



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS QUE PERMITAN LA  
REPOTENCIACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA FRESADORA  
DECKEL FP4M TYP 2271**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: CHRISTIAN ADRIAN MONTERO BERMEO

TUTOR: ING. IVAN MARCELO ESCANDÓN DEIDÁN MGTR

Cuenca – Ecuador

2026

# **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Christian Adrian Montero Bermeo con documento de identificación N° 0107628661 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 05 de Febrero del 2026

Atentamente,



---

Christian Adrian Montero Bermeo  
0107628661

# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Christian Adrian Montero Bermeo con documento de identificación N° 0107628661, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor de la propuesta tecnológica: "Diseño y selección de elementos que permitan la repotenciación y automatización de una fresadora Deckel FP4M TYP 2271", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 05 de Febrero del 2026

Atentamente,



---

Christian Adrian Montero Bermeo

0107628661

# CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, IVAN MARCELO ESCANDÓN DEIDÁN con documento de identificación N° 0103330999, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS QUE PERMITAN LA REPOTENCIACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA FRESADORA DECKEL FP4M TYP 2271, realizado por Christian Adrian Montero Bermeo con documento de identificación N° 0107628661, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción propuesta tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 05 de Febrero del 2026

Atentamente,



---

IVAN MARCELO ESCANDÓN DEIDÁN  
0103330999

## Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a mis padres, quienes me han brindado su apoyo incondicional desde el inicio de mi vida. A mi padre, por inculcarme desde muy pequeño el interés por el ámbito técnico, enseñándome principios de electricidad y mecánica, y por motivarme y hacer el esfuerzo para formarme en un colegio técnico, como el Colegio Técnico Salesiano, donde adquirí conocimientos fundamentales que han sido clave en mi desarrollo profesional, y siempre llevaré en mi pecho muy orgulloso esa tenacidad para trabajar y seguir aprendiendo.

A mi madre, por su fortaleza, entrega y amor constante. Siempre ha sido una madre ejemplar, a quien con orgullo puedo decir que hasta hoy continúa brindándonos su apoyo y cuidado, y a quien agradezco profundamente por acompañarme en cada etapa de mi vida. En los momentos más difíciles de la etapa final de la carrera, cuando todo parecía volverse más complejo, nunca dudó en apoyarme tanto emocional como económicamente, permitiéndome alcanzar este objetivo.

A ambos, mi más sincero agradecimiento por confiar en mí hasta el último momento y por ser el pilar fundamental que hizo posible la culminación de este trabajo.

## **Agradecimientos**

Agradezco en primer lugar a Dios, por brindarme la fortaleza, la paciencia y la constancia necesarias para culminar esta etapa importante de mi formación profesional.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida académica y personal, por su confianza y por motivarme a seguir adelante incluso en los momentos más complejos del proceso.

Agradezco de manera especial a mi tutor de tesis, por su orientación, acompañamiento y valiosos aportes técnicos durante el desarrollo de este trabajo, los cuales fueron fundamentales para estructurar y consolidar la propuesta presentada.

De igual forma, extiendo mi agradecimiento a la empresa Proyecplast, por brindar la información técnica, el acceso a la fresadora Deckel FP4M y la experiencia práctica necesaria para el desarrollo de este proyecto de repotenciación y automatización, permitiéndome aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera en un entorno real.

A mis docentes de la carrera, quienes con sus enseñanzas contribuyeron de manera significativa a mi formación profesional, y a mis compañeros y amigos, por el apoyo, la motivación y el compañerismo demostrados a lo largo de este proceso académico.

Finalmente, agradezco a la institución universitaria por proporcionarme los recursos y el entorno académico necesarios para alcanzar este objetivo profesional.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIV</b>
<b>Abstract</b>	<b>XV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>1</b>
2.1. Descripción del problema . . . . .	1
2.2. Antecedentes . . . . .	2
2.3. Importancia y alcances . . . . .	3
2.4. Delimitación . . . . .	4
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	5
2.4.2. Temporal . . . . .	5
2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .	5
<b>3. Objetivos</b>	<b>5</b>
3.1. Objetivos Específicos . . . . .	5
<b>4. Hipótesis</b>	<b>6</b>
4.1. Hipótesis Específicos . . . . .	6
<b>5. Marco Teórico</b>	<b>6</b>
5.1. Historia y evolución de las fresadoras . . . . .	6
5.2. Fundamentos de la mecánica de fresadoras . . . . .	7
5.3. Limitaciones técnicas y operativas de fresadoras convencionales . . . . .	8

5.4.	Control Numérico Computarizado (CNC) . . . . .	8
5.5.	Retrofitting o repotenciación de maquinaria . . . . .	8
5.6.	Tecnologías y componentes usados en modernización . . . . .	9
5.7.	Selección e integración de sistemas de control para fresadoras CNC . . . . .	9
5.8.	Impacto de la automatización en la productividad y competitividad . . . . .	10
5.9.	Normativas y estándares aplicables . . . . .	10
<b>6.</b>	<b>Marco metodológico</b>	<b>10</b>
6.1.	Descripción de la Máquina . . . . .	10
6.1.1.	Especificaciones técnicas de los actuadores originales . . . . .	12
6.1.2.	Sistema de refrigeración y evacuación de viruta . . . . .	13
6.1.3.	Sistema de lubricación centralizada . . . . .	13
6.2.	Inspección y Evaluación del Estado Actual . . . . .	14
6.2.1.	Bombas del sistema . . . . .	19
6.3.	Levantamiento de Información Técnica . . . . .	19
6.3.1.	Recorridos de los Ejes . . . . .	20
6.3.2.	Dimensiones de la Mesa de Trabajo . . . . .	20
6.3.3.	Sistema de Transmisión por Husillos . . . . .	21
6.3.4.	Sistema de Guías . . . . .	21
6.3.5.	Potencia del Husillo . . . . .	21
6.3.6.	Alimentación Eléctrica . . . . .	21
6.4.	Diagnóstico de Componentes . . . . .	22
6.5.	Definición de Requerimientos Mecánicos, Eléctricos y de Control . . . . .	23
6.5.1.	Requerimientos Mecánicos . . . . .	23
6.5.2.	Requerimientos Eléctricos . . . . .	24
6.5.3.	Requerimientos del Sistema de Control . . . . .	24
6.6.	Definición de Especificaciones Mecánicas . . . . .	24
6.6.1.	Número de ejes y tipo de movimiento . . . . .	25
6.6.2.	Recorridos de los ejes . . . . .	25
6.6.3.	Sistema de transmisión de movimiento . . . . .	25
6.6.4.	Paso del husillo . . . . .	25
6.6.5.	Capacidad de carga de los ejes . . . . .	25
6.6.6.	Precisión y repetibilidad esperada . . . . .	26
6.7.	Modelado CAD de los Componentes Mecánicos . . . . .	26
6.7.1.	Objetivo del modelado CAD . . . . .	26

6.7.2.	Criterios generales de diseño . . . . .	26
6.7.3.	Diseño del brazo de fijación de la consola . . . . .	26
6.7.4.	Definición funcional de la consola de control . . . . .	34
6.7.5.	Diseño de la carcasa de la consola de control . . . . .	34
6.7.6.	Diseño del gabinete eléctrico de control y potencia . . . . .	38
6.7.7.	Criterios de selección de componentes del gabinete eléctrico . . . . .	39
6.8.	Verificación de diseño de los componentes mecánicos . . . . .	42
6.9.	Diseño del sistema eléctrico y electrónico . . . . .	43
6.9.1.	Requerimientos del sistema eléctrico . . . . .	44
6.9.2.	Arquitectura general del sistema eléctrico . . . . .	44
6.9.3.	Diseño del sistema de potencia . . . . .	45
6.9.4.	Diseño del sistema de mando . . . . .	49
6.9.5.	Selección de componentes eléctricos . . . . .	51
6.9.6.	Selección de actuadores para el sistema de avance (Ejes X, Y y Z) . . . . .	52
6.10.	Propuesta de adaptación del sistema de control numérico (CNC) . . . . .	54
6.10.1.	Arquitectura de conexión . . . . .	55
6.10.2.	Identificación de entradas y salidas del sistema CNC . . . . .	57
<b>7.</b>	<b>Resultados</b>	<b>64</b>
7.1.	Resultados del diagnóstico y definición de requerimientos . . . . .	65
7.2.	Resultados del diseño de los elementos mecánicos . . . . .	67
7.2.1.	Diseño de la carcasa de la consola de control CNC . . . . .	67
7.2.2.	Diseño del brazo de soporte de la consola . . . . .	68
7.2.3.	Diseño del gabinete eléctrico . . . . .	68
7.2.4.	Vista general del conjunto mecánico y disposición del cableado . . . . .	69
7.3.	Resultados del diseño del sistema eléctrico y electrónico . . . . .	71
7.3.1.	Resultado del diseño del circuito de potencia . . . . .	72
7.3.2.	Resultado del diseño del circuito de mando . . . . .	74
7.3.3.	Lista general de materiales del sistema eléctrico y electrónico . . . . .	75
7.4.	Resultados de la propuesta de adaptación del sistema CNC . . . . .	77
<b>8.</b>	<b>Cronograma</b>	<b>80</b>
<b>9.</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>81</b>
9.1.	Talento humano . . . . .	81
9.2.	Recursos materiales . . . . .	81

9.3. Presupuesto Total . . . . .	82
<b>10. Conclusiones</b>	<b>82</b>
<b>11. Recomendaciones</b>	<b>83</b>
<b>Referencias</b>	<b>86</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>87</b>

## Lista de Tablas

1.	Especificaciones técnicas de los motores de avance (Ejes X, Y, Z) . . . . .	12
2.	Especificaciones técnicas de fábrica del motor principal AEG . . . . .	13
3.	Especificaciones de la bomba de refrigerante . . . . .	13
4.	Especificaciones de la bomba de lubricación . . . . .	14
5.	Recorridos referenciales de los ejes . . . . .	20
6.	Dimensiones referenciales de la mesa de trabajo . . . . .	21
7.	Diagnóstico de componentes relevantes de la fresadora . . . . .	22
8.	Nomenclatura y descripción de etiquetas del esquema de potencia . . . . .	47
9.	Abreviaturas del esquema de potencia para periféricos . . . . .	49
10.	Identificación de componentes y etiquetas del circuito de mando . . . . .	51
11.	Especificaciones técnicas detalladas de los componentes de Fuerza y Mando .	52
12.	Comparativa técnica de los servomotores seleccionados para la Deckel FP4M	53
13.	Especificaciones del ecosistema de control SZGH . . . . .	54
14.	Señales relevantes (I/O) utilizadas en la fresadora Deckel FP4M . . . . .	64
15.	Resultados del análisis técnico de la fresadora Deckel FP4M (Objetivo Específico 1) . . . . .	66
16.	Resultados del diseño eléctrico y electrónico . . . . .	72
17.	Lista general de materiales del sistema eléctrico y electrónico . . . . .	76
18.	Resultados del diseño del sistema CNC (Objetivo Específico 4) . . . . .	77
19.	Cronograma de actividades. . . . .	80
20.	Recurso de talento humano . . . . .	81
21.	Recursos materiales . . . . .	81
22.	Recursos materiales . . . . .	82

## Lista de Figuras

1.	Esquema del proceso de fresado. Fuente:IMH Campus (2024).	7
2.	Fresadora Deckel FP4M y sus ejes principales	11
3.	Estado actual de la fresadora	15
4.	Estado actual de las guías prismáticas de la fresadora Deckel FP4M	16
5.	Estado actual de las guías prismáticas de la fresadora Deckel FP4M	18
6.	Modelo CAD del brazo de fijación de la consola y sus partes	28
7.	Placa de anclaje	29
8.	Armado del conjunto de la placa de anclaje del brazo de fijación	30
9.	Modelo CAD parte interna de articulación rotacional	31
10.	Modelo CAD parte externa de articulación rotacional	32
11.	Dimensiones en milímetros del brazo de fijación de la consola	33
12.	Dimensiones referenciales del panel de control CNC SZGH-CNC1000MDb	35
13.	Modelo CAD de la carcasa de la consola de control	36
14.	Modelo CAD de la carcasa de la consola de control con dimensiones referenciales	37
15.	Boceto preliminar de la disposición interna del gabinete eléctrico	40
16.	Diseño del gabinete eléctrico	41
17.	Diseño del gabinete eléctrico	42
18.	Modelo CAD de la integración del brazo de fijación y la consola de control en la fresadora Deckel FP4M	43
19.	Esquema de potencia para la distribución trifásica de motores y drivers.	46
20.	Esquema de potencia para las bombas de refrigerante e hidráulica.	48
21.	Diagrama de mando y control del sistema de automatización.	50
22.	Diagrama de interconexión del ecosistema SZGH-CNC1000MDb.	56
23.	Conectores del controlador SZGH-CNC1000MDb.	58
24.	Socket CN5 y disposición de pines del controlador CNC SZGH.	59
25.	Socket CN9 y disposición de pines.	60
26.	Conector CN3 y disposición de pines.	61
27.	Conector CN10 y disposición de pines.	62
28.	Tarjeta de expansión de entradas y salidas SZGH-CNC-IO-12 utilizada como interfaz entre el controlador CNC y los dispositivos externos	63
29.	Diseño final de la consola de control CNC.	67
30.	Diseño final del brazo de fijación.	68
31.	Diseño final del gabinete eléctrico.	69

32.	Vista general del conjunto mecánico y disposición del cableado entre el controlador CNC y el gabinete eléctrico. . . . .	70
33.	Vista superior del conjunto mecánico y recorrido del brazo de soporte. . . . .	71
34.	Vista general del conjunto mecánico propuesto para la fresadora Deckel FP4M. . . . .	71
35.	Esquema final del circuito de potencia de la fresadora Deckel FP4M. . . . .	73
36.	Esquema final del circuito de potencia de las bombas de la fresadora Deckel FP4M. . . . .	74
37.	Esquema final del circuito de mando de la fresadora Deckel FP4M. . . . .	75

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de una propuesta integral para la repotenciación y automatización de la fresadora universal Deckel FP4M, mediante la adecuación de sus sistemas mecánicos junto a la modernización de sus sistemas eléctricos y electrónicos, con el fin de adaptar un sistema de control numérico computarizado (CNC) y extender su vida útil operativa de la máquina.

Inicialmente, se realizó un diagnóstico técnico del estado actual de la fresadora, evaluando los principales componentes mecánicos, eléctricos y de control, lo que permitió identificar los elementos reutilizables y aquellos que requieren sustitución o rediseño. A partir de este análisis se establecieron los requerimientos técnicos necesarios para la repotenciación de la fresadora.

En la parte mecánica, se desarrolló el diseño de los elementos estructurales y de soporte requeridos para la integración del sistema CNC, incluyendo la consola de control, el brazo de fijación y el gabinete eléctrico, considerando criterios de rigidez, ergonomía y facilidad de mantenimiento. Los diseños fueron modelados mediante herramientas CAD, definiendo dimensiones, tolerancias y disposición de componentes.

posteriormente, se abordó el diseño del sistema eléctrico y electrónico de la fresadora, enfocándose en la arquitectura del sistema de potencia y del circuito de mando. Se definió la distribución de la alimentación de los dispositivos de protección, maniobra y seguridad, así como la selección de actuadores y elementos auxiliares necesarios para el funcionamiento seguro y confiable de la máquina repotenciada.

Finalmente, se planteó una propuesta para la adaptación del sistema CNC, basada en tecnología de la marca SZGH, describiendo la arquitectura general del sistema, la identificación de entradas y salidas, los métodos de interconexión y la integración con los sistemas eléctricos diseñados previamente. Esta propuesta permite la operación automática de la fresadora, garantizando compatibilidad electromecánica, escalabilidad del sistema y posibilidad de futuras ampliaciones.

Como resultado, el trabajo presenta una solución técnica viable para la repotenciación de la fresadora Deckel FP4M, que combina la reutilización de la estructura mecánica existente con la incorporación de tecnologías modernas de actuadores, protección y de control, contribuyendo a la modernización de equipos industriales y a la optimización de recursos tecnológicos.

**Palabras clave:** Repotenciación de maquinaria, fresadora Deckel FP4M, automatización industrial, sistema CNC, diseño eléctrico y electrónico.

## Abstract

This project aims to design a comprehensive proposal for the upgrading and automation of the Deckel FP4M universal milling machine. This will be achieved by adapting its mechanical systems and modernizing its electrical and electronic systems to accommodate a computer numerical control (CNC) system and extend the machine's operational lifespan.

Initially, a technical diagnosis of the milling machine's current condition was performed, evaluating the main mechanical, electrical, and control components. This allowed for the identification of reusable elements and those requiring replacement or redesign. Based on this analysis, the necessary technical requirements for upgrading the milling machine were established.

In terms of the mechanical components, the design of the structural and support elements required for integrating the CNC system was developed. This included the control console, the clamping arm, and the electrical cabinet, considering criteria of rigidity, ergonomics, and ease of maintenance. The designs were modeled using CAD tools, defining dimensions, tolerances, and component layout.

Subsequently, the design of the milling machine's electrical and electronic system was addressed, focusing on the power system architecture and the control circuit. The power supply distribution for the protection, control, and safety devices was defined, as well as the selection of actuators and auxiliary components necessary for the safe and reliable operation of the upgraded machine.

Finally, a proposal for adapting the CNC system, based on SZGH technology, was presented. This proposal describes the system's overall architecture, identifies inputs and outputs, outlines the interconnection methods, and describes its integration with the previously designed electrical systems. This proposal enables the automatic operation of the milling machine, ensuring electromechanical compatibility, system scalability, and the possibility of future expansion.

As a result, this work presents a viable technical solution for upgrading the Deckel FP4M milling machine. This solution combines the reuse of the existing mechanical structure with the incorporation of modern actuator, protection, and control technologies, contributing to the modernization of industrial equipment and the optimization of technological resources.

**Keywords:** Machinery upgrades, Deckel FP4M milling machine, industrial automation, CNC system, electrical and electronic design.

# 1. Introducción

El sector laboral actual requiere equipos de mecanizado que sean de alta precisión, confiables y adaptables a sistemas automatizados y de control numérico computarizado. Desafortunadamente, muchas herramientas de máquina bien estructuradas que proporcionan altos valores mecánicos están obsoletas debido a las deficiencias de sus sistemas eléctricos y de control, reduciendo su competitividad en rendimiento y aumentando sus costos de reemplazo. La fresadora universal Deckel FP4M sirve como un ejemplo clásico de tales máquinas. A pesar de tener una estructura mecánica sólida y un diseño de alta precisión, su sistema de control original se ha vuelto obsoleto y, por lo tanto, operar el sistema y sus problemas de mantenimiento y operación automatizada pueden ser muy difíciles. En este contexto, el repotenciamiento y la automatización de este tipo de equipos se presenta como una alternativa viable en términos de costo y técnica frente a la maquinaria nueva. El objetivo de este trabajo es describir una propuesta completa para repotenciar y automatizar la fresadora Deckel FP4M: el diseño y montaje de su sistema mecánico, eléctrico y electrónico con la adaptación de un sistema de control numérico computarizado (CNC). Su propuesta tiene como objetivo extender la vida útil de la máquina, haciéndola más efectiva y facilitando su integración en entornos de fabricación existentes. Esto requiere un diagnóstico técnico inicial de la condición de la fresadora, evaluando componentes mecánicos, eléctricos y de control para discernir si hay elementos reutilizables o aquellos que necesitan rediseño o reemplazo. A partir de este análisis se elaboran los requisitos técnicos para el repotenciamiento del equipo. Los sistemas mecánicos de soporte, un sistema eléctrico y electrónico, y los circuitos de potencia y control requieren que la máquina funcione de manera segura y confiable, y luego se desarrolla un sistema de diseño. Finalmente, se propone una adaptación del sistema CNC con un entendimiento detallado de su estructura general e integración con los sistemas previamente diseñados. Presenta una solución técnica práctica para la modernización de instalaciones industriales existentes, utiliza recursos tecnológicos y mejora los procesos de automatización en el ámbito de la ingeniería mecatrónica.

## 2. Problema

### 2.1. Descripción del problema

La empresa **Proyecplast**, especializada en procesos de manufactura plástica, realizó la adquisición mediante importación de una fresadora universal **Deckel FP4M**. La máquina pre-

senta fallas en su sistema eléctrico, lo que impidió su correcto funcionamiento y la imposibilidad de integrarse a las operaciones productivas.

Debido a que su estructura mecánica se encuentra en buenas condiciones y mantiene las características de robustez y precisión propias del modelo, la empresa considera necesaria su repotenciación. Sin embargo, al tratarse de una máquina semiautomática sin un sistema de control moderno, actualmente no cumple con los estándares de producción que demandan mayor velocidad, repetibilidad y flexibilidad.

Como resultado, la ausencia de modernización ha llevado a que la fresadora sea un equipo sin uso en Proyecplast, con un nivel de aporte limitado frente a las exigencias productivas actuales de la empresa.

## **2.2. Antecedentes**

En el panorama industrial actual, la automatización de maquinaria convencional se ha convertido en una estrategia práctica y eficiente para prolongar la vida útil de equipos mecánicos, aunque siguen siendo sólidos y precisos, han quedado obsoletos en sus sistemas de control aun siendo muchas de estas semiautomáticas. En muchas pequeñas y medianas empresas todavía se emplean máquinas herramienta semiautomáticas que conservan una buena exactitud mecánica, pero que ya no logran responder a las demandas de la producción moderna, la cual exige mayor rapidez, precisión, trazabilidad y flexibilidad en los procesos.

La empresa **Proyecplast**, dedicada a la fabricación de componentes plásticos y metálicos, adquirió por importación una fresadora **Deckel FP4M Typ 2271** de origen alemán. El equipo mantiene un excelente estado mecánico pero fue recibido sin su sistema eléctrico ni de control operativo, lo que limita su uso dentro de la planta e impide realizar mecanizados complejos o automatizados. Sin embargo, gracias a la robustez de su estructura y a la precisión de sus elementos, la máquina presenta un alto potencial para ser repotenciada mediante la incorporación de tecnología CNC moderna con ajustes mecánicos necesarios para su correcto funcionamiento.

Repotenciar esta fresadora es técnica y económicamente más conveniente que adquirir una máquina nueva, en la actualidad una fresadora moderna puede llegar a ser necesario una inversión elevada, la modernización del sistema existente permitiría alcanzar prestaciones similares o igual con un costo considerablemente menor. Además, los avances tecnológicos actuales hacen posible integrar de manera modular y accesible controladores industriales, servomotores, interfaces HMI y sistemas de retroalimentación de posición.

Diversos estudios e investigaciones respaldan los beneficios del proceso de modernización

de maquinaria (*retrofit*), evidenciando mejoras notables en productividad, repetibilidad, reducción de errores humanos y un aumento directo en la seguridad operativa. Asimismo, este tipo de proyectos contribuye a la sostenibilidad industrial, ya que amplían la vida útil de los equipos y disminuyen el desperdicio tecnológico.

Además, la repotenciación tiene un impacto ambiental positivo, pues al reutilizar estructuras mecánicas existentes se reduce la generación de residuos industriales y la demanda de nuevos materiales. De esta manera, se optimiza el uso de recursos y se fomenta una producción más responsable y alineada con los principios de la economía circular.

Por ejemplo, A. Holguín (2023) desarrolló la repotenciación y automatización de una máquina envasadora y selladora de fundas de agua, logrando una mejora notable en su desempeño mediante la implementación de un sistema de control programable LOGO! y programación en lenguaje *Ladder*.

En este contexto, el trabajo de titulación va orientado a aprovechar el potencial mecánico de la **Deckel FP4M Typ 2271** para poder transformarla en una máquina con control numérico mediante la integración de componentes modernos de automatización. Esta intervención responde tanto a una necesidad técnica de la empresa **Proyecplast** como a una oportunidad académica, permitiendo como estudiante aplicar conocimientos multidisciplinarios en mecánica, electrónica, automatización y programación industrial.

### 2.3. Importancia y alcances

La automatización de los procesos en sectores productivos representa una gran necesidad ante las exigencias de eficiencia, reducción de errores humanos y mejora de la competitividad. En el contexto ecuatoriano, las PYMEs enfrentan barreras importantes para su transformación digital y adopción de tecnologías avanzadas, lo que limita el aprovechamiento de herramientas de automatización y control (CAF - Banco de Desarrollo de América Latina, 2022; Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2023). Además, los diagnósticos regionales y de políticas públicas señalan que persisten desafíos en el acceso a capacidades técnicas, financiamiento y uso productivo de las TIC, aspectos que inciden directamente en la gestión eficiente de recursos energéticos y en la implementación de sistemas automatizados en zonas rurales (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información del Ecuador, 2023; OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2024).

La fresadora **Deckel FP4M** es mecánicamente funcional, pero carece de un sistema de control digital que le permita integrarse en procesos de producción modernos. Esta limitación tecnológica se traduce en mayores tiempos de mecanizado y preparación, una alta dependencia

de la habilidad del operario y la imposibilidad de vincularse con flujos de trabajo digitales basados en CAD/CAM (Lee, 2008). Frente a esta situación, el presente proyecto busca repotenciar la máquina mediante la implementación de un sistema de control numérico computarizado (CNC), permitiendo a la empresa **Proyecplast** optimizar sus procesos de manufactura y transformar un equipo mecánicamente robusto pero tecnológicamente obsoleto en una herramienta productiva moderna y eficiente. tecnológicamente desactualizado en una herramienta productiva moderna.

La implementación de un sistema **CNC** permitirá a Proyecplast:

- Incrementar la precisión y repetibilidad de los mecanizados.
- Reducir los tiempos de ciclo y de preparación de trabajos.
- Aumentar la capacidad para fabricar piezas con geometrías complejas.
- Minimizar el error humano y mejorar la seguridad operativa.
- Extender la vida útil de una inversión de capital significativa.

Este trabajo beneficiará directamente a:

- **La empresa Proyecplast**, al dotarla de una fresadora CNC funcional, mejorando su capacidad productiva, calidad y reduciendo costos operativos a largo plazo.
- **La comunidad académica**, al servir como caso de estudio y ejemplo de la viabilidad técnica y económica de la modernización de maquinaria convencional.
- **El ámbito de la mecatrónica**, al generar conocimiento aplicado en el área del retrofitting de máquinas herramienta, y servir como material de consulta para futuros proyectos.

El alcance de esta investigación y desarrollo se centrará en la transformación integral de la fresadora **Deckel FP4M Typ 2271**. Esto incluye el diagnóstico de su estado actual, el diseño de un nuevo sistema de control basado en tecnología CNC, la selección e integración de actuadores (motores paso a paso o servomotores) y sensores de retroalimentación, el desarrollo de la interfaz hombre-máquina (HMI), y la adaptación mecánica necesaria para los nuevos componentes. El proyecto culminará con la presentación de diseños, planos mecánicos, esquemas de mando y fuerza del sistema eléctrico, así como simulaciones funcionales.

## 2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

### **2.4.1. Espacial o geográfica**

La investigación y el desarrollo del proyecto se llevarán a cabo en las instalaciones de la empresa Proyecplast, ubicada en la Av. Cornelio Vintimilla, sector parque industrial, en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. Específicamente, el trabajo se centrará en la fresadora Deckel FP4M Typ 2271 propiedad de dicha empresa

### **2.4.2. Temporal**

El proyecto se desarrollará en el periodo que abarca 240 horas.

