



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

“OPTIMIZACIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE OBLEAS”

Trabajo de grado previo a la obtención de título de Ingeniero en Mecatrónica

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

Autor:

David Rumiñahui Guitarra De la Cruz

Director:

Marco Antonio Ciaccia Sortino

Asesor:

Fernando Vinicio Valencia Aguirre

Ibarra, Ecuador 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|-----------------------------|--|------------------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 1050174232 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Guitarra De la Cruz David Rumiñahui | | |
| DIRECCIÓN: | Cotacachi – Comunidad El Batán | | |
| EMAIL: | drguitarrad@utn.edu.ec guitarradavid13@gmail.com | | |
| TELÉFONO FIJO: | | TELÉFONO MÓVIL: | 0990041878 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|--------------------------------|---|
| TÍTULO: | Optimización de una máquina cortadora de obleas |
| AUTOR (ES): | David Rumiñahui Guitarra De la Cruz |
| FECHA: DD/MM/AAAA | 20/02/2026 |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniero en Mecatrónica |
| ASESOR /DIRECTOR: | Fernando Vinicio Valencia Aguirre Marco Antonio Ciaccia Sortino |

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de febrero del 2026

EL AUTOR:

David Rumiñahui Guitarra De la Cruz



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 20 de febrero del 2026

PhD. Marco Antonio Ciaccia Sortino

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

PhD. Marco Antonio Ciaccia Sortino
C.C.: 1756778252



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “OPTIMIZACIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE OBLEAS” elaborado por David Rumiñahui Guitarra De la Cruz, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f).....

PhD. Marco Antonio Ciaccia Sortino
C.C.: 1756778252

(f).....

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre
C.C.: 1003188669

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por ser los pilares fundamentales de mi vida, por su sacrificio, por creer en mí siempre, por ser mis guías, por ser una fuente de inspiración y motivación para no rendirme nunca y seguir siempre adelante.

A mi familia, especialmente a mis hermanos y hermanas, por ser mi apoyo incondicional.

A Dios, por bendecirme con salud, sabiduría y fortaleza a lo largo de este camino académico, permitiéndome superar los obstáculos y dándome la fuerza para culminar esta etapa de mi vida y alcanzar esta meta.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por brindarme las oportunidades para cumplir mis sueños. Además, por haberme enseñado que con perseverancia y dedicación todo es posible. Gracias por siempre apoyarme; este logro jamás hubiera sido posible sin su apoyo.

A mis hermanos y hermanas, por su paciencia en los momentos de mayor frustración y por sus palabras de aliento cada vez que necesitaba recordar que nada es fácil en esta vida.

A mis docentes, que estuvieron presentes en cada uno de los semestres, brindándome sus conocimientos y consejos durante toda mi formación académica. En especial, agradecer al director de este trabajo de grado, Marco Ciaccia, por su valiosa guía, sus correcciones y su disposición para apoyarme en cada etapa del proyecto y, finalmente, en la finalización de este trabajo. De igual manera, al asesor de este proyecto, Fernando Valencia, por sus consejos, correcciones y orientaciones que contribuyeron a completar este trabajo.

A la Universidad Técnica del Norte y a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, por haberme abierto sus puertas y brindarme los conocimientos y herramientas necesarios para mi formación.

Un agradecimiento especial a la Comunidad de Hermanas del Monasterio "Carmelitas Descalzas", por la confianza depositada en mí, su apertura para brindar la información necesaria sobre el proceso de las hostias y por permitirme realizar esta intervención técnica en sus instalaciones.

Finalmente, a mis amigos y compañeros, quienes, con su compañía y apoyo moral, hicieron más ligero este camino.

RESUMEN

El proceso de elaboración de hostias en el monasterio “Carmelitas Descalzas” presenta limitaciones en la etapa de corte de obleas debido al funcionamiento ineficiente de la máquina cortadora previamente desarrollada. El principal problema identificado es la falta de precisión y repetibilidad en el accionamiento de la guillotina, causada por un sistema de control temporizado que no garantiza el retorno adecuado de la matriz de corte, lo que genera retrasos en la producción y riesgos para el operador. El propósito de este trabajo de grado es optimizar la máquina cortadora de obleas para mejorar la eficiencia, la seguridad y la continuidad del proceso productivo de hostias. La metodología empleada corresponde a una investigación aplicada, de tipo documental, descriptiva y experimental. Se realizó una investigación de campo en el monasterio para diagnosticar el estado de la máquina y definir los parámetros de optimización. Posteriormente, se diseñó e implementó una nueva arquitectura de control electrónico basada en un microcontrolador Arduino Nano, que integra un sensor de final de carrera, relés de estado sólido y un sistema de frenado dinámico mediante inyección de corriente continua, así como mejoras mecánicas en el alineamiento del sistema biela-manivela y en el afilado de la matriz de corte. Los resultados confirman que la máquina optimizada logra detenciones exactas de la guillotina en su punto superior, incrementa la seguridad operativa y mejora la estabilidad del ciclo de trabajo.

Se concluye que la optimización implementada permite una producción continua, eficiente y segura de hostias, cumpliendo con los requerimientos técnicos y operativos del monasterio.

Palabras clave: optimización de máquina, automatización industrial, control de motores, sistema de control con microcontrolador, frenado por inyección DC.

ABSTRACT

The communion wafer manufacturing process at the “Carmelitas Descalzas” monastery presents limitations during the wafer cutting stage due to the inefficient operation of the previously developed cutting machine. The primary issue identified is the lack of precision and repeatability in the guillotine actuation, caused by a timer-based control system that fails to ensure the proper return of the cutting die. This results in production delays and poses safety risks to the operator. The purpose of this thesis is to optimize the wafer cutting machine to enhance the efficiency, safety, and continuity of the production process.

The methodology employed consists of applied research using documentary, descriptive, and experimental approaches. Field research was conducted at the monastery to diagnose the machine's condition and define optimization parameters. Subsequently, a new electronic control architecture based on an Arduino Nano microcontroller was designed and implemented. This system integrates a limit switch, solid-state relays, and a dynamic braking system using DC injection. Additionally, mechanical improvements were made to the alignment of the slider-crank mechanism and the sharpening of the cutting die.

The results confirm that the optimized machine achieves precise guillotine stops at the upper position, increases operational safety, and improves work cycle stability.

It is concluded that the implemented optimization enables continuous, efficient, and safe wafer production, meeting the monastery's technical and operational requirements.

Keywords: machine optimization, industrial automation, motor control, microcontroller control system, DC injection braking.

INDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|------|
| 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA..... | ii |
| 2. CONSTANCIAS..... | iii |
| CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR | iv |
| APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR..... | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| RESUMEN..... | viii |
| ABSTRACT | ix |
| INDICE DE CONTENIDOS..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xiii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xv |
| CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.2 Objetivos..... | 2 |
| 1.2.1 General..... | 2 |
| 1.2.2 Específicos..... | 2 |
| 1.3 Alcance y delimitación | 2 |
| 1.4 Justificación | 2 |
| CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1 Antecedentes..... | 4 |
| 2.2 Bases Teóricas | 7 |
| 2.2.1 Máquinas cortadoras de obleas..... | 7 |
| 2.2.2 Hostias | 8 |
| 2.2.3 Proceso de corte de obleas..... | 10 |
| 2.2.4 Métodos y técnicas para mejorar el sistema de corte | 13 |
| 2.2.5 Métodos de control de un motor de inducción monofásico..... | 13 |
| 2.2.6 Frenado de motores de corriente alterna..... | 15 |
| CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO | 17 |
| 3.1 Metodología de investigación..... | 17 |
| 3.2 Diseño de la Investigación..... | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.1 Fase 1: Definir los parámetros principales a optimizar en el sistema de corte de la máquina. | 18 |
| 3.2.2 Fase 2: Diseñar el sistema de control de la máquina a optimizar. | 19 |
| 3.2.3 Fase 3: Implementar el sistema diseñado en la máquina. | 20 |
| 3.2.4 Fase 4: Validar el correcto funcionamiento de la máquina cortadora de obleas, a través de pruebas de campo..... | 20 |
| CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS | 22 |
| 4.1 Investigación de campo | 22 |
| 4.1.1 Experiencia general y problemas identificados..... | 23 |
| 4.1.2 Sugerencias para mejorar la máquina..... | 23 |
| 4.1.3 Proceso de elaboración de hostias en el Monasterio Carmelitas Descalzas..... | 25 |
| 4.2 Estado actual | 26 |
| 4.2.1 Fallos Detectados | 27 |
| 4.3 Especificaciones del sistema a diseñar | 29 |
| 4.4 Solución Propuesta | 31 |
| 4.5 Componentes y materiales | 34 |
| 4.5.1 Selección del controlador lógico..... | 34 |
| 4.5.2 Especificaciones técnicas de los componentes..... | 36 |
| 4.5.3 Listado de materiales..... | 43 |
| 4.6 Sistema Implementado..... | 44 |
| 4.6.1 Cálculo de Corriente de Frenado y Selección de Resistencia | 44 |
| 4.6.2 Fusible de protección | 46 |
| 4.6.3 Selección de la red snubber..... | 47 |
| 4.6.4 Alineación mecánica | 48 |
| 4.7 Validación de la lógica de control | 48 |
| 4.7.1 Validación del Algoritmo..... | 48 |
| 4.8 Implementación del nuevo sistema de control..... | 50 |
| 4.8.1 Diseño y fabricación del circuito impreso (PCB) | 50 |
| 4.8.2 Integración, montaje y cableado del tablero de control | 51 |
| 4.8.3 Diagramas de fuerza y control | 54 |
| 4.8.4 Desarrollo e Implementación del Firmware..... | 55 |
| 4.8.5 Correcciones y ajustes mecánicos | 57 |
| 4.8.6 Validación funcional y operativa del sistema | 59 |

| | |
|---|----|
| 4.9 Comparativa de rendimiento..... | 64 |
| 4.9.1 Capacidad de producción automatizada..... | 65 |
| 4.9.2 Análisis frente al proceso manual | 65 |
| 4.10 Manual de usuario..... | 66 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 67 |
| REFERENCIAS | 70 |
| ANEXOS | 74 |
| A. Diagrama de control y de fuerza..... | 1 |
| B. Código del microcontrolador | 2 |
| C. Manual de usuario y mantenimiento..... | 3 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig. 1. Hostias [12]. | 8 |
| Fig. 2. Hostias cortadas [14]. | 10 |
| Fig. 3. Cortadora de hostias manual [15]. | 11 |
| Fig. 4. Cortadora de hostias semiautomática [15]. | 11 |
| Fig. 5. Humificadores de láminas de obleas [15]. | 12 |
| Fig. 6. Vista interna del gabinete del tablero de control [1]. | 26 |
| Fig. 7. Imagen de la matriz de corte con las guillotinas ubicadas incorrectamente. | 27 |
| Fig. 8. Imagen del mecanismo biela-manivela con error de posicionamiento. | 28 |
| Fig. 9. Imagen de las hostias con cortes irregulares. | 29 |
| Fig. 10. Placa de control original de la máquina cortadora. | 30 |
| Fig. 11. Diagrama de bloques de la solución. | 32 |
| Fig. 12 . SSR-40 DA con disipador de calor [29]. | 37 |
| Fig. 13. Relé Electromecánico SLA-05VDC-SL-C [31]. | 38 |
| Fig. 14. Resistencia de potencia de $8 \Omega / 100 \text{ W}$ [33]. | 39 |
| Fig. 15. Puente rectificador: KBPC5010 [35]. | 39 |
| Fig. 16. Final de Carrera: ME-8111 [39]. | 41 |
| Fig. 17. Filtro RC [43]. | 43 |
| Fig. 18. Pruebas de funcionamiento del nuevo sistema. | 49 |
| Fig. 19. Diseño de las pistas del PCB en EasyEDA. | 50 |
| Fig. 20. Diseño en 3D del PCB en EasyEDA. | 51 |
| Fig. 21. Placa física ensamblada. | 51 |
| Fig. 22. Vista interna del tablero de control con la nueva distribución. | 53 |
| Fig. 23. Vista externa del tablero de control con la nueva distribución. | 53 |
| Fig. 24. Colocación del final de carrera en la máquina. | 54 |
| Fig. 25. Diagramas de fuerza y control | 54 |
| Fig. 26. Diagrama de flujo de la lógica de control implementada. | 56 |
| Fig. 27. Imagen del mecanismo biela-manivela posicionado correctamente. | 57 |
| Fig. 28. Imagen de las hostias cortadas después delafilado de las cuchillas. | 58 |
| Fig. 29. Secuencia del ciclo de la guillotina. (A) Posición inicial. | 59 |

| | |
|---|----|
| Fig. 30. Secuencia del ciclo de la guillotina. (B) Punto inferior. | 60 |
| Fig. 31. Secuencia del ciclo de la guillotina. (C) Retorno y frenado en el punto superior. . | 60 |
| Fig. 32. Lámina de oblea. | 61 |
| Fig. 33. Lámina de obleas colocadas en la matriz de corte. | 61 |
| Fig. 34. Prueba de la matriz de corte. (A) Posición inicial..... | 61 |
| Fig. 35. Prueba de la matriz de corte. (B) Punto inferior. | 62 |
| Fig. 36. Prueba de la matriz de corte. (C) Retorno y frenado en el punto superior..... | 62 |
| Fig. 37. Retiro del excedente de la lámina de oblea. | 62 |
| Fig. 38. Excedente de la lámina de oblea. | 63 |
| Fig. 39. Recortes [46]. | 63 |
| Fig. 40. Hostias cortadas. | 64 |
| Fig. 41. Pantalla LCD que muestra la cuenta regresiva de enfriamiento. | 64 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Comparativa de tecnologías de control [25],[26] y [27]. | 35 |
| Tabla 2. Especificaciones técnicas del microcontrolador Arduino Nano [27]. | 36 |
| Tabla 3. Especificaciones técnicas del SSR-40 DA [28]. | 37 |
| Tabla 4. Especificaciones técnicas del relé electromecánico SLA-05VDC-SL-C [30]. | 38 |
| Tabla 5. Especificaciones técnicas de la resistencia de potencia de $8 \Omega / 100 \text{ W}$ [32]. | 39 |
| Tabla 6. Especificaciones técnicas del puente rectificador: KBPC5010 [34]. | 40 |
| Tabla 7. Especificaciones técnicas del adaptador de carga [36]. | 40 |
| Tabla 8. Especificaciones técnicas de la pantalla LCD 16x2 con módulo I2C [37]. | 41 |
| Tabla 9. Especificaciones técnicas del final de carrera: ME-8111 [38]. | 41 |
| Tabla 10. Especificaciones técnicas del selector de encendido (SKPS-ED21) [40]. | 42 |
| Tabla 11. Especificaciones técnicas del fusible de protección [41]. | 42 |
| Tabla 12. Especificaciones técnicas del filtro RC [42]. | 43 |
| Tabla 13. Materiales y equipos del sistema. | 43 |
| Tabla 14. Pruebas y resultados del sistema. | 49 |

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En el año 2015, en la Universidad Técnica del Norte, a través del estudiante Byron Benavides, se desarrolló una máquina cortadora de obleas para las hermanas del monasterio “Carmelitas Descalzas”, quienes se dedican a la producción de hostias. La solución basada en una máquina cortadora de obleas permitía evitar la pérdida de materia prima y mejorar la producción y la calidad. La máquina se diseñó con una matriz de corte, un sistema de muelle de compresión y control de la velocidad de la matriz de corte [1].

Los monasterios producen sus propias hostias que se utilizan en las Eucaristías. El proceso de elaboración de las hostias se divide en tres etapas: cocción, humectación y corte de obleas, y presenta problemas en esta última.

La máquina requiere optimizar el accionamiento de la guillotina, ya que actualmente es necesario ajustar manualmente los límites de movimiento del sistema de corte, lo que, obviamente, conlleva pérdidas de tiempo y riesgos para el operador. Esto ocasiona muchos inconvenientes, ya que esta máquina forma parte de un proceso en línea junto con otras 2 máquinas, en el que se realizan la cocción y la humectación, lo que provoca un retraso en la fabricación.

El funcionamiento óptimo de la máquina cortadora de obleas garantizará el proceso óptimo y continuo de fabricación de hostias en el monasterio “Carmelitas Descalzas” ubicado en sector Bellavista de San Antonio de Ibarra

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Optimizar una máquina cortadora de obleas para el monasterio “Carmelitas Descalzas”

1.2.2 Específicos

- Definir los parámetros principales a optimizar en el sistema de corte de la máquina.
- Diseñar el sistema de la máquina a optimizar.
- Implementar el sistema diseñado en la máquina.
- Validar el correcto funcionamiento de la máquina cortadora de obleas, a través de pruebas de campo.

1.3 Alcance y delimitación

El presente proyecto tiene como alcance optimizar el sistema de accionamiento de las guillotinas de la máquina preexistente en el monasterio "Carmelitas Descalzas", mediante la definición de las especificaciones principales que requiere la máquina, lo que permitirá diseñar una solución especificada, considerando los parámetros definidos para su optimización, y así lograr la implementación de este diseño según las especificaciones aportadas por las hermanas del monasterio. Finalmente, se validará el correcto funcionamiento de la máquina, lo que permitirá aumentar la eficiencia y la seguridad en la producción de obleas.

1.4 Justificación

La máquina de corte de obleas es un componente funcional en un proceso de producción de hostias, y el hecho de que esta no trabaje de manera eficiente, el proceso de cocción y

humectación quedaría estancado al no poder cumplir con el objetivo final, que es producir las hostias.

Es importante contar con la optimización de la máquina de corte, ya que contribuye a la seguridad y al mejoramiento del proceso de producción de la hostia, evitando pérdidas de tiempo y recursos. La función de optimizar la máquina cortadora de obleas es lograr un proceso óptimo que resulte factible, aportando así al desarrollo de su ambiente de trabajo y de la vida de las Hermanas del Monasterio “Carmelitas Descalzas”.

La finalidad de optimizar la cortadora de obleas se debe al riesgo del comportamiento impredecible de la guillotina, que representa un peligro inminente para el operario, quien podría sufrir un accidente al intentar manipular la máquina, y también impide la alimentación continua de nuevas láminas de obleas. Debido a esto, se genera una mala regularización de las guillotinas, además de generar pérdida de tiempo, poca producción y poner en riesgo de accidentes a los usuarios. Por esta razón, necesitamos garantizar la seguridad y la eficiencia de la máquina para generar mayor producción, facilitando y asegurando su manipulación.

En la regularización manual de las guillotinas, es fundamental que el funcionamiento cuente con un rediseño del sistema de retorno de la matriz de corte para evitar la manipulación por parte de los usuarios durante la producción y garantizar su seguridad.

Además, la optimización de la máquina permitiría una mayor producción y seguridad para el usuario, evitando pérdidas de tiempo y recursos, ya que la función de optimizar la máquina cortadora de obleas consiste en lograr un proceso óptimo y seguro.

Logrando así contar con una máquina cortadora de obleas, con parámetros específicos y un diseño de sistema definido para su correcto funcionamiento.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analizará la información necesaria para el proceso de fabricación de las hostias y de la máquina cortadora de obleas. Se centrará en explicar lo fundamental para realizar correctamente el proceso de corte de la máquina. De igual manera, se abordará cómo optimizar el funcionamiento de la máquina cortadora. Métodos que ayuden a realizar correctamente el proceso de corte, ya que debe ser preciso. Se analizarán nuevas tecnologías y equipos empleados en máquinas cortadoras de obleas para actualizar componentes y optimizar el sistema de control de la máquina. En conclusión, el capítulo presentará los conocimientos teóricos necesarios para comprender el estado anterior y el posterior a la optimización de la máquina cortadora de obleas.

2.1 Antecedentes

Benavides [1], en su trabajo de titulación, desarrolló la máquina cortadora de obleas, que constituye la base de este proyecto. La labor ejecutada alcanza su meta principal de ampliar la producción de hostias en el monasterio "Carmelitas Descalzas ". También se señala que un factor determinante de la eficiencia de la producción de hostias es la rapidez de la matriz de corte; una velocidad inapropiada puede provocar la ruptura de la lámina de oblea durante el proceso de corte.

Myszka [2], en su libro, presenta las técnicas necesarias para estudiar el movimiento de las máquinas. Se enfoca en la aplicación de teorías cinemáticas a la maquinaria real. Además, intenta cerrar la brecha entre el estudio teórico de la cinemática y su aplicación a mecanismos prácticos. Los temas que se presentan en esta obra son fundamentales en el proceso de diseño de máquinas, en tanto que deberían realizarse análisis basados en conceptos de diseño para optimizar el movimiento de una máquina.

Robert [3], en su libro, presenta los conceptos, procedimientos, datos y técnicas de análisis de decisiones necesarios para diseñar los elementos de máquina que se encuentran con frecuencia en dispositivos y sistemas mecánicos. Conserva y perfecciona el método práctico para diseñar elementos de máquina en el contexto de diseños mecánicos completos. Además de hacer énfasis en el diseño original de los elementos de máquina.

Sorondo [4], en su investigación, describe cómo se fabricaban las primeras hostias con la ayuda de la energía eléctrica: unas resistencias colocadas en las cabezas de las tenazas las calentaban, lo que permitía elevar la producción. Esto no quiere decir que fuera, de todos modos, fácil, pues había que estar pendiente de que el hierro no se sobrecalentara, apagando el aparato antes de que se sobrecalentara. Así se forman unas obleas rectangulares que, una vez enfriadas, se cortan con tijeras hasta obtener las hostias que todos conocemos. En esta fase, algunos utilizaban máquinas simples de troquel con el diámetro de las formas: unas para formas grandes y otras para pequeñas; tras su aplicación, las hostias terminadas caían directamente en un cajón situado en su parte inferior.

