



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Desarrollo de un manual de instrucciones para la operación de la

fresadora Sun Mill

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:

IAN FELIPE HERNÁNDEZ MANCILLA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. CÉSAR ALFONSO ARROYO BARRANCO

MINERAL DE LA REFORMA HIDALGO, FEBRERO 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 6 de febrero de 2026

Número de control: ICBI-D/180/2026
Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado al egresado de la Licenciatura en Ingeniería Industrial **Ian Felipe Hernández Mancilla**, quien presenta el trabajo de titulación "**Desarrollo de un manual de instrucciones para la operación de la fresadora Sun Mill**", ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Ing. Roberto Pichardo Cabrera
Secretario: Dr. Iván Alonso Lira Hernández
Vocal: Dr. César Alfonso Arroyo Barranco
Suplente: Dr. Edmundo Roldán Contreras

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

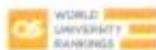
Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI

GVR/MMM



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación primordialmente a Dios, por concederme la vida, la salud y la fortaleza necesaria para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mis padres, quienes, con su amor incondicional, esfuerzo y sacrificios diarios han sido el pilar más sólido de mi existencia; gracias por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba, y por enseñarme que la educación es la herencia más valiosa que se puede poseer. A mi hermana, por su compañía constante y por ser mi apoyo en los momentos de mayor presión académica.

De manera muy especial y con profundo amor, dedico este logro a mi abuelita, quien hoy me acompaña desde el cielo. Aunque su ausencia física deja un vacío inmenso, su recuerdo y sus enseñanzas viven en cada paso que doy. Gracias, por ser mi ángel guardián, por tu ternura infinita y por la bendición que siempre me diste. Este título es también para ti, como un tributo a tu memoria y al orgullo que siempre sentiste por mis metas. Sé que hoy celebras conmigo desde la eternidad.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, mi casa de estudios, por haberme brindado las herramientas y el entorno académico necesario para desarrollarme como profesional.

Al Dr. Cesar Alfonso Arroyo Barranco, por su invaluable guía, su exigencia técnica y la generosidad con la que compartió su conocimiento. Sus observaciones fueron la brújula que permitió que esta investigación alcanzara el rigor científico y la estructura adecuada. De igual forma, agradezco a mis sinodales y profesores, quienes a lo largo de la carrera sembraron en mí la curiosidad y la pasión por la manufactura y la tecnología.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, aportaron un consejo, una palabra de aliento o un momento de distracción necesario para concluir con éxito este importante proyecto de vida.

Sinceramente

Ian Felipe Hernández Mancilla

Índice

RELACIÓN DE ILUSTRACIONES	VIII
RELACIÓN DE TABLAS	X
GLOSARIO DE TÉRMINOS	3
INTRODUCCIÓN.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
JUSTIFICACIÓN	11
HIPÓTESIS	12
DELIMITACIÓN	12
APORTACIÓN ESPERADA	13
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	14
1.1. EVOLUCIÓN DE LAS FRESADORAS Y DEL MECANIZADO MODERNO	14
1.2. CENTROS DE MECANIZADO CNC Y SU RELEVANCIA INDUSTRIAL	14
1.3. IMPORTANCIA DE LAS FRESADORAS CNC EN LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA INDUSTRIAL	15
1.4. USO DE CENTROS DE MECANIZADO CNC EN MÉXICO Y CONTEXTO DEL PROYECTO	15
1.5. PRESENTACIÓN DE LA FRESADORA SUNMILL	16
1.6. IMPORTANCIA DEL USO DE MAQUINARIA CNC EN EL APRENDIZAJE.....	17
1.7. IMPORTANCIA DE LA SEGURIDAD Y EL MANTENIMIENTO	17
CAPÍTULO 2 PREPARACIÓN PARA LA OPERACIÓN.....	19
2.1. REQUISITOS PREVIOS	19
2.1.1. <i>Instalación y nivelación del equipo</i>	19
2.1.2. <i>Conexión eléctrica</i>	20
2.1.3. <i>Suministro de aire comprimido</i>	22
2.1.4. <i>Sistema de lubricación</i>	23
2.1.5. <i>Inspección y pruebas iniciales</i>	24
2.2. CONFIGURACIÓN INICIAL	26
2.2.1. <i>Encendido y verificación de sistemas</i>	26
2.3.2. <i>Configuración inicial del control CNC</i>	29
2.4. OPERACIÓN BÁSICA: MONTAJE DE PIEZA Y MECANIZADO	31
2.5. VERIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS	32

2.6. INSPECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE	33
2.7. VERIFICACIÓN DE PORTAHERRAMIENTAS Y DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN.....	33
2.8. REGISTRO Y DOCUMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS.....	35
CAPÍTULO 3 INTERFAZ DE USUARIO	36
3.1. EXPLICACIÓN DE LOS CONTROLES Y BOTONES	38
3.1.1. <i>Controles de movimiento</i>	39
3.1.2. <i>Control del husillo</i>	40
3.1.3. <i>Botón de paro de emergencia (E-Stop)</i>	40
3.1.4. <i>Panel de funciones auxiliares</i>	41
3.2. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS Y AJUSTES	42
CAPÍTULO 4 OPERACIÓN BÁSICA.....	44
4.1. INICIO Y PARADA DEL SISTEMA	44
4.1.1. <i>Procedimiento de inicio del sistema</i>	44
4.1.2. <i>Procedimiento de paro del sistema</i>	46
4.2. CALIBRACIÓN DE HERRAMIENTAS EN LA FRESADORA SUNMILL JHV-550.....	47
4.2.1 <i>Importancia de la calibración de herramientas</i>	47
4.2.2 <i>Objetivo de la calibración</i>	47
4.2.3 <i>Descripción de la calibración de herramientas</i>	48
4.2.4 <i>Relación con el sistema CAD/CAM</i>	48
4.3. GENERACIÓN DEL CERO PIEZA EN LA FRESADORA SUNMILL JHV-550.....	49
4.3.1 <i>Concepto de cero pieza.</i>	49
4.3.2 <i>Objetivo de la generación del cero pieza</i>	49
4.3.3 <i>Descripción de la generación del cero pieza</i>	49
4.3.4 <i>Importancia del cero pieza en la operación CNC</i>	50
4.4. SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES	50
4.4.1. <i>Herramientas de corte aplicables al fresado CNC</i>	50
4.5. SELECCIÓN DEL MATERIAL A MECANIZAR	51
4.6. COMPATIBILIDAD HERRAMIENTA–MATERIAL	55
4.7. RECOMENDACIONES DE SELECCIÓN PARA LA SUNMILL JHV-550	55
4.8. CONFIGURACIÓN DE VELOCIDAD Y AVANCE	56
4.9. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:	57
CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN	75
5.1. BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO	75
5.2. ASPECTOS CLAVE DEL MANTENIMIENTO.....	76
5.3. CONSECUENCIAS DE DESCUIDAR EL MANTENIMIENTO	77

5.4. RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	77
CAPÍTULO 6 SEGURIDAD Y PRECAUCIONES	79
6.1. NORMAS DE SEGURIDAD	79
6.2. TIPOS DE NORMAS DE SEGURIDAD	80
6.3. NORMAS DE SEGURIDAD ELÉCTRICA	80
7. PROPUESTA DE EJERCICIOS.....	91
7.1. PRÁCTICA 1: FAMILIARIZACIÓN CON LA FRESADORA SUNMILL JHV-550.	92
7.1.1. <i>Objetivo general</i>	92
7.1.2. <i>Materiales y recursos</i>	92
7.1.3. <i>Desarrollo de la práctica</i>	92
7.1.4. <i>Normas básicas de seguridad</i>	94
7.2. PRÁCTICA 2. CALIBRACIÓN DE HERRAMIENTA	95
7.2.1. <i>Objetivo</i>	95
7.2.2. <i>Materiales y equipo</i>	95
7.2.3. <i>Procedimiento de calibración</i>	95
7.2.3. <i>Montaje de la herramienta</i>	95
7.2.4. <i>Selección de herramienta</i>	96
7.2.5. <i>Posicionamiento sobre la superficie de referencia</i>	96
7.2.6. <i>Calibración manual (método del papel)</i>	97
7.2.6. <i>Verificación</i>	98
7.3. PRÁCTICA 3. GENERACIÓN DE CERO PIEZA.....	98
7.3.1. <i>Objetivo</i>	98
7.3.2. <i>Materiales y equipo</i>	98
7.3.3. <i>Procedimiento</i>	99
7.3.4. <i>Montaje y fijación de la pieza</i>	99
7.3.5. <i>Selección del sistema de coordenadas de trabajo</i>	100
7.3.6. <i>Definición del cero en X y Y</i>	100
7.3.7. <i>Definición del cero en Z (método del papel)</i>	101
7.3.8. <i>Verificación del cero pieza</i>	102
7.4. PRÁCTICA 4. DISEÑO DE PIEZA Y SIMULACIÓN DE FRESADO	102
7.4.1. <i>Objetivo:</i>	102
7.4.2. <i>Materiales y recursos</i>	102
7.4.3. <i>Resultados esperados</i>	103
7.4.4. <i>Dibujo de la pieza</i>	103
7.4.5. <i>Estructura del programa</i>	104
7.5. PRÁCTICA 5. DISEÑO DE PIEZA Y SIMULACIÓN DE FRESADO	104

7.5.1. <i>Objetivo:</i>	104
7.5.2. <i>Materiales y recursos</i>	104
7.5.3. <i>Resultados esperados</i>	101
7.5.4. <i>Dibujo de la pieza</i>	101
7.5.5. <i>Estructura del programa</i>	102
7.6. PRÁCTICA 6. DISEÑO DE PIEZA Y SIMULACIÓN FRESADO.....	102
7.6.1. <i>Objetivo:</i>	102
7.6.2. <i>Materiales y recursos</i>	101
7.6.3. <i>Resultados esperados</i>	101
7.6.4. <i>Dibujo de la pieza</i>	101
7.6.5. <i>Estructura del programa</i>	102
7.7. PRÁCTICA 7. DISEÑO DE PIEZA LIBRE Y SIMULACIÓN DE FRESADO.....	102
7.7.1. <i>Objetivo:</i>	102
7.7.2. <i>Materiales y recursos</i>	102
7.7.3. <i>Resultados esperados</i>	102
7.7.4. <i>Dibujo de la pieza</i>	102
7.7.5. <i>Estructura del programa</i>	103
8. CONCLUSIONES	105
REFERENCIAS	139
10. ANEXOS	139
10.1. ANEXO A. MARCO NORMATIVO APLICABLE A LA OPERACIÓN DE LA FRESADORA CNC SUNMILL JHV-550.	139
10.2. ANEXO B. DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS.....	140
10.3. ANEXO C. PLANO DE LA ILUSTRACIÓN 58 EN PRÁCTICA 4.....	141
10.4. ANEXO D. PLANO DE LA ILUSTRACIÓN 59 EN PRÁCTICA 5.....	141
10.5. ANEXO E. PLANO DE LA ILUSTRACIÓN 60 EN PRÁCTICA 6.....	142
10.6. ANEXO F. PLANO DE LA ILUSTRACIÓN 61 EN PRÁCTICA 7.....	142

RELACIÓN DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación y nivelación de la fresadora SunMill JHV-550.	20
Ilustración 2. Botón de encendido de la fresadora SunMill JHV-550.....	26
Ilustración 3. Compresor de aire utilizado para el funcionamiento de la fresadora.	27
Ilustración 4. Depósito de aceite de lubricación de la fresadora SunMill JHV-550.	28
Ilustración 5. Verificación del movimiento de ejes de la fresadora.	29
Ilustración 6. Dispositivo USB con carga de programa.	30
Ilustración 7. Pantalla y visualización de parámetros.	37
Ilustración 8. Control de modo manual.....	38
Ilustración 9. Panel de controles y botones de la fresadora SunMill JHV 550.....	39
Ilustración 10. Controles de movimiento.	40
Ilustración 11. Control de husillo.....	40
Ilustración 12. Botón de paro de emergencia.....	41
Ilustración 13. Alimentación principal de la fresadora.....	45
Ilustración 14. Referencia de posición de los ejes X, Y y Z.	45
Ilustración 15. Ejemplo de caja diseñada en SolidWorks.	57
Ilustración 16. Selección de archivo parasolid.	57
Ilustración 17. Logotipo de programa mastercam.	58
Ilustración 18. Importación de archivo a parasolid.	58
Ilustración 19. Abrir archivo en formato parasolid.	59
Ilustración 20. Selección de fresadora en programa Mastercam.	59
Ilustración 21. Configuración de la materia prima.	60
Ilustración 22. Pieza seleccionada correctamente.	60
Ilustración 23. Selección de “bounding box”.....	61
Ilustración 24. Indicación de materia prima seleccionada.	61
Ilustración 25. Seleccionar contour.....	62
Ilustración 26. Seleccionar chaning.....	62
Ilustración 27. Deshabilitar la opción “FACE”.....	63
Ilustración 28. Creación de “loop cerrado”.....	63
Ilustración 29. Selección de herramienta.	64
Ilustración 30. Selección de herramienta 464, cortador recto de 4mm de diámetro.....	64

Ilustración 31. Configuración de corte a 1 mm	65
Ilustración 32. Configuración de número de espacios.....	65
Ilustración 33. Configuración de parámetros.....	66
Ilustración 34. Maquinado del contorno.....	66
Ilustración 35. Configuración de pasadas.	67
Ilustración 36. Ejemplo de maquinado con 3 pasadas.	67
Ilustración 37. Selección de opción “Pocket”.....	68
Ilustración 38. Deshabilitar opción “FACE”	68
Ilustración 39. Creación de loop cerrado.....	69
Ilustración 40. Ventana de Toolpaths.....	69
Ilustración 41. Selección de herramienta.	70
Ilustración 42. Selección de tipo de desbaste	70
Ilustración 43. Configuración de profundidad a 1mm por pasada.	71
Ilustración 44. Configuración de Linking Parameters.	71
Ilustración 45. Figura maquinada.	72
Ilustración 46. Simulación de operaciones.	72
Ilustración 47. Obtención de programa CNC.....	73
Ilustración 48. Códigos CNC.....	73
Ilustración 49. Descripción de componentes de la fresadora	94
Ilustración 50. Selección de herramienta.	96
Ilustración 51. Ejemplo de diferentes herramientas.....	97
Ilustración 52. Registro de Tool Length Offset.....	98
Ilustración 53. Posición de referencia.....	99
Ilustración 54. Colocación de pieza de trabajo.....	100
Ilustración 55. Definición del cero en X y Y.....	101
Ilustración 56. Generación del cero pieza por el método del papel.	102
Ilustración 57. Dibujo de la pieza práctica 4.	103
Ilustración 58. Dibujo de la pieza práctica 5.	101
Ilustración 59. Dibujo de la pieza práctica 6.	102
Ilustración 60. Dibujo de la pieza práctica 7.	103
Ilustración 61. Plano de la Ilustración 57 en práctica 4.	141

Ilustración 62. Plano de la Ilustración 58 en práctica 5.	141
Ilustración 63. Plano de la Ilustración 59 en práctica 6.	142
Ilustración 64. Plano de la Ilustración 60 en práctica 7.	142

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Checklist de verificación de conexión eléctrica.....	21
Tabla 2. Checklist de verificación de suministro de aire comprimido.....	23
Tabla 3. Checklist de verificación de sistema de lubricación	24
Tabla 4. Checklist de verificación de inspección general previa a la operación.	25
Tabla 5.Recomendaciones de selección de herramientas.	55
Tabla 6. Marco normativo aplicable a la operación de la fresadora CNC SunMill JHV-550.	140
Tabla 7. Descripción de parámetros de la fresadora.	140

Resumen

La presente tesis tiene como objetivo el desarrollo de un manual de instrucciones para la operación de la fresadora SunMill, orientado a fortalecer el proceso de enseñanza–aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Industrial en el uso seguro y eficiente de maquinaria CNC en el laboratorio de manufactura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. La investigación surge a partir de la ausencia de documentación técnica estandarizada adaptada al contexto educativo, lo que dificulta la comprensión del funcionamiento del equipo y eleva los riesgos operativos.

Con base en esta problemática, el objetivo general consiste en diseñar un manual técnico–operativo que integre de forma sistemática los procedimientos necesarios para la preparación, configuración inicial, operación básica, mantenimiento preventivo y seguridad de la fresadora SunMill. Los objetivos específicos se enfocan en describir la interfaz de usuario, explicar los controles y parámetros de operación, establecer rutinas de mantenimiento y proponer ejercicios prácticos que fortalezcan las competencias técnicas de los estudiantes. La hipótesis plantea que la implementación de un manual estructurado y técnicamente fundamentado mejora el desempeño operativo, reduce riesgos y optimiza el aprovechamiento del equipo en el entorno académico.

El trabajo se organiza en seis capítulos que abarcan antecedentes, preparación para la operación, interfaz de usuario, operación básica, mantenimiento preventivo y normas de seguridad, integrando una propuesta de ejercicios prácticos aplicables al entorno académico.

Como resultado, se obtiene un manual integral que contribuye a mejorar la seguridad, la eficiencia operativa y la calidad del aprendizaje práctico en la formación de ingenieros industriales. Este documento apoya la estandarización de prácticas, la prevención de fallas y el uso responsable del equipo académico industrial.

Palabras clave: fresadora CNC, manual de instrucciones, SunMill, Ingeniería industrial, seguridad industrial.

Abstract

This thesis focuses on the development of an instruction manual for the operation of the SunMill milling machine, aimed at strengthening the teaching–learning process of Industrial Engineering students in the safe and efficient use of CNC machinery within an academic laboratory environment. The study arises from the lack of standardized technical documentation adapted to educational contexts, which limits proper understanding of machine operation and increases operational risks.

Based on this problem, the general objective is to design a technical and operational manual that systematically integrates procedures for machine preparation, initial configuration, basic operation, preventive maintenance, and safety. The specific objectives include describing the user interface, explaining control functions and operating parameters, establishing preventive maintenance routines, and proposing practical exercises that promote the development of technical competencies. The guiding hypothesis states that implementing a structured and technically validated instruction manual improves operational performance, reduces risks, and optimizes the use of the SunMill milling machine in academic laboratories.

The thesis is organized into six chapters covering background and theoretical foundations, preparation for operation, user interface description, basic machine operation, maintenance strategies, and safety regulations, as well as a set of practical exercises applicable to industrial engineering education.

As a result, this research delivers a comprehensive manual with both technical and pedagogical orientation, contributing to improved operational safety, standardized practices, and enhanced practical learning outcomes. The manual supports the responsible use of CNC equipment and represents a valuable contribution to the professional training of future industrial engineers.

Keywords: CNC milling machine, instruction manual, SunMill, industrial engineering, operational safety.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **AlTiN (Nitruro de Aluminio y Titanio):**

Recubrimiento avanzado para herramientas de corte, caracterizado por un alto contenido de aluminio que mejora la resistencia térmica y la estabilidad química a altas temperaturas, prolongando la vida útil de la herramienta en procesos de mecanizado de alta exigencia.

- **ATC (Automatic Tool Changer / Cambiador Automático de Herramientas):**

Sistema electromecánico integrado en la fresadora CNC que permite el intercambio automático de herramientas de corte sin intervención manual del operador.

- **Avance (Feed Rate):**

Velocidad a la que la herramienta de corte se desplaza con respecto a la pieza de trabajo durante el mecanizado, generalmente expresada en milímetros por minuto (mm/min).

- **Centro de mecanizado:**

Máquina herramienta CNC capaz de realizar múltiples operaciones de mecanizado, como fresado, taladrado y roscado, mediante el control automático de ejes y herramientas.

- **Checklist (Lista de verificación):**

Herramienta de control utilizada para comprobar de manera sistemática el cumplimiento de procedimientos, condiciones o requisitos antes, durante o después de una operación.

- **CNC (Control Numérico Computarizado):**

Sistema de control que permite automatizar el movimiento de una máquina herramienta a través de instrucciones programadas.

- **Código G:**

Conjunto de instrucciones de programación CNC utilizadas para controlar los movimientos de la máquina herramienta, como desplazamientos lineales y circulares.

- **Código M:**

Conjunto de comandos auxiliares en programación CNC utilizados para controlar funciones como el cambio de herramientas, refrigerante y encendido del husillo.

- **Controlador CNC:**

Unidad electrónica encargada de interpretar el programa CNC y controlar los movimientos de los ejes, el husillo y otros dispositivos de la máquina herramienta.

- **Coordenadas absolutas:**

Sistema de referencia en el que la posición de la herramienta se define con respecto a un origen fijo previamente establecido.

- **Coordenadas incrementales:**

Sistema de referencia en el que la posición de la herramienta se define en relación con la posición anterior.

- **cSt (Centistokes):**

Unidad de medida de la viscosidad cinemática de un fluido, utilizada para caracterizar aceites lubricantes e hidráulicos.

- **Dry Run (Ciclo en vacío):**

Procedimiento de prueba en el que se ejecuta un programa CNC sin material para verificar trayectorias, evitar colisiones y validar la programación.

- **Ejes X, Y y Z:**

Ejes cartesianos que definen los movimientos lineales de la fresadora: X (movimiento longitudinal), Y (movimiento transversal) y Z (movimiento vertical).

- **EPP (Equipo de Protección Personal):**

- Conjunto de dispositivos y elementos diseñados para proteger al trabajador contra riesgos que puedan afectar su seguridad o salud durante la operación de maquinaria.

- **Fresas HSS (High Speed Steel – Acero de Alta Velocidad):**

Herramientas de corte fabricadas en acero de alta velocidad, utilizadas en operaciones de fresado por su buena tenacidad y resistencia al desgaste.

- **Guías lineales:**

Componentes mecánicos que permiten el desplazamiento lineal preciso de los ejes de la máquina herramienta, reduciendo fricción y mejorando la exactitud del posicionamiento

- **HSS (High Speed Steel - Acero de Alta Velocidad):**

Aleación de acero para herramientas que mantiene su dureza a temperaturas elevadas, permitiendo velocidades de corte superiores a las de aceros al carbono convencionales.

