

<https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.404>

Automatización de un Sistema de Molienda: Innovación en Procesos Industriales

Automation of a Milling System: Innovation in Industrial Processes

José Ezequiel Naranjo Robalino

jose.naranjo0463@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2884-1667>

Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)
Ecuador – Latacunga

Erika Cristina Lozada Martínez

erikacristina.lozada@alumni.urv.cat

<https://orcid.org/0000-0001-8819-2366>

Universitat Rovira i Virgili
Tarragona – España

Marcelo Vladimir García Sánchez

mv.garcia@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7138-3913>

Universidad Técnica de Ambato
Ambato – Ecuador

Artículo recibido: 20 septiembre 2024 -

Aceptado para publicación: 25 octubre 2024

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema automatizado para la molienda y el transporte de granos, integrando un molino de discos controlado remotamente mediante una aplicación móvil y una banda transportadora gestionada por temporizadores y un motor trifásico. La implementación comenzó con la simulación y diseño de los circuitos eléctricos en CADE_SIMU, lo que permitió prever errores y optimizar las conexiones antes del montaje físico. El motor monofásico del molino se controla a través de una aplicación desarrollada en MIT App Inventor, permitiendo su operación remota mediante Bluetooth, con funcionalidades básicas de encendido, apagado y retroalimentación visual. La banda transportadora, impulsada por un motor trifásico configurado en delta, fue diseñada para transportar el material molido de manera sincronizada con el funcionamiento del molino, utilizando temporizadores para gestionar los ciclos de operación. Durante el desarrollo, se realizaron múltiples pruebas para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema, resolviendo errores como configuraciones incorrectas en el circuito de enclavamiento, ajustes en el sentido de giro del motor y la velocidad de la banda. El sistema final funcionó de manera sincronizada, cumpliendo con los objetivos propuestos. Este proyecto demuestra cómo la integración de tecnologías modernas puede optimizar procesos tradicionales, mejorando la eficiencia, la seguridad y la experiencia del usuario en entornos industriales.

Palabras clave: automatización, cade_simu, mit app inventor, optimización industrial

ABSTRACT

This work presents the development of an automated system for grain milling and conveying, integrating a disk mill remotely controlled by a mobile application and a conveyor belt managed by timers and a three-phase motor. The implementation started with the simulation and design of the electrical circuits in CADe_SIMU, which made it possible to foresee errors and optimize connections before physical assembly. The single-phase motor of the mill is controlled through an application developed in MIT App Inventor, allowing its remote operation via Bluetooth, with basic on, off and visual feedback functionalities. The conveyor belt, driven by a delta-configured three-phase motor, was designed to transport the ground material in synchronization with the mill operation, using timers to manage the operation cycles. During development, multiple tests were performed to ensure the safety and efficiency of the system, resolving errors such as incorrect settings in the interlock circuit, adjustments to the motor rotation direction and belt speed. The final system worked in a synchronized manner, meeting the proposed objectives. This project demonstrates how the integration of modern technologies can optimize traditional processes, improving efficiency, safety and user experience in industrial environments.

Keywords: automation, CADe_SIMU, MIT App Inventor, industrial optimization

INTRODUCCIÓN

Los molinos de grano han sido herramientas fundamentales en la historia de la producción agrícola y alimentaria. Desde su invención, han evolucionado significativamente, pasando de métodos manuales y rudimentarios a sistemas automatizados que maximizan la eficiencia y la calidad de los productos procesados (Fayaz et al., 2024). En la actualidad, estos equipos son ampliamente comercializados y utilizados para la molienda de diversos granos, tales como maíz, cebada, y trigo, los cuales pueden ser procesados en diferentes niveles de molienda, como granos medianamente molidos, harinas o sémolas, dependiendo de las necesidades del mercado y del tipo de producto final requerido (Fei et al., 2024).

En este proyecto se emplea un molino de discos, que funciona bajo el principio mecánico de deslizamiento, similar al de los antiguos molinos de piedra. Tradicionalmente, estos molinos utilizaban dos grandes piedras que giraban una sobre la otra para triturar el grano (Vasyukova et al., 2023). Sin embargo, los modelos contemporáneos han reemplazado estas piedras por discos metálicos dentados que ofrecen una mayor precisión y consistencia en la molienda. Este diseño modernizado no solo mejora la capacidad de trituración, sino que también reduce el desgaste y el mantenimiento del equipo, incrementando su durabilidad y eficiencia operativa (Liu et al., 2025).

Adicionalmente, las bandas transportadoras juegan un papel crucial en la automatización de los procesos productivos, facilitando el transporte eficiente de materiales o productos a lo largo de diferentes etapas (Mainali & Li, 2025). Estas bandas pueden configurarse de diversas maneras, desde sistemas básicos con una banda y dos rodillos hasta configuraciones avanzadas que utilizan únicamente rodillos inclinados para aprovechar la gravedad (Gouveia et al., 2024). En aplicaciones motorizadas, las bandas transportadoras están diseñadas para mantener una altura uniforme, lo que permite inspecciones en cualquier punto de su trayectoria y asegura un flujo continuo del material. En el caso de este proyecto, la banda transportadora se integrará con un motor trifásico y temporizadores programables para optimizar el movimiento de los productos, deteniéndose automáticamente para realizar cambios en los recipientes llenos y reiniciando el ciclo de transporte en bucle, reduciendo así los riesgos de acumulación o desperdicio de material (Jackvony & Jouaneh, 2024; Medisetti et al., 2024).