Holyart [5], en su página web, muestra que los ingredientes que componen la hostia son exclusivamente agua y harina de trigo, al igual que el pan ázimo. La adición de otras sustancias haría de la hostia “materia inválida para la Eucaristía”, según lo prescrito por la Congregación para la Doctrina de la Fe. El hecho de darles forma circular se debió a la practicidad, aunque se establece que, desde la antigüedad, el pan utilizado en las celebraciones religiosas era plano y redondo.

Khan & Riyadh [6], en su estudio “PWM Speed Control of AC Single Phase Induction Motor Using MCU Series Combined With TRIAC Technology”, presentan un método para controlar la velocidad de motores monofásicos mediante la combinación de un

microcontrolador PIC y un TRIAC, mediante modulación por ancho de pulso (PWM). Este sistema permite variar con precisión el voltaje aplicado al motor, eliminando la necesidad de mecanismos mecánicos de variación de velocidad y reduciendo las no linealidades del sistema. Para una máquina cortadora de obleas, el control eficiente de la velocidad del motor es crucial para lograr cortes uniformes y optimizar los ciclos de producción. La estrategia propuesta en este artículo puede servir de base técnica para modelar y optimizar el accionamiento eléctrico del motor de la máquina cortadora.

Szatkiewicz [7], en su artículo “DC Injection Braking”, expone un método de frenado para motores de inducción que no requiere mecanismos mecánicos ni resistencias externas: se inyecta corriente continua en el estator tras interrumpir la alimentación alterna, generando un campo magnético fijo que produce un par de frenado que alinea el rotor y detiene la rotación. Esta técnica resulta especialmente útil en sistemas con cargas de alta inercia donde los métodos convencionales como “coast-to-stop” o el frenado regenerativo pueden ser lentos o generar sobrevoltajes. Para una máquina cortadora de obleas, donde la precisión y rapidez en los paros son críticas para evitar imperfecciones en los cortes, la estrategia de frenado por inyección de DC puede contribuir a optimizar los ciclos de operación y mejorar la productividad.

Erazo [8], en su investigación, nos presenta un estudio de reflexión sobre la aceptación del diseño, la manufactura y el análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE, por sus siglas en inglés), así como de otras iniciativas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina. El desarrollo del mundo moderno no es concebible sin el auge de las tecnologías de la información aplicadas a la industria.

Navas, Pérez & Torres [9], en su artículo, identifican las técnicas de mejora de la calidad del diseño, del proceso de fabricación y de funcionamiento aplicadas en las máquinas-herramienta con relación a su aportación a la seguridad del trabajador. También se analiza su potencial utilidad en el entorno de las normas armonizadas europeas sobre seguridad en las máquinas y los condicionantes, fundamentalmente organizativos, que presentan.

Yilmaz, Ünal & Özdemir [10], en su artículo Speed Control of a Single-Phase Induction Motor Using a Fuzzy Logic Based Hysteresis Band PWM, proponen un esquema de control de velocidad para motores monofásicos mediante PWM con banda de histéresis, gobernado por un controlador de lógica difusa. Este método ajusta dinámicamente la tensión aplicada al motor en función del error de velocidad y de su variación, brindando una mayor robustez frente a variaciones de carga. Para una máquina cortadora de obleas, en la que los ciclos de corte requieren aceleraciones y frenados precisos para garantizar cortes limpios y evitar vibraciones, una estrategia difusa con PWM de histéresis podría optimizar el desempeño dinámico del motor, reduciendo los tiempos muertos y mejorando la calidad del corte.

2.2 Bases Teóricas

En el siguiente apartado del trabajo se describe la fundamentación teórica necesaria para su realización, enfocándonos en la optimización del sistema de corte de una máquina cortadora de obleas. Se describen los tipos de sistemas de corte existentes para máquinas de corte de obleas utilizadas actualmente en la elaboración de hostias.

2.2.1 Máquinas cortadoras de obleas

Una máquina cortadora de hostias es un dispositivo troquel que da a las hostias su forma circular característica, diseñado para cortar hostias (panes planos y redondos) de obleas, láminas de pan especial utilizadas en la eucaristía [1]. Estas máquinas pueden ser manuales

o automatizadas y, a menudo, se utilizan por panaderías o productores de hostias para simplificar la elaboración de estas piezas religiosas. El proceso de elaboración de hostias puede involucrar varias máquinas para la cocción, la humidificación y el corte [11].

2.2.2 Hostias

En la Eucaristía, que es un sacramento esencial en la tradición cristiana, se consagran el pan y el vino, que para los católicos representan el Cuerpo y la Sangre de Jesucristo [12]. Durante esta ceremonia, la hostia tiene forma de pan ázimo, delgada y circular. El proceso de producción combina tradición, precisión técnica y un profundo significado religioso. En esta fase, se decide la forma, el tamaño y la calidad de las hostias para la comunión [13].



Fig. 1. Hostias [12].

2.2.2.1 Proceso de elaboración de hostias

Se elaboran con pan ázimo, es decir, sin levadura, lo cual en el cristianismo simboliza la pureza y la humildad. La ausencia de levadura en las hostias no solo tiene un significado ritual, sino que también es funcional: extiende su vida útil al prevenir la fermentación y disminuye la posibilidad de que se deshagan. Su preparación consiste en mezclar harina de trigo con agua hasta obtener una masa homogénea [13]. La siguiente etapa es la cocción de la masa. Esta se extiende en láminas muy finas y se introduce entre dos planchas calientes,

alcanzando temperaturas de aproximadamente 170 °C. Este proceso de cocción rápida elimina la humedad, dando como resultado láminas de pan ácimo firmes y secas.

Una vez cocidas, las láminas suelen estar muy tostadas y quebradizas, por lo que en algunos procesos se someten a una etapa de humidificación. Esta humidificación, que puede realizarse mediante vapor en máquinas especiales similares a refrigeradores, añade una ligera humedad a las láminas, haciéndolas más fuertes y flexibles para la etapa de corte.

Las láminas humidificadas o secas se introducen en máquinas de corte que utilizan troqueles especiales para darles su forma circular característica. Este corte debe ser preciso y uniforme para asegurar la calidad y la presentación adecuada de las hostias. La precisión en el corte es fundamental para evitar la pérdida de materia prima y para obtener hostias con bordes limpios y definidos [14].

2.2.2.2 Importancia del corte de las obleas en la elaboración de hostias

Un corte homogéneo y delicado no sólo favorece la estética de la hostia, sino que también asegura que la hostia pueda ser manipulada de una forma adecuada durante la celebración eucarística. Un corte preciso favorece la presentación y la distribución de las hostias entre los fieles durante la comunión. Las hostias con bordes limpios y con una forma consistente son más fáciles de manipular por el sacerdote o el ministro de la comunión y no se quedan pegadas ni se rompen al ser entregadas. Las hostias con borde cerrado son precisamente para minimizar esa posibilidad de que deslizarse o desmigajarse durante la misa [12]. En la fig. 2 nos muestra como debe ser la realización del producto final, donde se aprecian unidades con bordes definidos y sin desgarros, con un espesor aproximado de 1,5 mm que es necesario para el uso en la eucaristía.



Fig. 2. Hostias cortadas [14].

2.2.2.3 Estándares y normativas en el corte de hostias

La producción y el corte de hostias están regidos por normativas litúrgicas específicas de la Iglesia Católica, así como por estándares de calidad de la industria alimentaria.

Las normas litúrgicas establecen que las hostias deben estar hechas exclusivamente de pan ácimo, utilizando únicamente harina de trigo y agua. No se permiten aditivos ni conservantes y el pan debe ser preparado recientemente para evitar la descomposición. Estas normativas buscan asegurar que la hostia conserve la pureza y la simplicidad del pan utilizado por Jesús en la Última Cena [12].

En los estándares de calidad de la industria alimentaria para la producción de pan ácimo, se enfatiza la importancia de la calidad en cada etapa del proceso, desde la selección de la harina hasta el corte y el secado. Atributos como la textura adecuada, la uniformidad, la ausencia de desmoronamiento y una larga conservación se consideran indicadores de calidad. Algunos fabricantes destacan el uso de materias primas de la mejor calidad y la implementación de estrictos controles de producción para obtener un producto uniforme y compacto [11].

2.2.3 Proceso de corte de obleas

El proceso de corte de obleas para la elaboración de hostias se realiza mediante una variedad de maquinaria y herramientas, que van desde métodos tradicionales y manuales hasta

tecnologías modernas y automatizadas. La elección del equipo depende del volumen de producción deseado, el nivel de precisión requerido y las consideraciones de costo.

2.2.3.1 Sistemas de corte en máquinas cortadoras de obleas

En los métodos tradicionales de corte de hostias se usaban tijeras especiales, troqueles manuales (simples o dúplex) y guillotinas con cuchillas afiladas, lo que permitía cortes precisos y adecuados para producciones pequeñas. [1].



Fig. 3. Cortadora de hostias manual [15].

Para responder a la mayor demanda y eficiencia, se desarrollaron máquinas de corte semiautomáticas y automáticas con sistemas circulares o mecanizados que permiten cortar obleas de forma rápida y precisa. [11].



Fig. 4. Cortadora de hostias semiautomática [15].

La maquinaria manual es más económica y útil en producciones pequeñas, pero menos eficiente; en cambio, las máquinas semiautomáticas y automáticas requieren una mayor inversión, aunque ofrecen mayor velocidad, precisión y calidad en el corte [15].

2.2.3.2 Posibles problemas durante el proceso de corte

En el proceso de corte de obleas para hostias pueden presentarse dificultades como cortes irregulares, bordes desgarrados, adherencia entre láminas y exceso de fragmentos. Estos problemas suelen originarse por una humedad inadecuada: si las láminas de obleas están muy secas, se quiebran y se desmoronan, mientras que si están muy húmedas se vuelven pegajosas y complican el corte. La solución consiste en el proceso de humectación, que se coloca en máquinas humificadores como se muestra en la figura 5, con esto nos ayuda a mantener un nivel de humedad óptimo mediante un proceso de humidificación controlado [16].

Los tiempos recomendados para la humidificación oscilan entre 10 y 20 minutos, dependiendo del espesor de la lámina (3 mm y 6 mm, respectivamente). Cabe señalar que estos valores constituyen una referencia operativa, puesto que el tiempo puede ajustarse manualmente según la configuración establecida por el operador [45].



Fig. 5. Humificadores de láminas de obleas [15].

El desgaste de cuchillas o troqueles y un mal ajuste de la maquinaria pueden generar cortes irregulares en las obleas. Para evitar, se requiere mantenimiento frecuente, afilado o reemplazo de herramientas, así como una correcta calibración según las recomendaciones del fabricante [17].

La acumulación de residuos en la matriz de corte y las obleas con arrugas pueden afectar la calidad del corte, por lo que se recomienda limpiar regularmente la maquinaria y asegurar que las láminas estén planas. Para evitar adherencias, se aconseja mejorar la circulación de aire durante la humidificación y no apilar las obleas recién cocidas hasta que estén frías y ligeramente secas [15].

2.2.4 Métodos y técnicas para mejorar el sistema de corte

La optimización de una cortadora de obleas (hostias) busca mejorar la eficiencia, calidad y reducir costos en su producción para un monasterio. Esto implica maximizar la cantidad de hostias cortadas por lámina, reducir el tiempo de producción, minimizar el desperdicio de material y asegurar cortes precisos y uniformes [1].

El proceso de corte de obleas ha pasado de ser manual a ser automático, buscando la precisión y la eficiencia, evitando producir desperdicios.

Nuevas herramientas como CAD/CAM ayudan a optimizar el diseño de troqueles y el aprovechamiento del material, mientras que el control numérico computarizado (CNC) asegura la repetibilidad y los ajustes finos de los parámetros de corte. La automatización en la alimentación y recolección aumenta la productividad y el mantenimiento preventivo garantiza la continuidad operativa [18]. De igual manera, el empleo de algoritmos de optimización nos permite ajustar variables como la velocidad, la presión o la humedad para mejorar la eficiencia energética y la calidad del producto final [19].

2.2.5 Métodos de control de un motor de inducción monofásico

El control en un motor monofásico es fundamental no solo para la variabilidad operativa, sino también para la optimización del consumo energético y la reducción de la contaminación acústica.

Microcontroladores en el control de motores

La utilización de algoritmos sofisticados requiere microcontroladores. (MCU) especializados. Estos actúan como el núcleo del sistema, integrando periféricos críticos como:

- **Módulos PWM (Modulación por Ancho de Pulso):** Generan señales para conmutar los interruptores de potencia, lo que permite aplicar técnicas alineadas con el centro de frecuencia para reducir el ruido electromagnético (EMI).
- **Convertidores Analógico-Digitales (ADC):** Esenciales para la retroalimentación del sistema, permitiendo medir corriente, temperatura y variables externas (sensores) para ajustar la velocidad.
- **Sistemas de Diagnóstico:** Entradas de falla que protegen el hardware ante sobrecorriente o bloqueo del rotor, reduciendo los costos de mantenimiento.

Estrategias de Control y Topologías de Inversión

Existen diversas configuraciones de hardware para gestionar el giro y la velocidad de un motor PSC:

1. **Control unidireccional:** Es la topología más sencilla, que consiste en generar voltaje y frecuencia variables (VF) para un motor que conserva su condensador de arranque. Emplea dos puentes y un algoritmo de baja complejidad.
2. **Inversor de Puente H (Bidireccional):** Permite eliminar el condensador de arranque al alimentar los devanados principales y de arranque con voltajes desfasados en 90° . Sin embargo, presenta desventajas como el desequilibrio de corrientes entre los devanados y un alto costo por el uso de circuitos duplicadores de tensión.

3. **Inversor Trifásico (Bidireccional):** Representa la solución más eficiente. Utiliza un puente inversor trifásico en el que los devanados del motor se conectan a los tres semipuentes del inversor [20].

2.2.6 Frenado de motores de corriente alterna

En los motores de corriente alterna, es crucial detenerlos de manera controlada, rápida y segura. La energía cinética almacenada en la inercia del rotor y de la carga debe disiparse. El frenado de estos motores puede realizarse mediante diversas técnicas, según el tipo de motor (síncrono o asíncrono), la inercia de la carga y los requerimientos de frenado [26].

Entre los principales métodos de frenado se encuentran:

Frenado por contracorriente

Se basa en la interrupción repentina de la corriente eléctrica que alimenta el motor, lo que hace que el rotor frene rápidamente y disipe el calor de forma eficiente.

En aplicaciones que requieren un frenado rápido y eficaz, como en maquinaria industrial y equipos de producción, se emplea el frenado por contracorriente. No obstante, este método no es adecuado para equipos de elevación como grúas, montacargas, ascensores, entre otros, ya que las elevadas corrientes generadas durante el proceso pueden ocasionar daños tanto en el motor como en la carga transportada [26].

Frenado por inyección de corriente continua

En este método se aplica una corriente continua para lograr una detención rápida y efectiva. Este procedimiento consiste en conectar simultáneamente dos terminales del estator a una fuente de corriente continua mientras se desconecta el motor de su línea de alimentación principal. Bajo estas condiciones, el rotor continúa girando dentro de un campo magnético fijo y el deslizamiento resultante genera un par de frenado. Una vez que el motor se detiene,

se interrumpe el suministro de corriente continua al estator. Este método de frenado es muy eficaz porque actúa de forma suave y rápida al mismo tiempo. Además, evita el desgaste por rozamiento, un problema común en otros tipos de frenado mecánico [26].

Frenado electromecánico

El frenado electromecánico se realiza mediante una unidad de control que, al activarse, envía la orden de funcionamiento a los motores eléctricos instalados en cada mordaza trasera. Estos motores, mediante una transmisión cinemática, ejercen una fuerza sobre el pistón de la mordaza, presionando las pastillas contra el disco de freno y generando así la detención del sistema. La estructura mecánica queda bloqueada en esta posición, manteniendo la presión necesaria para asegurar el frenado. Para la liberación, se vuelve a accionar el control, lo que invierte el movimiento y permite que el mecanismo retroceda y separe las pastillas del disco. Este sistema destaca por ser suave y eficiente, minimizando el riesgo de daño a la carga o al motor, y es muy útil en emergencias gracias a su rápida respuesta [26].

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla la metodología utilizada para desarrollar el trabajo de investigación, con el fin de proporcionar, de forma clara y precisa, el orden de los pasos considerados para cumplir con el diseño de optimización de la máquina cortadora de obleas.

3.1 Metodología de investigación

En el presente trabajo de integración se lleva a cabo una investigación aplicada centrada en abordar un problema específico [27]. Con el fin de encontrar una solución práctica. En el contexto de este proyecto en particular, se propone optimizar la máquina cortadora de obleas del monasterio “Carmelitas Descalzas”.

La investigación se clasifica como documental porque se fundamenta en la búsqueda de información en diversos tipos de documentos, como artículos, libros y revistas científicas, entre otros [28]. Con el fin de identificar y seleccionar datos relevantes para abordar el proceso de una cortadora de obleas. El propósito principal de esta búsqueda de información es obtener datos que orienten la formulación de la solución al problema específico del proyecto.

Además, la investigación es experimental, con el objetivo de recopilar y documentar datos sobre el diseño de un sistema de corte óptimo para la máquina, teniendo en cuenta la información obtenida. La observación y la interrogación son las técnicas principales empleadas en este tipo de estudio. El desarrollo del proyecto implica que la investigación se traslade al lugar específico para analizar los resultados del buen funcionamiento de la máquina y ayudar a mejorar los procesos de fabricación de hostias para el monasterio.

Por otro lado, se destaca que la investigación es descriptiva, ya que se enfoca en detallar las características de la población o el objeto de estudio [29]. El objetivo de esta investigación

es precisamente detallar las características fundamentales de los elementos que se utilizarán en la optimización de la máquina cortadora de obleas.

3.2 Diseño de la Investigación

A continuación, se presenta la descripción de las fases y actividades necesarias para optimizar la máquina cortadora de obleas del monasterio “Carmelitas Descalzas”. Las fases y actividades están vinculadas a cada uno de los objetivos específicos de la investigación.

3.2.1 Fase 1: Definir los parámetros principales a optimizar en el sistema de corte de la máquina.

En esta fase se definen las necesidades y los parámetros principales que debe cumplir el sistema de corte de la máquina. Se toman en cuenta las necesidades de las hermanas del monasterio “Carmelitas Descalzas”, que impiden contar con una línea de fabricación óptima de hostias. También se obtiene información de diseños óptimos existentes en el mercado relacionados con este proceso.

Actividad 1.1: Realizar una entrevista a las hermanas del monasterio “Carmelitas Descalzas”; en esta actividad se realiza una investigación de campo para recopilar datos sobre el estado de la máquina cortadora de obleas y conocer en detalle los requerimientos a optimizar de la máquina.

Actividad 1.2: Inspección y diagnóstico de la máquina cortadora de obleas; en esta actividad se evalúan el funcionamiento y la condición actual de la máquina.

Actividad 1.3: Investigación de antecedentes y fuentes de información; en esta actividad se busca información sobre las necesidades y requerimientos para una buena optimización de la máquina.

Actividad 1.4: Investigación de las propiedades de las láminas de obleas; en esta actividad se realiza una investigación de campo y científica sobre el proceso de fabricación de hostias.

Actividad 1.5: Definición de los parámetros para el diseño del sistema de accionamiento; en esta actividad se definen los parámetros necesarios para realizar la optimización.

3.2.2 Fase 2: Diseñar el sistema de control de la máquina a optimizar.

En esta fase se procede a realizar el diseño de un nuevo sistema de control para que la matriz de corte cumpla con las necesidades del monasterio, se propone un diseño que cumpla con los requerimientos obtenidos en la fase 1.

Actividad 2.1: Planteamiento de la solución propuesta; en esta actividad se presenta la solución encontrada que se implementara el nuevo sistema de control.

Actividad 2.2: Diagramas de bloques de la solución del sistema de accionamiento; se desarrollan diagramas que faciliten el entendimiento de la solución del problema antes de su construcción.

Actividad 2.3: Diagramas de Control y Fuerza; se realizan los diagramas necesarios para la conexión de la máquina.

Actividad 2.4: Selección de materiales y selección de los elementos comerciales; en esta actividad se desarrolla la selección de los materiales necesarios para la construcción del sistema de corte y cumplir con su optimización.

Actividad 2.5: Elaboración de un circuito del sistema a construir para comprobar el correcto funcionamiento; en esta actividad se realizan pruebas de funcionamiento del sistema de control en una placa de pruebas (protoboard), además de realizar simulaciones

del funcionamiento del sistema de corte de la máquina, teniendo en cuenta los datos obtenidos en las actividades anteriores.

3.2.3 Fase 3: Implementar el sistema diseñado en la máquina.

En esta fase se plantea realizar la implementación del nuevo sistema de control para la optimización de la máquina cortadora de obleas, integrando los componentes mecánicos y electrónicos. De igual manera se realiza elafilamiento de la matriz de corte.

Actividad 3.1: Implementar el sistema de control del accionamiento de la máquina; en esta actividad se implementa el nuevo sistema de control construido para la máquina cortadora de obleas.

Actividad 3.2: Integración de elementos mecánicos y electrónicos; se procede a realizar la integración de los componentes mecánicos y electrónicos a la máquina.

Actividad 3.3: Afilar la matriz de corte de la máquina; en esta actividad se realiza elafilamiento de la matriz de corte para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina.

3.2.4 Fase 4: Validar el correcto funcionamiento de la máquina cortadora de obleas, a través de pruebas de campo.

En esta fase se desarrollan las pruebas que permitan determinar si la máquina funciona correctamente, si cumple con las necesidades de las hermanas y si garantiza el mejoramiento del proceso de fabricación de hostias. De la misma manera, se corrigen los errores que puedan presentarse para garantizar la eficiencia de la máquina.

Actividad 4.1: Realizar pruebas de funcionamiento de la máquina cortadora de obleas; al finalizar la optimización de la máquina, se realizarán las pruebas de su funcionalidad en la fabricación de hostias.

