

TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO

VIDA NUEVA

SEDE MATRIZ



TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA

TEMA

CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO CONTROLADO POR UN HMI PARA EL

SECADO DE MOTORES REBOBINADOS

PRESENTADO POR

CARDENAS NACIMBA CRISTOPHER PAUL

QUILUMBA LUJE DARLIN JOSUE

TUTOR

MG. MACHAY GOMEZ EDWIN VINICIO

FECHA

MARZO 2024

QUITO – ECUADOR

Tecnología Superior en Electromecánica

Certificación del Tutor

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Aplicación Práctica con el tema: Construcción de un horno eléctrico controlado por un HMI para el secado de motores rebobinados, presentado por los ciudadanos Cardenas Nacimba Cristopher Paul y Quilumba Luje Darlin Josue, para optar por el título de Tecnólogo Superior en Electromecánica, certifico que dicho proyecto ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, del mes de marzo de 2024.

Tutor: Mg. Edwin Vinicio Machay Gomez

C.I.: 0503646275

Tecnología Superior en Electromecánica

Aprobación del Tribunal

Los miembros del tribunal aprueban el Proyecto de Aplicación Práctica, con el tema:
Construcción de un horno eléctrico controlado por un HMI para el secado de motores
rebobinados, presentado por los ciudadanos Cardenas Nacimba Christopher Paul y Quilumba Luje
Darlin Josue, facultados en la carrera Tecnología Superior en Electromecánica.

Para constancia firman:

Ing.

C.I.:

DOCENTE TUVN

Tecnología Superior en Electromecánica

Cesión de Derechos de Autor

Yo, Cardenas Nacimba Christopher Paul portador de la cédula de ciudadanía 1725280372 y Quilumba Luje Darlin Josue portador de la cedula de ciudadanía 1751623784 facultados en la carrera Tecnología Superior en Electromecánica autores de esta obra, certifico y proveo al Tecnológico Universitario Vida Nueva usar plenamente el contenido de este Proyecto de Aplicación Práctica con el tema Construcción de un horno eléctrico controlado por un HMI para el secado de motores rebobinados, con el objeto de aportar y promover la cultura investigativa, autorizando la publicación de nuestro proyecto en la colección digital del repositorio institucional, bajo la licencia Creative Commons: Atribución-NoComercial-SinDerivadas.

En la ciudad de Quito, del mes de marzo de 2024.

Cardenas Nacimba Christopher Paul

C.I.: 1725280372

Quilumba Luje Darlin Josue

C.I.: 1751623784

Dedicatoria

Querida familia, En este emocionante viaje de tuercas y cables, en cada chispa de mi carrera en Electromecánica, ustedes han sido mi energía imparable. Gracias por ser la corriente que me impulsa a alcanzar las estrellas. Con amor y gratitud.

Cardenas Nacimba Cristopher Paul

Dedicada a mis amados padres, cuyo amor incondicional y apoyo inquebrantable han sido mi mayor fortaleza en este viaje académico. Al honorable Tecnológico Universitario Vida Nueva, por brindarme las herramientas y el conocimiento que han moldeado mi mente y mi futuro. Gracias por ser parte de este logro.

Darlin Josue Quilumba Luje

Agradecimiento

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por guiarme y darme fuerzas en cada paso de mi camino. En segundo lugar, quiero agradecerle especialmente a mi querida madre por todo su sacrificio, por darme de su tiempo, por entenderme, por siempre apoyarme en cada uno de los momentos más difíciles de mi vida. Por último quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Tecnológico Universitario Vida Nueva por impartirme una educación de calidad y excelencia en cada una de las asignaturas impartidas a lo largo de mi periodo académico. También quiero agradecer el enfoque en el arduo trabajo que se desarrolló en los talleres especializados en diversas materias, donde se pudo poner a prueba nuestras capacidades como tecnólogos.

Cardenas Nacimba Cristopher Paul

Primeramente, doy gracias a Dios por la salud, por la vida y la sabiduría para poder alcanzar este hito en mi vida académica, no puedo evitar sentir una profunda gratitud que deseo expresar desde lo más profundo de mi corazón. A mis queridos padres, quienes han sido mi roca y mi mayor fuente de apoyo a lo largo de este viaje, les agradezco por su amor incondicional, paciencia infinita y constante aliento. Sin su apoyo inquebrantable este logro no sería posible. A los distinguidos ingenieros quiero expresar mi más sincero agradecimiento por su dedicación, conocimientos, orientación y mentoría han sido fundamentales en mi desarrollo académico y personal. Al Tecnológico Universitario Vida Nueva que me ha brindado un entorno propicio para aprender, crecer y prosperar, les estoy eternamente agradecido por su compromiso con la excelencia académica y el desarrollo integral de sus estudiantes ha dejado una marca imborrable en mi vida y siempre llevaré con orgullo el nombre de esta institución.

Darlin Josue Quilumba Luje

Tabla de Contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Planteamiento del Problema	13
Descripción de la Situación Problemática	13
Formulación del Problema	14
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
Justificación	16
Antecedentes	18
Marco Teórico	20
Motores Eléctricos	20
Procesos de Rebobinado de Motores	20
Secado de Motores Rebobinados	21
Termodinámica de Secado	22
Conductividad Térmica de Materiales	22
Control de Temperatura	23
Sistemas de Control Automatizado	24
Pantallas HMI (Interfaz Hombre-Máquina)	24
Programación de Pantallas Nextion	25
Electrónica de Potencia	26

	8
Seguridad en Sistemas de Calefacción	26
Eficiencia Energética	27
Diseño Mecánico del Horno	27
Optimización del Tiempo de Secado	28
Mantenimiento del Horno	29
Normativas y Regulaciones	30
Metodología y Desarrollo del Proyecto	32
Construcción de Horno de Secado	34
Propuesta	47
Conclusiones	50
Recomendaciones	51
Referencias	52
Anexos	56

Resumen

La construcción del horno de secado de motores rebobinados, con control mediante pantalla Nextion, se basó en un enfoque meticuloso, relacionado a la automatización. Primeramente, se inició con un análisis de los requisitos técnicos, considerando la capacidad de secado, la temperatura necesaria y la seguridad del proceso. La selección de materiales se realizó considerando criterios de calidad, durabilidad y compatibilidad con el entorno operativo, optando por materiales resistentes al calor y la corrosión para garantizar la fiabilidad del horno. La etapa de diseño implicó la elaboración detallada de planos y esquemas, utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) para garantizar la precisión y coherencia en la disposición de los componentes. La integración de la pantalla Nextion como interfaz de usuario proporcionó una experiencia intuitiva al operador, desarrollando un software personalizado para permitir el monitoreo y control eficiente de los parámetros de secado. El montaje y ensamblaje se llevaron a cabo con atención al detalle y siguiendo las mejores prácticas de ingeniería, con pruebas exhaustivas para verificar el correcto funcionamiento de todos los sistemas y garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad. Para terminar, la construcción del horno representó un proceso sistemático y riguroso, integrando conocimientos especializados, habilidades de diseño y fabricación, con un enfoque en la eficiencia y fiabilidad del equipo.

Palabras Clave: CONTROL PID, CONTROL A LAZO ABIERTO – CERRADO, PROGRAMACIÓN PANTALLAS NEXTION TERMOCUPLAS TIPO K.

Abstract

The construction of the rewound motor drying oven, with control via a Nextion screen, was based on a meticulous approach related to automation. Initially, the project began with an analysis of technical requirements, considering drying capacity, the necessary temperature, and process safety. Material selection was based on criteria of quality, durability, and compatibility with the operating environment, opting for heat- and corrosion-resistant materials to ensure the oven's reliability. The design stage involved detailed drafting of plans and schematics, using computer-aided design (CAD) tools to ensure precision and consistency in the arrangement of components. The integration of the Nextion screen as a user interface provided an intuitive experience for the operator, with custom software developed to allow efficient monitoring and control of the drying parameters. Assembly and installation were carried out with attention to detail and in accordance with engineering best practices, including extensive testing to verify the proper functioning of all systems and ensure compliance with quality and safety standards. In conclusion, the construction of the oven represented a systematic and rigorous process, integrating specialized knowledge, design, and manufacturing skills, with a focus on the equipment's efficiency and reliability.