En cuanto a la motorización, se emplean motores monofásicos y trifásicos para distintos propósitos dentro del sistema. Los motores monofásicos son dispositivos rotativos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica mediante el principio de atracción y repulsión magnética (Ershad & Mehrjardi, 2018). Aunque tradicionalmente poseen una velocidad fija, su funcionamiento puede ser optimizado mediante el uso de variadores de frecuencia, lo que permite adaptarlos a distintas aplicaciones, ya sea en bajo o alto voltaje. Por otro lado, los motores trifásicos, ampliamente utilizados en instalaciones industriales (Al-Khawaldeh et al., 2024), ofrecen ventajas como un menor tamaño y una mayor maniobrabilidad. Estos motores generan

un campo electromagnético trifásico que asegura un desempeño eficiente y estable, con configuraciones de conexión en delta o estrella según las necesidades específicas de cada aplicación (Glowacz et al., 2025; Mahmoud, 2024).

En este trabajo, se propone un sistema de automatización para un molino de grano seco que combina un motor monofásico y un motor trifásico, cada uno controlado mediante tecnologías específicas. Para el molino de discos, se integrará un motor monofásico controlado mediante un contactor y una aplicación móvil habilitada por Bluetooth, lo que permitirá a los usuarios operar el molino de manera remota, controlando su encendido y apagado de forma sencilla. En cuanto a la banda transportadora, se empleará un motor trifásico operado por pulsadores y temporizadores, lo que permitirá un control preciso de su funcionamiento en intervalos programados, optimizando así la gestión de los materiales procesados y reduciendo la intervención directa del operador. Este enfoque integral de automatización no solo mejora la eficiencia del proceso, sino que también incrementa la seguridad y reduce el desperdicio, destacando el impacto positivo de la tecnología en la modernización de equipos tradicionales.

DESARROLLO

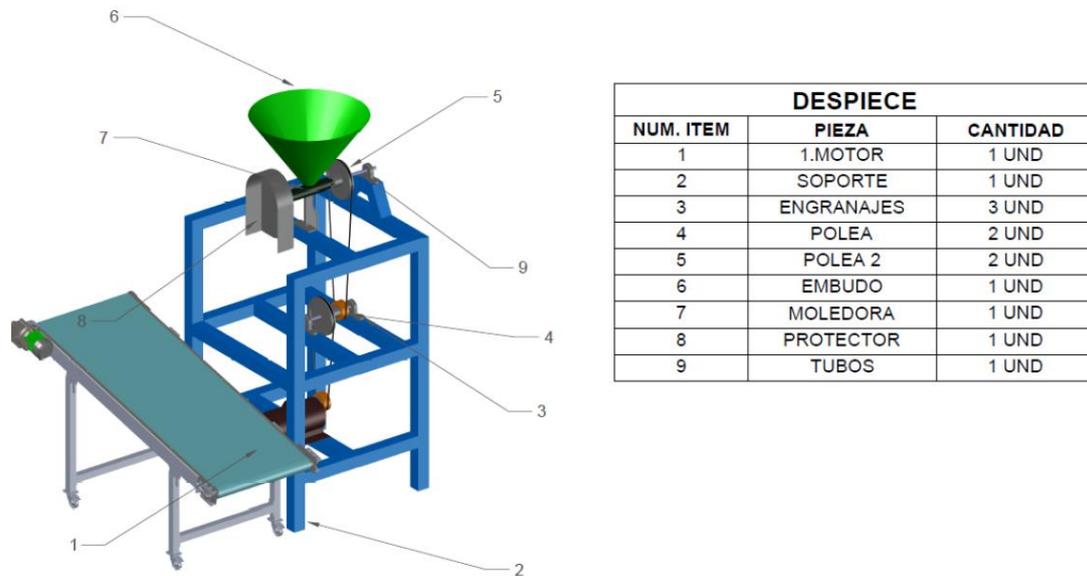
El desarrollo de este proyecto inició con el modelado estructural del sistema, una etapa crucial para visualizar y planificar la disposición de los componentes mecánicos y eléctricos. Para este propósito, se utilizó el software AutoCAD, que permitió diseñar un prototipo detallado basado en un molino comercial. Este modelado inicial no solo sirvió como referencia para la implementación del proyecto, sino también como una herramienta de simulación para prever posibles ajustes y mejoras antes de la construcción física del sistema (Hoang et al., 2024; Patil et al., 2024).

El modelado estructural incluyó la representación tridimensional tanto del molino como de la banda transportadora, destacando la ubicación estratégica de los motores. El motor monofásico, asignado al molino de discos, se posicionó para garantizar un acoplamiento directo con el eje de molienda, maximizando la eficiencia en la transmisión de potencia. Por otro lado, el motor trifásico, destinado a la banda transportadora, se ubicó en un soporte independiente para asegurar la estabilidad y facilitar el mantenimiento. Ambas configuraciones fueron diseñadas considerando factores como la accesibilidad, la ventilación de los motores y la reducción de vibraciones.

El diseño de la estructura también contempló la integración de otros elementos esenciales del sistema, como los sensores, pulsadores y temporizadores. Estos componentes electrónicos fueron ubicados estratégicamente para optimizar su funcionalidad y garantizar un acceso sencillo durante las fases de operación y mantenimiento. La figura 1 ilustra el diseño preliminar, donde se detalla la disposición de los motores y las conexiones mecánicas y eléctricas asociadas.

Adicionalmente, se evaluaron los materiales a utilizar en la construcción de la estructura. La selección se basó en criterios de durabilidad, resistencia mecánica y peso, priorizando la utilización de perfiles metálicos reforzados para garantizar la estabilidad del sistema y soportar las cargas dinámicas generadas durante el funcionamiento. Este análisis incluyó simulaciones de esfuerzos y deformaciones utilizando herramientas de análisis por elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés), lo que permitió validar la capacidad estructural del diseño bajo condiciones de operación reales.

Figura 1
Despiece en AutoCAD



En cuanto al motor monofásico, se seleccionó un modelo con características específicas para la molienda, incluyendo un torque adecuado para el molino de discos y la posibilidad de ser controlado mediante un variador de frecuencia. Este motor se conecta a un contactor que permite su activación remota a través de una aplicación móvil habilitada por Bluetooth. Esta funcionalidad brinda al usuario la capacidad de controlar el encendido y apagado del molino desde un dispositivo móvil, mejorando significativamente la experiencia operativa y reduciendo la necesidad de intervención manual.