Actividad 4.2: Entrega e instalación de la máquina; se entrega e instala la máquina en el área de fabricación de hostias del monasterio.

Actividad 4.3: Redacción y presentación del documento; se redacta el informe final del trabajo de integración curricular, con los detalles de todo el proceso de optimización de la máquina cortadora de obleas.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente capítulo detalla los resultados obtenidos mediante la metodología empleada y las intervenciones realizadas para mejorar la máquina cortadora de obleas.

4.1 Investigación de campo

Para comprender en profundidad la funcionalidad, la operatividad y el grado de satisfacción con la máquina cortadora de obleas existente, se llevó a cabo una entrevista con las hermanas del monasterio “Carmelitas Descalzas”. Su experiencia en la fabricación artesanal de hostias proporcionó información necesaria para definir los parámetros de mejora del diseño.

Las preguntas directrices de la entrevista fueron:

1. ¿Podría describir los insumos y las variables en el proceso de elaboración de las láminas de obleas?
2. Durante el tiempo que estuvo activa la máquina, ¿cómo ha sido su experiencia general con el funcionamiento de la máquina cortadora de obleas?
3. ¿Cuáles son los principales problemas o aspectos de mejora que ha identificado en el funcionamiento de la máquina?
4. Además de mejorar el sistema de corte, ¿qué otros aspectos consideran que serían necesarios mejorar en la máquina?
5. ¿Está satisfecho con los sistemas de seguridad actuales de la máquina? ¿Tiene alguna sugerencia para mejorarlos?

Con base en las respuestas obtenidas, se sintetizan a continuación los resultados técnicos y operativos:

4.1.1 Experiencia general y problemas identificados

- **Operatividad intermitente:** La máquina carecía de fiabilidad, lo que impedía un trabajo continuo; solo se utilizaba de manera limitada y en pruebas ocasionales debido a fallos recurrentes en el ciclo de trabajo.
- **Desgaste del filo:** Se detectó una pérdida rápida del filo en las cuchillas (matriz de corte), lo que generaba cortes imperfectos.
- **Fallo en el mecanismo:** El problema crítico identificado se encuentra en el sistema de transmisión de la biela a la manivela. Dado que la matriz de corte desciende y asciende según el tiempo establecido en el controlador, este no siempre alcanza un punto fijo, lo que requiere asistencia manual para completar el ciclo. De igual manera, ocasiona que las cuchillas queden en posiciones incorrectas, lo que impide colocar nuevas láminas.

4.1.2 Sugerencias para mejorar la máquina

- **Sistema de elevación y retorno:** Es necesario rediseñar el mecanismo de vaivén. Se requiere un nuevo sistema de control que garantice que la matriz de corte suba completamente a su posición inicial después del corte, evitando malos posicionamientos de las cuchillas.
- **Filo de las cuchillas:** Es necesario abordar el problema del desgaste del filo para garantizar un corte eficiente y limpio; se realizará el afilado de todas las cuchillas.
- **Transporte de la máquina:** Debido al peso de la estructura, se considera la instalación de ruedas para mayor movilidad en limpieza y mantenimiento.

- **Sistema de manejo:** Se explorará la posibilidad de mantener el motor encendido de forma continua para evitar el gasto de energía adicional al arrancar y, potencialmente, lograr una operación más estable. Se considera la adición de un botón adicional para esta función, evaluando el consumo energético asociado.
- **Motor:** Se está evaluando la posibilidad de utilizar otro motor, posiblemente más pequeño y eficiente, teniendo en cuenta el consumo energético y los costos. El actuador eléctrico actual es un motor monofásico de la marca WEG de 1/2 HP con una corriente nominal de 7,4 A conectado a un motorreductor de 60 rpm, y un torque de 95 N.m que datan de aproximadamente del 2015.
- **Seguridad:** Se identifica la necesidad de mejorar la seguridad, en particular en la zona de las cuchillas. Se sugiere la implementación de protectores acrílicos para limitar el acceso de las manos a las cuchillas durante la alimentación de las obleas.
- **Espacio para las hostias cortadas:** Actualmente, las hostias cortadas caen directamente en un cajón sin un espacio debajo de las cuchillas, lo que podría generar cortes accidentales al usuario o contaminación del producto. Se sugiere diseñar o modificar la estructura para crear un espacio que permita una caída más fluida y ordenada de las hostias. Se explorará si existe espacio entre el motor y la plancha superior para implementar esta mejora.
- **Ergonomía:** Aunque no es una prioridad y no se consideran problemas graves en este aspecto. Se mencionó la posibilidad de reubicar los botones a una zona de alcance directo para el usuario y alargar la bandeja de salida para así evitar posturas forzadas o apresuradas para evitar que las hostias caigan al suelo.

4.1.3 Proceso de elaboración de hostias en el Monasterio Carmelitas Descalzas

El trabajo comenzaba de madrugada; ellas empezaban desde las 4:00 AM hasta las 7:00 PM o más tarde. Se requería la participación de varias hermanas para lograr la producción necesaria y a veces trabajaban toda la semana.

Ingredientes y elaboración de la masa: La masa se compone exclusivamente de harina de trigo y agua, sin aditivos. Esta mezcla simple genera una estructura que, tras el horneado, resulta naturalmente rígida y quebradiza. La densidad de la mezcla líquida se ajusta según la máquina horneadora (waflera) utilizada.

Proceso de Cocción: La mezcla líquida se vierte en la máquina de cocción de obleas tipo wafleras. Durante esta etapa, la masa pierde su humedad por evaporación, lo que la convierte en una lámina sólida.

Proceso de humectación: Antes de cortar, las láminas debían someterse a un proceso de humectación que duraba aproximadamente una hora. Antes de la entrega de la máquina humectadora de obleas, este proceso se realizaba de manera manual colocando cada lámina de obleas cubierta por sábanas para utilizar el rocío de la mañana para humectar las obleas.

Proceso de prensado: Una vez humectadas, se debe colocar bajo peso (tablas o prensa) para que, al secarse, queden rectas y no se doblen. Sin este paso, las láminas tienden a curvarse, lo que impediría su corte correcto.

Proceso de corte: El corte se realizaba manualmente con una pequeña máquina, cortando las hostias de una en una, teniendo una producción de 12 hostias por minuto, sin tener en cuenta la fatiga muscular. Este proceso podía tardar todo el día debido a que solo contaban con pocas cortadoras manuales.

Como conclusión de la entrevista, se obtiene que la máquina cortadora de hostias tiene problemas importantes: el sistema de elevación falla, las cuchillas se desafilan, es difícil de mover y el diseño actual presenta riesgos de seguridad y dificulta la recolección de las hostias cortadas. La investigación para su mejora debe enfocarse en solucionar estos problemas mecánicos, de seguridad y de diseño; el principal fallo a mejorar será el sistema de control del motor de la máquina.

4.2 Estado actual

Tras una inspección, se ha determinado que la máquina cortadora de obleas no cumple con el objetivo principal que es la de realizar el corte de las láminas de obleas, esto debido a que realiza el proceso de corte, la matriz de corte no sube a su ubicación de inicio, ya que el motor está controlado por un timer que enciende y apaga el motor con un tiempo definido, esto provoca que la matriz se detenga en cualquier punto del proceso de corte, ocasionando que no se pueda seguir colocando nuevas láminas de obleas para que realice el corte.

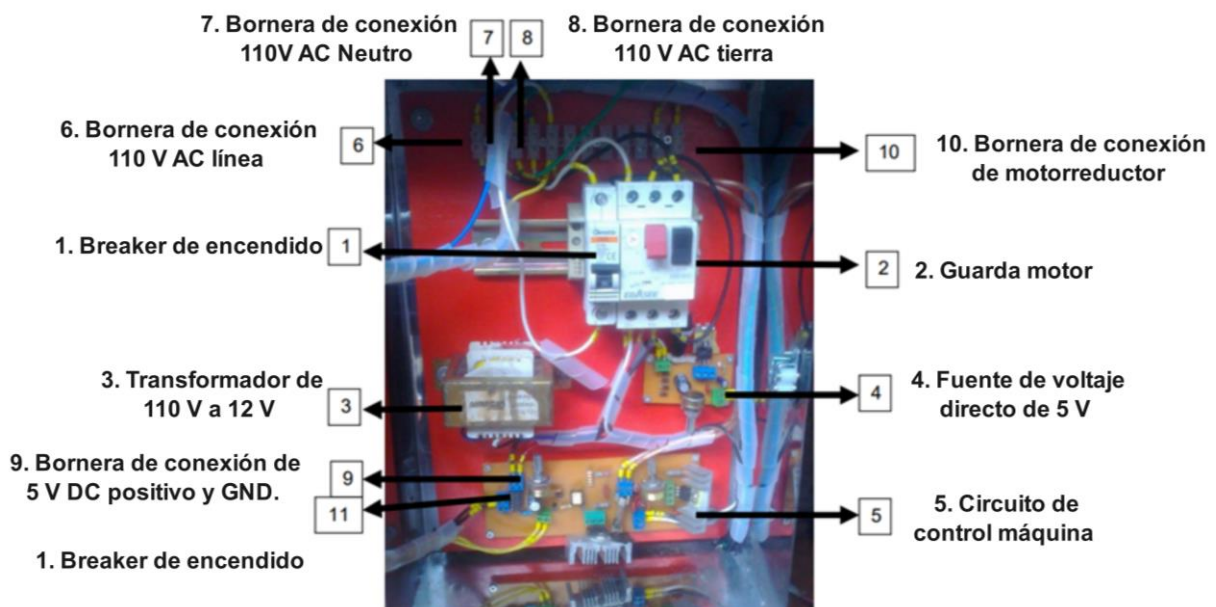


Fig. 6. Vista interna del gabinete del tablero de control [1].

4.2.1 Fallos Detectados

Durante la fase de diagnóstico operativo y de recopilación de datos, se detectaron anomalías críticas que comprometían tanto la precisión del proceso como la integridad mecánica de la máquina.

4.2.1.1 Fallo en el posicionamiento de la guillotina

Al pulsar el botón de activación del corte, el motor se pone en marcha durante aproximadamente 5 segundos, lo que activa el sistema de biela-manivela. Se observó que el sistema de control original carece de la capacidad de detener con precisión la inercia del motor. Esto provoca que las cuchillas queden mal posicionadas al finalizar el ciclo, ignorando el punto superior. Este error de posicionamiento obliga al operador a realizar ajustes manuales peligrosos o a reiniciar ciclos en falso, lo que impide colocar nuevas láminas de obleas y riesgos para la seguridad.

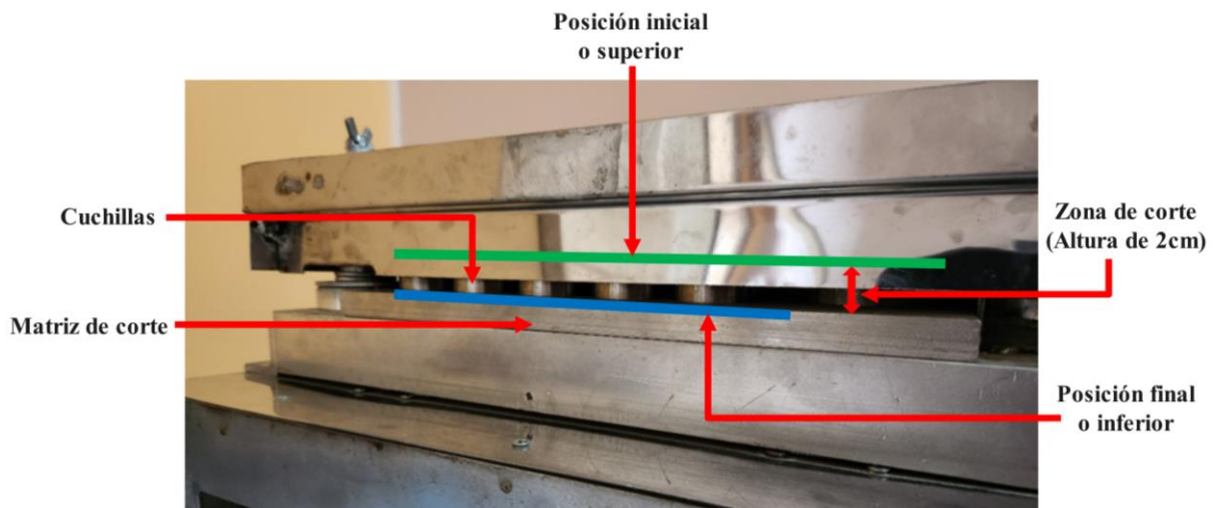


Fig. 7. Imagen de la matriz de corte con las guillotinas ubicadas incorrectamente.

4.2.1.2 Desalineación del Mecanismo Biela-Manivela

Mediante inspección visual y mediciones geométricas, se detectó una desalineación de 6,15 grados en el sistema de transmisión de potencia. El conjunto motor y el motorreductor se encuentran desplazados fuera del eje central de la transmisión.

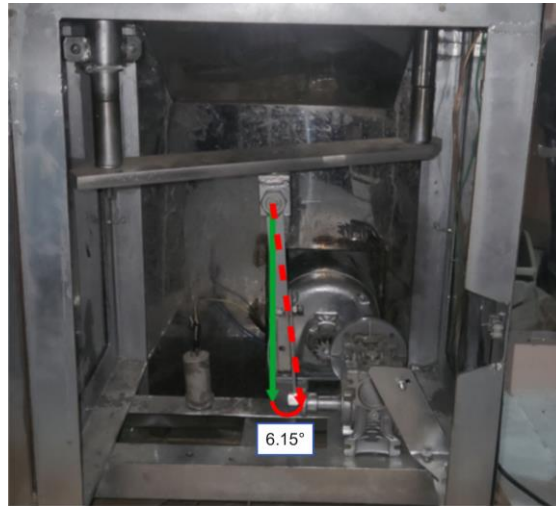


Fig. 8. Imagen del mecanismo biela-manivela con error de posicionamiento.

4.2.1.3 Deficiencia en el filo de corte

Las pruebas iniciales con producto real evidenciaron que las cuchillas generaban cortes irregulares. Como se observa en la figura 9, el 80% de las muestras es decir 4 de cada 5 hostias presentaron fracturas y levantamiento del material con longitudes de entre 2 mm a 3 mm, síntoma de un desgaste avanzado en el filo y holgura en la matriz de corte. Ante esta prueba, se establece como acción correctiva un proceso de rectificación y afilado de las cuchillas para garantizar un corte adecuado.



Fig. 9. Imagen de las hostias con cortes irregulares.

4.3 Especificaciones del sistema a diseñar

Los requerimientos técnicos y de funcionamiento del nuevo diseño son fundamentales para avanzar en la optimización de la máquina, ya que estos criterios son importantes para cumplir con los objetivos planteados. Esto proporcionará una guía clara para el correcto funcionamiento de la máquina cortadora de obleas. Adicionalmente, las necesidades técnicas pueden incluir aspectos vinculados a la integración con otras máquinas y equipos, a las regulaciones de seguridad y a factores de mantenimiento y de sencillez de uso. En definitiva, los requisitos delimitan las propiedades esenciales para la concepción, la construcción y el correcto funcionamiento de la máquina.

En la figura 10 se muestra la placa de control original de la máquina cortadora de obleas. Durante el diagnóstico del sistema, se decide reemplazar los componentes existentes por otros nuevos y de mejor rendimiento.

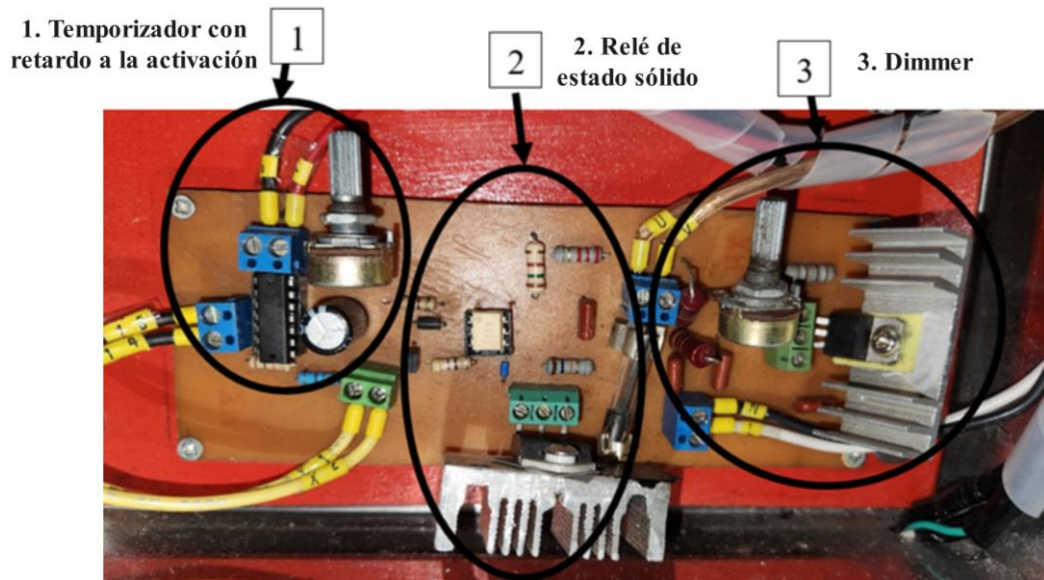


Fig. 10. Placa de control original de la máquina cortadora.

A continuación, se presentan los criterios y parámetros que se tendrán en cuenta para el diseño del sistema de control de la máquina.

- **Precisión en el corte:** el nuevo sistema de corte debe ser preciso en toda la matriz de oblea, con capacidad para cortar 25 hostias pequeñas de 3,81 cm de diámetro y 2 grandes de 7,5 cm de diámetro.
- **Seguridad:** la máquina debe ser segura tanto al operar como al colocar las láminas de obleas; además, el sistema de paro de emergencia debe cumplir con las normas eléctricas.
- **Facilidad de manejo:** debe ser intuitiva, ya que será usada por operadores sin entrenamiento; se debe poder usar con la mínima capacitación.
- **Construcción conforme a normas de alimentos:** debe cumplir con normas sanitarias y alimentarias al ser una máquina que producirá un producto que será consumido por las personas; se utiliza acero inoxidable de grado alimenticio o

plásticos certificados. Cumplir con la norma ISO 22000, ya que garantiza la seguridad alimentaria.

- **Consumo energético:** uso de un máximo de 120 VAC compatible con instalaciones eléctricas básicas.
- **Mantenimiento correctivo:** para mejorar el sistema, se propone reposicionar la biela-manivela para reducir la desviación y asegurar un movimiento correcto. Asimismo, se establece un proceso de rectificación y afilado de las cuchillas para garantizar un corte adecuado.

4.4 Solución Propuesta

Para resolver el problema de imprecisión en el corte, el desgaste mecánico y los riesgos operativos identificados en el sistema original, se propone el diseño e implementación de un sistema de control electrónico digital con frenado dinámico que sustituya la lógica electromecánica analógica.

La solución se estructura en una arquitectura de control basada en un microcontrolador, que gestiona la potencia del motor mediante actuadores de estado sólido y electromecánicos, garantizando un ciclo de corte automatizado, preciso y seguro

En la figura 12 se muestra el diagrama de la solución.

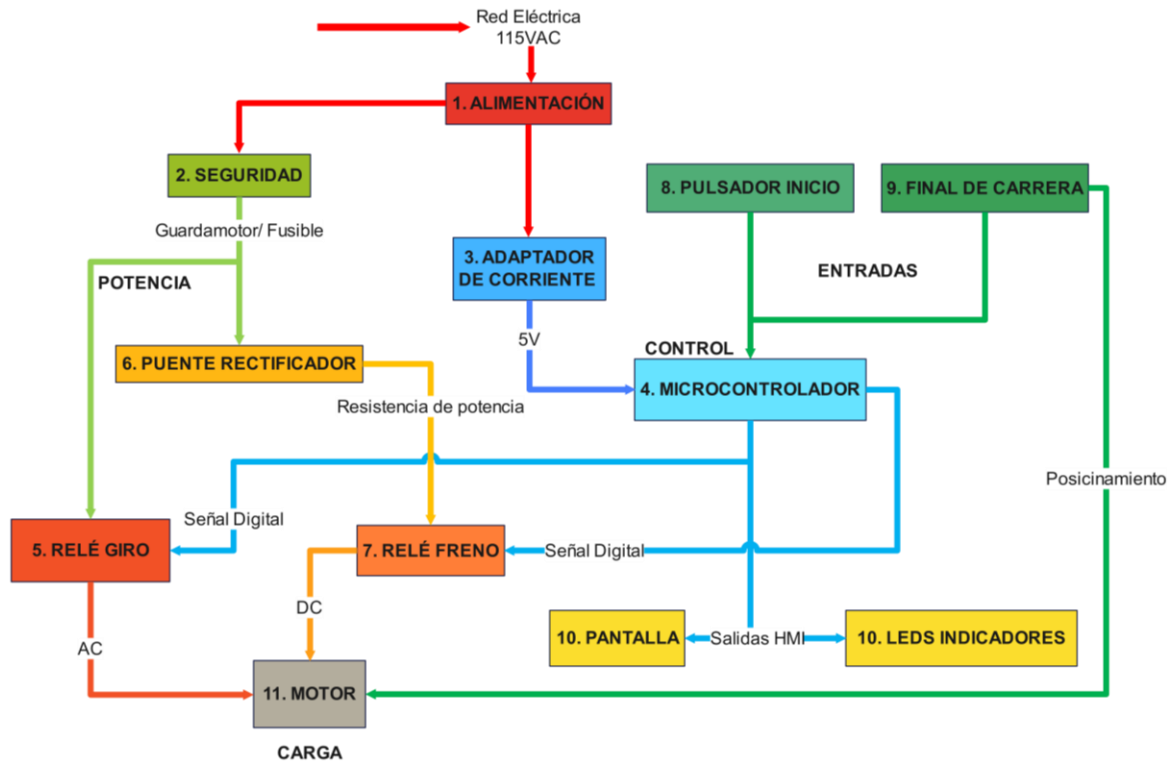


Fig. 11. Diagrama de bloques de la solución.