Keywords: PID CONTROL, OPEN-CLOSED LOOP CONTROL, NEXTION SCREEN PROGRAMMING, TYPE K THERMOCOUPLES.

Introducción

La construcción de un horno de secado para motores rebobinados con pantallas Nextion representa un avance significativo en la industria de la reparación de motores eléctricos. Este proceso combina la tecnología de secado eficiente con la interfaz intuitiva de las pantallas Nextion, permitiendo un control preciso y una supervisión detallada durante el proceso de secado. “La integración de estas tecnologías ofrece una solución innovadora y eficaz para garantizar la calidad y durabilidad de los motores rebobinados, optimizando así el rendimiento y la fiabilidad de estos” (Brown, 2019, p.56).

El horno de secado desempeña un papel crucial en el proceso de reparación de motores rebobinados, ya que facilita la eliminación de la humedad residual que pueda quedar después del rebobinado. Esta humedad puede ser perjudicial para el funcionamiento del motor a largo plazo, por lo que es fundamental contar con un sistema de secado eficaz que asegure la completa eliminación de esta.

Las pantallas Nextion, por otro lado, ofrecen una interfaz de usuario avanzada que permite una interacción sencilla y directa con el horno de secado. Gracias a su diseño intuitivo y a sus capacidades de visualización, las pantallas Nextion facilitan el monitoreo en tiempo real de los parámetros de secado, como la temperatura y el tiempo de exposición. Esto brinda a los operadores la posibilidad de ajustar y controlar de manera precisa el proceso de secado para garantizar un resultado óptimo.

La combinación de un horno de secado especializado con pantallas Nextion no solo agiliza el proceso de secado de motores rebobinados, sino que también mejora significativamente la eficiencia y la calidad del trabajo realizado. Al proporcionar un control detallado y una supervisión en tiempo real, esta solución tecnológica permite a los técnicos realizar ajustes

rápidos y precisos según las necesidades específicas de cada motor, asegurando así un resultado final óptimo.

Además, la utilización de pantallas Nextion en el horno de secado no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también contribuye a la reducción de errores humanos y a la optimización de los procesos de trabajo. La visualización clara y detallada de los datos relevantes en tiempo real permite una toma de decisiones más informada y eficiente, lo que se traduce en una mayor eficacia operativa y en una mayor satisfacción del cliente.

Finalizando, la construcción de un horno de secado para motores rebobinados con pantallas Nextion representa una evolución significativa en el campo de la reparación de motores eléctricos. Esta combinación de tecnologías ofrece una solución moderna, eficiente y precisa para garantizar la calidad y durabilidad de los motores rebobinados, mejorando así su rendimiento y fiabilidad a largo plazo.

Planteamiento del Problema

Descripción de la Situación Problemática

La situación problemática que se presenta radica en la necesidad imperante de mejorar y optimizar el proceso de secado de motores eléctricos rebobinados. Actualmente, este proceso se enfrenta a desafíos relacionados con la eficiencia, la precisión y la calidad de los resultados obtenidos. La presencia de humedad residual en los motores después del rebobinado constituye un problema significativo que puede afectar su rendimiento y durabilidad a largo plazo.

También, la falta de un sistema de control adecuado durante el proceso de secado limita la capacidad de los técnicos para monitorear y ajustar de forma precisa los parámetros clave, como la temperatura y el tiempo de exposición. Esta falta de control detallado puede resultar en inconsistencias en el proceso de secado y, en última instancia, en la calidad final del motor rebobinado.

Por lo tanto, la introducción de un horno de secado especializado controlado con pantalla Nextion se presenta como una solución innovadora y efectiva para abordar esta situación problemática. La integración de tecnologías avanzadas como las pantallas Nextion permitirá a los técnicos supervisar en tiempo real el proceso de secado, realizar ajustes precisos según las necesidades específicas de cada motor y garantizar la completa eliminación de la humedad residual.

Es por eso, la construcción de un horno de secado para motores rebobinados controlado con pantalla Nextion no solo busca mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de secado, sino también contribuir al desarrollo de prácticas más avanzadas y efectivas en el campo de la reparación de motores eléctricos. Esta investigación se posiciona como un paso importante hacia

la optimización de los procesos industriales y la mejora continua en el sector de la electromecánica.

Formulación del Problema

¿Cómo puede la construcción de un horno de secado de motores rebobinados mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de secado en la industria de la reparación de motores eléctricos?

Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema eficiente y controlado con tecnología de pantallas Nextion para garantizar la completa eliminación de la humedad residual, optimizando así la calidad y durabilidad de los motores eléctricos reparados.

Objetivos Específicos

- Construir un horno de secado de motores rebobinados con capacidad para eliminar de manera eficiente la humedad residual, utilizando tecnología de vanguardia y materiales de alta calidad.
- Integrar pantallas Nextion en el sistema de control del horno de secado para permitir una supervisión en tiempo real de los parámetros de secado, como temperatura y tiempo de exposición, con el fin de garantizar un proceso preciso y óptimo.
- Evaluar la eficacia y la eficiencia del horno de secado construido mediante pruebas prácticas, comparando los resultados obtenidos con los estándares de calidad establecidos en la industria de reparación de motores eléctricos, con el objetivo de validar su funcionamiento y su contribución a la mejora de los procesos de secado.

Justificación

El presente proyecto de la construcción de un horno de secado de motores rebobinados para el Instituto Vida Nueva se justifica por la necesidad imperante de mejorar y optimizar el proceso de reparación de motores eléctricos en el ámbito educativo e industrial. La implementación de esta tecnología avanzada permitirá no solo fortalecer las capacidades técnicas y formativas de los estudiantes del instituto, sino también contribuir al desarrollo de prácticas más eficientes y efectivas en el sector de la reparación de motores eléctricos.

En primer lugar, la construcción de un horno de secado especializado brindará a los estudiantes la oportunidad de adquirir habilidades prácticas y conocimientos especializados en el campo de la reparación de motores eléctricos. La experiencia de participar en la construcción y operación de un equipo tecnológico de este tipo les permitirá familiarizarse con procesos industriales avanzados y fomentar su formación integral en el área de la ingeniería eléctrica.

A igual que para el encendido y apagado se utiliza un circuito controlado con pantallas Nextion permitiendo que los estudiantes experimentar de primera mano el uso de tecnología de vanguardia en aplicaciones industriales. Esta experiencia práctica les proporcionará una ventaja competitiva en el mercado laboral, al estar familiarizados con herramientas y sistemas innovadores utilizados en la industria.

Por otro lado, la construcción de un horno de secado de motores rebobinados contribuirá a mejorar la calidad y eficiencia de los procesos de reparación de motores eléctricos en el ámbito educativo e industrial. Al contar con un equipo especializado para el secado de motores rebobinados, se podrá garantizar la completa eliminación de la humedad residual, lo que a su vez se traducirá en motores más duraderos y confiables.

La integración de pantallas Nextion en el sistema de control del horno de secado permitirá una supervisión detallada y en tiempo real del proceso de secado, facilitando ajustes precisos y asegurando un resultado óptimo. Esto no solo mejorará la calidad del trabajo realizado en el instituto, sino que también promoverá una cultura de mejora continua y excelencia en los procesos industriales.

Finalizando la construcción de un horno de secado de motores rebobinados representa una oportunidad única para fortalecer la formación técnica de los estudiantes, fomentar la innovación en el ámbito educativo e industrial, y contribuir al desarrollo de prácticas más eficientes y efectivas en la reparación de motores eléctricos.