### **2.4.3. Sectorial o institucional**

El proyecto se enmarca dentro del sector metalmecánico, específicamente en el área de modernización y automatización de máquinas herramienta convencionales para procesos de mecanizado por arranque de viruta. Institucionalmente, el trabajo se desarrolla en colaboración con la empresa Proyecplast, contando con el apoyo de su Gerente Propietario, Ing. Cesar Chica, y el Encargado del Proyecto, Ing. Cristian Calderon.

## **3. Objetivos**

- Diseñar y seleccionar los elementos que permitirá la repotenciación y automatización de una fresadora Deckel FP4M Typ 2271.

### **3.1. Objetivos Específicos**

- Establecer los requerimientos mecánicos, eléctricos y de control de la fresadora Deckel FP4M necesarios para su repotenciación y automatización.
- Diseñar los elementos mecánicos necesarios para la repotenciación de la fresadora Deckel FP4M.
- Diseñar el sistema eléctrico y electrónico necesarios para la repotenciación de la fresadora Deckel FP4M.
- Diseñar una propuesta para adaptar el sistema de control numérico computarizado que permita la operación automática de la fresadora Deckel FP4M.

## 4. Hipótesis

La repotenciación y automatización de la fresadora Deckel FP4M Typ 2271 es viable mediante el diseño y la correcta selección de elementos mecánicos, eléctricos y de control, permitiendo mejorar su funcionalidad, precisión y operatividad, de acuerdo con los requerimientos técnicos de una fresadora CNC de tres ejes.

### 4.1. Hipótesis Específicas

- El establecimiento adecuado de los requerimientos mecánicos, eléctricos y de control permitirá definir una base técnica sólida para la repotenciación de la fresadora Deckel FP4M.
- El diseño de nuevos elementos mecánicos garantizará la correcta integración de los sistemas de accionamiento sin comprometer la rigidez estructural de la máquina.
- El rediseño del sistema eléctrico y electrónico permitirá una operación segura y compatible con sistemas de automatización modernos.
- La implementación de un sistema de control numérico computarizado permitirá la operación automática de la fresadora Deckel FP4M, mejorando su precisión y facilidad de operación.

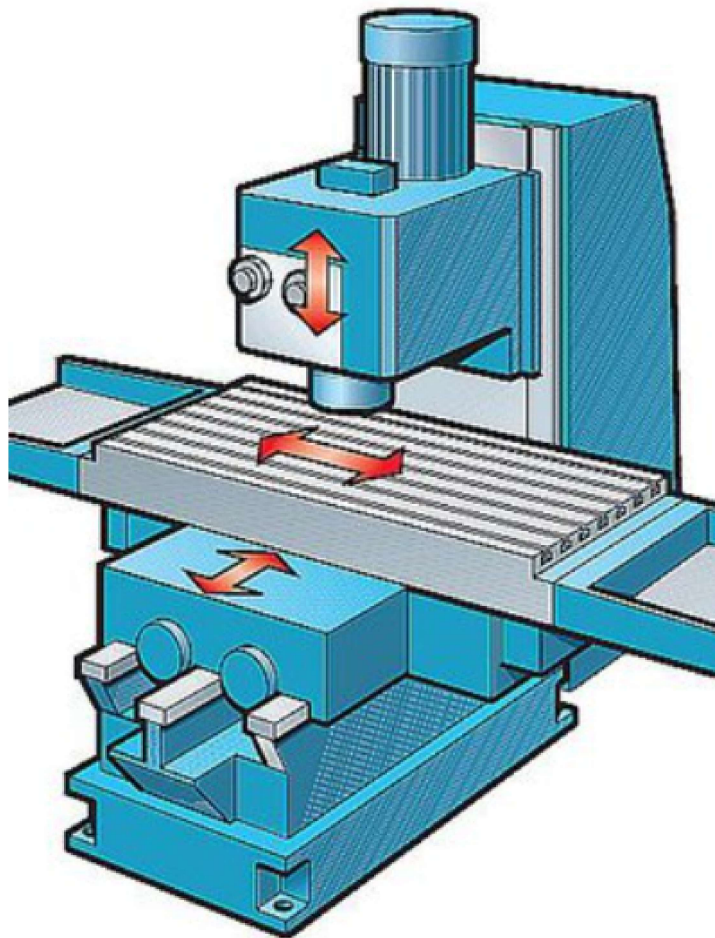
## 5. Marco Teórico

### 5.1. Historia y evolución de las fresadoras

Las fresadoras han desempeñado un papel esencial en la historia de la manufactura mecánica. Desde comienzos del siglo XX, estas máquinas han pasado de ser equipos totalmente manuales, operados únicamente por la destreza del técnico, a incorporar progresivamente tecnologías más automatizadas y precisas. En sus primeras versiones, las fresadoras convencionales destacaban por su gran rigidez y exactitud mecánica, aunque su rendimiento dependía casi por completo de la habilidad y experiencia del operario (Krar, Gill, y Smid, 2017; Łukasz Urbański, Wdowik, y Adamiak, 2019). Con el desarrollo de la electrónica y los sistemas de control, comenzaron a integrarse componentes digitales que dieron paso a los sistemas de control numérico computarizado (CNC), marcando un antes y un después en la producción industrial (Smid, 2010).

## 5.2. Fundamentos de la mecánica de fresadoras

Las fresadoras convencionales trabajan, por lo general, en tres ejes principales: **X**, **Y** y **Z**. A través de estos movimientos coordinados es posible realizar el mecanizado por arranque de viruta utilizando una herramienta de corte rotativa (Norton, 2019). Su diseño mecánico está conformado por elementos como husillos de avance, guías lineales y mesas desplazables, que en conjunto garantizan la precisión y la rigidez necesarias para cumplir con procesos de mecanizado exigentes. La selección adecuada de los materiales y un diseño estructural bien calculado son aspectos esenciales para reducir vibraciones y asegurar una alta calidad en las superficies mecanizadas (Lyshevski, 2018).



**Figura 1**

*Esquema del proceso de fresado. Fuente:IMH Campus (2024).*

En la Figura 1 se muestra un esquema explicativo del proceso de fresado y la disposición de los ejes en una fresadora, representativo de las operaciones que realiza el cabezal y la mesa durante el mecanizado por arranque de viruta. Este proceso combina el movimiento rotativo de la herramienta con el desplazamiento controlado de la pieza a lo largo de los ejes X, Y y Z, permitiendo la generación de la geometría deseada. IMH Campus (2024).

### **5.3. Limitaciones técnicas y operativas de fresadoras convencionales**

A pesar de su robustez, las fresadoras manuales enfrentan limitaciones críticas como la variabilidad causada por la intervención humana, fatiga operativa y tiempos prolongados para trabajos complejos (Krar y cols., 2017; Smid, 2010). Estas limitaciones afectan la repetibilidad, calidad y eficiencia de los procesos productivos. Además, su incapacidad para integrarse con sistemas CAD/CAM modernos las hace obsoletas frente a las demandas actuales de la industria (Lee, 2008).

### **5.4. Control Numérico Computarizado (CNC)**

El CNC automatiza el control de máquinas herramienta a través de programas codificados que permiten reproducir procesos con alta precisión y flexibilidad (Smid, 2010). Un sistema CNC típico incluye unidad de control, actuadores, sistemas de transmisión, sensores de retroalimentación, interfaces HMI y software CAM para generar trayectorias de herramienta (Lee, 2008; Petruzella, 2016; Wilson, 2020). Este avance reduce la dependencia del operario, mejora la calidad y aumenta la productividad (Schuler y Züperl, 2007).

### **5.5. Retrofitting o repotenciación de maquinaria**

El retrofit o repotenciación de maquinaria industrial consiste en la modernización de equipos existentes mediante la incorporación de tecnologías actuales de control, accionamiento y supervisión, con el objetivo de extender su vida útil, mejorar su desempeño y adecuarlos a nuevas exigencias productivas (Q. Holguín, 2023; Łukasz Urbański y cols., 2019). Esta estrategia resulta costo–efectiva y sustentable, ya que permite reutilizar estructuras mecánicas confiables que, pese a encontrarse en buen estado, presentan obsolescencia tecnológica en sus sistemas eléctricos y de control (Lyshevski, 2018).

El proceso de retrofit suele involucrar la sustitución o actualización de sistemas de control convencionales por soluciones basadas en PLC o CNC, así como la incorporación de nuevos sensores, actuadores, variadores de frecuencia y sistemas de interfaz hombre–máquina (HMI),

lo que permite optimizar la precisión, repetibilidad y seguridad en la operación de la máquina (Petruzella, 2016; Wilson, 2020).

A nivel local, diversos proyectos reportan la repotenciación de maquinaria industrial con resultados operativos medibles. En la industria cementera, el retrofitting aplicado en los sistemas de transporte de clinker y despacho de *Holcim Ecuador* permitió modernizar infraestructuras críticas, logrando una extensión de la vida útil de los activos y una mejora notable en la eficiencia de despacho Asociados (2023). Por otro lado, en el sector académico, la actualización de sistemas de control en fresadoras de la *ESPOL* resultó en un incremento de la potencia de corte y una mayor precisión en el mecanizado ESPOL (2021). Estos casos validan que el retrofit en el país permite alcanzar niveles de productividad competitivos con una inversión optimizada Datronic (2025).

## **5.6. Tecnologías y componentes usados en modernización**

Los sistemas de modernización emplean motores eléctricos (servomotores, motores paso a paso), sensores (encoders, proximidad), controladores (PLC, microcontroladores), y software de supervisión (SCADA, HMI) para lograr automatización avanzada (Erickson y Maksimovic, 2020; Petruzella, 2016; Wilson, 2020). La comunicación industrial mediante protocolos como Modbus o Profibus garantiza integración y monitoreo en tiempo real (Lyshevski, 2018).

## **5.7. Selección e integración de sistemas de control para fresadoras CNC**

La modernización de maquinaria CNC mediante *retrofitting* se fundamenta en la selección e integración de sistemas de control comercialmente disponibles, los cuales ya integran algoritmos de lazo cerrado y compensación PID. El desafío técnico está en la correcta configuración y sintonización de parámetros para garantizar la precisión del equipo.

En Ecuador hay casos documentados sobre la modernización, un ejemplo reciente en los proyectos de la *ESPOL*, donde la selección de interfaces de control adecuadas, probadas previamente en entornos de simulación, permitió recuperar la funcionalidad de fresadoras verticales con altos estándares de precisión (ESPOL, 2021). De igual manera, empresas como *Holcim Ecuador* han demostrado que la integración de tecnologías de control existentes permite optimizar procesos críticos de transporte y despacho con una alta confiabilidad operativa (Asociados, 2023).

## 5.8. Impacto de la automatización en la productividad y competitividad

La automatización mediante CNC y *retrofitting* mejora indicadores clave como los tiempos de ciclo, la calidad del producto y los costos operativos (Asociados, 2023). En el contexto industrial ecuatoriano, la modernización de los sistemas de transporte en *Holcim Ecuador* permitió optimizar la eficiencia operativa y extender la vida útil de sus activos críticos, logrando una mejora notable en los procesos de despacho al granel (Asociados, 2023).

Además, este proceso fomenta la capacitación técnica en el personal, impulsando la adopción de nuevas tecnologías digitales (Datronic, 2025). Proyectos documentados en la *ESPOL* confirman que la integración de controladores modernos en fresadoras convencionales no solo recupera la funcionalidad del equipo, sino que incrementa significativamente la potencia de corte y la precisión final, elevando la competitividad del proceso productivo con una inversión reducida frente a la adquisición de maquinaria nueva (ESPOL, 2021).

## 5.9. Normativas y estándares aplicables

La modernización de maquinaria CNC en el Ecuador se rige por normativas técnicas que aseguran la calidad y seguridad operativa. El *Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN)* es el organismo encargado de emitir los lineamientos para la validación de estos sistemas (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2015).

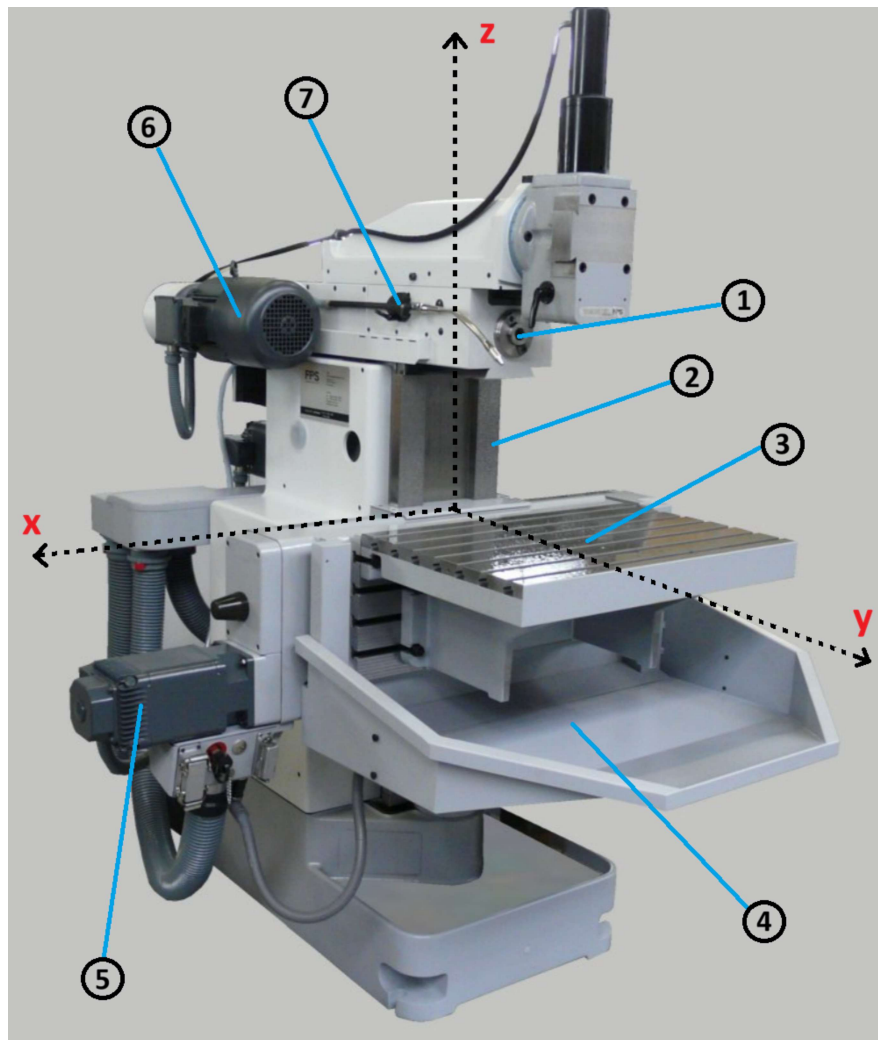
Específicamente, para garantizar la precisión del mecanizado tras el retrofitting, se debe aplicar la norma NTE INEN-ISO 230-1, la cual estandariza los métodos de verificación geométrica (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2015). En cuanto a la seguridad industrial, la norma NTE INEN-ISO 12100 constituye la referencia obligatoria para la evaluación de riesgos en la integración de nuevos componentes (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2014). Finalmente, el sistema eléctrico debe alinearse con estándares de seguridad industrial para prevenir fallos y asegurar la integridad del operario (NFPA, 2021).

# 6. Marco metodológico

## 6.1. Descripción de la Máquina

La fresadora **Deckel FP4M Typ 2271** es una máquina utilizada para realizar trabajos de fresado. Su diseño es robusto y permite su uso en talleres industriales y educativos.

La máquina permite el movimiento en tres ejes principales mediante sistemas de guías y tornillos de avance, que funcionan de forma manual o semiautomática.



**Figura 2**

*Fresadora Deckel FP4M y sus ejes principales*

En la Figura 2 se muestran los principales componentes de la fresadora:

1. **Husillo principal:** elemento mecánico encargado de transmitir el movimiento rotacional a la herramienta de corte durante el proceso de mecanizado.
2. **Guías prismáticas:** superficies de deslizamiento rectificadas que garantizan el movimiento lineal preciso y el correcto alineamiento de los ejes de la máquina.
3. **Mesa de trabajo:** superficie donde se fija la pieza a mecanizar, permitiendo su posicionamiento y sujeción segura durante el proceso de fresado.

4. **Depósito de viruta:** componente destinado a la recolección de virutas generadas durante el mecanizado, facilitando la limpieza y el correcto funcionamiento de la máquina.
5. **Motor del eje X:** actuador eléctrico encargado de proporcionar el movimiento lineal de la mesa en el eje longitudinal.
6. **Motor trifásico del husillo:** motor eléctrico responsable de suministrar la potencia necesaria para el giro del husillo principal.
7. **Manguera de aire comprimido:** elemento del sistema neumático utilizado para la limpieza de la zona de trabajo y la evacuación de virutas.

#### 6.1.1. Especificaciones técnicas de los actuadores originales

Para el dimensionamiento del nuevo sistema de potencia, es necesario identificar las capacidades nominales de los actuadores originales de la fresadora Deckel FP4M. Estos datos permiten establecer los requerimientos de torque y potencia necesarios para que la nueva electrónica de control iguale o supere las prestaciones de fábrica.

En la Tabla 1 se detallan las características de los motores de avance, mientras que en la Tabla 2 se desglosan los parámetros del motor principal del husillo.

**Tabla 1**

*Especificaciones técnicas de los motores de avance (Ejes X, Y, Z)*

<b>Parámetro</b>	<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>	<b>Eje Z</b>
Potencia Nominal	1.2 kW	1.2 kW	2.3 kW
Voltaje Nominal	220 V	220 V	220 V
Torque Nominal	6 Nm	6 Nm	15 Nm

**Tabla 2***Especificaciones técnicas de fábrica del motor principal AEG*

<b>Parámetro Técnico</b>	<b>Conexión Baja (T4)</b>	<b>Conexión Alta (T2)</b>
Modelo	AEG Typ AMBX 100L T4/2	
Tipo de Motor	Trifásico de polos conmutables (Dahlander)	
Voltaje Nominal	380 V	380 V
Potencia Nominal	2.7 kW (3.6 HP)	3.0 kW (4.0 HP)
Corriente Nominal ( $I_n$ )	5.1 A	7.0 A
Velocidad Sincrónica	$\approx$ 1400 RPM	$\approx$ 2800 RPM
Frecuencia	50 Hz	50 Hz

**6.1.2. Sistema de refrigeración y evacuación de viruta**

El sistema de refrigeración original de la fresadora Deckel FP4M Typ 2271 se basa en una bomba de impulsión eléctrica diseñada para suministrar un flujo constante de fluido de corte hacia la zona de trabajo. Este componente es vital para la disipación de calor en la interfaz herramienta-pieza y para facilitar la evacuación de la viruta generada durante el proceso.

De acuerdo con la inspección técnica realizada, la bomba de refrigerante opera a una tensión nominal de 220 V trifásica, lo cual permite su integración directa en el nuevo tablero eléctrico sin necesidad de transformadores adicionales. En la Tabla 3 se resumen las especificaciones eléctricas de este periférico.

**Tabla 3***Especificaciones de la bomba de refrigerante*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción / Valor</b>
Tipo de componente	Bomba centrífuga industrial
Voltaje de operación	380 V
Tipo de alimentación	Trifásica
Función principal	Suministro de fluido de corte
Estado actual	Operativo (requiere limpieza)

**6.1.3. Sistema de lubricación centralizada**

La fresadora Deckel FP4M dispone de un sistema de lubricación centralizado cuya función es suministrar aceite de manera controlada a las guías de deslizamiento y a las tuercas de los

husillos de bolas. Este sistema es accionado por una bomba de lubricación que opera a una tensión nominal de 220 V.

A diferencia del sistema de refrigeración, la lubricación en una máquina repotenciada debe gestionarse mediante ciclos temporizados programados en el controlador CNC, garantizando que los elementos móviles reciban lubricación constante durante los procesos de mecanizado. En la Tabla 4 se presentan las especificaciones técnicas de este componente.

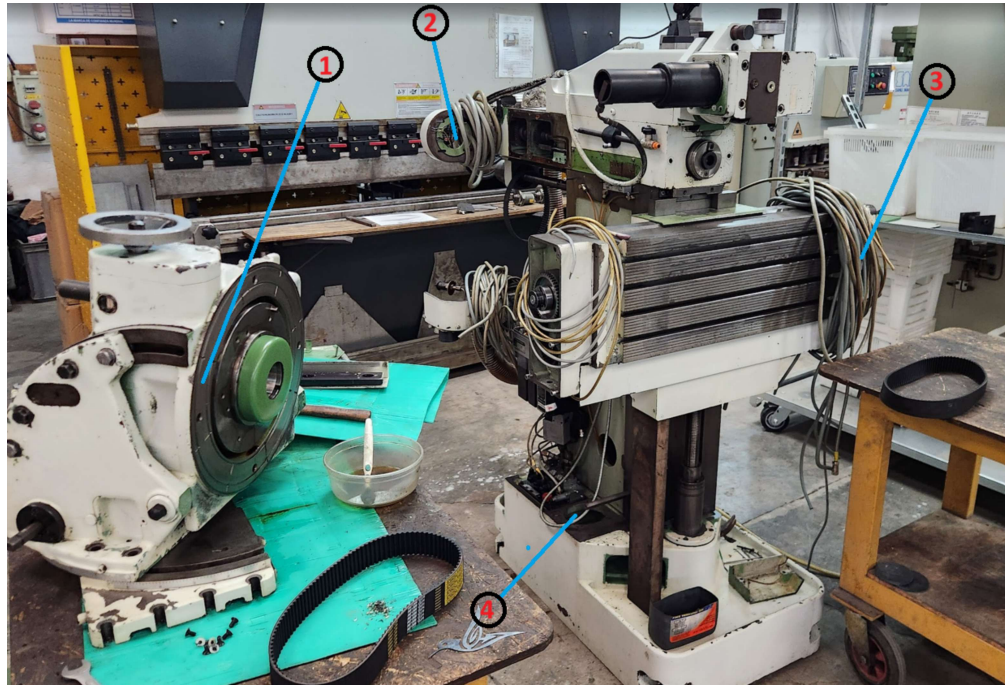
**Tabla 4**

*Especificaciones de la bomba de lubricación*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción / Valor</b>
Tipo de componente	Bomba de lubricación centralizada
Voltaje de operación	220 V
Tipo de alimentación	Monofásica industrial (Fase-Fase)
Presión de trabajo	15 bar
Estado actual	Operativo

## **6.2. Inspección y Evaluación del Estado Actual**

La inspección y evaluación del estado actual de la fresadora Deckel FP4M se realizó con el objetivo de identificar las condiciones mecánicas, eléctricas y de control de la máquina previo a su proceso de repotenciación y automatización



**Figura 3**

*Estado actual de la fresadora*

En la Figura 3 se observa claramente el estado actual de la fresadora Deckel FP4M Typ 2271 durante el proceso de diagnóstico inicial. En el ítem número 1 se aprecia la mesa de trabajo desmontada.

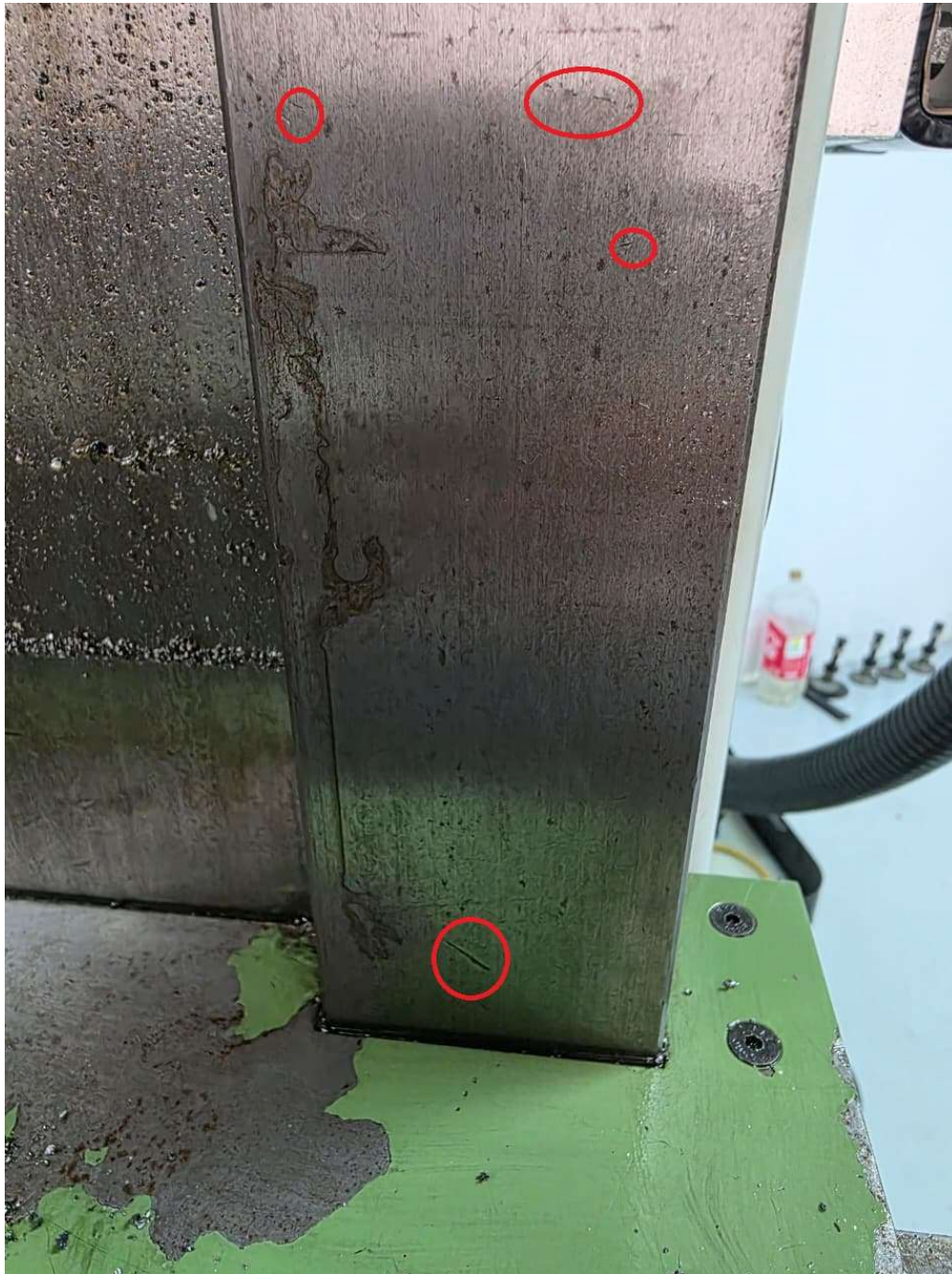
En el ítem número 2 se identifica el espacio destinado a la instalación del motor trifásico encargado del giro del husillo principal, el cual será evaluado para su repotenciación o sustitución de acuerdo con los requerimientos del sistema de automatización propuesto.