1. **Alimentación:** el sistema se alimenta de la red monofásica de 115 VAC y se divide en dos etapas: potencia y control. Se distribuye a los subsistemas de potencia (giro/freno) y de control (microcontrolador).
2. **Seguridad:** se incorpora una cadena de seguridad, como el guardamotor y el fusible, que resguardará los componentes conectados en la parte inferior y el cableado frente a fallos eléctricos, como sobrecorrientes, cortocircuitos o sobrecargas térmicas, desconectando el circuito de potencia cuando se superan los límites establecidos.
3. **Adaptador de corriente:** etapa de conversión y regulación de voltaje. Convierte la corriente alterna (115 VAC) de la red en una corriente continua de bajo voltaje (5 V), estable y sin ruido, necesaria para alimentar la lógica de control (microcontrolador).

4. **Microcontrolador:** es el núcleo lógico del sistema que procesa las señales de entrada (bloques 8 y 9) mediante un algoritmo de control programado. Luego, envía señales digitales de mando a los actuadores (relés) y a los dispositivos de visualización (HMI). Además de coordinar la lógica de operación, los tiempos y la seguridad lógica.
5. **Relé giro AC:** es un interruptor electrónico que se activa o desactiva mediante la señal de control proveniente del microcontrolador. El SSR conmuta el flujo de corriente de la red eléctrica AC hacia el motor, controlando así la potencia que este recibe.
6. **Puente rectificador:** es una etapa de potencia que convierte la corriente alterna de la red en corriente continua (DC). Su función principal es proporcionar energía al sistema de frenado dinámico, suministrando la resistencia de potencia a través del relé de freno.
7. **Relé de freno:** el actuador, controlado por el microcontrolador, detiene el motor. Cuando se activa, modifica el circuito para suministrar corriente continua o redirige la energía inercial del motor hacia una resistencia de potencia, lo que facilita una desaceleración rápida y controlada de la carga.
8. **Pulsador de inicio:** genera la señal de solicitud de arranque del proceso. Esta señal es condicionada y se envía al puerto de entrada del microcontrolador para iniciar la secuencia.
9. **Sensor o final de carrera:** transductor electromecánico ubicado en la estructura de la máquina. Su función es detectar la posición del mecanismo móvil y enviar una

señal de retroalimentación al microcontrolador para indicar el fin del recorrido, frenar el motor y garantizar la precisión del posicionamiento.

10. Pantalla y leds: módulo para visualizar datos y estados. La pantalla muestra información alfanumérica sobre los estados de la máquina y los errores. Los LEDs ofrecen una indicación visual rápida del estado del sistema, mostrando si está encendido y en funcionamiento.

11. Motor: es el componente eléctrico que convierte la energía eléctrica del relé de giro en energía mecánica para mover la carga del sistema. Su operación es monitoreada por el final de carrera y controlada por la lógica del microcontrolador.

4.5 Componentes y materiales

Se seleccionan los componentes electrónicos y electromecánicos para mejorar la máquina cortadora de obleas, basándose en la disponibilidad en el mercado local, la relación costo-beneficio y la seguridad operativa. Se seleccionaron componentes de estado sólido para la conmutación de alta frecuencia y elementos electromecánicos reforzados para las fases de frenado y seguridad, lo que asegura una alta durabilidad en las condiciones de operación del monasterio.

4.5.1 Selección del controlador lógico

Para determinar el sistema de control, se llevó a cabo un análisis técnico-económico que comparó tres tecnologías estándar de automatización a pequeña escala: un PLC industrial Micro-PLC Siemens LOGO! 8 (OBA8), un microcontrolador con capacidades de IoT (ESP32) y un microcontrolador de uso general (Arduino Nano).

La máquina cortadora de obleas requiere gestionar una secuencia lineal simple (Bajar - Subir - Frenar) con tiempos de respuesta en el orden de los milisegundos. En la tabla 4.1 se representan los criterios para la decisión:

Tabla 1. Comparativa de tecnologías de control [25],[26] y [27].

| Criterio | Arduino Nano V3.0 (Atmega328P) | Micro-PLC (Siemens LOGO! 8) | ESP32 DevKit V1 |
|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Arquitectura | Microcontrolador 8-bit RISC | Autómata Programable Industrial | SoC 32-bit Dual Core |
| Voltaje Lógico | 5V DC (TTL) | 12/24V DC o 110V AC | 3.3V DC (CMOS) |
| Compatibilidad I/O | Directa con relés y LCDs estándar | Requiere módulos de expansión | Requiere conversores de nivel lógico |
| Coste Aproximado | Bajo (\$5 - \$10 USD) | Alto (\$100 - \$150 USD) | Bajo-Medio (\$8 - \$12 USD) |
| Complejidad | Media (Requiere PCB y fuente) | Baja (Todo en uno) | Alta (Exceso de recursos) |
| Conectividad | USB / Serial | Ethernet / Profinet | Wi-Fi / Bluetooth |
| Idoneidad | Alta | Baja (Sobredimensionado) | Media (innecesaria para la tarea) |

Se seleccionó el Arduino Nano V3.0 como la opción más viable por las siguientes razones técnicas:

- 1. Compatibilidad de voltaje:** Al trabajar con lógica de 5V, se puede conectar directamente al módulo de pantalla LCD y a los relés seleccionados, sin usar circuitos adaptadores de nivel, lo que simplifica el diseño de la PCB. En contraste, el ESP32 funciona a 3.3 V [25].
- 2. Costo-Beneficio:** usar un PLC representaría un costo excesivo (aproximadamente 15 veces mayor) para una aplicación que no requiere comunicación en red ni expansión modular [26].

3. **Tamaño:** al ser compacto, el DIP-30 permite integrarlo en el gabinete existente sin mayores modificaciones estructurales.

4.5.2 Especificaciones técnicas de los componentes

A continuación, se describen las características técnicas y la justificación de cada componente del nuevo sistema de control.

1. Microcontrolador: Arduino Nano V3.0

Se trata de una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega328P, ampliamente utilizada en proyectos electrónicos y de automatización. Su oscilador de 16 MHz proporciona la frecuencia necesaria para detectar en tiempo real la activación del sensor de final de carrera, garantizando un control preciso y eficiente del sistema [27].

Tabla 2. Especificaciones técnicas del microcontrolador Arduino Nano [27].

| Parámetro | Valor / Descripción |
|--------------------------|----------------------------|
| Microcontrolador | ATmega328P |
| Arquitectura | AVR de 8 bits |
| Voltaje de Operación | 5V DC |
| Pines Digitales I/O | 14 (Tx, Rx, D2-D13) |
| Pines Analógicos | 8 (A0-A7) |
| Memoria Flash | 32 KB |
| Interfaz de comunicación | USB Mini-B/ UART/ I2C |
| Frecuencia de Reloj | 16 MHz |
| Dimensiones | 18 x 45 mm |

2. Relé de Estado Sólido (Giro): SSR-40 DA

Para activar el motor durante el ciclo de corte, se optó por un relé de estado sólido (SSR) en lugar de un contactor convencional. La razón principal es su tecnología de conmutación por cruce por cero (Zero-Crossing), que reduce significativamente el ruido eléctrico y los picos de corriente en el arranque del motor. Este relé cuenta con aislamiento óptico de 2500 VAC.

Al carecer de partes móviles, evita el desgaste por arco eléctrico y opera silenciosamente. Aunque el motor tiene un consumo nominal de 7 A, se dimensionó a 40 A para manejar las corrientes de arranque (inrush current) sin sobrecalentarse [28].



Fig. 12 . SSR-40 DA con disipador de calor [29].

Tabla 3. Especificaciones técnicas del SSR-40 DA [28].

| Característica | Especificación |
|------------------------------|------------------------------|
| Modelo | Fotek SSR-40 DA |
| Tipo de Carga | AC Monofásica (Salida SCR) |
| Voltaje de Control (Entrada) | 3 - 32 VDC |
| Voltaje de Carga (Salida) | 24 - 380 VAC |
| Corriente Máxima | 40 amperios |
| Aislamiento | Fotoeléctrico (Optoacoplado) |

3. Relé Electromecánico (Freno): SLA-05VDC-SL-C

Para la etapa de frenado dinámico por inyección de corriente continua, se optó por un relé electromecánico de alta capacidad: el relé de la serie SLA soporta picos de corriente de hasta 30 A en lugar de un SSR. Debido a su robustez frente a transitorios de voltaje, al desconectar la bobina del motor cargada con DC, se generan picos de voltaje inverso (fuerza contraelectromotriz) que podrían dañar un semiconductor. El relé mecánico, al contar con

una separación física de los contactos (mediante aire), soporta mejor estos eventos y asegura un corte total del circuito de frenado cuando no está en uso [30].



Fig. 13. Relé Electromecánico SLA-05VDC-SL-C [31].

Tabla 4. Especificaciones técnicas del relé electromecánico SLA-05VDC-SL-C [30].

| Parámetro | Valor |
|-----------------------|--|
| Modelo | SLA-05VDC-SL-C (Formato T90) |
| Voltaje de Bobina | 5 VDC |
| Capacidad de Contacto | 30A a 250VAC / 30VDC |
| Tipo de Contacto | SPDT (1 Polo, 2 Tiros) - Normalmente Abierto |
| Vida eléctrica | 100000 ciclos |
| Tiempo de Operación | Menor a 15 ms |

4. Resistencia de potencia: 8 ohmios / 100 W

Este componente es crucial para limitar la corriente de cortocircuito durante la inyección de frenado DC. Se optó por una resistencia bobinada con carcasa de aluminio, que facilita su disipación de calor, y ha sido diseñada según la normativa MIL-R-18546 para asegurar una alta disipación térmica y estabilidad de pulso. Se eligió un valor de 8 ohmios, lo que permite una corriente de frenado suficiente para detener el motor en menos de 0,5 segundos sin dañar los devanados [32].



Fig. 14. Resistencia de potencia de 8 Ω / 100 W [33].

Tabla 5. Especificaciones técnicas de la resistencia de potencia de 8 Ω / 100 W [32].

| Característica | Especificación |
|---------------------|-----------------------------------|
| Resistencia | 8 ohmios |
| Potencia Nominal | 100 watts |
| Material del Cuerpo | Aluminio Anodizado (Disipador) |
| Tolerancia | $\pm 5\%$ |
| Coefficiente Temp | ± 200 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ |

5. Puente Rectificador: KBPC5010

Rectificador de onda completa en carcasa metálica con capacidad de 50 A y voltaje inverso de 1000 V (VRRM). Su función es convertir la corriente alterna (110 VAC) en pulsos de corriente continua para el frenado. Se eligió el modelo KBPC5010 debido a su resistente carcasa metálica y a su alta capacidad de corriente, que supera ampliamente la necesaria para el funcionamiento [34].



Fig. 15. Puente rectificador: KBPC5010 [35].

Tabla 6. Especificaciones técnicas del puente rectificador: KBPC5010 [34].

| Parámetro | Valor |
|-----------------------------|--------------|
| Modelo | KBPC5010 |
| Corriente Máxima (If) | 50 amperios |
| Voltaje Inverso Pico (VRRM) | 1000 voltios |
| Encapsulado | Metálico |

6. Fuente de Alimentación Dedicada (Adaptador de Carga)

Para abordar los problemas de reinicio del microcontrolador causados por caídas de tensión al activar los relés, se utilizó una fuente conmutada independiente para la lógica de control. Para asegurar la estabilidad del sistema, se incorporó una fuente SMPS (Switch-Mode Power Supply) dedicada. Se seleccionó un adaptador de pared estándar por su estabilidad, aislamiento galvánico y facilidad de reemplazo, lo que ayuda a aislar la alimentación de 5 V del Arduino de las perturbaciones provenientes de la línea de 115 V del motor. [36].

Tabla 7. Especificaciones técnicas del adaptador de carga [36].

| Característica | Especificación |
|-----------------------|-------------------------|
| Tipo | Fuente Conmutada (SMPS) |
| Voltaje de Entrada | 100 - 240 VAC |
| Voltaje de Salida | 5 VDC |
| Corriente de Salida | 3A |
| Conector | USB Tipo A |

7. Pantalla LCD 16x2 con Módulo I2C

Se diseñó una interfaz visual para optimizar la experiencia del usuario. Se optó por una pantalla LCD con adaptador I2C (PCF8574) debido a su eficiencia en el uso de pines, lo que reduce el cableado de 16 líneas a solo 2 (SDA y SCL) desde el Arduino. Esto reduce los puntos de fallo por conexiones sueltas y deja los pines digitales disponibles para sensores y relés. Además, su bajo consumo energético la hace ideal como fuente de alimentación seleccionada [37].

Tabla 8. Especificaciones técnicas de la pantalla LCD 16x2 con módulo I2C [37].

| Parámetro | Descripción |
|------------------|-----------------------|
| Tipo de Display | Cristal Líquido |
| Resolución | 16 columnas x 2 filas |
| Controlador | HD44780 |
| Protocolo | I2C (SDA Y SCL) |
| Voltaje | 5 VDC |

8. Final de Carrera: ME-8111

Para detectar la posición de la guillotina (ciclo completo), se utilizó un interruptor de límite de grado industrial. Se seleccionó el modelo ME-8111 (tipo émbolo) por su mecanismo sellado IP66, que lo protege contra el polvo y la humedad, lo que asegura una conmutación confiable tras miles de ciclos mecánicos [38].



Fig. 16. Final de Carrera: ME-8111 [39].

Tabla 9. Especificaciones técnicas del final de carrera: ME-8111 [38].

| Característica | Especificación |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Modelo | ME-8111 |
| Accionamiento | Émbolo Metálico (Plunger) |
| Configuración de Contactos | 1 NO + 1 NC (Acción rápida) |
| Corriente Nominal | 5A a 250VAC |
| Material | Cuerpo de plástico reforzado y metal |

9. Selector de Encendido (SKPS-ED21)

Interruptor rotatorio en el panel empleado para aislar el circuito de control. Su función es activar la energía principal del sistema de control, diferenciándola del paro de emergencia, a fin de prevenir el desgaste mecánico de este último [40].

Tabla 10. Especificaciones técnicas del selector de encendido (SKPS-ED21) [40].

| Parámetro | Especificación |
|---------------------------|----------------------------------|
| Modelo | SKPS-ED21 |
| Diámetro de Montaje | 22 mm |
| Tipo de Operación | 2 posiciones mantenidas (ON-OFF) |
| Configuración de Contacto | Normalmente Abierto |
| Corriente Térmica (Ith) | 10 amperios |
| Vida Mecánica | Mayor a 1000000 ciclos |

10. Fusible de Protección (Clase gG)

Elemento de sacrificio tipo cartucho cilíndrico. Se eligió la clase gG (Uso General) para proteger a los conductores y a los dispositivos semiconductores (SSR) frente a corrientes de cortocircuito, además de soportar los picos transitorios del arranque del motor sin fundirse prematuramente [41].

Tabla 11. Especificaciones técnicas del fusible de protección [41].

| Característica | Valor |
|------------------------|---------------------------|
| Tamaño | 10 x 38 mm |
| Corriente Nominal (In) | 10 A |
| Voltaje Nominal (Un) | 500 VAC |
| Curva de Disparo | gG (Retardo / Time-Delay) |
| Capacidad de Ruptura | 120 kA |
| Material del Cuerpo | Cerámica |

11. Red Snubber (Filtro RC)

Circuito pasivo de protección añadido en paralelo a la salida del SSR de giro. Se justifica su uso para suprimir picos de voltaje transitorios (dv/dt) generados por la inductancia del motor en el momento del corte de energía, protegiendo el triac interno del relé [42].

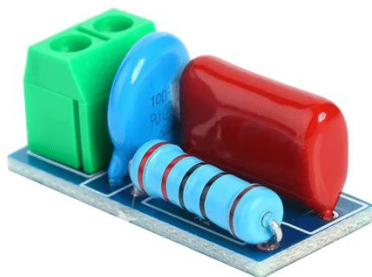


Fig. 17. Filtro RC [43].

Tabla 12. Especificaciones técnicas del filtro RC [42].

| Parámetro | Especificación |
|-----------------------|---------------------------------|
| Resistencia (R) | 100 ohms/ 2 Watts |
| Tipo de Resistencia | Película Carbón |
| Capacitor (C) | 0.1 uF (100nF) |
| Voltaje del Capacitor | 630 VDC / 275 VAC |
| Tipo de Dieléctrico | Poliéster Metalizado |
| Configuración | Serie (R+C) en paralelo a carga |

4.5.3 Listado de materiales

Tabla 13. Materiales y equipos del sistema.

| Elemento | Cantidad |
|--|----------|
| Arduino Nano V3.0 | 1 |
| SSR-40 DA | 1 |
| SLA-05VDC-SL-C | 1 |
| Resistencia de potencia 8 ohmios / 100 W | 1 |
| KBPC5010 | 1 |
| Adaptador de Carga | 1 |
| Pantalla LCD 16x2 con módulo I2C | 1 |
| Final de carrera ME-8111 | 1 |
| Selector SKPS-ED21 | 1 |
| Fusible 10A | 1 |
| Red Snubber (Filtro RC) | 1 |

4.6 Sistema Implementado

La máquina cortadora de obleas, ya optimizada, utiliza un control lógico programable basado en un microcontrolador (Arduino Nano) que controla la potencia del motor mediante actuadores de estado sólido. Se reemplazó el sistema de control inicial por una arquitectura electrónica que permite:

1. Control de altura en el ciclo de corte mediante un sensor de final de carrera.
2. Frenado dinámico mediante inyección de corriente continua (DC) para la precisión de la parada.
3. Colocación de protecciones contra el ruido electromagnético (EMI) y el sobrecalentamiento del capacitor de arranque.

A continuación, se presentan los cálculos matemáticos y físicos que respaldan la elección de los componentes de potencia y de protección previamente descritos. También se examinan parámetros eléctricos, térmicos y mecánicos.

4.6.1 Cálculo de Corriente de Frenado y Selección de Resistencia

Para detener el motor mediante inyección de corriente continua (frenado dinámico), es imprescindible rectificar la tensión de la red y reducirla mediante una resistencia para evitar dañar el devanado del estator.

1. Voltaje eficaz de rectificación

Al utilizar un rectificador de onda completa alimentado con 115 VAC, el voltaje promedio de salida V_{dc} se calcula mediante la relación estándar para rectificación monofásica. (Ver ecuación 1)

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot V_{pico}}{\pi} = \frac{2 \cdot (V_{rms} \cdot \sqrt{2})}{\pi} \quad (1)$$

Donde:

$$V_{rms} = 115 V$$

Sustituyendo los valores:

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot (115V \cdot \sqrt{2})}{\pi} = 103,54 V$$

Para el frenado, se emplea la configuración de media onda efectiva en la carga inductiva en el momento inicial; se toma un voltaje eficaz práctico para un cálculo conservador de la corriente.

$$0,45 \cdot V_{rms} = 51,75V$$

2. Intensidad de frenado

La corriente que circula por el circuito de frenado está restringida por una resistencia externa y por la resistencia del devanado del motor. (Ver la ecuación 2)

$$I_{freno} = \frac{V_{dc}}{R_{ext} + R_{motor}} \quad (2)$$

Datos:

Voltaje efectivo de diseño: 51,75 V

Resistencia medida en devanado de trabajo: 3,3 ohmios

Resistencia de frenado seleccionada: 8 ohmios

Sustituyendo los valores:

$$I_{freno} = \frac{51,75V}{8\Omega + 3,3\Omega} = 4,58A$$

La corriente de frenado de 4,77A es inferior a la corriente nominal de 7A del motor a plena carga, lo que garantiza que el proceso de frenado no provocará sobrecalentamiento en las bobinas del motor.

3. Potencia disipada y ciclo de trabajo

La potencia pico que debe soportar la resistencia externa se calcula según la ley de Joule.

(Ver ecuación 3)

$$P_{pico} = I_{freno}^2 \cdot R_{ext} \quad (3)$$

$$P_{pico} = (4,58A)^2 \cdot 8\Omega = 167,81Watts$$

La potencia pico de 167,81W excede la potencia nominal de 100W de la resistencia seleccionada, pero la selección es válida debido al ciclo de trabajo de la máquina, ya que el frenado dura solo 0,5 segundos y se enfría durante 60 segundos. Por eso se calcula la potencia promedio para determinar la potencia disipada. (Ver la ecuación 4)

$$P_{promedio} = P_{pico} \cdot \frac{t_{frenado}}{t_{ciclo\ total}} \quad (4)$$

$$P_{promedio} = 167,81Watts \cdot \frac{0,5_s}{60_s} = 1,40Watts$$

Una resistencia de 100W es adecuada para soportar picos de 167,81W, ya que la potencia promedio disipada es solo 1,4 W, lo que evita el estrés térmico del componente.

4.6.2 Fusible de protección

Para proteger los semiconductores (SSR) y el cableado, el fusible debe dimensionarse por encima de la corriente nominal, pero por debajo de la corriente de cortocircuito, considerando un factor de seguridad de 1,25 a 1,35 según la norma NEC. De ese modo se calcula la intensidad requerida por el fusible. (Ver la ecuación 5)

$$I_{fusible} \geq I_{nominal} \cdot FS \quad (5)$$

Datos:

Corriente medida en el motor: $I_{nominal} = 7,4A$

$FS = 1,35$

Sustituyendo los valores:

$$I_{fusible} \geq 7,4A \cdot 1,35 = 9,99A$$

Se selecciona el valor comercial estándar más alto, que es el fusible de 10 amperios con retraso de tiempo, para manejar la corriente de arranque sin que se queme.