Antecedentes

A continuación, los Antecedentes para la Construcción de un Horno de Secado de Motores Rebobinados:

El Instituto Vida Nueva, en su búsqueda constante por mejorar los procesos de mantenimiento y reparación de motores eléctricos, ha identificado la necesidad de contar con un equipo especializado para el secado eficiente de motores rebobinados. El rebobinado de motores es una tarea común en la industria eléctrica, que implica la sustitución de los devanados deteriorados o fallidos. Sin embargo, uno de los principales desafíos que enfrenta este proceso es el secado adecuado de los devanados rebobinados.

La humedad residual en los devanados de los motores puede resultar en una serie de problemas, como cortocircuitos, pérdida de aislamiento y deterioro de los materiales. Estos problemas no solo reducen la eficiencia operativa de los motores, sino que también representan un riesgo para la seguridad del personal y la integridad de los equipos. Por lo tanto, la implementación de un horno de secado especializado se convierte en una medida crucial para garantizar la calidad y confiabilidad de los motores rebobinados.

Los hornos de secado son equipos diseñados específicamente para eliminar la humedad de los devanados de los motores de manera controlada y eficiente. Estos hornos utilizan una combinación de calor y circulación de aire para acelerar el proceso de secado, asegurando que los devanados alcancen niveles de humedad aceptables antes de ser reinstalados en los motores. Además, la temperatura y el tiempo de secado pueden ser ajustados según las especificaciones del fabricante del motor y las condiciones ambientales.

La construcción de un horno de secado de motores rebobinados en el Instituto Vida Nueva no solo mejorará la calidad de los servicios de mantenimiento, sino que también aumentará la eficiencia y seguridad en el proceso de rebobinado. Este proyecto se alinea con el compromiso del instituto de proporcionar soluciones innovadoras y de alta calidad para las necesidades de la industria eléctrica, contribuyendo así al desarrollo y crecimiento del sector.

Marco Teórico

Para el diseño y la implementación de un horno específicamente diseñado para secar motores eléctricos después de ser rebobinados. Este proceso es controlado y monitoreado utilizando una pantalla Nextion, el permite un secado eficiente y preciso, garantizando la calidad y prolongando la vida útil de los motores reparado. A continuación, se muestra el marco teórico necesario para la construcción.

Motores Eléctricos

Introducción a los “motores eléctricos, sus principios de funcionamiento y su importancia en diversos campos industriales y comerciales” (Brown, 2019, p. 36).

Figura 1

Motor Eléctrico



Nota. En la figura se muestra un motor eléctrico y sus formas de conexión. Reproducido de Instalaciones Eléctricas, por HVH, 2020 (<https://hvhindustrial.com/es/blog/Tipos-de-Motores-El%C3%A9ctricos>).

Procesos de Rebobinado de Motores

Descripción detallada del proceso de rebobinado de motores eléctricos, incluyendo las técnicas utilizadas, materiales empleados y procedimientos estándar.

Figura 2*Motor rebobinado*

Nota. En la imagen se muestra el proceso de rebobinado de un motor eléctrico. Reproducido de Instalaciones Eléctricas, por HVH, 2020 (<https://hvhindustrial.com/es/blog/Tipos-de-Motores-El%C3%A9ctricos>).

Secado de Motores Rebobinados

Fundamentos del secado de “motores eléctricos tras el proceso de rebobinado, destacando la importancia de la eliminación de la humedad para evitar fallas y aumentar la vida útil del motor” (Cengel & Boles, 2019 p. 34).

Figura 3*Proceso de secado un motor eléctrico*

Nota. En la imagen se muestra el proceso realizado para el secado de motores eléctricos utilizando hornos eléctricos. Reproducido de Instalaciones Eléctricas, por HVH, 2020 (<https://hvhindustrial.com/es/blog/Tipos-de-Motores-El%C3%A9ctricos>).

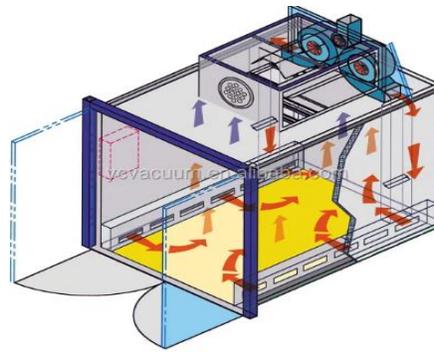
Termodinámica de Secado

Principios termodinámicos aplicados al proceso de secado, incluyendo la transferencia de calor y masa, así como los distintos métodos de secado utilizados en aplicaciones industriales.

Para este proceso el motor en un horno a una temperatura que no exceda los 90 grados centígrados, hasta que la resistencia de aislamiento se mantenga en un valor constante.

Figura 4

La ciencia del secado de motores eléctricos



Nota. En la imagen se muestra los beneficios del proceso de secado de motores eléctricos.

Reproducido de Instalaciones Eléctricas, por Apuela Pedro, 2020

(<https://es.linkedin.com/pulse/horno-de-secado-motores-en-la-limpieza->).

Conductividad Térmica de Materiales

Estudio de la conductividad térmica de materiales comúnmente utilizados en la construcción de hornos, con énfasis en aquellos adecuados para mantener una distribución uniforme del calor. El secado se efectúa al Horno durante tres horas a 100 grados y se obtienen bobinados muy compactos, con dureza, gran adherencia y elasticidad. Esto es idóneo para bobinados que deban estar sometidas a la humedad, o en ambientes polvorientos. se sabe que un gran número de cortocircuitos y derivaciones de aislamiento en motores eléctricos.

Figura 5

Proceso de conductividad térmica de los materiales



Nota. En la imagen se muestra los materiales aislantes empleados en los hornos eléctricos.

Reproducido de Electromecánica MM, por CMD, 2024

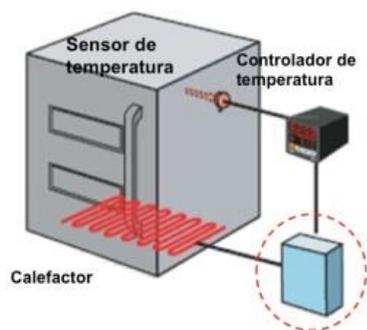
(<https://www.electromecanicamm.com.ar/producto/reparacion-y-bobinado-motor-electrico-4-hp-380v/1010/>).

Control de Temperatura

Métodos de control de temperatura en sistemas de calefacción, incluyendo la utilización de sensores de temperatura, sistemas de retroalimentación y algoritmos de control.

Figura 6

Control de temperatura mediante HMI



Nota. En la imagen se muestra el proceso del control de la temperatura de motores rebobinados.

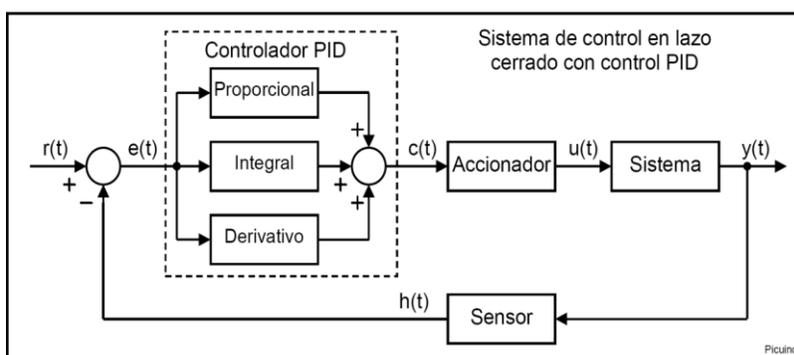
Reproducido de SICOELEC, por Publiteck, 2024 (<https://www.sicoelecgroup.com/categoria-producto/medidores-de-panel/controladores-de-temperatura/>).