Por otro lado, el motor trifásico, empleado en la banda transportadora, fue configurado para operar de manera continua bajo condiciones controladas mediante temporizadores programables. Estos temporizadores permiten detener el movimiento de la banda en intervalos específicos, facilitando el cambio de recipientes llenos y evitando la acumulación excesiva de material en la banda. Además, se incluyeron pulsadores de encendido y apagado, diseñados para operar el motor de manera manual en caso de ser necesario, garantizando flexibilidad en la operación del sistema.

La fase de desarrollo también incluyó pruebas experimentales para validar el rendimiento de los motores y su integración con los sistemas de control. Estas pruebas se llevaron a cabo simulando diferentes condiciones de carga y ajustando los parámetros de los temporizadores para optimizar la sincronización entre el molino y la banda transportadora. Los resultados iniciales mostraron un desempeño satisfactorio, cumpliendo con los objetivos de automatización planteados en el proyecto. A través de este enfoque, se logró establecer una base sólida para la implementación final, asegurando que el sistema no solo sea funcional, sino también eficiente y confiable.

Con la estructura mecánica completamente ensamblada y validada, el siguiente paso crítico en el desarrollo del proyecto consistió en la implementación del circuito de enclavamiento y el circuito de control Bluetooth. Estas dos configuraciones son fundamentales para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente del sistema, además de habilitar el control remoto del motor monofásico a través de una aplicación móvil diseñada específicamente para dispositivos Android.

Diseño y Simulación Del Circuito Del Motor Monofásico

Antes de proceder con el montaje físico del sistema de control del motor monofásico, se realizó un diseño detallado y una simulación del circuito utilizando el software CADe_SIMU, ampliamente empleado en la industria para la validación de circuitos eléctricos. Esta etapa fue fundamental para prever posibles fallos, como cortocircuitos, errores de conexión o configuraciones inadecuadas, que podrían comprometer tanto la seguridad como el funcionamiento del sistema (Pérez-Aguilar et al., 2023).

El circuito de enclavamiento fue diseñado con el propósito de garantizar la seguridad operativa del motor monofásico. Este circuito incluye contactores y relevadores configurados para evitar su activación en condiciones no deseadas o simultáneamente con otros sistemas que pudieran generar conflictos eléctricos o mecánicos. La simulación en CADe_SIMU permitió ajustar parámetros críticos, como la velocidad de respuesta de los relevadores y los tiempos de retardo necesarios para sincronizar las operaciones de encendido y apagado. Además, se evaluó el comportamiento del circuito bajo condiciones de fallo simuladas, como interrupciones en la alimentación eléctrica, verificando que el sistema respondiera de forma inmediata y segura, apagando el motor y protegiendo tanto el equipo como al operador.

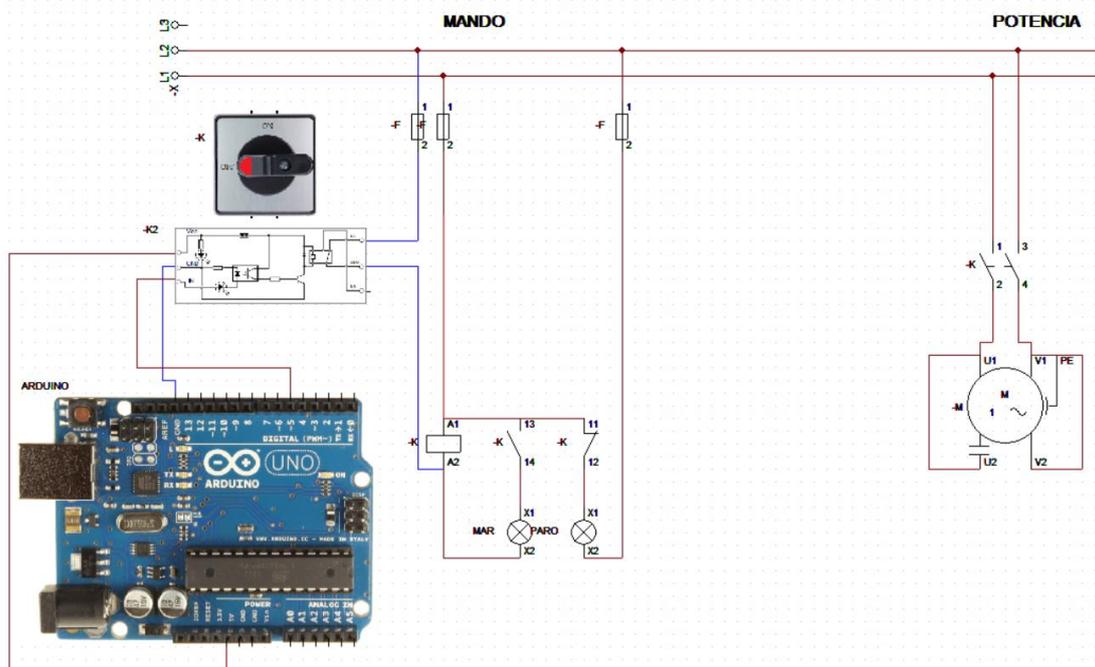
El circuito de control Bluetooth se diseñó para permitir la operación remota del motor monofásico mediante una aplicación móvil desarrollada para dispositivos Android. Este circuito incorpora un módulo de comunicación Bluetooth, específicamente el HC-05, que actúa como intermediario entre un microcontrolador y el motor. Durante la simulación, se realizaron pruebas exhaustivas para validar la estabilidad de la conexión Bluetooth, asegurando que la comunicación entre el teléfono móvil y el módulo fuera constante y sin interrupciones. Asimismo, se probó que las señales enviadas desde la aplicación móvil, como los comandos de encendido y apagado, fueran interpretadas correctamente por el microcontrolador y ejecutadas sin demoras.

significativas. Adicionalmente, se simulon escenarios de pérdida temporal de conexión o señal débil, verificando que el sistema mantuviera un estado seguro en todo momento (Suryawanshi et al., 2025).