4.6.3 Selección de la red snubber

Para proteger el SSR frente a un cambio repentino de voltaje al apagar el motor inductivo, se emplea un circuito RC. La frecuencia de corte del filtro debe ser lo bastante alta como para no afectar la frecuencia de la red (60 Hz), pero lo suficientemente baja como para filtrar transitorios de alta frecuencia (kHz). (Ver la ecuación 6)

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (6)$$

Datos:

R= 100 ohmios

C= 0.1uF

Sustituyendo los valores:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^{-7}} = 15,9kHz$$

El filtro reduce eficazmente cualquier ruido de alta frecuencia (picos de conmutación) por encima de 15,9 kHz, protegiendo el triac del SSR sin interferir con la conducción de la corriente de 60 Hz.

4.6.4 Alineación mecánica

Durante el diagnóstico, se detectó un desplazamiento del eje del motor respecto al centro de la biela-manivela. A continuación, se calcula el error angular asociado a esta anomalía. Se emplea trigonometría básica, considerando un triángulo rectángulo formado por el desplazamiento lineal y la longitud de la biela. (Ver la ecuación 7)

$$\theta_{error} = \arcsin\left(\frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Longitud_biela}}\right) \quad (7)$$

Datos:

Desplazamiento: 3 cm

Longitud de la biela: 28 cm

$$\theta_{error} = \arcsin\left(\frac{3}{28}\right) = 6,15^\circ$$

El cálculo mostró un error angular de unos 6 grados, lo que generaba vectores de fuerza laterales que provocaban vibraciones excesivas y desgaste prematuro en los bujes.

4.7 Validación de la lógica de control

Antes de realizar la implementación física en la red de 115 VAC, se validó el algoritmo de control en un entorno de laboratorio de baja tensión. Esta etapa buscaba verificar la robustez del nuevo sistema de control de la máquina y detectar posibles errores lógicos que pudieran comprometer la seguridad mecánica o eléctrica del equipo.

4.7.1 Validación del Algoritmo

El microcontrolador Arduino Nano fue aislado. En lugar de conectar los actuadores de potencia (motor y freno), se emplearon LEDs y el monitor serie del IDE de Arduino para mostrar las transiciones de estado.

Prueba de Secuencia Lógica:

Se simuló la entrada del sensor de final de carrera y el pulsador de inicio mediante jumpers en la protoboard. Los resultados de las pruebas funcionales del prototipo se detallan en la tabla 14, donde se verifico la correcta ejecución de la máquina de estados finitos programada en el microcontrolador.

Tabla 14. Pruebas y resultados del sistema.

| Prueba / Evento | Acción realizada | Respuesta esperada | Resultado |
|-----------------------|--|--|--|
| 1. Estado de reposo | Encendido del sistema sin pulsar "Inicio" | El sistema permanece en espera | Salidas desactivadas |
| 2. Disparo (arranque) | Presión del pulsador "Inicio" | Activación del relé de giro. | Se activa la salida del giro del motor. |
| 3. Ciclo de corte | Simulación manual de liberación del sensor. | El relé sigue activo hasta recibir la señal de retorno. | Se mantiene activo (enclavamiento). |
| 4. Parada y frenado | Presión del final de carrera (Fin de ciclo) | 1. Pagar motor 2. Esperar 250 ms 3. Activar freno DC (500ms) | Secuencia correcta: 1. Motor OFF 2. Pausa 3. Freno ON 4. Freno OFF |
| 5. Seguridad | Intentar pulsar "Inicio" durante el frenado. | El sistema ignora la entrada para evitar cortocircuitos. | El pulsador no se activa. |

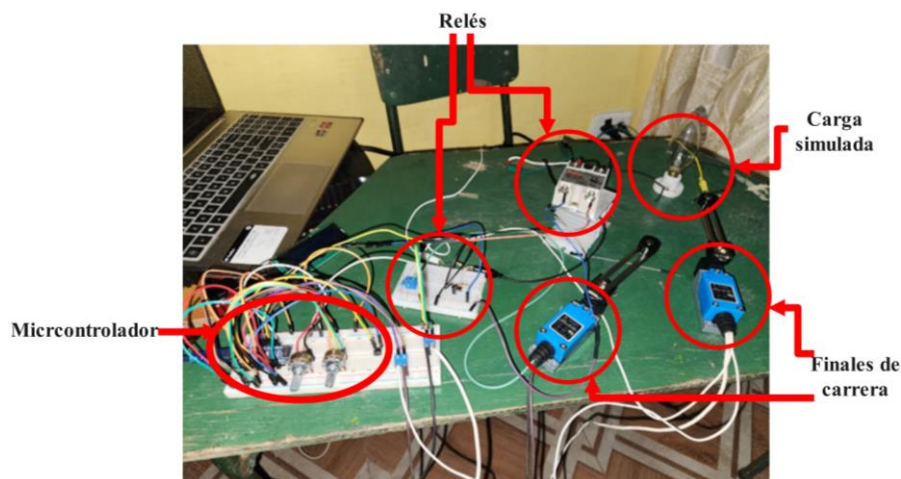


Fig. 18. Pruebas de funcionamiento del nuevo sistema.

4.8 Implementación del nuevo sistema de control

En esta etapa se realizaron el montaje físico, la programación lógica y la validación operacional de los subsistemas diseñados. La implementación se efectuó conforme a las normas de seguridad eléctrica y a las mejores prácticas de montaje industrial, incluyendo toda la documentación técnica requerida para facilitar la operación y el mantenimiento del equipo en el futuro.

4.8.1 Diseño y fabricación del circuito impreso (PCB)

Para evitar errores causados por contactos falsos comunes en conexiones temporales, como en el protoboard o en placas perforadas, se diseñó y fabricó una placa de circuito impreso (PCB) con el software EasyEDA [44], lo que facilitó la colocación estratégica de las borneras y simplificó el cableado externo. Durante la fase de diseño, se trazaron pistas de cobre de mayor sección en las líneas de alimentación de 115 VAC para garantizar la seguridad eléctrica. En el montaje, se escogieron zócalos hembra para el Arduino Nano, lo que permite su reemplazo inmediato en caso de averías, sin necesidad de desoldar. Finalmente, se añadieron conectores de tornillo para garantizar las conexiones de los sensores, los pulsadores y las señales de disparo de los relés.

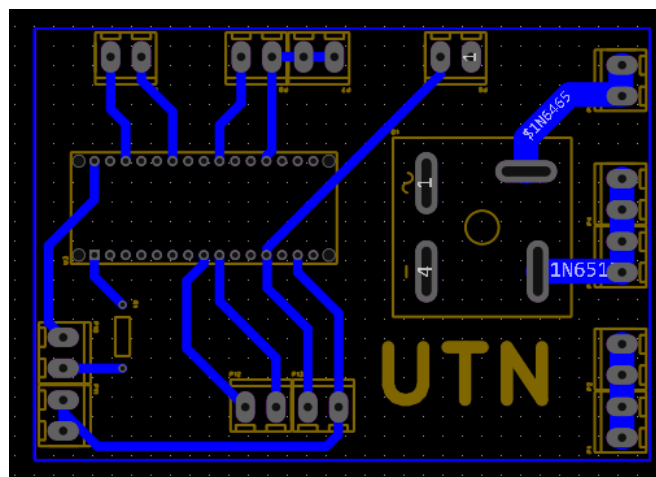


Fig. 19. Diseño de las pistas del PCB en EasyEDA.

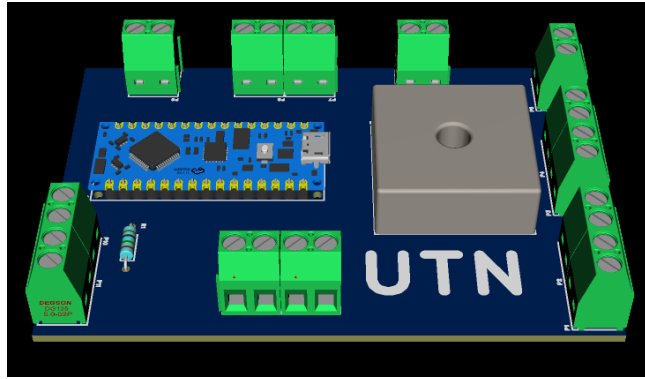


Fig. 20. Diseño en 3D del PCB en EasyEDA.

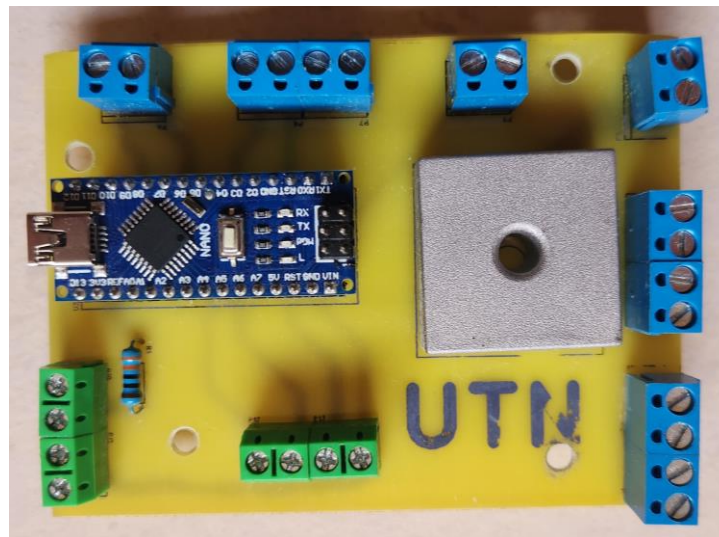


Fig. 21. Placa física ensamblada.

4.8.2 Integración, montaje y cableado del tablero de control

Se reutilizó el gabinete metálico existente, pero se reestructuró totalmente su distribución interna para alojar los nuevos componentes de potencia y control, asegurando la separación física entre las líneas de 115 VAC y las señales de control de 5 VDC para evitar interferencias electromagnéticas (EMI).

- 1. Instalación de la Fuente Dedicada:** Se incorporó internamente un tomacorriente proveniente del circuito de protección principal. En este punto, se conectó el adaptador de carga USB de 5 V, que alimenta directamente al Arduino Nano a través

de su puerto Mini-USB, asegurando una tensión estable y aislada de los picos de tensión del motor.

- 2. Etapa de Potencia:** El relé de estado sólido (SSR-40 DA) se fijó al disipador de calor, y el relé SLA-05VDC se colocó en el tablero, aislándolo con madera para evitar falsos contactos al conectar sus bornes de potencia entre la salida de la resistencia y la fase del motor. Además, se instaló el puente rectificador KBPC5010 en la placa PCB, y la resistencia de potencia de 8 ohmios se atornilló firmemente al chasis de la máquina.
- 3. Protecciones:** Se instaló el portafusible aéreo, junto con el fusible cerámico de 10 A, en serie en la línea de alimentación de los actuadores, protegiendo así el SSR y el circuito de frenado frente a posibles cortocircuitos.
- 4. Sensor Final de Carrera:** Se colocó un sensor final de carrera modelo ME-8111. Su instalación requirió un ajuste posicional milimétrico respecto del eje principal, asegurando que el émbolo se accione únicamente cuando la guillotina alcanza el punto superior.
- 5. Interfaz HMI:** Se realizó el corte y el mecanizado en la tapa frontal del tablero para incrustar la pantalla LCD 16x2 y el nuevo Selector de Encendido (SKPS-ED21). El cableado I2C de la pantalla se trenzó para aumentar su inmunidad frente al ruido.

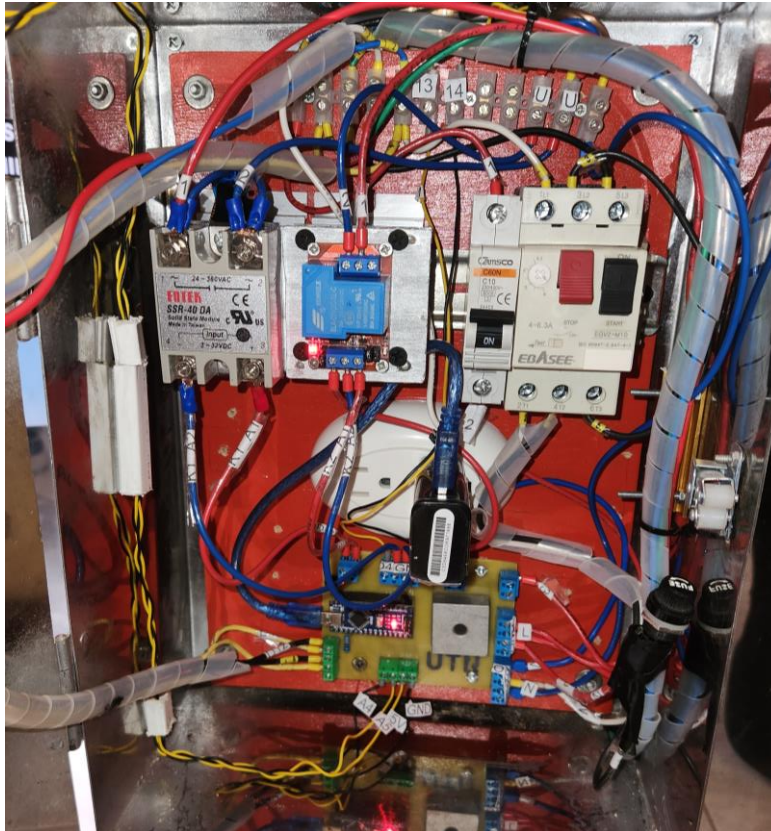


Fig. 22. Vista interna del tablero de control con la nueva distribución.



Fig. 23. Vista externa del tablero de control con la nueva distribución.



Fig. 24. Colocación del final de carrera en la máquina.

4.8.3 Diagramas de fuerza y control

Una vez definidos los componentes, se procedió a su conexión eléctrica. Los diagramas de control y de fuerza se crearon con el software especializado CAdE SIMU [47]. La Figura 34 muestra el esquema final; el diseño completo se encuentra en el **Anexo A: Diagramas de control y de fuerza.**

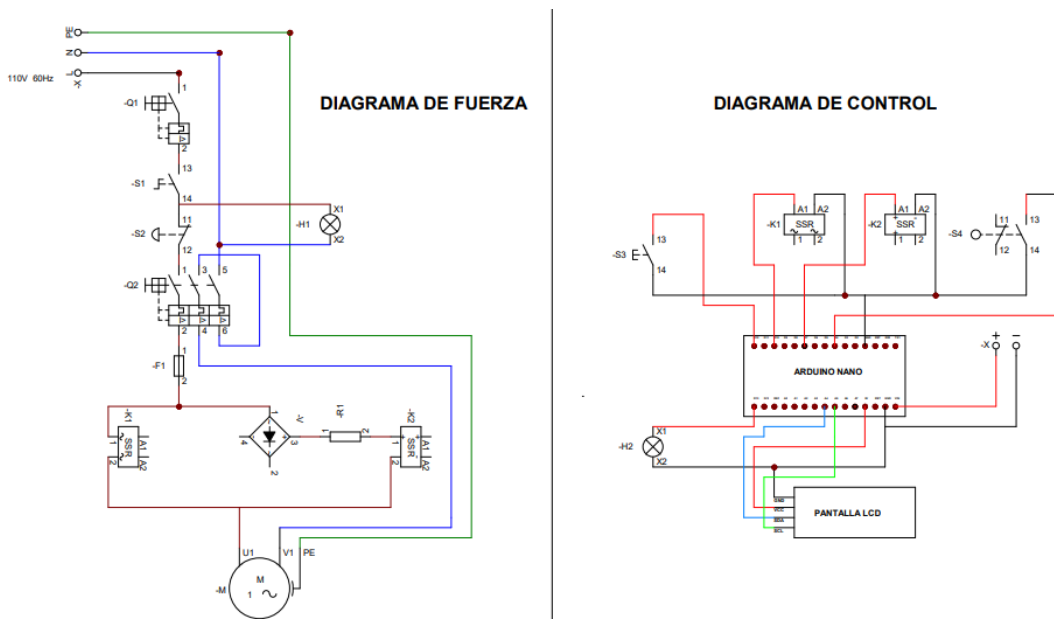


Fig. 25. Diagramas de fuerza y control

4.8.4 Desarrollo e Implementación del Firmware

El sistema de control lógico está gestionado por el microcontrolador ATmega328P. El firmware fue desarrollado en C++ con el IDE de Arduino. La estructura del software se basa en una máquina de estados finitos (FSM), lo que facilita la gestión secuencial y segura de los procesos de corte, frenado y enfriamiento.

Seguridad implementada en programación

El control por software incluye tres capas de seguridad:

- 1. Watchdog Timer (WDT):** Se trata de una configuración, el perro guardián del microcontrolador ATmega328P. Si el sistema se bloquea por interferencia electromagnética durante más de 8 segundos, se reinicia automáticamente y apaga todas las salidas (Motor OFF).
- 2. Tiempos Muertos (Dead-Time):** Se programó un retardo de 250 ms entre el apagado del motor AC y el encendido del freno DC. Esto evita cortocircuitos entre fases debido al arco eléctrico residual.
- 3. Enfriamiento Obligatorio (Cooldown):** Para proteger el capacitor de arranque del motor (ya que no soporta ciclos rápidos y continuos), el software bloquea el botón de inicio durante 60 segundos tras cada corte.

Para facilitar la comprensión de la lógica programada, se presenta el diagrama de flujo del sistema en la Figura 35. El código fuente completo, debidamente comentado y estructurado, se detalla en el **Anexo B: Código del Microcontrolador**.

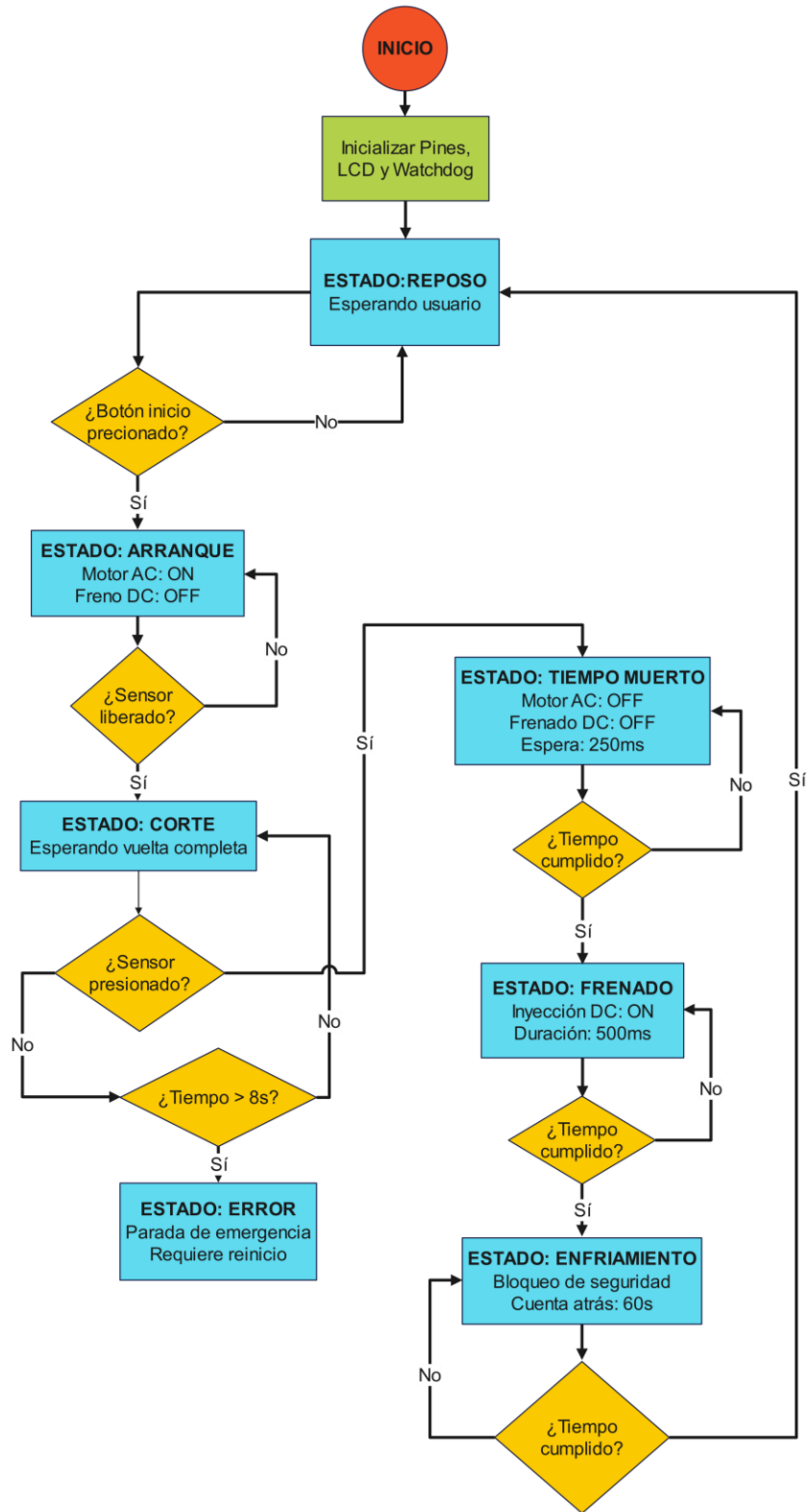


Fig. 26. Diagrama de flujo de la lógica de control implementada.

4.8.5 Correcciones y ajustes mecánicos

Paralelamente a la intervención electrónica, se realizaron las correcciones mecánicas necesarias para corregir los fallos de alineación detectados en el diagnóstico inicial.