El ítem número 3 se observa el sistema de cableado eléctrico completamente desconectado, evidenciando que la máquina no se encuentra operativa y que será necesario el rediseño e implementación de un nuevo sistema eléctrico.

Finalmente, en el ítem número 4 se muestra el alojamiento correspondiente al motor del eje Z, en el cual se prevé la instalación de un nuevo motor, seleccionado en función de los cálculos de par, potencia y precisión requeridos para el correcto funcionamiento del sistema automatizado.

**Sistema de guías y bancada:** La inspección visual confirmó que las guías prismáticas y la bancada se encuentran en un adecuado estado de funcionamiento, sin evidencia de desgaste significativo, rayaduras profundas ni incremento apreciable de fricción. Esta condición garantiza

una elevada rigidez estructural de la máquina y contribuye a minimizar el par estático requerido por los nuevos sistemas de accionamiento.



**Figura 4**

*Estado actual de las guías prismáticas de la fresadora Deckel FP4M*

Se pueden observar pequeñas rayaduras en las guías prismáticas, las cuales se evidencian en

la Figura 4, señaladas mediante un contorno de color rojo. No obstante, estas imperfecciones no afectan el correcto funcionamiento de la máquina, ya que no generan un incremento significativo de fricción ni comprometen la precisión del desplazamiento.

En este caso particular, dichas marcas se presentan principalmente en el eje Z, debido a la constante presencia de viruta metálica durante la operación de la fresadora, situación común en este tipo de máquinas cuando no se dispone de sistemas de protección o limpieza automatizada.

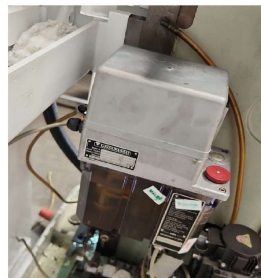
**Husillos de transmisión:** Se constató que los ejes de avance correspondientes a los ejes X, Y y Z están equipados con husillos de bolas de precisión. La verificación de su estado se realizó mediante una inspección visual directa y una evaluación mecánica manual, considerando que la máquina no se encuentra operativa y, por lo tanto, no fue posible ejecutar pruebas dinámicas de funcionamiento ni de repetibilidad.

Durante la inspección visual no se evidenciaron deformaciones, signos de corrosión, desgaste superficial significativo ni daños en las pistas de rodadura de los husillos. Asimismo, se verificó el estado de las tuercas de bolas, constatando la ausencia de holguras axiales perceptibles y el adecuado estado de los elementos de sellado.

Adicionalmente, mediante el giro manual de los husillos y el desplazamiento controlado de los ejes, se comprobó la suavidad del movimiento, sin presencia de puntos duros, atascamientos o ruidos anómalos. Estas observaciones permiten concluir que los husillos de bolas se encuentran en condiciones mecánicas adecuadas, lo cual elimina la necesidad de un retrofit mecánico asociado a su reemplazo y garantiza una adecuada eficiencia en la transmisión del movimiento para la propuesta de automatización.

**Sistema de lubricación:** Durante la inspección del sistema de lubricación se constató que este se encuentra en adecuadas condiciones de funcionamiento como podemos ver en la Figura 5 . La verificación se realizó mediante inspección visual directa, observándose la ausencia de fugas en las líneas de lubricación, así como el buen estado de las mangueras y conectores, sin evidencias de fisuras, endurecimiento o desconexiones.

Asimismo, se inspeccionó la bomba de lubricación, confirmándose su integridad física y su correcto funcionamiento eléctrico. La bomba opera a una tensión de alimentación de 220 V, condición que se mantiene dentro de los parámetros nominales del sistema original de la fresadora. Estas características permiten garantizar una adecuada lubricación de los componentes mecánicos, contribuyendo a la reducción del desgaste y al correcto desempeño de la máquina.



**Bomba de lubricación**



**Red de lubricación**

**Figura 5**

*Estado actual de las guías prismáticas de la fresadora Deckel FP4M*

**Sistema eléctrico y motores:** Durante la evaluación técnica se determinó la inoperatividad total del sistema eléctrico y del sistema de control original de la fresadora, encontrándose la máquina en un estado de cero operación. Esta condición fue evidenciada por la ausencia de cableado funcional, la desconexión de los componentes eléctricos y la imposibilidad de

energizar los motores existentes.

Debido a esta situación, no fue posible realizar pruebas eléctricas ni mecánicas de los motores de los ejes de avance ni del motor principal del husillo. En consecuencia, y considerando además la obsolescencia tecnológica del sistema original, se concluye que dichos motores no son reutilizables dentro de la propuesta de repotenciación y automatización.

Por lo tanto, el proyecto se orienta hacia la sustitución completa del sistema eléctrico, de potencia y de control, contemplando la selección de nuevos motores, sistemas de accionamiento, protecciones eléctricas y un sistema de control moderno, que permitan cumplir con los requisitos técnicos necesarios para la repotenciación y automatización de la fresadora Deckel FP4M Typ 2271.

Se realizó una verificación técnica de los sistemas de bombeo originales de la fresadora Deckel FP4M. Mediante pruebas de alimentación directa y monitoreo de flujo, se constató el estado operativo de los siguientes elementos:

#### 6.2.1. Bombas del sistema

Se realizó una verificación técnica de los sistemas de bombeo originales de la fresadora Deckel FP4M. Mediante pruebas de alimentación directa y monitoreo de flujo, se constató el estado operativo de los siguientes elementos:

- **Bomba de refrigerante:** Se verificó su correcto funcionamiento bajo una red trifásica, asegurando un caudal constante.
- **Bomba de lubricación:** Se constató la correcta operación de la unidad de lubricación encargada de suministrar aceite a las guías prismáticas, manteniendo una adecuada película lubricante durante el desplazamiento de los ejes.
- **Bomba hidráulica:** Componente responsable del sistema de sujeción y liberación automática de herramienta del husillo. Durante la inspección presentó una respuesta de presión adecuada.

El correcto estado de estas bombas permite su incorporación al sistema automatizado sin la necesidad de de un replazo y adecuación a los diferentes sistemas de la fresadora.

### 6.3. Levantamiento de Información Técnica

El levantamiento de información técnica de la fresadora Deckel FP4M se realizó con el objetivo de recopilar los datos necesarios para el análisis, diseño y selección de los elementos

que permitirán su repotenciación y automatización.

Esta etapa consistió en la recopilación de información relacionada con las características mecánicas, eléctricas y dimensionales de la máquina, tales como recorridos de los ejes, tipo de transmisión, condiciones estructurales, características del husillo y espacio disponible para la instalación de nuevos componentes.

Debido a que el sistema eléctrico y de control original se encuentra en estado de cero operación, la información técnica fue obtenida principalmente a partir de la inspección física de la máquina, mediciones directas, placas de identificación, manuales técnicos del fabricante y documentación técnica disponible.

La información levantada en esta sección servirá como base para la definición de los requerimientos técnicos y la posterior selección de los componentes necesarios para la automatización de la fresadora.

### **6.3.1. Recorridos de los Ejes**

De acuerdo con información técnica referencial del modelo Deckel FP4M, la máquina dispone de tres ejes principales de movimiento (X, Y y Z), cuyos recorridos aproximados se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Recorridos referenciales de los ejes*

<b>Eje</b>	<b>Recorrido aproximado (mm)</b>
X (longitudinal)	348
Y (transversal)	348
Z (vertical)	397

Estos valores permiten estimar los requerimientos de desplazamiento para la selección de motores y sistemas de control.

### **6.3.2. Dimensiones de la Mesa de Trabajo**

La mesa de trabajo de la fresadora Deckel FP4M presenta dimensiones referenciales adecuadas para trabajos de mecanizado de tamaño medio. En la Tabla 6 se indican sus dimensiones aproximadas.

**Tabla 6**

*Dimensiones referenciales de la mesa de trabajo*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor aproximado</b>
Longitud	710 mm
Ancho	430 mm
Ranuras en T	Normalizadas

### **6.3.3. Sistema de Transmisión por Husillos**

La fresadora está equipada con **husillos de bolas de precisión** en los ejes X, Y y Z. Este tipo de husillos se caracteriza por una alta eficiencia de transmisión, bajo rozamiento y mínima holgura, lo que los hace adecuados para procesos de automatización.

De manera general, los husillos de bolas utilizados en este tipo de máquinas presentan pasos comprendidos entre 5 mm y 10 mm, valor que será confirmado o ajustado durante la etapa de diseño detallado.

### **6.3.4. Sistema de Guías**

El sistema de guiado de la fresadora está compuesto por **guías prismáticas**, las cuales proporcionan una elevada rigidez estructural y buena capacidad de carga. Este tipo de guías es apropiado para procesos de mecanizado que requieren estabilidad y precisión.

### **6.3.5. Potencia del Husillo**

La potencia del husillo depende directamente del motor principal que es de 3 KW y 32 NM. En el presente proyecto, la velocidad y potencia del husillo serán variables, debido a la implementación de un variador de frecuencia, lo que permitirá adaptar las condiciones de corte a distintos materiales y procesos de mecanizado.

### **6.3.6. Alimentación Eléctrica**

La alimentación eléctrica de la fresadora es **trifásica**, condición que resulta adecuada para la implementación de motores industriales y sistemas de accionamiento modernos.

## 6.4. Diagnóstico de Componentes

En la Tabla 7 se presenta el diagnóstico del estado de los principales componentes de la fresadora Deckel FP4M, realizado a partir de la inspección visual y la evaluación técnica.

**Tabla 7**

*Diagnóstico de componentes relevantes de la fresadora*

Componente	Estado	Observaciones Técnicas
Bancada y estructura	Bueno	Estructura rígida, sin fisuras ni deformaciones visibles.
Guías prismáticas	Bueno	Sin desgaste significativo; adecuada precisión y alineación.
Husillos de bolas (X, Y, Z)	Bueno	Alta eficiencia de transmisión; no requieren reemplazo.
Motor del husillo	No operativo	Requiere reemplazo total para integración con variador de frecuencia.
Motores de los ejes (X, Y, Z)	No operativos	No funcionales; incompatibles con automatización.
Sistema de control original	No operativo	Fuera de servicio; será sustituido por sistema CNC.
Tablero eléctrico	No operativo	Componentes obsoletos; requiere rediseño completo.
Contactores y relés	No operativo	No confiables para nuevo sistema automatizado.
Cableado de potencia	No operativo	Aislamiento deteriorado; se recomienda reemplazo total.
Cableado de control	No operativo	No compatible con sistema de control moderno.
Sensores y finales de carrera	No operativos	Ausentes o fuera de servicio; se requiere nueva instalación.
Finales de carrera	Operativos	Requieren mantenimiento preventivo y limpieza.

<b>Componente</b>	<b>Estado</b>	<b>Observaciones Técnicas</b>
Bomba hidráulica	Operativa	Funciona correctamente; se recomienda mantenimiento preventivo.
Bomba de refrigerante	Operativa	Caudal adecuado; requiere limpieza.
Bomba de lubricación	Operativa	Operación estable; lubricación correcta de guías.

## **6.5. Definición de Requerimientos Mecánicos, Eléctricos y de Control**

Con base en el diagnóstico del estado actual de la fresadora Deckel FP4M Typ 2271 y en el levantamiento de información técnica realizado, se definen a continuación los requerimientos mecánicos, eléctricos y de control que deberá cumplir el sistema propuesto de repotenciación y automatización. Estos requerimientos constituyen la base para el posterior diseño y selección de los componentes del sistema automatizado.

### **6.5.1. Requerimientos Mecánicos**

El sistema mecánico de la fresadora automatizada deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- Permitir el desplazamiento controlado de los ejes X, Y y Z a lo largo de los recorridos existentes de la máquina, sin interferencias mecánicas.
- Ser compatible con los husillos de bolas de precisión actualmente instalados, evitando modificaciones estructurales mayores.
- Garantizar una adecuada rigidez mecánica que permita soportar las cargas generadas durante el proceso de mecanizado.
- Mantener una precisión y repetibilidad acordes a los requerimientos de mecanizado, propias de una fresadora CNC de tres ejes.
- Permitir la instalación de motores, acoples y soportes dentro del espacio disponible en la estructura de la máquina.

### **6.5.2. Requerimientos Eléctricos**

El sistema eléctrico propuesto deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- Utilizar una alimentación eléctrica trifásica.
- Incorporar protecciones eléctricas adecuadas, tales como interruptores termomagnéticos, contactores y sistemas de puesta a tierra.
- Permitir la integración de un variador de frecuencia para el control del motor del husillo principal.
- Proporcionar las tensiones necesarias para la alimentación de motores, drivers, sistema de control y dispositivos auxiliares.
- Cumplir con las normas de seguridad eléctrica industrial aplicables.

### **6.5.3. Requerimientos del Sistema de Control**

El sistema de control de la fresadora deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- Implementar un sistema de control numérico computarizado (CNC) para el manejo de al menos tres ejes de movimiento.
- Permitir la programación y ejecución de trayectorias de mecanizado mediante códigos estándar G.
- Contar con una interfaz hombre-máquina que facilite la operación y supervisión del proceso.
- Incorporar sistemas de seguridad, tales como parada de emergencia y monitoreo de fallas.
- Permitir la posibilidad de futuras ampliaciones o mejoras del sistema.

## **6.6. Definición de Especificaciones Mecánicas**

Con base en los requerimientos mecánicos definidos previamente y en la información técnica levantada de la fresadora Deckel FP4M Typ 2271, se establecen a continuación las especificaciones mecánicas del sistema propuesto de automatización. Estas especificaciones servirán como referencia para el dimensionamiento y la selección de los componentes mecánicos y electromecánicos del sistema.

### **6.6.1. Número de ejes y tipo de movimiento**

El sistema automatizado estará conformado por tres ejes principales de movimiento, correspondientes a los ejes X, Y y Z de la fresadora. Cada eje permitirá un desplazamiento lineal controlado, acorde con la cinemática original de la máquina, manteniendo la disposición estructural existente.

### **6.6.2. Recorridos de los ejes**

Los recorridos de los ejes del sistema automatizado estarán determinados por las dimensiones originales de la máquina. Para efectos del diseño mecánico, se consideran los recorridos aproximados indicados en la Tabla 5, los cuales serán utilizados para el cálculo del desplazamiento máximo, velocidad y aceleración de los ejes.

### **6.6.3. Sistema de transmisión de movimiento**

La transmisión del movimiento lineal en los ejes X, Y y Z se realizará mediante husillos de bolas de precisión, actualmente instalados en la fresadora. Este sistema se caracteriza por su alta eficiencia mecánica, bajo coeficiente de fricción y mínima holgura, lo cual resulta adecuado para aplicaciones de automatización y control numérico.

### **6.6.4. Paso del husillo**

Para el análisis y dimensionamiento del sistema de accionamiento, se considera que los husillos de bolas presentan un paso comprendido entre 5 mm y 10 mm por revolución. El valor exacto será confirmado durante la etapa de diseño detallado, en función de los requerimientos de velocidad, resolución y par del sistema.

### **6.6.5. Capacidad de carga de los ejes**

El sistema mecánico deberá ser capaz de soportar las cargas generadas por el peso de la mesa, la pieza de trabajo, las herramientas de corte y las fuerzas de mecanizado. La elevada rigidez estructural proporcionada por la bancada y las guías prismáticas permite asumir una adecuada capacidad de carga para los ejes, la cual será considerada en el cálculo del par requerido de los motores.

### **6.6.6. Precisión y repetibilidad esperada**

La precisión y repetibilidad del sistema automatizado estarán determinadas principalmente por el uso de husillos de bolas de precisión y por el sistema de accionamiento seleccionado. Para el presente proyecto, se espera alcanzar niveles de precisión compatibles con una fresadora CNC de uso industrial y académico, adecuados para operaciones de mecanizado de piezas de complejidad media.

## **6.7. Modelado CAD de los Componentes Mecánicos**

### **6.7.1. Objetivo del modelado CAD**

El modelado tridimensional de los componentes mecánicos se realizó con el objetivo de definir geoméricamente los elementos necesarios para la repotenciación y automatización de la fresadora Deckel FP4M Typ 2271, permitiendo verificar la compatibilidad dimensional, la correcta integración con la estructura existente y la viabilidad del montaje previo a su fabricación.

### **6.7.2. Criterios generales de diseño**

El diseño y modelado de los componentes mecánicos se realizó considerando los siguientes criterios:

- Compatibilidad dimensional con la estructura original de la fresadora.
- Aprovechamiento de los puntos de fijación existentes, evitando modificaciones estructurales mayores.
- Adecuada rigidez mecánica para soportar las cargas estáticas y dinámicas generadas durante el mecanizado.
- Facilidad de fabricación mediante procesos convencionales de mecanizado.
- Facilidad de montaje, desmontaje y mantenimiento.

### **6.7.3. Diseño del brazo de fijación de la consola**

El brazo de fijación de la consola constituye un elemento mecánico fundamental dentro del proceso de automatización de la fresadora Deckel FP4M Typ 2271, ya que permite la

instalación y correcta sujeción de la consola de control del sistema CNC, garantizando su estabilidad, accesibilidad y seguridad durante la operación de la máquina.

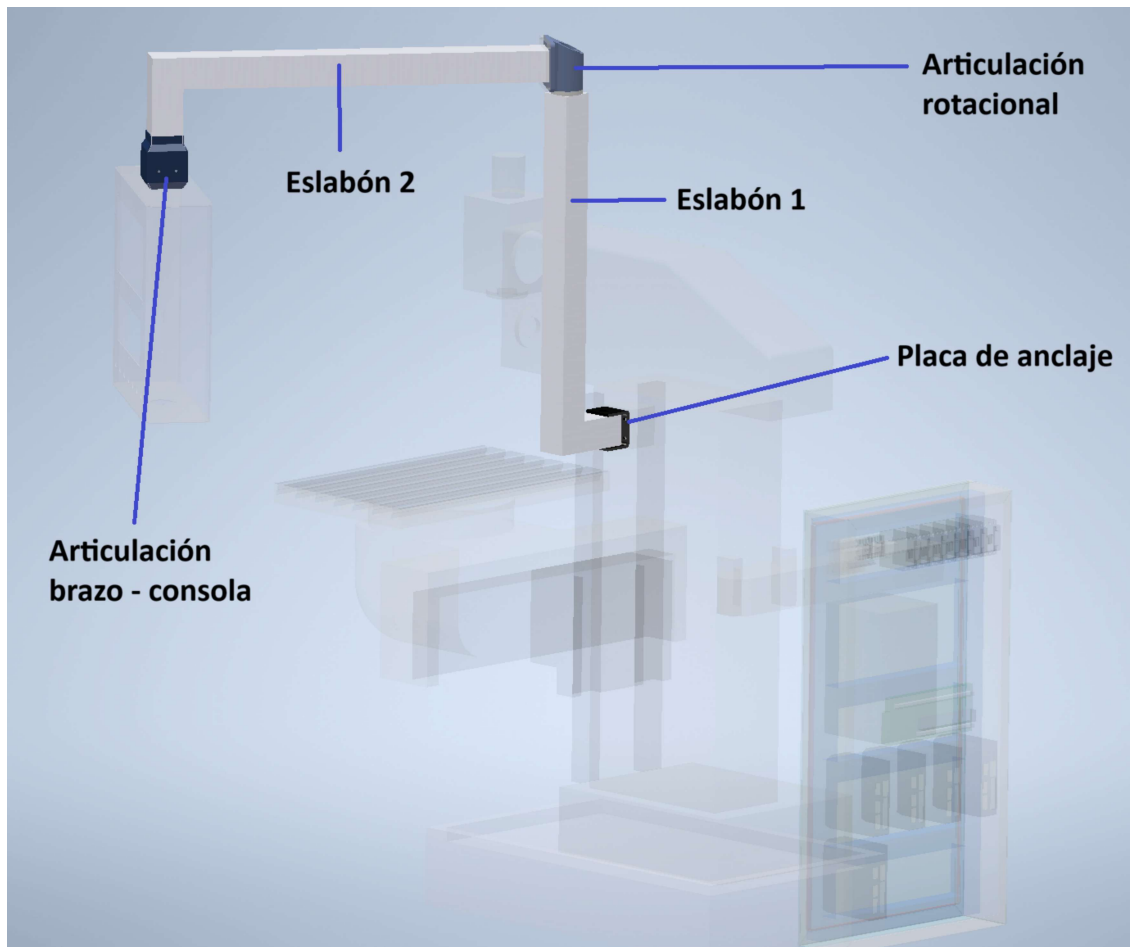
El diseño de este componente se realizó considerando la geometría y dimensiones de la estructura existente de la fresadora, así como el peso de la consola, los esfuerzos estáticos asociados y las condiciones de vibración propias del proceso de mecanizado. Asimismo, se buscó asegurar una posición ergonómica para el operador, permitiendo una adecuada visualización de la interfaz hombre-máquina y un acceso cómodo a los dispositivos de control.

Para el diseño del brazo de fijación se establecieron los siguientes criterios técnicos:

- Rigidez mecánica suficiente para soportar el peso de la consola sin deformaciones apreciables.
- Resistencia a vibraciones generadas durante el mecanizado.
- Compatibilidad con los puntos de fijación existentes en la estructura de la fresadora.
- Facilidad de fabricación mediante procesos convencionales de mecanizado.
- Posibilidad de ajuste en posición y orientación de la consola.
- Seguridad para el operador, evitando interferencias con los ejes móviles de la máquina.

El diseño del brazo fue desarrollado mediante modelado tridimensional en software CAD paramétrico, lo que permitió definir con precisión sus dimensiones, verificar su correcta integración con la estructura de la fresadora y analizar posibles interferencias con otros componentes del sistema.

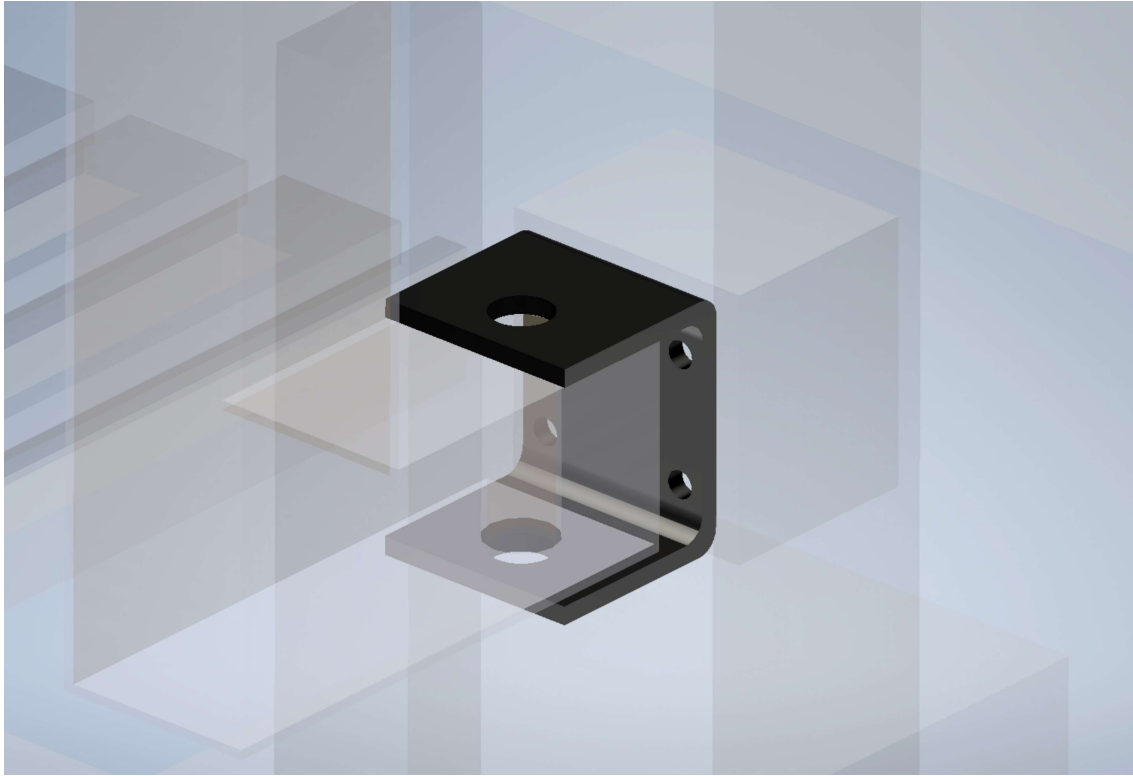
En la Figura 6 se presenta el diseño del brazo de fijación de la consola integrado al modelo referencial de la fresadora, lo cual permite visualizar de forma teórica su disposición final y analizar la relación espacial entre el brazo, la máquina y el área de operación.



**Figura 6**

*Modelo CAD del brazo de fijación de la consola y sus partes*

El brazo de fijación fue diseñado como una estructura metálica rígida fabricada a partir de tubo estructural de sección cuadrada. Este componente está compuesto por un cuerpo principal y una placa de anclaje con perfil tipo C, los cuales permiten su fijación a la estructura de la fresadora mediante un perno dispuesto en forma de eje, proporcionando un grado de movilidad para el posicionamiento de la consola como se muestra en la Figura 7



**Figura 7**

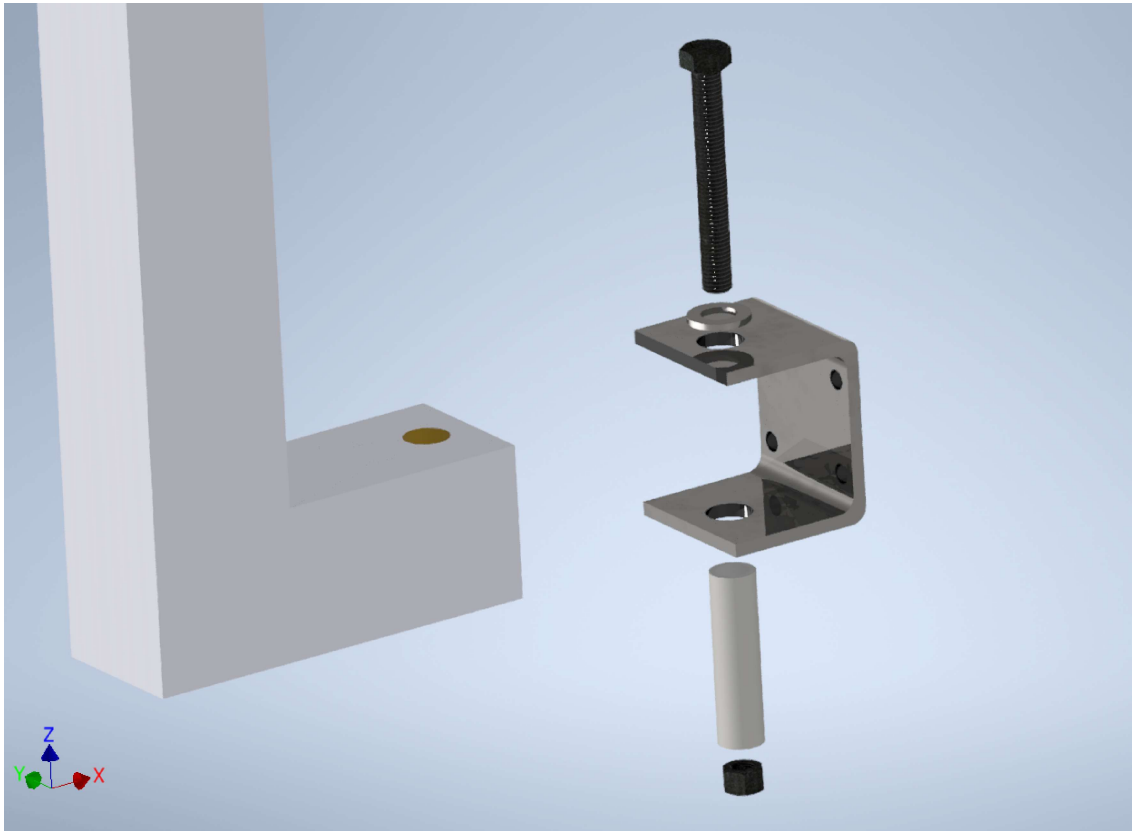
*Placa de anclaje*

Para garantizar una correcta conexión entre el eslabón 1 del brazo de fijación y la placa de anclaje, se incorpora un buje cilíndrico que actúa como elemento de apoyo y guiado del sistema de articulación. El buje presenta un diámetro exterior de 22 mm, un diámetro interior de 16 mm y una longitud total de 84 mm, correspondiente a la distancia entre la superficie superior e inferior del conjunto.

