



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**REACONDICIONAMIENTO DE TABLERO ELÉCTRICO POR MEDIO
DE PLC PARA MÁQUINA COMPACTADORA.**

**TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

PRESENTA:
BRIAN VALERDI RAMÍREZ

NOMBRE DEL ASESOR:
OSCAR MARÍN BAUTISTA

APIZACO, TLAXCALA FEBRERO 2026



Tzompantepec, Tlaxcala, **21/noviembre/2025**

Oficio No. MM-730/2025

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	BRIAN VALERDI RAMÍREZ
Carrera:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
No. De Control:	20370040
Nombre del Proyecto:	"REACONDICIONAMIENTO DE TABLERO ELÉCTRICO POR MEDIO DE PLC PARA MÁQUINA COMPACTADORA".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

MTRO. JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPTO. DE METAL-MECÁNICA


MTRO. OSCAR MARÍN BAUTISTA
ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2025
Año de
**La Mujer
Indígena**

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel.
[241] 4172010 Ext. 124, e-mail: mecanica@apizaco.tecnm.mx
tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala **28/noviembre/2025**

BRIAN VALERDI RAMÍREZ
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
CON NÚMERO DE CONTROL 20370040.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"REACONDICIONAMIENTO DE TABLERO ELÉCTRICO POR MEDIO DE PLC PARA MÁQUINA COMPACTADORA"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastado, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES


SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
CYAL/Gsc*



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010
Ext. 304, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx



AGRADECIMIENTOS:

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera a la realización de proyecto de residencias . En primer lugar, agradezco a mis asesores, Oscar Marín Bautista, asesor interno y Andrés Robles Valdez, asesor externo por su guía, paciencia y apoyo constante durante todo el desarrollo de este proyecto. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para la culminación de este trabajo.

A mi familia, por su amor incondicional y por creer en mí en todo momento. Gracias por su comprensión y por brindarme el espacio necesario para dedicarme a este proyecto.

Agradezco también a mis profesores, por su dedicación y por compartir su conocimiento y experiencia. Sus enseñanzas han sido una fuente de inspiración y han enriquecido mi formación académica.

Finalmente, agradezco al Instituto Tecnológico De Apizaco por proporcionar los conocimientos y las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto. Sin su apoyo, este trabajo no habría sido posible.

INDICE

Contenido	Página
Resumen	3
Introducción	6
Descripción de la Empresa	7
Problemas Por Resolver	8
Objetivo General y Objetivos Específicos	10
Justificación	12
Marco teórico	13
Desarrollo de las actividades	32
Análisis de resultados	52
Conclusiones	55
Recomendaciones	56
Referencias bibliográficas	57

Resumen

Este reporte de residencia aborda el tema del reacondicionamiento de un tablero eléctrico para una máquina compactadora, con el objetivo de mejorar su eficiencia y seguridad operativa. Para ello, se emplearon métodos de análisis y diseño eléctrico, incluyendo la evaluación de componentes existentes y la implementación de nuevas tecnologías de control y protección. Además, se integrará un PLC (Controlador Lógico Programable) para reemplazar la parte de relevadores, optimizando así el control y la automatización del sistema.

Para realizar este proyecto, se inició reacondicionando el tablero eléctrico, ya que este no contaba con un diagrama. Posteriormente, se elaboró un diagrama eléctrico detallado, lo cual facilitó la comprensión y el manejo del sistema. Tener un diagrama eléctrico ofrece varias ventajas, como la simplificación del mantenimiento, la identificación rápida de fallos y la mejora en la seguridad operativa.

El reacondicionamiento del tablero eléctrico, junto con la incorporación del PLC, permitió una reducción significativa en los tiempos de inactividad y un aumento en la productividad de la máquina. Además, se mejoraron las condiciones de seguridad para los operadores, minimizando el riesgo de fallos eléctricos.

La implementación de un PLC no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también facilita el diagnóstico y la resolución de problemas, lo que contribuye a una operación más fiable y segura. La automatización avanzada mediante el uso de PLC permite una mayor flexibilidad en el control de la máquina, adaptándose mejor a las necesidades específicas de producción.

Figura 1. Contactor marca Siemens	15	Índice de contenido
Figura 2. Relevador electromecánico internamente	16	
Figura 3. Diagrama de arranque y paro con indicadores de estado	17	
Figura 4. Simbología de contacto NA y NC, sistema americano y europeo	18	
Figura 5. Diagrama de relevador con bobina y contactos NA y NC	19	
Figura 6. PLCs marca Siemens	20	
Figura 7. Electroválvula a dos vías con solenoide	21	
Figura 8. Fotografía de electroválvula BTA 2109	21	
Figura 9. Sensor de presión Nautilus 300D2S11	22	
Figura 10. Sensor de seguridad Hystar DN-250K-22B90	24	
Figura 11. Final de carrera con contactos NA y NC	25	
Figura 12. Fotografía de máquina compactadora	26	
Figura 13. Máquina compactadora antes de inspección	27	
Figura 14. Antiguo tablero de control de máquina compactadora	28	
Figura 15. Tablero de control internamente	30	
Figura 16. Diagrama de control en CADE SIMU	30	
Figura 17. Tablero de control en SolidWorks	31	
Figura 18. Gabinete en SolidWorks	32	
Figura 19. Contactor de motor en SolidWorks	33	
Figura 20. Interruptor termomagnético en SolidWorks	33	
Figura 21. PLC marca Moeller en SolidWorks	34	
Figura 22. Fuente de alimentación Siemens en SolidWorks	34	
Figura 23. Relevador de sobrecarga Siemens	35	
Figura 24. Relevador electromecánico Finder	35	
Figura 25. Transformador en SolidWorks	36	
Figura 26. Clemas en SolidWorks	38	
Figura 27. Canaleta en SolidWorks	39	
Figura 28. Diagrama de conexiones en CADE SIMU	40	
Figura 29. Programa de control en KOP	41	
Figura 30. Simulación de funcionamiento en Microwin Step 7	42	
Figura 31. Colocación de riel de montaje	43	
Figura 32. Colocación y conexión de elementos de control	44	

Figura 33. Botoneras para operación de máquina compactadora
Figura 34. Actual tablero de máquina compactadora

45 [Índice](#) [de](#)
46 [figuras:](#)

[Índice de tablas:](#)

Tabla 1. Designación de entradas y salidas de PLC	37
Tabla 2. Comparación antes y después del nuevo tablero	52
Tabla 3. Consumo de corriente del motor	53
Tabla 4. Tiempo promedio de detección de fallas	54

Introducción:

El presente proyecto tiene como objetivo implementar un sistema de control automatizado mediante un PLC en el tablero eléctrico de la máquina compactadora de papel de la empresa Blue Tissue S.A.P.I de C.V. Esta iniciativa busca optimizar la operación de la máquina, mejorar la seguridad, reducir el tiempo de inactividad y aumentar la eficiencia energética. Para lograr estos objetivos, se llevará a cabo un diseño cuidadoso del sistema, seleccionando e integrando componentes adecuados que aseguren la compatibilidad con los elementos existentes y permitan futuras expansiones. La implementación de este sistema de control automatizado permitirá una operación más precisa y eficiente de la máquina compactadora, resultando en una mayor uniformidad en el producto final y una reducción de los tiempos de ciclo, lo que aumentará la productividad global. Además, la seguridad operativa es una prioridad en cualquier entorno industrial, y este proyecto reducirá el riesgo de accidentes laborales y fallos críticos, protegiendo tanto al personal como a los equipos. La reducción del tiempo de inactividad no planificado es otro beneficio clave, ya que el sistema de control basado en PLC permitirá la identificación proactiva de problemas y la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo. Finalmente, el consumo de energía se verá significativamente reducido gracias a un control más eficiente de los motores y otros componentes eléctricos, lo que contribuirá a la sostenibilidad y competitividad de Blue Tissue en el mercado.

Descripción de la Empresa: Blue Tissue S.A.P.I de C.V.

Blue Tissue S.A.P.I de C.V. es una empresa 100% mexicana dedicada a la producción industrial de papel. Fundada en abril de 2021, la planta de Blue Tissue está ubicada en el municipio de Yauhquemehcan, Tlaxcala. Desde su inauguración, la empresa ha generado más de 450 empleos formales y 150 indirectos, beneficiando a numerosas familias de la región.

La planta de Blue Tissue produce anualmente 30,000 toneladas de papel y transforma más de 400,000 corrugados al mes. La empresa cuenta con maquinaria de vanguardia para la producción de papel en el sector sanitario y una extensa red de distribución nacional. Esta red representa el 3% de la producción de papel en México y más del 15% en la comercialización de productos de higiene profesional.

Blue Tissue se distingue por su compromiso con la calidad y la innovación. Utilizan las mejores materias primas y maquinaria avanzada para garantizar productos de alta calidad. Además, la empresa se enfoca en mantener un papel con excelente blancura y en ofrecer un servicio rápido y amable a sus clientes.

Misión: Fomentar el bienestar de sus trabajadores y lograr la satisfacción total de sus clientes ofreciendo productos de papel de la mejor calidad.

Visión: Ser una marca reconocida por su excelente servicio y constante dinamismo, ofreciendo a sus clientes los mejores productos de higiene institucional.

Valores:

- Profesionalismo
- Cordialidad
- Calidad
- Negociación rápida

Blue Tissue es una empresa comprometida con la excelencia y la innovación, buscando siempre mejorar sus procesos y productos para satisfacer las necesidades de sus clientes y contribuir al bienestar de la comunidad.

Problemas Por Resolver en el Proyecto de Implementación del Sistema de Control Automatizado

1. Optimización de la Operación de la Máquina Compactadora:

- **Problema:** La operación actual de la máquina compactadora de papel no es lo suficientemente eficiente, lo que resulta en tiempos de ciclo prolongados y una menor productividad.
- **Solución:** Implementar un sistema de control automatizado mediante un PLC para mejorar la precisión y eficiencia de la operación, logrando una mayor uniformidad en el producto final y reduciendo los tiempos de ciclo.

2. Mejora de la Seguridad Operativa:

- **Problema:** La falta de sistemas de protección avanzados aumenta el riesgo de accidentes laborales y fallos críticos en la máquina compactadora.
- **Solución:** Integrar sistemas de protección y monitoreo continuo en el nuevo sistema de control para reducir el riesgo de accidentes y proteger tanto al personal como a los equipos.

3. Reducción del Tiempo de Inactividad:

- **Problema:** El tiempo de inactividad no planificado es costoso y afecta negativamente la producción y reparación de la máquina compactadora.
- **Solución:** Implementar un sistema de control basado en PLC que permita la identificación proactiva de problemas y la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, minimizando así el tiempo de inactividad.

4. **Aumento de la Eficiencia Energética:**

- **Problema:** El consumo de energía de la máquina compactadora es elevado, lo que incrementa los costos operativos.
- **Solución:** Utilizar el sistema de control automatizado para lograr un control más preciso y eficiente de los motores y otros componentes eléctricos, reduciendo significativamente el consumo de energía.

5. **Compatibilidad y Expansión Futura:**

- **Problema:** La necesidad de asegurar que el nuevo sistema de control sea compatible con los componentes existentes y permita futuras expansiones o mejoras sin necesidad de reemplazos completos.
- **Solución:** Diseñar el sistema de control de manera que sea compatible con los elementos actuales y flexible para adaptarse a cambios y mejoras tecnológicas futuras.

6. **Documentación y Trazabilidad:**

- **Problema:** La falta de documentación técnica completa y detallada puede dificultar el mantenimiento y las futuras modificaciones del sistema.
- **Solución:** Desarrollar una documentación técnica exhaustiva que incluya todos los cambios realizados en el sistema, facilitando el mantenimiento y las futuras expansiones.

Al abordar estos problemas de manera prioritaria, el proyecto no solo mejorará la eficiencia y seguridad de la máquina compactadora de papel, sino que también contribuirá a la sostenibilidad y competitividad de Blue Tissue S.A.P.I de C.V. en el mercado.

Objetivo General:

Implementar un sistema de control automatizado mediante un PLC en el tablero eléctrico de la máquina compactadora de papel de Blue Tissue S.A.P.I de C.V., con el fin de optimizar su operación, mejorar la seguridad, reducir el tiempo de inactividad y aumentar la eficiencia energética.

Objetivos Específicos:

1. Optimización de la Operación:

- Implementar un sistema de control automatizado que mejore la precisión y eficiencia de la máquina compactadora, reduciendo los tiempos de ciclo y aumentando la productividad.

2. Mejora de la Seguridad:

- Integrar sistemas de protección y monitoreo continuo para reducir el riesgo de accidentes laborales y fallos críticos, protegiendo tanto al personal como a los equipos.