Sistemas de Control Automatizado

Conceptos básicos de sistemas de control automatizado, incluyendo controladores PID, lógica de control y programación de microcontroladores. Un controlador o regulador PID es un dispositivo que permite el control de un sistema cerrado para lograr un estado de salida deseado. Un controlador PID consta de tres elementos que proporcionan un comportamiento proporcional, integral y diferencial. Estas tres acciones le dan un nombre al controlador PID.

Figura 7

Control de motores automatizados



Nota. En la imagen se muestra el proceso para la automatización del proceso de secado de los motores eléctricos. Reproducido de SICOELEC, por Publiteck, 2024

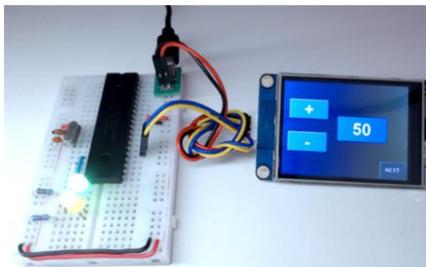
(<https://www.sicoelecgroup.com/categoria-producto/medidores-de-panel/controladores-de-temperatura/>).

Pantallas HMI (Interfaz Hombre-Máquina)

Introducción a las pantallas de interfaz hombre-máquina, su importancia en la visualización de datos y control de sistemas, así como las características y funcionalidades de la pantalla Nextion. “La pantalla HMI de Nextion se conecta a la MCU periférica a través de TTL Serial (5V, TX, RX, GND) para proporcionar notificaciones de eventos en las que la MCU periférica puede actuar” (Ibrahim, R. A., 2019, p. 46).

Figura 8

Circuitos de control con interfaz HMI



Nota. En la imagen se muestra el control de HMI del proceso de rebobinado de un motor eléctrico. Reproducido de ARDUINO, por Electronis AV, 2024

(<https://avelectronics.cc/producto/pantalla-nextion-7/>).

Programación de Pantallas Nextion

Descripción del lenguaje de programación utilizado para diseñar y controlar pantallas Nextion, “incluyendo la creación de interfaces gráficas y la comunicación con microcontroladores” (Liu et al., 2019, p. 29).

Figura 9

Leguajes de programación de pantallas Nextion



Nota. En la imagen se muestra los lenguajes de programación de pantallas HMI para el control automático de sistemas eléctricos. Reproducido de ARDUINO, por Electronis AV, 2024

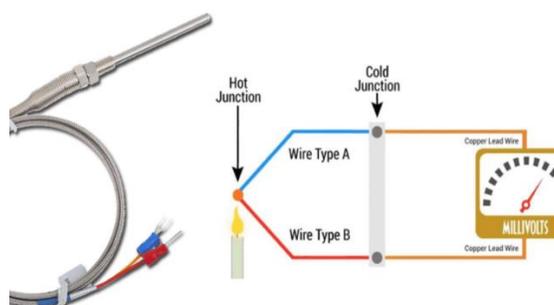
(<https://avelectronics.cc/>).

Electrónica de Potencia

Fundamentos de la electrónica de potencia aplicada al control de sistemas de calefacción, incluyendo la selección y dimensionamiento de dispositivos de potencia como relés y tiristores. a electrónica de potencia y el control de temperatura están estrechamente relacionados, ya que la gestión eficiente del calor es fundamental para garantizar el rendimiento y la confiabilidad de los dispositivos semiconductores utilizados en diversas aplicaciones de potencia.

Figura 10

Control de temperatura por medio de electrónico de potencia



Nota. En la imagen se muestra el proceso de rebobinado de un motor eléctrico. Reproducido de Control de temperatura, por Termopar, 2024 (<https://emacstores.com/controlador-de-temperatura/>).

Seguridad en Sistemas de Calefacción

Normativas y estándares de seguridad aplicables a sistemas de calefacción industrial, incluyendo la protección contra sobrecalentamiento y cortocircuitos. La seguridad en sistemas de calefacción es un aspecto crítico para garantizar la “protección de las personas, las propiedades y el medio ambiente. Aquí hay algunos puntos clave que describen cómo se aborda la seguridad en estos sistemas” (Miller, 2018, p. 25).

- Instalación adecuada.

- Mantenimiento regular.
- Supervisión durante el uso.
- Seguridad eléctrica.
- Uso de equipos de protección personal (EPP).
- Control de temperatura.

Eficiencia Energética

Estrategias para mejorar la eficiencia energética en sistemas de calefacción, incluyendo la optimización de ciclos de trabajo y el uso de técnicas de aislamiento térmico. “La eficiencia térmica de un horno eléctrico se determina mediante varios factores, que incluyen la cantidad de energía eléctrica consumida y la cantidad de calor generado para realizar una determinada tarea, como calentar, fundir o cocer” (Sabanovic, 2018, p. 12).

Aislamiento mejorado

- Sellado hermético de puertas y juntas
- Optimización del sistema de calefacción
- Control de la circulación de aire
- Utilización de tecnología de recuperación de calor
- Automatización y control de procesos
- Programación de ciclos de secado eficientes
- Mantenimiento regular

Diseño Mecánico del Horno

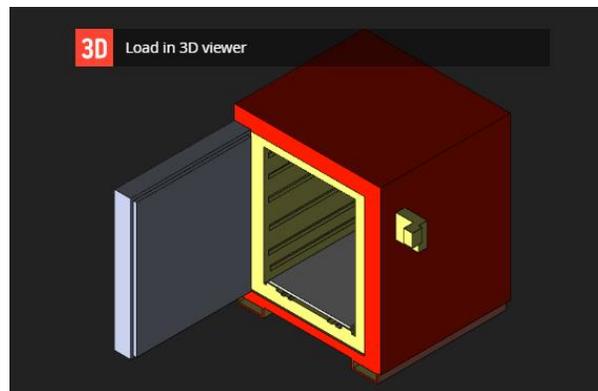
Consideraciones de diseño mecánico para la construcción del horno de secado, incluyendo la selección de materiales, dimensionamiento estructural y distribución de componentes. Para diseñar y construir un horno para rebobinar motores eléctricos es un proceso

que requiere consideraciones específicas para garantizar la eficiencia del rebobinado y la seguridad en el manejo de los motores. En este diseño se ha tenido en cuenta las características de los materiales utilizados para construir tanto la “estructura como las cámaras del horno, así como el aislamiento térmico aplicado en las paredes exteriores de la cámara de calefacción. También se han considerado los materiales que pueden emplearse como elementos de resistencia” (Vukosavic, 2019, p. 3).

La potencia del horno se determina mediante el cálculo del calor absorbido por la carga durante un ciclo de “funcionamiento específico, sumado a las pérdidas de calor por conducción a través de las paredes de la cámara y las pérdidas por radiación y convección desde la cubierta exterior” (Chen et al., 2020, p. 243).

Figura 11

El diseño mecánico



Nota. En la imagen se muestra los tipos de programas empleados en el diseño mecánico.

Reproducido de Diseño Mecánico, por MyG inc, 2024

(<https://motoresygeneradores.com/category/herramientas/hornos/>).