Este buje permite la instalación de un perno tipo eje M14 × 110 mm, acompañado de su respectiva arandela, cuyo diámetro interior de 16 mm garantiza un adecuado asiento y contribuye a la reducción de vibraciones durante la operación. La configuración descrita asegura un movimiento controlado de la articulación, así como una adecuada rigidez y estabilidad estructural del brazo.

Considerando que la articulación entre la placa de anclaje y el primer eslabón del brazo presenta un movimiento limitado y de baja frecuencia durante la operación normal, se propone el uso de lubricación mediante lubricante líquido. Esta solución resulta suficiente para reducir el rozamiento, prevenir el desgaste prematuro de las superficies de contacto y evitar la generación de ruidos durante el movimiento de la articulación.

El armado del conjunto correspondiente a la placa de anclaje se muestra en la Figura 8.



**Figura 8**

*Armado del conjunto de la placa de anclaje del brazo de fijación*

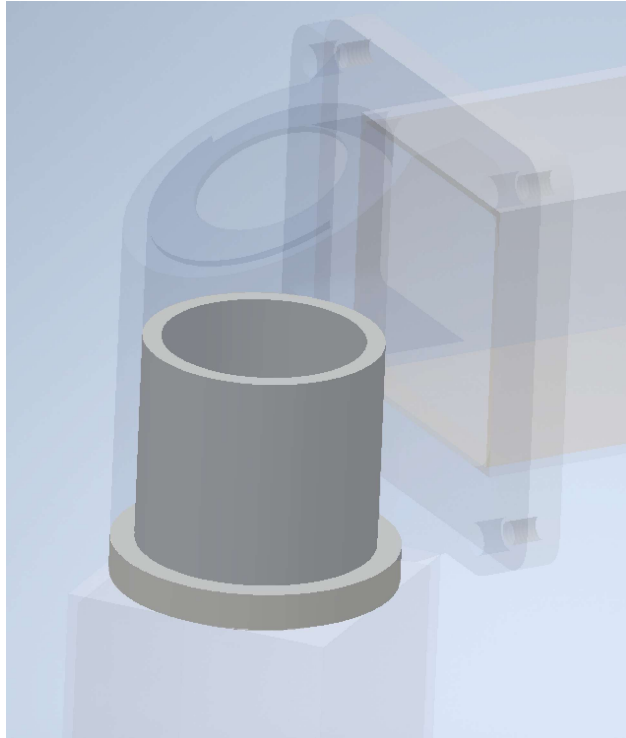
En la articulación central del brazo, el diseño contempla la utilización de perfiles tubulares circulares para permitir el movimiento de rotación. El uso de perfiles redondos facilita un giro suave del conjunto y proporciona una mayor movilidad del brazo, contribuyendo a mejorar la ergonomía durante la operación.

Se propone emplear un tubo redondo estructural de acero con un diámetro nominal de 2 ½ pulgadas, con un espesor de pared acorde a las cargas mecánicas esperadas. Para el elemento interior, que actúa como eje de deslizamiento, se seleccionará un tubo con diámetro exterior ligeramente menor, de manera que se obtenga un ajuste deslizante adecuado, considerando tolerancias posteriores a los procesos de mecanizado.

Dado que esta articulación presenta movimientos de rotación limitados y de baja frecuencia, se propone la implementación de lubricación simple mediante grasa multipropósito o lubricante semisólido aplicado en la superficie de contacto entre ambos tubos. Esta solución permite

reducir el coeficiente de fricción, minimizar el desgaste superficial y evitar la generación de ruidos durante el movimiento, sin necesidad de incorporar sistemas de lubricación forzada o elementos rodantes adicionales.

En la Figura 9 se puede observar el diseño de esta pieza de la articulación:

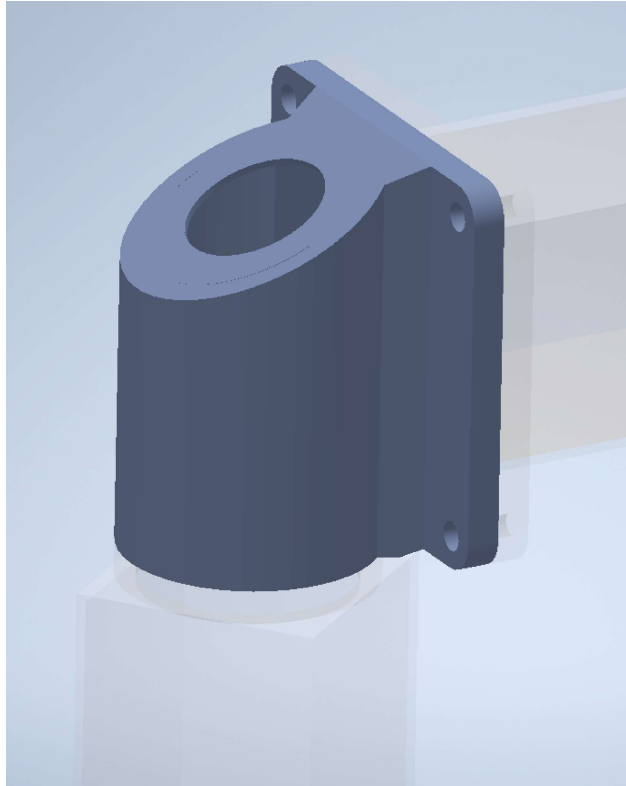


**Figura 9**

*Modelo CAD parte interna de articulación rotacional*

La parte externa de la articulación tiene como función la unión estructural con el segundo eslabón del brazo de soporte. Para este propósito, se diseñó una placa de acero de fijación provista de cuatro orificios pasantes, destinados a la instalación de pernos métricos M8.

Esta configuración garantiza una unión mecánica rígida y segura entre los componentes, permitiendo una adecuada transmisión de cargas y momentos generados durante la operación y el ajuste de la consola. El detalle constructivo de esta placa de fijación se presenta en la Figura 10.



**Figura 10**

*Modelo CAD parte externa de articulación rotacional*

Para la conexión permanente de la parte interna y la parte externa de la articulación rotacional no hace falta algún mecanismo de fijación axial ya que como es tubular, los cables pasantes del sistema eléctrico serán lo suficientemente rígidos para tener la seguridad de la unión de las 2 piezas, que por la gravedad y el peso del mismo eslabón 2 y la consola completa asegura la conexión de la articulación.

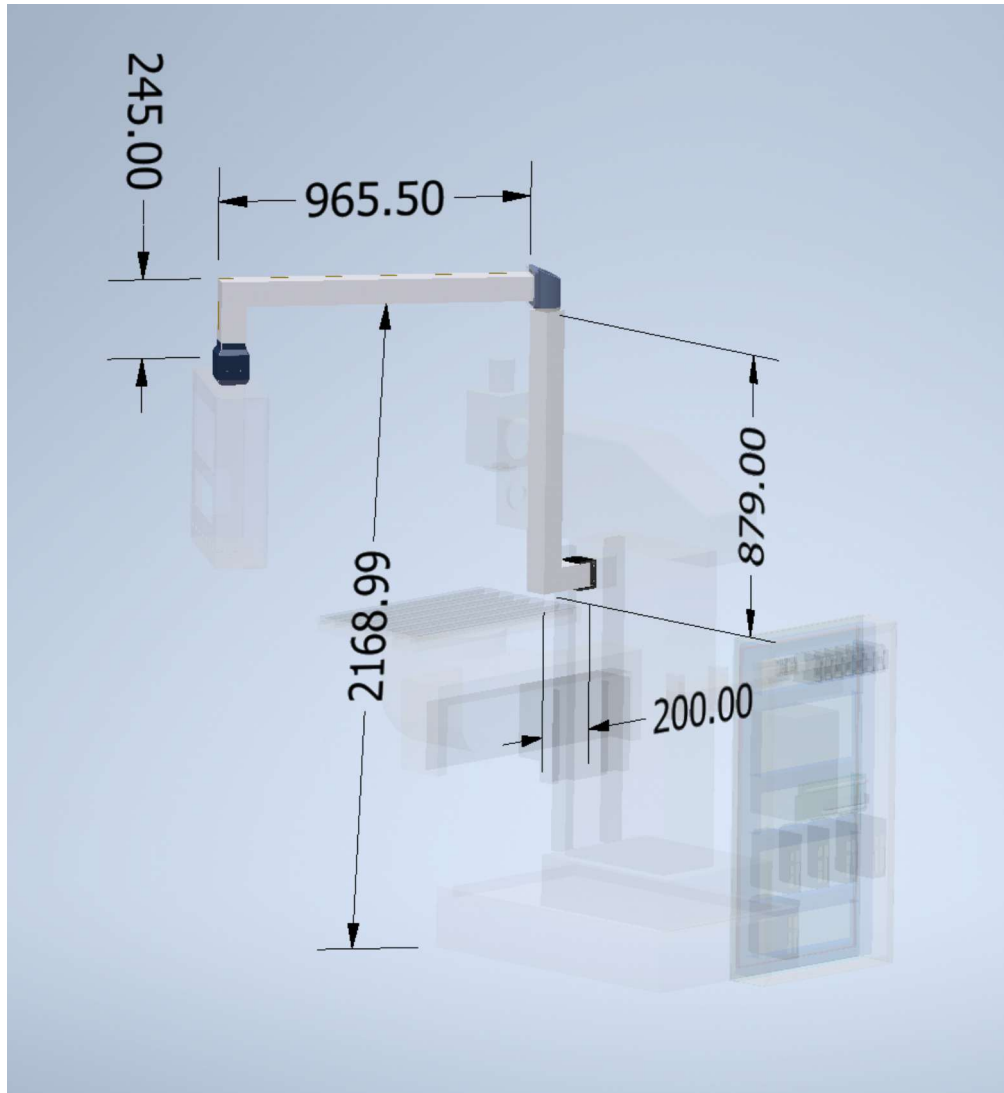
La geometría del brazo de fijación fue definida para ubicar la consola de control a una distancia segura del área de mecanizado, reduciendo la exposición a virutas y fluido refrigerante, así como la transmisión de vibraciones hacia el sistema de control. Adicionalmente, se consideraron criterios ergonómicos para garantizar una posición de operación cómoda y segura para el operario.

Las longitudes de los eslabones del brazo se determinaron en función del espacio disponible y de la cinemática de la fresadora, asegurando que el conjunto no interfiera con la operación normal de la máquina y que la consola quede ubicada a una altura adecuada respecto al nivel del piso.

Para la fabricación del brazo se propone el uso de tubo de acero estructural de perfil

cuadrado, con dimensiones de  $100 \times 100$  mm y un espesor de pared de 2 mm. Esta selección responde a criterios de resistencia mecánica, rigidez estructural, disponibilidad comercial y facilidad de fabricación. Asimismo, la sección hueca del perfil permite el canalizado interno del cableado eléctrico de la consola y del circuito de mando hacia el gabinete eléctrico.

En la Figura 11 se presentan las dimensiones finales de cada eslabón del brazo y la altura resultante de la consola de control con respecto al nivel del piso.



**Figura 11**

*Dimensiones en milímetros del brazo de fijación de la consola*

#### **6.7.4. Definición funcional de la consola de control**

La consola de control constituye la interfaz principal entre el operador y la fresadora automatizada. Su función es permitir la supervisión, programación y control del proceso de mecanizado de manera segura, intuitiva y ergonómica.

Para cumplir con esta función, la consola debe alojar diversos dispositivos de control, señalización y visualización, los cuales deben disponerse de forma ordenada y accesible, garantizando al mismo tiempo la protección de los componentes frente a agentes externos como viruta, polvo y salpicaduras de refrigerante.

La consola de control estará compuesta, de manera general, por los siguientes elementos:

- Pantalla de visualización e interfaz hombre-máquina (HMI).
- Teclado o panel de entrada de datos.
- Pulsadores de control para funciones básicas de operación.
- Pulsador de parada de emergencia.
- Interruptores de encendido.
- Indicadores luminosos para el estado del sistema.

La disposición de los elementos en la consola se definió considerando criterios de ergonomía, seguridad y facilidad de operación. Los dispositivos de uso frecuente, como el HMI, el teclado y los pulsadores principales, se ubican en la zona frontal y a una altura adecuada para el operador, mientras que los elementos de señalización se colocan en posiciones visibles que permiten una rápida identificación del estado del sistema. Asimismo, se consideró la separación adecuada entre dispositivos de control y potencia, así como la necesidad de garantizar accesibilidad inmediata al pulsador de parada de emergencia, conforme a criterios generales de seguridad industrial.

#### **6.7.5. Diseño de la carcasa de la consola de control**

La carcasa de la consola de control fue diseñada con el objetivo de alojar y proteger los dispositivos de operación y visualización del sistema CNC, garantizando condiciones adecuadas de seguridad, ergonomía y protección frente al entorno de mecanizado.

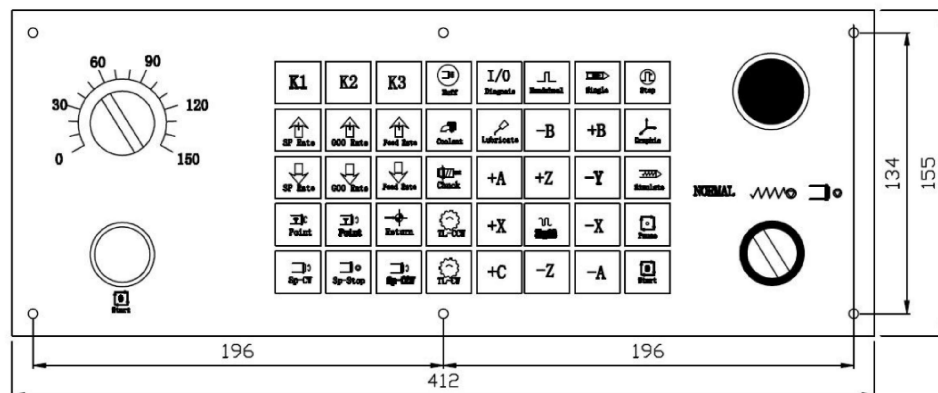
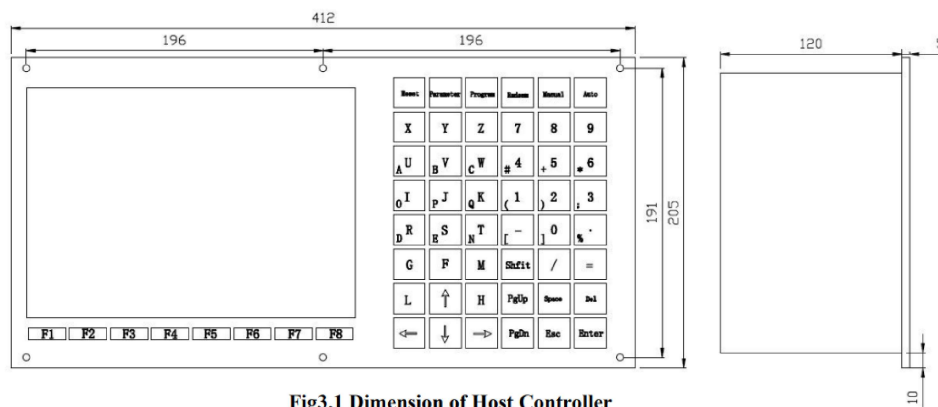
Para el diseño de la carcasa de la consola de control se consideró el uso del sistema CNC SZGH-CNC1000MDb, el cual ha sido previamente empleado por la empresa Proyecplast en

proyectos de repotenciación similares, presentando un desempeño confiable y sin inconvenientes operativos reportados.

En consecuencia, las dimensiones de la carcasa, así como la disposición de los elementos de interacción, se definieron en función de las características físicas y requerimientos de montaje del mencionado sistema de control.

Para la definición de los espacios funcionales de la carcasa de la consola de control se utilizaron como referencia las dimensiones proporcionadas en el manual técnico del sistema CNC SZGH-CNC1000MDb (SZGH Automation, 2020), donde se especifican las dimensiones físicas del panel de operación y las zonas de montaje requeridas.

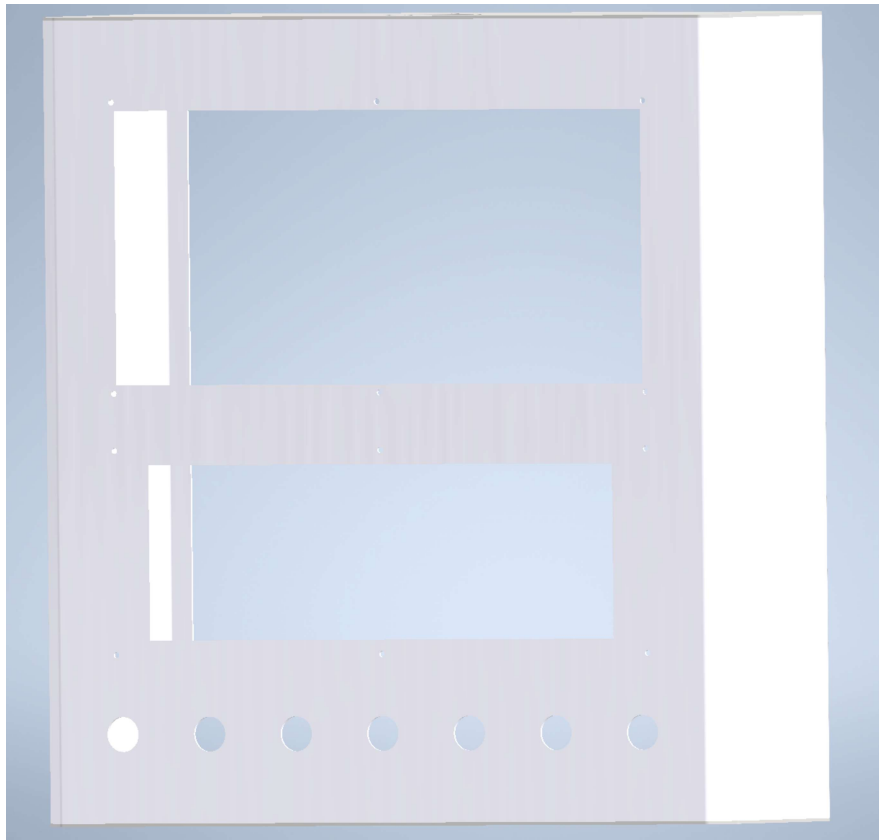
A partir de esta información se definieron la ubicación y el tamaño de los espacios huecos destinados a la interfaz hombre-máquina (HMI) del sistema CNC, al panel de operación y a los dispositivos de mando y señalización, garantizando un montaje adecuado, holguras de instalación y accesibilidad para el operario. Estas dimensiones se muestran de manera referencial en la Figura 12, extraídas del manual técnico del fabricante.



**Figura 12**

*Dimensiones referenciales del panel de control CNC SZGH-CNC1000MDb*

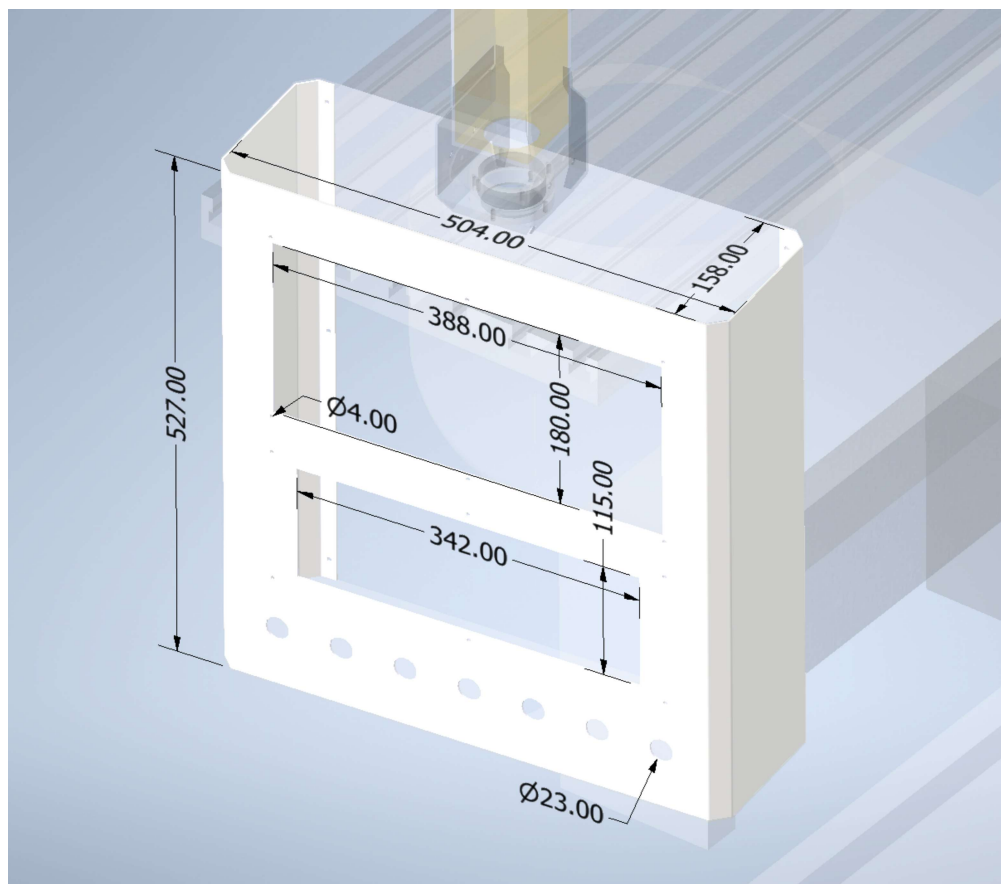
En la Figura 13 se muestra el modelo tridimensional de la carcasa de la consola, en el cual se pueden identificar la disposición frontal del HMI, el teclado y los elementos de mando, así como la geometría general del gabinete diseñada para su integración con el brazo de fijación.



**Figura 13**

*Modelo CAD de la carcasa de la consola de control*

En la Figura 14 se presenta el diseño de la carcasa de la consola de control, en el cual se indican las dimensiones referenciales propuestas para su fabricación e integración con el sistema de automatización.



**Figura 14**

*Modelo CAD de la carcasa de la consola de control con dimensiones referenciales*

Los orificios destinados para la instalación de pulsadores y luces piloto se definieron con un diámetro estándar de 22 mm, correspondiente a las dimensiones comerciales más comunes utilizadas en dispositivos de mando y señalización industrial. Esta estandarización garantiza la compatibilidad con una amplia gama de componentes disponibles en el mercado y facilita futuras labores de mantenimiento o reemplazo.

Para la fabricación de la carcasa de la consola de control se propone el uso de chapa de acero laminado en frío, debido a su adecuada resistencia mecánica, buena rigidez estructural y facilidad de conformado mediante procesos de corte, plegado y soldadura.

El uso de acero permite garantizar la protección de los componentes electrónicos frente a impactos mecánicos, vibraciones y condiciones propias del entorno industrial, como la presencia de virutas metálicas y fluido refrigerante. Asimismo, este material ofrece una elevada durabilidad y compatibilidad con recubrimientos superficiales anticorrosivos, tales como pintura electrostática, lo cual contribuye a prolongar la vida útil de la carcasa.

El espesor de la chapa fue definido considerando criterios de rigidez, peso y facilidad de fabricación. Para este diseño se propone un espesor comprendido entre 1,5 mm y 2 mm, valor suficiente para garantizar la estabilidad estructural de la carcasa sin incrementar significativamente su masa total.

Adicionalmente, el material seleccionado permite la realización precisa de perforaciones y recortes necesarios para la instalación de la pantalla, teclado, pulsadores, interruptores y elementos de señalización, asegurando un correcto ajuste de los componentes y facilitando las labores de montaje y mantenimiento.

#### **6.7.6. Diseño del gabinete eléctrico de control y potencia**

Como parte del proceso de repotenciación y automatización de la fresadora Deckel FP4M Typ 2271, se propone el diseño de un nuevo gabinete eléctrico destinado a alojar los componentes de potencia, control y protección del sistema automatizado. La necesidad de un nuevo gabinete se justifica por la obsolescencia y el estado inoperativo del sistema eléctrico original, así como por la incorporación de nuevos dispositivos electrónicos y de control que requieren condiciones adecuadas de instalación.

El gabinete eléctrico estará destinado a alojar los servodrivres de los ejes, el variador de frecuencia del husillo, contactores, relés, protecciones eléctricas, fuentes de alimentación y elementos de distribución de potencia y control. Su diseño considera una disposición ordenada y modular de los componentes, facilitando el acceso para tareas de mantenimiento, diagnóstico y futuras ampliaciones del sistema.

Para el diseño del gabinete se establecieron criterios técnicos tales como el aprovechamiento eficiente del espacio interno, la separación funcional entre circuitos de potencia y de control, la adecuada ventilación de los componentes electrónicos y el cumplimiento de condiciones de seguridad eléctrica. Asimismo, se consideró la compatibilidad dimensional con los dispositivos seleccionados, así como el espacio necesario para el cableado, canaletas y radios de curvatura adecuados.

El diseño del gabinete eléctrico se desarrolló mediante modelado tridimensional en software CAD paramétrico, lo que permitió definir las dimensiones generales del gabinete, la ubicación interna de los principales componentes y la verificación de interferencias, garantizando una correcta integración con el sistema automatizado de la fresadora.

### 6.7.7. Criterios de selección de componentes del gabinete eléctrico

De acuerdo con los requerimientos establecidos por la empresa *Proyecplast*, encargada de la ejecución del proyecto de repotenciación, se definió el uso de determinados componentes eléctricos y electrónicos para el diseño del gabinete de control y potencia. Esta selección responde a la experiencia previa de la empresa en proyectos similares de automatización industrial, así como a criterios de confiabilidad, disponibilidad comercial y relación costo-beneficio.

