algunas de ellas un sistema de bombeo, ventilación, manejo de materiales y máquinas herramienta (Ver figura 4).

Figura 4 VFD CFW500



Nota: Tomado de (WEG, : Manual de Programación CFW500, 2022)

1.2.5. Motor reductor

Un motor reductor es una máquina integrada por motor eléctrico y un sistema de engranajes el cual está dispuesto de manera que disminuye la velocidad de salida mientras incrementa el torque. Este diseño resulta sumamente útil dependiendo del proceso a implementar ya que dependiendo de la utilidad puede ser reemplazado con un VFD.

Normalmente esta máquina se la encuentra en toda industria ya que acompañada de un sistema óptimo de control puede mejorar completamente un proceso industrial. Los motores reductores destacan por su durabilidad y eficiencia energética, pero una de sus desventajas es el costo de reparación durante una falla mecánica específicamente en los engranajes.

1.2.6. Siemens 6ES7 241-1CH30-1XB0

Este módulo de comunicación utiliza un protocolo MODBUS RTU, el cual permite la comunicación y transferencia de información entre el PLC y cualquier dispositivo que posea el mismo protocolo. comúnmente esta conexión se realiza mediante un puerto RS485. Debido a la necesidad de interconexión de los sistemas de control moderno este protocolo se encuentra en medidores, sensores y actuadores en entornos industriales (Ver figura 5).

Figura 5 Módulo RTU Siemens

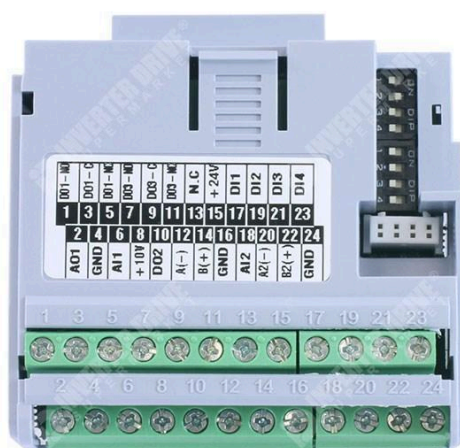


Nota: Tomado de Siemens

1.2.7. CFW500-RS485.

Este módulo permite la comunicación entre el VFD y el PLC, facilitando la adquisición y traslado de información logrando así un control más eficiente de las redes industriales automatizadas. Este módulo se instala de manera sencilla en una ranura específica del VFD CFW500. Este VDF permite la programación de este módulo mediante su HMI proporcionando una solución eficiente, flexible y confiable para el control Industrial (Ver figura 6).

Figura 6 Módulo RTU para CFW500



Nota: Tomado de Weg

1.3. Descripción de la propuesta

Este proyecto propone la implementación de un sistema de automatización la manufactura de bobinas utilizadas en motores eléctricos desde 0.5 Hp hasta 50 Hp, para el correcto funcionamiento de la máquina, este proyecto debe implementar equipos que interactúan constantemente para cumplir con los requerimientos del técnico encargado de fabricar la bobina.

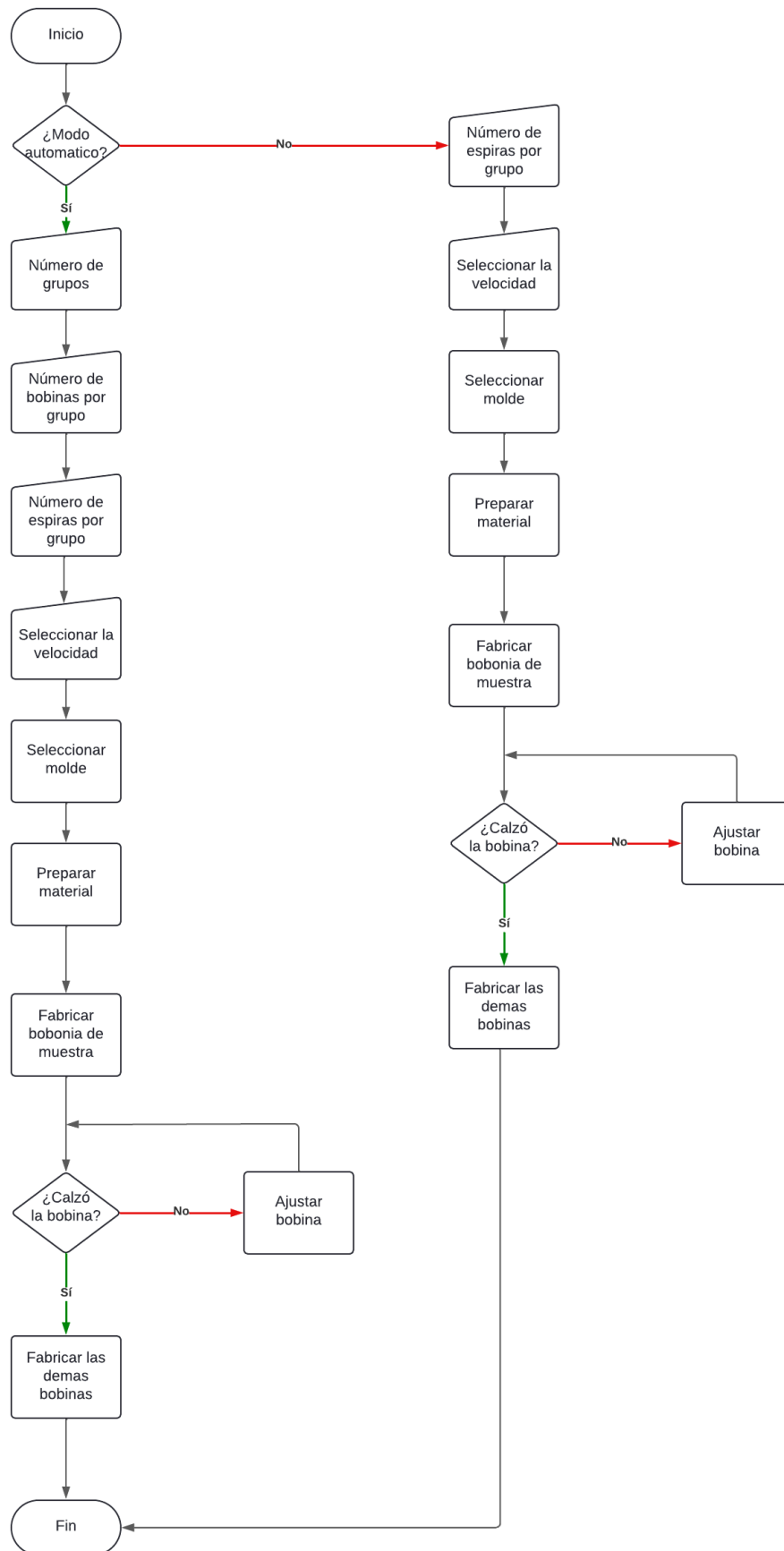
Los dispositivos utilizados para esta máquina fueron el resultado una selección de componentes específicos los cuales cumplen con las necesidades del proyecto considerando siempre el presupuesto estipulado por la empresa, cabe recalcar que cada uno de los dispositivos implementados cumplen con cada función requerida desarrollada durante la etapa de diseño; a continuación, se desarrollará de manera más específica el proceso de diseño, implementación y pruebas.