1. **Realineación del motor y del motorreductor:** Se resolvió el desfase de 3 cm detectado en el sistema de transmisión. Se realizaron nuevos orificios de anclaje en la base del motor, desplazando así el conjunto motriz hacia el centro geométrico de la máquina, como se muestra en la figura 34. Esta modificación eliminó el error angular de 6 grados en la biela, lo que disminuyó significativamente la vibración lateral durante el corte.



Fig. 27. Imagen del mecanismo biela-manivela posicionado correctamente.

2. **Rectificación de Herramientas de Corte:** Se afilaron las cuchillas de la guillotina. Debido a la ausencia de instrumentación metrológica, se utilizó un método iterativo de validación funcional (prueba y error) para determinar el filo, afilando y probando con láminas de oblea hasta obtener cortes limpios y sin fracturas en las hostias.

En la figura 9, se muestran las hostias cortadas con las cuchillas antes de ser rectificadas. En cambio, en la figura 28, se procedió a realizar cortes de prueba con láminas de obleas, donde se evidencia la calidad final del producto, Además de recuperar la capacidad de corte por cizalladura limpia, preservando la integridad estructural de la hostia.

Tras la rectificación de la matriz de corte se observa una mejora sustancial en la calidad del acabado:

- 1. Perímetro Definido:** Ausencia de rebabas excesivas o material excedente en los bordes.
- 2. Integridad Estructural:** El 80%, es decir 8 de cada 10 de las muestras mantienen su geometría circular sin presentar fracturas ni grietas.



Fig. 28. Imagen de las hostias cortadas después del afilado de las cuchillas.

4.8.6 Validación funcional y operativa del sistema

El equipo fue sometido a varias pruebas de funcionamiento en condiciones reales de producción para comprobar si se cumplían los objetivos de optimización. Estas pruebas se llevaron a cabo en tres escenarios: operación en vacío, operación con carga y verificación de las medidas de seguridad.

4.8.6.1 Prueba de Ciclo y Frenado (en vacío)

El sistema se energizó y realizó 20 ciclos consecutivos sin material de corte. Esto permitió verificar la precisión en el posicionamiento de la cuchilla y la estabilidad térmica de sus componentes.

El sistema de frenado por inyección DC, configurado a 500 ms, siempre logró detener la inercia del motor. La cuchilla se detuvo de forma consistente en el punto superior, eliminando los problemas de inercia o de caída por gravedad presentes en el sistema anterior. Además, no hubo falsos disparos ni reinicios del microcontrolador, lo que demuestra la eficiencia de la fuente de alimentación dedicada y de la red Snubber frente al ruido eléctrico.

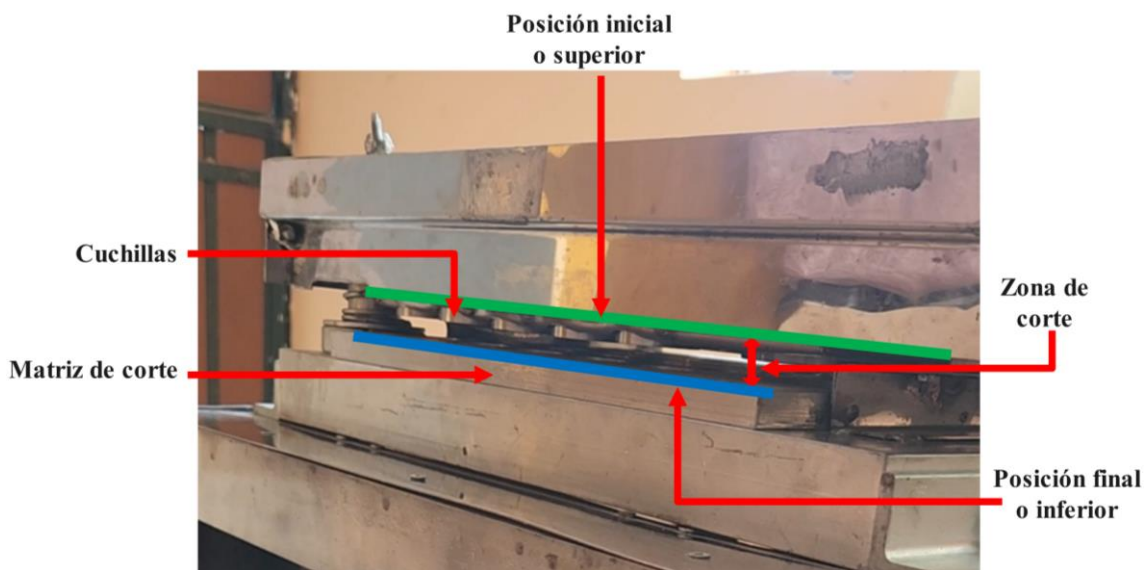


Fig. 29. Secuencia del ciclo de la guillotina. (A) Posición inicial.

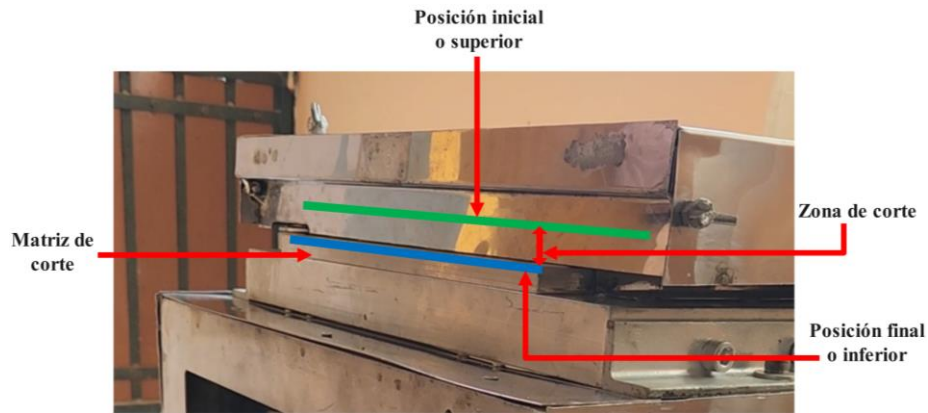


Fig. 30. Secuencia del ciclo de la guillotina. (B) Punto inferior.

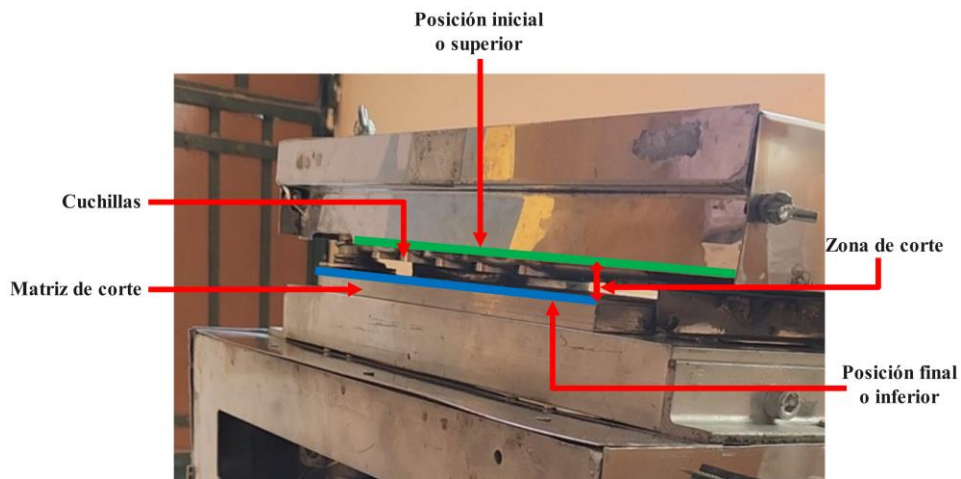


Fig. 31. Secuencia del ciclo de la guillotina. (C) Retorno y frenado en el punto superior.

4.8.6.2 Prueba de calidad de corte (con carga)

Se cortaron láminas de obleas reales proporcionadas por el monasterio. Estas laminas son redondas de 20 cm de diámetro y un espesor de 2 mm. Se realiza con este tipo de lámina debido a que al momento de realizar estas pruebas la máquina de cocción se encuentra en mantenimiento correctivo.

Esta prueba confirmó tanto la resistencia del motor (controlada por el SSR) como la precisión mecánica de la alineación. El motor de 1/2 HP mantuvo su torque nominal sin atorarse. La corrección del desfase de 3 cm en el eje motriz y el afilado de las cuchillas produjeron cortes

limpios y perpendiculares. Se eliminó el desperdicio de material debido a fracturas o rebabas que se presentaban antes.



Fig. 32. Lámina de oblea.

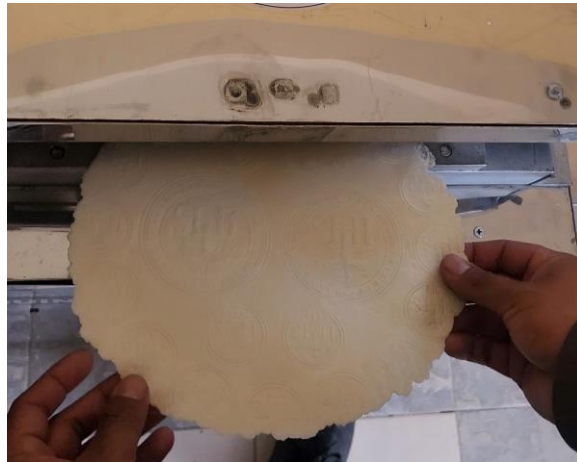


Fig. 33. Lámina de obleas colocadas en la matriz de corte.



Fig. 34. Prueba de la matriz de corte. (A) Posición inicial.



Fig. 35. Prueba de la matriz de corte. (B) Punto inferior.



Fig. 36. Prueba de la matriz de corte. (C) Retorno y frenado en el punto superior.

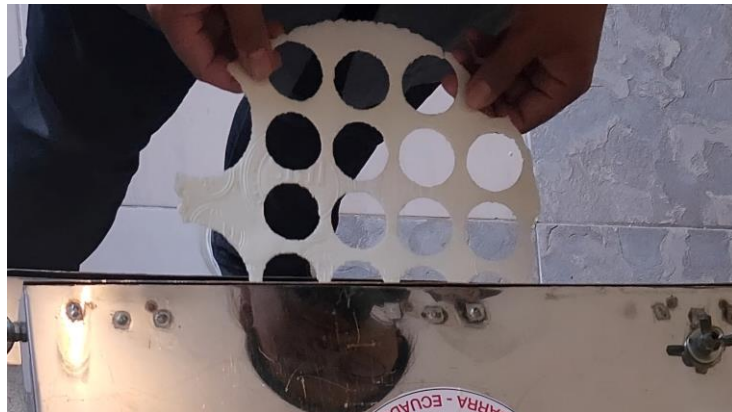


Fig. 37. Retiro del excedente de la lámina de oblea.



Fig. 38. Excedente de la lámina de oblea.

Aunque el proceso de corte genera inevitablemente un excedente de material entre los cortes circulares (retal), este no se considera un desperdicio dentro del esquema productivo del monasterio. Según la información proporcionada por las operarias, este excedente es recolectado, envasado y distribuido bajo la denominación comercial de (recortes). Estos recortes son valorados por la comunidad como aperitivos o snacks, lo que garantiza un aprovechamiento del 100% de la materia prima procesada. Convirtiéndolo en un subproducto comercializable.



Fig. 39. Recortes [46].



Fig. 40. Hostias cortadas.

4.8.6.3 Validación de la interfaz y seguridad

Se verificó la interacción del operario con la nueva interfaz HMI. Después de cada corte, se cronometró el bloqueo del sistema. Se confirmó que el botón de inicio permanece inhabilitado durante exactamente 60 segundos, coincidiendo con la cuenta regresiva en la pantalla LCD, lo que protege eficazmente el capacitor de arranque.



Fig. 41. Pantalla LCD que muestra la cuenta regresiva de enfriamiento.

4.9 Comparativa de rendimiento

Para cuantificar el impacto de la optimización implementada, se realizó un análisis comparativo entre el proceso de corte manual tradicionalmente empleado por las hermanas del monasterio y el rendimiento actual de la máquina cortadora de obleas optimizada.

4.9.1 Capacidad de producción automatizada

La máquina, con su matriz de corte rectificadas y su sistema de control automatizado, procesa una lámina completa en cada ciclo de trabajo. La distribución de la matriz permite obtener:

- 25 hostias pequeñas de 38,1 mm de diámetro.
- 2 hostias grandes de 75 mm de diámetro.

Esto se traduce en una producción neta de 27 unidades por ciclo. Considerando los tiempos de carga y descarga de la lámina, la máquina puede operar de manera sostenida a un ritmo estimado de 50 ciclos por hora. Esto proyecta una capacidad de producción de aproximadamente 1350 hostias por hora, manteniendo una calidad de corte constante.

4.9.2 Análisis frente al proceso manual

En contraste, el método manual requiere el uso de cortadoras unitarias, en las que el operario debe posicionar y cortar cada hostia individualmente. Se estima que, según la agilidad, la técnica y la experiencia de la hermana operaria, el tiempo promedio para cortar una sola hostia es de 5 segundos.

Si bien teóricamente esto permitiría cortar 12 hostias por minuto, este ritmo no es sostenible en el tiempo debido a factores humanos críticos:

- 1 Fatiga física y ergonomía: El corte manual exige un movimiento repetitivo de presión con la mano y la muñeca. Con el paso de los minutos, la fatiga muscular reduce drásticamente la velocidad de corte y la precisión, lo que incrementa el riesgo de lesiones por esfuerzo repetitivo (LER).
- 2 Consistencia del proceso: La máquina elimina la variabilidad humana. Mientras que una persona puede disminuir su ritmo por cansancio o distracción, el sistema

electromecánico mantiene la fuerza y la velocidad de corte constantes durante toda la jornada laboral.

Históricamente, el monasterio reportaba una producción aproximada de 3000 hostias, involucrando al menos a tres o más hermanas que trabajaban en turnos simultáneos durante toda la jornada. Esto arroja un promedio real de producción manual por persona de 500 hostias por hora aproximadamente (considerando pausas y fatiga).

Al comparar el rendimiento de la máquina que es de 1350 hostias/hora frente al promedio manual por persona de 500 hostias/hora, se obtiene una tasa de incremento del 170 %.

Este resultado demuestra que la implementación tecnológica no solo supera la capacidad humana individual, sino que duplica la velocidad de producción, liberando recurso humano para otras actividades del monasterio.

La labor del operario: pasa de ser un trabajo de esfuerzo físico repetitivo a uno de supervisión y de alimentación de material, mejorando significativamente la comodidad y la seguridad laboral dentro del monasterio.

4.10 Manual de usuario

Se elaboró un manual didáctico para el usuario que brinda instrucciones claras para el uso correcto de la máquina, incluyendo cómo encenderla, operarla de forma segura, interpretar los mensajes en la pantalla LCD y realizar la limpieza del equipo. La versión completa del documento se encuentra en el **Anexo C: Manual de usuario y mantenimiento.**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se determinó que los factores críticos que impedían el funcionamiento eficiente de la máquina eran la inercia incontrolada del motor, que provocaba paradas aleatorias de la guillotina, y una desalineación mecánica de 6 grados en el sistema biela-manivela. Se definió que la mejora requería la migración de un control por tiempo (temporizador analógico) a un control por posición con frenado dinámico, estableciendo como parámetros de diseño la necesidad de un sensor de final de carrera, de un sistema de inyección de corriente continua para el frenado inmediato y de la rectificación del filo de la matriz de corte.
- Se diseñó con éxito una nueva arquitectura electrónica basada en un microcontrolador (Arduino Nano), sustituyendo la lógica electromecánica obsoleta. Este diseño integró una etapa de potencia con relés de estado sólido (SSR) y un circuito de frenado por inyección de DC, lo que permitió controlar con precisión la inercia del motor. Asimismo, el diseño de la interfaz HMI con una pantalla LCD y el sistema de seguridad lógico (tiempos muertos y enfriamiento) aseguran una operación sencilla y protegen los componentes eléctricos contra errores humanos o sobrecalentamiento.
- Se logró la implementación física del sistema dentro del gabinete existente, mejorando la distribución y la seguridad eléctrica mediante el aislamiento de las etapas de control (5 V) y potencia (115 VAC). Mecánicamente, se corrigió el desplazamiento de 3 cm del eje motriz, eliminando las vibraciones laterales excesivas, y se recuperó la funcionalidad de la matriz mediante el afilado de las

cuchillas, asegurando la integración correcta entre la electrónica de control y la mecánica de corte.

- A través de las pruebas de campo realizadas en el monasterio "Carmelitas Descalzas", se validó que la máquina mejorada opera de manera estable y segura, deteniendo la guillotina de forma sistemática en el punto superior. Las pruebas de carga demostraron una capacidad de producción de 27 hostias por ciclo (25 pequeñas y 2 grandes), lo que proyecta una tasa de 1350 unidades por hora. Al comparar este rendimiento con el proceso manual de 500 hostias/hora por persona, se concluye que la máquina incrementa la capacidad productiva en un 170% cumpliendo con la demanda del monasterio de manera eficiente. Esto representa una mejora significativa en eficiencia y ergonomía respecto al corte manual, reduciendo la fatiga física de las operarias y garantizando la estandarización del producto final.

Recomendaciones

- Dado que la calidad del corte depende directamente del estado de las cuchillas, se recomienda cumplir con el cronograma existente de inspección y afilado periódicos de la matriz de corte, así como lubricar las guías de la guillotina y el motorreductor para evitar que el desgaste mecánico vuelva a generar fallos en el proceso de corte, provocando hostias con bordes irregulares o fracturas.
- Se recomienda mantener el manual de usuario accesible y capacitar a cualquier nueva operaria no solo en el encendido de la máquina, sino también en los procesos de mantenimiento que deben realizarse en ella para prolongar la vida útil del equipo.
- Si el volumen de producción del monasterio llegase a requerir un funcionamiento continuo sin tiempos de espera, se recomienda rediseñar el sistema de fuerza,

sustituyendo el motor eléctrico y el mecanismo biela-manivela por un sistema de actuación lineal neumático o hidráulico siguiendo las especificaciones del diseño original.

La implementación de cilindros neumáticos de doble efecto eliminaría por completo la dependencia de motores eléctricos con capacitores de arranque, suprimiendo la necesidad de los periodos de enfriamiento de 60 segundos. Esto permitiría realizar ciclos de corte inmediatos y sucesivos, lo que triplicaría la velocidad de producción. Además, un sistema neumático reduce el número de partes móviles (bielas, bujes, ejes), simplifica el mantenimiento mecánico y permite un control más preciso de la fuerza de corte mediante la regulación de la presión de aire.

- Como alternativa intermedia, si se prefiere mantener la infraestructura eléctrica, se sugiere reemplazar el motor monofásico actual por un motor trifásico asíncrono gestionado por un variador de frecuencia con entrada monofásica (110/220 V).

Los motores trifásicos ofrecen un par de arranque superior y carecen de interruptores centrífugos o capacitores que limiten el número de arranques por hora.

- Implementar un flujo de trabajo continuo durante la fase previa de humectación de las láminas para aprovechar al máximo la capacidad de 50 ciclos por hora de la máquina. Como la velocidad de corte ha aumentado, es esencial garantizar que siempre haya materia prima preparada y con la humedad adecuada para evitar tiempos muertos que desperdicien la capacidad instalada del equipo.