En este contexto, el diseño del gabinete eléctrico contempla la integración de los siguientes componentes principales:

- **Servodriviers:** Se utilizarán servodriviers modelo **SZGH-SD2026**, destinados al control de los motores de los ejes X, Y y Z, por su compatibilidad con sistemas CNC y su desempeño comprobado en aplicaciones industriales.
- **Variador de frecuencia:** Se incorporará un variador de frecuencia para el accionamiento del motor del husillo principal. El modelo es Delta C2000 plus.
- **Tarjeta de entradas y salidas:** Se empleará una tarjeta de E/S modelo **SZGHCNC.IO.12 V2.1**, encargada de la gestión de señales digitales provenientes de pulsadores, sensores, finales de carrera y dispositivos de señalización.
- **Protecciones eléctricas:** El sistema contará con un interruptor termomagnético trifásico para la protección general del gabinete, así como un interruptor bifásico para la protección de circuitos auxiliares.
- **Contactores:** Se dispondrán contactores individuales para cada uno de los motores de los ejes X, Y y Z, así como para el motor del husillo, permitiendo un control seguro del suministro de potencia.
- **Relés auxiliares:** Se utilizarán relés de control con bobina de **220 V** para el accionamiento de los circuitos de mando y la interfaz entre el sistema de control y los dispositivos de potencia.
- **Interfaz CNC-1000:** Placa adicional para salidas.

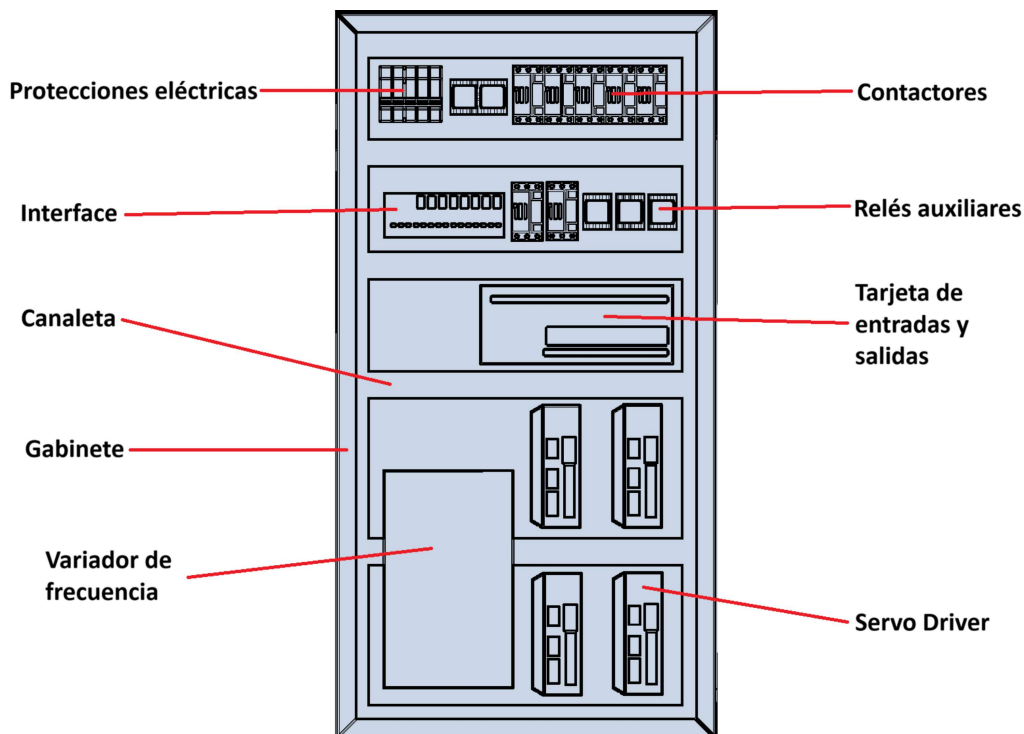
La selección de estos componentes condiciona el diseño dimensional y la disposición interna del gabinete eléctrico, aspectos que serán considerados durante el modelado CAD y el diseño del layout interno del sistema.

Las dimensiones y el espacio ocupado por cada uno de los componentes del gabinete eléctrico se encuentran previamente definidos, dado que dichos elementos ya han sido adquiridos y se encuentran disponibles en bodega. Esta condición permite realizar el diseño del gabinete considerando dimensiones reales, reduciendo incertidumbres durante la etapa de integración.

Adicionalmente, los componentes de protección eléctrica, tales como relés, interruptores y dispositivos auxiliares, corresponden a elementos industriales normalizados, por lo que se dispone fácilmente de información técnica referente a sus dimensiones y requisitos de montaje.

De igual manera, el sistema de canalización del cableado se realizará mediante canaletas normalizadas de 40 mm de ancho y 60 mm de profundidad, dimensiones que resultan adecuadas para el ordenamiento del cableado de potencia y de control, garantizando una instalación segura y de fácil mantenimiento.

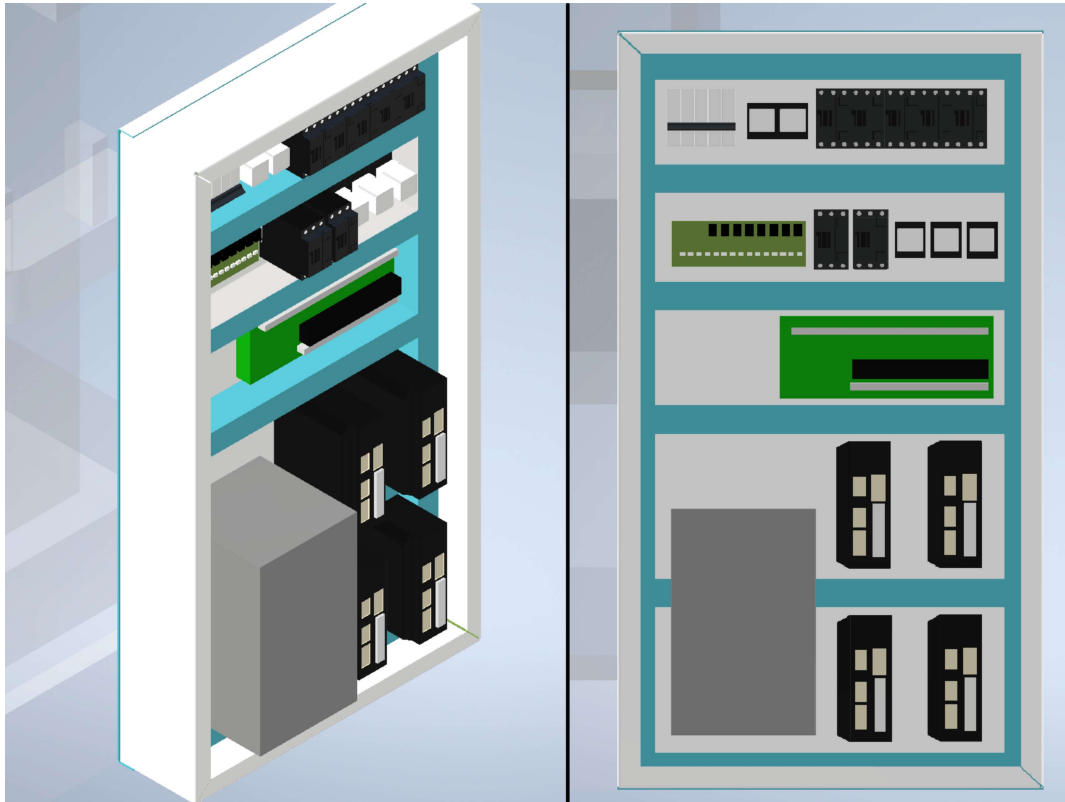
Con base en la información recopilada y en las dimensiones reales de los componentes seleccionados, se elaboró un boceto preliminar de la disposición interna del gabinete eléctrico. En la Figura 15 se muestra la distribución propuesta de los principales componentes, lo que permite visualizar su ubicación relativa y evaluar el aprovechamiento del espacio disponible.



**Figura 15**

*Boceto preliminar de la disposición interna del gabinete eléctrico*

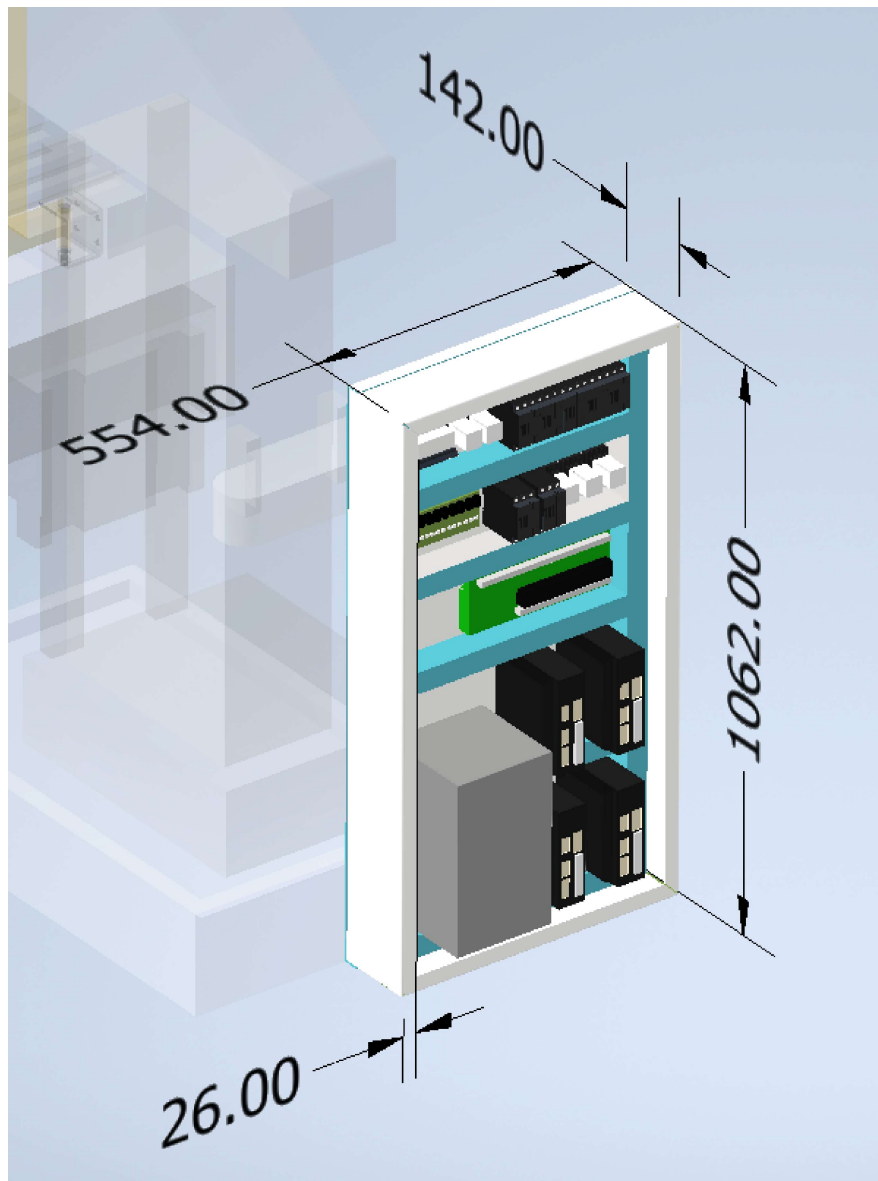
Verificado el boceto preliminar, se definió la distribución final de los componentes del gabinete eléctrico, asegurando la separación entre elementos de potencia y de control, así como el espacio necesario para el cableado y la disipación térmica. En la Figura 16 se muestra el diseño completo del gabinete propuesto.



**Figura 16**

*Diseño del gabinete eléctrico*

A continuación, en la Figura 17, se presenta el gabinete eléctrico propuesto con sus dimensiones referenciales.

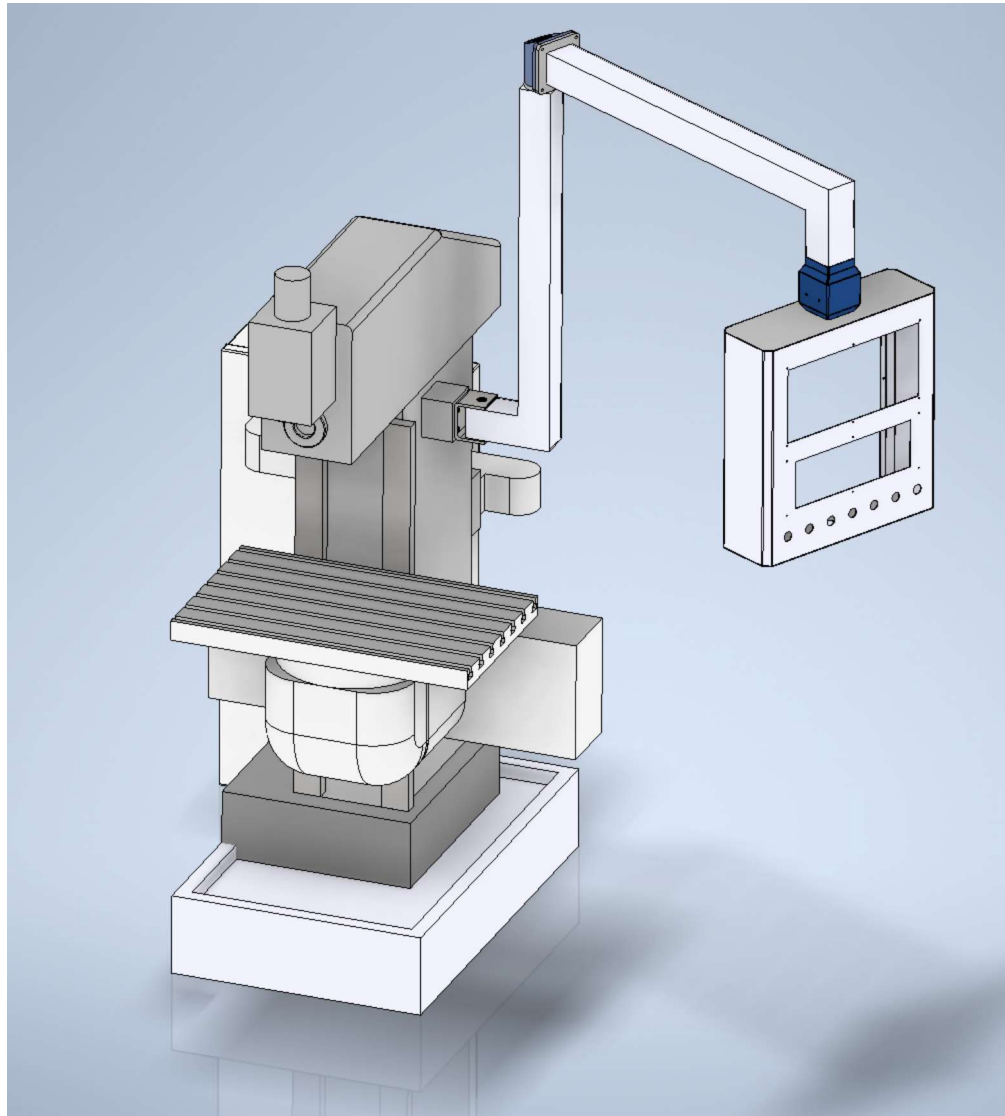


**Figura 17**

*Diseño del gabinete eléctrico*

### **6.8. Verificación de diseño de los componentes mecánicos**

La Figura 18 muestra la disposición final de los componentes diseñados sobre la fresadora. A través de esta integración se puede validar la distribución espacial de los sistemas, asegurando que el diseño propuesto se ajusta correctamente a las dimensiones y geometría de la bancada original.



**Figura 18**

*Modelo CAD de la integración del brazo de fijación y la consola de control en la fresadora Deckel FP4M*

## **6.9. Diseño del sistema eléctrico y electrónico**

El diseño del sistema eléctrico se fundamenta en la elaboración de los esquemas de mando y potencia necesarios para la operatividad de la fresadora. El circuito de mando integra la lógica de arranque y parada mediante dispositivos de maniobra y señalización visual como las luces piloto para indicar el estado del sistema. Por su parte, el circuito de fuerza define la arquitectura de interconexión de los motores, permitiendo una gestión segura y eficiente de la

energía hacia los actuadores de la máquina.

### **6.9.1. Requerimientos del sistema eléctrico**

El diseño del sistema eléctrico se basa en los requerimientos funcionales, operativos y de seguridad de la fresadora Deckel FP4M. Estos requerimientos permiten definir la arquitectura eléctrica, los circuitos de fuerza y mando, así como la selección adecuada de los dispositivos de protección y accionamiento.

Requerimientos funcionales:

- Accionamiento de motores de ejes X, Y y Z.
- Accionamiento del motor del husillo
- Encendido y apagado general de la máquina
- Operación manual segura desde pulsantes

Requerimientos eléctricos:

- Alimentación trifásica industrial
- Separación entre potencia y mando
- Compatibilidad con servodrives y variador

Requerimientos de seguridad:

- Parada de emergencia
- Protección contra sobrecorriente
- Interbloqueo de arranque

### **6.9.2. Arquitectura general del sistema eléctrico**

A partir de los requerimientos definidos, el sistema eléctrico se estructura en dos subsistemas principales: el sistema de potencia y el sistema de mando, ambos integrados dentro de un gabinete eléctrico industrial.

La arquitectura general del sistema eléctrico de la fresadora Deckel FP4M se basa en una alimentación principal proveniente de una red trifásica industrial, la cual constituye la fuente de energía para los distintos subsistemas de la máquina.

La energía eléctrica ingresa inicialmente a un conjunto de dispositivos de protección, conformados por interruptores termomagnéticos trifásicos y bifásicos, cuya función es salvaguardar el sistema frente a sobrecargas y cortocircuitos. Desde la red trifásica principal se derivan dos líneas de alimentación: una línea trifásica destinada al sistema de potencia y una línea bifásica a 220 V destinada a la alimentación de los circuitos auxiliares y de mando.

La línea trifásica, tras pasar por los dispositivos de protección termomagnética, se distribuye hacia los contactores de potencia. Estos elementos gestionan la energización segura de los servodrivens para los ejes X, Y y Z, además de suministrar energía al variador de frecuencia encargado de regular el motor del husillo AEG. Esta configuración asegura que la etapa de potencia solo se habilite cuando los circuitos de mando y seguridad se encuentren operativos.

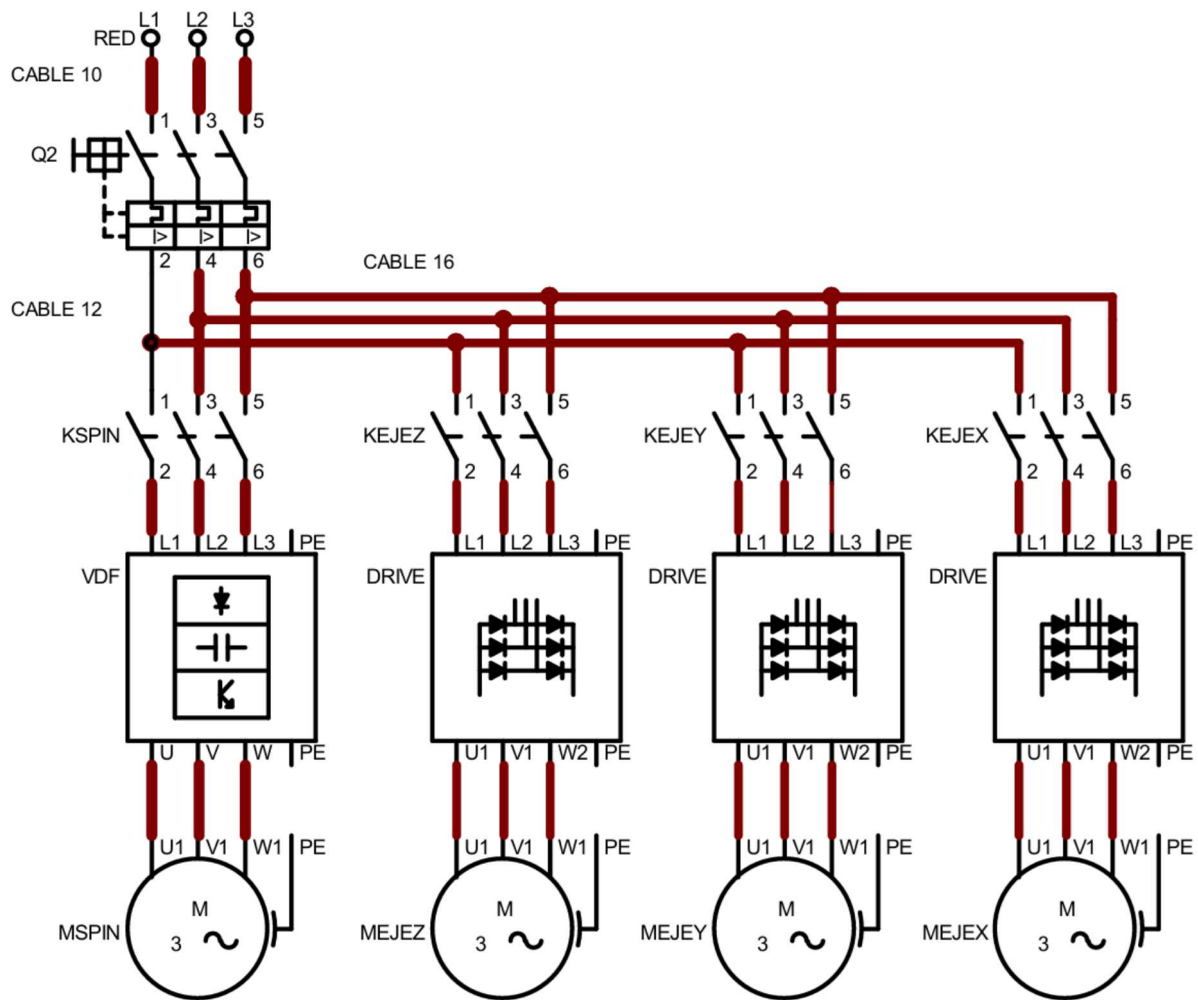
Por otra parte, la línea bifásica a 220 V se emplea para la alimentación de los componentes del sistema de mando, tales como relés, bobinas de contactores, dispositivos de señalización y demás elementos auxiliares necesarios para la lógica de operación. Este circuito garantiza el funcionamiento coordinado y el control seguro de la fresadora, permitiendo que la etapa de mando actúe de forma independiente a la red de potencia principal.

Esta arquitectura permite una clara separación entre los circuitos de potencia y los circuitos de mando, mejorando la seguridad, confiabilidad y facilidad de mantenimiento del sistema eléctrico repotenciado.

### **6.9.3. Diseño del sistema de potencia**

El diseño del circuito de potencia se fundamenta en garantizar el suministro energético estable para los sistemas de accionamiento. El flujo eléctrico inicia en la red trifásica, la cual es gestionada por un interruptor termomagnético (Q2) de tres polos que actúa como protección general.

Desde este punto, las líneas se distribuyen hacia contactores independientes destinados a cada eje principal (X, Y, Z) y al motor del husillo. Esta configuración permite que el sistema de mando habilite la etapa de potencia de forma segmentada. Posteriormente, la energía es conducida hacia los servodrivens y al variador de frecuencia (VFD), dispositivos encargados de modular la potencia para el control preciso de los motores, tal como se ilustra en la Figura 19.



**Figura 19**

*Esquema de potencia para la distribución trifásica de motores y drivers.*

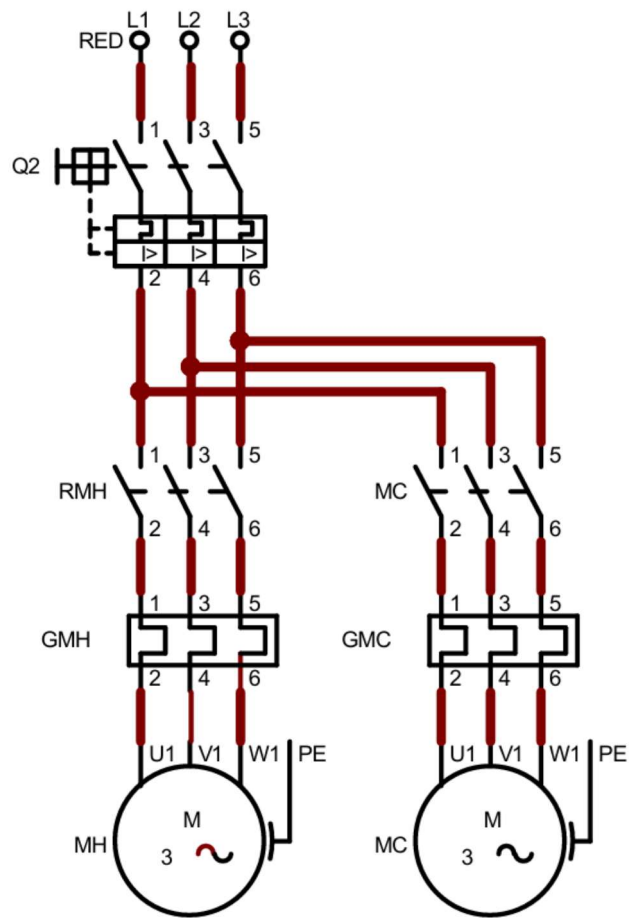
En la Tabla 8 se detalla el significado de cada abreviatura empleada en el diseño del circuito de potencia.

**Tabla 8**

*Nomenclatura y descripción de etiquetas del esquema de potencia*

<b>Etiqueta</b>	<b>Descripción del Componente</b>
RED	Punto de acometida de la red trifásica principal.
CABLE 10, 12, 16	Calibres de los conductores según la jerarquía de corriente.
Q2	Interruptor termomagnético general (Protección térmica y magnética).
KSPIN	Contactador de potencia para habilitar el motor del husillo.
KEJEZ	Contactador de potencia para habilitar el motor del eje Z.
KEJEY	Contactador de potencia para habilitar el motor del eje Y.
KEJEX	Contactador de potencia para habilitar el motor del eje X.
VDF	Variador de Frecuencia .
DRIVE	Servo Driver (Controlador de potencia para servomotores).
MSPIN	Motor principal del husillo (Spindle Motor).
MEJEZ	Motor correspondiente al eje vertical (Eje Z).
MEJEY	Motor correspondiente al eje transversal (Eje Y).
MEJEX	Motor correspondiente al eje longitudinal (Eje X).

Complementariamente al sistema de accionamiento de los ejes, se desarrolló el circuito de potencia destinado a los sistemas auxiliares de la fresadora, como se ilustra en la Figura 20. Este subsistema gestiona la alimentación de la bomba hidráulica y la bomba de refrigerante. A diferencia de los motores principales, estos equipos están protegidos individualmente por guardamotores, los cuales integran protección térmica y magnética ajustable. La maniobra se realiza mediante contactores independientes, permitiendo que la activación de la lubricación y el flujo de refrigerante sea gestionada automáticamente por el controlador CNC según los requerimientos del proceso de mecanizado.