a) Explicación del aporte

El proyecto está conformado con un PLC el cual es la parte central de la máquina, este equipo deberá procesar y transmitir toda la información transmitida por el HMI. El HMI será la interfaz directa con el operador por lo cual esta debe ser lo más simplificada posible para evitar cualquier defecto en la fabricación de la bobina.

En base a lo anterior comentado, a continuación, se presenta el diagrama de flujo de la máquina en estado automático y semiautomático (Ver figura 7).

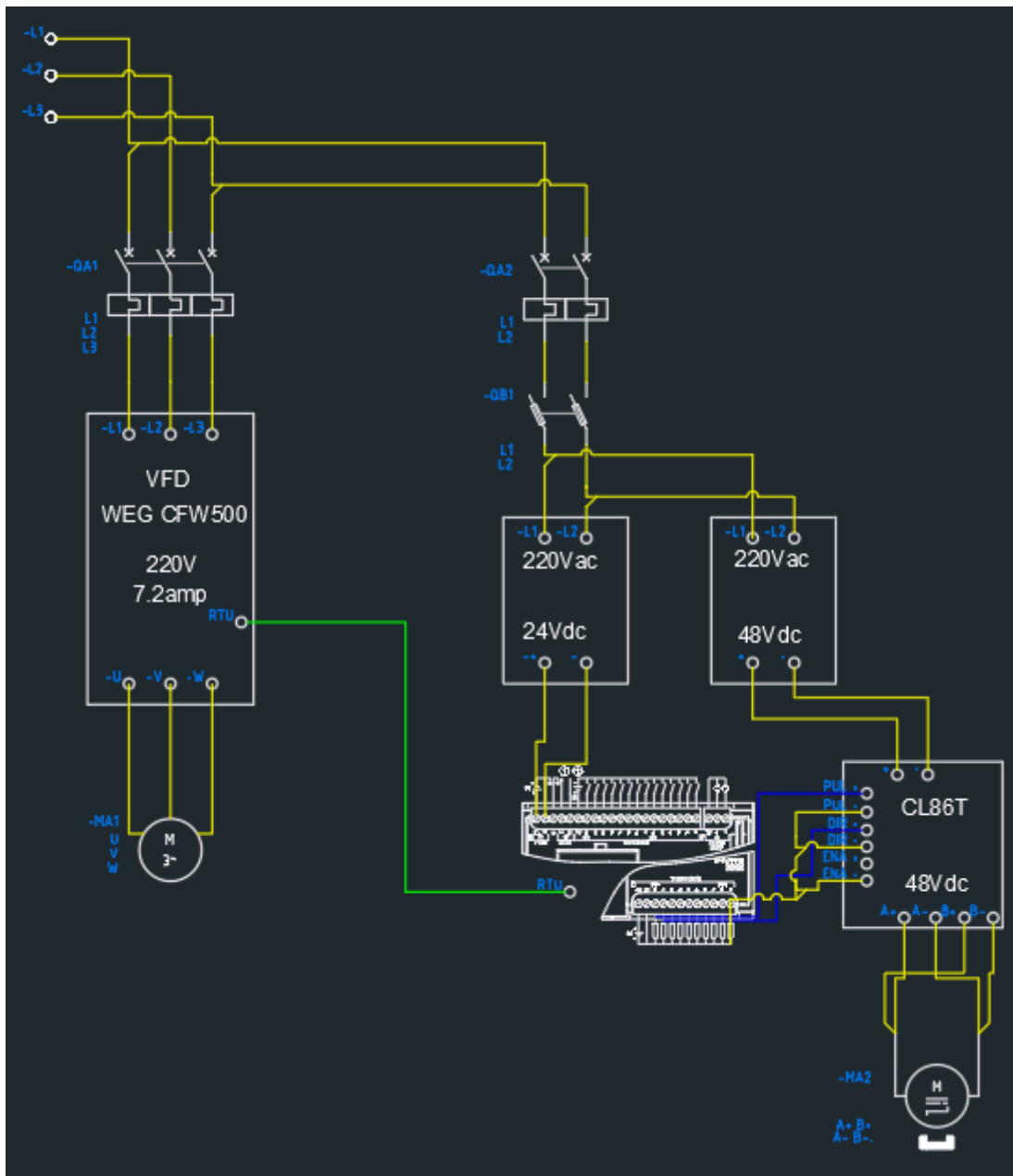
Figura 7 Diagrama de flujo



1.3.1. Topología

A continuación, se presenta el diagrama de conexión eléctrica inicial del proyecto.
(Ver Figura 8)

Figura 8 Diagrama de conexión eléctrica



b) Explicación del aporte

Para la correcta implementación del proyecto resulta necesario comentar la utilidad de cada una de las partes y piezas utilizadas y como estas llegan a interactuar con el operador.

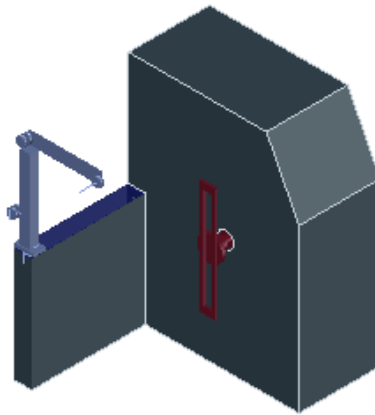
Dentro del proyecto se utilizó una unidad de control “SIEMENS S7-1200 DC/DC/DC”, entre todos los dispositivos de este modelo se escogió la configuración DC/DC/DC el cual requiere ser alimentado con corriente continua 24VDC, las entradas digitales trabajan con señales en corriente continua (24VDC) y finalmente sus salidas son de tipo transistor las cuales operan con corriente continua (24VDC) la cual es compatible con la mayoría de equipos utilizados en el proyecto. Esto se debe a que debido al tipo de actuadores que se utilizarán, la señal de transistor resulta de mucha más utilidad que los de salida tipo relé. El motivo de esta necesidad es la implementación de un motor paso a paso con su respectivo drive, este equipo al necesitar una señal PWM (Pulse Width Modulation) o por sus siglas en español “Modulación por ancho de pulso” la cual es una señal que nos permitirá controlar la cantidad de energía entregada a nuestro motor paso a paso mediante señales digitales, esta señal se basa en la variación del ciclo de trabajo de una señal periódica.