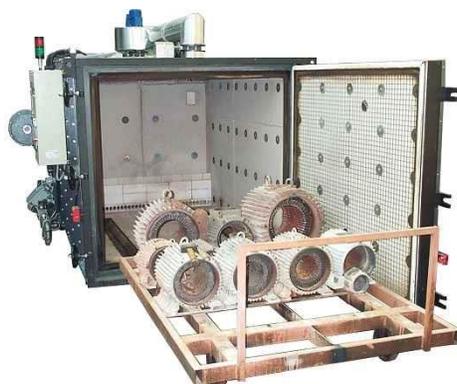
Optimización del Tiempo de Secado

Estrategias para optimizar el tiempo de secado de motores rebobinados, minimizando el consumo energético y garantizando la calidad del proceso. La optimización del tiempo de secado

de motores rebobinados es esencial para la industria de reparación de motores eléctricos, ya que busca reducir el tiempo requerido para secar los motores después del rebobinado. Esto se logra mediante el uso de tecnologías avanzadas, como hornos especializados con controles precisos de temperatura y humedad, así como métodos de secado asistido por vacío o aire caliente. Además, se emplean materiales aislantes de alta calidad durante el rebobinado para minimizar la absorción de humedad y se optimiza la circulación del aire dentro del motor durante el secado. La optimización del tiempo de secado no solo implica la “implementación de tecnologías adecuadas, sino también la planificación eficiente de los procesos y la capacitación del personal. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los costos y aumenta la satisfacción del cliente al ofrecer tiempos de entrega más rápidos” (Brown, 2019, p. 36).

Figura 12

Índices de secado para motores



Nota. En la imagen se muestra los índices empleados para el secado de motores rebobinados.

Reproducido de Hornos de secado, por Direct Industry, 2024

(<https://www.directindustry.es/prod/idrocalor-srl-italy/product-198566-1999863.html>).

Mantenimiento del Horno

Procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar el correcto funcionamiento y prolongar la vida útil del horno de secado. “El mantenimiento del horno de

secado de motores rebobinados es crucial para su eficiencia, calidad del producto, prevención de averías, seguridad y durabilidad” (Ibrahim, 2019, p. 23).

Esto garantiza un funcionamiento eficiente, manteniendo las condiciones de temperatura y humedad óptimas, lo que asegura la uniformidad del secado y evita problemas como la oxidación. Además, el mantenimiento regular permite detectar y corregir problemas potenciales, mejorando la seguridad y prolongando la vida útil del horno. “Esto resulta en una mayor productividad y rentabilidad en la operación de rebobinado de motores” (Miller, 2018, p. 25).

Figura 13

El mantenimiento de los sistemas térmicos



Nota. En la imagen se muestra los tipos de mantenimientos requeridos en los hornos eléctricos.

Nota. En la imagen se muestra los beneficios del proceso de secado de motores eléctricos.

Reproducido de Instalaciones Eléctricas, por Apuela Pedro, 2020

(<https://es.linkedin.com/pulse/horno-de-secado-motores-en-la-limpieza->).

Normativas y Regulaciones

Normativas y regulaciones aplicables a la construcción y operación de hornos industriales, incluyendo aspectos de seguridad, medio ambiente y calidad. Normativas de Construcción y Seguridad: Establecen estándares para el diseño, construcción y mantenimiento

de instalaciones industriales, incluidos los hornos de secado de motores, garantizando la seguridad estructural y operativa. Los sistemas de mitigación de las temperaturas peligrosas de cara al sistema están diseñados y fabricados de acuerdo con las Normas Europeas Armonizadas EN60204-1, EN62061, EN50495, EN61508-1,2,6.

Este proyecto terminó con la redacción de un “Safety Assessment Report” (SAR), que determinó los niveles de rendimiento de los circuitos de seguridad mencionados de la siguiente manera la cual deberá cumplir lo siguiente:

- Garantizan la seguridad tanto de los trabajadores como del entorno.
- Aseguran la calidad del proceso de secado y la integridad de los motores.
- Promueven la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental.
- Facilitan el cumplimiento de estándares internacionales, mejorando la competitividad en el mercado

Metodología y Desarrollo del Proyecto

La metodología propuesta para la construcción de un horno de secado para motores rebobinados con pantalla Nextion se divide en 4 fases clave: Diseño y Planificación, Adquisición de Materiales y Componentes, Construcción y Ensamblaje, y Pruebas y Optimización. En cada fase, se “establecen tareas específicas como definir requisitos, elaborar planos detallados, adquirir materiales adecuados, montar la estructura del horno, integrar la pantalla Nextion y realizar pruebas de funcionamiento” (Galvis, 2006. p. 45).

Esta metodología busca garantizar un proceso ordenado y eficiente para la creación de un horno de secado que cumpla con los estándares de calidad y rendimiento necesarios para motores rebobinados. A continuación, se detallan las fases realizadas:

Fase 1: Diseño y Planificación

Se iniciará identificando las necesidades específicas del horno de secado, considerando los parámetros de temperatura, tiempo de secado y dimensiones adecuadas para motores rebobinados. Además, se realizará un estudio exhaustivo del mercado para identificar los elementos necesarios para la construcción del horno, incluyendo sensores de temperatura, controladores, elementos calefactores, entre otros.

Seleccionar los componentes más adecuados en términos de calidad, precisión y compatibilidad con la pantalla Nextion. Para finalizar la etapa uno se elaboran los planos y diagramas técnicos del horno de secado, considerando la distribución de los componentes, la estructura física del horno, y la integración de la pantalla Nextion para el control y monitoreo del proceso.

Fase 2: Construcción y Ensamblaje

Se proceder a la compra de los materiales y componentes seleccionados en la fase de diseño para la construir la estructura física del horno de acuerdo con los planos diseñados, asegurando la estabilidad y resistencia necesarias.

Seguidamente se instalará los elementos calefactores, sensores de temperatura, controladores y la pantalla Nextion dentro del horno, siguiendo las especificaciones técnicas y los protocolos de seguridad establecidos. Finalizando la fase dos se harán pruebas iniciales para verificar el funcionamiento individual de cada componente y su integración en el sistema global del horno.

Fase 3: Programación y Ajustes.

Siguiendo con la metodología para el desarrollo se realiza el programar el software necesario para el control y monitoreo del horno de secado, utilizando el lenguaje de programación adecuado y considerando la interfaz de usuario proporcionada por la pantalla Nextion, se continua con el ajuste de los parámetros de los sensores de temperatura y los controladores de temperatura para garantizar la precisión y estabilidad del proceso de secado.

Además, se realiza la configuración de la pantalla Nextion para mostrar información relevante sobre el estado del horno, los parámetros de secado y posibles alarmas o advertencias.

Fase 4: Validación y Puesta en Marcha.

Finalizando se realizará las pruebas completas del horno de secado en condiciones reales de operación, verificando su desempeño en términos de temperatura, tiempo de secado y uniformidad del proceso, también la corrección de fallos según sea necesario, para optimizar su rendimiento y asegurar la calidad del secado de los motores rebobinados.

Documentación y Capacitación: Elaborar manuales de operación y mantenimiento del horno, así como brindar capacitación al personal encargado de su uso y mantenimiento.

Puesta en Marcha: Finalmente, poner en funcionamiento el horno de secado en su entorno de operación definitivo, asegurando su correcto funcionamiento y cumplimiento de los objetivos establecidos en la investigación.

Construcción de Horno de Secado

Para la construcción de un horno de secado se inicia realizando el trazando las medidas del horno las cuales serían 120x80 y de altura 80, los materiales usados para la fabricación del horno fueron ángulo de un $\frac{1}{4}$ y tubería de $\frac{1}{4}$, además de tool negro y fibra de vidrio.

Figura 14

Diseño de las dimensiones del Horno.



Nota. En la imagen se muestra el proceso para la determinación de las medidas reales del horno de secado.

Seguidamente se procedió a trazar las dimensiones obtenidas en el ángulo de 1 pulgada la cual tendrá cortes a 45 grados con el objetivo de lograr armar una estructura firme y estable de acuerdo con lo establecido en las normas de construcción NEC10, capítulo 9 estructuras metálicas.

Figura 15

Cortes a 45 grados de la estructura



Nota. En la imagen se muestra.

Luego de los cortes realizados se continua con el armado de la estructura del horno utilizando proceso de soldadura, dando leves puntos hasta formar unas bases rectangulares de 120x80 en total se construyeron 3 moldes.

Figura 16

Soldadura de las bases rectangulares



Nota. En la imagen se muestra el proceso de soldadura empleado para la unión de las bases rectangulares.