3. Reducción del Tiempo de Inactividad:

- Implementar estrategias de mantenimiento predictivo mediante el sistema de control basado en PLC para minimizar el tiempo de inactividad no planificado.

4. Aumento de la Eficiencia Energética:

- Utilizar el sistema de control automatizado para lograr un control más preciso y eficiente de los motores y otros componentes eléctricos, reduciendo el consumo de energía.

5. Compatibilidad y Expansión Futura:

- Diseñar el sistema de control de manera que sea compatible con los componentes existentes y flexible para adaptarse a futuras expansiones o mejoras tecnológicas.

6. Documentación y Trazabilidad:

7. Desarrollar una documentación técnica completa y detallada que incluya todos los cambios realizados en el sistema, facilitando el mantenimiento y las futuras expansiones.

Justificación:

La implementación de un sistema de control automatizado mediante PLC en el tablero eléctrico de la máquina compactadora de papel es una necesidad imperativa debido a varios factores clave que afectan la operación, seguridad y eficiencia de la máquina. Este proyecto se justifica por las siguientes razones:

La automatización del control mediante PLC permitirá una operación más precisa y eficiente de la máquina compactadora de papel, resultando en una mayor uniformidad en el producto final y una reducción de los tiempos de ciclo, lo que aumentará la productividad global. La seguridad operativa es una prioridad en cualquier entorno industrial. La implementación de un sistema de control automatizado con características de protección avanzadas reducirá el riesgo de accidentes laborales y fallos críticos, protegiendo tanto al personal como a los equipos.

El tiempo de inactividad no planificado puede ser extremadamente costoso en términos de producción y reparación. Un sistema de control basado en PLC permitirá la identificación proactiva de problemas y la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, minimizando así el tiempo de inactividad. El consumo de energía es un factor crucial en los costos operativos. Un sistema de control automatizado permitirá un uso más eficiente de los motores y otros componentes eléctricos, reduciendo significativamente el consumo de energía y los costos asociados.

La modernización del sistema de control asegura la compatibilidad con los componentes existentes y permite futuras expansiones o mejoras sin necesidad de reemplazos completos. Esto proporciona una mayor flexibilidad para adaptarse a cambios y mejoras tecnológicas.

Marco teórico:

Antecedentes Históricos

El desarrollo de los tableros de control eléctricos está estrechamente ligado a la evolución de la electricidad industrial y la automatización.

Orígenes en el Siglo XIX

A finales del siglo XIX, con la invención de la dinamo y el desarrollo de los primeros motores eléctricos, surgió la necesidad de controlar y distribuir la energía eléctrica de forma segura. Los primeros tableros eran rudimentarios, contruidos con materiales como mármol o madera, y contenían interruptores manuales, fusibles y medidores analógicos.

Revolución Industrial y Electrificación (1900–1950)

Durante la Segunda Revolución Industrial, la electrificación de fábricas y ciudades impulsó el desarrollo de sistemas más complejos. Aparecieron los primeros contactores electromecánicos y relés, lo que permitió automatizar tareas básicas como el arranque y paro de motores. Los tableros comenzaron a estandarizarse y a fabricarse en gabinetes metálicos para mayor seguridad.

Automatización y Electrónica (1950–1980)

Con la llegada de la electrónica de estado sólido, los tableros de control evolucionaron rápidamente. Se introdujeron temporizadores electrónicos, contadores y sistemas de control secuencial. En los años 60 y 70, la aparición del PLC (Controlador Lógico Programable) revolucionó la industria, permitiendo reemplazar circuitos de relés por lógica programable, más flexible y eficiente.

Era Digital y Control Inteligente (1980–Presente)

Desde los años 80, los tableros de control han incorporado tecnologías digitales, interfaces hombre-máquina (HMI), sensores inteligentes y comunicación en red. Hoy en día, los tableros pueden integrarse con sistemas SCADA, IoT y plataformas de análisis de datos, permitiendo un control remoto, monitoreo en tiempo real y mantenimiento predictivo.

Tendencias Actuales

En el contexto de la Industria 4.0, los tableros de control eléctricos se están transformando en sistemas ciberfísicos, capaces de interactuar con entornos virtuales, adaptarse a condiciones cambiantes y optimizar procesos de forma autónoma.

Tablero de Control Eléctrico

Un tablero de control eléctrico es un equipo físico que contiene dispositivos eléctricos y electrónicos diseñados para controlar, proteger y automatizar el funcionamiento de máquinas o sistemas eléctricos. Se encuentra comúnmente en entornos industriales, comerciales y residenciales, y puede variar desde configuraciones simples hasta sistemas altamente complejos.

Componentes Internos

Dentro de un tablero de control eléctrico se encuentran elementos como:

- Interruptores termomagnéticos: protegen los circuitos contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Contactores y relés: permiten el control remoto de motores y cargas.

- PLC (Controlador Lógico Programable): ejecuta secuencias lógicas para automatizar procesos.
- Fuentes de alimentación, borneras, fusibles y cableado: aseguran la correcta distribución y conexión de la energía.

Funcionalidad y Automatización

El tablero no solo distribuye energía, sino que también automatiza procesos. Por ejemplo, puede encender una bomba cuando el nivel de agua baja, o detener una máquina si se detecta una falla. Esta capacidad de automatización es clave en la industria moderna, donde se busca reducir la intervención humana y aumentar la eficiencia.

Aplicaciones Industriales

En el entorno industrial, los tableros de control eléctricos son esenciales para:

Control de motores eléctricos, Sistemas de climatización (HVAC), Líneas de producción automatizadas, Sistemas de bombeo y tratamiento de agua, Energías renovables (solar, eólica)

Rol en la Industria 4.0

En el contexto de la Industria 4.0, los tableros de control eléctricos evolucionan hacia sistemas inteligentes, integrando:

-Sensores IoT, Monitoreo remoto, Análisis de datos en tiempo real e Interacción con sistemas SCADA y MES

Esto permite una gestión más eficiente, predictiva y conectada de los procesos industriales.

Contactor

Un contactor es un dispositivo electromecánico de conmutación, diseñado para establecer o interrumpir el paso de corriente en un circuito eléctrico de potencia mediante la acción de un electroimán. Se utiliza principalmente para el control remoto de motores eléctricos, sistemas de iluminación, calefacción y otros equipos industriales que requieren conmutación frecuente.

A diferencia de un interruptor manual, el contactor puede accionarse de forma automática por señales eléctricas, lo que lo convierte en un elemento esencial en los sistemas de automatización y control.

El funcionamiento de un contactor se basa en el efecto electromagnético. Cuando una corriente pasa por la bobina del contactor, se genera un campo magnético que atrae un núcleo móvil, cerrando o abriendo un conjunto de contactos eléctricos. Este proceso incluye la energización de la bobina, el movimiento del mecanismo que cambia el estado de los contactos de potencia, el cierre o apertura del circuito de carga y, finalmente, la desenergización de la bobina, donde el mecanismo interno devuelve el conjunto a su posición inicial.

Un contactor está formado principalmente por la bobina o entrada de control que recibe tensión de control en corriente alterna o continua, contactos principales que conmutan la corriente hacia la carga y contactos auxiliares para señalización o lógica de control.

Las entradas corresponden a los terminales de la bobina identificados como A1 y A2. El terminal A1 recibe la fase o polaridad positiva de la tensión de control y el terminal A2 recibe el neutro o polaridad negativa. Dependiendo del diseño del contactor, estas entradas pueden recibir alimentación en corriente alterna o continua.

Las salidas son los contactos principales de potencia, normalmente tres, que conectan la fuente de energía a la carga. Están identificados como T1, T2 y T3 y suelen ser contactos normalmente abiertos, cerrándose únicamente cuando la bobina está energizada.

Los contactos auxiliares permiten realizar funciones de control y señalización sin intervenir en la potencia. Pueden ser normalmente abiertos, que se cierran al energizarse la bobina, o normalmente cerrados, que se abren en la misma condición. Se utilizan para

enclavamiento, señalización de estado o interbloques de seguridad. Los contactos auxiliares se identifican generalmente con numeración como 13-14 (NA) y 21-22 (NC).

Partes principales de un contactor

Bobina (A1 y A2):

Componente encargado de generar el campo magnético que acciona los contactos. Se alimenta con una tensión de control, en corriente alterna o corriente continua, a través de los terminales A1 y A2.

Contactos principales de potencia (T1, T2, T3):

Encargados de permitir o interrumpir el paso de corriente hacia la carga. Están normalmente abiertos y se cierran al energizar la bobina. Se ubican en la parte superior (entrada) y parte inferior (salida) del contactor.

Contactos auxiliares (NA y NC):

Sirven para funciones de control y señalización. Los NA (Normalmente Abiertos) se cierran al energizarse la bobina, mientras que los NC (Normalmente Cerrados) se abren. Se identifican como 13-14 (NA) y 21-22 (NC).

Alimentación del contactor

La alimentación de un contactor se divide en dos circuitos principales:

Alimentación de la bobina de control:

La bobina, con terminales A1 y A2, se conecta a una fuente de tensión de control, la cual puede ser de corriente alterna (AC) o corriente continua (DC).

- En corriente alterna, las tensiones comunes son 24 V, 48 V, 110 V, 220 V o 380 V.

- En corriente continua, las tensiones típicas son 12 V, 24 V, 48 V o 110 V.

La elección del voltaje depende del sistema de control donde se integrará. Al recibir la tensión adecuada, se genera el campo magnético que acciona los contactos.

Alimentación de los contactos principales:

Los bornes superiores (T1, T2, T3) se conectan a la línea de alimentación de potencia, mientras que los bornes inferiores del mismo nombre van hacia la carga. Estos contactos están diseñados para soportar altas corrientes, por lo que el voltaje de potencia suele ser de 220 V, 380 V o 440 V en sistemas trifásicos, y de 110 V o 220 V en sistemas monofásicos.

Separación de circuitos:

El circuito de control (bobina) y el circuito de potencia (contactos principales) son independientes eléctricamente, lo que permite accionar cargas de alto voltaje con señales de bajo voltaje, garantizando seguridad y facilidad de automatización.



Figura 1. contactor marca siemens

Relevador electromecánico

Un relé es un dispositivo electromecánico o electrónico que permite abrir o cerrar circuitos eléctricos mediante una señal de control de baja potencia. Funciona como un interruptor accionado eléctricamente, permitiendo manejar un circuito de mayor voltaje o corriente a partir de otro de características menores. Es ampliamente utilizado en sistemas de control, automatización, protección eléctrica y lógica de mando. Su principio de funcionamiento se basa en un electroimán que, al ser energizado, produce un campo magnético que desplaza una armadura móvil, cambiando el estado de uno o varios contactos y estableciendo o interrumpiendo el flujo de corriente.

La función principal de un relé es controlar el paso de corriente hacia un circuito de potencia a través de una señal de control, actuando como un elemento de aislamiento eléctrico entre el circuito de mando y el circuito de carga. Esto permite manejar cargas de alto consumo con señales débiles y realizar maniobras automáticas de apertura y cierre, además de facilitar funciones de protección y secuenciación en diferentes aplicaciones.

Los contactos de un relé pueden ser normalmente abiertos, que permanecen sin continuidad eléctrica en reposo y se cierran al energizar la bobina; normalmente cerrados, que permanecen con continuidad en reposo y se abren al energizarse; o de conmutación, que disponen de un punto común que puede conectarse a un contacto normalmente abierto o normalmente cerrado dependiendo del estado de la bobina. Estos contactos son diseñados para soportar diferentes valores de corriente y tensión, de acuerdo con las especificaciones del fabricante, y pueden manejar cargas tanto en corriente alterna como en corriente continua.

En cuanto a su alimentación, los relés pueden tener bobinas diseñadas para diferentes voltajes, que varían típicamente entre 5 V, 12 V y 24 V en corriente continua, y entre 24 V, 48 V, 110 V y 220 V en corriente alterna. La elección del voltaje de alimentación depende del

sistema de control en el que se integre, asegurando compatibilidad con la señal de mando y evitando sobrecargas o fallos de operación.

Gracias a su versatilidad y capacidad de aislamiento, los relés se utilizan ampliamente en el control de motores, sistemas de iluminación, automatización industrial, protección de circuitos y en la implementación de lógica cableada en tableros de control.