REFERENCIAS

- [1] B. R. Benavides Venegas. “Diseño y construcción de una máquina cortadora de obleas para el monasterio “Corazón de Jesús” sector Bellavista – San Antonio de Ibarra”, Universidad Técnica del Norte, Imbabura, Ecuador, 2015. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4524>
- [2] D. H. Myszka, Máquinas y Mecanismos, 4ta ed. México D.F.: Pearson Educación, 2012.
- [3] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, 4ta ed. México: Pearson Educación, 2006.
- [4] A. A. Sorondo, “La elaboración tradicional de las Hostias”, Kobie-Antropología Cultural, no. 4, pp. 191-196, 1989.
- [5] Redazione, “Todo lo que necesitas saber sobre las hostias y las partículas”, Holyart.es Blog, 2 de abril de 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.holyart.es/blog/articulos-religiosos/lo-necesitas-saber-las-hostias-las-particulas/>
- [6] R. Khan & M. M. S. Riyadh, PWM Speed Control of AC Single Phase Induction Motor Using MCU Series Combined With TRIAC Technology, Int. J. Comput. Electr. Eng., vol. 3, no. 6, Dec. 2011.
- [7] B. Szatkiewicz, DC Injection Braking, KB Electronics, May 2018.
- [8] Erazo-Arteaga, V. A. (2022). El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina. *Información tecnológica*, 33(2), 297-308.
- [9] R. D. Navas, C. G. Gaya, M. A. S. Pérez, y J. A. M. Torres, “Aplicación de técnicas de mejora en el diseño, fabricación y utilización de las máquinas-herramienta”, en IV Congreso de Ingeniería de Organización, sept. 2001.
- [10] E. Yilmaz, S. Ünal & M. Özdemir, Speed Control of a Single-Phase Induction Motor Using a Fuzzy Logic Based Hysteresis Band PWM, 2024.
- [11] Officine Papini, «Maquinas para hostias sagradas | Empresa Papini», Papini Officina, Macchine Per la Produzione Di Ostie Dal 1958, 25 de julio de 2023. <https://www.papiniofficina.com/es/maquinaria/>
- [12] Holyart.es, “Todo lo que necesitas saber sobre las hostias y las partículas”, Holyart.es Blog, 2 de abril de 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.holyart.es/blog/articulos-religiosos/lo-necesitas-saber-las-hostias-las-particulas/>
- [13] E. M. Fernández Aguilar, “¿Cómo se hacen las hostias consagradas?”, Muy Interesante, 02-abr-1998. [En línea]. Disponible en: <https://www.muyinteresante.com/curiosidades/26089.html>.
- [14] E. Vega, “Así se preparan las hostias que se usan en las misas de todo el país”, La Teja, 08-abr-2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.lateja.cr/nacional/asi-se-preparan-las-hostias-que-se-usan-en-las/BGRVJVK2ZJBAJFN63FIWM5XPRM/story/>.
- [15] Kissing Menden, “Equipo para hostias”, 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.kissing-menden.com/es/equipo-para-hostias/>

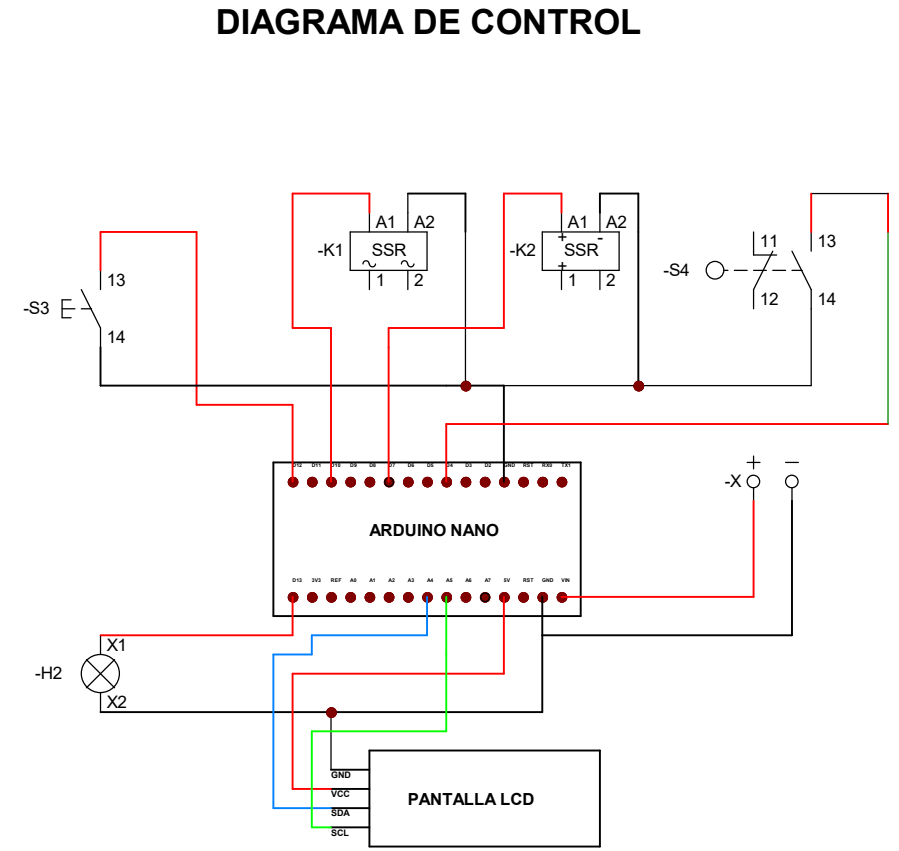
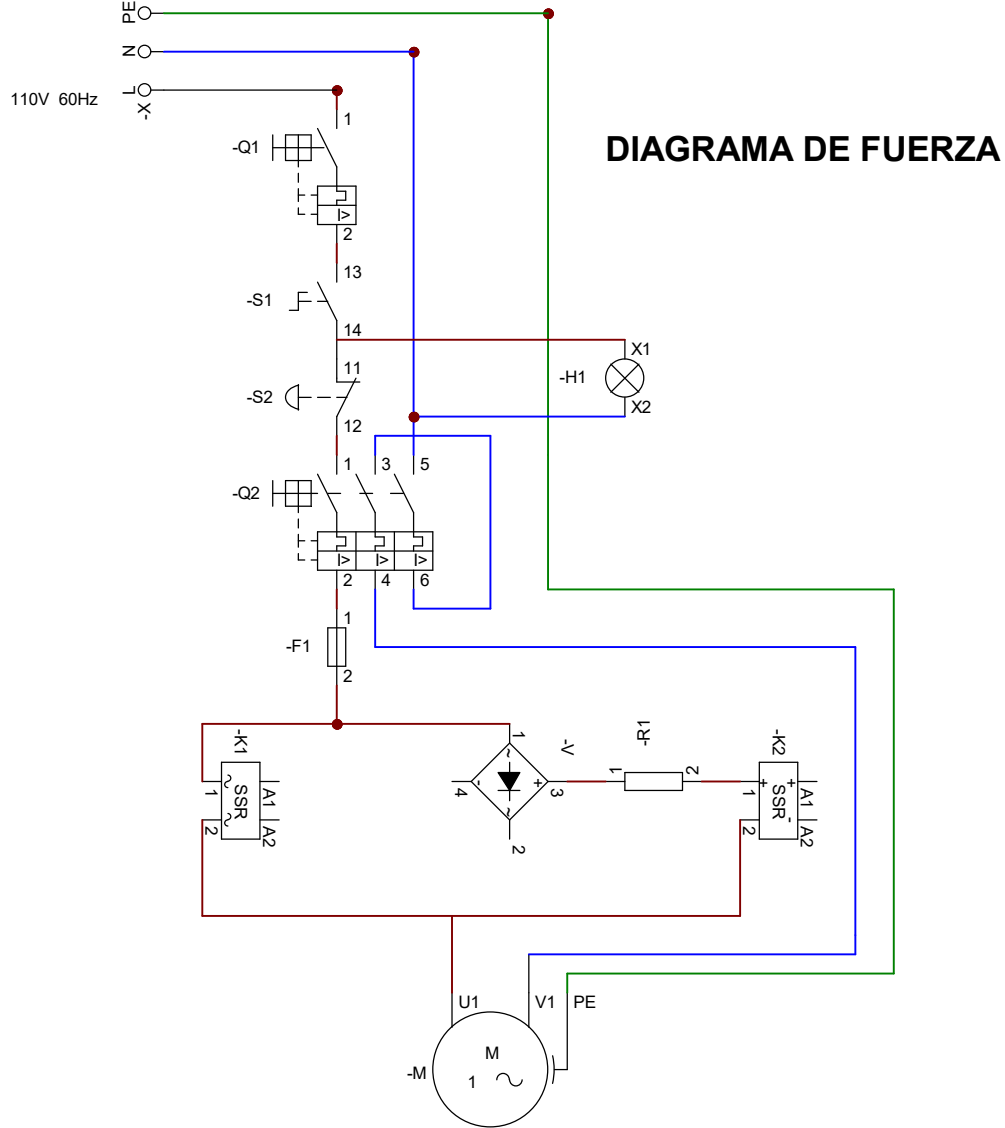
- [16] A. D. Tocagón Anrango. "Diseño y construcción de un humificador de obleas para el Monasterio Corazón de Jesús sector Bellavista San Antonio de Ibarra," B.S. Thesis. , 2015. [Online]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4525>
- [17] Greener Corporation, "Corte en Envolvedoras Horizontales Durante la Producción", 12 de mayo de 2018. [En línea]. Disponible: <https://greenercorp.com/es/resource-blog/solucionando-problemas-de-corte-en-envolvedoras-horizontales-durante-la-produccion/>
- [18] Brabander, "Hostia sagrada", Artículos Religiosos Brabander. [En línea]. Disponible: <https://www.articulosreligiososbrabander.es/hostia-sagrada/>
- [19] M. "corazón D. E. J. S. B. -. S. A. de Ibarra., "MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA DE CORTE DE OBLEAS", Edu.ec. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4524/3/04%20MEC%20074%20MANUAL_DE_USUARIO.pdf
- [20] B. Vignesh, "Three ways to control a single-phase induction motor", Design News, 10 de octubre de 2005. [En línea]. Disponible: <https://www.designnews.com/motion-control/three-ways-to-control-a-single-phase-induction-motor>
- [21] L. O. F. Martínez, Control de motores eléctricos: dispositivos, conexión de motores, técnicas de arranque, métodos de frenado para motores de corriente alterna y ejercicios prácticos, Editorial Internacional Alema, 2024.
- [22] N. H. Gil, «Investigación básica versus investigación aplicada,» Biólogos: Revista del Colegio Oficial de Biólogos de la Comunidad de Madrid, nº 13, pp. 28-30, 2007.
- [23] C. H. Pascual, «La investigación en análisis documental,» Educación y biblioteca, vol. 83, nº 9,1998.
- [24] J. Gabriel-Ortega, "Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación," Journal of the Selva Andina Research Society, vol. 8, no. 2, pp. 155-156, 2017.
- [25] Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet," Version 3.7, 2023. [En línea]. Disponible: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [26] Siemens AG, "LOGO! Logic Module Manual," Edition 10/2017. [En línea]. Disponible: https://www.google.com/search?q=https://cache.industry.siemens.com/dl/files/472/109741472/att_915357/v1/LOGO_system_manual_en-US_en-US.pdf
- [27] Arduino, "Arduino Nano (V3.0) User Manual & Datasheet," 2019. [En línea]. Disponible: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>
- [28] Fotek Controls Co., "Solid State Relay SSR Series Datasheet," 2020.
- [29] Mercado Libre, "Relé De Estado Sólido Ssr 40a Da + Disipador De Calor," Mercado Libre Ecuador. [En línea]. Disponible en: <https://www.mercadolibre.com.ec/rele-de-estado-solido-ssr-40a-da--disipador-de-calor/up/MECU2434241771>.

- [30] Songle Relay, "SLA Series Sealed Power Relay Datasheet," 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.google.com/search?q=http://www.songle.com/en/pdf/20084141716341001.pdf>
- [31] Modulo Rele SLA-05VDC-SL-C no hace switch," Arduino Forum. [En línea]. Disponible en: <https://forum.arduino.cc/t/modulo-rele-sla-05vdc-sl-c-no-hace-switch/463256>.
- [32] Vishay Dale, "Wirewound Resistors, Industrial Power, Aluminum Housed, RH Series," Document 30201. [En línea]. Disponible: <https://www.vishay.com/docs/30201/rnh.pdf>
- [33] Cineto, "Resistencia de carcasa de aluminio de 100W 3 ohmios," Cineto. [En línea]. Disponible en: <https://www.cineto.net/producto/resistencia-de-carcasa-de-aluminio-de-100w-3-ohmios-5-copia-copia/>.
- [34] Sep Electronic Corp., "KBPC50005 thru KBPC5010 Bridge Rectifiers Datasheet," 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.google.com/search?q=https://www.sep-semi.com/datasheets/KBPC50.pdf>
- [35] Novatronic, "Puente de diodos rectificador KBPC510 50A 1000V," Novatronic. [En línea]. Disponible en: <https://novatronicec.com/index.php/product/puente-de-diodos-rectificador-kbpc510-50a-1000v/>.
- [36] MEAN WELL Enterprises, "GS12E Series AC-DC Wall Mount Adaptor Datasheet," 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.google.com/search?q=https://www.meanwell.com/Upload/PDF/GS12E/GS12E-SPEC.PDF>
- [37] Texas Instruments, "PCF8574 Remote 8-Bit I/O Expander for I2C Bus," 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcf8574.pdf>
- [38] Moujen Electric, "ME-8111 Mini Limit Switch Datasheet," 2019. [En línea]. Disponible: https://www.google.com/search?q=https://moujen.com/en/products_detail.php%3Fid%3D125
- [39] Mercado Libre, "Final De Carrera Limit Switch Me8111," Mercado Libre Ecuador. [En línea]. Disponible en: <https://www.mercadolibre.com/ec/final-de-carrera-limit-switch-me8111/up/MECU2438970828>.
- [40] Schneider Electric, "Harmony XB5 - Selector Switches Datasheet," 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.google.com/search?q=https://www.se.com/ww/en/product-range/632-harmony-xb5>
- [41] Bussmann Series (Eaton), "Cylindrical Fuse Links Class gG/gL Datasheet," 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.google.com/search?q=https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electrical-circuit-protection/fuses/iec-cylindrical-fuses/bus-ele-ds-720115-cylindrical-fuses-iec.pdf>
- [42] KEMET, "R46 Series, Class X2, 275 VAC, 110°C Datasheet," 2021. [En línea]. Disponible: https://content.kemet.com/datasheets/KEM_F3093_R46_X2_275_110C.pdf

- [43] MakerHero, "Filtro Snubber RC para Proteção de Reles," MakerHero. [En línea]. Disponible en: <https://www.makehero.com/produto/filtro-snubber-rc-para-protecao-de-reles/>.
- [44] EasyEDA, "EasyEDA - Online PCB design & circuit simulator," 2026. [Online]. Available: <https://easyeda.com>.
- [45] B. D. Redin Casa. "Rediseño de una máquina humidificadora de obleas," B.S. Thesis. , 2024. [Online]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16169>
- [46] La Guadalupana Artículos Religiosos, "Recorte de hostia - Snack religioso," La Guadalupana Shop, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://la-guadalupana-articulos-religiosos.myshopify.com/products/recorte-de-ostia>.
- [47] J. L. Villanueva Montoto, CADe SIMU (Versión 4.0). [Software]. Disponible: <https://canalplc.blogspot.com/>.

ANEXOS

A. Diagrama de control y de fuerza



| | | | | | | | |
|------------|------------|--------------------|--------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------|------------|
| | Fecha | Nombre | Firmas | Entidad | Título | Fecha | Núm: |
| Dibujado | 22-01-2026 | DAVID GUITARRA | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE | DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL | 22-Jan-2026 | 1 de 1 |
| Comprobado | 22-01-2026 | ING. MARCO CIACCIA | | | | Archivo: | DIAGRAMA-1 |

B. Código del microcontrolador

ANEXO B: CÓDIGO DEL MICROCONTROLADOR

Descripción: Firmware desarrollado para la optimización de la máquina cortadora de obleas. Implementa una máquina de estados finitos (FSM) para gestionar la secuencia de corte, el frenado dinámico por inyección de corriente continua y los protocolos de seguridad (tiempos muertos y enfriamiento obligatorio).

Listing 1: Firmware de Control - Arduino Nano

```
1 /* * TESIS: OPTIMIZACIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE OBLEAS
2 * AUTOR: DAVID GUITARRA
3 * SISTEMA DE CONTROL MÁQUINA CORTADORA OBLEAS
4 * -----
5 * Hardware Personalizado:
6 * - Arduino Nano
7 * - SSR AC: Pin D10 (Logica Normal: HIGH = ON)
8 * - RELE FRENO: Pin D7 (Logica Inversa: LOW = ON)
9 * - SENSOR: Pin D4 (NO a GND)
10 * - BOTON: Pin D12 (NO a GND)
11 * - LED: Pin D13
12 * * * TIEMPOS:
13 * - Frenado: 0.5 segundos
14 * - Enfriamiento: 60 segundos (1 minuto)
15 */
16
17 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
18 #include <Wire.h>
19 #include <avr/wdt.h>
20
21 // --- DEFINICIÓN DE PINES ---
22 const int SSR_AC_PIN = 10; // PIN D10:Control Giro (SSR Fotek)
23 const int START_BUTTON_PIN = 12; // PIN D12:Botón Inicio
24 const int LED_PIN = 13; // PIN D13:Led Indicador
25 const int RELE_FRENO_PIN = 7; // PIN D7:Control Freno (Relé Mecánico
    SLA-05VDC)
26 const int LIMIT_SWITCH_PIN = 4; // PIN D4:Sensor Final de Carrera
27
28 // --- TIEMPOS ---
29 const int MAX_CYCLE_TIME = 8000; // 8s máx para dar vuelta (Seguridad)
30 const int BRAKE_TIME_MS = 500; // 500ms Frenado
31 const int DEAD_TIME_MS = 250; // 250ms tiempo muerto
32 const unsigned long COOLDOWN_TIME = 60000; // 1 Minuto de enfriamiento
33
34 // --- MÁQUINA DE ESTADOS ---
35 enum State {
36     IDLE, // 0: Reposo
37     STARTING, // 1: Arrancando
38     RUNNING, // 2: Girando
39     PRE_BRAKING, // 3: Tiempo Muerto
40     BRAKING, // 4: Inyección Freno
41     COOLDOWN, // 5: Enfriamiento
42     ERROR // 6: Fallo
43 };
44 State currentState = IDLE;
45 unsigned long stateTimer = 0;
46 bool limitSwitchActive = false;
47
```

```

48 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
49
50 void setup() {
51     wdt_disable();
52     Serial.begin(9600);
53
54     // --- CONFIGURACIÓN PINES ---
55
56     // 1. RELE FRENO (Lógica Inversa): Primero HIGH para asegurar apagado
57     digitalWrite(RELE_FRENO_PIN, HIGH);
58     pinMode(RELE_FRENO_PIN, OUTPUT);
59
60     // 2. SSR AC (Lógica Normal): Primero LOW para asegurar apagado
61     digitalWrite(SSR_AC_PIN, LOW);
62     pinMode(SSR_AC_PIN, OUTPUT);
63
64     pinMode(LIMIT_SWITCH_PIN, INPUT_PULLUP);
65     pinMode(START_BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP); // D12 Input Pullup
66     pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
67
68     // Iniciar LCD
69     lcd.init();
70     lcd.backlight();
71     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("SISTEMA DE CONTROL");
72     lcd.setCursor(0,1); lcd.print("MÁQUINA CORTADORA DE HOSTIAS");
73     delay(1500);
74     lcd.clear();
75
76     // Watchdog a 4 segundos
77     wdt_enable(WDTO_4S);
78     currentState = IDLE;
79 }
80
81 // Función anti-rebote para botón de inicio
82 bool isStartButtonPressed() {
83     if (digitalRead(START_BUTTON_PIN) == LOW) {
84         delay(50);
85         if (digitalRead(START_BUTTON_PIN) == LOW) {
86             while(digitalRead(START_BUTTON_PIN) == LOW) wdt_reset();
87             return true;
88         }
89     }
90     return false;
91 }
92
93 void loop() {
94     wdt_reset();
95
96     // LEER SENSOR: LOW significa PRESIONADO
97     limitSwitchActive = (digitalRead(LIMIT_SWITCH_PIN) == LOW);
98
99     switch (currentState) {
100
101         // --- 0. REPOSO ---
102         case IDLE:
103             digitalWrite(SSR_AC_PIN, LOW); // AC APAGADO
104             digitalWrite(RELE_FRENO_PIN, HIGH); // FRENO APAGADO (Lógica
Inversa)

```

```

105     digitalWrite(LED_PIN, LOW);
106
107     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("LISTO. PULSE  ");
108     lcd.setCursor(0,1); lcd.print("PARA INICIAR  ");
109
110     if (isStartButtonPressed()) {
111         currentState = STARTING;
112         stateTimer = millis();
113     }
114     break;
115
116     // --- 1. ARRANQUE ---
117     case STARTING:
118         digitalWrite(SSR_AC_PIN, HIGH); // MOTOR ON (D10)
119         digitalWrite(LED_PIN, HIGH);   // LED ON (D13)
120
121         lcd.setCursor(0,0); lcd.print("BAJANDO...  ");
122         lcd.setCursor(0,1); lcd.print("          ");
123
124         if (!limitSwitchActive) {
125             delay(50);
126             currentState = RUNNING;
127         }
128
129         if (millis() - stateTimer > 2000) {
130             currentState = ERROR;
131         }
132         break;
133
134     // --- 2. EN MOVIMIENTO ---
135     case RUNNING:
136         lcd.setCursor(0,0); lcd.print("CORTANDO...  ");
137         lcd.setCursor(0,1); lcd.print("SUBIENDO    ");
138
139         if (limitSwitchActive) {
140             digitalWrite(SSR_AC_PIN, LOW); // CORTE AC
141             stateTimer = millis();
142             currentState = PRE_BRAKING;
143         }
144
145         if (millis() - stateTimer > MAX_CYCLE_TIME) {
146             currentState = ERROR;
147         }
148         break;
149
150     // --- 3. TIEMPO MUERTO ---
151     case PRE_BRAKING:
152         digitalWrite(SSR_AC_PIN, LOW);
153         digitalWrite(RELE_FRENO_PIN, HIGH);
154
155         lcd.setCursor(0,0); lcd.print("ESPERA.....");
156
157         if (millis() - stateTimer >= DEAD_TIME_MS) {
158             stateTimer = millis();
159             currentState = BRAKING;
160         }
161         break;
162

```

```

163 // --- 4. FRENADO (500 ms) ---
164 case BRAKING:
165     digitalWrite(RELE_FRENO_PIN, LOW); // FRENO ON (D7 LOW)
166
167     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("!!! FRENANDO !!!");
168
169     if (millis() - stateTimer >= BRAKE_TIME_MS) {
170         digitalWrite(RELE_FRENO_PIN, HIGH); // FRENO OFF
171         stateTimer = millis();
172         currentState = COOLDOWN;
173     }
174     break;
175
176 // --- 5. ENFRIAMIENTO (1 MINUTO) ---
177 case COOLDOWN:
178     digitalWrite(SSR_AC_PIN, LOW);
179     digitalWrite(RELE_FRENO_PIN, HIGH);
180
181     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("ENFRIANDO MOTOR");
182     // Calculo de segundos restantes
183     long restante = (COOLDOWN_TIME - (millis() - stateTimer))/1000;
184
185     // Formato para que se vea bien en LCD (ej: "59s ", "9s ")
186     lcd.setCursor(0,1);
187     lcd.print("ESPERE: ");
188     lcd.print(restante);
189     lcd.print("s      ");
190
191     if (millis() - stateTimer >= COOLDOWN_TIME) {
192         currentState = IDLE;
193     }
194     break;
195
196 // --- 6. ERROR ---
197 case ERROR:
198     digitalWrite(SSR_AC_PIN, LOW);
199     digitalWrite(RELE_FRENO_PIN, HIGH);
200     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("ERROR SISTEMA ");
201     lcd.setCursor(0,1); lcd.print("REINICIAR ");
202     digitalWrite(LED_PIN, (millis()/200)%2);
203
204     if (isStartButtonPressed()) {
205         delay(1000);
206         currentState = IDLE;
207     }
208     break;
209 }
210 }

```

C. Manual de usuario y mantenimiento

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

MÁQUINA CORTADORA DE OBLEAS

(Modelo Optimizado 2026)

MONASTERIO “CORAZÓN DE JESÚS” SECTOR BELLAVISTA –
SAN ANTONIO DE IBARRA.