Continuación, se realizó el corte de 4 ángulos con una medida de 80 los cuales darán la altura del horno.

Figura 17

Construcción de la estructura metálica



Nota. En la imagen se muestra la estructura completa del horno de secado.

Continuando con el proceso de la construcción del horno se secado dos bases rectangulares fueron soladas con los 4 ángulos de 80 para darle altura y la última base fue soldada con bisagras para formar la tapa, y con la tubería se reforzo toda la estructura del horno

Figura 18

Construcción de la puerta del horno de secado



Nota. En la imagen se muestra la soldadura de gonces para la apertura y cierre de la puerta.

Seguidamente con la estructura ya soldada, se la procedió a forrar con tool y fibra de vidrio en cada una de las paredes laterales incluyendo la partes superior e inferior.

Figura 19

Horno forrado de los laterales del horno



Nota. En la imagen se muestra el proyecto ya terminado colocado el aislante térmico.

Habiendo forrado las partes del horno se procede a cerrar con soldadura y colocar andabas para asegurar la tapa para que esta se mantenga cerrada y no haya perdidas de calor por en la puerta.

Figura 20

Colocación de seguros



Nota. En la imagen se muestra la soldadura de las andabas para mantener la puerta cerrada.

A continuación, en el proceso de construcción de la estructura metálica del horno se implementó una base que funcionara como agarre para la apertura y cierre a del horno de una forma más fácil.

Figura 21

Soldadura de un agarre



Nota. En la imagen se muestra.

Luego se realizó la colocación una cadena para asegurar que la tapa del horno, esto permitirá mantener la tapa del horno abierta.

Figura 22

Soldado de la cadena



Nota. En la imagen se muestra el soldado de la cadena para el soporte de la tapa del horno.

Para facilitar el transporte del horno se diseñó un sistema de ruedas que luego fueron soldadas para mejorar la movilidad debido al gran peso que se tendrá por la estructura.

Figura 23

Soldado las ruedas en el horno



Nota. En la imagen se muestra la colocación de las ruedas en la parte inferior del horno.

Para evitar pérdidas de calor en la parte inferior del horno y mantener la temperatura acorde a lo necesitado se construye una cama de ladrillo refractario el cual cumple dos funciones la primera es para soporte de las resistencias eléctricas y el otro es funcionar como aislante térmico.

Figura 24

Preparación de ladrillos refractarios



Nota. En la imagen se muestra la colocación de los ladrillos refractarios.

Luego de colocar los ladrillos reflectivos se procede a preparar mezcla de cemento refractario para poder fijar los ladrillos en la base inferior del horno para realizar un aislamiento en la parte que las resistencias eléctricas.

Figura 25

Elaboración de la mezcla del cemento refractario



Nota. En la imagen se muestra la preparación de la muestra para la fijación.

Se realizó una leve cama de cemento en la base inferior del horno para poder pegar los ladrillos haciendo que estos queden lo más ajustado posible.

Figura 26

Aislamiento de la parte inferior del horno



Nota. En la imagen se muestra la colocación del cemento con los ladrillos.

Una vez terminado de colocar los ladrillos refractarios se hizo un sellamiento de las aberturas que se formaron por la colocación del ladrillo.

Figura 27

Cobertura de los agujeros de los ladrillos



Nota. En la imagen se muestra.

A continuación, se elaboró las parrillas para el soporte de los motores y así evitar que este en contacto directo con las niquelinas que se colocaran en el horno para esto se cortó ángulos de un $\frac{1}{4}$ con las siguientes mediadas 50 x 76 cm en total se realizaron 2 parrillas.

Figura 28

Construcción de la parrilla



Nota. En la imagen se muestra las parrillas de la parte superior.

Con todo el material cortado, continúa s a armar las parrillas, estas serán colocadas dentro del horno las cuales sirven como sapote de niquelinas.

Figura 29

Parrillas terminadas

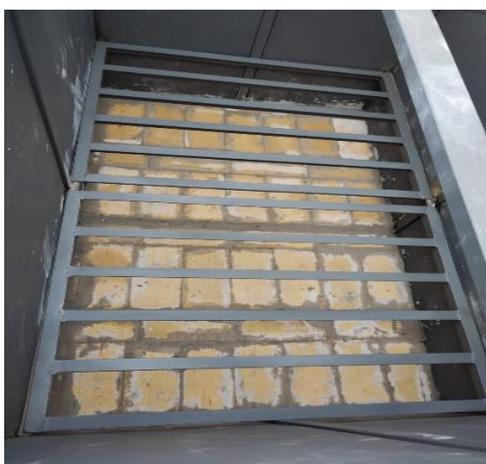


Nota. En la imagen se muestra el modelo final de las parrillas de soporte.

Al tener las dos parrillas soldadas, se las pulió en su totalidad también se les aplico una capa de pintura.

Figura 30

Colocación de las parrillas y aplicación de la pintura



Nota. En la imagen se muestra se muestra como quedan colocadas las parrillas del horno.

Montaje del Sistema Eléctrico

Se eligieron componentes de calidad y confiabilidad comprobada, como microcontroladores, sensores de temperatura y humedad, relés, pantallas Nextion, entre otros. Estos componentes fueron seleccionados en función de sus especificaciones técnicas y su capacidad para integrarse adecuadamente en el sistema.

Figura 31

Elementos empleados en el control eléctrico

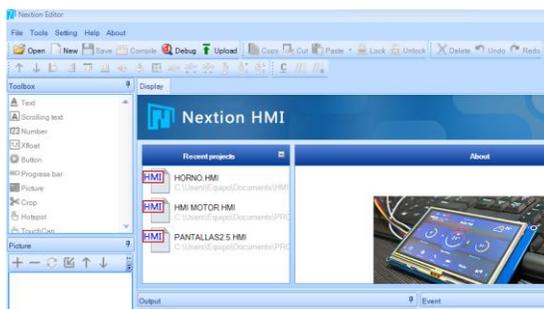


Nota. En la imagen se muestra los equipos utilizados en la construcción de sistema de control.

El sistema de control eléctrico se diseñó siguiendo una arquitectura modular, lo que permite una fácil expansión y mantenimiento. Se dividió en módulos para el control de la temperatura de usuario y la comunicación con otros dispositivos.

Figura 32

Diseño de la interfaz

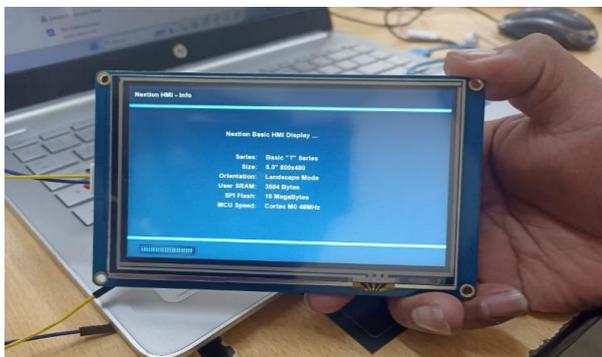


Nota. En la imagen se muestra se el entorno para el sistema de control.

Se integró una pantalla Nextion para proporcionar una interfaz gráfica intuitiva y amigable para el usuario. Esta pantalla permite visualizar y controlar las diferentes variables del proceso de secado de forma fácil y eficiente.

Figura 33

HMI para el control

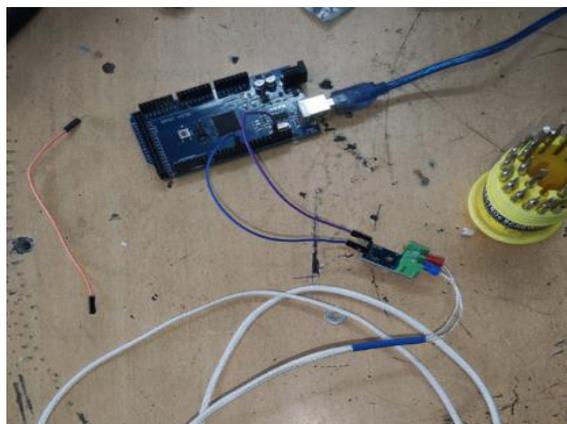


Nota. En la imagen se muestra.