Dentro de este PLC se instalará un módulo de comunicación RTU Modbus el cual mediante la programación y comunicación se recibirá y transmitirá información a un VFD el cual este encargado de energizar un motor reductor de 7HP. Mediante esta comunicación se busca modificar la velocidad y sentido de giro del motor para que de esta manera el operario pueda elegir la velocidad de trabajo de la bobinadora.

El motorreductor estará encargado de mover los moldes que darán la forma a la bobina dependiendo del tipo de bobinado, para esto se implantara un acople universal que permita el acople de cada uno de los moldes que se pueden llegar a utilizar para realizar el rebobinado de motores desde 0.5HP hasta 50 HP.

El motor paso a paso tendrá la función de mover un tornillo de precisión, este tornillo portará un sistema que permite tensionar y dirigir el alambre en el molde, al ser un motor paso a paso resulta importante destacar que mediante la programación se busca que el motor tenga la autonomía de desplazarse de manera automática dirigiendo el alambre en los diferentes niveles del molde en base a la programación previa (Ver figura 9).

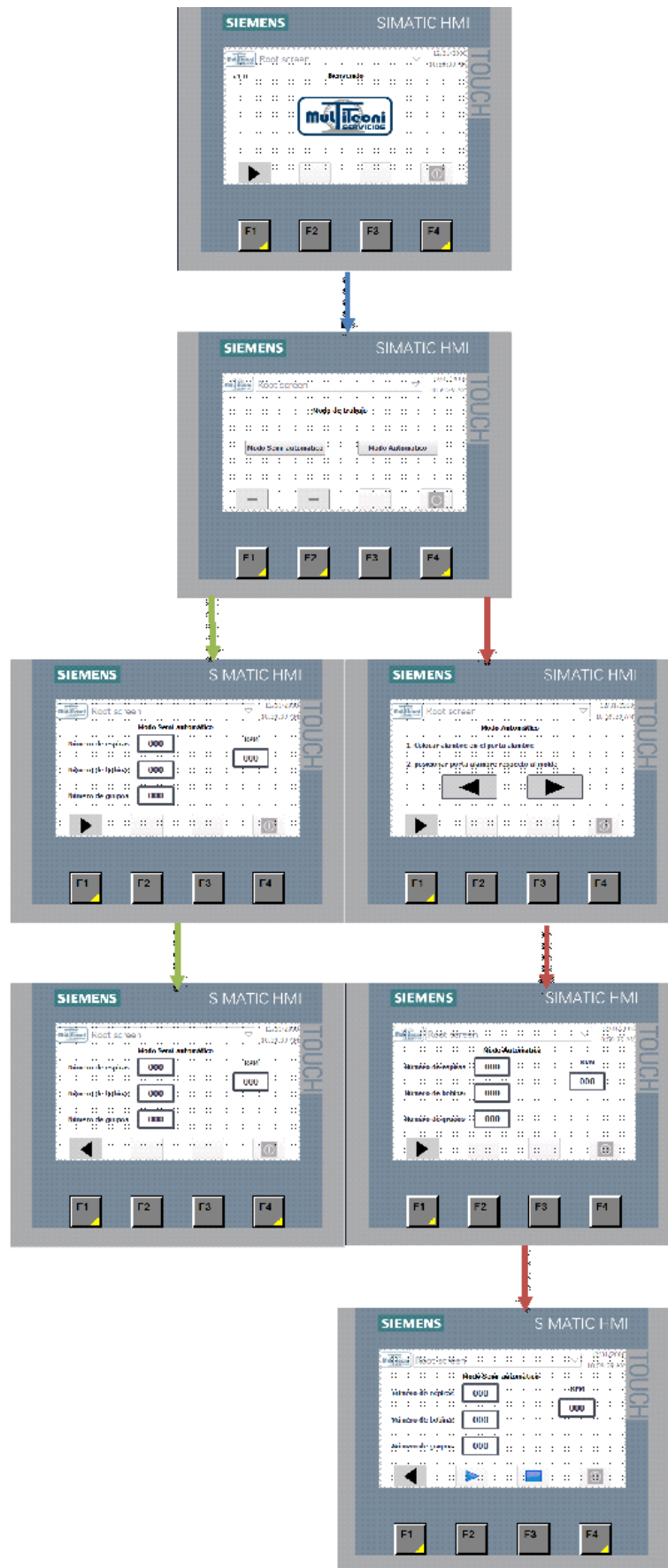
Figura 9 Diseño de bobinadora



Se agregará un sistema HMI el cual permita la interacción directa del usuario con la máquina. Mediante este HMI se busca que el usuario ingrese toda la información necesaria para realizar una bobina (Ver figura 10); la información que el operador debe ingresar será la siguiente:

- Número de grupos
- Número de bobinas por grupo
- Número de espiras
- Velocidad

Figura 10 Ruta de HMI



Esta es la información inicial necesaria para operar el equipo ya sea que se utilice el modo semiautomático y automático. La principal diferencia entre esta configuración es la intervención de un operador ya que en la configuración semiautomática el operador debe mover el alambre entre cada molde mientras que, en el modo automático, este trabajo lo realiza el porta alambre.

Para realizar el conteo de número de vueltas se utilizará un sensor inductivo el cual permitirá el censado de las vueltas que tiene la bobina y mediante la señal enviada al PLC permitirá que los actuadores trabajen en conjunto para la fabricación de las bobinas.

Para la implementación de proyecto resulta de gran utilidad los recursos literarios ofrecidos por los fabricantes de cada uno de los equipos, mediante estos se puede llegar a optimizar los procesos disminuyendo los recursos requeridos del PLC; por otro lado, las recomendaciones de entidades como EASA para la fabricación de bobinas para motores eléctricos es útil para entender qué cuidados se debe tener al momento de fabricar una bobina.

Para verificar el impacto de la máquina se plantea realizar pruebas exhaustivas a la máquina comparándola con el método tradicional, de esta manera se busca socializar con el personal para así mediante evaluaciones habilitarlos al uso de la máquina. El uso de encuestas dirigidas a los operadores y administrativos resulta necesario para evaluar la percepción que poseen sobre la máquina ya que de esta manera se puede llegar a generar un plan de capacitaciones enfocadas en las necesidades de los operadores.