La integración del circuito con el motor monofásico se diseñó considerando las especificaciones técnicas del motor, como su potencia, voltaje de operación y requisitos de torque. Esto permitió optimizar el diseño del circuito para garantizar un funcionamiento estable y eficiente, evitando problemas como caídas de tensión o sobrecalentamiento durante la operación prolongada. La simulación en CADe_SIMU facilitó la determinación de la configuración óptima de los contactores y relevadores, asegurando que el sistema funcionara de manera fluida y confiable.

En la figura 2 se presenta el esquema final del circuito simulado, donde se destacan las conexiones entre el módulo Bluetooth, el microcontrolador y los componentes de potencia del motor. Este diseño representa un sistema robusto y seguro que permite controlar el motor de forma remota, ofreciendo al operador una solución moderna y eficiente que mejora significativamente la experiencia de uso y reduce la necesidad de intervención manual. La simulación previa no solo permitió anticipar y corregir posibles errores, sino que también garantizó que el circuito cumpla con los requerimientos técnicos del proyecto antes de su implementación física.

Figura 2
Circuito motor monofásico



Diseño de la App

Con el circuito completamente ensamblado y correctamente conectado, el motor monofásico está ahora completamente operativo y puede ser controlado de manera remota

mediante una aplicación desarrollada específicamente para dispositivos con sistema operativo Android. La implementación de esta funcionalidad representa un paso significativo hacia la modernización del sistema, permitiendo un control más eficiente y reduciendo la necesidad de interacción manual directa.

La aplicación móvil fue creada utilizando MIT App Inventor, una plataforma que permite desarrollar aplicaciones de manera visual e intuitiva mediante la metodología de programación por bloques (Żyła et al., 2024). Esta herramienta resultó particularmente útil para adaptar la aplicación a los requerimientos específicos del sistema, ya que ofrece la flexibilidad necesaria para diseñar interfaces personalizadas y definir las funcionalidades deseadas sin requerir conocimientos avanzados de programación. Durante el proceso de desarrollo, se establecieron parámetros clave que garantizan tanto la estabilidad de la aplicación como su facilidad de uso, asegurando una experiencia operativa accesible para cualquier usuario (Vairavasundaram et al., 2024).

El diseño de la interfaz de la aplicación fue concebido con un enfoque en la simplicidad y funcionalidad. Al iniciar la aplicación, el usuario puede utilizar un buscador Bluetooth incorporado para detectar y vincularse con el módulo Bluetooth HC-05, el cual está conectado al sistema de control del motor a través de un microcontrolador Arduino. Este proceso de vinculación asegura una conexión estable y confiable entre el dispositivo móvil y el sistema, facilitando la comunicación en tiempo real.

Una vez establecida la conexión, la aplicación despliega una interfaz con tres opciones principales: Marcha, Paro y Salir. La opción de "Marcha" activa el motor monofásico, enviando una señal específica al Arduino para iniciar su operación. Por otro lado, la opción de "Paro" detiene inmediatamente el motor, garantizando un control preciso y seguro. Finalmente, el botón "Salir" permite cerrar la aplicación de manera rápida y ordenada, desconectando automáticamente el dispositivo del módulo Bluetooth para evitar problemas de comunicación en futuros usos.

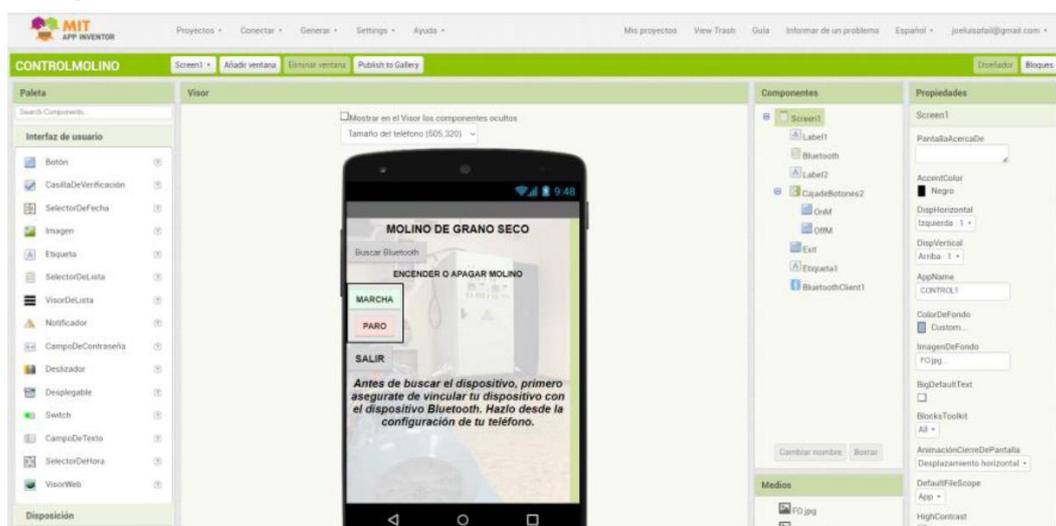
Durante las pruebas, la aplicación demostró ser altamente eficiente en la ejecución de los comandos, con una respuesta prácticamente instantánea entre la selección de una opción en la interfaz y la acción correspondiente del motor. Esto se logró gracias a una programación optimizada en la plataforma de MIT App Inventor, donde se cuidaron aspectos como la estabilidad de la conexión Bluetooth, la minimización del tiempo de transmisión de datos y la gestión de posibles interrupciones en la señal.