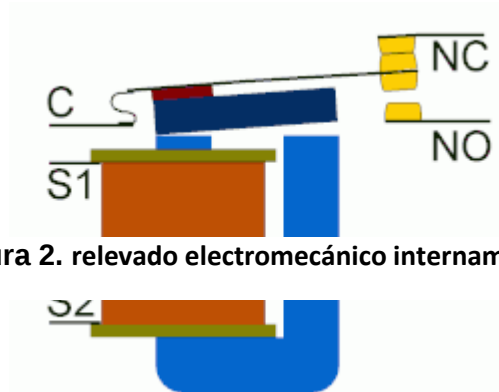


Figura 2. relevado electromecánico internamente

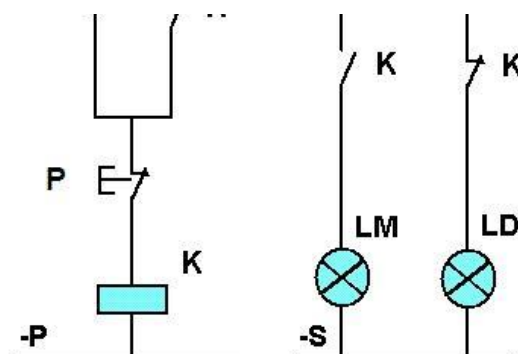
La lógica cableada

se trata de una forma de diseñar controles automáticos o semiautomáticos por medio de relevadores, contactores, relés temporizadores entre otros elementos, de este modo se crea un automatismo capaz de realizar acciones de forma secuencial esto se realiza por medio de circuitos cableados.

Este tipo de lógica suele ser utilizada en lugares críticos donde la seguridad del personal no puede depender de la lógica programada.

Para la realización de esta lógica es necesario Contar con conocimientos sobre la interpretación de diagramas eléctricos, un ejemplo básico de un diagrama sería este.

Figura 3. diagrama de un arranque y paro con indicadores de estado



Los diagramas de escalera son una forma popular de programación y representación de circuitos de control en la industria. Son fáciles de entender, incluso para quienes no tienen mucha experiencia en programación. Estos diagramas permiten crear programas lógicos

combinando contactos (que representan entradas) y bobinas (que representan salidas), de manera similar a un circuito eléctrico.

Este tipo de diagramas están formados de la siguiente manera, Por la parte izquierda tenemos todo lo que vendría siendo la parte de control, sensores, actuadores etc. y por el lado derecho tendríamos las cargas tales como motores, lámparas todo aquello que modifica el proceso todos estos representados por su simbología y no menos importante una línea y un neutro representados con la letra L de línea y N de neutro en CA o en caso de ser CD 24v y 0v

Este diagrama es conocido como diagrama eléctrico de escalera debido a su estructura en forma de escalera con dos barras verticales que vendrían siendo la alimentación L,N y **barras horizontales que representan los circuitos de control**

Contactos NA/NC

	Símbolo americano	Símbolo europeo
NA		
NC		

Figura 4. simbología de un contacto NA y NC, sistema americano y europeo

LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE UN DIAGRAMA DE ESCALERA SON:

Contactos: Representan las condiciones que deben cumplirse. Hay dos tipos: normalmente abiertos, que permiten el paso de corriente cuando la condición es verdadera, y normalmente cerrados, que permiten el paso cuando la condición es falsa.

Bobinas: Son los dispositivos que realizan una acción cuando se cumplen las condiciones previas en el circuito. Pueden representar motores, válvulas, luces, etc

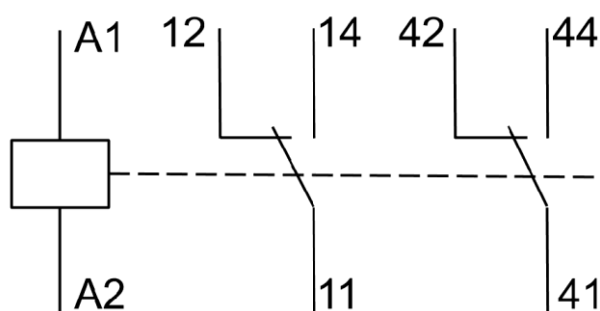


Figura 5. diagrama de un relevador con bobina y contactos NA y NC

Programación PLC

Un diagrama ladder (escalera) representa la lógica de control de un PLC con dos rieles de alimentación y peldaños evaluados de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo; en cada peldaño se usan contactos normalmente abiertos (NO) y normalmente cerrados (NC) que modelan condiciones, y una bobina que representa la salida o marca que se activa cuando la lógica del peldaño es verdadera. Un contacto NO solo “cierra” cuando su variable está activa; un contacto NC conduce cuando la variable está inactiva y “se abre” al activarse, útil para paros, fallas o seguridades. El PLC escanea entradas, ejecuta los peldaños y, si se cumplen las condiciones, energiza la bobina correspondiente. Ejemplo 1, encender una lámpara con un pulsador NO: al presionarlo, el contacto NO se cierra y la bobina de la salida se activa; al soltarlo, el contacto se abre y la lámpara se apaga.

```
|----[ I0.0 ]------( Q0.0 )----|  
Pulsador NO           Lámpara
```

Ejemplo 2, arranque y paro de motor con enclavamiento: el botón de arranque (NO) cierra el circuito, activa la bobina del motor y un contacto auxiliar NO de la propia salida mantiene (“enclava”) el circuito aunque se suelte el botón; el botón de paro (NC) permanece conduciendo en estado normal y abre el circuito al ser presionado, desenergizando la bobina; opcionalmente se puede insertar un NC de emergencia o de falla térmica antes de la bobina para asegurar que, ante una condición anómala, la lógica se abra y el motor se detenga.

```
|----[ I0.0 Arranque NO ]--[/ I0.1 Paro NC ]--[/ I0.2 Emergencia NC ]--+( Q0.0 Motor )----|  
|                                                                 |  
|           [ Q0.0 Auxiliar NO ]-----+  
|
```

En operación, con el paro NC cerrado y sin emergencia, al pulsar arranque el NO se cierra, el peldaño se vuelve verdadero y la bobina Q0.0 del motor se energiza; su contacto auxiliar NO en paralelo con el arranque también se cierra, manteniendo el circuito aun cuando se suelte el botón. Si se pulsa el paro, el contacto NC se abre, interrumpe la corriente lógica hacia la bobina y el motor se apaga; lo mismo ocurrirá si se abre el NC de emergencia o se detecta una falla térmica. Así, los contactos abiertos y cerrados en el diagrama definen con claridad la seguridad y la secuencia de mando sobre el actuador.

PLCs

La programación del PLC implica cargar el programa final en el controlador lógico programable y configurar todas las entradas y salidas. El cableado del nuevo tablero de control debe realizarse siguiendo el diagrama de control, asegurando conexiones seguras y eficientes. Un PLC (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo electrónico utilizado para la automatización de procesos industriales, cuya principal función es controlar máquinas, equipos o sistemas mediante la ejecución de programas lógicos que permiten la toma de decisiones en tiempo real. Los PLCs son esenciales en la industria moderna, ya que facilitan la automatización de procesos repetitivos, mejoran la precisión y aumentan la eficiencia de las operaciones, reduciendo el tiempo fuera de máquina y de mantenimiento en sistemas de control anteriores obsoletos. También es importante mencionar que los PLC pueden incrementar la velocidad de operación y capacidad del equipo más antiguo, por lo que reacondicionar un equipo obsoleto con un PLC para el control es casi como adquirir uno nuevo.

Las principales características de un PLC incluyen módulos de entrada que reciben señales de sensores y dispositivos externos, como interruptores o detectores de proximidad, y módulos de salida que envían señales para controlar actuadores, motores y válvulas. La Unidad Central de Procesamiento (CPU) es el “cerebro” del PLC, donde se ejecutan las instrucciones del programa y se gestionan las comunicaciones entre los módulos de entrada y salida. La memoria del PLC almacena tanto el programa que controla el proceso como los datos temporales generados durante la ejecución. Los lenguajes de programación más utilizados incluyen el lenguaje de escalera (Ladder Diagram), texto estructurado y diagramas de bloques de funciones, estandarizados bajo la norma IEC 61131-3. El funcionamiento del PLC sigue un ciclo de escaneo que consiste en leer las entradas, ejecutar el programa lógico, actualizar las salidas y realizar diagnósticos, repitiéndose continuamente para responder en tiempo real a los cambios del sistema.

Los PLCs tienen un amplio rango de aplicaciones, tales como el control de líneas de producción, sistemas de transporte y manipulación de materiales, procesos de ensamblaje, control de calidad en tiempo real, gestión de sistemas HVAC y control de maquinaria y robótica. Entre las ventajas del uso de PLC destacan su flexibilidad para modificar sistemas sin cambiar hardware, su alta confiabilidad en entornos industriales, el mantenimiento sencillo gracias a diagnósticos rápidos y la escalabilidad mediante la adición de módulos de entrada y salida.

En cuanto a su hardware, un PLC está compuesto por una fuente de alimentación, que proporciona la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento y convierte la energía de la red en niveles seguros; una CPU, que ejecuta el programa de control y contiene el microprocesador, la memoria ROM con el sistema operativo, la memoria RAM para el programa y datos temporales, y el bus de comunicación para transferir información entre módulos; y módulos de entradas y salidas que permiten la interacción con el entorno. Las entradas pueden ser digitales, recibiendo señales binarias, o analógicas, recibiendo valores

continuos; mientras que las salidas también pueden ser digitales o analógicas para controlar distintos dispositivos. Los PLC cuentan con interfaces de comunicación como Ethernet industrial, RS-232, RS-485, Modbus, Profibus o EtherCAT, que permiten conectarlos con otros sistemas, así como con relés internos y terminales para el control de dispositivos externos y la conexión física del cableado.

Algunos modelos incorporan reloj de tiempo real para ejecutar tareas programadas y pantallas o indicadores LED para mostrar el estado del sistema, errores y condiciones de entradas y salidas. El ciclo de funcionamiento del hardware del PLC sigue un proceso repetitivo: lectura de entradas, ejecución del programa, actualización de salidas, diagnóstico del sistema y repetición continua en milisegundos, lo que permite un control y supervisión automáticos y en tiempo real del proceso.



Figura 6. PLCs marca siemens

Una válvula de seguridad

de

es un dispositivo diseñado para proteger equipos y sistemas contra el exceso de presión. Funciona liberando automáticamente el exceso de fluido o gas cuando la presión interna alcanza niveles peligrosos, evitando así daños a los equipos y posibles accidentes. Su funcionamiento se basa en un mecanismo de resorte que mantiene la válvula cerrada bajo condiciones normales. Cuando la presión del sistema excede el límite, el resorte se comprime, permitiendo que la válvula se abra y libere el fluido o gas hasta que la presión vuelva a niveles seguros.

Los componentes principales de una válvula de seguridad incluyen el cuerpo, que suele estar fabricado de materiales resistentes a la corrosión como el acero inoxidable; el resorte, que determina la presión de apertura y cierre; el disco y asiento, que crean un sello hermético; y la tapa, que protege los componentes internos y puede incluir un mecanismo de ajuste.

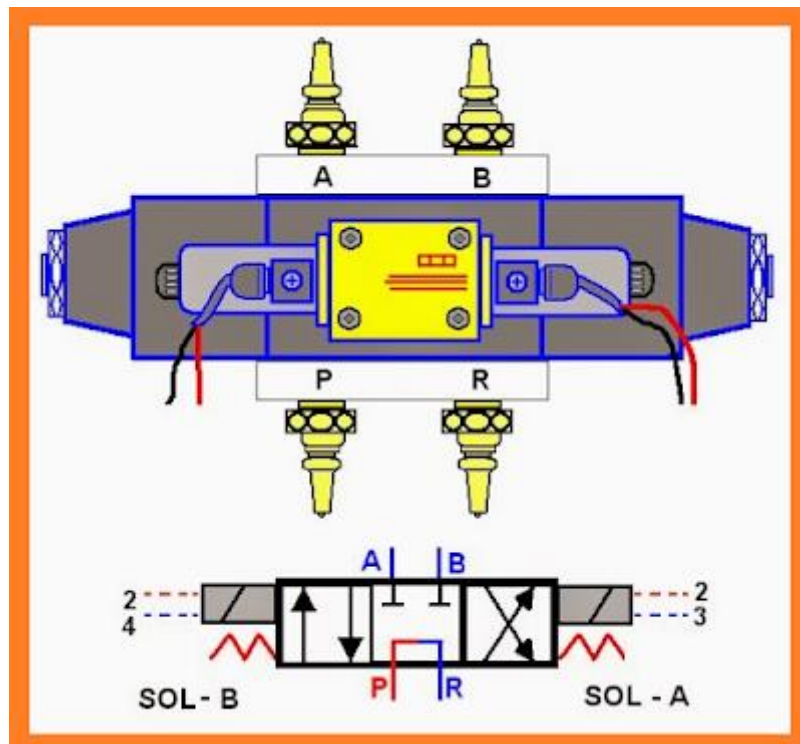


Figura 7. electroválvula a dos vías con solenoide

válvulas bidireccionales

permiten el flujo de fluido en dos direcciones. Son esenciales en sistemas donde se requiere controlar el paso de líquidos o gases en ambas direcciones. Un ejemplo común es la válvula de cuchilla bidireccional, que garantiza un cierre hermético en ambas direcciones, lo que es crucial en aplicaciones industriales exigentes.