Finalmente, para facilitar la construcción del conocimiento en torno al uso de la máquina, se proponen varias actividades formativas. Estas incluyen talleres prácticos donde los operadores puedan familiarizarse con el funcionamiento de la máquina en un entorno controlado, simulaciones que les permitan experimentar posibles escenarios y resolver problemas técnicos en tiempo real, y sesiones teóricas donde se expliquen los principios de funcionamiento y mantenimiento. Además, para complementar el buen funcionamiento y buen uso de la máquina, se realizan manuales detallados explicando cada paso para el correcto uso de la bobinadora. Este manual busca garantizar que los operadores no sólo comprendan el uso de la máquina, sino que también tengan las herramientas necesarias para el manejo de la máquina.

c) Estrategias y/o técnicas

Para garantizar el buen uso y una adopción eficiente de la máquina, se utilizaron metodologías que buscan combinar lo práctico con lo teórico. Estas metodologías deben estar ajustadas a las necesidades de la empresa. Una de las estrategias claves consistió en la realización de demostraciones e integración de los operadores que trabajaran directamente con la bobinadora automática en un entorno controlado. Estas demostraciones serán complementadas con talleres teóricos en los cuales se hablará sobre los procesos de automatización y qué componentes integran la bobinadora. Además, se llevaron a prácticas en donde el técnico se familiariza con el sistema y conoce los pasos a seguir en el caso de problemas suscitados durante la fabricación de la bobina. Estas actividades no solo facilitaron la adquisición de habilidades técnicas, sino que también incrementaron la confianza en el manejo de la nueva máquina, favoreciendo una transición más sencilla desde los métodos manuales tradicionales.

La implementación del proyecto se logró utilizando herramientas tecnológicas las cuales fueron seleccionadas por sus características, considerando los requisitos de automatización y control. El uso del PLC Siemens S7-1200, elegido por sus beneficios y capacidad para integrar múltiples módulos de expansión, permitirá en un futuro la integración de nuevos códigos que busquen un control preciso y eficiente de la máquina. El panel HMI fue seleccionado por su interfaz intuitiva, que facilita la interacción del operador con el sistema y reduce la posibilidad de errores operativos. Asimismo, se empleó un motor paso a paso de lazo cerrado, que ofrece un control mucho más preciso respecto a un motor paso a paso convencional. La selección de estas herramientas resultó de un proceso de búsqueda y selección enfocándose siempre en la necesidad de la empresa. De igual manera se buscó la eficiencia en el proceso disminuyendo los errores humanos durante el proceso de fabricación.

1.4. Análisis de costos y retorno de la inversión

La fabricación de una bobinadora automática en MTS Multitecni Servicios S.A.S. refleja una decisión estratégica por parte de la gerencia la cual está orientada a incrementar la eficiencia operativa, disminuir los tiempos de producción y reducir los errores durante el proceso de rebobinado. Para justificar la inversión realizada por la empresa, es necesario llevar a cabo un análisis de los costos relacionados con todo el proceso de adquisición e implementación del sistema automatizado, para verificar el éxito de este sistema, el análisis debe ser comparado con los métodos convencionales de fabricación.

En esta sección se busca presentar un análisis de los costos del proyecto identificando cuales de estos son directos e indirectos, además se proporciona una estimación del retorno de inversión (ROI) basada en la reducción de costos operativos y el incremento en la productividad. De igual manera se analizarán los recursos y el tiempo requeridos en el proceso manual en comparación con el sistema implementado, estableciendo así un punto de equilibrio en el cual la inversión será recuperada.

1.4.1. Desglose de costos del proyecto

1.4.1.1. Costos de equipos y materiales

Tabla 1 costo de equipos y materiales

Costo de equipos y materiales				
Motor reductor	1	unidad	\$850,00	\$ 850,00
PLC Siemens S7 1200	1	unidad	\$390,00	\$ 390,00
HMI Siemens	1	unidad	\$551,00	\$ 551,00
Motor paso a paso	1	unidad	\$155,00	\$ 155,00
Fuentes de alimentación	2	unidad	\$83,00	\$ 166,00
VFD	1	unidad	\$343,00	\$ 343,00
Duralon para poleas	1	unidad	\$32,72	\$ 32,72
Tubo cuadrado	6	unidades	\$8,23	\$ 49,38
Plancha de tool de 1,1 mm	4	Unidades	\$24,91	\$ 99,64
Bisagras	2	Unidades	\$0,61	\$ 1,22
Eje para tornillo	2	Mts	-	\$ 68,78
Rodamientos para poleas	6	unidades	\$2,08	\$ 12,48
Total			\$	2.719,22

1.4.1.2. Costos de implementación

Tabla 2 costos de implementación

Costo de implementación				
Soldador	104	Hrs	\$2,44	\$ 253,76
Mecánico Industrial	60	Hrs	\$3,38	\$ 202,80
Diseñador	40	Hrs	\$2,44	\$ 97,60
Programador	78	Hrs	\$3,88	\$ 302,64
Ing. eléctrico	80	Hrs	\$4,17	\$ 333,60
Total			\$	1.190,40

1.4.1.3. Costos de mantenimiento

Tabla 3 costos de mantenimiento preventivo

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Lubricantes y grasas dieléctricas	1 kit	\$ 40,00	\$ 40,00
Revisión y ajuste mecánico (alineación de componentes)	1 sesión mensual	\$ 30,00	\$ 30,00
Calibración de sensores inductivos	1 sesión trimestral	\$ 25,00	\$ 25,00
Verificación de conexiones eléctricas y cableado	1 sesión mensual	\$ 20,00	\$ 20,00
Inspección y limpieza de motores	1 sesión bimensual	\$ 35,00	\$ 35,00
Subtotal Mantenimiento Preventivo	-	-	\$ 150,00

Tabla 4 costo de mantenimiento correctivo

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Reemplazo de sensores inductivos	2 unidades	\$ 18,00	\$ 36,00
Cambio de correa de transmisión	1 unidad	\$ 50,00	\$ 50,00
Sustitución de motor paso a paso	1 unidad	\$ 250,00	\$ 250,00
Reparación de fuente de alimentación	1 sesión	\$ 60,00	\$ 60,00
Cambio de rodamientos del motorreductor	1 set	\$ 75,00	\$ 75,00
Subtotal Mantenimiento Correctivo	-	-	\$ 471,00