Adicionalmente, se llevaron a cabo simulaciones y pruebas experimentales para validar el correcto funcionamiento de la aplicación en diferentes condiciones operativas. Estas pruebas incluyeron escenarios como la operación del motor desde distintas distancias, verificando la robustez de la conexión Bluetooth, así como la respuesta de la aplicación bajo diferentes niveles de carga en el motor. Los resultados confirmaron que la aplicación no solo cumple con los

objetivos funcionales planteados, sino que también se adapta a condiciones de uso variadas sin pérdida de rendimiento. Ver figura 3.

La integración de esta aplicación móvil representa un avance significativo en la automatización del sistema, permitiendo al operador un control remoto eficiente y seguro. Este desarrollo también pone en evidencia las ventajas de utilizar tecnologías accesibles y herramientas como MIT App Inventor, que facilitan la implementación de soluciones tecnológicas avanzadas en proyectos industriales y educativos. En resumen, la aplicación no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también optimiza la operación del motor monofásico, estableciendo un estándar moderno y funcional para este tipo de sistemas.

Figura 3
Diseño Aplicación



Circuito Motor Trifásico

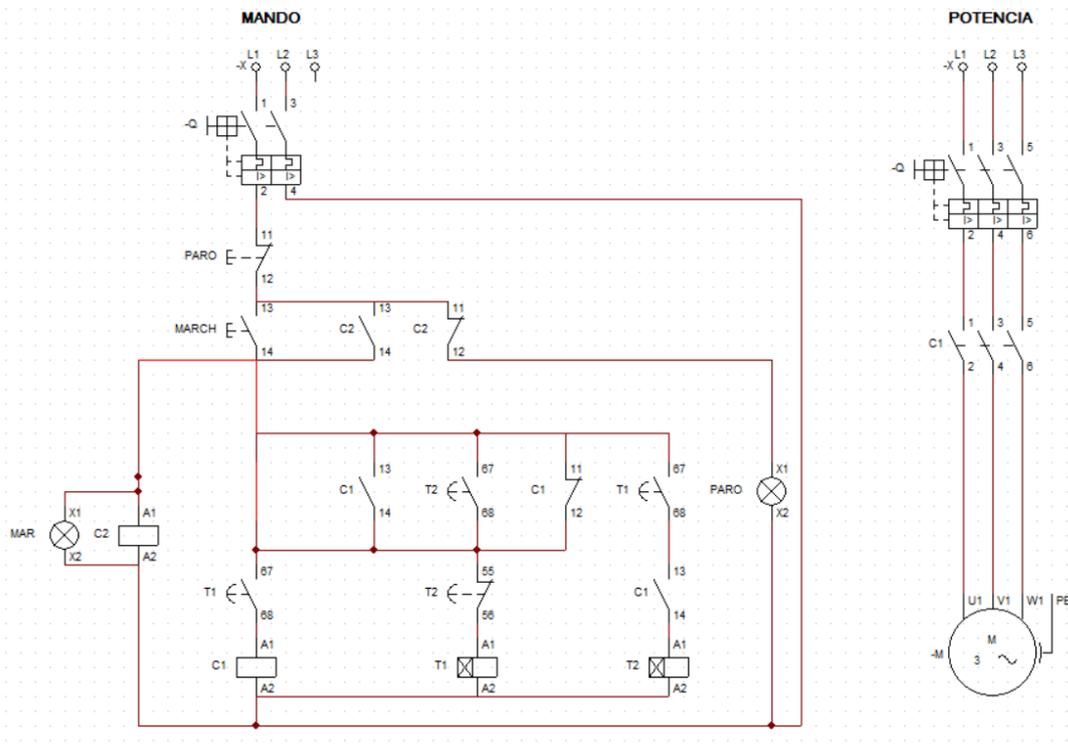
Con el molino completamente automatizado y bajo control, el siguiente paso es la implementación del sistema de control para la banda transportadora, la cual estará impulsada por un motor trifásico. Este motor será el encargado de generar la fuerza necesaria para garantizar el movimiento continuo de la banda transportadora, facilitando el transporte eficiente del producto molido hacia el operario. Sin embargo, el funcionamiento de este motor requiere un control más preciso debido a la naturaleza cíclica del proceso.

A diferencia del motor monofásico utilizado en el molino, el motor trifásico debe operar bajo un esquema de arranque y parada programados para optimizar el flujo del producto. Este ciclo controlado tiene como objetivo asegurar que el material molido disponga del tiempo necesario para llenar adecuadamente los recipientes ubicados en la banda transportadora antes de que esta reinicie su movimiento. Una vez que el recipiente está lleno, la banda transporta el producto hacia el operario para su recolección o procesamiento posterior. Este ciclo se repite continuamente, lo que requiere la implementación de un sistema de temporización confiable y preciso.

Para lograr esta funcionalidad, se diseñó un circuito de control que incorpora temporizadores programables. Estos dispositivos permiten establecer intervalos específicos para el arranque y la detención del motor trifásico, sincronizando el movimiento de la banda con el flujo del material molido. El circuito incluye contactores diseñados para manejar las cargas eléctricas del motor trifásico, garantizando una operación segura y eficiente. Además, se integraron pulsadores que permiten al operador activar o detener manualmente la banda transportadora en caso de ser necesario, brindando flexibilidad operativa.

Antes de proceder con el montaje físico del circuito, se realizó una simulación exhaustiva utilizando software especializado para modelado eléctrico. Esta simulación, ilustrada en la Figura 4, permitió validar el diseño del circuito y ajustar parámetros clave, como los tiempos de los temporizadores, la configuración de los contactores y el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones operativas. Durante esta etapa, se simularon posibles fallos, como interrupciones en la alimentación eléctrica o errores de sincronización, asegurando que el sistema respondiera de manera adecuada y sin comprometer la seguridad o la eficiencia.