- **Husillo:**

Elemento giratorio de la fresadora encargado de transmitir el movimiento rotacional a la herramienta de corte.

- **Interfaz de usuario:**

Conjunto de pantallas, menús, botones y controles que permiten la interacción entre el operador y el sistema CNC de la máquina.

- **ISO (International Organization for Standardization):**

Organización internacional encargada de desarrollar normas técnicas que establecen criterios de calidad, seguridad, eficiencia y compatibilidad industrial.

- **ISO VG 32:**

Grado de viscosidad cinemática definido por la norma ISO 3448, correspondiente a una viscosidad nominal de 32 mm²/s (cSt) a 40 °C, utilizado en sistemas hidráulicos y lubricación de husillos.

- **ISO VG 68:**

Grado de viscosidad cinemática definido por la norma ISO 3448, correspondiente a una viscosidad nominal de 68 mm²/s (cSt) a 40 °C, empleado en guías y sistemas de lubricación de cargas moderadas a altas.

- **Lockout/Tagout (Bloqueo y etiquetado):**

Procedimiento de seguridad utilizado para aislar fuentes de energía durante mantenimiento o reparación de maquinaria, evitando la puesta en marcha accidental.

- **Mantenimiento preventivo:**

Conjunto de actividades programadas destinadas a conservar el equipo en condiciones óptimas de funcionamiento y prevenir fallas.

- **Mastercam:**

Software CAD/CAM utilizado para la programación y generación de trayectorias de herramientas en máquinas CNC.

- **NOM (Norma Oficial Mexicana):**

Disposición técnica obligatoria emitida por el Gobierno de México que establece requisitos mínimos en materia de seguridad, salud, calidad y protección ambiental.

- **Offset (desfase):**

Corrección aplicada al sistema de coordenadas para compensar la posición de la pieza o la longitud de la herramienta.

- **Portaherramientas:**

Dispositivo que sujeta la herramienta de corte al husillo, garantizando precisión y estabilidad durante el mecanizado.

- **Postprocesador:**

Software o módulo que convierte las trayectorias generadas en un sistema CAM en código CNC específico para una máquina herramienta determinada.

- **Revoluciones por minuto (RPM):**

Unidad de medida que indica la velocidad de giro del husillo.

- **SolidWorks:**

Software CAD utilizado para el diseño tridimensional de piezas, ensamblajes y dibujos técnicos.

- **STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social):**

Dependencia del Gobierno de México responsable de supervisar las políticas y normativas en materia de trabajo, seguridad e higiene laboral.

- **TiAlN (Nitruro de Titanio y Aluminio):**

Recubrimiento de alto desempeño aplicado a herramientas de corte, caracterizado por su resistencia térmica y a la oxidación, adecuado para mecanizado de aceros y materiales duros.

- **TiCN (Carbonitruro de Titanio):**

Recubrimiento compuesto de titanio, carbono y nitrógeno que incrementa la dureza y la resistencia al desgaste abrasivo de herramientas de corte.

- **TiN (Nitruro de Titanio):**

Recubrimiento cerámico aplicado mediante deposición física de vapor, caracterizado por alta dureza, baja fricción y resistencia al desgaste.

- **VG (Viscosity Grade / Grado de Viscosidad):**

Clasificación normalizada que indica la viscosidad cinemática de un aceite industrial a una temperatura de referencia, generalmente 40 °C, según la norma ISO 3448.

INTRODUCCIÓN

La creciente competitividad en los sectores productivos exige procesos de manufactura cada vez más seguros, eficientes y estandarizados. En este escenario, las máquinas herramienta controladas por computadora se han convertido en un componente esencial del desarrollo industrial contemporáneo. No obstante, la correcta operación de estos equipos no depende únicamente de su nivel tecnológico, sino también de la formación, la capacitación y la disponibilidad de recursos didácticos adecuados para quienes los utilizan. Por ello, el estudio y la sistematización de procedimientos de operación adquieren una relevancia particular tanto en el ámbito industrial como en el educativo.

En diversos entornos académicos y productivos persiste una problemática común: operadores y estudiantes se enfrentan a equipos de alta precisión sin contar con manuales claros, accesibles y contextualizados a sus necesidades de aprendizaje. Esta situación puede generar errores en la operación, desgaste prematuro del equipo, accidentes y dificultades para comprender los fundamentos del proceso de mecanizado. La ausencia de documentos estructurados que orienten de manera sistemática la operación segura limita el aprovechamiento del equipo y reduce el impacto formativo de las prácticas

En el marco de la Licenciatura en Ingeniería Industrial, el trabajo con maquinaria CNC no solo constituye un recurso técnico, sino también una herramienta industrial fundamental para la comprensión de procesos productivos, el análisis de operaciones, la mejora continua y la administración de sistemas de manufactura. En este sentido, la elaboración de un manual de operación específico para la fresadora SunMill JHV-550 responde a una necesidad formativa concreta: proporcionar a los estudiantes una guía que integre procedimientos operativos, recomendaciones de seguridad y buenas prácticas, favoreciendo un aprendizaje gradual, responsable y reflexivo.

El presente trabajo tiene como propósito diseñar y documentar un manual de instrucciones que sirva como apoyo al uso académico y operativo de la fresadora SunMill JHV-550. Dicho manual busca fortalecer la cultura de seguridad, optimizar el uso del equipo disponible y contribuir a la formación integral del estudiante de Ingeniería

Industrial, al ofrecer herramientas claras que permitan comprender y aplicar adecuadamente los procesos de mecanizado antes de profundizar en aspectos técnicos especializados.

Planteamiento del problema

En el ámbito industrial contemporáneo, los procesos de manufactura han evolucionado significativamente debido a la creciente demanda de productos con altos estándares de calidad, precisión dimensional y tiempos de producción reducidos. En este contexto, la incorporación de máquinas herramienta de Control Numérico por Computadora (CNC) ha permitido automatizar operaciones de mecanizado y mejorar la productividad, posicionándose como una tecnología indispensable en sectores como la metalmecánica, automotriz, aeronáutica y de manufactura avanzada.

Ante este escenario, la formación académica de los futuros profesionistas en Ingeniería Industrial debe contemplar el dominio técnico-operativo de dichas tecnologías, integrando competencias relacionadas con su operación, mantenimiento y aplicación segura. Sin embargo, en el entorno educativo persiste una limitación relacionada con el uso adecuado de equipos especializados, particularmente en instituciones donde el laboratorio constituye un medio fundamental para la adquisición de conocimientos prácticos.

En el laboratorio de manufactura del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo se dispone de la fresadora CNC SunMill JHV-550, la cual representa un recurso esencial para el desarrollo de prácticas formativas dentro del plan de estudios. No obstante, actualmente no existe una documentación técnica institucionalizada que oriente de manera clara y estructurada a los estudiantes en su correcta utilización, abarcando aspectos como la configuración inicial, la operación, el mantenimiento preventivo y la aplicación de protocolos de seguridad industrial.

La ausencia de este tipo de documentación genera incertidumbre durante las prácticas de laboratorio, incrementa la posibilidad de errores operativos, limita la autonomía del estudiante y favorece el uso incorrecto del equipo. Asimismo, esta

situación puede derivar en daños a herramientas, fallas en los sistemas de control, costos asociados a reparaciones y riesgos para la integridad de los usuarios, al no contar con lineamientos estandarizados que regulen su operación.

Como consecuencia, las prácticas se desarrollan sin una guía sistematizada y homogénea, lo que dificulta la estandarización de los procesos y obstaculiza la adquisición de competencias técnicas fundamentales dentro del perfil de egreso del Ingeniero Industrial. En suma, el problema central radica en la inexistencia de un documento técnico didáctico adaptado al entorno académico que permita el uso seguro y eficiente de la fresadora CNC SunMill JHV-550, limite los riesgos operativos y contribuya al fortalecimiento de competencias en manufactura CNC.

Pregunta de investigación

¿De qué manera la elaboración de un manual técnico de operación para la fresadora CNC SunMill JHV-550 contribuye al fortalecimiento de las competencias prácticas, la seguridad y el uso eficiente del equipo por parte de los estudiantes de Ingeniería Industrial durante las prácticas de laboratorio?

Objetivo general

Diseñar, elaborar e implementar un manual técnico para la operación segura y eficiente de la fresadora CNC SunMill JHV-550, fundamentado en normativa industrial, principios de manufactura avanzada y procedimientos de mantenimiento, con el fin de fortalecer las competencias operativas de los estudiantes de Ingeniería Industrial y promover buenas prácticas en los procesos de laboratorio.

Objetivos específicos

- Establecer los procedimientos de configuración inicial y puesta en marcha de la fresadora CNC SunMill JHV-550, con la finalidad de facilitar su correcta operación durante las prácticas de laboratorio.
- Integrar lineamientos técnicos sobre seguridad industrial, uso de equipo de protección personal y protocolos de emergencia, orientados a prevenir accidentes y garantizar la integridad de los usuarios.

- Diseñar un programa sistemático de mantenimiento preventivo que incluya inspección, lubricación y verificación de componentes, con el propósito de asegurar la vida útil del equipo y su óptimo desempeño operativo.
- Estructurar el contenido del manual mediante una secuencia lógica y didáctica que permita a los estudiantes comprender los fundamentos del mecanizado CNC, la operación de la máquina y la interpretación de parámetros técnicos.
- Validar la funcionalidad del manual mediante su aplicación durante las prácticas de laboratorio y la retroalimentación obtenida de los usuarios, a fin de asegurar su claridad, pertinencia técnica y utilidad formativa.

Justificación

La incorporación de equipos de Control Numérico por Computadora (CNC) en los programas académicos de Ingeniería responde a las exigencias actuales de la industria, donde la automatización y la precisión constituyen elementos fundamentales para una producción eficiente y competitiva. En este contexto, la fresadora CNC SunMill JHV-550 se consolida como un recurso tecnológico indispensable en el laboratorio de manufactura del Área Académica de Ingeniería, por lo que resulta prioritario contar con documentos técnicos que permitan su uso adecuado, seguro y estandarizado.

No obstante, la ausencia de una guía institucionalizada limita la apropiación tecnológica del equipo y restringe el aprendizaje autónomo durante las prácticas de laboratorio, además de incrementar el riesgo de errores operativos, fallas en el equipo y posibles incidentes derivados del desconocimiento de los procedimientos correctos. En este sentido, la elaboración de un manual de operación constituye una herramienta que contribuye directamente a la formación práctica del estudiante, al mejorar la comprensión de los procedimientos, la configuración inicial del equipo, la correcta selección de herramientas y la ejecución de los protocolos de seguridad industrial.

Desde el punto de vista académico, el manual fortalece el desarrollo de competencias profesionales vinculadas con la manufactura avanzada, la automatización industrial, el análisis técnico y la prevención de riesgos, competencias que forman parte del perfil de egreso del Ingeniero Industrial y que son ampliamente demandadas por el

sector productivo. Asimismo, la disponibilidad de esta documentación permite estandarizar la operación del laboratorio, disminuir la dependencia estricta del docente y favorecer la continuidad del aprendizaje incluso en ausencia de asesoría directa.

Finalmente, esta aportación contribuye a mejorar la pertinencia formativa del programa educativo frente a las necesidades tecnológicas del entorno laboral, al tiempo que incrementa la seguridad operativa dentro del laboratorio y reduce los costos institucionales derivados de fallas ocasionadas por un manejo inadecuado del equipo. De este modo, el manual elaborado no solo representa un apoyo didáctico, sino también una herramienta estratégica para garantizar una formación profesional más completa, segura y alineada con los requerimientos actuales de la industria manufacturera.

Hipótesis

La implementación de un manual técnico de operación para la fresadora CNC SunMill JHV-550 reducirá los errores operativos y fortalecerá la adquisición de competencias prácticas en los estudiantes de Ingeniería Industrial.

Delimitación

El presente trabajo se enfoca exclusivamente en el diseño, elaboración y validación inicial de un manual técnico de operación para la fresadora CNC SunMill JHV-550, ubicada en el laboratorio de manufactura del Área Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El estudio se limita a los procesos básicos de operación, configuración inicial, selección de herramientas, aplicación de protocolos de seguridad y actividades de mantenimiento preventivo, sin abarcar procesos avanzados de programación CNC, manufactura flexible ni automatización industrial fuera del equipo especificado.

Asimismo, la propuesta se limita al ámbito académico y formativo de los estudiantes de Ingeniería Industrial que utilizan el laboratorio como apoyo en el desarrollo de prácticas profesionales; por lo tanto, su aplicación se orienta al contexto educativo y no a procesos productivos industriales de alto volumen. El manual elaborado se fundamenta en las características particulares del modelo SunMill JHV-550, razón por la

cual sus especificaciones no son generalizables a otros modelos de fresadoras CNC ni a equipos de manufactura distintos a los considerados en este estudio.

Aportación esperada

La aportación principal del presente trabajo consiste en proporcionar un documento técnico-instruccional institucionalizado que permita estandarizar la operación de la fresadora CNC SunMill JHV-550 dentro del laboratorio de manufactura, contribuyendo a mejorar las prácticas formativas y el desarrollo de competencias operativas en los estudiantes de Ingeniería Industrial. Se espera que el manual elaborado reduzca los errores de operación, fortalezca la adquisición de conocimientos técnicos vinculados a la manufactura CNC, promueva prácticas adecuadas de seguridad industrial y disminuya la dependencia directa del docente durante el uso del equipo.

De igual manera, se prevé que la implementación del manual permita optimizar el aprovechamiento del equipo disponible, prevenir daños derivados del uso inadecuado y generar procedimientos de operación más seguros, favoreciendo el establecimiento de una cultura de prevención y mantenimiento dentro del entorno educativo. Finalmente, el documento se proyecta como un material didáctico de referencia para futuros procesos de enseñanza-aprendizaje relacionados con sistemas CNC y como base para la elaboración de manuales técnicos de otros equipos de manufactura presentes en el laboratorio.

Capítulo 1. Antecedentes

1.1. Evolución de las fresadoras y del mecanizado moderno

El desarrollo de la fresadora constituye uno de los hitos más relevantes en la historia de la manufactura moderna, al posibilitar la producción de piezas intercambiables con altos niveles de precisión y repetibilidad (Groover, 2010; Summit Machine Tool, 2025). Desde sus primeras aplicaciones industriales en el siglo XIX, estas máquinas contribuyeron a la estandarización de los procesos productivos y al avance de la Revolución Industrial (Harrison, 2021; Trent & Wright, 2000).

El mecanizado experimentó una transformación significativa a mediados del siglo XX con la incorporación del Control Numérico por Computadora (CNC). Los primeros desarrollos se remontan a la década de 1940, cuando John T. Parsons y Frank L. Stulen diseñaron un prototipo orientado a la fabricación de componentes aeronáuticos. Posteriormente, en la década de 1950, estas máquinas comenzaron a emplearse de manera industrial, destacando el aporte de John Runyon en la empresa Pratt & Whitney (Historia de la máquina CNC, 2022). Desde entonces, la evolución del CNC ha permitido automatizar trayectorias complejas, mejorar la precisión, reducir la intervención directa del operador y aumentar la eficiencia del proceso de mecanizado (Rapiddirect, 2023; Xometry, 2021).

1.2. Centros de mecanizado CNC y su relevancia industrial

Los centros de mecanizado CNC representan una evolución tecnológica respecto a las fresadoras convencionales, al integrar en una sola máquina diversas operaciones como fresado, taladrado y roscado. La incorporación de software CAD/CAM ha permitido la transferencia directa del diseño digital al proceso de fabricación, favoreciendo la repetibilidad, el control dimensional y la optimización de tiempos productivos (Rapiddirect, 2023).

Gracias a estas características, los centros de mecanizado CNC se han consolidado como herramientas esenciales en industrias de alto valor agregado, tales como la automotriz, aeroespacial, metalmecánica y manufactura avanzada, donde la

precisión, la confiabilidad y la estandarización del proceso resultan determinantes (CNC Haas, 2024).

1.3. Importancia de las fresadoras CNC en la formación en ingeniería industrial

En el ámbito académico, particularmente en la formación de ingenieros industriales, las fresadoras CNC constituyen una herramienta clave para el desarrollo de competencias prácticas vinculadas a los procesos de manufactura. Su capacidad para producir piezas con alta precisión y repetibilidad, automatizar operaciones, trabajar con diversos materiales y facilitar la producción en serie las convierte en un recurso didáctico fundamental para la comprensión de los sistemas productivos modernos (Acharya, 2023).

No obstante, la incorporación de esta tecnología en entornos educativos implica desafíos importantes, entre ellos la correcta operación del equipo, la planificación del mantenimiento y la aplicación de protocolos de seguridad. Estos aspectos requieren que los estudiantes cuenten con conocimientos técnicos estructurados que les permitan utilizar la maquinaria de forma segura, eficiente y responsable, evitando daños derivados del uso inadecuado.

1.4. Uso de centros de mecanizado CNC en México y contexto del proyecto

En México, la adopción de centros de mecanizado CNC ha contribuido de manera significativa a la modernización de la industria manufacturera. La creciente demanda de componentes con tolerancias estrictas ha impulsado la incorporación de maquinaria avanzada y la formación de personal especializado. Asimismo, el país mantiene una participación activa en la importación de centros de mecanizado provenientes de economías con alta capacidad tecnológica, lo que ha favorecido la consolidación de clústeres manufactureros en entidades como Querétaro, Nuevo León, Coahuila y Jalisco (Secretaría de Economía, 2025).

En este contexto, la fresadora SunMill JHV-550 se clasifica como un centro de mecanizado vertical diseñado para operaciones de alta precisión en tres ejes. Sus características técnicas, como su estructura robusta, guías lineales, husillo de alta velocidad, sistema de refrigeración y cambio automático de herramientas, la convierten

en un equipo adecuado tanto para entornos productivos como formativos (SunMill,2025). Sin embargo, su correcta operación depende de la comprensión adecuada de parámetros, secuencias de trabajo y protocolos de seguridad, lo que evidencia la necesidad de contar con manuales técnicos claros y contextualizados.

Bajo este panorama, el desarrollo de un manual técnico de operación para la fresadora CNC SunMill JHV-550, ubicada en el laboratorio de manufactura del Área Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, se plantea como una estrategia fundamental para fortalecer el aprendizaje práctico, estandarizar los procedimientos de uso y promover un entorno educativo seguro y eficiente.

1.5. Presentación de la fresadora SunMill

Las fresadoras CNC de la marca SunMill se caracterizan por su innovación tecnológica, al incorporar controladores avanzados que permiten una mayor velocidad de procesamiento y una alta precisión en los movimientos. Asimismo, su interfaz de usuario es intuitiva y de fácil manejo, ya que, en la mayoría de los casos, estos equipos integran pantallas táctiles y software amigable, lo que facilita la programación y operación de la máquina, especialmente en entornos educativos (Harrison, 2021).

Desde el punto de vista del aprendizaje a nivel profesional, estas fresadoras presentan una estructura robusta que garantiza durabilidad y estabilidad durante el proceso de mecanizado, contribuyendo a la reducción de vibraciones y favoreciendo una mejor calidad superficial de las piezas. Esta característica permite que los estudiantes y futuros profesionistas adquieran un mayor entendimiento del comportamiento del equipo y de los parámetros que influyen en el proceso de mecanizado.

Otra característica relevante de estas máquinas es la precisión y el nivel de detalle que ofrecen, sustentados en el uso de motores de alta resolución y husillos de alta velocidad. Estos componentes aseguran movimientos precisos y controlados, además de permitir el trabajo a diferentes regímenes de rotación, adaptándose a distintos materiales y a los requerimientos de acabado superficial.

1.6. Importancia del uso de maquinaria CNC en el aprendizaje

El uso de maquinaria CNC en el ámbito académico permite a los estudiantes enfrentar desafíos reales y poner en práctica los conocimientos adquiridos durante su formación profesional. El objetivo principal de la incorporación de este tipo de equipos en el proceso educativo es brindar a los universitarios la oportunidad de desarrollar las habilidades necesarias relacionadas con la operación, el cuidado y el uso responsable de la maquinaria, de modo que, al egresar, puedan enfrentar de mejor manera las exigencias del entorno laboral.

La importancia del uso de maquinaria CNC radica en la capacitación integral que reciben los alumnos, ya que, además de aprender a operar estos equipos, resulta indispensable que adquieran conocimientos en el manejo de programas de diseño y manufactura asistida por computadora (CAD/CAM), así como en el uso del código G, mediante el cual se controlan las operaciones de mecanizado. En conjunto, estos elementos contribuyen a una mejor comprensión de las complejidades de la tecnología CNC y de sus aplicaciones en el ejercicio profesional.

1.7. Importancia de la seguridad y el mantenimiento

La seguridad y el mantenimiento en las fresadoras de control numérico por computadora (CNC) son aspectos fundamentales para garantizar una operación adecuada del equipo. Estos factores influyen directamente en la eficiencia y calidad del trabajo realizado, así como en la integridad de los operarios y en la vida útil de las máquinas.

Desde el punto de vista de la seguridad, las fresadoras CNC operan a altas velocidades y emplean herramientas de corte de elevada precisión, lo que implica riesgos asociados a la proyección de residuos de material, cortes y posibles lesiones graves si no se siguen los procedimientos adecuados. Por ello, resulta indispensable la aplicación de medidas de protección orientadas a salvaguardar la integridad de los usuarios, tales como el uso correcto de equipo de protección personal y la observancia de normas de operación segura.

Asimismo, la prevención de incidentes requiere la implementación de protocolos de seguridad que incluyan el uso de barreras físicas, sistemas de paro de emergencia y dispositivos de control, los cuales permiten reducir la probabilidad de accidentes durante el proceso de mecanizado. Estas medidas contribuyen a generar un entorno de trabajo más seguro y controlado.