Figura 8. fotografía de electroválvula BTA 2109, perteneciente a planta Blue Tissue

La electroválvula BTA 2109 funciona mediante un actuador eléctrico que controla la apertura y cierre de la válvula. Este actuador recibe una señal eléctrica que activa un motor, el cual mueve el disco de la válvula para permitir o bloquear el flujo de fluido. Está compuesta por un cuerpo de hierro fundido con recubrimiento de epoxy, un disco de acero inoxidable AISI 316, un elastómero en el asiento para asegurar el sello, y un actuador eléctrico que automatiza su operación. Se utiliza en tratamiento de agua, procesos industriales y sistemas HVAC. Sus ventajas incluyen alta fiabilidad, mantenimiento sencillo, versatilidad y eficiencia energética.



Figura 9. sensor de presión Nautilus 300D2S11

sensor de presión

mide la fuerza que ejerce un líquido o gas sobre una superficie y la convierte en una señal eléctrica. El sensor Nautilus 300D2S11 puede medir presiones de hasta 300 bar y está diseñado para aplicaciones de alta presión. Su cuerpo está hecho de acero inoxidable, utiliza un diafragma como elemento sensor y cuenta con conexiones eléctricas estándar. Se emplea en industrias como petróleo y gas, automotriz y manufactura. Ofrece alta precisión, durabilidad y fácil integración, y cumple con normativas como IEC 60529 (IP66) y CE.



Figura 10. sensor de seguridad Hystar DN-250K-22B90 con rango de presión ajustable

El sensor Hystar 22B90 es un presión utilizado en



DN-250K-
interruptor de
sistemas

Figura 11. final de carrera con contactos NA y NC

hidráulicos y neumáticos. Tiene un rango de ajuste de 40 a 250 bar y una conexión de 1/4 pulgadas NPT. Este sensor no solo mide presión, sino que también actúa como dispositivo de seguridad para prevenir sobrepresiones, asegurando un funcionamiento eficiente y seguro del sistema.

final de carrera es un sensor que indica la posición de un objeto móvil. Funciona mediante una combinación de componentes mecánicos y eléctricos que, al activarse, cambian el estado de los contactos eléctricos internos. Esto permite abrir o cerrar un circuito y enviar una señal al sistema de control. Sus componentes incluyen un cuerpo protector, bloque de contactos (NO y NC), terminales, cabeza y accionador. Se clasifican por tipo de contacto, características eléctricas, tipo de energía y tipo de accionamiento. Se utilizan en automatización de puertas y ventanas, sistemas de transporte y máquinas herramienta. Son esenciales para la seguridad y precisión en aplicaciones industriales.

Maquina compactadora:



Figura 12. fotografía de maquina compactadora tomada dentro de planta Blue Tissue

Las máquinas compactadoras son equipos esenciales en la construcción y en la gestión de residuos. Su función principal es reducir el volumen de materiales mediante la aplicación de presión, lo que facilita su manejo, transporte y disposición. Existen diferentes tipos de compactadoras, cada una diseñada para aplicaciones específicas.

Tipos de Máquinas Compactadoras

Compactadoras de Suelos Estas máquinas son utilizadas principalmente en la construcción de carreteras y obras civiles para compactar suelos y bases. Existen varios tipos, como las

compactadoras de rodillos lisos, rodillos de patas apisonadoras y compactadoras de ruedas neumáticas. Su objetivo es aumentar la densidad del suelo, mejorando su capacidad de soporte y estabilidad (All Machines, 2019).

Compactadoras de Residuos Utilizadas en la gestión de residuos sólidos, estas máquinas compactan materiales como cartón, plástico, metales y chatarra. Ayudan a reducir el volumen de los residuos, facilitando su almacenamiento y transporte. Las compactadoras de residuos pueden ser horizontales o verticales, dependiendo de la aplicación y el espacio disponible (7B Compactadoras, 2023).

Compactación de Suelos La compactación de suelos se logra mediante la aplicación de peso y vibración. Las compactadoras de rodillos lisos utilizan su peso para densificar el suelo, mientras que las de rodillos de patas apisonadoras aplican una fuerza adicional a través de sus patas. Las compactadoras de ruedas neumáticas distribuyen la presión de manera uniforme, lo que es ideal para suelos cohesivos como la arcilla (All Machines, 2019).

Compactación de Residuos En el caso de los residuos, las compactadoras aplican presión para reducir el volumen de materiales reciclables y no reciclables. Las compactadoras horizontales son comunes en instalaciones de reciclaje, donde los materiales se comprimen en pacas. Las compactadoras verticales son más adecuadas para espacios reducidos y se utilizan en tiendas y restaurantes para gestionar residuos de embalaje (7B Compactadoras, 2023).

Ventajas de las Máquinas Compactadoras

Eficiencia en la Construcción Las compactadoras de suelos mejoran la eficiencia de las obras de construcción al asegurar una base sólida y estable. Esto reduce el riesgo de asentamientos y fallos estructurales, prolongando la vida útil de las infraestructuras (Caterpillar, 2023).

Gestión de Residuos Las compactadoras de residuos contribuyen a una gestión más eficiente de los desechos, reduciendo el espacio necesario para su almacenamiento y facilitando su transporte. Esto es especialmente importante en áreas urbanas donde el espacio es limitado (7B Compactadoras, 2023).

Desarrollo de las actividades

Revisión General de la Máquina

El primer paso en el proyecto fue realizar una revisión exhaustiva de la máquina. Este proceso incluyó una inspección visual detallada para identificar cualquier signo de desgaste o daño en los componentes. Además, se verificaron las conexiones y se comprobó la funcionalidad de cada parte de la máquina. Esta revisión inicial fue crucial para entender el estado actual de la máquina y planificar las mejoras necesarias.



Figura 13. fotografía de maquina compactadora tomada antes de realizar inspección de componentes

Consulta con los Operadores

Para obtener una comprensión completa del funcionamiento de la máquina, se realizaron entrevistas con los operadores. Estos profesionales proporcionaron información valiosa sobre cómo operaban la máquina diariamente, los problemas comunes que enfrentaban y sus sugerencias para mejorar el sistema de control. Esta etapa fue fundamental para adaptar el diseño del nuevo sistema de control a las necesidades reales de los usuarios.

Revisión del Tablero de Control

Se inspeccionó el tablero de control existente para entender su configuración interna. Dado que el tablero no contaba con un diagrama de control, se realizó un análisis detallado para crear uno. Esta revisión permitió identificar las conexiones y componentes necesarios para diseñar un nuevo sistema de control más eficiente.



Figura 14. antiguo tablero de control de máquina compactadora con botón de arranque, botón de paro y selector “automático o manual”



Creación del CADE SIMU

Utilizando el

SIMU, se diseñó un diagrama de control inicial basado en la revisión del tablero. Este software permite crear diagramas detallados y simular su funcionamiento antes de la implementación física. La simulación del diagrama inicial ayudó a identificar y corregir errores en el diseño.

Diagrama en

software CADE

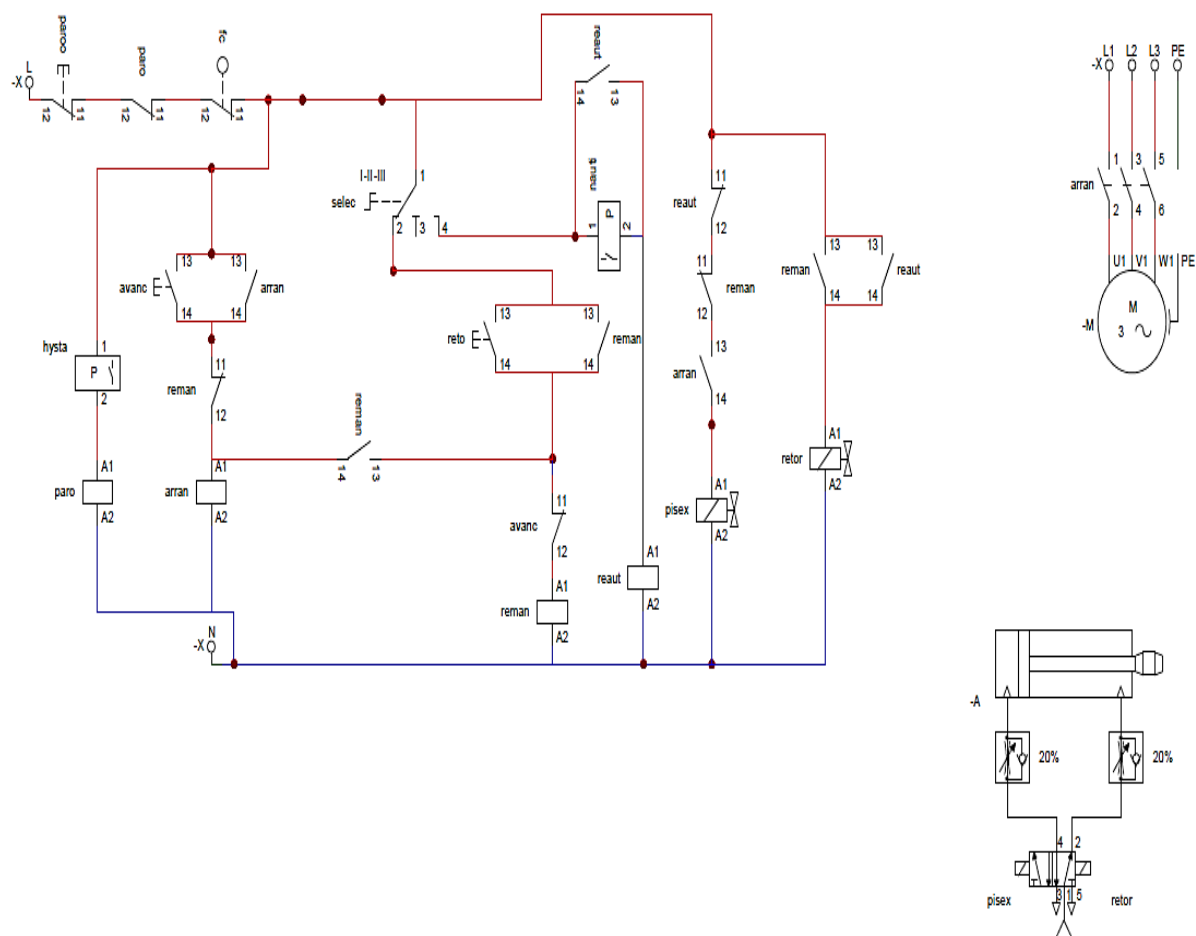


Figura 16. diagrama de control realizado en cade simu con configuración y conexión de relevadores de antiguo tablero de control eléctrico

Diseño de nuevo tablero de control

Una vez verificado el funcionamiento de los distintos elementos que conformaban la máquina, se procedió a la elaboración de un diseño tridimensional del nuevo tablero de control, considerando todos los componentes que lo integrarían. Este modelo permitió definir con precisión las dimensiones del gabinete, asegurando una correcta distribución interna y el espacio necesario para su montaje, mantenimiento y ventilación.

La realización del diseño 3D fue fundamental, ya que permitió anticipar la disposición óptima de los dispositivos, prevenir interferencias mecánicas, optimizar el recorrido del cableado y garantizar la accesibilidad a cada componente, reduciendo así posibles ajustes o retrabajos durante el montaje físico del tablero.