**Figura 20**

*Esquema de potencia para las bombas de refrigerante e hidráulica.*

En la Tabla 9 se detalla el significado de la nomenclatura empleada para estos componentes:

**Tabla 9***Abreviaturas del esquema de potencia para periféricos*

Abreviatura	Componente	Función técnica
RED	Acometida	Entrada de la red trifásica de alimentación.
Q2	Breaker General	Interruptor termomagnético de protección de cabecera.
RMH	Contactador Hidráulico	Elemento de maniobra para la bomba hidráulica.
MC	Contactador Refrigerante	Elemento de maniobra para la bomba de refrigerante.
GMH	Guardamotor Hidráulico	Protección térmica y magnética del motor hidráulico.
GMC	Guardamotor Refrigerante	Protección térmica y magnética del motor de refrigerante.
MH	Motor Hidráulico	Actuador del sistema de lubricación centralizada.
MC	Motor Refrigerante	Actuador para el suministro de fluido de corte.
PE	Tierra (PE)	Conexión de seguridad para derivación de corrientes de falla.

**6.9.4. Diseño del sistema de mando**

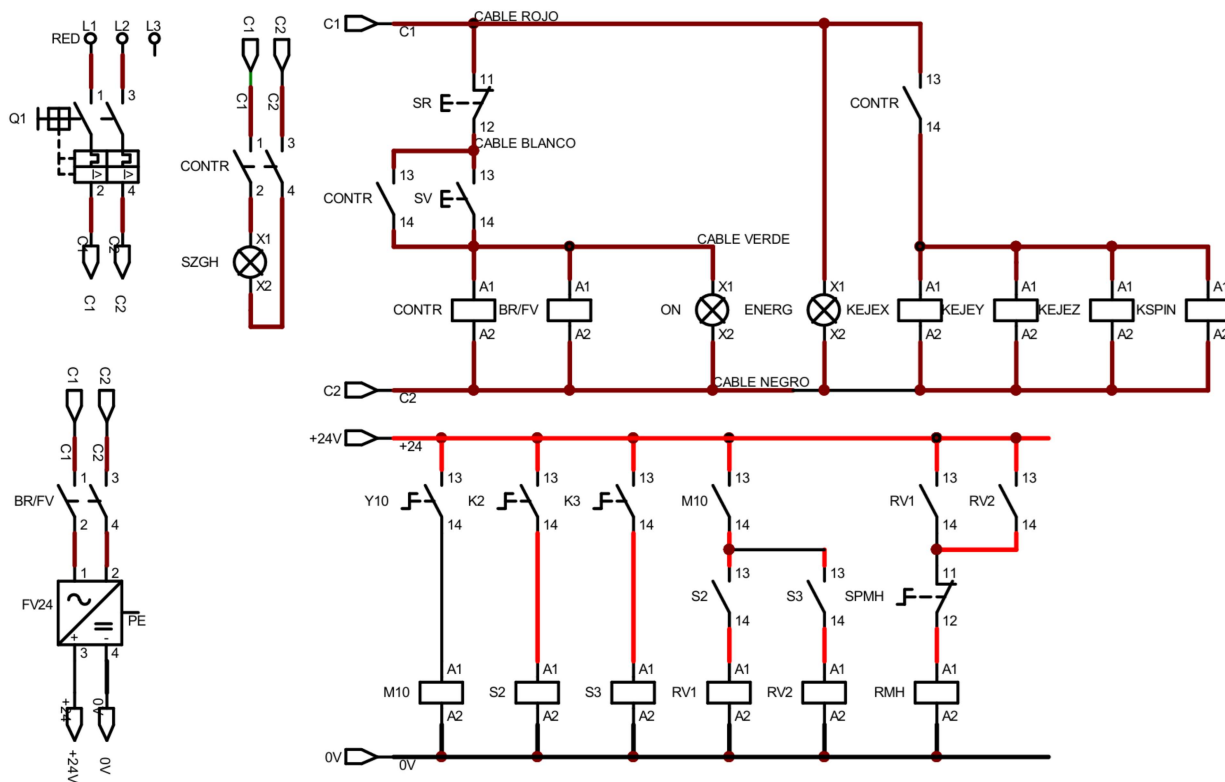
El funcionamiento del sistema de mando se desglosa en cuatro etapas operativas fundamentales, las cuales garantizan la seguridad del operador y la integridad electromecánica de la fresadora:

1. **Gestión de energía y conversión de niveles:** El circuito se alimenta de una línea bifásica de 220 V, protegida por el interruptor termomagnético Q1. Esta línea alimenta la fuente conmutada FV24, la cual transforma la tensión alterna en 24 Vcc. Este nivel de tensión es mandatorio para alimentar la lógica digital del controlador SZGH y los sensores, garantizando un aislamiento galvánico que protege la electrónica sensible frente a transitorios de la red de potencia.
2. **Lógica de enclavamiento y seguridad:** La activación de la potencia principal depende de un lazo de seguridad en serie. El pulsador de parada (SR), al poseer un contacto normalmente cerrado (NC), asegura que cualquier interrupción física en el cableado detenga la máquina inmediatamente. Al accionar el pulsador de marcha (SV), se energiza la bobina del relé maestro (CONTR), el cual mediante un contacto auxiliar crea una autorretención. Este mecanismo impide que la máquina arranque de forma autónoma tras un corte de energía, cumpliendo con las normativas de seguridad industrial.
3. **Acoplamiento de señales y control CNC:** El controlador SZGH gestiona los actuadores mediante relés de interfaz (K2, K3, RV1, RV2). Esta configuración permite que señales de baja potencia (24 Vcc) controlen dispositivos de mayor consumo o tensión, como

las electroválvulas y los contactores de los ejes. El relé RMH, encargado de la bomba hidráulica, se encuentra supeditado al sensor de presión SPMH; si el sensor detecta una caída de presión, el lazo de mando se interrumpe, generando una parada de emergencia controlada para evitar el desgaste prematuro de las guías por falta de lubricación.

4. **Monitoreo visual y señalización:** El sistema integra luminarias industriales para el diagnóstico en tiempo real. La luz roja (ENERG) indica presencia de tensión en el mando sin habilitación de potencia, mientras que la luz verde (ON) confirma el enclavamiento del relé CONTR. Adicionalmente, indicadores en paralelo a las bobinas de los contactores (KEJEX, KEJEY, KEJEZ) permiten al operador identificar visualmente qué eje se encuentra energizado por el controlador.

En la Figura 21 se observa el diseño detallado del circuito de mando, donde se especifica la disposición de los pulsadores de marcha y paro, así como la lógica de activación de los periféricos y ejes principales a través del controlador CNC.



**Figura 21**

*Diagrama de mando y control del sistema de automatización.*

En la Tabla 10 se presenta el desglose detallado de la nomenclatura empleada en el esquema de mando.

**Tabla 10**

*Identificación de componentes y etiquetas del circuito de mando*

<b>Etiqueta</b>	<b>Componente</b>	<b>Función técnica</b>
Q1	Breaker de Mando	Protección termomagnética de la línea de control.
CONTR	Relé Maestro	Gestiona el enclavamiento de seguridad y habilitación de potencia.
SV / SR	Pulsadores NO / NC	Interfaz de operador para las funciones de Marcha y Paro.
SZGH	Unidad CNC	Sistema central de procesamiento y automatización.
ENERG / ON	Indicadores LED	Señalización visual del estado de energía y operación.
FV24	Fuente conmutada	Conversión de 220 Vca a 24 Vcc para lógica digital.
BR/FV	Relé de Freno	Control del sistema de frenado del husillo principal.
K2 / K3	Relés de Señal	Acoplamiento de salidas digitales del CNC para funciones auxiliares.
RMH	Relé Hidráulico	Accionamiento de la bomba de lubricación centralizada.
SPMH	Sensor de Presión	Dispositivo de seguridad para el monitoreo del sistema hidráulico.

### **6.9.5. Selección de componentes eléctricos**

La selección de los componentes eléctricos se fundamenta en un análisis riguroso de las cargas y regímenes de trabajo para asegurar la fiabilidad operativa de la fresadora Deckel FP4M. Los dispositivos de protección y maniobra fueron elegidos bajo los lineamientos de la normativa IEC 60204-1, que regula el equipo eléctrico de las máquinas para garantizar la seguridad de las personas y la preservación del patrimonio.

El criterio técnico priorizó la capacidad de respuesta ante transitorios y la selectividad de las protecciones, siguiendo los estándares de la norma IEC 60947 para interruptores termomagnéticos y contactores. De este modo, se garantiza la compatibilidad con la red trifásica de la planta y la robustez ante las corrientes de inserción de los servodrivens de 18 A.

**Tabla 11***Especificaciones técnicas detalladas de los componentes de Fuerza y Mando*

Componente	Etiqueta	Especificación Técnica	Normativa
<b>SISTEMA DE FUERZA (POTENCIA)</b>			
Breaker Principal	Q2	Trifásico, 400V, Curva C, 32A	IEC 60947-2
Contactores Ejes/Husillo	KEJE / KSPIN	Bobina 220V, Categoría AC-3, 18A/32A	IEC 60947-4-1
Guardamotores	GMH / GMC	Rango 0.63 - 1.0 A (Ajustable)	IEC 60947-4-1
Conductores de Fuerza	Cable 10/12/16	Cobre THHN/THWN, 600V, Multifilar	IEC 60204-1
<b>SISTEMA DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN</b>			
Breaker de Mando	Q1	Bipolar, 230V, 6A, Curva C	IEC 60947-2
Fuente Conmutada	FV24	Entrada 220Vca / Salida 24Vcc, 10A	IEC 61204-3
Pulsadores	SV / SR	Diámetro 22mm, IP65, Contactos 6A	IEC 60947-5-1
Luces Piloto	ENERG / ON	LED Monobloque, 220Vca, 20mA	IEC 60073
Relés de Interfaz	K2 / K3 / RV	Bobina 24Vcc, Contactos AgSnO2 8A	IEC 61810-1
Cable de Control	Control 18	AWG 18, Flexible, Aislamiento PVC	IEC 60204-1

Como se detalla en la Tabla 11, para el circuito de potencia, se seleccionaron conductores de calibres 10, 12 y 16 AWG bajo la norma IEC 60204-1, dimensionados para soportar las corrientes nominales de los motores y los picos de los servodrivs de 18 A.

En el sistema de mando, se integraron elementos de señalización visual y pulsadores industriales. La elección de los colores para las luces piloto (rojo para emergencia/energía y verde para operación) cumple con la norma IEC 60073, facilitando el diagnóstico rápido por parte del operador. Asimismo, el uso de conductores de calibre 18 AWG para el control asegura la flexibilidad necesaria dentro del panel y una caída de tensión despreciable para la lógica de 24 Vcc.

#### **6.9.6. Selección de actuadores para el sistema de avance (Ejes X, Y y Z)**

La selección de los servomotores de corriente alterna (AC) se basa en la necesidad de obtener una respuesta dinámica superior y un control de posición preciso, reemplazando los sistemas mecánicos originales de la fresadora Deckel FP4M. El criterio de selección priorizó la compatibilidad con los drivers SZGH-SD2026 y la capacidad de torque necesaria para vencer las inercias de la máquina.

**Ejes Longitudinal (X) y Transversal (Y)** Para los desplazamientos en el plano horizontal, se seleccionaron actuadores que ofrecen un equilibrio óptimo entre velocidad y torque nominal.

El modelo elegido permite alcanzar las tasas de avance rápido requeridas para reducir los tiempos muertos de mecanizado.

- **Modelo:** SZGH-11120BC.
- **Potencia Nominal:** 1.2 kW.
- **Torque Nominal:** 6 Nm.
- **Velocidad Nominal:** 2000 RPM.
- **Corriente:** 4.5 A.

**Eje Vertical (Z)** El eje vertical requiere una mayor capacidad de carga, ya que el actuador debe contrarrestar de forma constante la fuerza de gravedad que actúa sobre la mesa de trabajo, las mordazas de sujeción y la pieza a mecanizar. Por este motivo, se seleccionó un motor con un par nominal de 15 Nm como originalmente llevaba la maquina, asegurando que el sistema pueda realizar desplazamientos ascendentes sin pérdida de pasos y mantener la posición con estabilidad.

- **Modelo:** SZGH-13230AC-T.
- **Potencia Nominal:** 2.3 kW.
- **Torque Nominal:** 15 Nm.
- **Velocidad Nominal:** 1500 RPM.
- **Corriente:** 9.5 A.

**Tabla 12**

*Comparativa técnica de los servomotores seleccionados para la Deckel FP4M*

Característica	Eje X / Eje Y	Eje Z (Vertical)	Unidad
Modelo SZGH	11120BC	13230AC-T	-
Potencia Nominal	1.2	2.3	kW
Torque Nominal	6	15	Nm
Velocidad Nominal	2000	1500	RPM
Corriente Nominal	4.5	9.5	A
Voltaje de Alimentación	220	220	Vac

## 6.10. Propuesta de adaptación del sistema de control numérico (CNC)

La automatización de la fresadora Deckel FP4M se fundamenta en la implementación de una arquitectura de control basada en tecnología **SZGH**. Esta elección responde a criterios de fiabilidad industrial, compatibilidad electromecánica y a la experiencia técnica de la empresa *Proyecplast* en proyectos de repotenciación similares.

La empresa ha utilizado esta marca de forma recurrente en equipos previamente modernizados, obteniendo resultados satisfactorios en términos de estabilidad operativa, facilidad de integración y disponibilidad de soporte técnico. En consecuencia, el diseño propuesto mantiene coherencia con soluciones previamente implementadas, reduciendo riesgos técnicos y asegurando la continuidad en los criterios de ingeniería utilizados en proyectos anteriores.

**Hardware de control seleccionado:** El núcleo del sistema está compuesto por dispositivos diseñados para operar de forma integrada, garantizando una comunicación fluida entre la lógica de programación y la etapa de potencia:

- **Controlador SZGH-CNC1000MDb:** Unidad central de procesamiento con capacidad de control multieje, encargada de la interpretación de trayectorias y la ejecución de la lógica de PLC para periféricos.
- **Placa I/O SZGH-CNC-IO-12 V2.1:** Módulo de expansión encargado de la gestión de señales digitales. Actúa como interfaz segura para los finales de carrera, sensores de presión y la habilitación de contactores.
- **Servodrivens SZGH-SD2026:** Controladores de potencia con capacidad de salida de 18 A. Su diseño versátil permite alimentación monofásica o trifásica (200-240V), facilitando su integración en la red eléctrica existente.

**Tabla 13**

*Especificaciones del ecosistema de control SZGH*

Componente	Modelo	Especificación Destacada
Controlador CNC	SZGH-CNC1000MDb	Interfaz de usuario industrial y soporte para código G.
Placa de Interfaz	SZGH-CNC-IO-12 V2.1	Aislamiento optoacoplado para señales de 24 Vcc.
Servodriver	SZGH-SD2026	Salida trifásica de 18 A, compatible con servomotores de alta dinámica.

En la Tabla 13 se resumen las características técnicas del hardware seleccionado, cuyas especificaciones fueron validadas de acuerdo a los manuales de operación del fabricante (Shenzhen Guanhong Automation Co., Ltd., 2026).

### 6.10.1. Arquitectura de conexión

La integración de los módulos SZGH permite establecer un lazo de control robusto y bidireccional, garantizando una respuesta dinámica precisa ante las exigencias del mecanizado. Este flujo de señales se articula a través de tres niveles operativos, detallados a continuación y referenciados en el esquema general de la Figura 22:

1. **Lazo de posición y velocidad (Control de Ejes):** El controlador principal genera trenes de señales diferenciales de pulso y dirección (*PUL/DIR*) hacia los servodrivens SD2026. Estos módulos procesan la potencia trifásica para accionar los servomotores, cerrando el lazo de control mediante la retroalimentación constante del encoder, lo que permite una precisión posicional de hasta  $1\ \mu\text{m}$ .
2. **Interfaz de control y gestión de periféricos (I/O):** A través de la placa SZGH-CNC-IO-12 V2.1, el controlador centraliza la comunicación con el entorno físico de la fresadora. Esta interfaz desempeña las siguientes funciones críticas:
  - **Procesamiento de entradas digitales:** Monitoreo en tiempo real de los sensores de límite de carrera, puntos de referencia (*Home*) y señales de alarma provenientes de los servodrivens.
  - **Gestión de salidas lógicas:** Activación automatizada de los relés de interfaz (RMH, MC) para la gestión de la lubricación y el refrigerante mediante la ejecución de códigos M en el programa de mecanizado.
  - **Aislamiento y protección galvánica:** Implementación de optoacopladores para desacoplar eléctricamente la lógica del CNC de las señales del tablero de potencia, eliminando el ruido electromagnético y protegiendo la integridad del controlador.
  - **Control analógico del husillo:** Generación de una señal de voltaje variable (0-10 Vcc) dirigida al variador de frecuencia, permitiendo la regulación automática de las RPM del motor AEG de acuerdo a las condiciones de corte establecidas.
3. **Monitoreo de seguridad y diagnóstico:** El sistema realiza un escaneo cíclico de las señales de error. El controlador supervisa permanentemente el estado de los sensores de

seguridad, como el sensor de presión hidráulica (SPMH), deteniendo instantáneamente la ejecución del código G y bloqueando los movimientos de los ejes ante cualquier anomalía detectada.



**Figura 22**

*Diagrama de interconexión del ecosistema SZGH-CNC1000MDb.*

Fuente: Adaptado de Shenzhen Guanhong Automation Co., Ltd. (2026).

### **6.10.2. Identificación de entradas y salidas del sistema CNC**

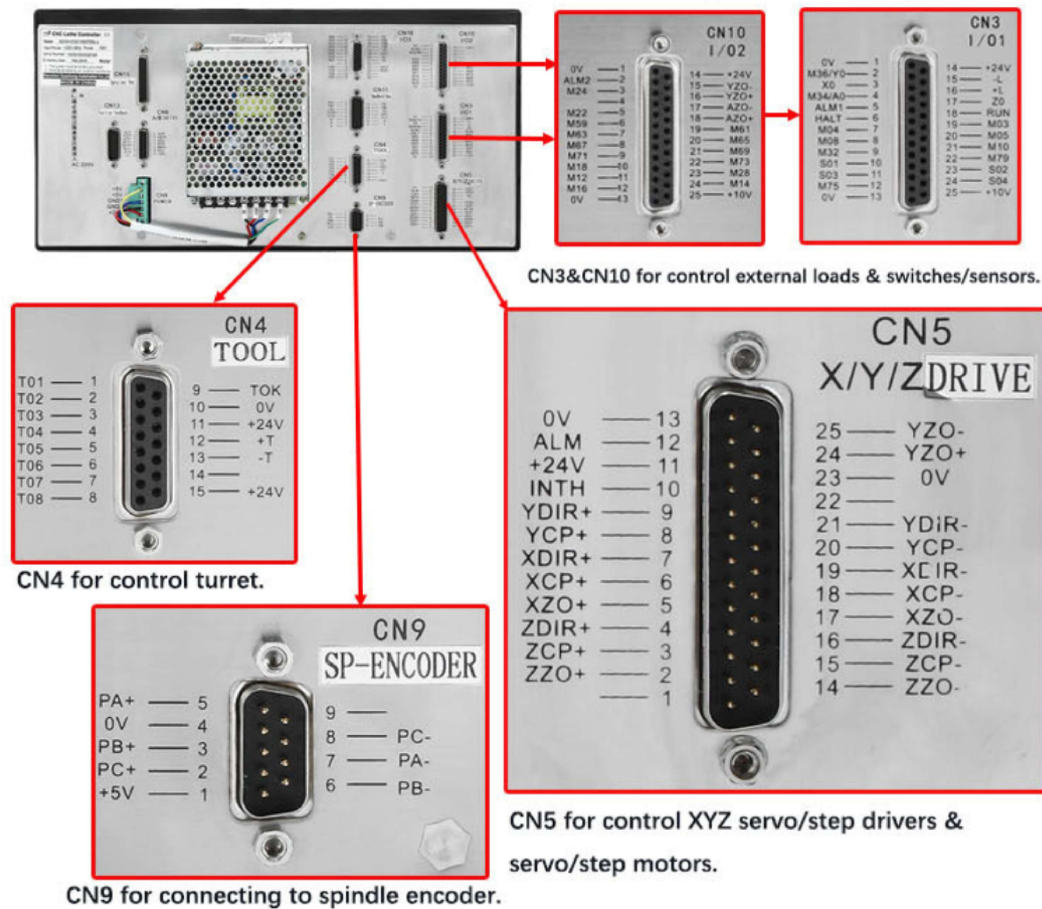
La identificación de las entradas y salidas del sistema CNC constituye una etapa fundamental para garantizar la correcta integración entre el controlador numérico, los dispositivos de campo y los sistemas auxiliares de la fresadora Deckel FP4M. Este proceso permite establecer de manera ordenada las señales de entrada provenientes de sensores, finales de carrera y dispositivos de seguridad, así como las señales de salida destinadas al accionamiento de actuadores, relés y sistemas auxiliares.

El controlador CNC SZGH-CNC1000MDb dispone de múltiples interfaces de entrada y salida digitales y analógicas, organizadas mediante conectores específicos, los cuales facilitan la conexión con los distintos elementos del sistema. Estas señales operan principalmente a un nivel de 24 Vcc, estándar en aplicaciones industriales, lo que garantiza compatibilidad, seguridad eléctrica y facilidad de integración con dispositivos comerciales.

Las entradas del sistema CNC se emplean para la adquisición de información del estado de la máquina, tales como señales de referencia de ejes, finales de carrera, alarmas y comandos externos. Por su parte, las salidas permiten el control de sistemas auxiliares como bombas de refrigeración, sistemas de lubricación, accionamiento del husillo y otros dispositivos que intervienen en la operación automática de la fresadora.

La correcta identificación y asignación de estas entradas y salidas permite estructurar de forma clara la lógica de operación del sistema, facilita el diseño del cableado y sienta las bases para la posterior configuración del sistema de control numérico y la integración con la tarjeta de interfaz SZGH-CNC-IO-12.

Se puede observar que las conexiones generales del sistema CNC presentan una disposición directa y ordenada. En la parte posterior del controlador se concentran todos los conectores de interconexión necesarios para la integración de los distintos subsistemas de la fresadora, tal como se muestra en la Figura 23



**Figura 23**

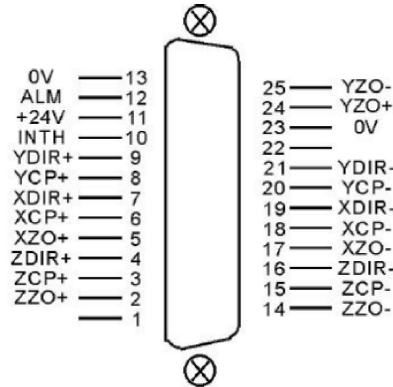
*Conectores del controlador SZGH-CNC1000MDb.*

Fuente: Adaptado de Shenzhen Guan hong Automation Co., Ltd. (2026).

El controlador CNC SZGH presenta una arquitectura de interconexión modular que permite la comunicación directa con los diferentes subsistemas de la fresadora Deckel FP4M mediante conectores industriales normalizados. En la parte posterior del controlador se disponen múltiples puertos dedicados a señales de control, realimentación y comunicación, lo que facilita la integración con dispositivos externos y la escalabilidad del sistema.

- Tipo de conectores empleados:** El sistema utiliza principalmente conectores tipo D-Sub, ampliamente empleados en entornos industriales debido a su confiabilidad mecánica, facilidad de mantenimiento y adecuada inmunidad frente a interferencias electromagnéticas. Estos conectores permiten el manejo de señales digitales y analógicas necesarias para la operación del sistema CNC.

- Conector CN5 – Control de ejes:** El conector CN5 está destinado al control de los ejes X, Y y Z de la máquina. A través de este puerto se transmiten señales de control de tipo pulso/dirección (*Pulse/Direction*) hacia los drivers de los motores. Adicionalmente, integra señales de habilitación, alarmas y referencias, permitiendo una comunicación directa y sincronizada entre el controlador CNC y los sistemas de accionamiento, en la Figura 24 se puede observar la arquitectura del socket.



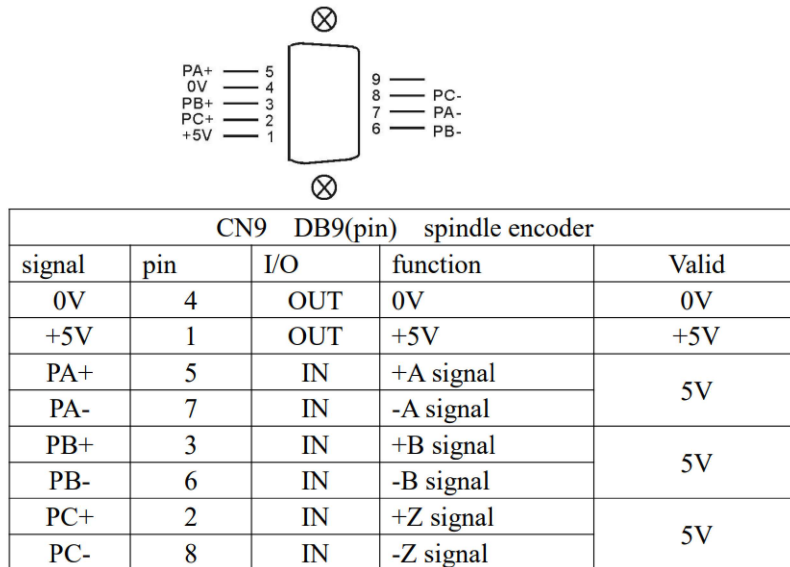
CN5 DB25(pin) servo drive signal				
signal	pin	I/O	Function	Valid
XCP+	6	OUT	Positive Pulse signal of X-axis	5V
XCP-	18	OUT	Negative Pulse signal of X-axis	
XDIR+	7	OUT	Positive Direction signal of X-axis	5V
XDIR-	19	OUT	Negative Direction signal of X-axis	
YCP+	8	OUT	Positive Pulse signal of Y-axis	5V
YCP-	20	OUT	Negative Pulse signal of Y-axis	
YDIR+	9	OUT	Positive Pulse signal of Y-axis	5V
YDIR-	21	OUT	Negative Pulse signal of Y-axis	
XZO+	5	IN	Positive Zero position signal of X-axis	5V
XZO-	17	IN	Negative Zero position signal of X-axis	
ZCP+	3	OUT	Positive Pulse signal of Z-axis	5V
ZCP-	15	OUT	Negative Pulse signal of Z-axis	
ZDIR+	4	OUT	Positive Direction signal of Z-axis	5V
ZDIR-	16	OUT	Negative Direction signal of Z-axis	
ZZO+	2	IN	Positive Zero Position signal of Z-axis	5V
ZZO-	14	IN	Negative Zero Position signal of Z-axis	
YZO+	1	OUT	Positive Zero Position signal of Y-axis	5V
YZO-	22	OUT	Negative Zero Position signal of Y-axis	
0V	13/23	OUT	0V	0V
ALM	12	IN	Alarm signal of Servo driver	0V
+24V	11	OUT	+24V	24V
INTH	10	OUT	Reset alarm signal	0V

**Figura 24**

*Socket CN5 y disposición de pines del controlador CNC SZGH.*

Fuente: Adaptado del manual del fabricante SZGH Automation (2024).