Figura 4
Circuito motor trifásico



El motor trifásico seleccionado para esta aplicación cuenta con características que lo hacen ideal para el sistema de la banda transportadora, incluyendo un alto torque de arranque y una operación estable bajo carga variable. Se consideraron configuraciones de conexión en estrella y delta, optando por aquella que optimizara el rendimiento del motor en función de las necesidades del sistema. Adicionalmente, se incluyeron mecanismos de protección térmica y contra sobrecargas para salvaguardar tanto el motor como los demás componentes del circuito.

La integración de los temporizadores en el circuito permite que el ciclo de operación de la banda transportadora se ejecute de manera automática y repetitiva. Por ejemplo, una vez que el molino descarga el material sobre la banda, esta permanece estática durante un tiempo determinado para permitir el llenado del recipiente. Posteriormente, el temporizador activa el motor trifásico, iniciando el movimiento de la banda y transportando el recipiente hacia el operario. Una vez que se completa este ciclo, el temporizador detiene nuevamente el motor, reiniciando el proceso desde el principio. Esta automatización reduce la intervención manual del operador, mejora la precisión del proceso y minimiza el riesgo de acumulación o desperdicio de material.

El diseño y la simulación del sistema de control de la banda transportadora representan un avance importante en la automatización integral del molino. La implementación de temporizadores y un motor trifásico adecuadamente configurado asegura un transporte eficiente y controlado del producto, optimizando tanto el flujo de trabajo como la seguridad del sistema. La simulación previa no solo permitió anticipar y corregir posibles errores, sino también validar la viabilidad del diseño, estableciendo una base sólida para el montaje físico y la operación en condiciones reales.

Montaje final

Una vez completado el desarrollo del diagrama del motor trifásico en CADe_SIMU, se procedió a la conexión física del motor utilizando una configuración en delta, seleccionada por sus ventajas en aplicaciones industriales que requieren un alto torque de arranque y una operación eficiente bajo carga constante. Esta configuración permite optimizar la entrega de potencia, maximizando el rendimiento del motor en condiciones de trabajo exigentes, como el movimiento continuo de una banda transportadora.

Realizada la conexión eléctrica, el motor trifásico fue empotrado cuidadosamente en la parte inferior de la estructura de la banda transportadora, asegurando su estabilidad y alineación. Para ello, se emplearon soportes metálicos reforzados y tornillos de anclaje resistentes a vibraciones, con el objetivo de minimizar posibles desajustes durante el funcionamiento. Posteriormente, el eje del motor fue acoplado a una cinta mediante un sistema de poleas diseñado específicamente para este proyecto. Este sistema permite una distribución uniforme de la fuerza generada por el motor a través de la periferia de la rueda impulsora, garantizando un movimiento fluido y eficiente de la banda transportadora.

El diseño de la cinta y la polea se basó en cálculos previos de transmisión mecánica, considerando parámetros como la velocidad angular, la relación de transmisión y las tensiones aplicadas. Se seleccionaron materiales de alta resistencia, como caucho reforzado para la banda y acero para la polea, asegurando durabilidad y un desempeño confiable en condiciones de operación prolongada.

Una vez ensamblados todos los componentes eléctricos y mecánicos, incluyendo el temporizador, los contactores y las luces LED indicadoras, se procedió a la integración del motor trifásico de la banda transportadora con la máquina moladora. Esta etapa fue crítica, ya que el funcionamiento simultáneo de ambos sistemas debía ser probado para garantizar que operaran de manera sincronizada y sin interferencias. La conexión se realizó siguiendo estrictamente las especificaciones del diseño, asegurando que el sistema cumpliera con las normativas de seguridad eléctrica y mecánica.

Durante las pruebas, se evaluaron varios aspectos clave del sistema. Primero, se verificó el arranque y parada del motor trifásico en intervalos definidos por el temporizador, asegurando que el movimiento de la banda fuera controlado con precisión. También se comprobaron las conexiones eléctricas, verificando la correcta activación de los contactores y la respuesta inmediata de las luces LED indicadoras, que proporcionan retroalimentación visual sobre el estado del motor y la banda. Finalmente, se evaluó el acoplamiento entre la banda transportadora y la máquina moladora, garantizando que el material molido fuera transferido eficientemente y sin interrupciones.

Los resultados iniciales demostraron que el sistema operaba de manera eficiente, con un movimiento continuo de la banda que permitía transportar el producto molido hacia el operario sin acumulaciones ni desperdicio de material. Sin embargo, también se identificaron pequeños ajustes necesarios, como el tensado adicional de la banda y la calibración del temporizador para optimizar los tiempos de llenado y transporte de los recipientes. Estas correcciones se realizaron para asegurar que el sistema funcionara en condiciones reales de manera óptima.

En conclusión, la conexión y acoplamiento del motor trifásico al sistema de la banda transportadora representan un avance significativo en la automatización integral del molino y su banda. La combinación de componentes eléctricos, mecánicos y de control permite un funcionamiento sincronizado y eficiente, mejorando la productividad del proceso y reduciendo la necesidad de intervención manual. La integración de estos sistemas asegura que el equipo sea confiable, seguro y capaz de operar en entornos industriales exigentes, cumpliendo con los objetivos establecidos para este proyecto. Ver Figura 5.

Figura 5
Montaje final



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante la realización de este proyecto fueron documentados cuidadosamente mediante una serie de pruebas realizadas en cada etapa del desarrollo. Este enfoque metódico permitió identificar logros y errores, así como implementar correcciones necesarias para garantizar que el sistema cumpliera con los objetivos planteados. Las pruebas se centraron en evaluar cada componente del sistema, desde el diseño del circuito hasta la integración final del molino y la banda transportadora, asegurando un funcionamiento óptimo.

Prueba 1

En la primera prueba, se llevaron a cabo las conexiones del circuito siguiendo el diseño desarrollado en el software CADe_SIMU. Este programa permitió simular y validar el diseño eléctrico antes de proceder con la implementación física, reduciendo significativamente los riesgos de errores críticos. Aunque inicialmente se logró una conexión funcional, se identificó un problema en el circuito de enclavamiento, donde los contactos auxiliares no estaban configurados de manera correcta. Este inconveniente provocaba una interrupción en la funcionalidad del sistema de seguridad, lo que representaba un riesgo para la operación.