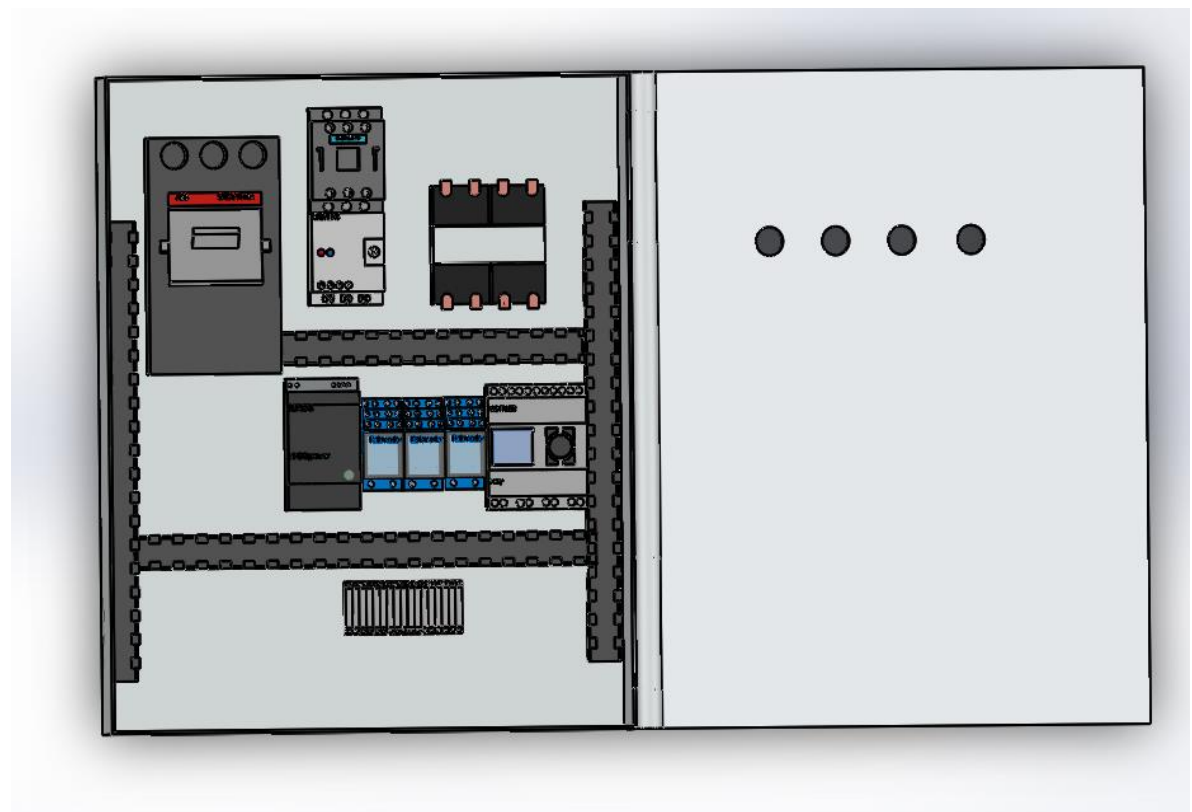


Figura 17. actual tablero de control de maquina compactadora realizado en Solidworks con medidas reales de sus diferentes componentes.

Gabinete de control de la máquina compactadora, diseñado para alojar y proteger los dispositivos eléctricos responsables de su operación. La estructura proporciona seguridad al operador, resguarda los componentes frente a polvo y vibraciones del entorno industrial,

mantiene una organización ordenada del cableado y facilita el acceso para labores de mantenimiento, garantizando un funcionamiento confiable del sistema de control.

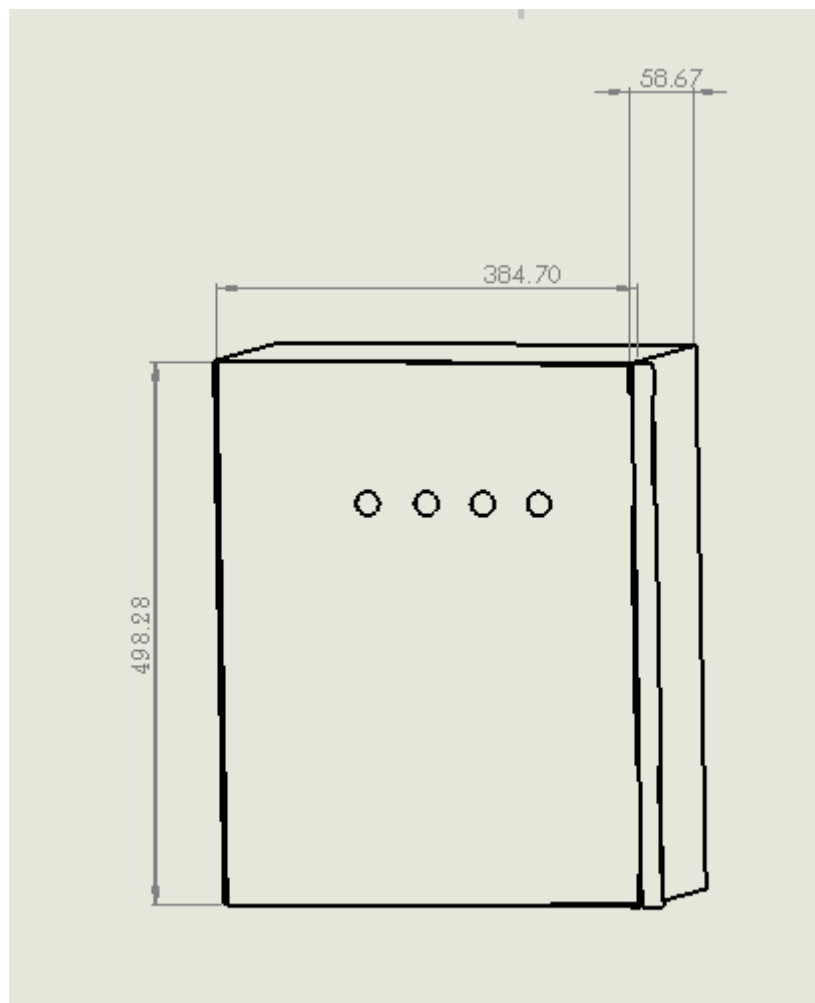


Figura 18. gabinete realizado en SolidWorks con medidas exactas para distribución de componentes de control dentro del tablero

Contactor electromecánico utilizado en el tablero de control de la máquina compactadora. Este dispositivo permite el establecimiento o la interrupción de la corriente hacia los circuitos de potencia de la máquina mediante una señal de control de bajo voltaje

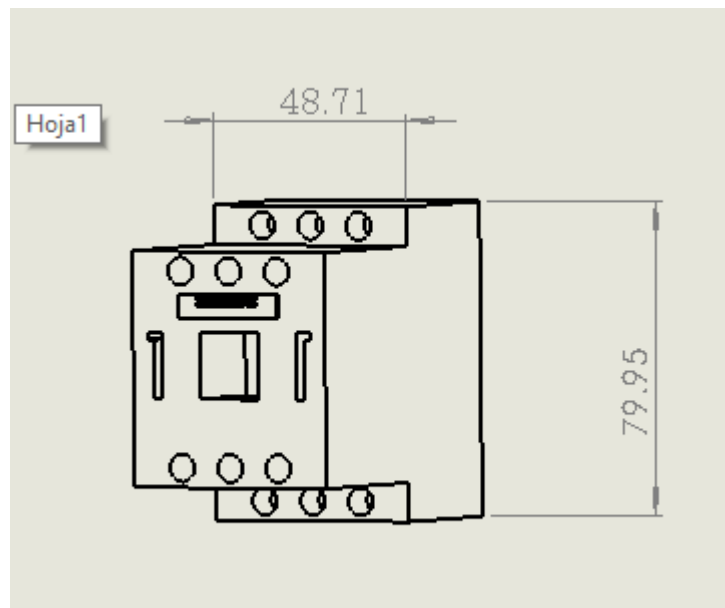
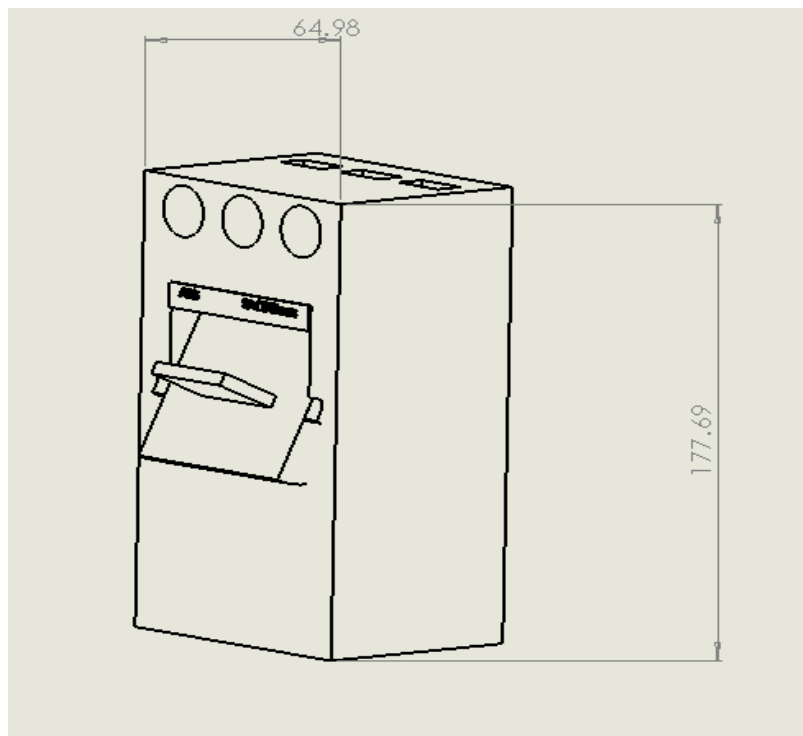


FIGURA 19. contactor de motor de maquina compactadora con bobinas a 24 V DC, realizado en SolidWorks

interruptor termomagnético trifásico empleado en el tablero de control de la máquina compactadora. Este dispositivo combina protección térmica, que actúa ante sobrecargas prolongadas, y protección magnética, que interrumpe el circuito en caso de cortocircuitos o picos de corriente.



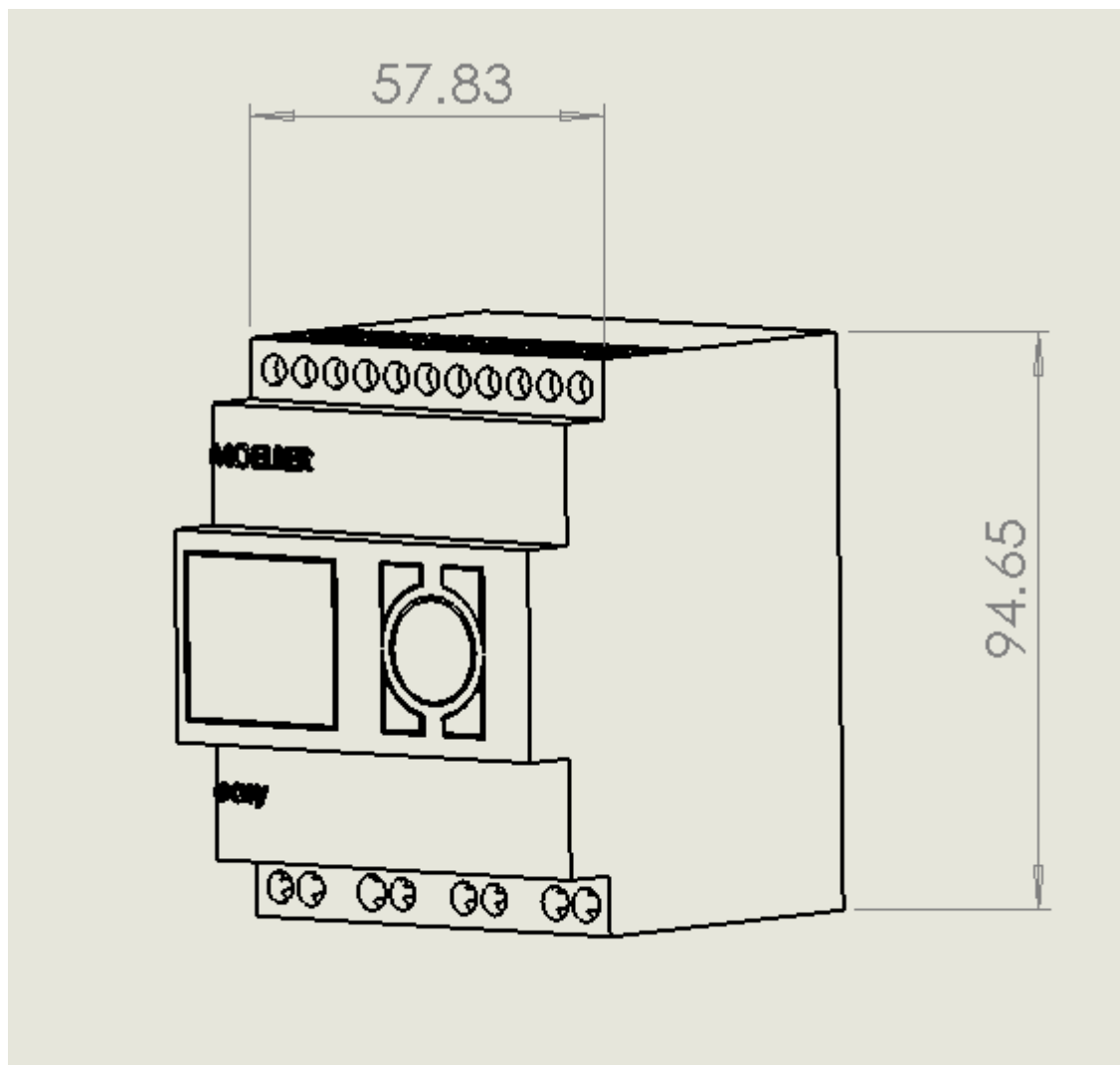


Figura 21. PLC marca Moeller a 24 V DC con 6 entradas analogicas y 2 digitales realizado en SolidWorks