Tabla 5 costos de insumos y repuestos

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Alambre de cobre para pruebas	5 kg	\$ 30,00	\$ 150,00
Barniz dieléctrico para aislamiento	2 litros	\$ 25,00	\$ 50,00
Cinta aislante de alta resistencia	2 rollos	\$ 10,00	\$ 20,00
Tornillos y fijaciones para ajustes	1 set	\$ 20,00	\$ 20,00
Conectores eléctricos	1 kit	\$ 30,00	\$ 30,00
Subtotal Insumos y Repuestos	-	-	\$ 270,00

Tabla 6 costos de mano de obra

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$/hora)	Horas	Costo Total (\$)	
Técnico de mantenimiento	1 persona	\$ 3,38	5	\$	16,90
Ingeniero de automatización	1 persona	\$ 4,17	3	\$	12,51
Electricista	1 persona	\$ 2,44	4	\$	9,76
Subtotal Mano de Obra	-	-	-	\$	39,17

Tabla 7 costo total de mantenimiento

Categoría	Costo Total (\$)
Mantenimiento Preventivo	\$ 150,00
Mantenimiento Correctivo	\$ 471,00
Insumos y Repuestos	\$ 270,00
Mano de Obra	\$ 39,17
TOTAL GENERAL	\$ 930,17

1.4.1.4. Análisis de costos

La inversión destinada a la adquisición de equipos y materiales para la bobinadora automática alcanza un total de \$2.719,22, con una asignación significativa a componentes esenciales como el motor reductor, el PLC Siemens S7-1200 y la HMI Siemens. Estos dispositivos conforman el núcleo del sistema de automatización, proporcionando un control preciso y eficiente en el proceso de bobinado. Adicionalmente, se incluyen materiales estructurales como tubos cuadrados, planchas metálicas y rodamientos, indispensables para garantizar la estabilidad y resistencia mecánica de la máquina. La selección de los dispositivos que componen la máquina está basada en la necesidad de equipos confiables los cuales sean capaces de operar de manera eficiente a largo plazo .

Los costos de implementación del equipo fueron de \$1.190,40, los cuales engloban la mano de obra requerida para el ensamblaje, programación y puesta en marcha del sistema. Los rubros más representativos corresponden a los servicios del programador y del ingeniero eléctrico. Asimismo, se incluyen los costos referentes a la sección de mecánica industrial donde el soldador y tornero fueron esenciales en la construcción y adecuación estructural. La

combinación de cada uno de los departamentos involucrados en el proyecto busca garantizar la instalación y puesta en marcha del sistema cumpliendo con los objetivos del proyecto. Finalmente, los costos involucrados en la fabricación de la máquina representan la inversión inicial necesaria para cumplir con el proceso de manufactura de bobinas, mejorando la precisión y reduciendo los tiempos de producción.

1.4.2. Comparación de costos de mano de obra

Para la actividad de rebobinado, la fabricación de bobinas resulta ser una actividad 100% necesaria y debe ser realizada con el cuidado del caso, para realizar la comparación de costos en mano de obra, se realizó el muestreo de 5 técnicos realizando la fabricación de bobinas de motores de 10HP-15HP-25HP, en lo cual se tomó el tiempo de fabricación de 3 bobinas realizadas de manera manual y automática.

Tabla 8 comparación de costos de mano de obra

10HP	Tiempo de fabricación máquina manual en horas	Tiempo de fabricación máquina automática en horas	Costo de fabricación con máquina manual	Costo de fabricación con máquina automática	Ahorro
técnico 1	1,5		\$ 3,75	\$ 1,88	50%
técnico 2	1		\$ 3,00	\$ 2,25	25%
técnico 3	1,2	0,75	\$ 3,32	\$ 2,08	38%
técnico 4	1,1		\$ 3,05	\$ 2,08	32%
técnico 5	1,5		\$ 3,75	\$ 1,88	50%
15HP	Tiempo de fabricación máquina manual en horas	Tiempo de fabricación máquina automática en horas	Costo de fabricación con máquina manual	Costo de fabricación con máquina automática	Ahorro

técnico			\$			
1	2,4		6,00	\$	2,78	54%
técnico			\$			
2	2		6,00	\$	1,85	69%
técnico			\$			
3	2,1	1,85	5,82	\$	2,22	62%
técnico			\$			
4	2,25		6,23	\$	2,04	67%
técnico			\$			
5	2,5		6,25	\$	2,78	56%
20HP	Tiempo de fabricación máquina manual en horas	Tiempo de fabricación máquina automática en horas	Costo de fabricación con máquina manual	Costo de fabricación con máquina automática	Ahorro	o
técnico			\$			
1	3,75		9,38	\$	6,48	31%
técnico			\$			
2	3,5		10,50	\$	5,40	49%
técnico			\$			
3	3,4	2,7	9,42	\$	5,67	40%
técnico			\$			
4	3,6		9,97	\$	6,08	39%
técnico			\$			
5	3,8		9,50	\$	6,75	29%

1.4.3. Comparación de costos de material desperdiciado

Para el análisis de los costos es necesario aclarar que una vez la bobina a sufrido una falla como resultado de su fabricación esta debe ser desechada y reemplazada; por lo cual por política de la empresa se puede cambiar hasta 3 bobinas identificadas como dañadas, para este análisis se tomó el costo de la libra de cobre y se lo extrapolo a el peso total utilizado en un motor eléctrico. A continuación, se puede observar una tabla comparativa con el ahorro económico entre un sistema manual y automático. Este análisis de material se realiza en el proceso de rebobinado de motores de 10-15-20-30-40-50 HP.

Tabla 9 utilidad pérdida por desperdicio de material

Potencia	costo total del rebobinado o	Peso total (lb)	Peso por bobina (lb)	costo por bobina	Costo por fabricación de 3 bobinas adicionales	Total invertido	Pérdidas en la utilidad
10	\$ 350,00	26,7	2,23	\$9,70	\$29,10	\$379,10	\$29,10
15	\$ 425,00	35,2	2,93	\$12,79	\$38,37	\$463,37	\$38,37
20	\$ 450,00	44,09	3,67	\$16,02	\$48,06	\$498,06	\$48,06
25	\$ 520,00	52,91	4,41	\$19,22	\$57,67	\$577,67	\$57,67
30	\$ 630,00	61,73	5,14	\$22,43	\$67,29	\$697,29	\$67,29
40	\$ 780,00	83,78	6,98	\$30,44	\$91,32	\$871,32	\$91,32
50	\$ 925,00	99,21	8,27	\$36,05	\$108,14	\$1.033,14	\$108,14

1.4.4. Retorno de la inversión

La incorporación de una bobinadora automática en el proceso de rebobinado de motores eléctricos representa una inversión considerable para la empresa. No obstante, la optimización de los costos operativos, la reducción del desperdicio de materiales y el incremento en la eficiencia productiva permiten recuperar la inversión en un período determinado.