Para solucionar este error, se realizaron ajustes en las conexiones eléctricas, asegurándose de que los contactos auxiliares cumplieran su función de forma eficiente. Este paso fue esencial para garantizar la seguridad y la funcionalidad del sistema. La simulación en CADe_SIMU demostró ser una herramienta clave para identificar y corregir problemas antes de proceder con el montaje físico, ahorrando tiempo y recursos.

Prueba 2

En esta etapa, se enfocó en evaluar el correcto funcionamiento de los pulsadores y las luces piloto, elementos fundamentales para el control y monitoreo del sistema. Los pulsadores, diseñados para iniciar y detener el sistema, operaron correctamente desde el inicio. Sin embargo,

se detectó un problema con la luz piloto roja, la cual no se encendía al detener la máquina. Este indicador visual es crucial para proporcionar retroalimentación al operador sobre el estado del sistema, por lo que su fallo debía ser corregido.

Tras una revisión de las conexiones eléctricas, se identificó un error en el cableado del circuito de control asociado a la luz piloto. Este problema fue solucionado realizando los ajustes necesarios, logrando que la luz roja se activara correctamente al detener el sistema. Este ajuste garantizó que el sistema proporcionara información visual clara y precisa, mejorando tanto la seguridad como la usabilidad del equipo.

Prueba 3

La tercera prueba se centró en la conexión del motor al sistema y en la validación de su funcionamiento. Aunque el motor operaba correctamente, se identificó que su giro no correspondía al sentido necesario para el funcionamiento del sistema. Este error presentaba un inconveniente crítico, ya que el sentido de giro incorrecto impedía el correcto movimiento de la banda transportadora.

El problema fue solucionado intercambiando los cables T8 y T5 en la conexión del motor, ajustando así el sentido de giro al requerido para el proyecto. Este procedimiento se llevó a cabo siguiendo los estándares de seguridad eléctrica para evitar daños en el motor o en otros componentes del sistema. Una vez solucionado el inconveniente, el motor giraba en el sentido adecuado, cumpliendo con los requerimientos del diseño. Esta etapa destacó la importancia de realizar pruebas individuales en cada componente antes de la integración final.

Prueba 4

Tras configurar el giro del motor, se procedió al ensamblaje final del sistema, integrando el circuito eléctrico, el motor y la estructura de la máquina. Este proceso incluyó la instalación de todos los componentes en sus ubicaciones finales, asegurando una correcta alineación y fijación de cada elemento. Durante esta etapa, se identificó la necesidad de agregar guardas de protección adicionales para cubrir las partes móviles y eléctricas del sistema.

La incorporación de estas guardas fue esencial para garantizar la seguridad tanto del equipo como del operador. Las guardas fueron diseñadas con materiales resistentes, capaces de soportar las condiciones de operación del sistema. Este paso no solo mejoró la seguridad del sistema, sino que también cumplió con las normativas de seguridad industrial, asegurando que el equipo pudiera ser operado en un entorno real sin riesgos.

Prueba 5

La prueba final se centró en verificar el funcionamiento conjunto del molino y la banda transportadora. Durante esta etapa, ambos sistemas fueron probados de manera sincronizada para asegurar que operaran como un solo conjunto, cumpliendo con los objetivos planteados. Los resultados iniciales mostraron que ambos sistemas funcionaban correctamente, transportando el material molido sin interrupciones ni acumulaciones.

Sin embargo, se observó que la velocidad de la banda transportadora era mayor a la requerida, lo que podría dificultar la operación óptima del sistema. Este detalle será ajustado mediante la configuración final del temporizador y la relación de transmisión, permitiendo que la banda opere a una velocidad adecuada para el proceso. A pesar de este detalle, el funcionamiento general del sistema fue satisfactorio, logrando cumplir con las expectativas del proyecto.

CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto permitió la implementación exitosa de un sistema automatizado de molienda y transporte, integrando un molino de discos y una banda transportadora, ambos controlados mediante tecnologías modernas. Desde las etapas iniciales de diseño hasta las pruebas finales de funcionamiento, se llevaron a cabo procesos sistemáticos que aseguraron la viabilidad técnica, la eficiencia operativa y la seguridad del sistema.

En primer lugar, el uso del software CADe_SIMU para la simulación previa de los circuitos eléctricos fue crucial para minimizar errores durante el montaje físico. Esto permitió identificar y corregir problemas de conexión en el circuito de enclavamiento y garantizar el correcto funcionamiento de los contactos auxiliares. La simulación también proporcionó una base sólida para el diseño de los circuitos de control y temporización, lo que resultó en un sistema confiable y seguro.

El control remoto del molino mediante una aplicación móvil desarrollada en MIT App Inventor destacó la importancia de integrar herramientas digitales accesibles para mejorar la operatividad de sistemas industriales. La aplicación permite controlar el encendido y apagado del motor monofásico de manera eficiente y desde una distancia segura, lo que no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también minimiza riesgos operativos.

Por otro lado, la integración del motor trifásico en la banda transportadora, junto con temporizadores programables, aseguró un transporte sincronizado del producto molido. Aunque se identificaron detalles como la velocidad inicial de la banda, estos fueron corregidos mediante ajustes en la configuración final, garantizando un flujo continuo y preciso del material sin acumulaciones ni desperdicios.

La implementación de guardas de protección adicionales refuerza el compromiso con la seguridad operativa, asegurando que el equipo pueda ser utilizado en entornos reales sin riesgos para los operadores. Este aspecto es particularmente relevante en aplicaciones industriales, donde la seguridad del personal y la protección de los equipos son prioridades esenciales.