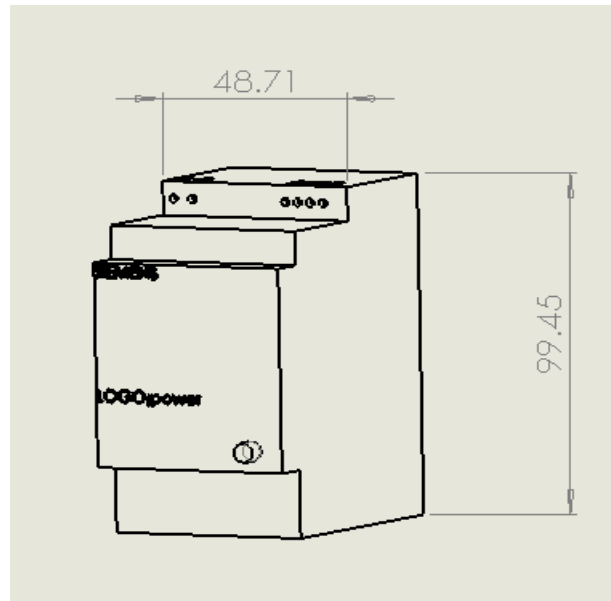


Figura 22. fuente de alimentación de 110 V AC a 24 V DC marca siemens realizado en solidworks

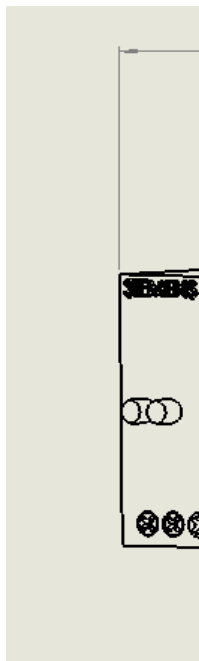


Figura 23.
sobrecarga de
para motores
siemens
SolidWorks

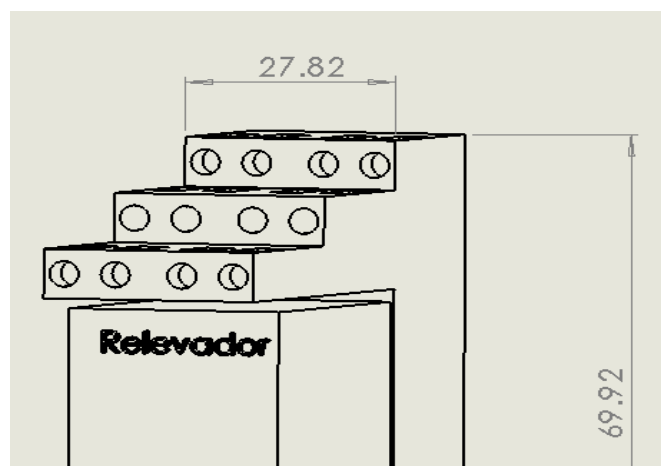
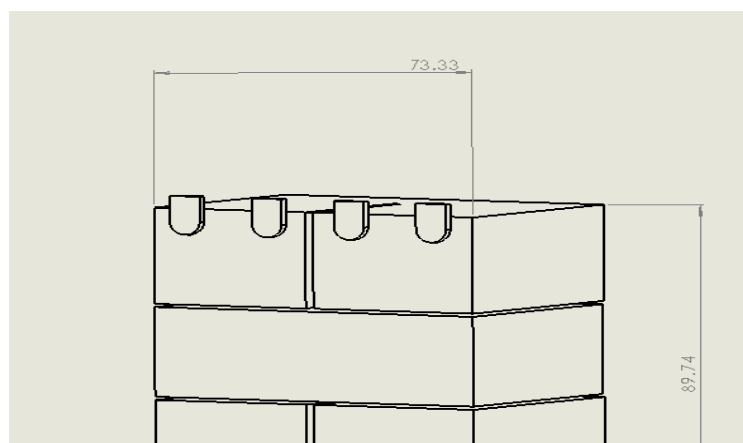


Figura 24. relevador electromecánico marca Finder de 14 pines 4 contactos NA, 4 NC, bobinas A1, A2 y 4 contactos común realizado en SolidWorks.

relevador de
20 a 25 Amp ,
de 20 HP marca
realizado en



**Figura 25. transformador entrada 240 V AC a 110 AC
realizado en SolidWorks**

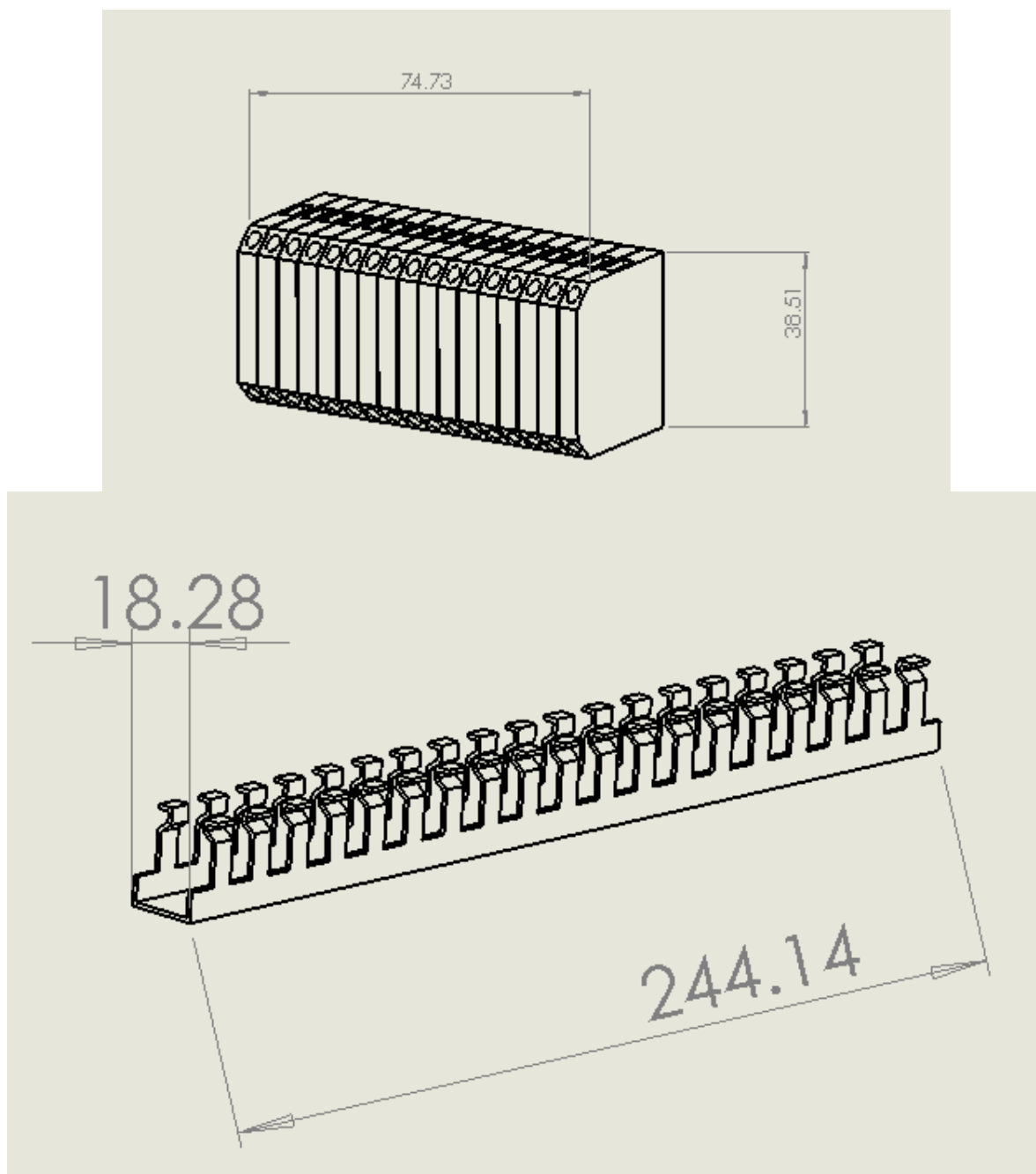


Figura 27. canaleta para ocultar conexiones, realizado en SolidWorks

Se elaboró el diagrama de conexiones del tablero eléctrico, detallando la interconexión de cada dispositivo, la codificación y numeración de conductores, así como la asignación precisa de terminales y puntos de enlace, constituyendo el documento técnico de referencia para la correcta ejecución del cableado y la verificación de la instalación durante el montaje y puesta en marcha

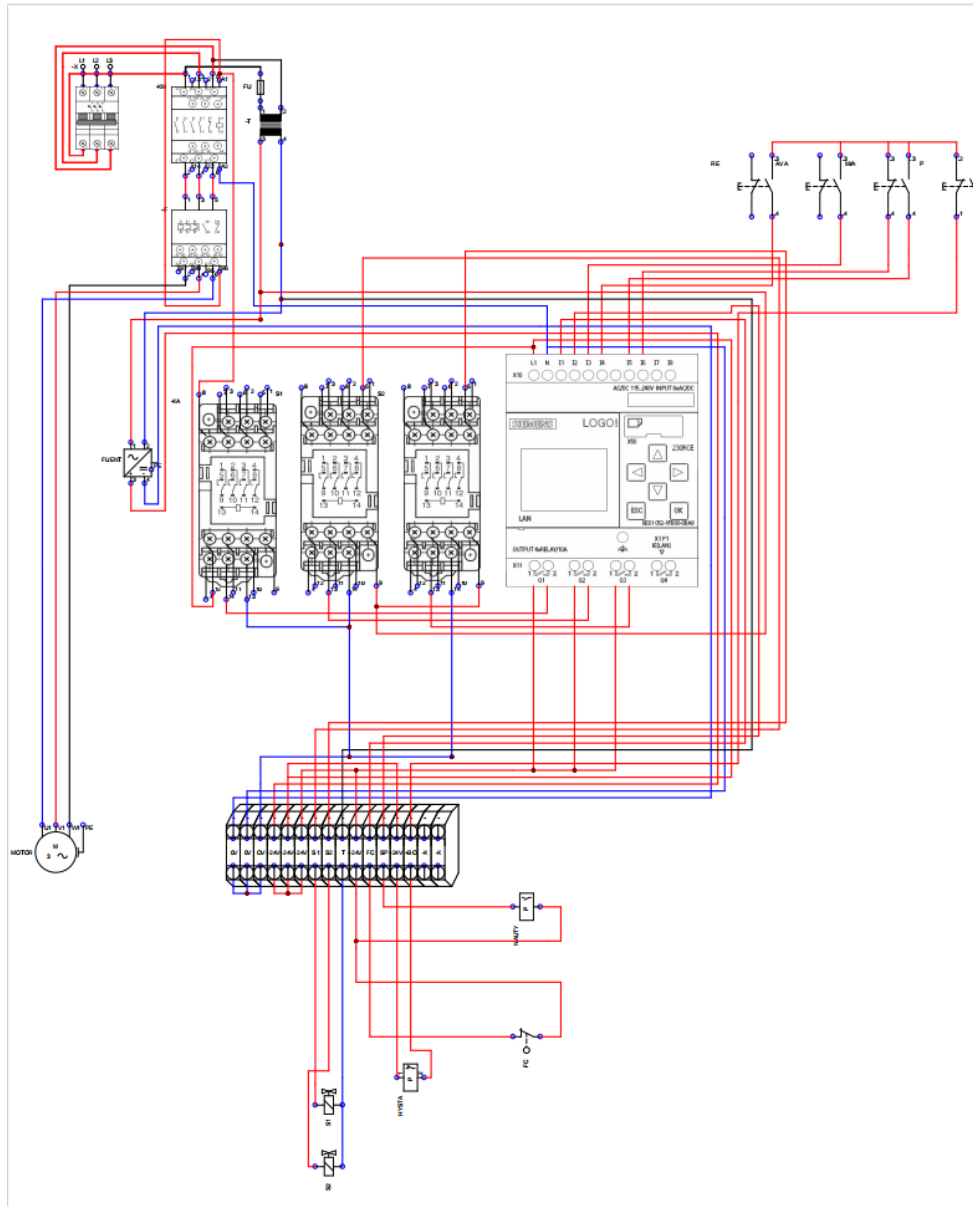


Figura 28. Diagrama de conexiones de nuevo tablero de control con todas sus conexiones a clemas realizado en cade simu.