Por otra parte, el mantenimiento adecuado de las máquinas constituye una exigencia fundamental tanto desde el punto de vista operativo como normativo. En numerosos contextos industriales y académicos, el cumplimiento de rutinas de mantenimiento preventivo no solo evita sanciones, sino que también garantiza el correcto funcionamiento del equipo, prolonga su vida útil y asegura que el taller opere de manera segura y profesional

CAPÍTULO 2 PREPARACIÓN PARA LA OPERACIÓN

2.1. Requisitos previos

La correcta preparación para la operación de una fresadora CNC constituye un factor determinante para garantizar la seguridad del operador, la integridad del equipo y la precisión de los procesos de mecanizado. En el caso de la fresadora SunMill modelo JHV-550, resulta indispensable verificar una serie de condiciones técnicas previas relacionadas con la conexión eléctrica, el suministro de aire comprimido, la lubricación del sistema y la ejecución de inspecciones y pruebas iniciales. Estas acciones permiten asegurar un funcionamiento confiable del centro de mecanizado y minimizar la ocurrencia de fallas operativas durante su uso en el laboratorio académico.

De acuerdo con Haas Automation (2025), la operación segura y eficiente de una fresadora CNC requiere el cumplimiento de procedimientos específicos antes de su puesta en marcha. En este sentido, previo al inicio de cualquier práctica de laboratorio, es necesario verificar que el equipo cumpla con los requisitos mínimos de instalación, acondicionamiento y funcionamiento establecidos por el fabricante.

Para la puesta en marcha inicial de la fresadora SunMill JHV-550, se deben considerar los siguientes aspectos fundamentales

2.1.1. Instalación y nivelación del equipo.

La ubicación y nivelación de la fresadora se encuentran previamente definidas dentro del laboratorio de manufactura del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, donde se dispone de los suministros necesarios para su correcto funcionamiento. Una adecuada instalación garantiza la estabilidad estructural del equipo, reduce vibraciones durante el mecanizado y contribuye a la precisión dimensional de las piezas fabricadas, tal como se muestra en la Ilustración 1.



*Ilustración 1. Ubicación y nivelación de la fresadora SunMill JHV-550.
Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.*

2.1.2. Conexión eléctrica

La fresadora SunMill JHV-550 requiere una conexión eléctrica estable y adecuada para garantizar su correcto funcionamiento, dado que integra sistemas electrónicos sensibles como el controlador CNC, servomotores, variadores de frecuencia y sensores de posición. Por ello, la instalación eléctrica debe cumplir estrictamente con las especificaciones establecidas por el fabricante, considerando el nivel de voltaje, la corriente nominal y el tipo de conexión trifásica requerida.

Previo a la conexión del equipo, es indispensable verificar que la alimentación eléctrica del laboratorio sea compatible con los requerimientos de la máquina, particularmente que se trate de una red trifásica industrial y que cuente con una correcta puesta a tierra. Una conexión a tierra deficiente puede ocasionar fallas en el sistema de

control numérico, interferencias eléctricas o riesgos para la seguridad del operador (Groover, 2017).

Asimismo, la fresadora dispone de diversos sistemas de protección eléctrica, entre los que se incluyen interruptores termomagnéticos, fusibles y dispositivos de paro de emergencia, los cuales permiten interrumpir el suministro eléctrico de manera inmediata ante la detección de alguna anomalía. Una vez realizada la conexión, se debe comprobar que el panel de control se energice correctamente y que no se presenten alarmas asociadas a la alimentación eléctrica al momento de encender la máquina (Krar, Gill & Smid, 2020).

A continuación, se presenta un checklist de verificación de la conexión eléctrica (Tabla 1. Checklist de verificación de conexión eléctrica), el cual permite confirmar que las condiciones necesarias para la operación segura del equipo han sido cumplidas.

ítem a verificar	Condición esperada	Cumple (si/no)	Observaciones
Voltaje de la máquina	Trifásico industrial 220 v		
Conexión a tierra	Correcta y funcional		
Interruptor principal	Opera correctamente		
Panel de control energiza sin alarmas	Sin errores al encender		
Botón de paro de emergencia	Funciona correctamente		

*Tabla 1. Checklist de verificación de conexión eléctrica
Nota. Elaboración Propia*

2.1.3. Suministro de aire comprimido

El suministro de aire comprimido constituye un requisito fundamental para la operación de la fresadora SunMill JHV-550, ya que este sistema es utilizado para el funcionamiento del cambiador automático de herramientas (ATC), la limpieza del cono del husillo y, en algunos casos, para sistemas auxiliares de refrigeración o sellado.

El aire comprimido debe suministrarse a la presión recomendada por el fabricante, generalmente entre 5 y 7 bar, y debe encontrarse libre de humedad y contaminantes. La presencia de agua, aceite o partículas sólidas dentro del sistema neumático puede provocar fallas en los actuadores, desgaste prematuro de válvulas y un funcionamiento inadecuado del cambiador automático de herramientas (SunMill, 2025).

Previo al inicio de las operaciones, es necesario verificar que el compresor se encuentre en condiciones adecuadas de funcionamiento, que los filtros y reguladores de presión operen correctamente y que no existan fugas en mangueras o conexiones. Una presión insuficiente o excesiva puede generar errores durante el cambio de herramientas, lo que representa un riesgo tanto para la integridad del equipo como para la seguridad del operador.

A continuación, se presenta un checklist de verificación del suministro de aire comprimido (Tabla 2. Checklist de verificación de suministro de aire comprimido), con el fin de confirmar que las condiciones neumáticas requeridas para la operación segura de la fresadora han sido cumplidas.



Ilustración 2. Manómetro de la máquina a 50 bares.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

ítem a verificar	Condición esperada	Cumple (si/no)	Observaciones
Presión de aire	50 bar		
Calidad del aire	Seco y libre de contaminantes		
Filtros y reguladores	En buen estado		
Conexiones neumáticas	Sin fugas		
Funcionamiento del ATC	Correcto		

*Tabla 2. Checklist de verificación de suministro de aire comprimido
Nota. Elaboración propia*

2.1.4. Sistema de lubricación.

La lubricación adecuada es un aspecto esencial para garantizar la vida útil y el correcto desempeño de los componentes mecánicos de la fresadora SunMill JHV-550. Este modelo cuenta con un sistema de lubricación automática encargado de distribuir aceite hacia los husillos de bolas, guías lineales y otros elementos móviles, el cual emplea aceites industriales para guías con viscosidad ISO VG 32 o ISO VG 68, lo cual permite reducir la fricción y minimizar el desgaste durante la operación.

Previo al inicio de las actividades, se debe verificar el nivel de lubricante en el depósito correspondiente y asegurarse de que el tipo de aceite utilizado cumpla con las especificaciones recomendadas por el fabricante. El husillo de alta velocidad cuenta con un sistema de enfriamiento por aceite, utilizando aceites para husillos de baja viscosidad (ISO VG 10–22), diseñados para reducir la fricción, disipar calor y prolongar la vida útil de los rodamientos. Un nivel insuficiente de lubricación puede provocar sobrecalentamiento, pérdida de precisión y daños irreversibles en los sistemas de desplazamiento de la máquina (Kalpakjian & Schmid, 2019).

Asimismo, resulta indispensable comprobar que el sistema automático de lubricación funcione correctamente, confirmando que el lubricante llegue de manera

efectiva a los puntos designados. En entornos académicos, donde el equipo es operado por distintos usuarios, esta verificación debe realizarse de forma rutinaria como parte del procedimiento estándar de arranque, con el fin de prevenir fallas mecánicas y garantizar una operación segura.

A continuación, se presenta un checklist de verificación del sistema de lubricación (Tabla 3. Checklist de verificación de sistema de lubricación), el cual permite confirmar que las condiciones necesarias para la correcta operación del equipo han sido cumplidas.

ítem a verificar	Condición esperada	Cumple (si/no)	Observaciones
Nivel de lubricante	Dentro del rango especificado		
Tipo de aceite	Cumple con la especificación del fabricante		
Sistema automático	Funciona correctamente		
Distribución de lubricante	Visible en guías y husillos		
Alarmas de lubricación	Ninguna activa		

*Tabla 3. Checklist de verificación de sistema de lubricación
Nota. Elaboración propia*

2.1.5. Inspección y pruebas iniciales

Antes de iniciar cualquier operación de mecanizado, se debe realizar una inspección general de la fresadora SunMill JHV-550 con el objetivo de identificar posibles fallas, anomalías o condiciones inseguras. Esta inspección comprende la revisión visual del estado general de la máquina, la limpieza de la mesa de trabajo, la correcta sujeción de las protecciones y la verificación de la ausencia de objetos extraños en el área de mecanizado.

Posteriormente, se deben ejecutar pruebas iniciales sin carga, tales como el encendido del equipo, la referencia o *homing* de los ejes X, Y y Z, así como el desplazamiento manual de los ejes mediante el modo *jog*. Estas pruebas permiten comprobar el correcto funcionamiento de los sistemas de posicionamiento y control, además de detectar la presencia de ruidos, vibraciones o comportamientos anómalos durante el movimiento (Krar et al., 2020).

Adicionalmente, se recomienda realizar una prueba de funcionamiento del husillo a diferentes velocidades y verificar el correcto desempeño del sistema de refrigeración y del cambiador automático de herramientas, cuando este último sea utilizado. La ejecución de estas pruebas iniciales contribuye a reducir el riesgo de fallas durante el mecanizado y favorece una operación segura y eficiente dentro del laboratorio académico.

A continuación, se presenta un checklist de inspección general previa a la operación (Tabla 4. Checklist de verificación de inspección general previa a la operación.), el cual permite confirmar que el equipo se encuentra en condiciones adecuadas para su uso.

ítem a verificar	Condición esperada	Cumple (si/no)	Observaciones
Mesa de trabajo	Limpia y sin obstrucciones		
Protecciones y cubiertas	Correctamente instaladas		
Área de mecanizado	Libre de objetos extraños		
Herramientas en ATC	Correctamente colocadas		
Refrigerante	Nivel adecuado		

Tabla 4. Checklist de verificación de inspección general previa a la operación.
Nota. Elaboración propia

2.2. Configuración inicial

2.2.1. Encendido y verificación de sistemas

El encendido inicial de la fresadora SunMill JHV-550 debe realizarse siguiendo una secuencia ordenada que permita verificar el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos y de control antes de iniciar cualquier operación de mecanizado

- **Arranque inicial:** Con el interruptor principal de la máquina en posición de apagado (*OFF*) (Ilustración 3), se debe verificar la correcta conexión del cableado principal a la red eléctrica. Posteriormente, se coloca en posición de encendido (*ON*) el disyuntor principal de la máquina y se inicia la fresadora siguiendo los pasos indicados en el sistema de control CNC y/o el relé de encendido correspondiente.

Una vez energizado el equipo, es necesario comprobar que el sistema arranque de manera normal y que no se presenten alarmas, fallos o mensajes de error inmediatos en la pantalla del controlador CNC. La ausencia de alertas confirma que los sistemas eléctricos y electrónicos se encuentran operando dentro de los parámetros establecidos.



Ilustración 3. Botón de encendido de la fresadora SunMill JHV-550
Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

- **Sistema neumático:** Previo al inicio de la operación, se debe encender el compresor de aire (Ilustración 4) y verificar que el sistema neumático funcione de manera adecuada, sin la presencia de ruidos anormales o fugas evidentes. También, es necesario comprobar el correcto funcionamiento de las puertas de protección, garantizando que abran y cierren con normalidad y que los sistemas de enclavamiento operen correctamente. La verificación del sistema neumático garantiza el funcionamiento adecuado de los dispositivos auxiliares de la máquina y contribuye a una operación segura durante las etapas posteriores de mecanizado.



*Ilustración 4. Compresor de aire utilizado para el funcionamiento de la fresadora.
Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.*

- **Lubricación automática:** La fresadora SunMill JHV-550 dispone de un sistema automático de lubricación de guías y husillos. Durante la configuración inicial, se

debe comprobar el nivel de aceite en el depósito correspondiente (Ilustración 5), con el fin de asegurar la cantidad adecuada de lubricante. Este sistema resulta fundamental para prevenir el desgaste prematuro de los componentes mecánicos y garantizar un funcionamiento adecuado del equipo desde el inicio de la operación.



*Ilustración 5. Depósito de aceite de lubricación de la fresadora SunMill JHV-550.
Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.*

- **Test de ejes:** Con la mesa de trabajo libre de piezas y herramientas, se debe colocar la máquina en modo manual (*MANUAL*) y realizar el desplazamiento individual de cada eje (X, Y y Z) de manera lenta y controlada (Ilustración 6). Previo al movimiento del husillo, es indispensable asegurarse de que no exista ningún operario en las proximidades ni en contacto con la máquina. Durante la ejecución de esta prueba, cada eje debe desplazarse de forma suave, sin vibraciones ni ruidos anormales, y detenerse correctamente al alcanzar sus respectivos finales de carrera.

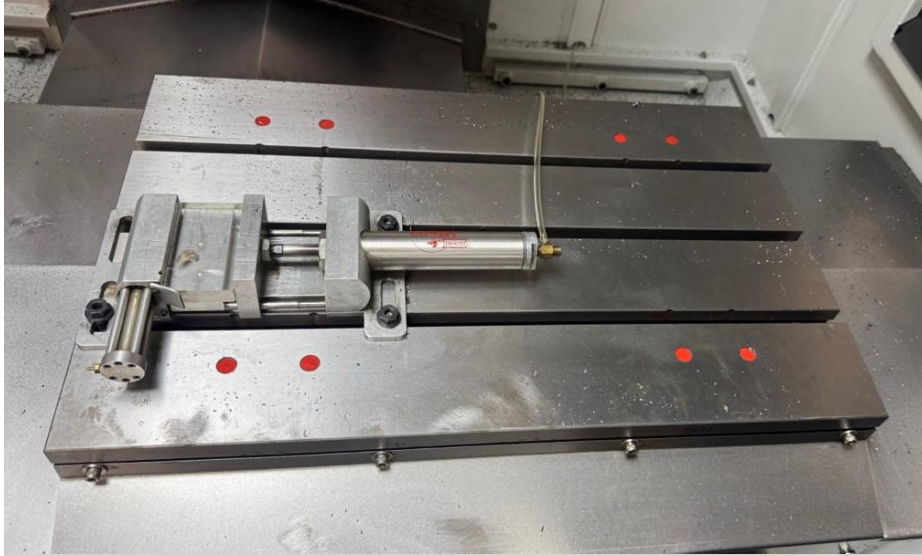


Ilustración 6. Verificación del movimiento de ejes de la fresadora.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

- **Verificación de finales de carrera y STOP:** Durante la configuración inicial, se debe comprobar el correcto funcionamiento de los finales de carrera de los ejes y del botón de paro de emergencia (*STOP*). Para ello, se debe accionar el botón de paro de emergencia y verificar que la máquina detenga de manera inmediata todos los movimientos.

2.3.2. Configuración inicial del control CNC

- **Tipo de control:** La fresadora SunMill JHV-550 puede venir equipada con un control CNC Fagor 8055 o un sistema similar, lo cual debe confirmarse en la placa de identificación de la máquina. Se recomienda que el operador se familiarice con el teclado, las pantallas y la estructura del menú del CNC antes de iniciar la operación.
- **Parámetros básicos:** Una vez identificado el control, se debe ingresar al menú de configuración para ajustar el sistema de coordenadas. En esta etapa se programan los *offsets* de pieza, ubicando el cero de pieza en una referencia definida, como el tope frontal o inferior de la mesa, o en un punto previamente programado.
- **Homing de ejes:** Se debe activar la función de *homing* para cada eje (X, Y, Z y N, en caso de aplicar). Este procedimiento posiciona el origen del carro en un punto

de referencia, generalmente asociado a los finales de carrera, y permite compensar automáticamente errores iniciales de posicionamiento (dmscncrouters.com).

- **Calibración de herramienta:** Utilizando una herramienta de referencia, como una barra de calibración o un palpador, se define el *offset* de longitud de la herramienta (T). Para ello, se introduce en el CNC la altura de la herramienta respecto al cero de pieza, siguiendo el procedimiento propio del sistema de control, por ejemplo, posicionando la fresa sobre la base y utilizando la función de medición.
- **Verificación de movimientos rápidos:** Antes de cargar el programa de mecanizado, en modo MDI se recomienda ejecutar desplazamientos rápidos limitados (G0) con el fin de confirmar los recorridos máximos de los ejes. En esta etapa pueden ajustarse las velocidades de avance rápido si fuese necesario. Asimismo, se debe activar la lubricación manual o el sistema presurizado de guías y verificar que no existan rozamientos.
- **Carga de programa de prueba:** Si se dispone de un programa sencillo, por ejemplo, un círculo interior de prueba, este puede cargarse desde una memoria USB o a través de la red. Se recomienda ejecutar un *dry run* (avance sin pieza) para comprobar que las trayectorias sean correctas y, en caso de detectarse desviaciones, ajustar los parámetros de herramienta y las posiciones correspondientes.



Ilustración 7. Dispositivo USB con carga de programa.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

2.4. Operación básica: montaje de pieza y mecanizado

- **Montaje de la pieza:** Previo al mecanizado, se debe limpiar la mesa de trabajo y aplicar aerosol o pasta antideslizante para mejorar la sujeción. Posteriormente, la pieza a mecanizar debe colocarse en la prensa o en los fijadores adecuados, asegurando que se encuentre correctamente nivelada y estable; en caso necesario, se pueden utilizar topes de alineación.

De acuerdo con las recomendaciones de seguridad, ningún operador debe activar el husillo durante el posicionamiento de la pieza. Finalmente, se deben ajustar firmemente las mordazas o prensas con el fin de evitar vibraciones durante el proceso de mecanizado (PEREZCAMPS, 2025).

- **Selección e instalación de herramientas:** La herramienta debe seleccionarse en función de la operación a realizar, considerando el tipo de material, el diámetro y la longitud de corte requeridos. Una vez seleccionada, la herramienta se monta en el portaherramientas tipo BT-40 y se aprieta utilizando una llave dinamométrica. Es importante verificar que la dirección de la rosca coincida con el sentido de giro del husillo. Posteriormente, se programa el número de herramienta en el CNC y se confirma que estén correctamente configurados los *offsets* de longitud y radio de punta correspondientes (PEREZCAMPS, 2025).

- **Parámetros de corte:** Los parámetros de corte, tales como la velocidad del husillo (RPM) y el avance, deben determinarse en función del material a mecanizar y del tipo de fresa utilizada. Por ejemplo, en el mecanizado de aluminio pueden emplearse velocidades elevadas (entre 5 000 y 10 000 rpm) con avances mayores, mientras que para el acero es necesario reducir tanto la velocidad como el avance.

Estos valores pueden definirse utilizando tablas técnicas del fabricante de la herramienta y del material, y configurarse directamente en el programa CNC mediante los códigos S (velocidad) y F (avance), o a través del panel de control antes de iniciar la operación.

- **Ejecución inicial:** Antes de realizar el mecanizado definitivo, se recomienda efectuar un primer pasaje de prueba, ya sea con un bloque de verificación o aplicando un *offset* lateral, con el objetivo de comprobar que la profundidad de corte sea segura. En caso de presentarse vibraciones excesivas o una carga elevada del husillo, se deben reducir la profundidad de corte y el avance. Durante todo el proceso de mecanizado, la puerta de la máquina debe permanecer cerrada.
- **Retiro de virutas:** Durante la operación, las virutas generadas se expulsan de la zona de corte, por lo que se debe evitar su acumulación. Para ello, puede utilizarse el extractor de virutas integrado o realizar limpiezas periódicas. En ningún caso se deben retirar virutas con las manos mientras la máquina esté en funcionamiento (PEREZCAMPS, 2025).

La limpieza debe efectuarse utilizando cepillos de cerdas o aire comprimido adecuado. Asimismo, el operador debe observar continuamente el comportamiento de la fresadora; si se detectan chispas, ruidos anormales o vibraciones inusuales, se debe detener el husillo de inmediato y revisar la configuración del proceso.

2.5. Verificación de herramientas y accesorios

La verificación adecuada de las herramientas y accesorios antes de iniciar cualquier operación de mecanizado constituye un paso crítico para garantizar la seguridad del operador, la integridad de la fresadora CNC SunMill JHV-550 y la calidad final de las piezas producidas. Este procedimiento permite asegurar que cada componente se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento, reduciendo el riesgo de fallas durante la operación, desgaste prematuro de los elementos de corte o desviaciones dimensionales en las piezas mecanizadas.

La literatura especializada destaca que una inspección correcta de las herramientas de corte, portaherramientas y dispositivos de sujeción resulta fundamental para lograr procesos de mecanizado consistentes, seguros y eficientes, especialmente

en entornos académicos donde el equipo es utilizado por distintos operadores (Kalpakjian & Schmid, 2014; DeGarmo, Black & Kohser, 2012).

2.6. Inspección de herramientas de corte

Las herramientas de corte deben revisarse tanto visual como dimensionalmente antes de su instalación, considerando el estado del filo, la presencia de desgaste, microfracturas o daños en los recubrimientos superficiales. Diversos autores señalan que un desgaste excesivo del filo puede generar vibraciones, incremento de las fuerzas de corte y un deterioro significativo del acabado superficial de las piezas mecanizadas (Oberg et al., 2016; Trent & Wright, 2000).

Pasos recomendados:

- 1. Revisión del filo:** Comprobar que la herramienta se encuentre afilada, sin mellas, grietas ni deformaciones visibles.
- 2. Comprobación del recubrimiento:** Verificar la integridad de recubrimientos como TiN, TiCN, TiAlN o AlTiN, asegurando que no presenten desprendimientos o desgaste irregular.
- 3. Confirmación del tipo y geometría:** Asegurar que la herramienta seleccionada sea adecuada para la operación programada, ya sea desbaste, ranurado, taladrado o acabado.
- 4. Verificación del cono de sujeción:** Comprobar que el cono ISO-40 o CAT-40 se encuentre limpio, libre de rebabas o marcas que puedan afectar la concentricidad y el correcto asentamiento en el husillo (Groover, 2010; Shaw, 2005).

El uso de herramientas en condiciones inadecuadas no solo reduce la precisión del mecanizado, sino que incrementa el riesgo de rotura de la herramienta y compromete la seguridad del operador y del equipo.