Para evaluar la rentabilidad de esta automatización, se realiza un análisis del Retorno de Inversión (ROI), el cual permite determinar la cantidad de rebobinados necesarios para compensar el capital inicial. Este cálculo se fundamenta en la utilidad obtenida por cada servicio de rebobinado, comparando el costo de fabricación con los ingresos generados por cada motor procesado.

En este apartado, se presenta un estudio detallado sobre la cantidad de motores que deben ser rebobinados para amortizar la inversión, tomando en cuenta diferentes niveles de potencia y sus respectivos costos y tarifas de servicio. Este análisis proporciona una visión clara del tiempo estimado para la recuperación del capital, justificando así la viabilidad económica de la automatización del proceso.

Para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$ROI = \frac{\text{Costo total de inversión}}{\text{Utilidad por rebobinado}}$$

El costo total de inversión tiene un valor de \$3909.62

Dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 10 máquinas necesarias para retornar la inversión

Potencia (HP)	Motores Necesarios
10 HP	48.87
15 HP	39.10
20 HP	27.92
25 HP	23.00
30 HP	24.43
40 HP	18.18
50 HP	12.41

1.5. Matriz de articulación de la propuesta

A continuación, se presenta la “Matriz de articulación de la propuesta” el proyecto presentado. (ver Tabla 1)

Tabla 11 Matriz de articulación de la propuesta

Ejes o partes principales del proyecto		Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1	Establecer y definir: los elementos de control industrial, programación del sistema, variables características de datos obtenidos, tabla de costos enfocada en el tiempo ahorrado en el proceso.	1.1. Revisión bibliográfica de elementos de control y automatización 1.2 Programación e identificación de variables. 1.3 Análisis de costos comparando los dos métodos utilizados para el rebobinado. 1.4 Toma de decisiones basada en las funcionalidades requeridas, como precisión en el bobinado, facilidad de uso, y beneficios en términos de eficiencia y reducción de errores.	Automatización industrial Electrónica aplicada a motores eléctricos Control de procesos industriales. Referencias: Siemens AG (2022), Hagedorn et al. (2019), EASA (2021).	Herramientas de selección de componentes y análisis de factibilidad como tablas comparativas, estudios de costos, y simulaciones técnicas. Software TIA Portal para programación del PLC, manuales técnicos de Siemens y WEG para especificaciones de dispositivos.

2	Diseño: esquema de control, simulación, diagramas eléctricos,	2.1. Diseño del esquema de control del sistema automatizado para la bobinadora. 2.2. Simulación del comportamiento del sistema utilizando software especializado para asegurar la precisión del bobinado. 2.3. Elaboración de diagramas eléctricos y de flujo para definir los procesos de bobinado automático.	Fundamentos de diseño de sistemas de control automatizados Programación de PLC Control de motores eléctricos.	Uso de TIA Portal para programación de PLC, software de simulación como Proteus para diseño y simulación de circuitos, AutoCAD para la creación de diagramas eléctricos y de control.
3	Implementación: cableado, sistemas electromecánicos, de control, programación, estructuras físicas	3.1. Instalación física de la máquina bobinadora en el entorno de producción de la empresa. 3.2. Integración de los componentes electrónicos y de control, como el PLC, HMI, motores, y variadores de frecuencia. 3.3. Pruebas de funcionamiento inicial y ajustes de calibración para asegurar el correcto funcionamiento del sistema automatizado.	Normas de instalación de sistemas automatizados, procedimientos de seguridad industrial, integración de sistemas de control.	Montaje e instalación de equipos, configuración y programación de dispositivos mediante el software TIA Portal, implementación de protocolos de comunicación como Modbus RTU para integración de sistemas, pruebas de rendimiento y ajustes de calibración.

1.6. Análisis de resultados. presentación y discusión.

Los resultados del análisis económico comparativo del tiempo utilizado en el rebobinado de motores mediante los métodos manual, semiautomático y automático muestran una mejora notable en la eficiencia temporal al implementar la bobinadora automática. Las tablas y gráficos presentados demuestran una reducción significativa en el tiempo de rebobinado, lo que permite a los operarios realizar otras tareas relacionadas mientras la máquina opera de manera autónoma. Además, la evaluación comparativa refleja una optimización de recursos y una disminución de errores en la fabricación de bobinas, lo que repercute en una mayor confiabilidad y rentabilidad del proceso.

Se realizaron encuestas a 12 personas, compuestas por 7 técnicos y 5 administrativos, para evaluar su percepción sobre la nueva tecnología. Las respuestas revelaron una percepción positiva hacia la automatización, destacando la reducción de la carga de trabajo manual y la mejora en la eficiencia operativa. Las encuestas incluyeron preguntas clave como: ¿Cómo describiría su experiencia con el uso de la bobinadora automática en comparación con los métodos manuales y semiautomáticos?, dirigida a evaluar la percepción de los técnicos sobre la facilidad de uso y la eficiencia de la bobinadora automática; ¿Qué tan intuitiva considera que es la interfaz HMI para operar la bobinadora automática?, enfocada en medir el nivel de satisfacción y facilidad de uso de la interfaz hombre-máquina (HMI); ¿Ha notado una reducción en los errores de rebobinado desde la implementación de la bobinadora automática?, para verificar si la automatización ha contribuido a disminuir errores comunes como el mal conteo de vueltas o la mala manipulación del alambre; ¿Cuánto tiempo adicional tiene ahora para dedicarse a otras tareas mientras la máquina opera de manera autónoma?, con el objetivo de cuantificar el tiempo liberado gracias a la automatización; y ¿Cree que son necesarios más ajustes para optimizar el uso de la bobinadora automática?, para recoger sugerencias de mejora directamente de los usuarios.

Las respuestas a esta encuesta proporcionaron información útil la cual permitió un mejor entendimiento de los efectos que se encuentran en la implantación de nuevas tecnologías, a continuación se realizará un análisis de algunos de los resultados de las encuestas.

- El 83% de los técnicos comentó que pudo dedicarse a otras actividades mientras la máquina operaba de manera autónoma, lo que mejora la producción y eficiencia de la actividad de rebobinado.
- El 67%, consideró que la máquina presenta una mayor eficiencia respecto a los métodos tradicionales existentes en la empresa, sin embargo un 33% de los técnicos

prefiere los métodos convencionales lo cual sugiere indagar en el porqué de su preferencia ya que puede representar una mejora en el sistema.