Designación de entradas y salidas del PLC de la máquina compactadora. En este esquema se asignan las señales de los dispositivos de mando y sensado a las entradas, así como las salidas hacia actuadores y elementos de señalización, garantizando la correcta correspondencia entre el cableado, el diagrama eléctrico y la programación del controlador.

Entradas		Salidas	
I0.1	Final de carrera	Q0.1	Motor
I0.2	Sensor de presión	Q0.2	Electroválvula expandir
I0.3	Botón avance manual/automático	Q0.3	Electroválvula contraer
I0.4	Retorno manual		
I0.5	Selector manual		
I0.6	Selector automático		

Tabla 1. tabla con designación de entradas y salidas de plc para los diferentes elementos que conforman el control

Se procedió a programar el nuevo control en lenguaje de contactos (KOP) utilizando el software MICROWIN STEP 7.

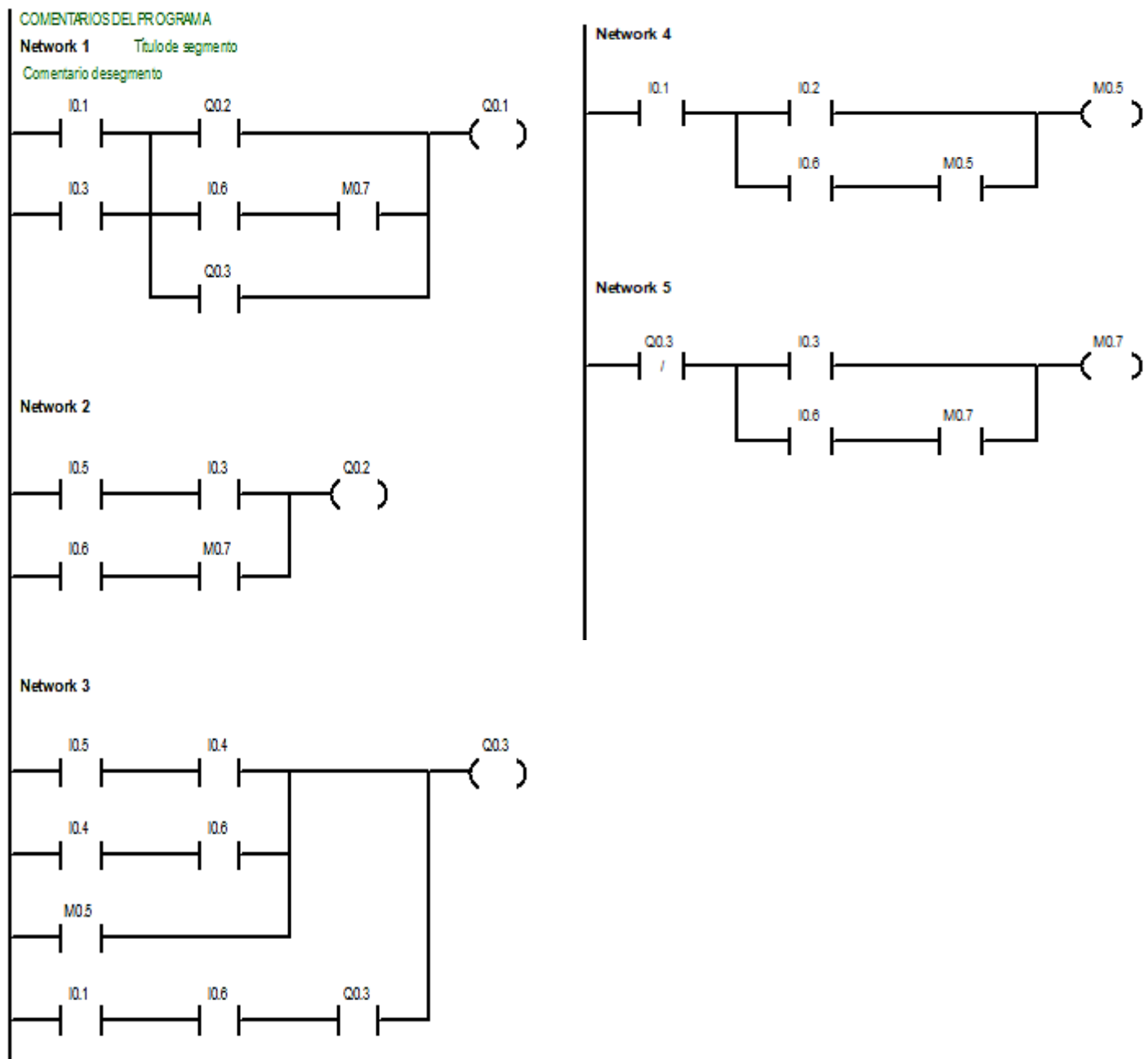


Figura 29. programa de control de PLC en lenguaje kop con cinco líneas de trabajo realizado en easysoft.

Previo a la instalación del nuevo tablero, se empleó el software **PC Simu** para realizar la simulación operativa de la máquina con el nuevo panel de control. Esta herramienta permitió

reproducir virtualmente las condiciones de funcionamiento previstas, facilitando la verificación de la lógica de control y la detección anticipada de posibles fallas en la programación.

La simulación previa resulta esencial en proyectos de reacondicionamiento de tableros, ya que permite optimizar el diseño del sistema de control, reducir tiempos de ajuste en campo, minimizar riesgos de daño a los equipos y garantizar que la secuencia de operaciones se ejecute conforme a los requerimientos establecidos antes de la implementación física

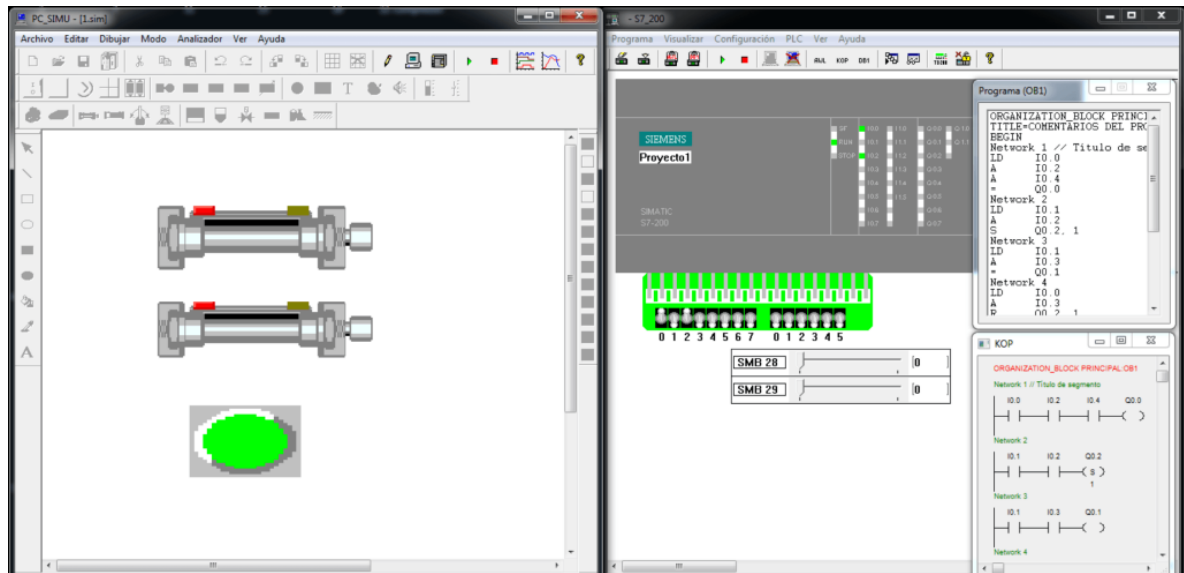


Figura 30. simulación de funcionamiento de programa de control de la maquina compactadora realizado en microwin step 7 y pc simu

Con base en el diseño tridimensional previamente desarrollado, que incluía dimensiones exactas y una distribución precisa de cada componente, se procedió a la instalación de rieles y canaletas como estructura base para el montaje del tablero de control. La colocación de estos elementos se efectuó considerando criterios de accesibilidad, optimización del espacio,

facilidad de mantenimiento y correcta organización del cableado, asegurando una instalación ordenada y segura para la posterior integración de los dispositivos eléctricos y electrónicos.



Figura 31. colocación de riel para montaje de elementos de control

Tras la instalación de los rieles y canaletas, se procedió a la disposición y conexión de los elementos de control, ejecutando el cableado conforme al diagrama eléctrico presentado en la figura 25 y respetando la distribución y organización definidas en el modelo tridimensional mostrado en la figura 14. Este procedimiento garantizó la correcta integración de los componentes y la uniformidad en el tendido de conductores.

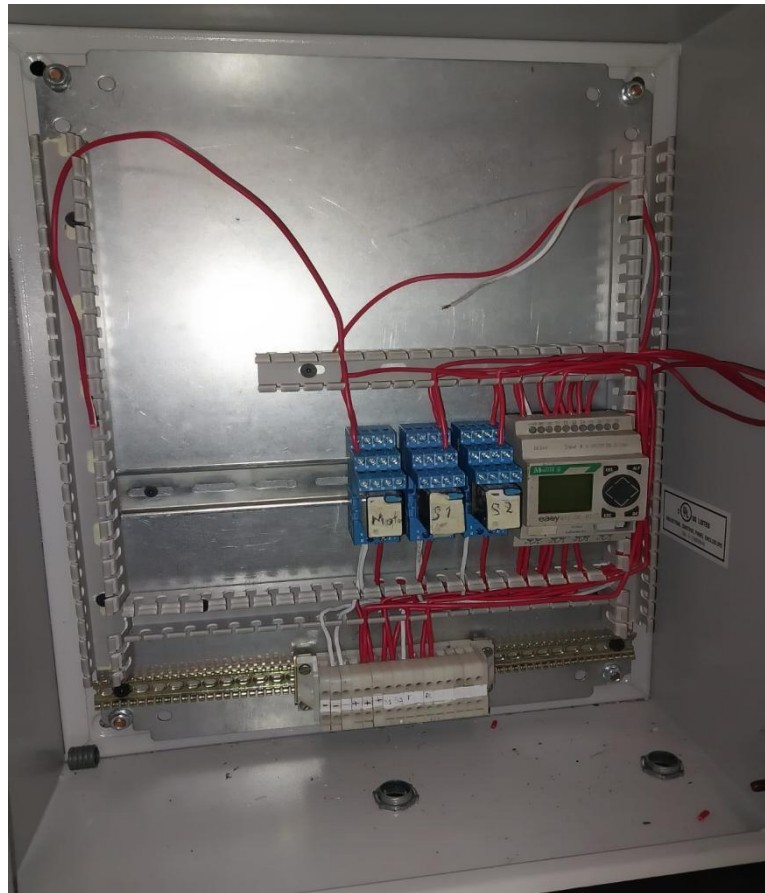


Figura 32. colocación y conexión de nuevos elementos de control

Se llevó a cabo la instalación de la botonera y la colocación de las tapas de canaletas en el tablero eléctrico de la máquina compactadora. La botonera está compuesta por cuatro elementos: un botón de paro de emergencia, un botón de arranque, un selector para operación manual o automática y un botón de reversa. Estas incorporaciones permiten una operación segura, versátil y de fácil acceso para el operador, protegiendo al mismo tiempo el cableado mediante el cierre de las canaletas



Figura

a

Se realizó la colocación y montaje del tablero eléctrico de la máquina compactadora, así como la conexión de su alimentación eléctrica, asegurando la correcta fijación mecánica, el adecuado conexionado y el óptimo funcionamiento del sistema.



Figura 34. actual tablero de maquina compactadora

Análisis de resultados

La instalación del nuevo tablero eléctrico con PLC en la máquina compactadora mejoró de forma notable la operación. La **automatización de secuencias** eliminó fallas típicas de la lógica cableada, redujo los tiempos de ciclo y aumentó la uniformidad del producto final.