Las pruebas realizadas en cada etapa permitieron validar el diseño y funcionamiento del sistema, mostrando que ambos subsistemas, el molino y la banda transportadora, trabajan de manera sincronizada y eficiente. Este enfoque metodológico basado en la identificación y resolución de errores asegura que el sistema final cumpla con los objetivos planteados, ofreciendo una solución práctica, confiable y moderna.

Este proyecto demostró cómo la integración de tecnologías de control, motores eléctricos y herramientas digitales puede transformar sistemas tradicionales en soluciones automatizadas más eficientes y seguras. Los resultados obtenidos no solo cumplen con los objetivos iniciales, sino que también sientan las bases para futuras mejoras y adaptaciones, permitiendo su aplicación en diversas áreas industriales. Este trabajo es un ejemplo claro de cómo la innovación tecnológica puede optimizar procesos y generar un impacto positivo en la productividad y la seguridad industrial.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su más profundo agradecimiento a la red de investigación INTELIA, respaldada por REDU, por su invaluable apoyo y colaboración a lo largo del desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- Al-Khawaldeh, M. A., Ghaeb, J. A., Salah, S. Z., & Alrawajfeh, M. S. (2024). High-performance speed control for three-phase induction motor based on reverse direction algorithm and artificial neural network. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 14(6), 6237. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i6.pp6237-6247>
- Ershad, N. F., & Mehrjardi, R. T. (2018). A low cost single-phase to three-phase power converter for low-power motor drive applications. *2018 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/TPEC.2018.8312061>
- Fayaz, U., Hussain, S. Z., Naseer, B., Bej, G., Pal, A., Sarkar, S., Wani, N. R., Mushtaq, K., Yasmin, S., Dhekale, B. S., Richa, R., & Manzoor, S. (2024). Innovative technology integration: E tongue, near infrared grain tester & machine vision approaches for amylose content & quality characterization. *Food Chemistry: X*, 24, 101805. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101805>
- Fei, J., Sun, Z., Zhao, D., Li, A., Jia, F., Han, Y., Li, H., Ji, S., Li, Z., & Feng, W. (2024). Investigation of rice debranning mechanism based on tribological behaviour between rice grains. *Biosystems Engineering*, 248, 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2024.10.007>
- Glowacz, A., Sulowicz, M., Zielonka, J., Li, Z., Glowacz, W., & Kumar, A. (2025). Acoustic fault diagnosis of three-phase induction motors using smartphone and deep learning. *Expert Systems with Applications*, 262, 125633. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125633>
- Gouveia, E. L., Lyons, J. G., & Devine, D. M. (2024). Implementing a Vision-Based ROS Package for Reliable Part Localization and Displacement from Conveyor Belts. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(5), 218. <https://doi.org/10.3390/jmmp8050218>
- Hoang, L., Nguyen, T. T., Tran, H. A., & Nguyen, D. H. (2024). Developing an Automatic 3D Solid Reconstruction System from only Two 2D Views. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(4), 15981–15985. <https://doi.org/10.48084/etasr.8141>
- Jackvony, B., & Jouaneh, M. (2024). Building an Educational Automated Mechatronics-Based Sorting System. *Automation*, 5(3), 297–309. <https://doi.org/10.3390/automation5030018>
- Liu, Y., Zhao, S., Wang, G., & Yang, H. (2025). Copper leaching from complex chalcopyrite-rich ores: Utilizing mechanical activation and wastewater-based sulfuric acid system. *Separation and Purification Technology*, 354, 128631. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128631>
- Mahmoud, R. A. (2024). Experimental performance verification of an intelligent detection and assessment scheme for disturbances and imbalances of three-phase synchronous machine output using coherence estimators. *Scientific Reports*, 14(1), 26278. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76343-8>

- Mainali, S., & Li, C. (2025). A robotic fish processing line enhanced by machine learning. *Aquacultural Engineering*, 108, 102481. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2024.102481>
- Mediseti, S., Kotiboyina, V. Y., & Gollapudi, A. M. (2024). *Modelling and simulation of a PLC based automatic stamping and inspection system incorporated with a pick and place pneumatic suction cup using Factory I/O*. 020049. <https://doi.org/10.1063/5.0213847>
- Patil, K. R., Deshpande, S., Joshi, S., & Raul, A. K. (2024). Developing an integrated design framework using python scripting for parametric CAD modelling of flange coupling. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 18(7), 4451–4462. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01694-x>
- Pérez-Aguilar, D. A., Alaya-Portal, R., Malca-Cueva, F. C., Padilla-Chávez, L. A., Terrones-Castro, I., & Rodríguez, M. M. (2023). Proposal for the automation of the rolling process in the assembly of parts in automotive vehicles | Propuesta de automatización del proceso de rolado en el ensamble de piezas en vehículos automotrices. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*.
- Suryawanshi, R., Jagtap, S., Mane, N., Madhikar, S., Munde, Y., & Choudhary, N. (2025). *IoT-Enabled Smart Helmet: Enhancing Safety for Motorcycle Riders Through Alcohol, Drowsiness, and Helmet Detection* (pp. 391–405). https://doi.org/10.1007/978-981-97-5786-2_31
- Vairavasundaram, I., Ramu, S. K., Stephenraj, J. P., D, O. P., & Irudayaraj, G. C. R. (2024). IoT based monitoring system for DFIG based wind turbines under voltage dips. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 9, 100690. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100690>
- Vasyukova, A. T., Kusova, I. U., Belenkov, A. I., Kandrov, R. Kh., & Dyshekova, M. M. (2023). Investigation of the degree of grinding of the composite grain mixture. *BIO Web of Conferences*, 67, 02008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236702008>
- Żyła, K., Chwaleba, K., & Choma, D. (2024). Evaluating Usability and Accessibility of Visual Programming Tools for Novice Programmers—The Case of App Inventor, Scratch, and StarLogo. *Applied Sciences*, 14(21), 9887. <https://doi.org/10.3390/app14219887>