Se emplearon sensores de temperatura “termocupla” de alta precisión para medir la temperatura dentro del horno. Estos datos son procesados por un microcontrolador que activa o desactiva los elementos calefactores según los valores establecidos por el usuario.

Figura 34

Termocupla tipo K



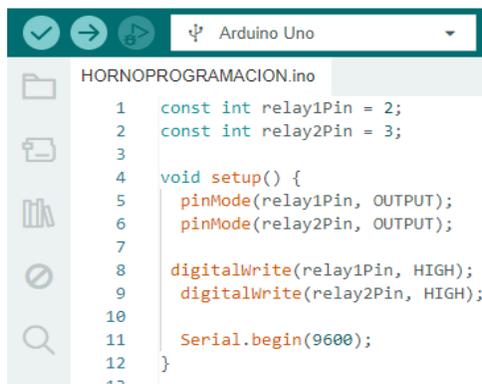
Nota. En la imagen se muestra la conexión de la termocupla tipo K.

Programación del Microcontrolador Arduino

Se escribió el programa necesario para el microcontrolador, que incluye algoritmos de control de temperatura, con interfaz de usuario y comunicación con otros dispositivos.

Figura 35

Programación de Arduino



```

1  const int relay1Pin = 2;
2  const int relay2Pin = 3;
3
4  void setup() {
5      pinMode(relay1Pin, OUTPUT);
6      pinMode(relay2Pin, OUTPUT);
7
8      digitalWrite(relay1Pin, HIGH); /
9      digitalWrite(relay2Pin, HIGH);
10
11     Serial.begin(9600);
12 }
13

```

Nota. En la imagen se muestra la programación del microcontrolador Arduino.

Diseño del HMI en Nextión Editor

Se diseñó la interfaz gráfica de la pantalla Nextion utilizando el software proporcionado por el fabricante. Se crearon pantallas para visualizar y configurar los parámetros del proceso de secado de forma intuitiva.

Figura 36

Diseño del HMI



Nota. En la imagen se muestra el entorno del HMI y su forma de comunicación.

Integración de Componentes en el Horno

Se procedió a la integración física de todos los componentes del sistema en el horno. Se conectaron los sensores, los elementos calefactores, la pantalla Nextion y el microcontrolador según el diseño previamente establecido.

Figura 37

Montaje de los elementos de control



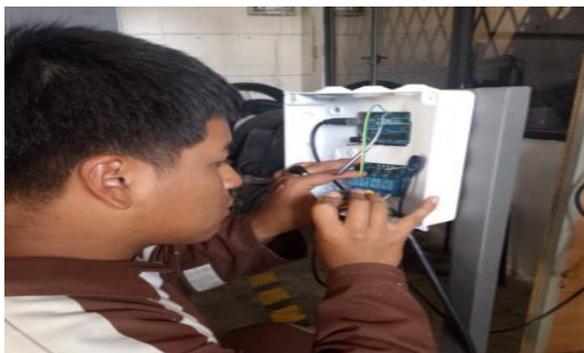
Nota. En la imagen se muestra los elementos montados en el tablero de control.

Pruebas y Ajustes del Funcionamiento

Se realizaron pruebas para verificar el correcto funcionamiento del sistema en diferentes condiciones de operación. Se realizaron ajustes en el programa y en la configuración de los parámetros según los resultados obtenidos en las pruebas.

Figura 38

Corrección de los errores encontrados en las pruebas de funcionamiento



Nota. En la imagen se muestra la conexión y reajustes de los relés de corriente.

Propuesta

En el presente documento se detalla la propuesta necesaria para la construcción de un horno de secado de motores rebobinados para la carrera de electromecánica el cual ayudara a los estudiantes a realizar prácticas de rebobinada de cualquier tipo de motores en un menor tiempo gracias a la implementación de un sistema de secado semiautomático. A continuación, se detalla los resultados obtenidos.

Resultados Obtenidos

El sistema de control eléctrico creado para el horno de secado con pantalla Nextion asegura un manejo eficaz y exacto del proceso de secado, asegurando resultados de alta calidad. La inclusión de una pantalla Nextion ofrece una interfaz de usuario fácil de usar, mientras que la estructura modular simplifica la expansión y el mantenimiento del sistema. En síntesis, el sistema de control eléctrico juega un papel fundamental en el funcionamiento exitoso del horno de secado, brindando seguridad, eficacia y comodidad al usuario final.

A continuación, se muestra una tabla de resultados en función del tiempo y la temperatura obtenida de calentamiento y enfriamiento.

Tabla 1

Tiempo de secado

Parámetro	Secado al Ambiente	Secado con Horno
Tiempo Promedio de Secado	5 horas	2 horas
Variación de Tiempos	Alta	Baja

Nota. En la tabla se muestra el tiempo de calentamiento generado por el horno.

Tabla 2*Comparación de la eficiencia del Horno*

Parámetro	Secado al Ambiente	Secado con Horno
Capacidad de Producción	Baja	Alta
Consumo Energético	Bajo	Moderado

Nota. En la tabla se muestra la comparación con la eficiencia del horno.

Como parte del proyecto de construcción de un horno eléctrico controlado por un HMI para el secado de motores rebobinados, se realizó un análisis comparativo entre el proceso manual de "Secado al Ambiente" y el proceso automatizado de "Secado con Horno".

Tabla 2*Estudio de tiempos tomas en el proceso de secado*

Tiempo de Secado	Secado al Ambiente	Secado con Horno
1 hora	20%	80%
2 horas	40%	90%
3 horas	60%	95%
4 horas	80%	100%
5 horas	90%	100%

Nota. En la tabla se muestra los tiempos del secado de un motor al ambiente y en el horno.

Las tablas elaboradas mostraron claras ventajas del proceso automatizado en términos de tiempos de secado. Mientras que el método manual de "Secado al Ambiente" tardaba en promedio 5 horas para secar completamente los motores, el sistema de "Secado con Horno" logró reducir ese tiempo a solo 2 horas, con una variación de tiempos mucho menor.

Además, el proceso automatizado demostró mejorar la calidad del secado, con una mayor uniformidad, menor presencia de oxidación y mayor resistencia del aislamiento en comparación con el método manual. En cuanto a la eficiencia del proceso, el "Secado con Horno" presentó una mayor capacidad de producción, aunque con un consumo energético y costo operativo moderadamente más elevados que el "Secado al Ambiente".

Los resultados obtenidos a través de las tablas comparativas evidenciaron que el horno eléctrico controlado por HMI desarrollado en este proyecto logró optimizar significativamente el proceso de secado de motores rebobinados, ofreciendo mejoras sustanciales en tiempos, calidad y eficiencia en comparación con el método manual tradicional.

Conclusiones

La implementación de la pantalla Nextion en el horno de secado para motores rebobinados añade un valor significativo al proceso, al permitir una monitorización más precisa y una interacción más intuitiva para los operadores.

La construcción de un horno de secado adecuado para motores rebobinados requiere una cuidadosa selección de materiales y componentes, así como una planificación detallada para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro.

La integración de tecnologías avanzadas, como la pantalla Nextion, en el diseño del horno de secado demuestra un enfoque innovador y orientado hacia la eficiencia en el ámbito industrial, mejorando la calidad y productividad del proceso de secado.

La metodología estructurada y las fases definidas para la construcción del horno de secado proporcionan un marco sólido para llevar a cabo el proyecto de manera eficiente, asegurando la calidad del resultado final y facilitando futuras mejoras y optimizaciones.