En **seguridad**, se integraron paro de emergencia, selectores de modo y sensores de protección, además de interruptores termomagnéticos y relevadores de sobrecarga. El gabinete hermético y organizado protege los componentes contra polvo, humedad y vibraciones.

El **mantenimiento** ahora es más ágil gracias al monitoreo de entradas y salidas en el PLC, que permite detectar fallas rápidamente y reducir paros no programados. La documentación técnica generada será de utilidad para futuras modificaciones.

En **eficiencia energética**, el control preciso de actuadores redujo consumos innecesarios, generando ahorro económico y un funcionamiento más sostenible. El diseño modular del

tablero facilitará la integración de nuevos dispositivos en el futuro sin reemplazar todo el sistema.

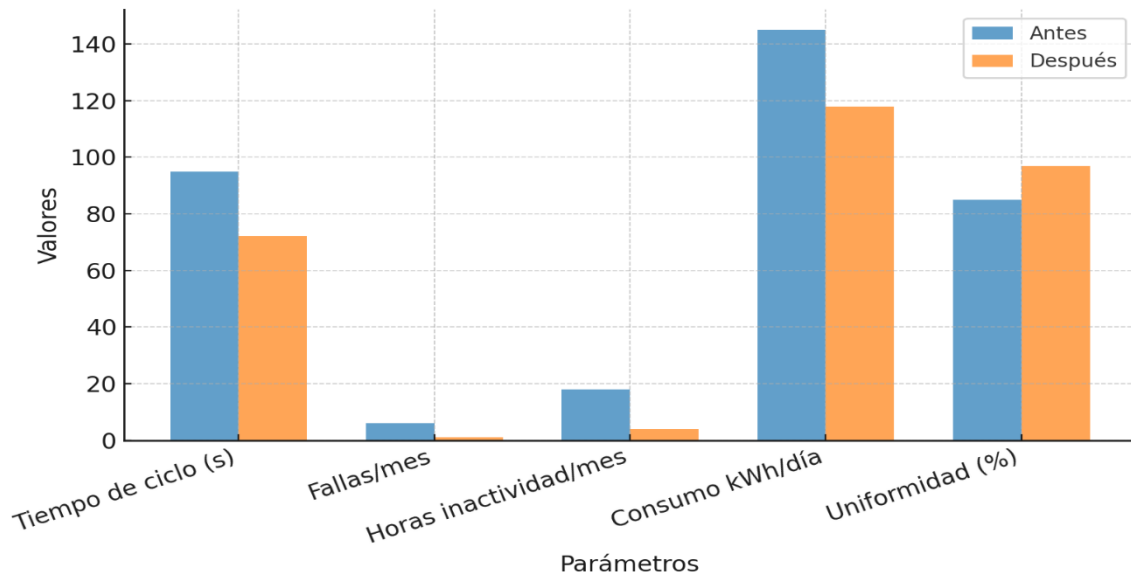
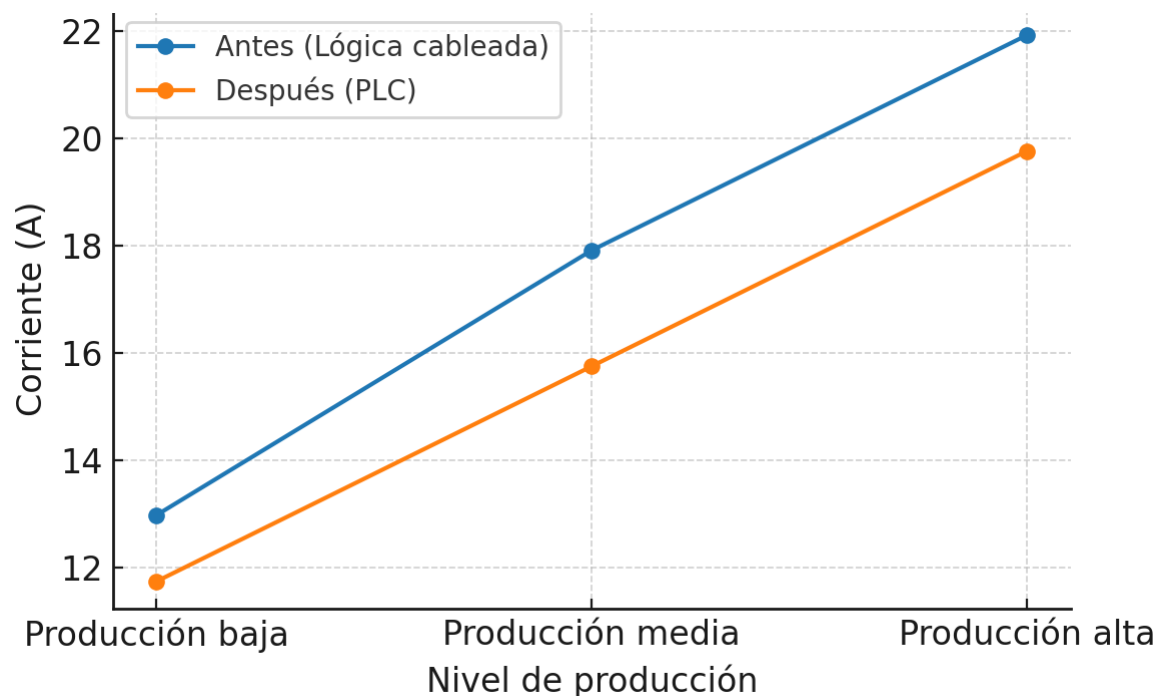


Tabla 2. comparación antes y después del nuevo tablero

La disminución en el consumo de corriente se debe al **control más preciso de los actuadores** implementado con el PLC. En el sistema anterior con lógica cableada, los motores y componentes eléctricos permanecían energizados durante más tiempo del necesario, incluso en fases inactivas del ciclo.

El nuevo sistema optimiza la secuencia de trabajo, activando cada dispositivo únicamente cuando es requerido. Esto reduce la corriente demandada en cada nivel de producción y disminuye el calentamiento de los equipos, prolongando su vida útil.



Adicionalmente, la programación del PLC evita arranques simultáneos innecesarios y distribuye la carga eléctrica, mejorando el factor de utilización y generando ahorros energéticos

Tabla 3. consumo de corriente del motor

La reducción en el tiempo de detección de fallas se debe principalmente a la capacidad del PLC para **monitorear en tiempo real** las entradas y salidas del sistema, mostrando de forma inmediata qué componente presenta una condición anómala.

En el sistema anterior con lógica cableada, la localización de la falla requería seguir físicamente el circuito, inspeccionar conexiones y medir parámetros de forma manual, lo que alargaba el tiempo de diagnóstico.

Con el nuevo tablero, el operador o técnico puede identificar el fallo mediante el software de supervisión o directamente en el display del PLC, reduciendo el tiempo de parada de la máquina y evitando pérdidas de producción.

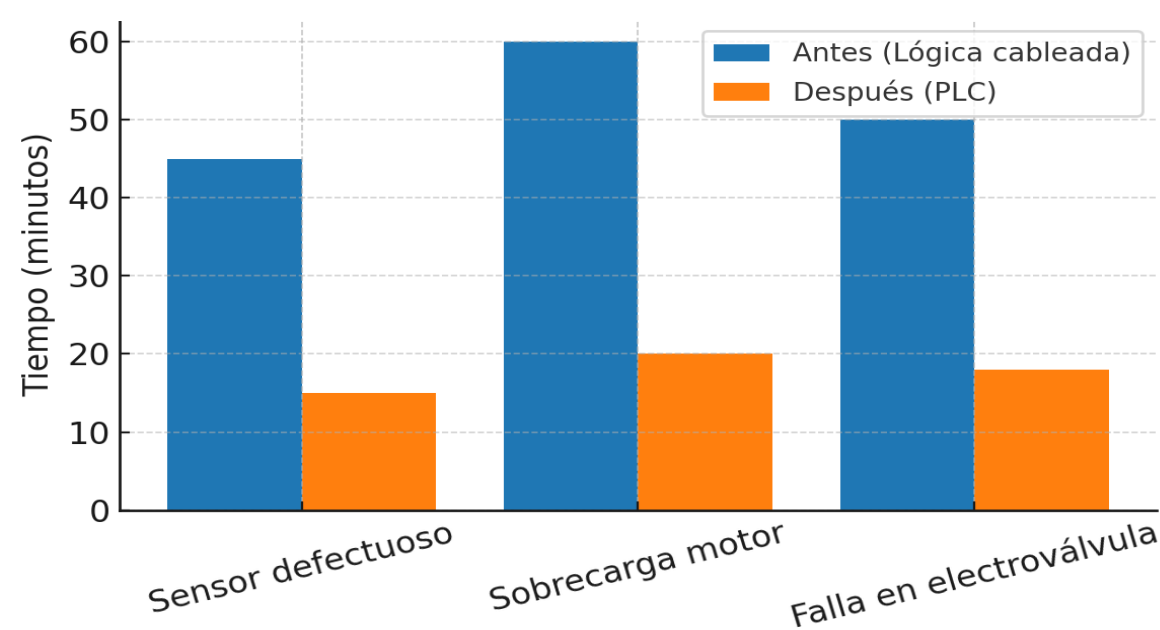


Tabla 4. tiempo promedio de detección de fallas

Conclusiones

La implementación del nuevo tablero eléctrico con PLC en la máquina compactadora de la empresa Blue Tissue S.A.P.I de C.V. representó una mejora sustancial en términos de productividad, seguridad y eficiencia energética. El reemplazo de la lógica cableada tradicional por un sistema de control programable permitió optimizar las secuencias de trabajo, eliminando errores comunes y reduciendo los tiempos de ciclo. Esto se tradujo en un producto final con mayor uniformidad y menor variabilidad en el proceso de compactación.

En materia de seguridad, la incorporación de dispositivos como paro de emergencia, selectores de modo, sensores de protección, interruptores termomagnéticos y relevadores de sobrecarga incrementó la protección del personal y de la maquinaria. El diseño del gabinete hermético y organizado garantiza la integridad de los componentes ante condiciones ambientales adversas y facilita su mantenimiento.

En cuanto a eficiencia operativa, el PLC permitió un control preciso de los actuadores, evitando consumos innecesarios de energía y distribuyendo la carga de forma más equilibrada. Esto redujo el consumo de corriente del motor y prolongó la vida útil de los equipos. Asimismo, el monitoreo en tiempo real de las entradas y salidas acortó significativamente los tiempos de detección de fallas, reduciendo los paros no programados y mejorando la disponibilidad de la máquina.

En general, el proyecto no solo cumplió con los objetivos planteados, sino que dejó una base tecnológica sólida para futuras expansiones o integraciones en el sistema de control, alineándose con los principios de la Industria 4.0 y las necesidades de competitividad industrial.

Recomendaciones

1. **Capacitación continua:** Implementar un programa de formación para operadores y personal de mantenimiento en el manejo del PLC, interpretación de diagramas eléctricos y diagnóstico de fallas mediante el software de supervisión.
2. **Mantenimiento preventivo y predictivo:** Establecer un plan de revisiones periódicas al tablero, componentes de potencia, sensores y actuadores, apoyándose en las capacidades de monitoreo del PLC para anticipar fallas.
3. **Documentación actualizada:** Mantener al día la documentación técnica (diagramas, listados de entradas y salidas, programación) para facilitar futuras modificaciones y reparaciones.
4. **Monitoreo remoto:** Evaluar la integración de un sistema SCADA o interfaz HMI conectada en red para permitir la supervisión y control a distancia.
5. **Optimización energética:** Realizar auditorías energéticas periódicas para identificar posibles mejoras en la programación y en el uso de la maquinaria, con el fin de reducir aún más el consumo eléctrico.
6. **Expansión tecnológica:** Considerar la implementación de sensores adicionales, sistemas IoT y comunicación industrial para ampliar la capacidad de análisis de datos y control inteligente

Referencias bibliográficas

7B Compactadoras. (2023). *Compactadoras de residuos: Tipos y aplicaciones*. Recuperado de <https://www.7bcompactadoras.com>

All Machines. (2019). *Tipos de compactadoras y sus aplicaciones*. Recuperado de <https://www.allmachines.com>

Caterpillar. (2023). *Guía de compactación de suelos*. Caterpillar Inc. Recuperado de <https://www.caterpillar.com>

Siemens AG. (2024). *PLC Programming with STEP 7 MicroWIN*. Siemens Industry.

ABB Ltd. (2023). *Manual técnico de interruptores termomagnéticos*. ABB Electrification.

IEC. (2013). *IEC 60529: Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*. International Electrotechnical Commission.

Bolton, W. (2021). *Programmable Logic Controllers* (7.^a ed.). Newnes.