- Conector CN9 – Realimentación del husillo:** Para la realimentación del husillo, el controlador dispone del conector CN9, diseñado para la conexión de un encoder incremental. Mediante este puerto se reciben las señales de fase A, B y Z, lo que permite al CNC supervisar la velocidad y la posición angular del husillo, información esencial para funciones como el roscado rígido y la sincronización de movimientos, podemos observar en la Figura 25 la disposición del socket con sus respectivos pines.



**Figura 25**

*Socket CN9 y disposición de pines.*

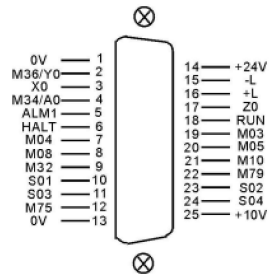
Fuente: Adaptado del manual del fabricante SZGH Automation (2024).

- Conector CN4 – Dispositivos auxiliares:** El conector CN4 se emplea para el control de dispositivos auxiliares, tales como torretas de herramientas, actuadores externos u otros mecanismos complementarios de la máquina. Este conector dispone de líneas de entrada y salida digitales que permiten la selección de funciones, la confirmación de estados y la transmisión de señales de control, facilitando la integración de sistemas mecánicos auxiliares dentro de la arquitectura del CNC.

En el presente diseño de repotenciación de la fresadora Deckel, no se contempla la incorporación de una torreta automática para el cambio de herramienta; sin embargo, el conector CN4 se mantiene como una opción de integración futura, permitiendo la ampliación del sistema sin requerir modificaciones estructurales en el controlador CNC.

- Conector CN3 – Entradas y salidas digitales de propósito general:** El conector CN3 corresponde a una interfaz de entradas y salidas digitales de uso general, utilizada para la conexión de sensores, finales de carrera, pulsadores, interruptores y otros dispositivos externos del sistema CNC. A través de este conector, el controlador puede supervisar el estado de la máquina y generar señales de control hacia los elementos de campo de manera confiable. En la Figura 26 se presenta la disposición de pines del conector CN3 según el manual del fabricante.

#### 4.7.3 CN3 IO1 Control Socket (Female/DB25)



CN3 DB25(hole) I/O1 machine signal				
signal	pin	I/O	function	Valid
0V	1	OUT	0V	0V
+24V	14	OUT	+24V	+24V
M36/Y0	2	IN	M36/Y0	0V
X0	3	IN	X axis Zero	0V
Z0	17	IN	Z axis Zero	0V
-L	15	IN	Positive limit	0V
+L	16	IN	Negative limit	0V
M34/A0	4	IN	M34/A0	0V
ALM1	5	IN	Transducer alarm 1	0V
HALT	6	IN	Pause	0V
RUN	18	IN	Run	0V
M03	19	OUT	spindle clockwise	0V
M04	7	OUT	SP counter clockwise	0V
M05	20	OUT	SP stop	0V
M08	8	OUT	coolant	0V
M10	21	OUT	spindle chuck	0V
M32	9	OUT	lubricating	0V
M79	22	OUT	spindle tailstock	0V
S01	10	OUT	spindle first gear	0V
S02	23	OUT	spindle second gear	0V
S03	11	OUT	spindle third gear	0V
S04	24	OUT	spindle fourth gear	0V
M75	12	OUT	C axis mode	0V
+10V	25	OUT	Analog Output Signal of 1st spindle	0~10V
0V	13	OUT	0V	0V

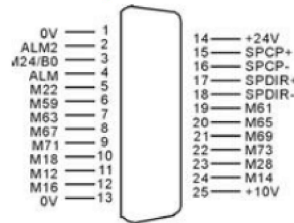
**Figura 26**

*Conector CN3 y disposición de pines.*

Fuente: Adaptado del manual del fabricante Shenzhen GuanHong Automation Co., Ltd. (2026).

- Conector CN10 – Entradas y salidas digitales auxiliares:** El conector CN10 constituye una interfaz adicional de entradas y salidas digitales de propósito general, empleada para ampliar la capacidad de conexión de dispositivos externos del sistema CNC. Este conector permite la integración de sensores, actuadores y elementos de señalización adicionales, aportando mayor flexibilidad y escalabilidad al sistema de control. La disposición de pines correspondiente al conector CN10 se muestra en la Figura 27.

#### 4.7.4 CN10 IO2 Socket (Female/DB25)



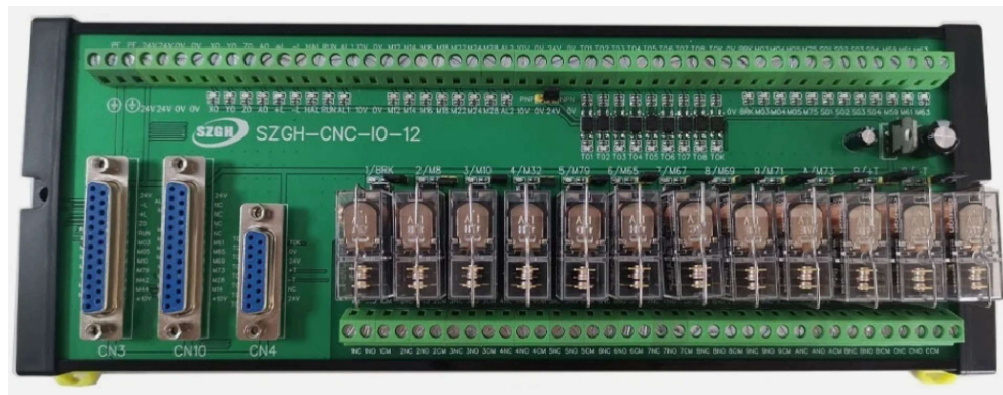
CN10 DB25 I/O2 milling signal				
Signal	Pin	I/O	Function	Valid
0V	1	OUT	Ground of the power supply	0V
+24V	14	OUT	24V power supply	+24V
SPCP+	15	OUT	Spindle pulse positive signal	0V
SPCP-	16	OUT	Spindle pulse negative signal	
SPDIR+	17	OUT	Spindle direction positive signal	0V
SPDIR-	18	OUT	Spindle direction negative signal	
ALM	4	IN	Driver alarm	0V
ALM2	2	IN	Milling alarm2	0V
M24/B0	3	IN	User-defined input 7 or return to the zero point signal of B axis	0V
M22	5	IN	Stop M01 input	0V
M59	6	OUT	Huff output	0V
M61	19	OUT	User-defined output1	0V
M63	7	OUT	User-defined output2	0V
M65	20	OUT	User-defined output3	0V
M67	8	OUT	User-defined output4	0V
M69	21	OUT	User-defined output5	0V
M71	9	OUT	User-defined output6	0V
M73	22	OUT	User-defined output7	0V
M18	10	IN	User-defined input 1	0V
M28	23	IN	User-defined input2	0V
M12	11	IN	User-defined input3	0V
M14	24	IN	User-defined input4	0V
M16	12	IN	User-defined input5	0V
+10V	25	OUT	Analog Output Signal of 2nd spindle	0~10V
0V	13	OUT	Ground of frequency conversion	0V

**Figura 27**

*Conector CN10 y disposición de pines.*

Fuente: Adaptado del manual del fabricante Shenzhen Guanhong Automation Co., Ltd. (2026).

- Integración mediante tarjeta de expansión de E/S:** Cabe destacar que los conectores CN3 y CN4 no se conectan directamente a los dispositivos de campo, sino que se integran a través de la tarjeta de expansión de entradas y salidas SZGH-CNC-IO-12, como se muestra en la Figura 28. Esta tarjeta actúa como interfaz intermedia entre el controlador CNC y los elementos externos de la máquina, permitiendo ampliar la cantidad de señales disponibles, organizar el cableado y facilitar el mantenimiento del sistema.



**Figura 28**

*Tarjeta de expansión de entradas y salidas SZGH-CNC-IO-12 utilizada como interfaz entre el controlador CNC y los dispositivos externos*

La tarjeta de expansión de entradas y salidas SZGH-CNC-IO-12 constituye la interfaz principal entre el controlador CNC y los dispositivos periféricos de la fresadora. Su función es permitir la conexión de sensores, actuadores y elementos auxiliares mediante señales digitales y analógicas estandarizadas, facilitando la interacción del sistema CNC con los distintos subsistemas de la máquina.

A través de esta tarjeta se gestionan señales de entrada asociadas a sensores de posición, finales de carrera, estados de alarma y comandos de operación, así como señales de salida destinadas al accionamiento de bombas, husillo, sistemas de lubricación, refrigeración y otros dispositivos auxiliares. Esta arquitectura modular permite una integración ordenada del sistema eléctrico, simplificando el cableado y mejorando la mantenibilidad del conjunto.

En la Tabla 14 podemos observar los pines de conexión principales para el sistema CNC.

**Tabla 14***Señales relevantes (I/O) utilizadas en la fresadora Deckel FP4M*

<b>Señal</b>	<b>Pin</b>	<b>Tipo</b>	<b>Función en la fresadora</b>
+24V	14	OUT	Alimentación para sensores y circuitos de mando externos.
0V	1 / 13	OUT	Referencia común para señales de entrada y salida.
-L / +L	15 / 16	IN	Finales de carrera positivos y negativos de los ejes.
X0	3	IN	Sensor de referencia (home) del eje X.
Z0	17	IN	Sensor de referencia (home) del eje Z.
M08	8	OUT	Activación de la bomba de refrigerante.
M32	9	OUT	Activación del sistema de lubricación automática.
M03	19	OUT	Comando de giro del husillo en sentido horario.
M05	20	OUT	Paro del husillo.
HALT	6	IN	Señal de pausa del ciclo de mecanizado.
ALM1	5	IN	Señal de alarma proveniente de dispositivos externos.

## 7. Resultados

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto de repotenciación y automatización de la fresadora universal Deckel FP4M. Los resultados se presentan de manera ordenada y coherente, en función de los objetivos específicos planteados, permitiendo evidenciar el cumplimiento de cada uno de ellos y su relación con el fundamento técnico desarrollado en los capítulos anteriores.

Los resultados alcanzados corresponden principalmente al diagnóstico del estado actual de la máquina, al diseño de los sistemas mecánicos y eléctricos necesarios para su repotenciación, así como a la propuesta de adaptación de un sistema de control numérico computarizado (CNC). Dichos resultados demuestran la viabilidad técnica del proyecto y su aporte a la modernización de equipos industriales mediante la reutilización de estructuras mecánicas

existentes y la incorporación de tecnologías actuales.

## **7.1. Resultados del diagnóstico y definición de requerimientos**

Como resultado del análisis técnico realizado sobre la fresadora Deckel FP4M, se identificó el estado operativo de sus principales componentes mecánicos, eléctricos y de control. Se determinó que la estructura principal, las guías prismáticas y los husillos de bolas se encuentran en condiciones adecuadas para su reutilización, lo que permite conservar la precisión mecánica original de la máquina y aprovechar la base estructural existente.

En contraste, los sistemas eléctricos y de control originales se encuentran fuera de operación y presentan obsolescencia tecnológica, por lo que se establece la necesidad de su sustitución total. A partir de este diagnóstico se definieron los requerimientos mecánicos, eléctricos y de control que orientan el proceso de repotenciación y sirven como base para el diseño de los nuevos sistemas.

La Tabla 15 presenta un resumen de los componentes evaluados, su condición operativa y las decisiones técnicas adoptadas en función de su viabilidad de reutilización dentro del proceso de automatización de la fresadora.

**Tabla 15***Resultados del análisis técnico de la fresadora Deckel FP4M (Objetivo Específico 1)*

<b>Componente Evaluado</b>	<b>Condición</b>	<b>Resultado del análisis</b>
Bancada y estructura	Operativa	Estructura mecánica en buen estado; se determina su reutilización sin modificaciones estructurales.
Guías prismáticas	Operativas	Presentan desgaste mínimo; mantienen precisión adecuada para el sistema CNC propuesto.
Husillos de bolas (X, Y, Z)	Operativos	Alta eficiencia mecánica; compatibles con servomotores seleccionados.
Motor del husillo	No operativo	Se determina su reemplazo por un motor compatible con variador de frecuencia.
Motores de avance (X, Y, Z)	No operativos	No compatibles con automatización; se define sustitución por servomotores.
Sistema de control original	No operativo	Tecnológicamente obsoleto; se establece la implementación de un sistema CNC moderno.
Tablero eléctrico	No operativo	Componentes obsoletos; se requiere diseño de un nuevo gabinete eléctrico.
Cableado de potencia y control	No operativo	Aislamiento deteriorado y configuración incompatible; se define reemplazo total.
Bombas auxiliares	Operativas	Funcionamiento correcto; se integrarán al sistema CNC mediante salidas digitales.
Sensores y finales de carrera	Operativos (con mantenimiento)	Se recomienda mantenimiento preventivo y limpieza para garantizar su confiabilidad.

## 7.2. Resultados del diseño de los elementos mecánicos

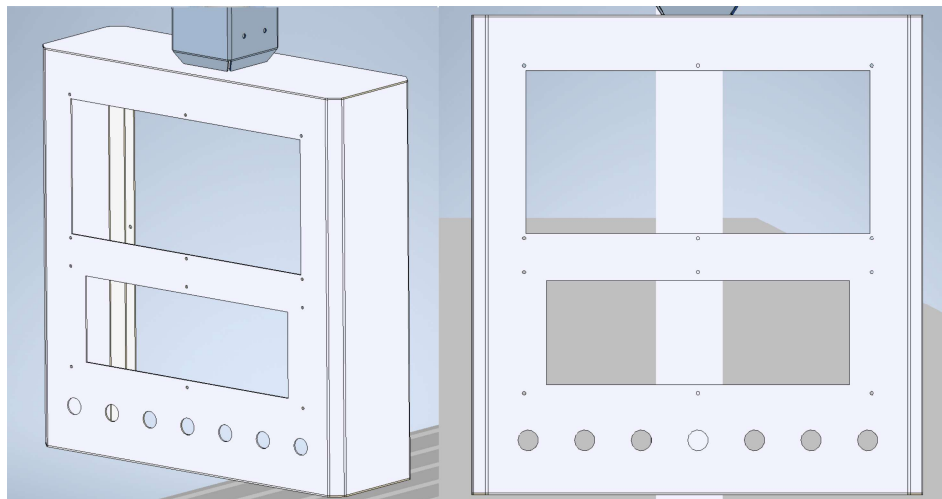
En el ámbito mecánico, se desarrollaron los diseños de los elementos estructurales necesarios para la integración del sistema CNC, incluyendo la consola de control, el brazo de fijación y el gabinete eléctrico. Estos componentes fueron modelados mediante herramientas CAD, considerando criterios de rigidez estructural, ergonomía, accesibilidad y facilidad de mantenimiento.

Como resultado, se obtuvo un conjunto de diseños mecánicos que permitan su contribución y posterior instalación de los nuevos sistemas eléctricos y de control, asegurando una disposición ordenada de los componentes y una interacción adecuada entre el operador y la máquina.

### 7.2.1. Diseño de la carcasa de la consola de control CNC

La carcasa de la consola de control CNC fue diseñada para alojar el controlador, la pantalla, el teclado y los elementos de interacción del operador. Su geometría permite una visualización clara de la interfaz durante la operación de la máquina, garantizando condiciones ergonómicas adecuadas.

El diseño considera una estructura rígida que protege los dispositivos electrónicos frente a vibraciones y condiciones ambientales propias del entorno industrial. En la Figura 29 se muestra el modelo CAD final de la consola de control.



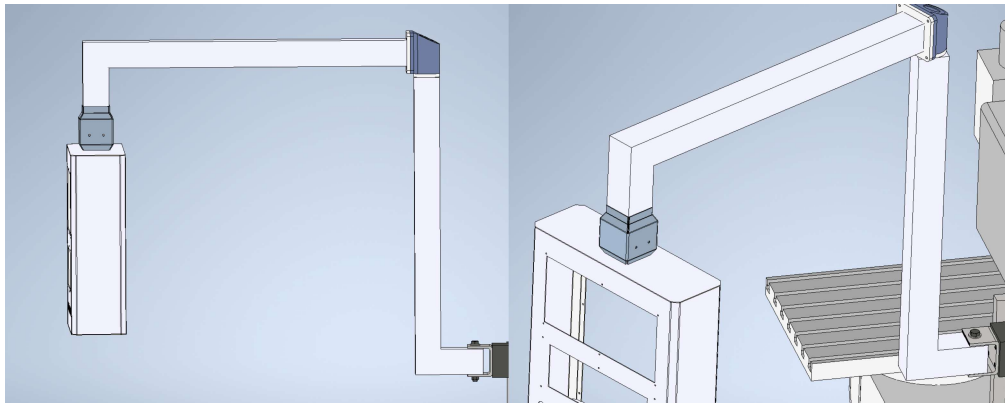
**Figura 29**

*Diseño final de la consola de control CNC.*

### 7.2.2. Diseño del brazo de soporte de la consola

El brazo de soporte fue diseñado para permitir la fijación de la consola de control a la estructura de la fresadora, proporcionando estabilidad mecánica y un rango adecuado de posicionamiento. Este elemento permite orientar la consola según la posición del operador, mejorando la ergonomía durante la operación.

El diseño contempla un sistema de fijación robusto y una sección estructural capaz de soportar el peso de la consola sin generar vibraciones apreciables. En la Figura 30 se presenta el diseño final del brazo de soporte.



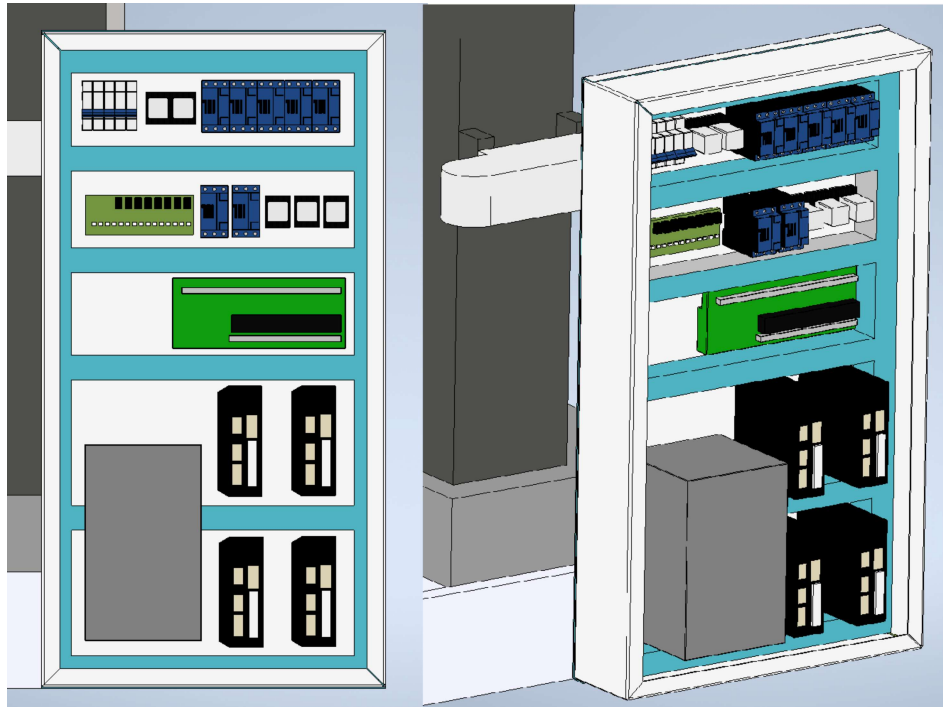
**Figura 30**

*Diseño final del brazo de fijación.*

### 7.2.3. Diseño del gabinete eléctrico

El gabinete eléctrico fue diseñado para alojar los dispositivos de potencia, protección y control del sistema, tales como interruptores termomagnéticos, contactores, fuentes de alimentación, servodrivres y elementos de distribución.

Se definieron dimensiones internas suficientes para garantizar un adecuado espaciamiento entre componentes, una correcta ventilación y facilidad para el cableado. Asimismo, el diseño considera el cumplimiento de criterios de seguridad eléctrica y mantenimiento. La Figura 31 muestra el diseño final del gabinete eléctrico propuesto.



**Figura 31**

*Diseño final del gabinete eléctrico.*

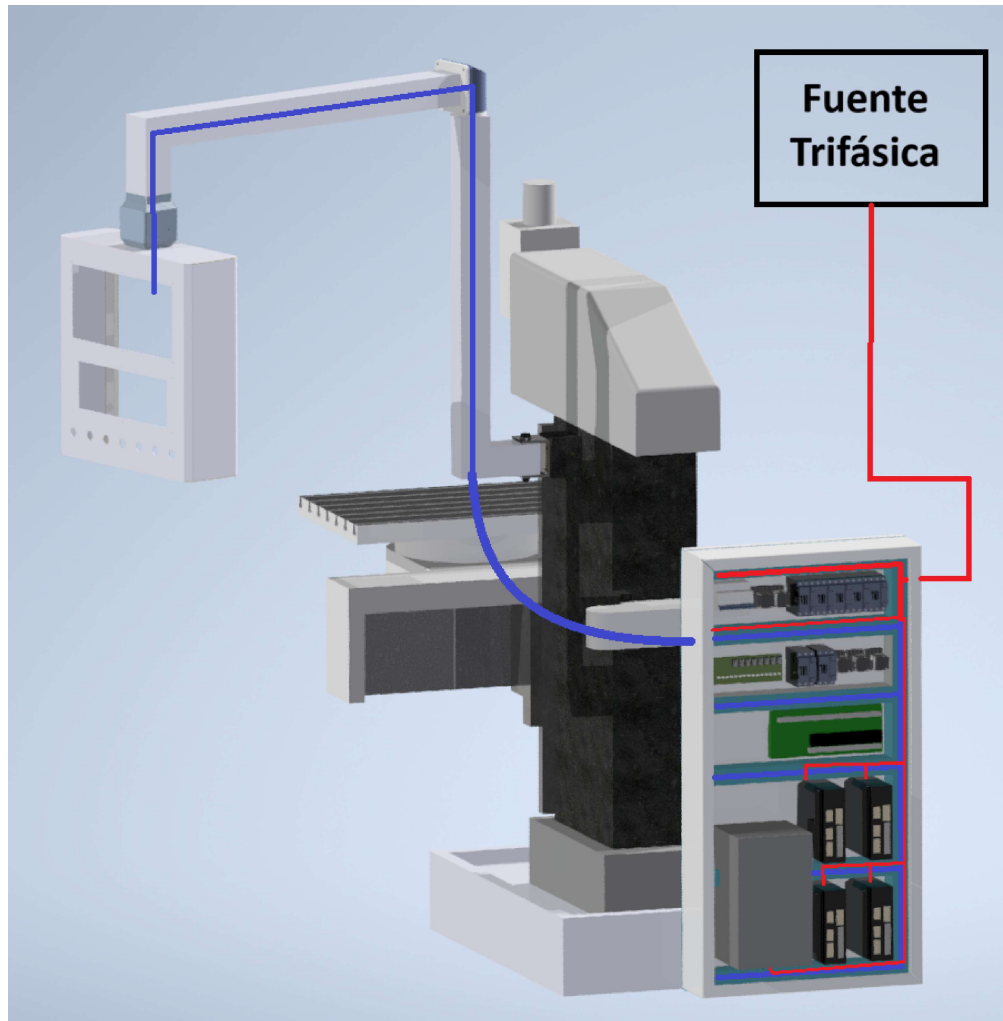
#### **7.2.4. Vista general del conjunto mecánico y disposición del cableado**

Con el fin de validar la integración de los elementos mecánicos diseñados, se desarrolló una vista general del conjunto total de la fresadora repotenciada, en la cual se muestra la disposición de la consola de control, el brazo de soporte y el gabinete eléctrico en relación con la estructura original de la máquina.

Esta vista permite analizar de manera integral la distribución física de los principales componentes y el recorrido del cableado de potencia y control entre el controlador CNC y el gabinete eléctrico. En particular, el diseño del brazo de soporte se concibió con secciones huecas en cada uno de sus eslabones, lo que permite el paso interno de los conductores eléctricos, protegiéndolos frente a agentes externos, reduciendo interferencias y mejorando la estética y seguridad del sistema.

La disposición interna del cableado facilita una conexión ordenada entre el controlador CNC y el gabinete eléctrico, evitando trayectorias externas expuestas y simplificando las labores de mantenimiento. En la Figura 32 se presenta la vista general del conjunto mecánico, donde se indican mediante líneas de referencia los principales recorridos de los cables de conexión, con color azul podemos observar teóricamente la disposición del cableado desde el

controlador hasta el gabinete eléctrico y de igual manera con línea de color rojo que desde el otro lado del gabinete tendremos la conexión de la red trifásica.



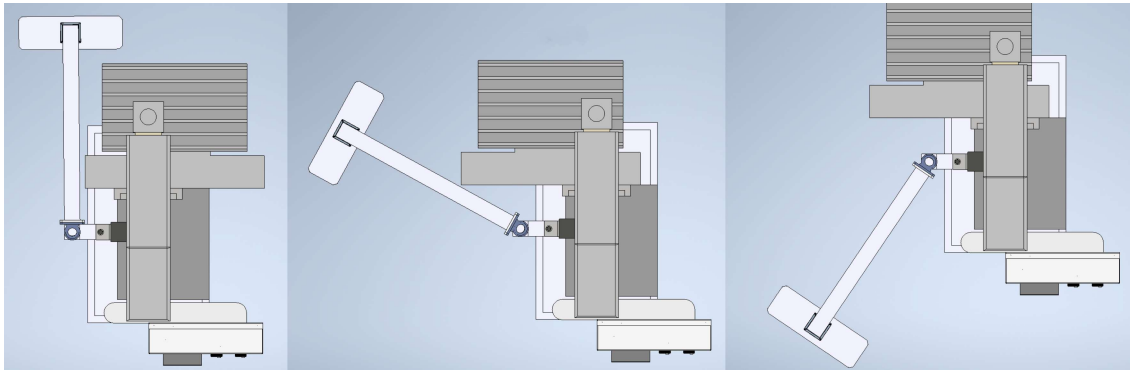
**Figura 32**

*Vista general del conjunto mecánico y disposición del cableado entre el controlador CNC y el gabinete eléctrico.*

A partir del diseño mecánico desarrollado, se obtiene una referencia clara de la movilidad del brazo de soporte con respecto a la estructura de la fresadora. En la Figura 33 se presenta una vista superior del conjunto, donde se aprecia el recorrido que describe el brazo durante su desplazamiento.