2.7. Verificación de portaherramientas y dispositivos de sujeción

La revisión de portaherramientas, mordazas y bridas es indispensable para garantizar la rigidez y estabilidad del sistema durante el mecanizado. De acuerdo con Sandvik Coromant (2018) y Boothroyd, Knight y Dewhurst (2011), una sujeción adecuada

constituye uno de los factores más influyentes en la calidad dimensional de las piezas y en la vida útil de la herramienta.

- **Limpieza de superficies de contacto:** retirar residuos de viruta, polvo o restos de aceite que puedan afectar el asentamiento correcto.
- **Ajuste del torque de apriete:** aplicar el par de apriete conforme a las especificaciones del fabricante para evitar desplazamientos durante la operación.
- **Condiciones de las mordazas:** revisar la presencia de desgaste, desalineación o deformaciones que comprometan la sujeción.
- **Verificación de paralelismo y ortogonalidad:** asegurar la correcta alineación de dispositivos de sujeción como prensas, mordazas o mesas angulares (Grewal, 2013; Grote & Antonsson, 2009).

Un sistema de sujeción en condiciones deficientes puede provocar vibraciones, pérdida de precisión dimensional y riesgos de desprendimiento de la pieza durante el mecanizado.

Antes de montar la herramienta en el portaherramientas, es necesario verificar su compatibilidad en términos de diámetro del vástago, longitud total, equilibrio dinámico y tolerancia de ajuste. Según Groover (2010) y Smid (2008), la correcta relación entre la herramienta y el portaherramientas influye directamente en la estabilidad del proceso de corte y en la reducción de vibraciones.

Puntos para revisar:

- **Diámetro del vástago:** Verificar la correspondencia con el sistema de sujeción del portaherramientas.
- **Longitud total y sobresaliente:** Longitudes excesivas incrementan la probabilidad de vibraciones y deflexión.
- **Equilibrio del conjunto:** Especialmente crítico en operaciones a altas velocidades de giro.

- **Velocidad máxima permitida:** Respetar las RPM recomendadas por el fabricante para evitar daños al equipo o a la herramienta (Trent & Wright, 2000; DeGarmo et al., 2012).

2.8. Registro y documentación de herramientas

Llevar un registro detallado de las herramientas y accesorios verificados forma parte de las buenas prácticas de operación en centros de mecanizado CNC. Este registro permite controlar la vida útil de cada herramienta, su historial de uso, condiciones de desgaste y la planificación de su reemplazo oportuno.

Kalpakjian y Schmid (2014), así como Boothroyd et al. (2011), señalan que la implementación de un sistema de control y documentación de herramientas contribuye a la reducción de tiempos improductivos, a la prevención de fallas inesperadas durante el mecanizado y a la mejora de la eficiencia operativa.

Registro recomendado:

- Código o identificación de la herramienta
- Fecha de instalación
- Material para mecanizar
- Parámetros de operación
- Observaciones sobre el estado físico

CAPÍTULO 3 INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de usuario de la fresadora SunMill JHV-550 está diseñada para facilitar el control del proceso de mecanizado mediante un sistema visual e intuitivo que integra los parámetros esenciales de operación. A través de este panel, el operador puede supervisar el estado de los ejes, las condiciones del husillo, la ejecución de programas CNC y las notificaciones del sistema. De acuerdo con Suh y Kang (2023), las interfaces CNC modernas deben estructurarse de manera que el usuario acceda de forma rápida y clara a la información crítica, reduciendo la probabilidad de errores durante el proceso de mecanizado. Descripción de la interfaz

La fresadora SunMill JHV-550 se integra dentro de una familia de centros de mecanizado vertical que incorporan un sistema de control CNC avanzado. Dicho sistema se caracteriza por los siguientes aspectos (SunMill, 2025):

- 1. Pantalla y visualización de Parámetros:** La interfaz dispone de una pantalla que facilita la visualización en tiempo real de parámetros críticos, tales como la posición de los ejes (X, Y y Z), la velocidad del husillo, la velocidad de avance y otros datos esenciales durante el proceso de mecanizado. La presentación gráfica incorpora menús intuitivos y opciones de tipo *manual guide*, las cuales asisten al operador en la navegación y ejecución de funciones, además de proporcionar alertas y mensajes informativos sobre el estado operativo de la máquina (MACHINETOOLS.COM, 2025).



*Ilustración 8. Pantalla y visualización de parámetros.
Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.*

- 2. Modos de Operación: Manual y Automático:** La interfaz permite alternar entre distintos modos de operación. En el modo automático, el equipo ejecuta programas de mecanizado previamente definidos, mientras que en el modo manual el operador tiene la capacidad de realizar ajustes en tiempo real, tales como movimientos de avance o compensaciones de herramienta. Esta dualidad de funcionamiento proporciona mayor flexibilidad y precisión operativa, ya que permite la intervención controlada del usuario para optimizar o corregir el proceso durante la ejecución (MARQUEZ, 2025).



Ilustración 9. Control de modo manual.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

3. Diseño Ergonómico e Interacción Intuitiva: El sistema está diseñado para minimizar errores mediante una organización clara y estructurada de los menús y funciones, lo cual contribuye a reducir la curva de aprendizaje y a mejorar la eficiencia operativa. La combinación de la interfaz visual con un sistema de controles físicos complementarios, junto con mensajes gráficos y auditivos, favorece una interacción directa con el equipo y minimiza las distracciones dentro del entorno de trabajo.

Como señalan Krar, Gill y Smid (2020), una interfaz clara y ordenada es fundamental para que el operador pueda tomar decisiones informadas, especialmente en equipos destinados a entornos académicos, donde los usuarios suelen estar en proceso de aprendizaje.

3.1. Explicación de los controles y botones

El panel de control físico y digital de la fresadora SunMill JHV-550 incorpora una serie de botones, interruptores y selectores diseñados para la ejecución de funciones específicas. Estos controles permiten la manipulación directa del equipo sin necesidad de acceder a menús avanzados, lo que agiliza las operaciones rutinarias y facilita la

intervención del operador. De acuerdo con Groover (2017), los sistemas de control CNC deben integrar funcionalidad y ergonomía con el fin de reducir tiempos muertos, optimizar el desempeño operativo y mejorar la seguridad del proceso. Entre los controles principales del panel destacan:



*Ilustración 10. Panel de controles y botones de la fresadora SunMill JHV 550.
Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.*

3.1.1. Controles de movimiento

El panel incluye botones destinados al desplazamiento manual de los ejes X, Y y Z en modo *jog*. Estos controles permiten el posicionamiento rápido y preciso de la herramienta, resultando esenciales durante las tareas de preparación y ajuste previo al mecanizado. La velocidad de desplazamiento puede ajustarse mediante un dial que regula la sensibilidad del movimiento, permitiendo un mayor control por parte del operador (Smith, 2018).



Ilustración 11. Controles de movimiento.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

3.1.2. Control del husillo

El husillo puede encenderse, apagarse y ajustarse a diferentes velocidades mediante botones dedicados en el panel de control. Este conjunto de controles resulta fundamental para el inicio de las operaciones de corte y para asegurar que la herramienta opere a la velocidad adecuada según el material y el tipo de mecanizado a realizar.



Ilustración 12. Control de husillo.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

3.1.3. Botón de paro de emergencia (E-Stop)

El sistema incorpora un interruptor de paro de emergencia que permite detener de forma inmediata todas las operaciones de la máquina. De acuerdo con Suh y Kang

(2023), este componente es obligatorio en los equipos CNC, ya que brinda al operador la posibilidad de reaccionar oportunamente ante situaciones de riesgo o anomalías durante el proceso de mecanizado.



Ilustración 13. Botón de paro de emergencia.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

3.1.4. Panel de funciones auxiliares

En el panel de control se integran botones destinados al accionamiento del sistema de refrigeración, al cambio automático de herramientas, a la iluminación interna y a otras funciones secundarias que contribuyen a mejorar la operación y la visibilidad en la zona de trabajo (Krar et al., 2020).

Cada uno de estos controles se encuentra claramente identificado, lo que facilita su uso y reduce la probabilidad de errores, cumpliendo con las recomendaciones de diseño ergonómico establecidas para equipos de manufactura industrial (Machinery Handbook, 2021).

3.2. Configuración de parámetros y ajustes

La configuración de parámetros en la fresadora SunMill JHV-550 constituye una etapa fundamental para garantizar una operación segura, precisa y repetible del equipo. Estos parámetros definen el comportamiento de los ejes, la respuesta de los servomotores, los límites de desplazamiento, las velocidades máximas permitidas y otras condiciones que influyen directamente en la calidad del mecanizado. De acuerdo con Krar et al. (2020), una configuración inadecuada puede ocasionar errores dimensionales, movimientos bruscos, vibraciones o colisiones entre el husillo y la pieza de trabajo.

En la interfaz de la fresadora SunMill JHV-550, los parámetros se agrupan en secciones orientadas al control del movimiento, la calibración de referencias y la seguridad del operador. La mayoría de estos valores se gestionan desde el menú *Machine Settings* o *Parameters*. Para modificar cualquier parámetro, el sistema solicita permisos de nivel técnico, con el propósito de evitar cambios no autorizados que puedan comprometer la estabilidad y el correcto funcionamiento del equipo (Machinery Handbook, 2021).

Uno de los ajustes críticos corresponde a la configuración de los límites de recorrido (*soft limits*), los cuales definen los rangos seguros de desplazamiento para los ejes X, Y y Z. Estos límites previenen que el husillo exceda el área útil de trabajo y protegen tanto la máquina como la pieza a mecanizar. Suh y Kang (2023) señalan que el establecimiento adecuado de estos límites contribuye a prevenir daños estructurales y a garantizar la repetibilidad de los ciclos de mecanizado.

Otro parámetro fundamental es la configuración de las velocidades y aceleraciones máximas, ya que estas influyen directamente en la eficiencia del mecanizado y en la vida útil de los servomotores. La interfaz permite ajustar la velocidad de avance (*feed rate*), la velocidad rápida (*rapid traverse*) y la aceleración de los ejes, variables que deben alinearse con las capacidades mecánicas y estructurales del modelo JHV-550 (Smith, 2018).

Asimismo, la calibración del punto de referencia (*home position*) asegura que todos los programas CNC se ejecuten a partir de una base común de coordenadas. La

correcta definición de este punto reduce desviaciones acumuladas y minimiza errores en las trayectorias generadas mediante software CAD/CAM (Groover, 2017).

Finalmente, la interfaz de la SunMill JHV-550 incorpora opciones para la gestión de compensaciones de herramienta (*tool offsets*), las cuales resultan indispensables para garantizar la precisión del mecanizado. Estas compensaciones incluyen la longitud de la herramienta, el radio del cortador y los ajustes por desgaste. La literatura técnica destaca que una adecuada administración de los offsets constituye uno de los factores más determinantes en la precisión dimensional final de las piezas fabricadas (Krar et al., 2020).

CAPÍTULO 4 OPERACIÓN BÁSICA

La operación básica de la fresadora CNC SunMill JHV-550 comprende un conjunto de procedimientos orientados a garantizar el correcto funcionamiento del equipo, la seguridad del operador y la precisión de los procesos de mecanizado. Este capítulo aborda los aspectos esenciales para la puesta en marcha de la máquina, la selección adecuada de herramientas y materiales, así como las recomendaciones técnicas necesarias para la ejecución eficiente de operaciones de desbaste y acabado.

4.1. Inicio y parada del sistema

El correcto inicio y paro del sistema de la fresadora CNC constituye una de las etapas más críticas dentro de la operación básica del equipo. Estos procedimientos no sólo garantizan la seguridad del operador, sino que también contribuyen a prolongar la vida útil de los componentes mecánicos, electrónicos y neumáticos de la SunMill JHV-550, asegurando la precisión y repetibilidad de los procesos de mecanizado (Kalpakjian & Schmid, 2014; Groover, 2010).

La operación de arranque y paro se organiza en fases específicas que permiten verificar el estado general de la máquina antes de ejecutar cualquier programa de mecanizado. De acuerdo con Oberg et al. (2016), la aplicación de una rutina sistemática de puesta en marcha reduce significativamente la probabilidad de fallas mecánicas o electrónicas y favorece un entorno de trabajo seguro y controlado.

4.1.1. Procedimiento de inicio del sistema

Antes de encender la fresadora, es indispensable realizar una inspección preliminar de seguridad y funcionalidad (Shaw, 2005; Sandvik Coromant, 2018). Los pasos recomendados son los siguientes:

1. Verificación del entorno y seguridad:

- Comprobar que el área de trabajo esté libre de obstáculos, virutas u objetos extraños.
- Confirmar que todos los dispositivos de seguridad, barreras y protecciones estén en posición correcta.

2. Inspección de la máquina:

- Revisar el estado de herramientas, portaherramientas y accesorios.
- Verificar niveles de aceite, lubricantes y refrigerante.
- Comprobar que el husillo y el eje de la mesa estén libres de residuos o daños visibles.

3. Encendido del sistema:

- Activar la alimentación principal de la fresadora.



Ilustración 14. Alimentación principal de la fresadora.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

- Encender el sistema CNC y esperar a que el panel de control complete la secuencia de autoevaluación.
- Inicializar los ejes mediante el procedimiento de “home” o referencia de posición, asegurando que todos los movimientos sean suaves y sin interferencias.



Ilustración 15. Referencia de posición de los ejes X, Y y Z.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

4. Verificación funcional:

- Realizar movimientos de prueba en vacío (sin pieza ni herramienta cargada) para comprobar la respuesta de los ejes y la correcta comunicación con el sistema CNC.
- Confirmar que los sensores de seguridad y topes finales funcionen correctamente.

Este procedimiento garantiza que la máquina esté lista para recibir instrucciones de mecanizado, minimizando riesgos de accidentes y daños en la herramienta o pieza de trabajo (Groover, 2010; Oberg et al., 2016).

4.1.2. Procedimiento de paro del sistema

El paro correcto del sistema debe realizarse de manera controlada para evitar daños mecánicos, pérdida de datos o accidentes. Los pasos recomendados son:

1. Finalización del programa de mecanizado:

- Detener el programa en ejecución y esperar que los movimientos de la máquina terminen.
- Retirar las herramientas o piezas si es necesario, siguiendo las normas de seguridad.

2. Desactivación de ejes y husillo:

- Apagar el husillo y los motores de los ejes de manera gradual.
- Confirmar que todos los componentes estén en posición segura y estacionaria.

3. Apagado del sistema CNC:

- Realizar el cierre del sistema operativo del control CNC siguiendo la secuencia indicada por el fabricante.
- Desactivar la alimentación principal de la fresadora.

4. Limpieza y mantenimiento básico:

- Retirar virutas y residuos de la zona de trabajo.
- Revisar el estado de herramientas y accesorios para la siguiente operación.
- Documentar cualquier anomalía detectada durante la operación (Kalpakjian & Schmid, 2014; Shaw, 2005; Sandvik Coromant, 2018).

El cumplimiento riguroso de estos pasos no solo asegura la integridad de la fresadora y del sistema CNC, sino que también reduce el riesgo de accidentes y facilita la programación de futuras operaciones (DeGarmo, Black, & Kohser, 2012).

4.2. Calibración de herramientas en la fresadora SunMill JHV-550

4.2.1 Importancia de la calibración de herramientas

La calibración de herramientas constituye una etapa esencial en la operación de máquinas herramienta CNC, ya que permite determinar con precisión la longitud efectiva de cada herramienta con respecto al sistema de coordenadas de la máquina. Este proceso es indispensable para asegurar que las trayectorias de mecanizado programadas en el sistema CAM se ejecuten conforme a lo planeado, evitando errores dimensionales, colisiones y daños al equipo o a la pieza de trabajo (Kalpakjian & Schmid, 2014).

En el contexto de la fresadora CNC SunMill JHV-550, la calibración de herramientas representa el vínculo directo entre el entorno virtual de simulación y la operación real de la máquina, por lo que debe realizarse de manera sistemática cada vez que se cambia una herramienta o se modifica el portaherramientas (SunMill, 2025).

4.2.2 Objetivo de la calibración

Establecer correctamente la longitud de cada herramienta en el eje Z mediante el registro adecuado del Tool Length Offset, garantizando la coherencia entre el modelo CAD/CAM desarrollado en SolidWorks y Mastercam X5 y la ejecución física del mecanizado en la fresadora SunMill JHV-550 (CNC Software Inc., 2010).

4.2.3 Descripción de la calibración de herramientas

Una vez que la máquina ha sido encendida y referenciada, se procede al montaje de la herramienta en el portaherramientas, asegurando una sujeción firme y correcta. Posteriormente, la herramienta se coloca en el spindle y se selecciona el número de herramienta correspondiente en el panel de control, verificando su coincidencia con la herramienta definida en el programa CAM.

El posicionamiento de la herramienta se realiza sobre una superficie de referencia, generalmente la mesa de trabajo o una pieza patrón. Mediante el desplazamiento controlado del eje Z en modo manual, se acerca progresivamente la herramienta hasta el punto de contacto. En ausencia de un palpador automático, se emplea el método manual de calibración utilizando una hoja de papel, el cual permite identificar con precisión el punto de contacto entre la herramienta y la superficie de referencia (Menéndez, 2015).

Una vez identificado dicho punto, el valor correspondiente se registra en la tabla de compensación de longitud de herramienta (Tool Length Offset), quedando almacenado en el sistema de control de la máquina. Finalmente, se realiza una verificación del valor registrado para asegurar la repetibilidad y confiabilidad de la calibración.

El procedimiento de calibración de la herramienta se encuentra descrito en la práctica propuesta en el apartado 7.2, donde se detallan los pasos necesarios para realizar la referencia de la herramienta y asegurar la correcta operación del proceso de maquinado.

4.2.4 Relación con el sistema CAD/CAM

La longitud de herramienta calibrada debe corresponder exactamente con la información configurada en Mastercam X5, ya que cualquier discrepancia entre el valor real y el virtual puede provocar errores en la profundidad de corte y afectar la calidad del mecanizado. Por esta razón, la calibración de herramientas se considera un proceso crítico dentro del flujo de trabajo CAD/CAM–CNC (CNC Software Inc., 2010).

4.3. Generación del cero pieza en la fresadora SunMill JHV-550

4.3.1 Concepto de cero pieza.

El cero pieza, también denominado sistema de coordenadas de trabajo, corresponde al punto de origen a partir del cual el control numérico interpreta todos los movimientos de la herramienta durante el mecanizado. La correcta definición de este origen es fundamental para garantizar que la pieza sea mecanizada en la posición y orientación establecidas en el modelo CAD (Kalpakjian & Schmid, 2014).

En la fresadora SunMill JHV-550, el cero pieza se define una vez que la herramienta ha sido calibrada y la pieza de trabajo ha sido correctamente fijada sobre la mesa de la máquina.

4.3.2 Objetivo de la generación del cero pieza

Definir con precisión el origen del sistema de coordenadas de trabajo (X, Y y Z), asegurando la correcta alineación entre el diseño realizado en SolidWorks, la programación desarrollada en Mastercam X5 y la ejecución física del mecanizado en la fresadora CNC.

4.3.3 Descripción de la generación del cero pieza

Una vez referenciada la máquina, la pieza de trabajo se monta y se fija firmemente sobre la mesa de la fresadora, cuidando su correcta alineación de acuerdo con el plano de referencia definido en el diseño CAD. Posteriormente, se selecciona en el panel de control el sistema de coordenadas de trabajo correspondiente, comúnmente el sistema G54, el cual debe coincidir con el configurado en el software CAM.

La definición del cero en los ejes X y Y se realiza mediante el posicionamiento controlado de la herramienta hasta el punto de referencia establecido en la geometría de la pieza. Una vez alcanzado este punto, los valores de posición se registran como origen dentro del sistema de coordenadas de trabajo.

Para el eje Z, se utiliza comúnmente el método manual del papel, mediante el cual se determina el contacto entre la herramienta y la superficie superior de la pieza. El valor obtenido se ajusta considerando el espesor del papel y se registra como cero en el eje

Z. Este método es ampliamente aceptado en entornos educativos e industriales cuando no se dispone de sistemas de medición automáticos (Menéndez, 2015).

Finalmente, se realiza una verificación del cero pieza regresando la herramienta al punto de origen para confirmar la coherencia y exactitud de los valores establecidos.

El procedimiento para la generación del cero pieza se presenta en la práctica propuesta en el apartado 7.3 de este manual. En dicha sección se describen los pasos necesarios para establecer el sistema de referencia de la pieza de trabajo, así como los métodos de posicionamiento y verificación que permiten asegurar la correcta alineación del sistema de coordenadas del CNC, garantizando la precisión dimensional en las operaciones de maquinado.

4.3.4 Importancia del cero pieza en la operación CNC

La correcta generación del cero pieza garantiza que las trayectorias de mecanizado se ejecuten de forma precisa y repetible, reduciendo errores y optimizando el uso de materiales y herramientas. Además, permite al estudiante comprender de manera integral la relación entre el sistema de coordenadas, la geometría de la pieza y el movimiento real de la máquina, fortaleciendo competencias clave en manufactura asistida por computadora (Kalpakjian & Schmid, 2014).

4.4. Selección de herramientas y materiales

La selección de herramientas de corte y la adecuada identificación del material a mecanizar constituyen factores fundamentales para asegurar un proceso confiable, eficiente y compatible con las capacidades tecnológicas de la fresadora CNC SunMill JHV-550. Una elección inadecuada puede resultar en desgaste prematuro de la herramienta, baja calidad superficial, incremento en el tiempo de ciclo o incluso daños en el equipo.

4.4.1. Herramientas de corte aplicables al fresado CNC

La fresadora SunMill JHV-550 admite herramientas de distintos materiales y geometrías, cuya selección depende del tipo de operación a realizar (desbaste, semiacabado o acabado), de las propiedades mecánicas del material a mecanizar y de los parámetros de corte permitidos. Entre las herramientas más empleadas se

encuentran las fresas de acero rápido (HSS), las fresas de carburo sólido y las fresas con recubrimientos de alto desempeño.

Las fresas de acero rápido (HSS) se caracterizan por su buena tenacidad y bajo costo; sin embargo, su resistencia al desgaste es inferior a la del carburo, lo que restringe su aplicación a materiales de dureza media o baja (Kalpakjian & Schmid, 2014). En contraste, las herramientas de carburo sólido presentan una elevada resistencia térmica y permiten operar a mayores velocidades de corte, siendo apropiadas para materiales de mayor dureza y para aplicaciones en las que se busca prolongar la vida útil del filo de corte (Groover, 2010).