- Durante el uso del sistema el 75% de los técnicos evaluados sintió comodidad durante el uso del HMI ya que la manera de usarlo resultó ser clara e intuitiva, aunque un 25% sugiere que podría ser necesaria una capacitación adicional o realizar una interfaz más sencilla .
- Un 92% de los operarios es consciente que los errores producidos durante el proceso de fabricación de bobinas ha disminuido, lo cual denota en la efectividad de la máquina mejorando la precisión y calidad del proceso.
- El 67% cree que son necesarios realizar más ajustes que optimicen el uso de la bobinadora, los técnicos consideran que se puede aumentar las opciones de manufactura de bobinas para implementar en otras máquinas.

Las pruebas realizadas durante la fabricación de bobinas de prueba evidenciaron que los errores comunes, como la mala manipulación del alambre y el conteo incorrecto de vueltas, se minimizan significativamente al implementar un sistema automatizado. La implementación de esta máquina resulta ser una solución para la reducción de tiempos de rebobinado y ayuda a mejorar la productividad del área eléctrica. La libertad que tiene el tecno de realizar otras actividades mientras se fabrica la bobina disminuye los tiempos en la actividad de rebobinado de motores. Comparado estos resultados con la bibliografía citada, se puede decir que los resultados obtenidos resultan ser beneficios para la productividad y utilidad de la empresa. Aunque también señalan la necesidad de una capacitación más intensiva para aumentar los beneficios de la nueva tecnología.

La adopción de un sistema automatizado para fabricación de bobinas ubica a la empresa MTS Multitecni Servicios S.A.S. en una posición competitiva dentro del mercado de reparación de maquinaria electromecánica. La capacidad que generará la empresa de completar trabajos de rebobinado de manera más rápida y precisa no solo permite atender una mayor demanda sino que la confiabilidad del cliente se verá reflejada en el aumento de clientes. Esto provee a la empresa una ventaja competitiva, especialmente en un mercado donde la eficiencia y la precisión son factores clave.

El uso de la bobinadora automática también tiene un impacto positivo en el área de HSE. Esto se debe a que al reducir la necesidad de intervención del técnico en el proceso de rebobinado, se logra disminuir la exposición de los trabajadores a peligros como es el

remordimiento de manos. de igual manera se disminuye las fatigas debido a una posición sedentaria al momento de fabricar las bobinas. Además, la automatización mitiga el riesgo de accidentes relacionados con la manipulación del alambre y las herramientas, contribuyendo a un entorno de trabajo más seguro.

Finalmente, la implementación de la bobinadora automática dentro de esta empresa representa un avance tecnológico significativo, logrando que ésta se encuentre a la vanguardia en los métodos modernos de fabricación de bobinas. La elección de tecnologías de control y automatización industrial, permite un control preciso y eficiente del proceso de manufactura de bobinas, minimizando los errores humanos producidos y mejorando la calidad del producto final. Esta innovación no solo optimiza uno de los procesos claves , sino que también permitirá a la empresa abrirse a futuras integraciones de tecnologías emergentes, como el IoT y la Industria 4.0.

CONCLUSIONES

La investigación de las tecnologías que involucran los procesos actuales de manufactura de bobinas, permitió identificar los dispositivos óptimos para asegurar el este proceso, Esta combinación tecnológica es fundamental para mejorar la eficiencia en la fabricación de bobinas dentro de MTS Multitecni Servicios S.A.S.

La implementación de un sistema de control avanzado que integra máquinas de precisión en conjunto con una interfaz HMI intuitiva ha logrado que el sistema genere un proceso más preciso. Este desarrollo minimiza el riesgo de errores y optimiza la eficiencia del proceso, cumpliendo con los requisitos esperados.

Las pruebas realizadas lograron validar la viabilidad del sistema automático, particularmente en la precisión durante el conteo de vueltas, calidad de la bobina manufacturada y eficiencia general del proceso. Estas pruebas permitieron identificar y corregir los problemas que surgieron durante la fabricación de las bobinas, asegurando que el sistema cumpla con los requerimientos de la empresa antes de su implementación completa.

El análisis del impacto económico y operativo de la implementación de la bobinadora automática mostró una reducción en los tiempos de la actividad de rebobinado, así como una disminución en los errores humanos y reprocesos que deriven en desecho del material. Los resultados obtenidos no solo mejoran la rentabilidad de la actividad de rebobinado, sino que también posicionan a MTS Multitecni Servicios S.A.S. como una empresa competitiva en el mercado, al ofrecer productos de alta calidad en plazos más cortos.

RECOMENDACIONES

Inicialmente, se sugiere implementar un programa de formación para el personal técnico y administrativo de MTS Multitecni Servicios S.A.S., el cual debería estar centrado en el manejo y mantenimiento de la bobinadora automática. Esto se debe a que la transición de métodos manuales a sistemas automatizados requiere habilidades técnicas correspondientes a la máquina.

Se recomienda establecer un plan de monitoreo y evaluación periódica del rendimiento de la bobinadora automática. Este proceso de evaluación debería incluir una revisión constante de los procesos utilizados por el técnico al momento de fabricar una bobina, de esta manera se busca cuidar la calidad del rebobinado y la eficiencia general del proceso, esto se lo debe realizar con el fin de identificar cualquier problema y aplicar las correcciones necesarias a tiempo. La información que se obtenga durante este monitoreo permitirá realizar ajustes que mejoren el sistema.

Realizar un análisis económico el cual está enfocado en evaluar los costos asociados a la operación y mantenimiento de la máquina. Este análisis permitirá a la empresa valorar el retorno de la inversión (ROI) y ajustar sus estrategias financieras para maximizar los beneficios obtenidos de la implementación de nuevas tecnologías.

Explorar la posibilidad de integrar la bobinadora automática con tecnologías emergentes, como IoT o Industria 4.0. La integración de estas tecnologías puede llegar a ofrecer mayores ventajas competitivas, como el monitoreo en tiempo real del proceso de bobinado. mediante un sistema de sensores más sofisticado puede llegar a predecir fallas y la optimización del uso de recursos.

Finalmente, es recomendable realizar un trabajo documentar detallado en el cual se plasmen los procesos de fabricación así como los resultados obtenidos. Este enfoque no sólo promoverá la adopción de prácticas más eficientes, sino que también logrará que la empresa MTS Multitecni Servicios S.A.S. sea vista como una empresa innovadora siendo referente en la implementación de tecnologías avanzadas en la industria electromecánica.