“PROCESO DE CORTE DE OBLEAS”



¡LEA DETENIDAMENTE ESTAS INSTRUCCIONES!

Antes de manipular o hacer funcionar la máquina, lea este manual para evitar accidentes y garantizar la vida útil del equipo. En caso de duda o avería, consulte a su fabricante.

Contacto de Soporte:

- Celular: 0990041878
- Correo: guitarradavid13@gmail.com

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| MANUAL DE USUARIO..... | 1 |
| INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD | 1 |
| PELIGRO - Para reducir el riesgo de descargas eléctricas:..... | 1 |
| ADVERTENCIA - Para reducir el riesgo de lesiones o daños:..... | 1 |
| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA | 2 |
| PARTES DE LA MÁQUINA | 2 |
| Sistema mecánico | 2 |
| SISTEMA DE CONTROL..... | 3 |
| Vista interna | 3 |
| Vista externa | 4 |
| INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN | 5 |
| Encendido del Equipo | 5 |
| Proceso de Corte | 6 |
| RECOMENDACIONES OPERATIVAS | 7 |
| SISTEMA DE PROTECCIÓN..... | 7 |
| MANTENIMIENTO | 8 |
| Plan de mantenimiento periódico | 8 |
| Lubricación | 8 |
| Lista de componentes..... | 9 |
| FALLAS COMUNES | 10 |
| DIAGRAMAS Y ESQUEMAS DEL SISTEMA..... | 10 |
| Anexo A. Diagrama de Control y Fuerza | 11 |
| Anexo B. Diagrama Pictórico | 13 |



MANUAL DE USUARIO

Este manual describe el funcionamiento seguro de la cortadora de obleas optimizada. La máquina cuenta ahora con un sistema de control electrónico inteligente que garantiza cortes precisos, frenado automático y protección contra el sobrecalentamiento del motor.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

PELIGRO - Para reducir el riesgo de descargas eléctricas:

- 1. Atención constante:** Nunca deje la máquina desatendida mientras esté conectada a la red eléctrica.
- 2. Desconexión:** Desenchufe siempre la máquina de la toma de corriente inmediatamente después de utilizarla, antes de su limpieza o antes de retirar la protección mecánica.
- 3. Mantenimiento seguro:** Desconecte siempre la máquina antes de realizar cualquier sustitución de componentes mecánicos o eléctricos.

ADVERTENCIA - Para reducir el riesgo de lesiones o daños:

- 1. Uso previsto:** Utilice esta máquina únicamente para cortar obleas de hostias como se describe en este manual.
- 2. Estado del cable:** Nunca haga funcionar la máquina si el cable o el enchufe está deteriorado.
- 3. Zona de peligro:** Mantenga los dedos alejados de la matriz de corte en todo momento. No introduzca las manos bajo la guillotina si la máquina está energizada.
- 4. Limpieza de residuos:** Nunca utilice objetos metálicos (cuchillos, destornilladores)

para retirar residuos de la matriz, ya que pueden dañar el filo de las cuchillas. Utilice aire a presión o herramientas para madera y plástico suaves.

- 5. Apagado correcto:** Para desconectar, primero gire el selector a la posición **APAGADO (OFF)** y luego retire el enchufe. No tire del cable.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA

Dimensiones: 500 mm x 400 mm x 750 mm

Peso del equipo: 119 Kg

Voltaje nominal: 115V AC

Frecuencia nominal: 60 Hz

Consumo por hora: 0.81 kWh

Temperatura ambiente nominal: 15 – 35 °C

Niveles de ruido acústico: 100 dB(A)

Corte de láminas: 310 mm x 270 mm x 1 mm

PARTES DE LA MÁQUINA

Sistema mecánico

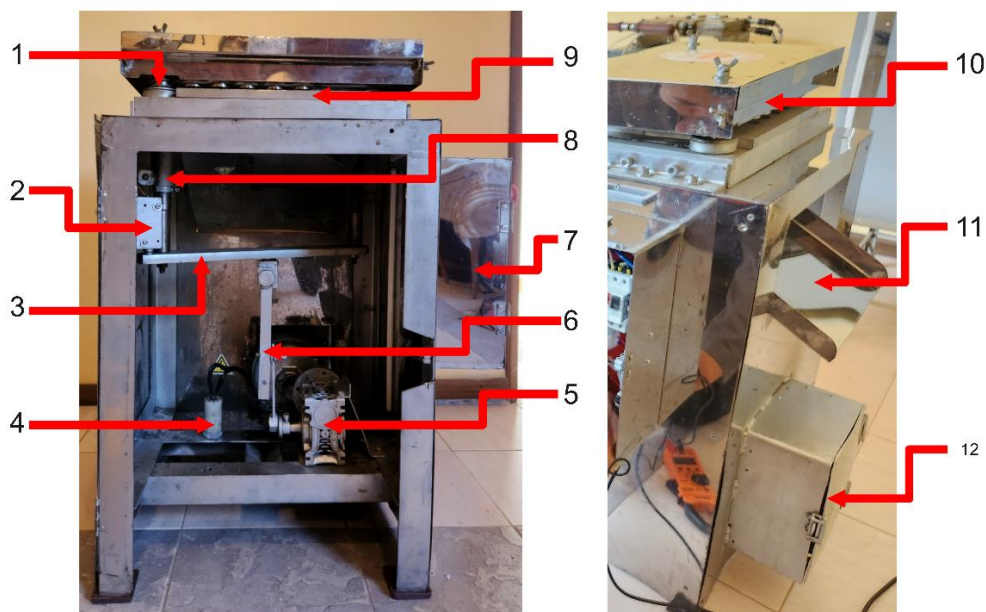


Fig. 1 Partes mecánicas de la máquina

1. Resortes
2. Final de carrera
3. Soporte de ejes
4. Capacitor de arranque
5. Motorreductor
6. Biela manivela
7. Tablero de control
8. Ejes
9. Matriz de corte
10. Cuchillas
11. Canaleta de deslizamiento
12. Motor

SISTEMA DE CONTROL

Vista interna

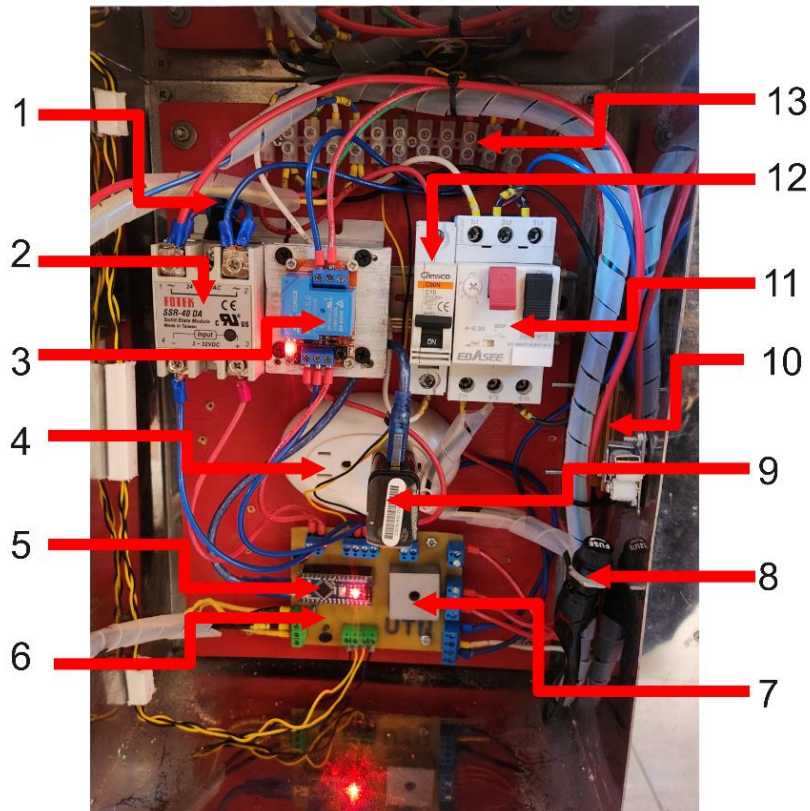


Fig. 2 Partes del sistema de control (Vista interna)

1. RC Snubber
2. Relé SSR-40 DA (Giro)
3. Relé SLA-05VDC-SL-C (Freno)

4. Tomacorriente
5. Arduino Nano
6. Placa de control
7. Puente rectificador KBPC5010
8. Fusible
9. Adaptador de carga
10. Resistencia de potencia
11. Guarda motor
12. Braker
13. Borneras de conexión

Vista externa



Fig. 3 Partes del sistema de control (Vista externa)

1. Paro de emergencia
2. Pulsador de inicio
3. Luz ciclo en proceso
4. Selector encendido/apagado
5. Luz máquina encendida
6. Pantalla

INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN

Encendido del Equipo

1. Conecte la máquina a un tomacorriente de 110 V/120 V con conexión a tierra.
2. Verifique que el **Breaker Principal** (ubicado dentro o detrás del tablero) esté subido (ON, palanca arriba).



Fig. 4 Breaker principal encendido.

3. Gire el **Selector Principal** hasta la posición **Encendido**.



Fig. 5 Selector encendido.

4. La pantalla LCD se iluminará y mostrará: SISTEMA CORTADORA → INICIALIZANDO.
5. Espere hasta que aparezca: **LISTO. PULSE PARA INICIAR.**



Fig. 6 Mensaje cuando la máquina está lista para funcionar.

Proceso de Corte

1. Coloque la lámina de obleas centrada en la matriz de corte. **Mantenga las manos fuera de la zona de corte.**



Fig. 7 Colocación de la lámina de oblea.

2. **Inicio:** Presione el botón **INICIO** una sola vez.
3. **Ciclo:** La máquina realizará la secuencia automática sin intervención del usuario:
 - La cuchilla baja (CORTANDO...).
 - La cuchilla sube a su posición inicial.
 - Se activa el freno electrónico (FRENANDO).
 - El motor se detiene en la posición superior.
4. **Retiro:** Una vez detenido el motor, retire el excedente de la lámina y verifique que

las hostias hayan caído por la canaleta.



Fig. 8 Retiro del excedente de la lámina.

RECOMENDACIONES OPERATIVAS

- **Una a la vez:** NO CORTAR MÁS DE UNA HOJA A LA VEZ. La máquina está calibrada para cortar hojas de forma individual. Intentar cortar bloques de hojas puede obstruir el mecanismo o dañar las cuchillas.
- **Hojas Planas:** Procure que las hojas estén lo más planas posible para facilitar su introducción.
- **Humectación:** Es imprescindible que las hojas de oblea estén suficientemente humedecidas (en su punto exacto) antes del corte.
 - *Si están muy secas, se romperán y generarán mucho polvo y residuos.*
 - *Si están muy húmedas, se pegarán a las cuchillas.*

SISTEMA DE PROTECCIÓN

Para proteger el motor y el capacitor de arranque de un uso excesivo continuo, el sistema incluye un bloqueo de seguridad.

- Al finalizar cada corte, la pantalla mostrará una cuenta regresiva: ENFRIANDO MOTOR... ESPERE: 59 s.

- Durante este tiempo, el botón de inicio NO funcionará. Esto es normal.
- Aproveche este minuto para retirar el producto cortado, limpiar los residuos y preparar la siguiente lámina con calma.

MANTENIMIENTO

Para garantizar la longevidad de la máquina, se debe seguir estrictamente el siguiente cronograma.

Plan de mantenimiento periódico

| DESCRIPCIÓN | DIARIO | SEMANAL | MENSUAL | TRIMESTRAL | ANUAL |
|---|--------|---------|---------|------------|-------|
| Limpieza General (Retiro de residuos de oblea) | X | | | | |
| Revisión de Cableado (Cables sueltos o pelados) | | X | | | |
| Lubricación de Ejes y Guías | | X | | | |
| Revisión de tornillería (ajuste de pernos) | | | X | | |
| Estado de la Matriz de Corte (Filo de cuchillas) | | | X | | |
| Revisión del Sistema de Transmisión | | | | X | |
| Cambio de aceite del motorreductor | | | | | X |

Lubricación

| ELEMENTO | FRECUENCIA | LUBRICANTE RECOMENDADO |
|---------------------------------------|------------|--|
| Ejes / Guías de la guillotina | Semanal | Aceite SAE 140-250 (o grasa de litio ligera) |
| Sistema de Transmisión (Biela) | Semanal | Aceite SAE 140-250 |
| Caja del Motorreductor | Anual | Aceite CLP 220 (específico para engranajes) |

Lista de componentes

En caso de avería, utilizar estas referencias para repuestos:

| Elemento | Especificación / Modelo | Función |
|------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Guarda motor magnetotérmico | EGV2-M / (3 a 8 A) | Protege contra sobrecarga (térmica) y cortocircuito (magnética) |
| Braker principal | C10 (10 A) | Protección general de la máquina. |
| Botón de paro de emergencia | LMB-ES5 | Corta de inmediato la energía del circuito de control y de potencia. |
| Pulsador | XB7-EA42P | Es el botón de mando (inicio del ciclo) |
| Luz piloto AC (110V) | XB7-EB03GP | Indicador de Energía (Red). |
| Luz piloto DC (12V) | XB7-EB03BP | Indicador de estado (ciclo en curso). |
| Selector I/O | SKPS-ED21 | Mando de Control (ON/OFF). |
| Sensor | Final de carrera ME-8111 | Detecta la posición de la cuchilla. |
| Fusible Principal | 10A Cerámico (10x38mm) Time-Delay | Protección general contra cortocircuitos |
| Relé de Giro | SSR-40 DA (Fotek) | Activa el giro del motor. |
| Relé de Freno | Módulo Relé 30A (SLA-05VDC-SL-C) | Inyecta el frenado DC |
| Resistencia Freno | 8 ohmios / 100W | Limita la corriente de frenado |
| Puente Rectificador | KBPC5010 (50A / 1000V) | Convierte AC a DC para freno |
| Controlador | Arduino Nano V3.0 | Cerebro del sistema |
| Fuente Control | Cargador USB 5V/1A | Alimenta la electrónica |
| Pantalla | LCD 1602 con módulo I2C | Visualización de datos |

FALLAS COMUNES

| Síntoma | Causa Probable | Acción Correctiva |
|---|-----------------------------------|---|
| Pantalla apagada | Selector en OFF o fusible quemado | <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar el selector y el breaker principal. 2. Revisar el fusible cerámico de 10 A en el tablero. |
| Mensaje en la pantalla "ERROR SISTEMA" | Atasco mecánico o falla de sensor | Presione el botón de Inicio para reiniciar. Si persiste, limpie el sensor de final de carrera o verifique que nada obstruya la guillotina. |
| Motor zumba, pero no arranca o arranca con dificultad. | Capacitor de arranque dañado | Reemplazar el capacitor del motor (25uF 250V). |
| Motor gira, pero no frena (sigue de largo) | Circuito freno abierto | Revisar cables de la resistencia dorada y el estado del módulo relé 30A (SLA-05VDC-SL-C) |
| La pantalla se enciende, pero el motor no gira. | Circuito de giro abierto | Revisar cables y la condición del relé de giro (SSR-40 DA)) |

DIAGRAMAS Y ESQUEMAS DEL SISTEMA

Para facilitar el mantenimiento, la reparación y la comprensión del funcionamiento interno de la máquina cortadora de obleas, se presentan los planos técnicos del sistema eléctrico y electrónico. Estos documentos permiten identificar conexiones, localizar fallas y reemplazar componentes de manera segura. Estos se encuentran en los anexos A y B.

Anexo A. Diagrama de Control y Fuerza

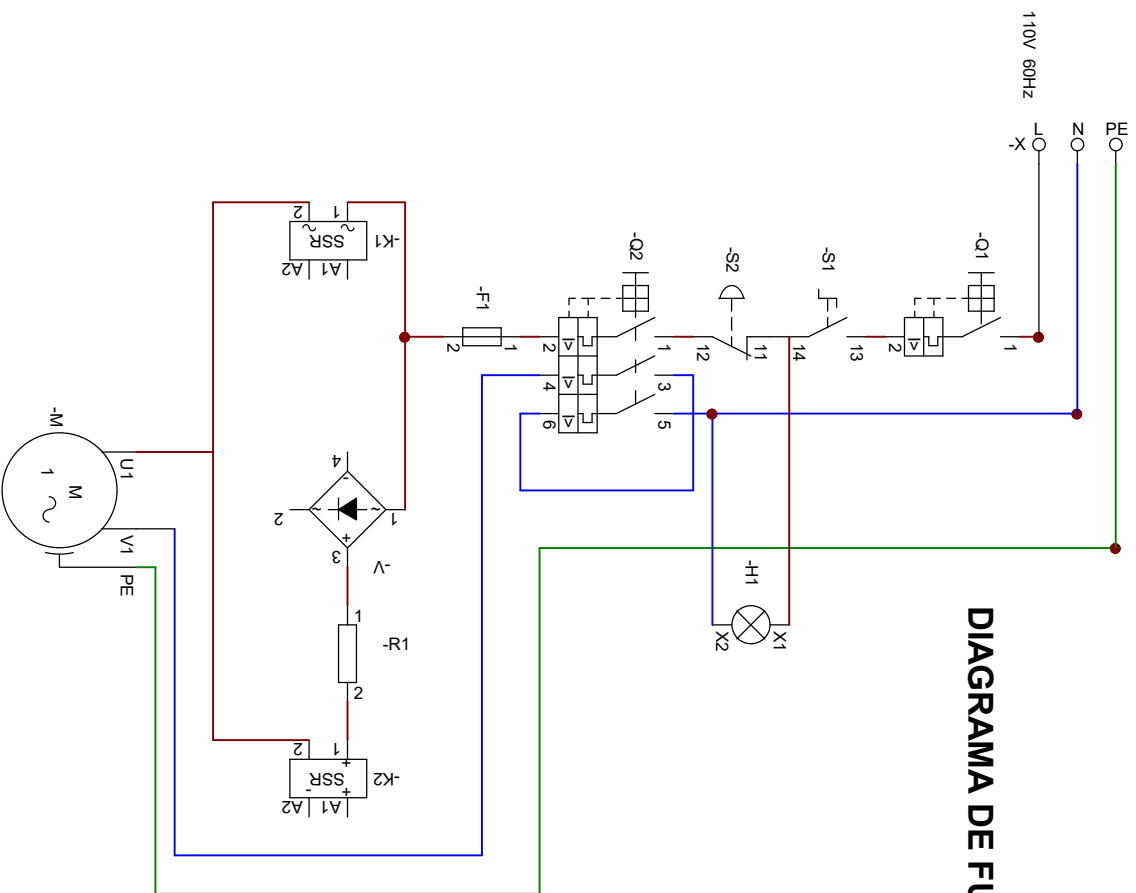


DIAGRAMA DE FUERZA

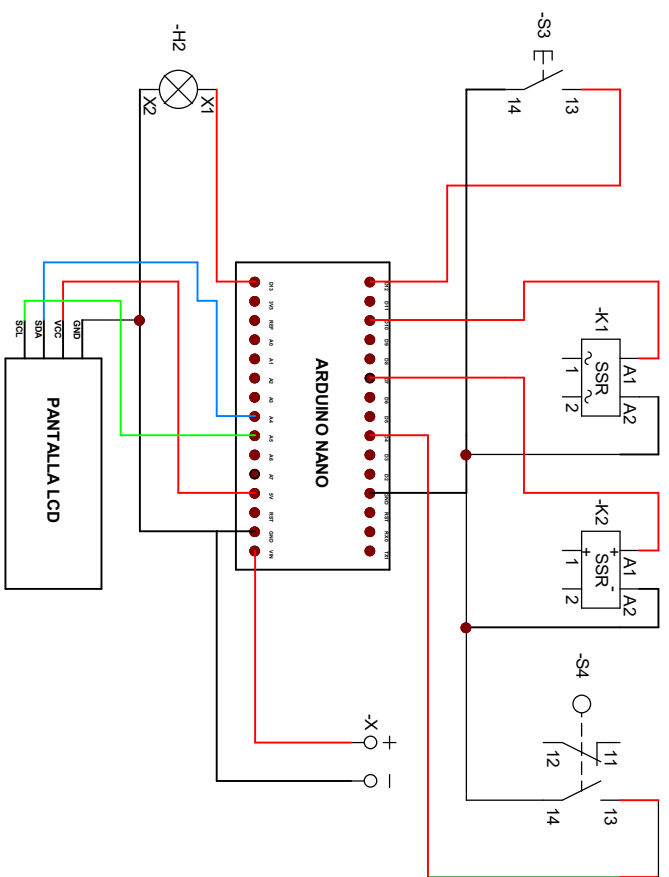


DIAGRAMA DE CONTROL

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--|------------|--|----------------|--|--------------------|--|-------------------------------|--|------------------------------|--|-------------|--|--------|--|
| 5 | | 4 | | 3 | | 2 | | 1 | | | | | | | |
| A | | B | | C | | D | | E | | F | | G | | H | |
| Dibujado | | Fecha | | Nombre | | Firmas | | Entidad | | Titulo | | Fecha | | Num: | |
| Comprobado | | 22-01-2026 | | DAVID GUITARRA | | ING. MARCO CIACCIA | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE | | DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL | | 22-Jan-2026 | | 1 de 1 | |
| A | | B | | C | | D | | E | | F | | G | | H | |
| 5 | | 4 | | 3 | | 2 | | 1 | | 5 | | 4 | | 3 | |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIAGRAMA DE FUERZA Y CONTROL

Archivo: DIAGRAMA-1

Anexo B. Diagrama Pictórico

DIAGRAMA PICTÓRICO