Asimismo, los recubrimientos como TiN, TiCN, TiAlN y AlTiN contribuyen a mejorar la resistencia al desgaste, reducir la fricción y optimizar el desempeño de la herramienta, lo que posibilita el mecanizado eficiente de materiales exigentes, tales como aceros inoxidable o aleaciones de alta dureza (Oberg et al., 2016).

4.5. Selección del material a mecanizar

La fresadora SunMill JHV-550 puede trabajar con una amplia variedad de materiales, entre los que se incluyen aluminio, aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidable, fundiciones, plásticos de ingeniería y aleaciones de cobre. Cada uno de estos materiales presenta características particulares en términos de maquinabilidad, conductividad térmica, dureza y abrasividad, las cuales deben considerarse para la selección adecuada de herramientas y parámetros de corte.

La correcta selección de herramientas de corte, recubrimientos y parámetros de operación es un factor determinante para garantizar procesos de mecanizado eficientes, seguros y repetibles en centros de mecanizado CNC. Diversos autores, fabricantes de herramientas y normas internacionales coinciden en que dichas selecciones deben realizarse en función de las propiedades mecánicas y térmicas del material a mecanizar, así como del tipo de operación a ejecutar (ASM International, 2015; Sandvik Coromant, 2023).

En el caso del aluminio, particularmente las aleaciones de las series 6000 y 7000, se recomienda el uso de fresas de carburo sólido de dos a tres filos, preferentemente sin

recubrimiento o con recubrimientos específicos. Esta recomendación es respaldada por Sandvik Coromant y Kennametal, quienes señalan que la alta maquinabilidad y ductilidad del aluminio requieren filos altamente afilados y canales amplios que faciliten la evacuación de la viruta y eviten la adhesión del material al filo de corte. Estas características permiten realizar tanto operaciones de desbaste como de acabado con buena calidad superficial y mayor vida útil de la herramienta (ASM International, 2015).

Para los aceros al carbono, como los AISI 1018 y 1045, se recomienda el uso de fresas de carburo sólido con tres o cuatro filos, recubiertas con TiN o TiCN. De acuerdo con el Machining Data Handbook y los lineamientos de fabricantes de herramientas de corte, estos materiales presentan una resistencia mecánica moderada que exige herramientas con mayor resistencia al desgaste, así como velocidades de corte intermedias para mantener la estabilidad del proceso. Estas condiciones permiten un equilibrio adecuado entre productividad y durabilidad de la herramienta durante operaciones de desbaste y acabado (Groover, 2020).

En cuanto a los aceros aleados, como AISI 4140 y 4340, su mayor dureza y resistencia al esfuerzo mecánico los clasifica dentro del grupo ISO P, según la norma ISO 513. Para estos materiales se recomienda el uso de fresas de carburo sólido con recubrimientos térmicos como TiAlN o AlTiN, los cuales ofrecen una elevada resistencia a la oxidación y al calor generado durante el corte. Fabricantes como Kennametal y Sandvik Coromant destacan la necesidad de emplear refrigeración constante y parámetros de corte controlados, especialmente en operaciones de desbaste pesado, con el fin de evitar fallas prematuras de la herramienta (ISO, 2017).

Los aceros inoxidables, como AISI 304 y 316, presentan una marcada tendencia al endurecimiento por deformación, lo que dificulta su mecanizado. Por esta razón, ASM International y la norma ISO 513 los clasifican dentro del grupo ISO M y recomiendan el uso de fresas de carburo sólido de alta resistencia con recubrimientos como AlTiN o AlCrN. Asimismo, se enfatiza la importancia de mantener avances constantes y evitar interrupciones en el corte, ya que estas condiciones reducen el desgaste acelerado del filo y mejoran la estabilidad del proceso durante operaciones de desbaste ligero y acabado.

Respecto a la fundición gris y nodular, diversos estudios y manuales técnicos señalan que el grafito presente en su microestructura actúa como lubricante natural durante el mecanizado, facilitando el corte. No obstante, este mismo grafito incrementa el desgaste abrasivo de la herramienta. Por ello, el ASM Handbook recomienda el uso de fresas de carburo sólido, generalmente sin recubrimiento o con TiAlN, principalmente para operaciones de desbaste, donde se prioriza la remoción de material sobre la calidad superficial (ASM International, 2015).

En el caso de los plásticos de ingeniería, como nylon, acetal y UHMW, se recomienda el uso de herramientas HSS o de carburo con filos altamente afilados y sin recubrimiento. De acuerdo con ASM International y manuales especializados en el mecanizado de polímeros, estos materiales son sensibles al calor, por lo que se deben emplear altas velocidades de corte y bajos avances para evitar deformaciones térmicas y defectos dimensionales, especialmente en operaciones de acabado.

Finalmente, para materiales dúctiles como el latón y el cobre, los fabricantes de herramientas y el ASM Handbook recomiendan fresas de carburo sólido sin recubrimiento, con geometrías de corte muy agudas. Estas recomendaciones buscan minimizar la formación de rebabas y obtener acabados superficiales de alta calidad, particularmente en operaciones de acabado fino.

En conjunto, estas recomendaciones técnicas constituyen una base sólida para la correcta selección de herramientas y parámetros de mecanizado en la fresadora SunMill JHV-550, permitiendo estandarizar las prácticas de laboratorio y facilitar el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería industrial.

A continuación, se presenta la Tabla 5, en la cual se resumen las recomendaciones de las diferentes compañías y normas en cuanto a selección de herramientas, tipos de recubrimiento y consideraciones técnicas para los materiales más utilizados en los procesos de mecanizado con la fresadora SunMill JHV-550.

Material	Tipo de herramienta recomendada	Recubrimiento sugerido	Operación recomendada	Comentarios técnicos
Aluminio (serie 6000 o 7000)	Fresa de carburo sólido, 2–3 filos	Sin recubrimiento o TiB_2	Desbaste y acabado	Alta maquinabilidad; se recomiendan filos afilados y canales amplios.
Aceros al carbono (AISI 1018, 1045)	Fresa de carburo sólido, 3–4 filos	TiN o TiCN	Desbaste y acabado	Requiere alta resistencia al desgaste y velocidad de corte moderada.
Aceros aleados (AISI 4140, 4340)	Fresa de carburo sólido	TiAlN o AlTiN	Desbaste pesado y acabado	Material de dureza media-alta; necesita recubrimientos térmicos y refrigeración constante.
Aceros inoxidables (304, 316)	Fresa de carburo sólido de alta resistencia	AlTiN o AlCrN	Desbaste ligero y acabado	Tendencia al endurecimiento por deformación; usar avance constante.
Fundición gris o nodular	Fresa de carburo sólido	Sin recubrimiento o TiAlN	Desbaste	El grafito del material facilita el corte, pero aumenta el

				desgaste abrasivo.
Plásticos de ingeniería (Nylon, Acetal, UHMW)	Fresa HSS o carburo afilado	Sin recubrimiento	Acabado	Alta velocidad y bajo avance para evitar deformación térmica.
Latón y cobre	Fresa de carburo sólido	Sin recubrimiento	Acabado fino	Materiales dúctiles; requieren filos muy afilados para evitar rebabas.

Tabla 5. Recomendaciones de selección de herramientas.

Nota. Elaboración propia con base en ASM Internacional, ISO, Sandvik Coromant.

4.6. Compatibilidad herramienta–material

La compatibilidad entre la herramienta y el material a mecanizar debe evaluarse considerando parámetros como la dureza, la abrasividad, la conductividad térmica y la estabilidad dimensional del material. En el caso de materiales de alta dureza, se recomienda el uso de herramientas de carburo con recubrimientos de alto desempeño, mientras que para materiales más blandos se priorizan filos de corte afilados y geometrías que faciliten una adecuada evacuación de la viruta.

La fresadora SunMill JHV-550, mediante el empleo de portaherramientas ISO-40 o CAT-40, según su configuración, permite la instalación de herramientas de diversos diámetros y longitudes. Esta característica garantiza una adecuada rigidez del conjunto herramienta–portaherramientas durante el mecanizado y contribuye a reducir la aparición de vibraciones que puedan afectar la calidad superficial y la precisión dimensional.

4.7. Recomendaciones de selección para la SunMill JHV-550

Con base en las características operativas de la máquina, se sugieren las siguientes recomendaciones:

1. Emplear fresas de carburo sólido para la mayoría de los materiales metálicos, debido a su alta resistencia térmica y al desgaste.
2. Utilizar herramientas HSS únicamente en operaciones de baja exigencia, prototipado o mecanizado educativo.
3. Seleccionar recubrimientos TiAlN o AlTiN para aceros aleados e inoxidables, especialmente en operaciones de alta temperatura.
4. Ajustar el diámetro y número de filos de la herramienta conforme al tipo de operación: menor número de filos para desbaste y mayor para acabado.
5. Consultar las tablas de parámetros del fabricante de la herramienta para determinar velocidades y avances óptimos.

4.8. Configuración de velocidad y avance

De acuerdo con Arroyo Barranco (2018), se propone el siguiente ejercicio a desarrollar en el laboratorio de manufactura. “El estudiante obtendrá los conocimientos y habilidades para diseñar productos y objetos que cuenten con texto, cajas de forma libre y contornos de diversas geometrías, y que sean susceptibles de ser fabricados en una fresadora de control numérico por medio de la utilización de programas especializados como SolidWorks y Mastercam.”

Para dicha práctica en laboratorio es necesario contar con:

a) Software

SolidWorks versión 2018

Mastercam versión x9

Antivirus (Avast, AVG, etc.)

b) Equipo e instrumentos

Computadora con 8 gb de ram (mínimo), procesador Core I5 o equivalente (mínimo)

Ratón y teclado

Regulador o no break

4.9. Desarrollo de la práctica:

Diseñar previamente en SolidWorks el producto que requerirá los procesos de fresado de cajas libres. Para ello dibuje las geometrías sobre un bloque de 50 mm x90 mm x 10 mm de espesor.

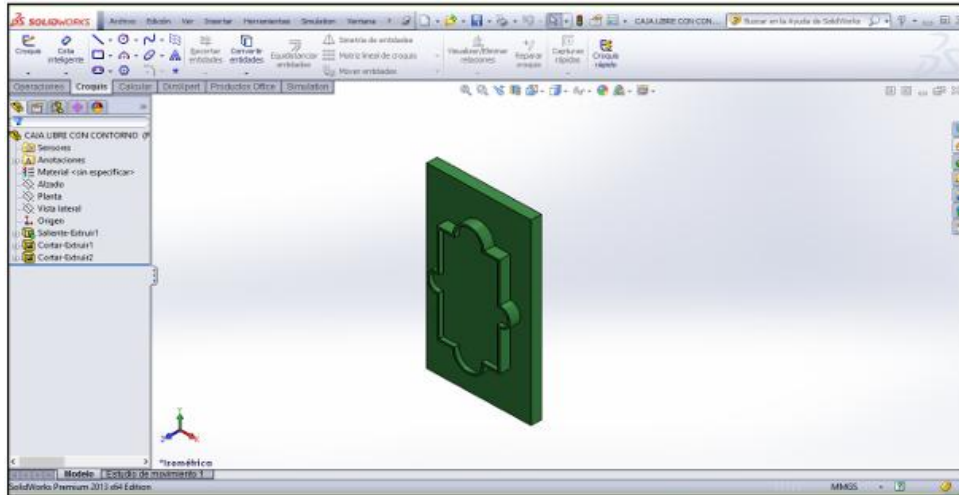


Ilustración 16. Ejemplo de caja diseñada en SolidWorks.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024

1. Guardar el archivo de SolidWorks mediante la opción guardar como, y se elige el tipo de extensión Parasolid.

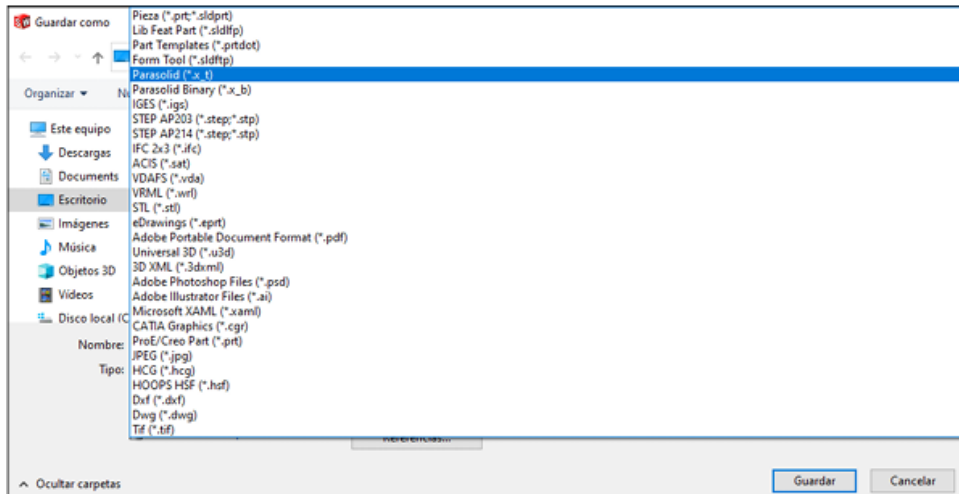


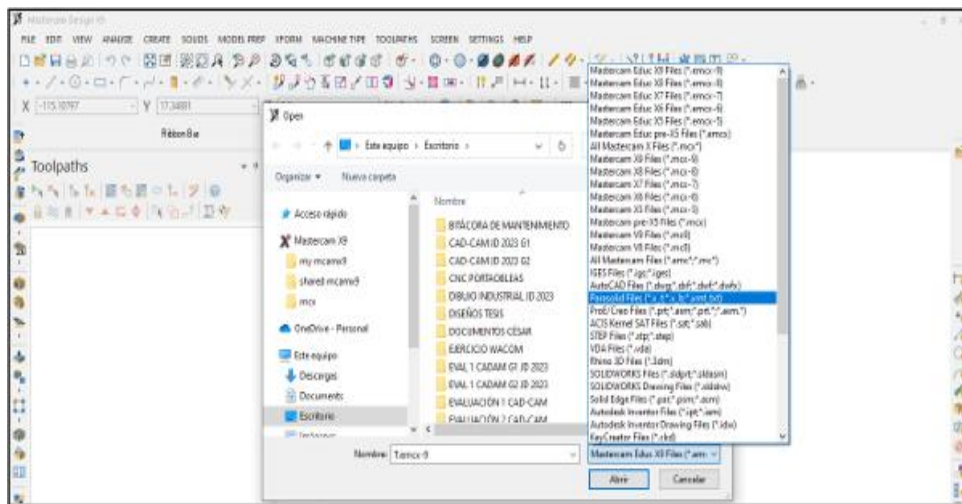
Ilustración 17. Selección de archivo parasolid.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024

2. Abrir el programa Mastercam X9.



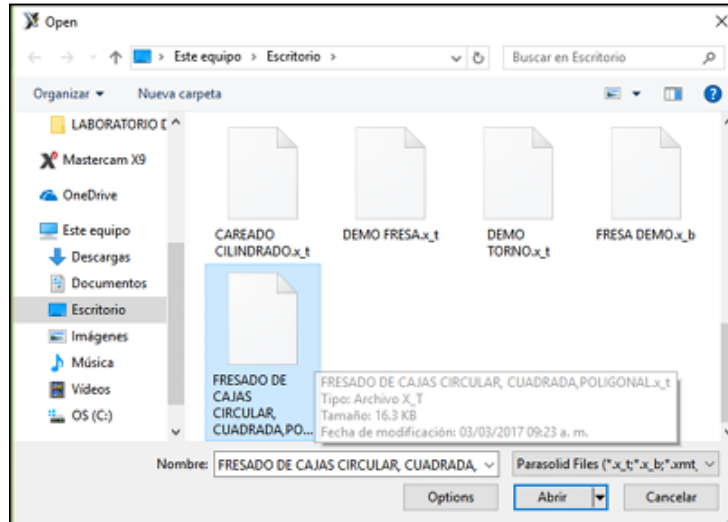
*Ilustración 18. Logotipo de programa mastercam.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

3. Para importar el archivo de SolidWorks deseado, seleccione la opción File (archivo) del menú principal y elegir tipo de archivo para seleccionar la opción Parasolid Files. (archivos de Parasolid).



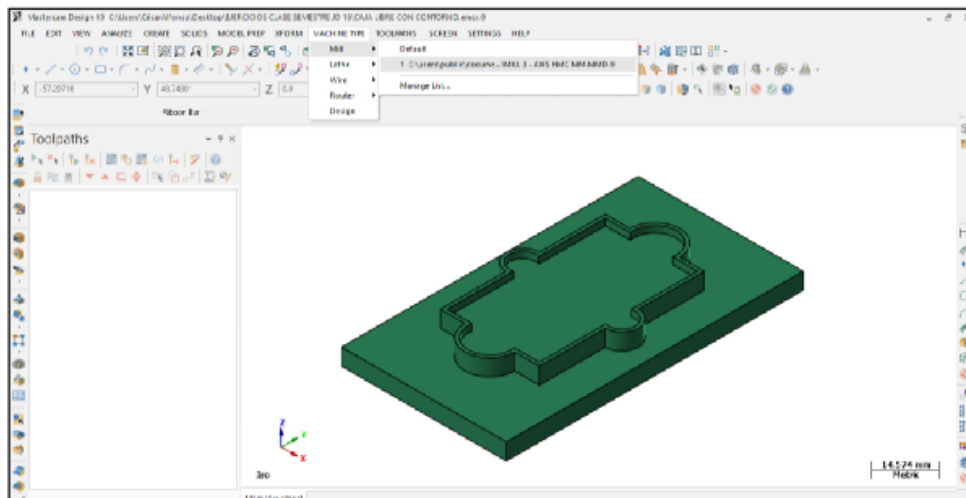
*Ilustración 19. Importación de archivo a parasolid.
Nota. Tomado de Manual prácticas CAD-CAM 2024*

4. Elegir el tipo de extensión (Parasolid), y después localice la ubicación del archivo que desea abrir como se muestra abajo en la figura.



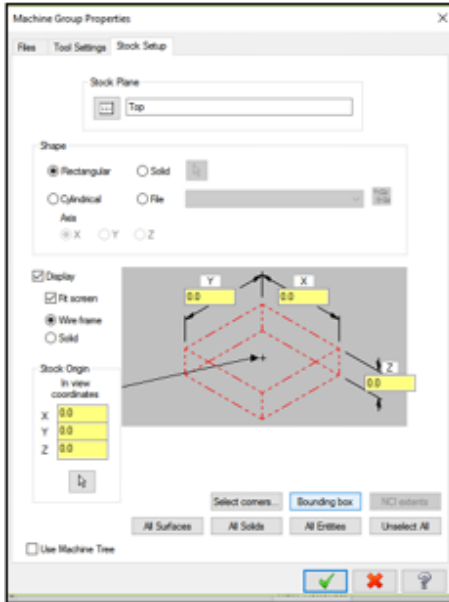
*Ilustración 20. Abrir archivo en formato parasolid.
Nota. Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

- Una vez que se ha concluido la importación del archivo de SolidWorks, se procederá a elegir el tipo de máquina en la opción Machine (máquina) del menú principal, seleccionar Mill (Fresadora), y VERTICAL MACHINE CENTER MM MLD-9.



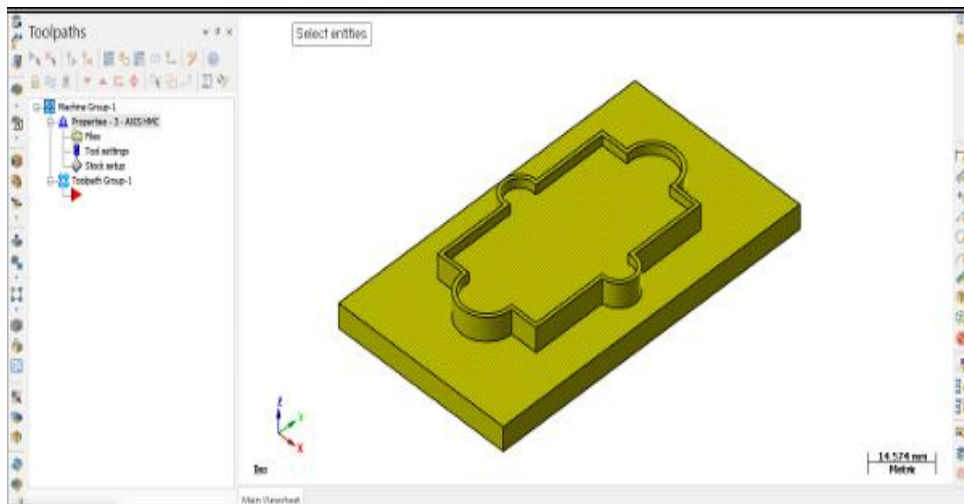
*Ilustración 21. Selección de fresadora en programa Mastercam.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

- Configurar en la opción Stock Setup la materia prima por medio de Bounding Box, seleccionar y oprimir enter.