BIBLIOGRAFÍA

- Bee, L. (2023). *PLC and HMI Development with Siemens TIA Portal: Develop PLC and HMI Programs Using Standard Methods and Structured Approaches with TIA Portal V17*. BPB Publications.
- Carrión Palacios, J. H. (2022). *Interfaz HMI para control y supervisión de los parámetros del sistema de bombeo de combustibles de la estación Osayacu*. Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL.
- Chapman, S. J. (2012). *Máquinas Eléctricas*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Chávez Ñontol, A. (2018). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA DEVANADORA AUTOMÁTICA PARA MEJORAR LA CALIDAD EN FABRICACIÓN DE BOBINAS DE MOTORES ELÉCTRICOS EN SELTROMIND-CAJAMARCA-2017*. Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- Córdova Suaréz, J. C. (2024). *Diseño e implementación de una interfaz humano-máquina para optimizar la dosificación química en los pozos con levantamiento artificial de petróleo*. Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL.
- EASA (Director). (2021). *Como rebobinar estatores trifásicos* [Motion Picture].
- EASA. (2023). *Manual Técnico*. St. Louis: EASA.
- Hagedorn, J., Sell-Le Blanc, F., & Fleischer, J. (2019). *Handbook of Coil Winding Technologies for efficient electrical wound products and their automated production*. Springer.
- López Guayta, E. M. (2024). *Diseño y construcción de un prototipo para automatizar procesos de soldado lineal en la U.E. Marcelino Maridueña*. Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL.
- Masoumi, M., Rajasekhara, K., Parati, D., & Bilgin, B. (2022). Manufacturing Techniques for Electric Motor Coils With Round Copper Wires. *IEEE Access*.
- Siemens. (2021). *Paneles de operador Basic Panels 2nd Generation*. NÜRNBERG : Siemens.
- Siemens, A. (2022). *HMI Basic Panels: Operating Instructions*. Siemens AG.
- Siemens, A. (2022). *S7-1200 Easy Book*. Siemens AG.
- Vargas, G. (2022). *DESARROLLO DE UNA BOBINADORA CONCÉNTRICA SEMI AUTOMÁTICA PARA LA REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN PARA LA EMPRESA SIEM*. Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- WEG. (2022). *Manual de Programación CFW500*. WEG.
- WEG. (2022). *Manual del Usuario Modbus RTU CFW500*. WEG.
- Wildi, T. (2022). *Máquinas Eléctricas Y Sistemas De Potencia*. PEARSON.

ANEXO 1

Figura 11 Pregunta 1 de encuesta

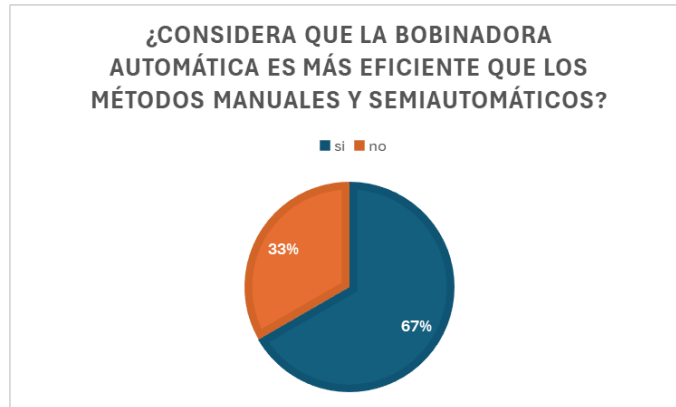


Figura 12 Pregunta 2 de encuesta

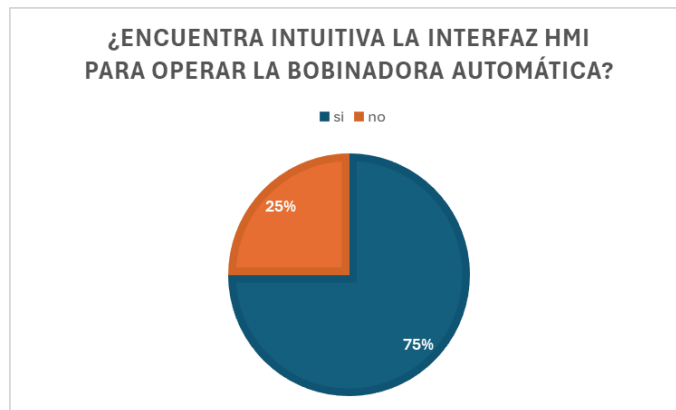


Figura 13 Pregunta 3 de encuesta

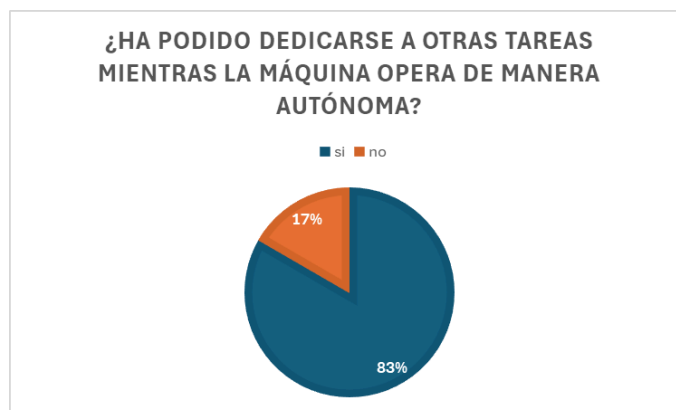


Figura 14 Pregunta 4 de encuesta

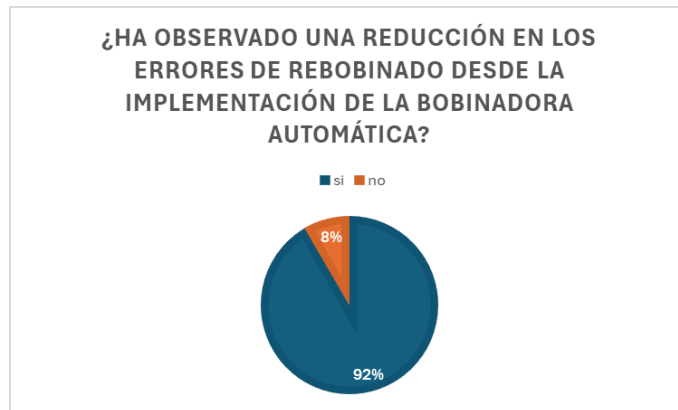


Figura 15 Pregunta 5 de encuesta