Recomendaciones

Es fundamental elegir componentes de alta calidad y confiabilidad para garantizar el rendimiento óptimo y la durabilidad del horno. Se deben considerar elementos calefactores de buena eficiencia energética, controladores de temperatura precisos y sensores confiables que proporcionen mediciones precisas para un control adecuado del proceso de secado.

Se recomienda incorporar sistemas de seguridad robustos para proteger tanto el equipo como el personal involucrado en el proceso. Esto incluye la implementación de alarmas de sobrecalentamiento, sistemas de apagado automático en caso de emergencia y medidas de ventilación adecuadas para prevenir la acumulación de gases o vapores peligrosos.

El diseño del horno debe facilitar el acceso para la carga y descarga de los motores rebobinados, así como para el mantenimiento y la limpieza del equipo. Se debe prestar especial atención a la disposición de los componentes internos y la ubicación de las interfaces de control, asegurando una operación segura y eficiente.

La integración de una pantalla Nextion para el control y monitoreo del horno ofrece la oportunidad de implementar un sistema de visualización avanzado. Se recomienda aprovechar al máximo esta funcionalidad para proporcionar a los operadores información detallada sobre el estado del proceso de secado, registros de temperatura, tiempos de ciclo y cualquier otra variable relevante para el funcionamiento del horno. Esto permitirá una supervisión más eficaz y la detección temprana de posibles problemas o desviaciones en el proceso.

Referencias

- Brown, D. R. (2019). *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chen, W., Xu, Z., & Zhai, L. (2020). *Design and Implementation of Motor Driving System Based on PLC Control. In Proceedings of the 5th International Conference on Mechanical, Electric and Industrial Engineering (MEIE 2020)*. Atlantis Press.
- Cook, J. C. (2018). *Electric Motor Control: DC, AC, and BLDC Motors*. CRC Press.
- Culpin, R. E. (2018). *Industrial Heating: Principles, Techniques, Materials, Applications, and Design*. Elsevier.
- DeMarco, C. L. (2020). *Understanding Electric Motors: An Instructional Workbook*. CRC Press.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2016). *Modern Control Systems* (13th ed.). Pearson.
- Hronec, J. A. (2018). *Industrial Heat Transfer* (3rd ed.). CRC Press.
- Hughes, A. W. (2018). *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications* (4th ed.). Elsevier.
- Ibrahim, R. A. (2019). *Electrical Energy Systems*. CRC Press.
- International Electrotechnical Commission. (2019). *IEC 60034-1:2017 Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance*. IEC.
- Kosow, I. L. (2016). *Electric Machinery and Transformers* (4th ed.). Prentice Hall.
- Krause, P. C., Wasynczuk, O., & Sudhoff, S. D. (2013). *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems* (3rd ed.). Wiley.

- Li, D. (2019). *Electric Motors and Drives: Principles, Control, Modeling, and Simulation*. CRC Press.
- Liu, Y., Chen, J., & Huang, Z. (2019). *Research on Design and Control of Drying Process for Re-wound Motor*. In *Proceedings of the 14th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE 2019)*. ACM.
- Londoño-Parra, C.,M., & Ramírez-Echavarría, J.,L. (2013). *Normas de eficiencia energética de motores de inducción, ¿está preparada Latinoamérica?* [Energy efficiency standards of induction motors, ¿are you prepared latin america?] *TecnoLogicas*, 30, 117-147.
<https://doi.org/10.22430/22565337.91>
- Mazur, J., & Mazur, A. (2017). *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications* (3rd ed.). Elsevier.
- Miller, R. D. (2018). *Flow Measurement Engineering Handbook* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Morales, F., Haro, G., Escalona, M., & Toasa, R. M. (2020). *Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos Ethernet y Modbus RTU en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas*. [Control and monitoring system under Ethernet and Modbus RTU protocols in the control of conveyor systems for beverage bottling line] *Revista Ibérica De Sistemas e Tecnologias De Informação*, , 636-649. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/sistema-de-control-y-monitoreo-bajo-los/docview/2385754993/se-2>
- O'Connell, R. M., & Dyck, A. J. (2019). *Electric Machines and Drives: Principles, Control, Modeling, and Simulation*. Wiley.
- Park, J. H., & Lee, H. (2017). *Thermal Analysis of Electric Machines*. Springer.

- Riazi, M. R., & Emadi, A. (2018). *Electric Machines: Modeling, Condition Monitoring, and Fault Diagnosis*. CRC Press.
- Sandra, R. C., Gonzalo, V. M., Guillermo, V. O., & Valeria, M. V. (2023). *Aplicación de sistemas basados en el modelado de procesos anaerobios utilizando residuos urbanos para la producción de biogás*. [Application of systems based on modeling of anaerobic processes using municipal waste for biogas production] *Revista Ibérica De Sistemas e Tecnologías De Informação*, , 148-163. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/aplicación-de-sistemas-basados-en-el-modelado/docview/2973217799/se-2>
- Sabanovic, A. (2018). *Electric Motor Drives Modeling, Analysis, and Control*. CRC Press.
- Saucedo, A. (2005, Oct 07). *Presentaba fallas horno industrial*. Palabra <https://www.proquest.com/newspapers/presentaba-fallas-horno-industrial/docview/377704345/se-2>
- Segundo, L. (2023, Aug 18). *Acelera la IA Industria 4.0: Tendencias*. *TENDENCIAS IA, AUTOMATIZACIÓN E INDUSTRIA 4.0. Aplicación en procesos de automatización, robótica, análisis de datos y predicciones productivas se realizan con esta herramienta*. Reforma <https://www.proquest.com/newspapers/acelera-la-ia-industria-4-0/docview/2852578021/se-2>
- Say, M. G. (2016). *Performance Assessment of Electric Machines: An Optimizing Approach*. CRC Press.
- Singh, S. N., & Chau, K. T. (2016). *Recent Developments in Energy and Environment: Proceedings of the 5th International Conference on Energy and Environment (ICEE 2019)*. Springer.
- Skvarenina, T. L. (2018). *The Power Electronics Handbook* (3rd ed.). CRC Press.

- Strykowski, P. J., & Szczecinski, K. (2019). *Electric Machines and Drives for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles*. CRC Press.
- Thomas, G. J., & Rosa, A. J. (2017). *Industrial Heat Transfer* (2nd ed.). CRC Press.
- Vukosavic, S. N. (2019). *Electric Drives: Principles, Control, Modeling, and Simulation*. Wiley.
- Wildi, T. (2018). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems* (7th ed.). Pearson.
- Xu, G., & Jiang, Q. (2017). *Design and Realization of Electric Motor Drying System Based on PLC Control Technology*. In *Proceedings of the International Conference on Computer Science and Application Engineering* (CSAE 2017). Atlantis Press.
- Zhang, W. (2019). *Practical Design of Motor Control Systems*. CRC Press.

Anexos

Anexo 1

Parámetros de la pantalla NEXTION HMI

Elemento	Descripción
Tamaño de pantalla	5 pulgadas
Resolución	800×480 píxeles
Colores	65,536 colores (16-bit)
Táctil	Capacitiva
Conectividad	UART, GPIO, tarjeta SD
Voltaje de trabajo	4.6V - 7.0V
Consumo de energía	-200mA
Interfaz	TTL UART para comunicación con microcontrolador
Memoria	16 MB de memoria Flash, 8 KB de RAM
Temperatura	Operación: -20°C a 70°C, Almacenamiento: -30°C a 80°C

Nota. En la imagen se ve una captura de las características del funcionamiento de la pantalla Nextion.

Anexo 2

Características de Arduino uno

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines digitales	14 (de los cuales 6 pueden ser PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por pin	20 mA
Corriente DC para el pin 3.3V	50 mA
Memoria flash	32 KB (0.5 KB utilizados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Nota. En la imagen se muestra una captura de las características del Arduino uno.