*Ilustración 22. Configuración de la materia prima.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

7. El color amarillo de la pieza indica que está seleccionado.



*Ilustración 23. Pieza seleccionada correctamente.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

8. Aparecerá un display con el nombre Bounding box, seleccione aceptar.

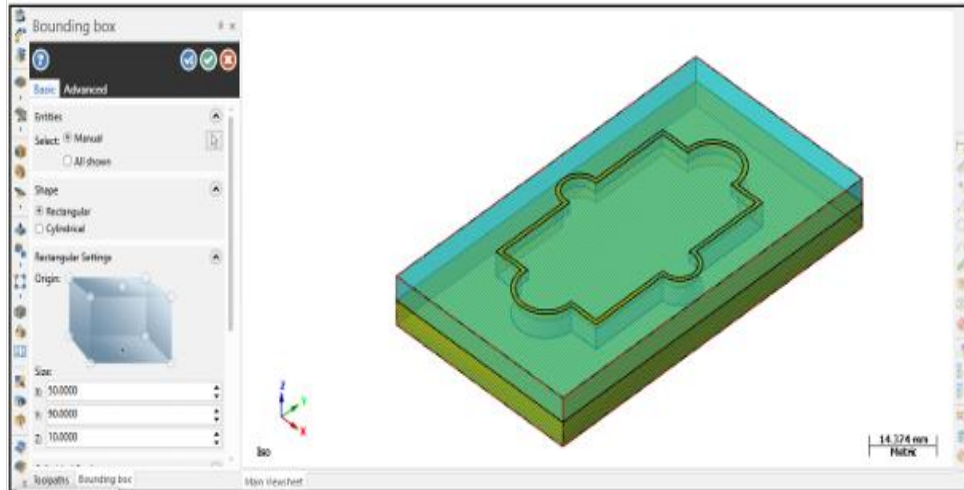


Ilustración 24. Selección de "bounding box"
 Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024

9. Mediante las líneas en color rojo se indica que la pieza ya tiene la materia prima asignada.

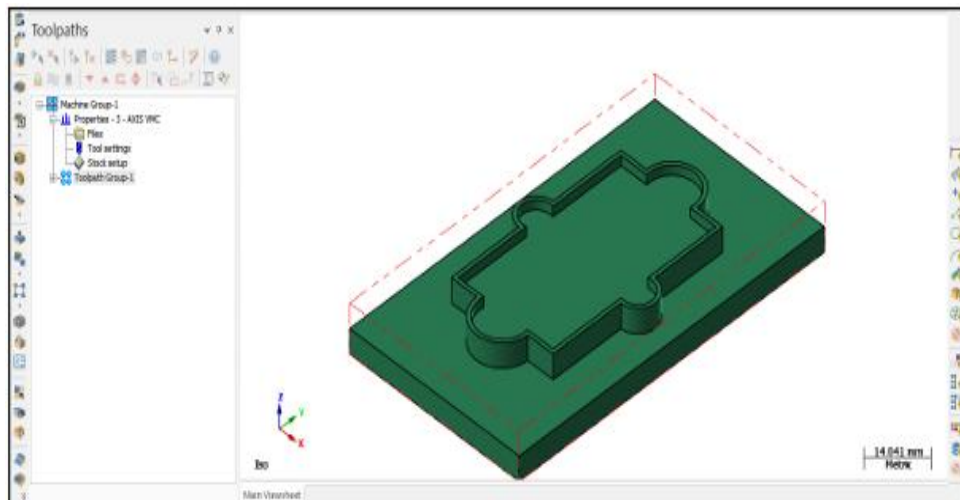
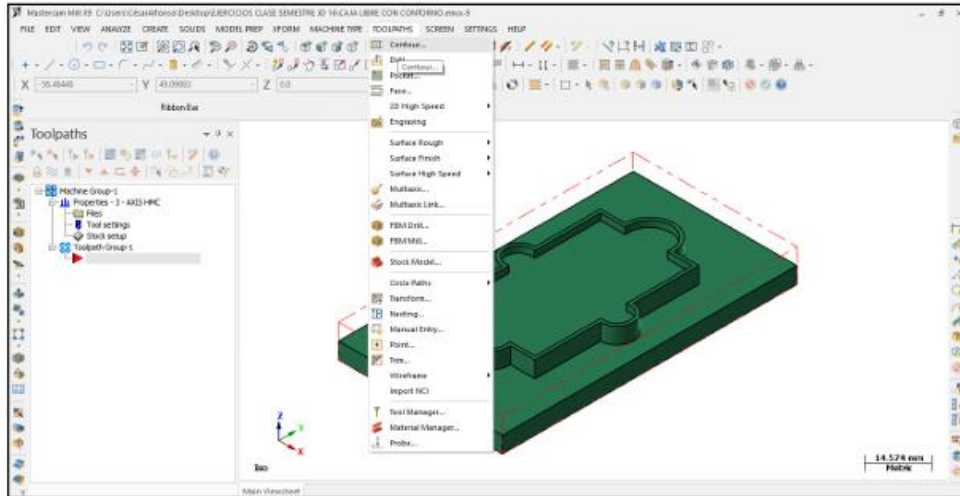


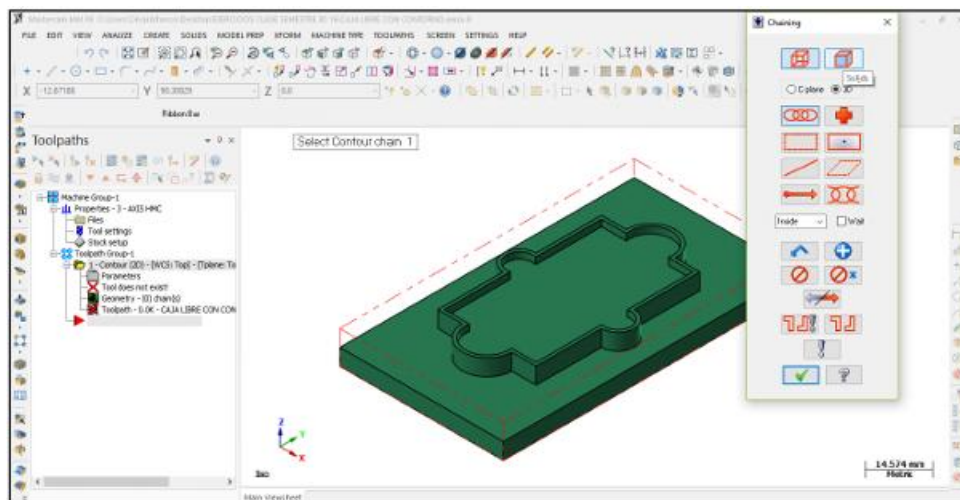
Ilustración 25. Indicación de materia prima seleccionada.
 Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024

10. Elegir la opción Toolpaths del menú principal, para seleccionar Contour (contorno).



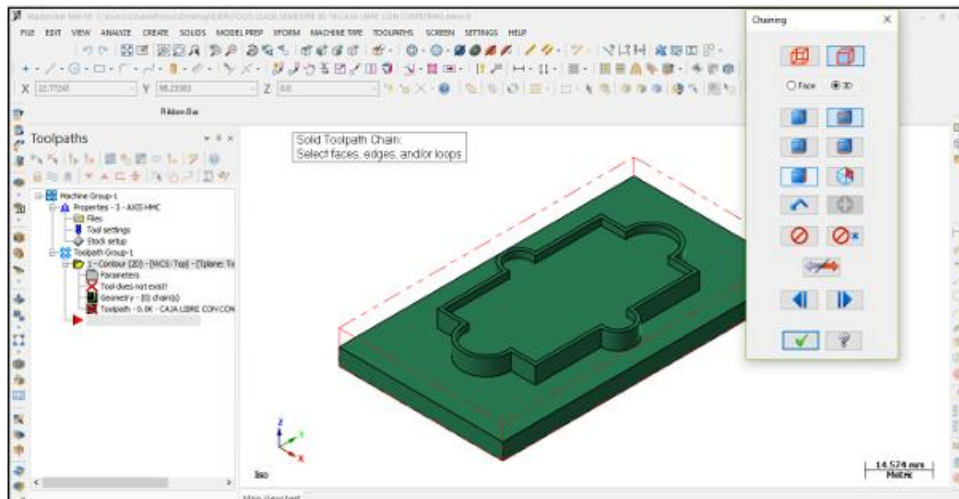
*Ilustración 26. Seleccionar contour.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

11. Elegir la opción sólidos (solids) de la ventana Chaining (cadena).



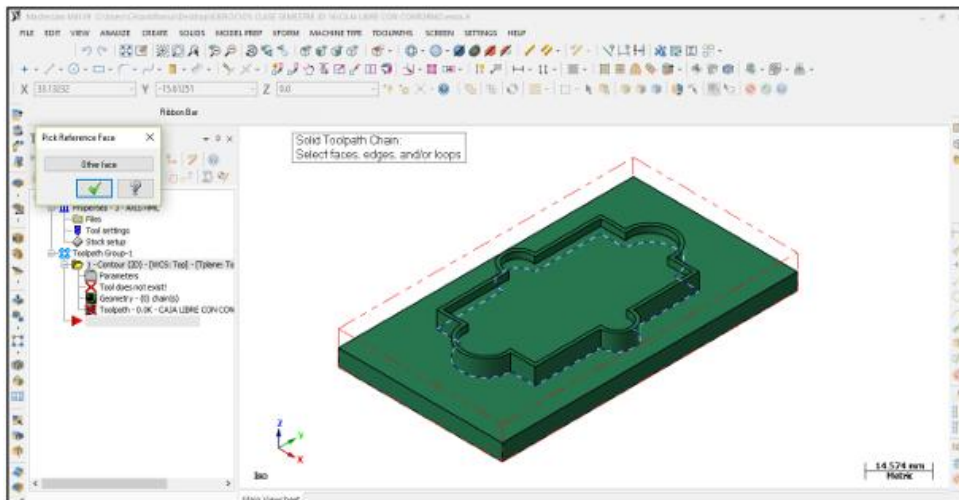
*Ilustración 27. Seleccionar chaining.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

12. Deshabilitar la opción "FACE".



*Ilustración 28. Deshabilitar la opción "FACE"
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

13. Crear un "Loop cerrado" eligiendo las líneas del contorno donde se desea maquinar y aceptar.



*Ilustración 29. Creación de "loop cerrado"
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

14. Se abrirá una ventana con el nombre de Contour, y se procederá a elegir la herramienta.

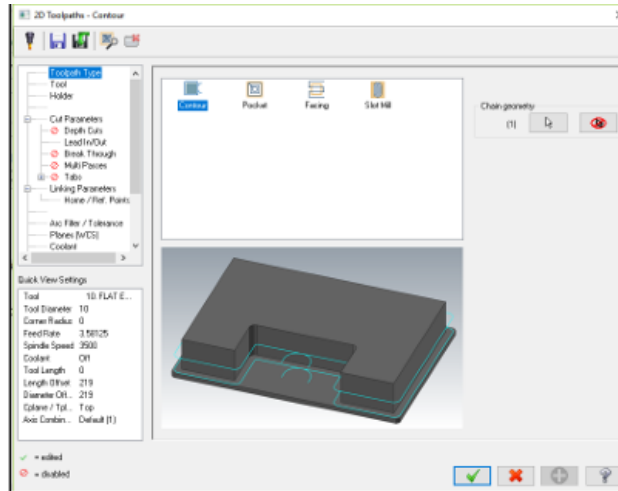


Ilustración 30. Selección de herramienta.

Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024

15. Se seleccionará la herramienta número 464, correspondiente a un cortador recto de 4mm de diámetro.

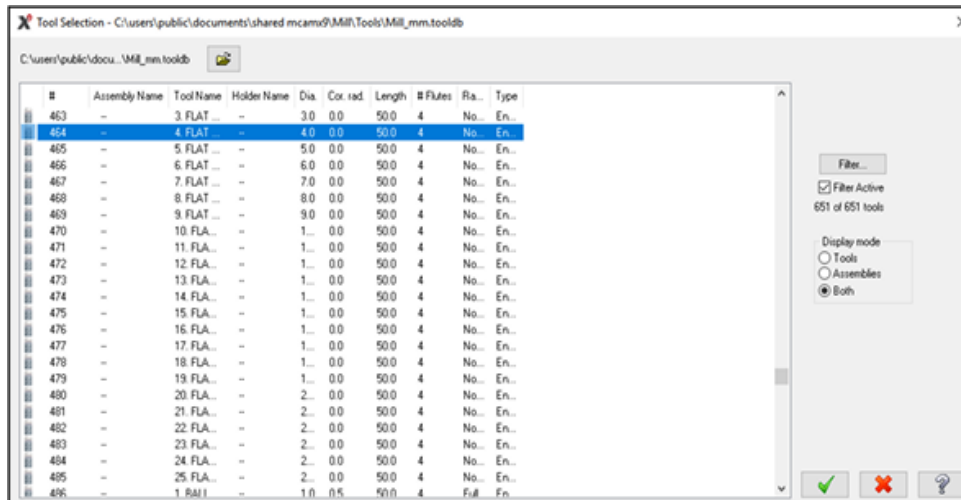
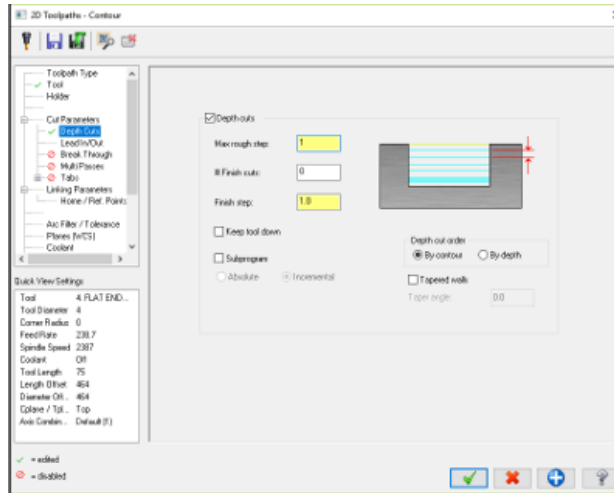


Ilustración 31. Selección de herramienta 464, cortador recto de 4mm de diámetro.

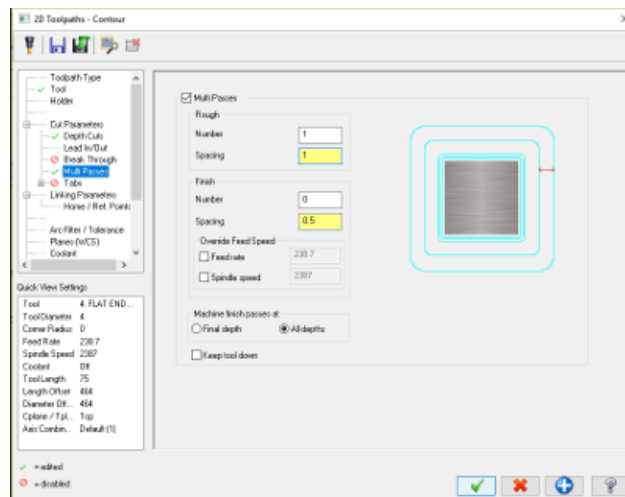
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024

16. Configurar la profundidad de corte a 1 milímetro por pasada, mediante el comando depth cut.



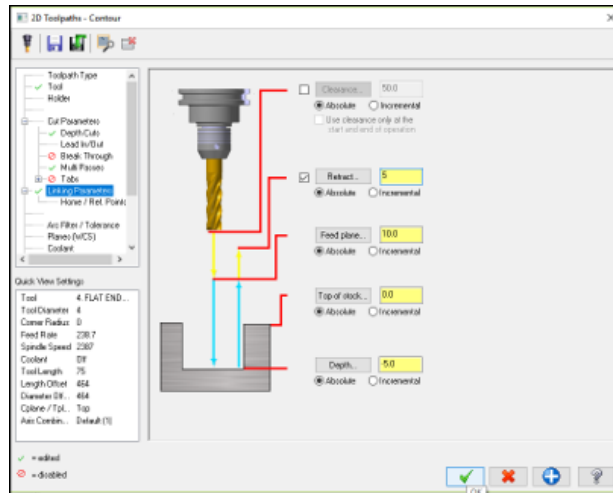
*Ilustración 32. Configuración de corte a 1 mm
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

17. Configurar el número de espacios para contorno mediante el comando Multi Passes.



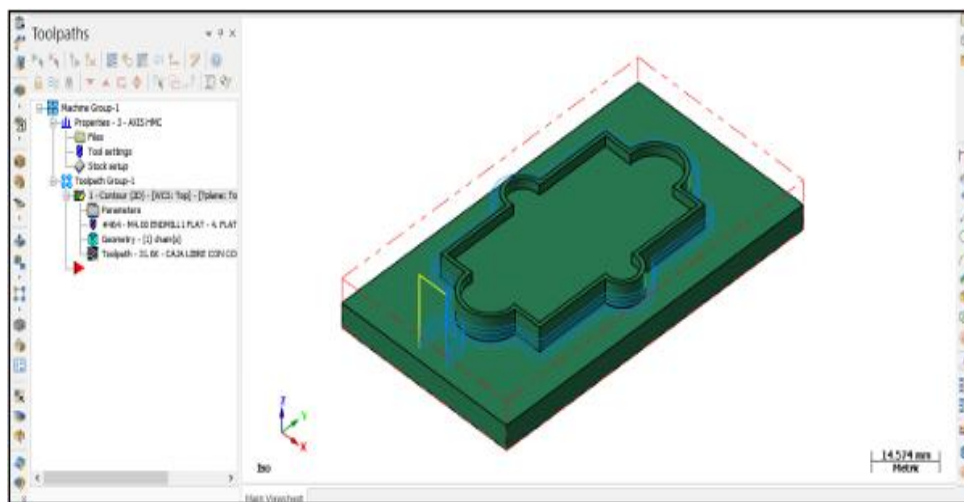
*Ilustración 33. Configuración de número de espacios.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

18. En la opción Linking Parameters, configurar los siguientes parámetros: Retorno a 2.5 mm, Superficie de pieza de trabajo a 0.0 mm, y profundidad final acorde al diseño de la pieza y aceptar.



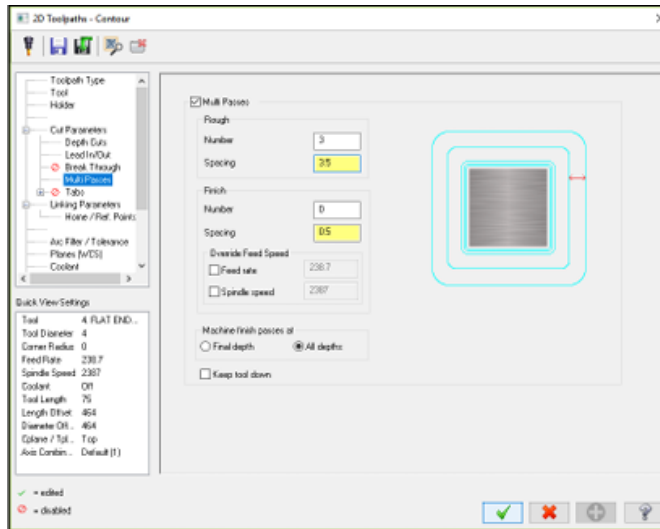
*Ilustración 34. Configuración de parámetros.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

19. El resultado que se obtendrá es el maquinado del contorno.



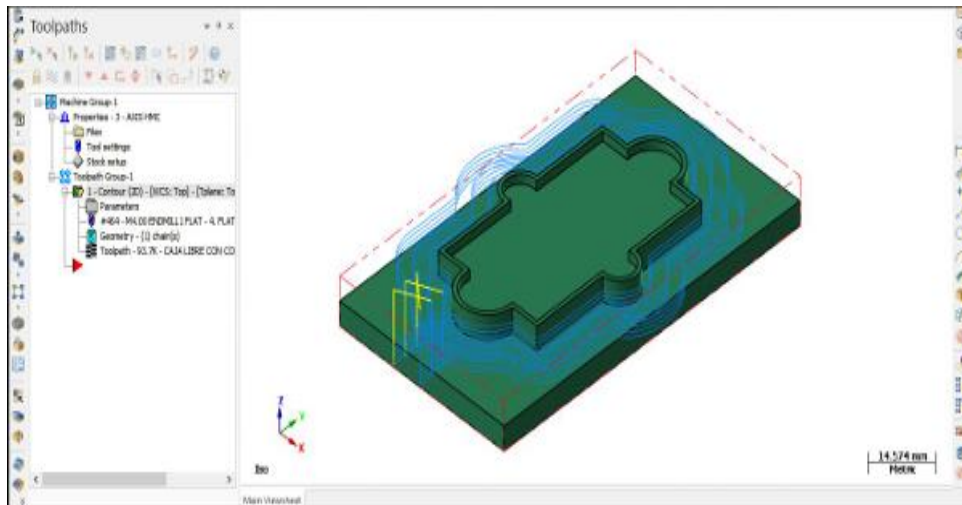
*Ilustración 35. Maquinado del contorno.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

20. Se puede configurar el número de espacios para contorno mediante el comando Multi Passes, por ejemplo 3 espacios equivalen a 3 pasadas en el contorno.