Esta vista permite identificar que las longitudes definidas para cada eslabón del brazo son adecuadas, ya que garantizan un alcance suficiente para posicionar la consola de control

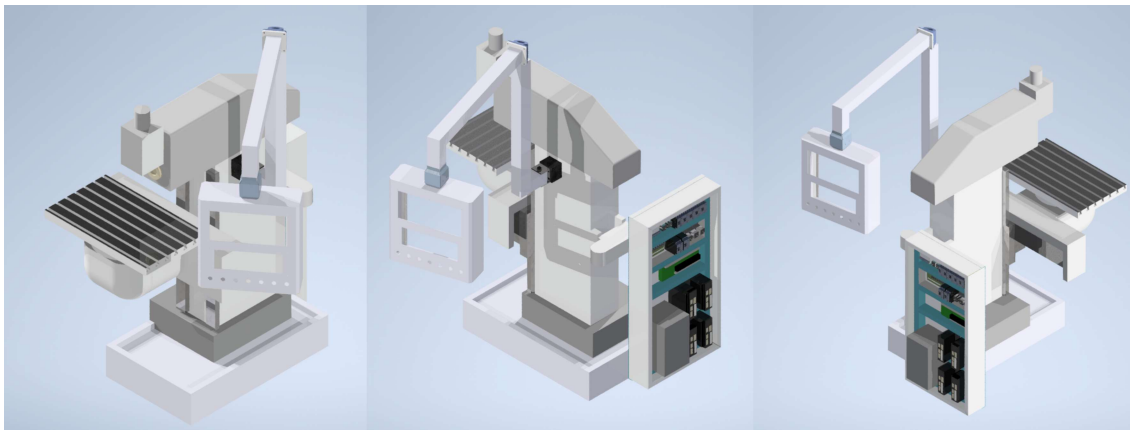
sin interferir con las zonas de trabajo de la máquina ni limitar la operación del operador. Asimismo, el diseño asegura una correcta orientación del controlador CNC.



**Figura 33**

*Vista superior del conjunto mecánico y recorrido del brazo de soporte.*

En la Figura 34 se presentan vistas generales del conjunto mecánico final, donde se aprecia el resultado del diseño propuesto y la integración de los elementos.



**Figura 34**

*Vista general del conjunto mecánico propuesto para la fresadora Deckel FP4M.*

### **7.3. Resultados del diseño del sistema eléctrico y electrónico**

El diseño del sistema eléctrico y electrónico permitió establecer una arquitectura clara y funcional para la fresadora Deckel FP4M, basada en la separación de los circuitos de potencia y de mando. Se definió la distribución de la alimentación eléctrica, así como la incorporación

de dispositivos de protección, maniobra y seguridad, de acuerdo con las normativas técnicas aplicables y los requerimientos de la automatización propuesta.

Asimismo, se realizó la selección de actuadores, sensores y componentes eléctricos compatibles con la integración de un sistema CNC moderno. Como resultado de este proceso, se elaboraron los esquemas eléctricos, la lista de materiales y los criterios de integración necesarios para garantizar un funcionamiento seguro, confiable y mantenible del sistema repotenciado.

En la Tabla 16 se resumen los principales resultados obtenidos del diseño eléctrico y electrónico, destacando los elementos desarrollados y las decisiones técnicas adoptadas para la repotenciación de la fresadora.

**Tabla 16**

*Resultados del diseño eléctrico y electrónico*

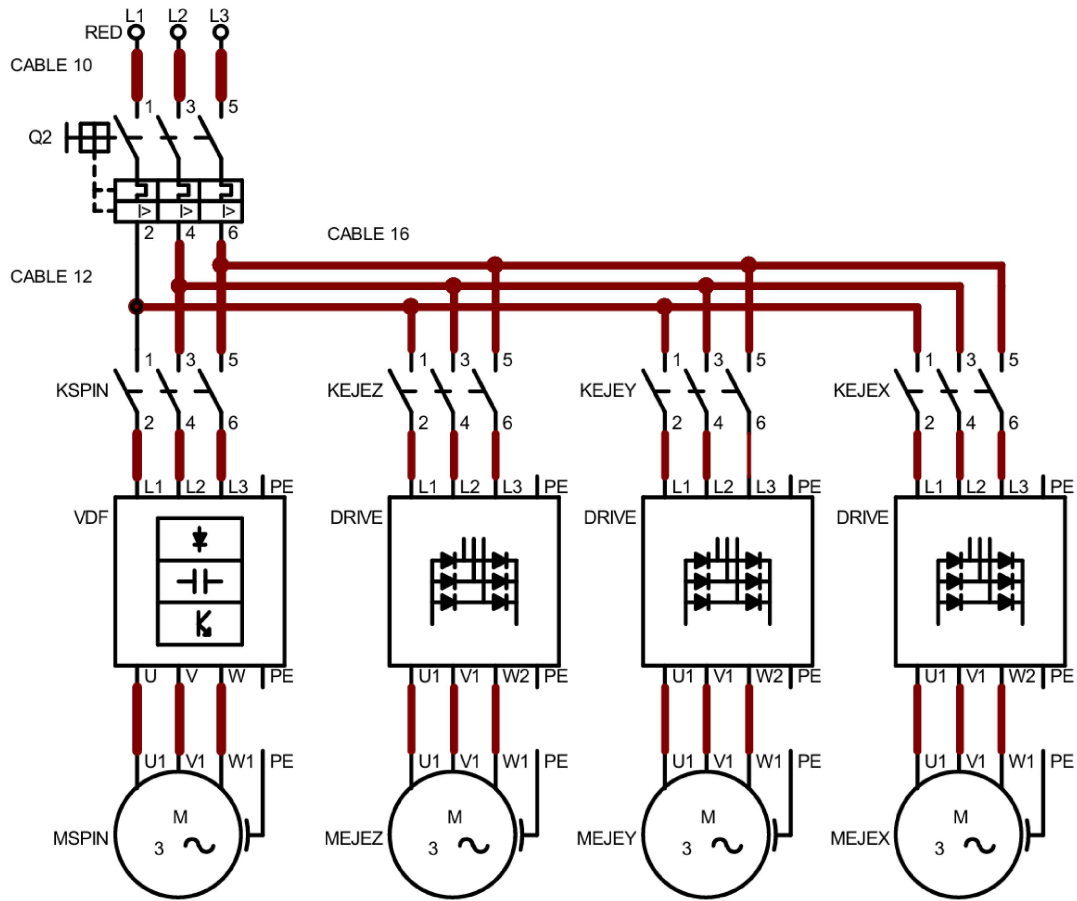
<b>Elemento diseñado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
Arquitectura eléctrica	Definición de alimentación trifásica para potencia y bifásica para el sistema de mando.
Circuito de potencia	Diseño de alimentación para servodrivens y variador de frecuencia del husillo con protecciones adecuadas.
Circuito de mando	Diseño del sistema de control para contactores, relés, señalización y dispositivos auxiliares.
Dispositivos de protección	Selección de interruptores termomagnéticos y elementos de seguridad eléctrica.
Selección de componentes	Elección de actuadores, relés, contactores y fuentes compatibles con el sistema CNC.
Documentación técnica	Elaboración de esquemas eléctricos y lista de componentes para la implementación del sistema.

### **7.3.1. Resultado del diseño del circuito de potencia**

Como resultado del diseño del circuito de potencia, se definió una configuración eléctrica capaz de suministrar energía de forma segura y estable a los principales actuadores de la fresadora. El circuito contempla la alimentación trifásica para los servodrivens de los ejes X, Y y Z, así como para el variador de frecuencia del motor del husillo, también la alimentación para las bombas del refrigerante y bomba hidráulica, incorporando dispositivos de protección acordes a la capacidad de carga de cada elemento.

El diseño obtenido garantiza una correcta distribución de la potencia eléctrica, protege los equipos frente a sobrecargas y cortocircuitos, y permite una integración directa con el sistema CNC propuesto, cumpliendo los requerimientos de operación y seguridad establecidos para la repotenciación de la máquina.

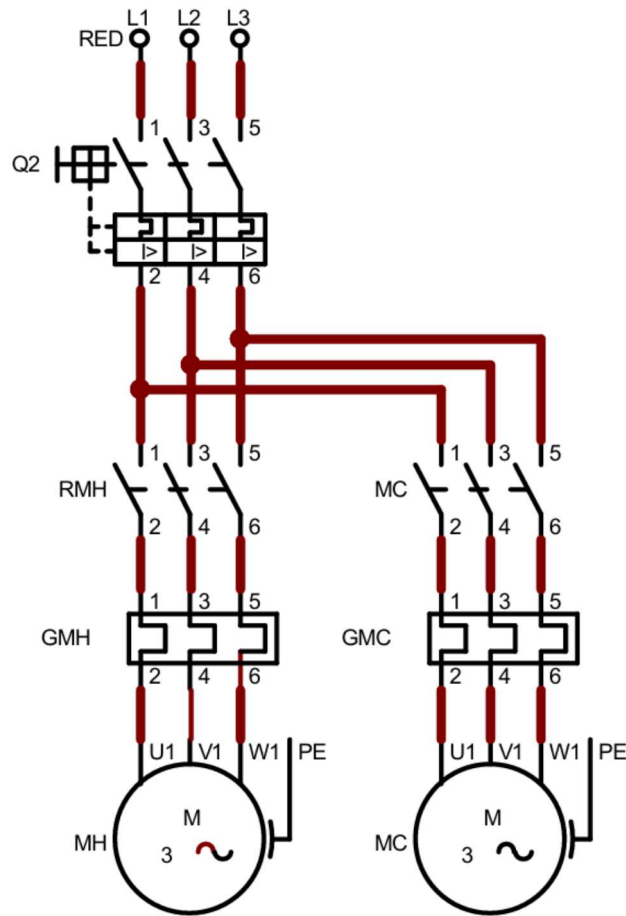
En la Figura 35 se presenta el esquema final del circuito de potencia diseñado para la fresadora Deckel FP4M.



**Figura 35**

*Esquema final del circuito de potencia de la fresadora Deckel FP4M.*

Adicionalmente en la Figura 37 el circuito de potencia para la bomba del refrigerante como para la bomba hidráulica.



**Figura 36**

*Esquema final del circuito de potencia de las bombas de la fresadora Deckel FP4M.*

### 7.3.2. Resultado del diseño del circuito de mando

El diseño del circuito de mando permitió establecer una lógica de control clara y segura para el accionamiento de los elementos de potencia y los sistemas auxiliares de la fresadora. En este circuito se integraron los pulsadores de arranque y paro, la parada de emergencia, los relés de control y las bobinas de los contactores, asegurando una operación controlada de la máquina.

El resultado obtenido proporciona una base funcional para la interacción entre el operador y la máquina, permite la activación ordenada de los subsistemas eléctricos y facilita la integración con el sistema CNC, garantizando condiciones adecuadas de seguridad y confiabilidad durante



**Tabla 17***Lista general de materiales del sistema eléctrico y electrónico*

<b>Componente</b>	<b>Tipo / Modelo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Observaciones</b>
Controlador CNC	SZGH-CNC1000	1	Unidad central de control del sistema CNC.
Placa de E/S	SZGH-CNC-IO-12	1	Interfaz de entradas y salidas digitales de 24 Vcc.
Servodriver	SZGH-SD2026	3	Control de servomotores de los ejes X, Y y Z.
Servomotor	SZGH (según eje)	3	Accionamiento de los ejes de avance.
Variador de frecuencia	Delta	1	Control de velocidad del motor del husillo.
Motor del husillo	Trifásico	1	Motor principal de mecanizado.
Interruptor termomagnético trifásico	C32	1	Protección general y del variador de frecuencia.
Interruptor termomagnético bifásico	C16	1	Protección del circuito de mando y auxiliares.
Contactores	Trifásicos accionamiento 220v	4	Maniobra de potencia y dispositivos auxiliares.
Relés auxiliares	24 Vcc	6	Interfaz de control y adaptación de señales.
Fuente de alimentación	220 Vac / 24 Vcc	1	Alimentación del sistema de mando y sensores.
Pulsadores de mando	Arranque / Paro estándar 22mm	3	Control manual del sistema.
Pulsador de emergencia	Tipo seta	1	Parada de emergencia del sistema.
Lámparas de señalización	24 Vcc estándar 22mm	3	Indicadores de estado del sistema.
Canaletas portacables	40 x 60 mm	Según diseño	Organización del cableado interno del gabinete.
Cables de potencia y control	—	Según diseño	Cableado trifásico, bifásico y señales de control.

## 7.4. Resultados de la propuesta de adaptación del sistema CNC

Finalmente, se desarrolló una propuesta técnica para la adaptación de un sistema de control numérico computarizado basado en tecnología SZGH. En esta etapa se definió la arquitectura general del sistema CNC, identificando las entradas y salidas necesarias para la operación automática de la fresadora, así como los métodos de interconexión con los sistemas eléctricos diseñados previamente.

Como resultado, se obtuvo una solución de automatización que permite la operación automática y supervisada de la máquina, incorporando criterios de compatibilidad electromecánica, ordenamiento del cableado y posibilidad de ampliación futura mediante la integración de sistemas auxiliares adicionales. Esta propuesta constituye una alternativa técnica viable para la modernización y actualización tecnológica de la fresadora Deckel FP4M.

En la Tabla 18 se resumen los principales resultados obtenidos a partir del diseño del sistema CNC y de la definición de su arquitectura de control.

**Tabla 18**

*Resultados del diseño del sistema CNC (Objetivo Específico 4)*

<b>Elemento del sistema CNC</b>	<b>Resultado obtenido</b>
Controlador CNC	Selección del controlador SZGH-CNC1000MDb, compatible con automatización industrial y control de ejes.
Arquitectura de control	Definición de una arquitectura modular basada en control centralizado y expansión mediante tarjeta IO.
Entradas digitales	Identificación de señales para finales de carrera, sensores, alarmas y pulsadores.
Salidas digitales	Asignación de señales para bombas, habilitación de husillo y dispositivos auxiliares.
Interfaz de expansión	Integración de la tarjeta SZGH-CNC-IO-12 como intermediaria entre el CNC y los dispositivos de campo.
Compatibilidad del sistema	Garantía de compatibilidad con los circuitos eléctricos y mecánicos diseñados previamente.
Escalabilidad	Posibilidad de integrar futuras funciones como cambio automático de herramienta u otros periféricos.

Adicionalmente, se estableció una correspondencia funcional entre las señales del controlador CNC y los dispositivos físicos de la fresadora, garantizando que cada entrada y salida definida cumple una función específica dentro del proceso de automatización. El sistema propuesto queda técnicamente preparado para su implementación, al contar con una arquitectura de control clara, criterios de integración eléctrica definidos y posibilidad de ampliación futura, consolidando así una solución integral alineada con los objetivos planteados en el presente trabajo.

Finalmente, es importante señalar que la implementación física del sistema CNC propuesto requerirá una etapa posterior de puesta en marcha, la cual incluye la parametrización del controlador, la calibración de los ejes, el ajuste de los servodrives y la verificación del correcto funcionamiento de los dispositivos de campo. Estas actividades son propias del proceso de comisionamiento de sistemas CNC y deberán realizarse una vez ejecutada la instalación del sistema diseñado, garantizando así la precisión, seguridad y confiabilidad de la fresadora repotenciada.



## 8. Cronograma

Tabla 19

*Cronograma de actividades.*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																				HORAS		
		ACTIVIDADES				MES 1				MES 2				MES 3				MES 4						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Establecer los requerimientos mecánicos, eléctricos y de control de la fresadora Deckel FP4M necesarios para su repotenciación y automatización.	Inspeccionar el estado actual de la fresadora.	x																						5
	Levantar información técnica.	x																						5
	Diagnosticar componentes.	x																						5
	Definir requerimientos mecánicos, eléctricos y de control.		x																					20
Diseñar los elementos mecánicos necesarios para la repotenciación de la fresadora Deckel FP4M.	Definir especificaciones mecánicas.			x																				20
	Modelar componentes en CAD (soportes, acoplamientos, guías).				x																			20
	Verificar diseño.					x																		20
	Generar planos y lista de materiales para fabricación.							x																20
Diseñar el sistema eléctrico y electrónico necesarios para la repotenciación de la fresadora Deckel FP4M.	Definir la arquitectura del sistema eléctrico de potencia y mando.									x														10
	Seleccionar componentes eléctricos y electrónicos del sistema.										x													10
	Diseñar los esquemas eléctricos de fuerza y mando.												x											20
	Elaborar la documentación técnica del sistema eléctrico.													x										20
Diseñar una propuesta para adaptar el sistema de control numérico computarizado que permita la operación automática de la fresadora Deckel FP4M.	Definir la arquitectura de conexión del sistema CNC.														x									15
	Identificar señales de entrada y salida requeridas por el sistema CNC.																		x					15
	Seleccionar interfaces y módulos de conexión CNC.																			x				15
	Documentar la propuesta técnica de integración CNC.																					x		15
Redacción de documento										x														25
<b>Total de horas empleadas</b>																						<b>240</b>		

## 9. Presupuesto

Gastos y recursos que se requieren realizar a fin de desarrollar el proyecto técnico.

### 9.1. Talento humano

La tabla 20 presenta un ejemplo del contenido.

**Tabla 20**

*Recurso de talento humano.*

Cargo	Nombre	Costo hora	horas al mes	Total de horas	Costo total
Tutor	Mstr. Ivan Escandon	20\$	10	40	800 \$
Autor 1	Christian Montero	4\$	60	240	960 \$

**Nota:** En la tabla se observa el costo de las 240 horas establecidas en el cronograma de trabajo y el costo de las horas de revisión por parte del docente revisor que se calendarizarán en la fase 2 de Integración Curricular.

### 9.2. Recursos materiales

La tabla 21 presenta un ejemplo del contenido.

**Tabla 21**

*recursos materiales.*

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Software	1	60	60 \$
Laboratorios	0	0	0 \$

**Nota:** En la tabla se observa el costo a considerar del software a utilizar

### 9.3. Presupuesto Total

La tabla 22 presenta un ejemplo del contenido.

**Tabla 22**

*recursos materiales.*

Denominación	Cantidad
Recurso Humano	1760\$
Recursos Materiales	60 \$
Total	1820 \$

**Nota:** En la tabla se observa el costo total a considerar con el recurso humano y software a utilizar.

## 10. Conclusiones

El presente trabajo permitió desarrollar una propuesta integral para la repotenciación y automatización de la fresadora universal Deckel FP4M, enfocada en la modernización de sus sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos, con el objetivo de incorporar un sistema de control numérico computarizado que extienda su vida útil y mejore sus capacidades operativas.

A partir de un diagnóstico técnico del estado actual de la máquina, fue posible identificar los componentes mecánicos que se encuentran en condiciones adecuadas para su reutilización, así como los sistemas eléctricos y de control que requieren ser reemplazados o rediseñados debido a su obsolescencia. Este análisis inicial permitió definir de manera clara los requerimientos técnicos necesarios para llevar a cabo el proceso de repotenciación.

En el ámbito mecánico, se diseñaron los elementos estructurales y de soporte necesarios para la integración del sistema CNC, tales como la consola de control, el brazo de fijación y el gabinete eléctrico. Estos diseños se desarrollaron considerando aspectos fundamentales como la rigidez estructural, la ergonomía del operador y la facilidad de mantenimiento, asegurando su correcta adaptación a la estructura original de la fresadora.

Por otra parte, el diseño del sistema eléctrico y electrónico permitió establecer una arquitectura ordenada y funcional de los circuitos de potencia y mando. Se definió la distribución de la alimentación eléctrica, la selección de dispositivos de protección, maniobra y seguridad,

así como los actuadores y elementos auxiliares necesarios para garantizar un funcionamiento seguro y confiable de la máquina repotenciada.

Finalmente, se planteó una propuesta para la adaptación del sistema de control numérico computarizado basada en tecnología SZGH, describiendo su arquitectura general, la identificación de entradas y salidas y su integración con los sistemas eléctricos diseñados previamente. Esta propuesta proporciona una base sólida para la operación automática de la fresadora, permitiendo además futuras ampliaciones y mejoras del sistema.

En conclusión, el trabajo desarrollado demuestra que la repotenciación de la fresadora Deckel FP4M es una alternativa técnica viable frente a la adquisición de nueva maquinaria, ya que permite aprovechar la robustez de su estructura mecánica original e integrar tecnologías modernas de automatización. De esta manera, se contribuye a la optimización de recursos tecnológicos y al fortalecimiento de soluciones de modernización en el ámbito industrial.

## **11. Recomendaciones**

A partir del desarrollo del presente trabajo y del análisis realizado durante el proceso de repotenciación de la fresadora Deckel FP4M, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas tanto a la implementación práctica del proyecto como a futuras investigaciones.

Se recomienda que, previo a la implementación física del sistema propuesto, se realice una verificación dimensional y estructural de los elementos mecánicos diseñados, asegurando que las tolerancias, alineaciones y puntos de fijación se ajusten adecuadamente a la estructura original de la máquina, con el fin de evitar vibraciones, desalineaciones o esfuerzos no previstos.

Durante la ejecución del sistema eléctrico, se aconseja aplicar buenas prácticas de instalación industrial, tales como el correcto ordenamiento del cableado, la adecuada puesta a tierra, la separación entre circuitos de potencia y de mando, y la verificación de los dispositivos de protección, garantizando así un funcionamiento seguro y confiable del sistema repotenciado.

En cuanto al sistema de control, se recomienda realizar una etapa de puesta en marcha que incluya la parametrización del controlador CNC, la calibración de los ejes, la configuración de los servodrives y la validación de las señales de entrada y salida. Estas actividades son fundamentales para asegurar la precisión del posicionamiento y la correcta interacción entre los subsistemas mecánicos y eléctricos.

Asimismo, se sugiere llevar a cabo pruebas de operación y mecanizado bajo diferentes condiciones de carga, con el fin de evaluar el desempeño dinámico de la máquina, la repetibilidad de los movimientos y la estabilidad del sistema durante su operación continua.

Para trabajos futuros, se recomienda ampliar la propuesta de automatización incorporando funciones adicionales, tales como el cambio automático de herramientas, la integración de un nuevo eje, la implementación de sistemas de monitoreo del estado de la máquina o el desarrollo de estrategias avanzadas de programación CNC, aprovechando la arquitectura modular y la escalabilidad del sistema diseñado.

Finalmente, se sugiere considerar la metodología empleada en este trabajo como una base para la repotenciación de otras máquinas herramienta convencionales, contribuyendo a la modernización de equipos industriales y a la optimización de recursos tecnológicos mediante soluciones de automatización viables y adaptables.

## Referencias

- Asociados, C. . (2023). *Proyecto de retrofitting de sistemas de despacho y transporte para holcim ecuador* (Inf. Téc.). Guayaquil, Ecuador: Consultoría de Ingeniería Estratégica. Descargado de <https://www.cisner.com.ec>
- CAF - Banco de Desarrollo de América Latina. (2022). *Las pymes en ecuador: diagnóstico, desafíos y oportunidades*. <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2022/09/las-pymes-en-ecuador-diagnostico-desafios-y-oportunidades/>. (Informe regional sobre competitividad y digitalización de PYMEs)
- Datronic. (2025). *Servicios de retrofitting y repotenciación cnc en ecuador*. Descargado de <https://www.datronic.com.ec> (Accedido: 2026-01-18)
- Erickson, R. W., y Maksimovic, D. (2020). *Fundamentals of power electronics* (3rd ed.). Springer.
- ESPOL. (2021). *Modernización del sistema electrónico de control de fresadoras verticales en laboratorios de ingeniería* (Proyecto de Titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Holguín, A. (2023). *Repotenciación y automatización de una máquina envasadora y selladora de fundas de agua* . Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Holguín, Q. (2023). *Repotenciación y automatización de una máquina envasadora y selladora de fundas de agua mediante un sistema de control programable logo y lenguaje ladder* (Trabajo de titulación). (Trabajo de grado, institución no especificada)
- IMH Campus. (2024). *Fresado*. Descargado de <https://www.imh.eus/es/imh/comunicacion/docu-libre/procesos-fabricacion/mecanizado/arranque-de-viruta/fresado> (Consultado el 18 de enero de 2026)
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Encuesta sobre tecnologías de la información y comunicación (tic) en los hogares y empresas*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/tecnologias-de-la-informacion-y-comunicacion-tic/>. (Consultado el 14 de octubre de 2025)
- Krar, S. F., Gill, A., y Smid, P. (2017). *Automated manufacturing systems: Actuators, controls, sensors, and robotics* (2nd ed.). Wiley.
- Lee, K. (2008). *Principles of cad/cam/cae systems* (2nd ed.). Addison-Wesley.
- Lyshevski, S. E. (2018). *Mechatronics and control of electromechanical systems*. CRC Press.
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información del Ecuador. (2023). *Política nacional para la transformación digital del ecuador*. <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/politica-de-transformacion-digital/>. (Docu-

- mento oficial del Gobierno del Ecuador)
- NFPA. (2021). *Nfpa 79: Electrical standard for industrial machinery*. National Fire Protection Association. (Referencia internacional utilizada por técnicos en Ecuador para seguridad eléctrica en maquinaria.)
- Norton, R. L. (2019). *Machine design: An integrated approach* (6th ed.). Pearson.
- OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2024). *Latin america and the caribbean sme policy index 2024*. <https://www.oecd.org/latin-america/sme-policy-index-lac.htm>. (Informe sobre políticas y adopción tecnológica de PYMEs en la región)
- Petruzella, F. D. (2016). *Programmable logic controllers* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Schuler, H., y Züperl, U. (2007). Improving contouring accuracy of cnc machine tools by kpi-based offline path modification. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2014). *Nte inen-iso 12100: Seguridad de las máquinas. principios generales para el diseño. evaluación del riesgo y reducción del riesgo* (Inf. Téc.). Quito, Ecuador: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2015). *Nte inen-iso 230-1: Código de ensayo para máquinas herramienta. parte 1: Exactitud geométrica de máquinas operando sin carga o en condiciones de acabado* (Inf. Téc.). Quito, Ecuador: INEN.
- Shenzhen Guanhong Automation Co., Ltd. (2026). Szgh-cnc1000mdb-3 series 3-5 axis offline cnc milling & router machine controller [Manual de software informático]. Shenzhen, China. Descargado de <https://szghauto.en.made-in-china.com/product/lDAaTsvV0ntp/China-Szgh-1000mdb-Series-3-5-Axis-Offline-CNC-Milling-Router-Machine-Controller-3-Axis-CNC-Control-System-for-Milling-Machine.html> (Accedido el 28 de enero de 2026)
- Smid, P. (2010). *Cnc programming handbook* (3rd ed.). Industrial Press Inc.
- SZGH Automation. (2020). User manual szgh cnc1000mdb v4.0 [Manual de software informático]. (Disponible en línea)
- SZGH Automation. (2024). Szgh cnc system controller user manual [Manual de software informático]. Descargado de [https://v4.cecdn.yun300.cn/100001\\_1811265047/41548384395548.pdf](https://v4.cecdn.yun300.cn/100001_1811265047/41548384395548.pdf) (Manual técnico del fabricante)
- Wilson, J. S. (2020). *Sensor technology handbook* (2nd ed.). Newnes.
- Łukasz Urbański, Wdowik, R., y Adamiak, M. (2019). Retrofitting of conventional machine tools to cnc technology – a review. *Advances in Manufacturing Science and Technology*.

# **ANEXOS**

**Anexo 1: Colocar en anexos la documentación que se considere necesarios.**

## **Anexo 2: Colocar anexos que sean necesarios**

Los anexos presentan evidencias que se consideran relevantes para la explicación del documento como los instrumentos de recopilación de la información.