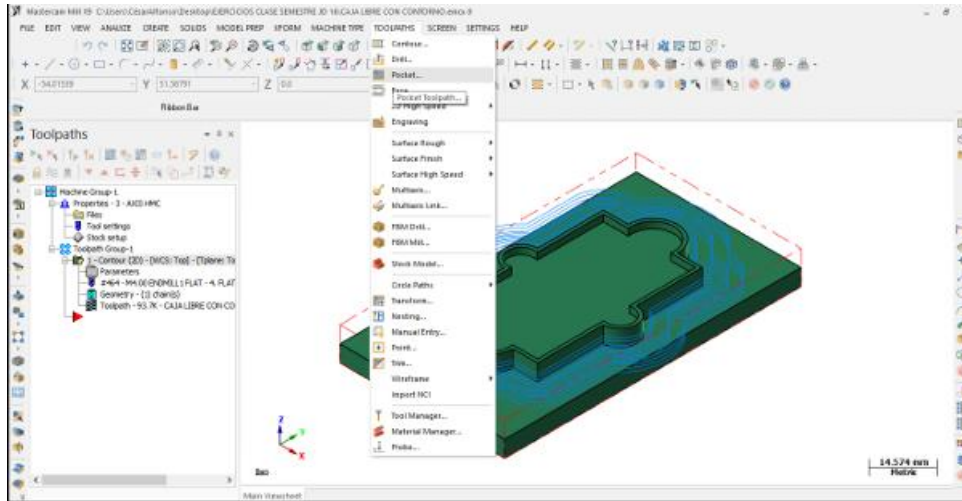
*Ilustración 36. Configuración de pasadas.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

21. El resultado es mayor cantidad de material eliminado.



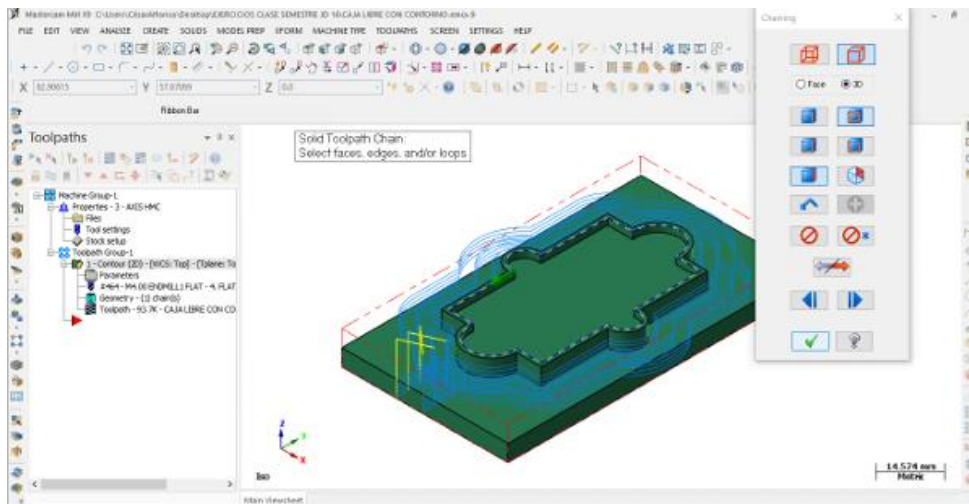
*Ilustración 37. Ejemplo de maquinado con 3 pasadas.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

22. Elegir la opción Toolpaths del menú principal, para seleccionar Pocket (caja).



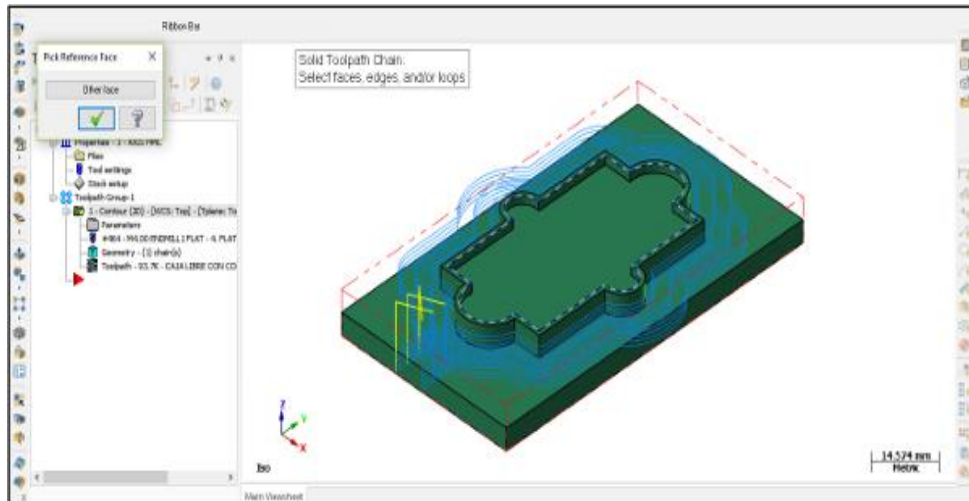
*Ilustración 38. Selección de opción "Pocket"
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

23. Al igual que para fresar contornos, se deshabilita la opción FACE.



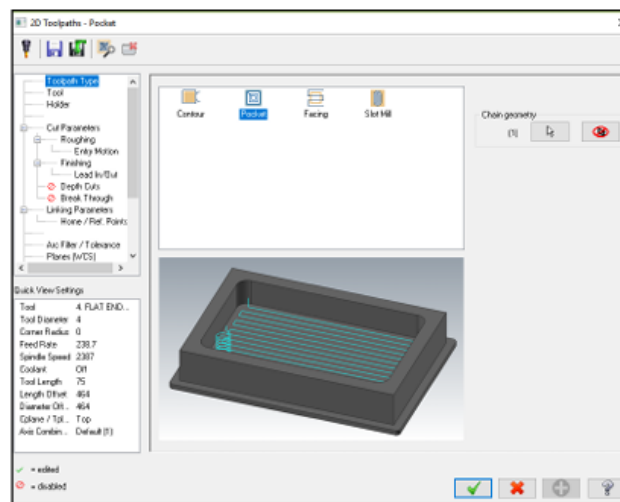
*Ilustración 39. Deshabilitar opción "FACE"
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

24. Se crea un "Loop cerrado" eligiendo las líneas del contorno donde se desea maquinar y aceptar.



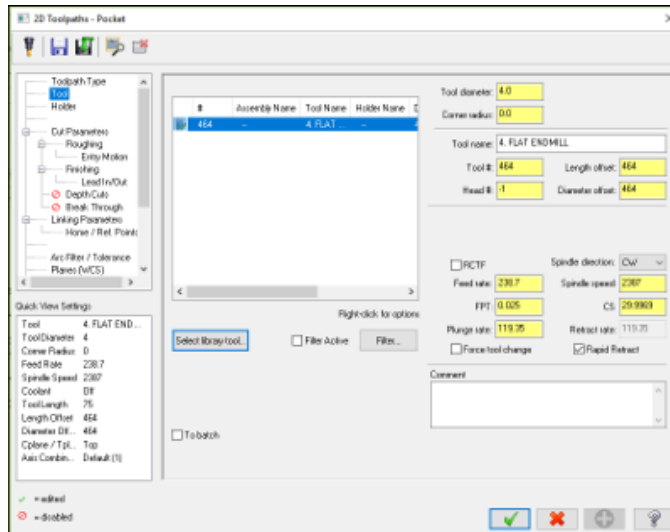
*Ilustración 40. Creación de loop cerrado.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

25. Aparecerá una ventana con el nombre de Toolpaths Pocket (caja).



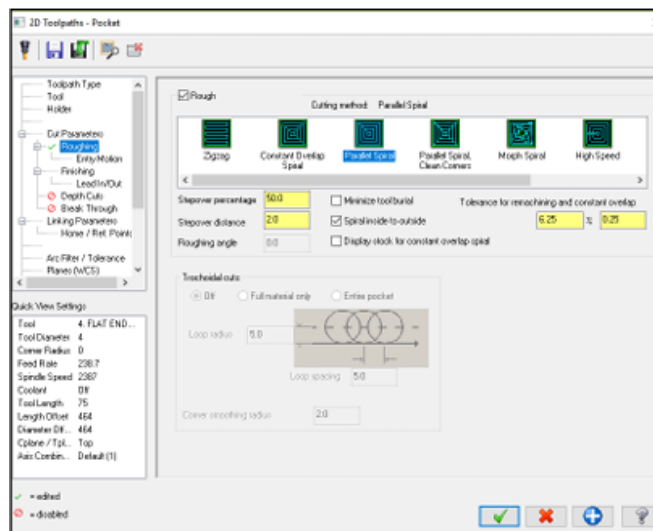
*Ilustración 41. Ventana de Toolpaths.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

26. Para esta operación, se utilizará la misma herramienta que para el fresado de contorno (cortador recto de 4mm).



*Ilustración 42. Selección de herramienta.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

27. Para la opción roughing (desbaste), puede utilizarse el modo Paralel Spiral o Zigzag.



*Ilustración 43. Selección de tipo de desbaste
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

28. Configurar la profundidad de corte mediante la opción Depth Cut a 1 milímetro por pasada.

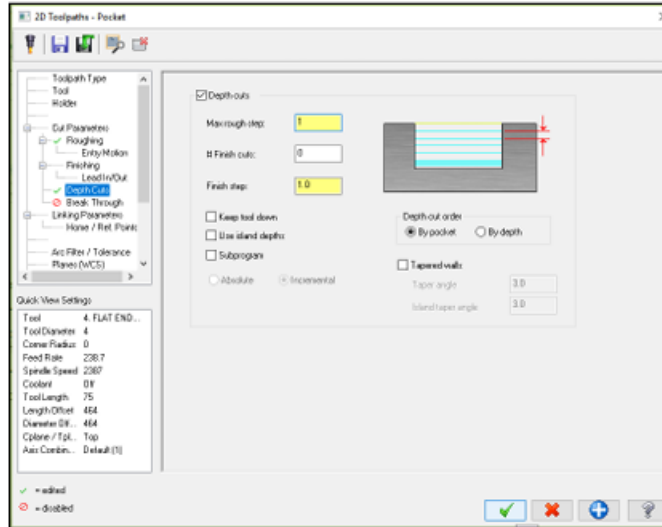


Ilustración 44. Configuración de profundidad a 1mm por pasada.
 Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024

29. Para la opción Linking Parameters, configurar los siguientes parámetros: Retorno de la herramienta a 2.5 mm, Superficie de pieza de trabajo a 0.0 mm, y profundidad final acorde a la profundidad en el diseño de la pieza, y aceptar.

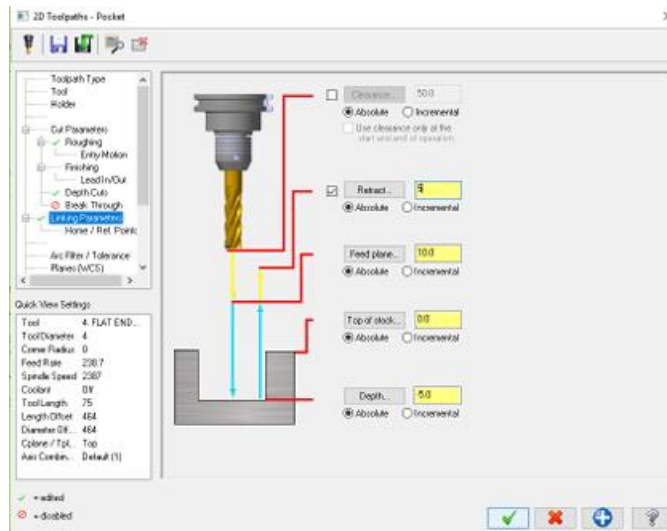
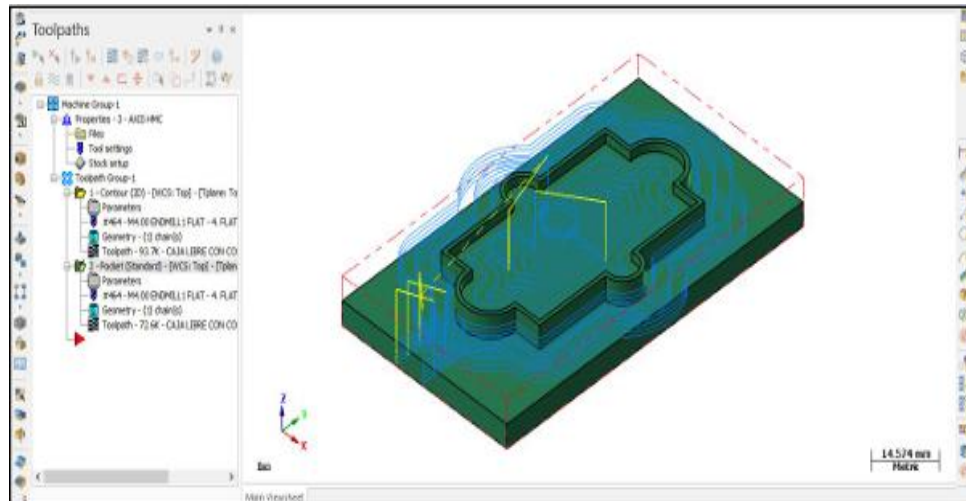


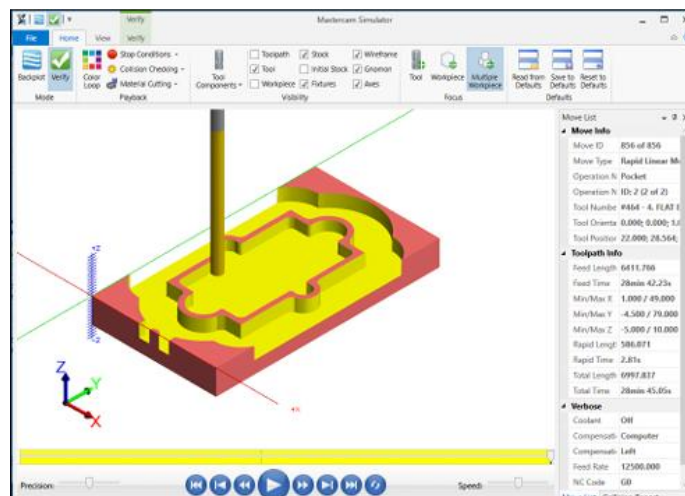
Ilustración 45. Configuración de Linking Parameters.
 Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024

30. Los resultados obtenidos serán las operaciones de fresado de contorno, y fresado de caja libre.



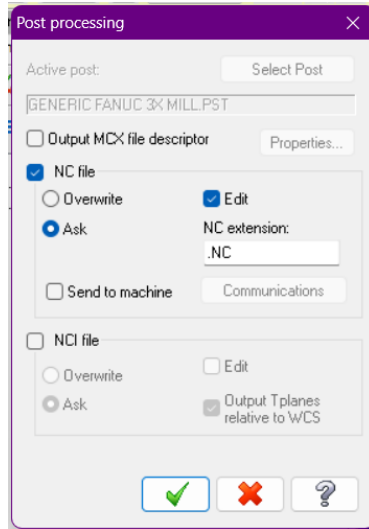
*Ilustración 46. Figura maquinada.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM*

31. Para comprobar los resultados de los procesos, se elige la opción *verify selected operations* (verificación de operaciones seleccionadas), y se corre la simulación eligiendo *play*.



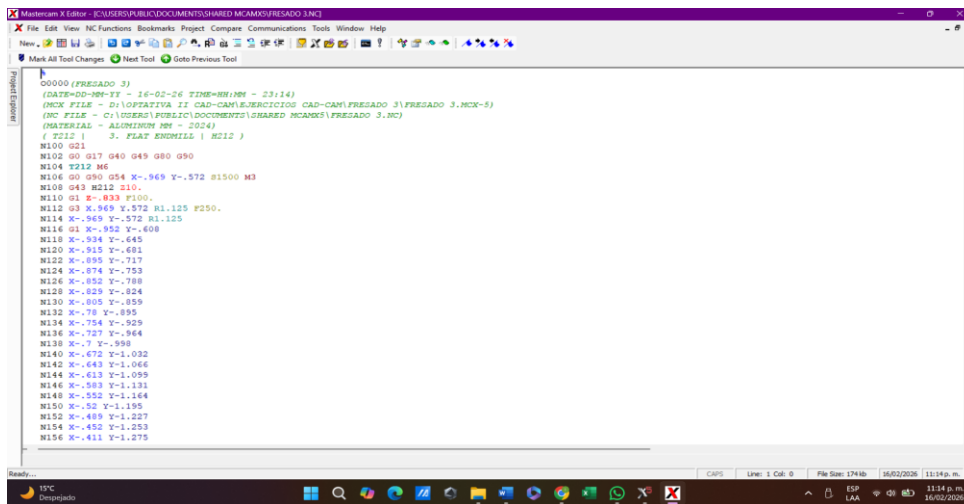
*Ilustración 47. Simulación de operaciones.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

32. Para finalizar el proceso, y obtener el programa de CNC, se elige la opción *post selected operations* (post procesador), se habilita *overwrite* y se acepta.



*Ilustración 48. Obtención de programa CNC.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

33. El resultado final es la obtención del programa de CNC, mismo que podrá ser transferido a la máquina de CNC, para la fabricación de la pieza.



*Ilustración 49. Códigos CNC.
Nota. Tomado de Manual de prácticas CAD-CAM 2024*

Para concluir con la práctica de laboratorio se propone que los alumnos respondan las siguientes preguntas con el objetivo de reafirmar los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de esta.

1. ¿Cuál es el procedimiento para importar archivos de SolidWorks a Mastercam?
2. ¿Cuál es el procedimiento para configurar la materia prima y dispositivo de sujeción para el proceso de fresado?

3. ¿Cuáles son las Toolphats o procesos utilizados en la práctica de fresado de contorno y caja libre?
4. ¿Cuál es el orden del proceso de fresado empleado en la práctica?
5. ¿Cuál es el principal aprendizaje que obtuviste en el desarrollo de la práctica

CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN

El mantenimiento de una fresadora SunMill constituye un aspecto fundamental para preservar su correcto funcionamiento, prolongar su vida útil y asegurar la precisión en los procesos de mecanizado. Estas máquinas, caracterizadas por su alto nivel tecnológico, están diseñadas para ejecutar operaciones con gran exactitud; sin embargo, requieren de un cuidado constante para aprovechar plenamente sus capacidades. En este contexto, la comprensión y aplicación de buenas prácticas de mantenimiento no solo contribuye a proteger la inversión realizada en el equipo, sino que también permite reducir costos asociados a reparaciones imprevistas y tiempos de inactividad (CNC HASS, 2024.; Haas Automation, 2023).

5.1. Beneficios del mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo desempeña un papel fundamental en la operación de las fresadoras SunMill. Este enfoque comprende la realización de inspecciones periódicas y la aplicación de rutinas sistemáticas orientadas a la prevención de fallas, lo cual se traduce en múltiples beneficios, entre los que se destacan:

- **Reducción de tiempos muertos:** Un equipo adecuadamente mantenido presenta una menor probabilidad de fallas imprevistas, lo que contribuye a disminuir las interrupciones en las actividades de mecanizado.
- **Extensión de la vida útil:** La aplicación de un mantenimiento adecuado previene el desgaste prematuro de los componentes y prolonga el tiempo de operación del equipo.
- **Mejor desempeño:** La ejecución constante de labores de mantenimiento garantiza que la fresadora opere con mayores niveles de precisión y eficiencia, favoreciendo la obtención de productos de alta calidad.
- **Seguridad:** Un equipo en condiciones óptimas reduce los riesgos de accidentes asociados a fallas mecánicas o eléctricas durante su operación (Acharya, 2023).

5.2. Aspectos clave del mantenimiento

Para garantizar el correcto funcionamiento de una fresadora SunMill, resulta necesario considerar los siguientes aspectos clave de mantenimiento:

1. Limpieza regular

Mantener la máquina limpia es esencial para evitar la acumulación de virutas, polvo y residuos que puedan obstruir sus componentes o provocar daños en los sistemas mecánicos. Esta actividad incluye la limpieza periódica de husillos, guías lineales y áreas de contacto.

2. Inspección de sistemas mecánicos

Es indispensable realizar revisiones regulares de husillos, rodamientos y guías, ya que estos elementos son críticos para el movimiento preciso y estable del equipo. Cualquier indicio de desgaste, holgura o desalineación debe corregirse de manera inmediata.

3. Lubricación adecuada

La correcta lubricación de las partes móviles previene fricciones excesivas y contribuye a un funcionamiento continuo y eficiente. Se recomienda emplear los lubricantes especificados por el fabricante y respetar los intervalos de aplicación indicados.

4. Verificación de sistemas eléctricos

Los motores, tableros y conexiones eléctricas deben inspeccionarse periódicamente para asegurar que no existan cables sueltos, cortocircuitos o fallas en los componentes electrónicos, los cuales podrían afectar la operación del equipo (Haas Automation, 2023).

5. Actualización de software

En el caso de que la fresadora cuente con un sistema de control CNC, mantener el software actualizado resulta fundamental para aprovechar mejoras funcionales, optimizar el desempeño del equipo y evitar problemas de compatibilidad.

5.3. Consecuencias de descuidar el mantenimiento

El descuido del mantenimiento puede derivar en consecuencias significativas, tanto a nivel operativo como económico, entre las que se incluyen:

- Fallas inesperadas: La falta de mantenimiento puede provocar averías que paraliquen la producción.
- Disminución de precisión: Componentes desgastados o desalineados afectan la calidad de las piezas fabricadas.
- Costos elevados: Las reparaciones de emergencia y el reemplazo de piezas dañadas suelen ser más costosos que el mantenimiento preventivo.
- Riesgos de seguridad: Las máquinas en mal estado representan peligros potenciales para los operadores.

5.4. Rutinas de mantenimiento preventivo

El cuidado integral de las fresadoras SunMill no sólo implica la aplicación de un mantenimiento preventivo riguroso, sino también el conocimiento básico de los procedimientos de reparación. Estas acciones resultan esenciales para minimizar los tiempos de inactividad ocasionados por averías y para prolongar la vida útil del equipo. En este capítulo se abordan los aspectos clave orientados a garantizar la operatividad y confiabilidad de las fresadoras SunMill en el entorno de trabajo (CNC HASS, 204.; Haas Automation, 2023).

Los procedimientos de reparación comunes son fundamentales para mantener la seguridad y el rendimiento de las fresadoras. Entre las principales acciones se incluyen:

- Ajuste de componentes desalineados para evitar defectos en la precisión del mecanizado (Acharya, 2023).
- Reemplazo de piezas desgastadas con el objetivo de prolongar la durabilidad del equipo (Harrison, 2021).
- Monitoreo constante del estado del equipo para prevenir daños mayores (Haas Automation, 2023).

Estas prácticas no solo garantizan la seguridad de los operadores, sino también la calidad de las piezas fabricadas.

CAPÍTULO 6 SEGURIDAD Y PRECAUCIONES

La seguridad en la operación de fresadoras de control numérico computarizado (CNC) constituye un elemento fundamental en el diseño y elaboración de manuales técnicos, debido a los riesgos inherentes a los procesos de mecanizado. En el caso de la fresadora SunMill, el cumplimiento de las normas de seguridad industrial y de las buenas prácticas de operación es indispensable para prevenir accidentes laborales, proteger la integridad del equipo y asegurar la eficiencia productiva del entorno de trabajo (ISO, 2010).

Este capítulo establece las precauciones generales y específicas que deberán observar los operadores durante las etapas de instalación, puesta en marcha, operación, mantenimiento y paro del equipo. Las directrices se formulan en concordancia con los estándares internacionales de seguridad en maquinaria, como la norma ISO 12100:2010 y la ISO 16090-1:2022, así como con las regulaciones de protección del personal emitidas por la Occupational Safety and Health Administration (OSHA), el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST, 2021) y las Normas Oficiales Mexicanas aplicables en materia de seguridad en maquinaria y equipo (NOM-004-STPS-1999; NOM-017-STPS-2008).

6.1. Normas de seguridad

Las normas de seguridad constituyen un elemento esencial durante la operación de máquinas de control numérico computarizado (CNC), debido a los riesgos inherentes a los procesos de mecanizado. Su finalidad es proteger la integridad física de los operadores, preservar la integridad del equipo y garantizar un entorno de trabajo controlado y seguro.

En el caso de la fresadora SunMill JHV-550, al tratarse de una máquina herramienta de alta precisión, el cumplimiento estricto de dichas normas contribuye a la prevención de incidentes graves, incluyendo accidentes con consecuencias fatales. Asimismo, permite evitar daños materiales en la maquinaria y retrasos en las actividades del laboratorio, favoreciendo una operación continua, segura y eficiente del sistema productivo.

6.2. Tipos de normas de seguridad

El cumplimiento de las normas de seguridad constituye un elemento esencial para la operación segura y eficiente de la fresadora SunMill. Estas normas garantizan la integridad física del operador, contribuyen a la protección del equipo y previenen accidentes durante los procesos de mecanizado. Su aplicación debe alinearse con los estándares internacionales de seguridad en maquinaria, así como con las políticas internas de seguridad industrial del taller o de la institución correspondiente (ISO, 2010; OSHA, 2024; ANSI, 2020).

6.3. Normas de seguridad eléctrica.

Las normas de seguridad eléctrica tienen como objetivo proteger al operador, al equipo y a las instalaciones frente a los riesgos derivados del uso de la energía eléctrica. En el caso de las máquinas CNC, estas normas son fundamentales debido a la precisión y complejidad de sus sistemas electrónicos y de control.

Entre las principales normas y prácticas se incluyen:

- **Instalación eléctrica adecuada:**

La máquina debe conectarse a un sistema de alimentación eléctrica diseñado conforme a las normas técnicas vigentes, tales como las establecidas por la IEC, la NOM o la NFPA. Para ello, es indispensable emplear conductores, dispositivos de protección y sistemas de puesta a tierra adecuados a la potencia y a las características eléctricas de la máquina.

- **Puesta a tierra (tierra física):**

Todas las partes metálicas no energizadas de la máquina deben estar correctamente conectadas a tierra para evitar descargas eléctricas por fallas de aislamiento.

- **Dispositivos de desconexión y emergencia:**

Las máquinas CNC deben contar con interruptores de paro de emergencia accesibles, que permitan cortar inmediatamente la alimentación eléctrica en caso de riesgo o falla.

- **Protección contra sobrecargas y cortocircuitos:**

Se deben instalar fusibles, disyuntores y relés térmicos que limiten la corriente eléctrica en caso de sobrecarga o cortocircuito, evitando daños al equipo o incendios.

- **Mantenimiento y revisión periódica:**

Es necesario realizar inspecciones regulares a los sistemas eléctricos para verificar el estado de los cables, conexiones, y componentes de control.

- **Uso de equipo de protección personal (EPP):**

El personal técnico debe emplear guantes dieléctricos, calzado aislante y herramientas certificadas al realizar labores de mantenimiento eléctrico.

- **Capacitación del personal:**

La operación y el mantenimiento adecuados de las máquinas de control numérico computarizado (CNC) dependen directamente del nivel de formación y competencia del personal involucrado. Únicamente el personal debidamente calificado deberá realizar actividades de conexión, reparación o modificación de los sistemas eléctricos del CNC, debido a los riesgos asociados de accidentes, daños a la maquinaria y fallos en los procesos productivos (Silla, 2018; Kalpakjian & Schmid, 2020).

La capacitación del personal debe comprender conocimientos teóricos y prácticos sobre el funcionamiento del equipo, los procedimientos de seguridad, la interpretación de manuales técnicos y los protocolos de emergencia. Asimismo, los operadores deberán estar familiarizados con las normas de seguridad eléctrica, el uso del equipo de protección personal (EPP) y las técnicas de diagnóstico y corrección de fallas, conforme a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, relativa a la selección, uso y manejo del equipo de protección personal, y la NOM-004-STPS-1999, referente a los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en maquinaria y equipo (STPS, 1999, 2008; Villamizar & Torres, 2021).

La actualización periódica del personal mediante programas de formación continua permite que los trabajadores mantengan competencias acordes con las nuevas tecnologías y con las modificaciones en los procedimientos operativos, contribuyendo a la reducción de riesgos laborales y al desempeño óptimo de los procesos de mecanizado (UNE, 2019).

En consecuencia, la capacitación constante y especializada del personal constituye un factor crítico para garantizar la seguridad, eficiencia y continuidad operativa de los sistemas CNC, en concordancia con la normativa nacional e internacional vigente (STPS, 1999, 2008).

- **Normas de seguridad de herramientas.**

Las herramientas de corte empleadas en máquinas de control numérico computarizado (CNC) requieren un manejo cuidadoso y el cumplimiento estricto de normas de seguridad que garanticen la integridad del operador, la precisión del proceso y la durabilidad de los equipos. El uso inadecuado de estas herramientas puede provocar accidentes, fallas mecánicas y pérdidas económicas derivadas de daños en las piezas o en la maquinaria (Villamizar & Torres, 2021).

La selección adecuada de la herramienta constituye el primer paso para una operación segura. Esta debe realizarse considerando el tipo de material a mecanizar, la velocidad de corte, la profundidad de pasada y las condiciones generales de trabajo (Kalpakjian & Schmid, 2020). El empleo de herramientas incorrectas o en mal estado puede generar vibraciones, sobrecalentamiento o roturas inesperadas, lo que incrementa los riesgos durante el mecanizado (DeGarmo et al., 2019).

En cuanto a la instalación y ajuste de las herramientas, es indispensable que el operador verifique la correcta fijación de fresas, brocas o insertos en el portaherramientas. Toda conexión debe realizarse siguiendo las especificaciones del fabricante, evitando holguras o montajes defectuosos que puedan comprometer la estabilidad durante la operación (ANSI, 2020). Asimismo, se deberán implementar dispositivos de protección y sistemas de resguardo

conforme a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999, relativa a la seguridad en maquinaria y equipo (STPS, 1999).

La verificación del estado e integridad de las herramientas debe realizarse antes de cada turno de trabajo, revisando posibles fisuras, desgaste excesivo, desbalanceo o deformaciones que afecten la precisión del mecanizado. En caso de detectar anomalías, la herramienta deberá ser reemplazada de inmediato (ISO, 2017). Además, los operadores deberán utilizar equipo de protección personal adecuado, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, para reducir el riesgo de lesiones durante la manipulación de herramientas de corte (STPS, 2008).

Finalmente, el mantenimiento preventivo constituye un factor clave para garantizar la seguridad y eficiencia del proceso. Este incluye la limpieza regular de las herramientas, su correcta lubricación y el almacenamiento en condiciones adecuadas que eviten la corrosión o daños en los filos de corte (Silla, 2018). Un programa de mantenimiento bien estructurado prolonga la vida útil de las herramientas y reduce significativamente los riesgos laborales.

- **Normas de seguridad de protección personal.**

Dentro de las normas de seguridad de protección personal, se establece un enfoque riguroso sobre las prácticas y medidas preventivas. Al respecto, la Asociación Española de Normalización (2019) especifica que es imperativo el uso adecuado del equipo de protección personal (EPP) para mitigar riesgos intrínsecos al taller. En este sentido, se estipula que el operador debe poseer la capacitación técnica necesaria para ejecutar los procedimientos de seguridad diseñados para la fresadora SunMill JHV 550, incluyendo el dominio de los paros de emergencia del equipo (SunMill, 2025).

En el ámbito normativo mexicano, la Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008 establece los lineamientos para la selección, uso y manejo del equipo de protección personal en los centros de trabajo, obligando a los empleadores a proporcionar el EPP adecuado conforme a los riesgos identificados, así como a

capacitar a los trabajadores en su uso y mantenimiento (STPS, 2008). De manera complementaria, la NOM-004-STPS-1999 regula los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en maquinaria y equipo, incluyendo resguardos físicos, dispositivos de paro de emergencia y sistemas de control que deben ser conocidos y utilizados por los operadores durante la operación normal y las tareas de mantenimiento (STPS, 1999).

En el caso específico de la fresadora CNC SunMill JHV-550, es indispensable que el operador cuente con la capacitación técnica necesaria para ejecutar los procedimientos de seguridad establecidos por el fabricante, incluyendo el conocimiento y uso de los sistemas de paro de emergencia, los procedimientos de bloqueo y etiquetado, y las medidas de prevención durante la manipulación de herramientas y piezas de trabajo (SunMill, 2025). Asimismo, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo señala que la formación del personal debe permitir al operario realizar tareas básicas de mantenimiento preventivo y detectar oportunamente fallas que puedan derivar en situaciones de riesgo (INSST, 2021).

Adicionalmente, Groover (2010) enfatiza que el conocimiento de las capacidades mecánicas y operativas de la máquina es un factor crítico para prevenir sobrecargas, fallas estructurales y rupturas del material, las cuales representan riesgos potenciales tanto para el equipo como para el personal. Por lo tanto, la aplicación sistemática de las normas de protección personal, en conjunto con la capacitación continua del personal, contribuye a la reducción de accidentes laborales y al aseguramiento de condiciones seguras de operación en sistemas CNC.

- **Normas de seguridad para el mantenimiento de la fresadora CNC.**

El mantenimiento de las fresadoras de Control Numérico Computarizado (CNC) es un proceso crítico para garantizar la seguridad del operario, la durabilidad del equipo y la precisión del mecanizado. Para realizar estas tareas de manera segura, es imprescindible seguir normas y protocolos estrictos que minimicen riesgos eléctricos, mecánicos y térmicos (Kalpakjian & Schmid, 2020; Silla, 2018).

Preparación y planificación del mantenimiento

Antes de iniciar cualquier procedimiento de mantenimiento, el equipo debe ser desconectado de la fuente de energía y se deben señalar las áreas de trabajo para alertar al personal sobre la intervención. Solo personal capacitado y autorizado debe ejecutar estas tareas, asegurando el cumplimiento de los procedimientos de seguridad eléctrica y mecánica (Villamizar & Torres, 2021).

Limpieza y revisión de componentes

El mantenimiento preventivo incluye la limpieza regular de las guías, husillos, mesas y portaherramientas, así como la inspección de correas, engranajes y sistemas de lubricación. Se debe evitar el uso de productos abrasivos o corrosivos que puedan dañar los componentes. Además, se recomienda revisar el desgaste de las herramientas de corte y reemplazarlas cuando sea necesario, garantizando un mecanizado seguro y eficiente (DeGarmo, Black, & Kohser, 2019).

Lubricación y ajuste de sistemas

La lubricación de los elementos móviles es esencial para reducir la fricción y prevenir fallas mecánicas. Los ajustes de tuercas, tornillos y portaherramientas deben realizarse siguiendo estrictamente las especificaciones del fabricante. Cualquier desviación puede generar vibraciones, desalineaciones o accidentes durante la operación de la fresadora (ANSI, 2020; ISO, 2017).

Registro y control de mantenimiento

Es recomendable llevar un registro detallado de todas las intervenciones de mantenimiento, incluyendo la fecha, el tipo de tarea realizada, los componentes revisados y los responsables de la actividad. Esto permite monitorear el estado de la fresadora, planificar mantenimientos futuros y garantizar la trazabilidad de las acciones preventivas (UNE, 2019).

La aplicación rigurosa de normas de seguridad durante el mantenimiento de la fresadora CNC protege al operario, preserva la integridad de la máquina y asegura la continuidad y calidad de los procesos de mecanizado.

Normas de seguridad para el entorno de trabajo.

El empleo de fresadoras de control numérico computarizado (CNC) en entornos industriales exige la implementación de normas de seguridad exhaustivas, con la finalidad de proteger la integridad física del operario y la funcionalidad del equipo. La gestión de riesgos debe alinearse con los principios establecidos en la norma internacional ISO 12100:2010, que define la evaluación de peligros y la reducción de riesgos en el diseño de maquinaria (International Organization for Standardization [ISO], 2010). Esta norma provee un marco conceptual para identificar peligros, estimar y evaluar riesgos, y adoptar medidas de eliminación o mitigación adecuadas durante todo el ciclo de vida de la máquina (ISO, 2010).

En México, la seguridad en la operación de maquinaria CNC dentro de entornos industriales y académicos está regulada por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) emitidas por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), las cuales establecen las condiciones mínimas de seguridad e higiene en los centros de trabajo. Estas normas complementan los estándares internacionales, proporcionando un marco normativo obligatorio para la prevención de riesgos laborales.

La NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo, establece los requisitos para la instalación de resguardos físicos, dispositivos de paro de emergencia y sistemas de control que impidan el acceso a zonas peligrosas durante la operación de la maquinaria. Esta norma es especialmente relevante para fresadoras CNC, ya que regula la protección contra partes móviles, proyección de partículas y atrapamientos mecánicos (STPS, 1999).

Asimismo, la NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo, establece los requisitos mínimos de seguridad estructural, ventilación, iluminación y orden en las áreas de trabajo, garantizando condiciones adecuadas para la operación segura de maquinaria CNC (STPS, 2008).

En conjunto, el cumplimiento de estas Normas Oficiales Mexicanas permite establecer un entorno de trabajo seguro, minimizar los riesgos laborales y asegurar la operación confiable de la fresadora SunMill JHV-550 dentro del laboratorio o taller de manufactura.

Protección personal

La NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal–Selección, uso y manejo en los centros de trabajo, define los criterios para identificar riesgos y seleccionar el equipo de protección personal adecuado, como gafas de seguridad, guantes, protección auditiva y calzado de seguridad. Asimismo, establece la obligación del empleador de capacitar al personal en el uso y mantenimiento del EPP (STPS, 2008).

Preparación del área de trabajo

La NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, especifica los colores y señales que deben utilizarse para identificar riesgos, rutas de evacuación, equipos contra incendios y dispositivos de seguridad, lo cual resulta fundamental para la señalización del área donde se ubica la fresadora CNC (STPS, 2008).

En relación con las condiciones ambientales del entorno de trabajo, la NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido, establece los límites máximos permisibles de exposición al ruido, aspecto relevante en talleres de mecanizado donde las operaciones de corte generan niveles elevados de presión sonora (STPS, 2001).

Operación de la fresadora CNC

Antes de iniciar la operación, se debe verificar que la máquina esté calibrada, que las herramientas estén en buen estado y que las piezas estén sujetas correctamente (ISO, 2022). Los programas CNC deben probarse mediante ciclos de ensayo sin material (dry run) para evitar colisiones. Durante la operación, el operario debe mantener sus extremidades alejadas de las partes móviles y

respetar los dispositivos de resguardo (OSHA, 2024; ISO, 2022). Nunca se debe dejar la máquina en funcionamiento sin supervisión activa.

Durante la operación, el operador debe mantener sus extremidades y cualquier parte del cuerpo alejadas de las partes móviles del equipo, respetando los resguardos físicos y dispositivos de seguridad instalados en la máquina, conforme a las regulaciones internacionales y nacionales de seguridad industrial (OSHA, 2024; STPS, 1999). Asimismo, está prohibido dejar la máquina en funcionamiento sin supervisión activa, ya que esta práctica incrementa significativamente el riesgo de accidentes y daños al equipo.

Manejo de herramientas y materiales

Las herramientas de corte deben manipularse con precaución, evitando golpes, caídas o impactos que puedan comprometer su integridad estructural y su desempeño durante el mecanizado. El manejo inadecuado de las herramientas puede provocar fracturas, desgaste prematuro y fallas durante la operación, lo que incrementa el riesgo de accidentes laborales (INSST, 2021).

Los cambios de herramientas deberán realizarse con la máquina detenida, desenergizada y asegurada mediante procedimientos de bloqueo y etiquetado (lockout/tagout), con el propósito de prevenir arranques inesperados y movimientos involuntarios del husillo. Asimismo, los insertos, fresas y brocas deben almacenarse en contenedores adecuados, protegidos contra humedad, contaminación y daños mecánicos, conforme a las recomendaciones del fabricante y a las normas de seguridad industrial vigentes (ISO, 2010; STPS, 1999).

Mantenimiento y procedimientos de emergencia

El área de trabajo deberá contar con equipos de respuesta ante emergencias, tales como extintores de incendios y botiquines de primeros auxilios, ubicados en sitios visibles y de fácil acceso. Asimismo, el personal operativo deberá recibir capacitación en procedimientos de emergencia, incluyendo el uso del sistema de paro de emergencia de la máquina, la atención inicial de incidentes y los

protocolos de evacuación del taller, conforme a las normas de seguridad industrial vigentes (ANSI, 2020; STPS, 2008).

Cualquier anomalía detectada durante la operación, como vibraciones excesivas, ruidos anormales, fallas del sistema de control o comportamiento irregular del husillo, deberá ser reportada de inmediato al responsable técnico o al personal de mantenimiento, a fin de prevenir daños en el equipo y riesgos para los operadores.

Buenas prácticas generales

Se recomienda prohibir la ingesta de alimentos y bebidas en las inmediaciones de la máquina CNC, así como minimizar cualquier tipo de distracción durante la operación, debido a que estas prácticas pueden generar errores humanos y aumentar el riesgo de accidentes laborales (INSST, 2021).

La capacitación continua del personal constituye un elemento fundamental, especialmente ante la incorporación de nuevas tecnologías CNC o actualizaciones de software de control. La formación periódica permite a los operadores mantener competencias técnicas actualizadas y aplicar correctamente los procedimientos de seguridad. En consecuencia, la adopción rigurosa de estas normas contribuye a la prevención de accidentes, al incremento de la eficiencia operativa y a la mejora de la productividad del taller o laboratorio de manufactura (ISO, 2022).

La implementación sistemática de estas prácticas permite consolidar una cultura de seguridad industrial en el entorno académico e industrial, reduciendo la incidencia de errores humanos y fallas operativas.

7. Propuesta de ejercicios

El presente capítulo reúne una serie de prácticas diseñadas para que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial adquieran una comprensión integral, progresiva y aplicada del funcionamiento de la fresadora CNC SunMill JHV-550, instalada en el laboratorio de manufactura del Área Académica de Ingenierías y Arquitectura. Estas actividades constituyen un puente entre los conceptos teóricos revisados en clase y la experiencia directa con los procesos de maquinado asistidos por computadora, permitiendo al estudiante interactuar de forma segura, sistemática y guiada con la máquina y el software comúnmente utilizado en la industria manufacturera (Kalpakjian & Schmid, 2014).

El objetivo central de estas prácticas es desarrollar en el alumno las competencias necesarias para interpretar planos, preparar piezas, generar trayectorias de herramienta y analizar el comportamiento de la máquina antes de ejecutar un proceso real de mecanizado. De esta manera, se fortalece la capacidad de relacionar el diseño CAD realizado en SolidWorks con su programación y simulación CAM en Mastercam X5, herramientas reconocidas por su eficiencia en entornos profesionales (Dassault Systèmes, 2010; CNC Software Inc., 2010).

La estructura de las prácticas se organiza de manera incremental, comenzando con el reconocimiento físico de la fresadora, sus componentes principales, sus ejes de desplazamiento y las normas de seguridad establecidas para su operación. Dichos lineamientos son fundamentales para garantizar un entorno de trabajo seguro y minimizar riesgos en el laboratorio, en concordancia con las recomendaciones de seguridad para máquinas-herramienta CNC (ISO, 2010).

Posteriormente, el alumno avanza hacia actividades que involucran la creación de modelos geométricos simples, la generación de trayectorias de fresado en 2D y, finalmente, el mecanizado real de piezas. Cada práctica ha sido diseñada bajo un enfoque orientado a la precisión, la adecuada selección de parámetros de corte y la correcta interpretación de la información técnica, aspectos esenciales en la formación de un ingeniero industrial competente (Menéndez, 2015).

7.1. Práctica 1: Familiarización con la Fresadora SunMill JHV-550.

7.1.1. Objetivo general

Introducir al estudiante en el entorno de trabajo del laboratorio de manufactura mediante la identificación de las partes principales de la fresadora CNC SunMill JHV-550, la revisión de normas de seguridad aplicadas al equipo y la realización de una primera simulación de mecanizado utilizando SolidWorks y Mastercam X5, sin ejecutar todavía operaciones reales en la máquina.

7.1.2. Materiales y recursos

Computadora con:

- SolidWorks (versión instalada en el laboratorio).
- Mastercam X5.

Equipo de protección personal (EPP):

- Lentes de seguridad.
- Calzado de casquillo.
- Bata o ropa de trabajo.

7.1.3. Desarrollo de la práctica

7.1.3.1. Reconocimiento físico de la fresadora SunMill JHV-550

7.1.3.1.1. Propósito

Proporcionar al estudiante un entendimiento básico de la estructura, componentes y funcionamiento general de la fresadora CNC antes de realizar cualquier operación de mecanizado.

7.1.3.1.2. Actividad

El instructor guiará a los estudiantes para identificar los siguientes elementos:

Componentes principales de la máquina

- Columna: Estructura vertical que soporta el cabezal del spindle y los ejes.

- Spindle (Husillo): Elemento rotativo donde se monta la herramienta mediante portaherramientas ISO/BT.
- Mesa de trabajo: Superficie móvil en los ejes X y Y donde se coloca la pieza o dispositivos de sujeción.
- Eje Z: Movimiento vertical del spindle.
- Panel de control CNC: Pantalla, botones de operación, controles manuales (jog), selector de modos y ajustes.
- Sistema de lubricación: Bomba automática o manual para lubricación de guías y husillos.
- Sistema de refrigeración (coolant): Aspersores y depósito de líquido refrigerante.
- Carcasa y puertas de protección: Evitan salpicaduras y permiten observar el mecanizado sin riesgo.
- Botón de paro de emergencia (E-Stop): Detiene inmediatamente la máquina en caso de riesgo.

7.1.3.1.3. Actividad complementaria

Los estudiantes deben realizar un croquis rápido (a mano o digital) identificando las partes principales que observaron.

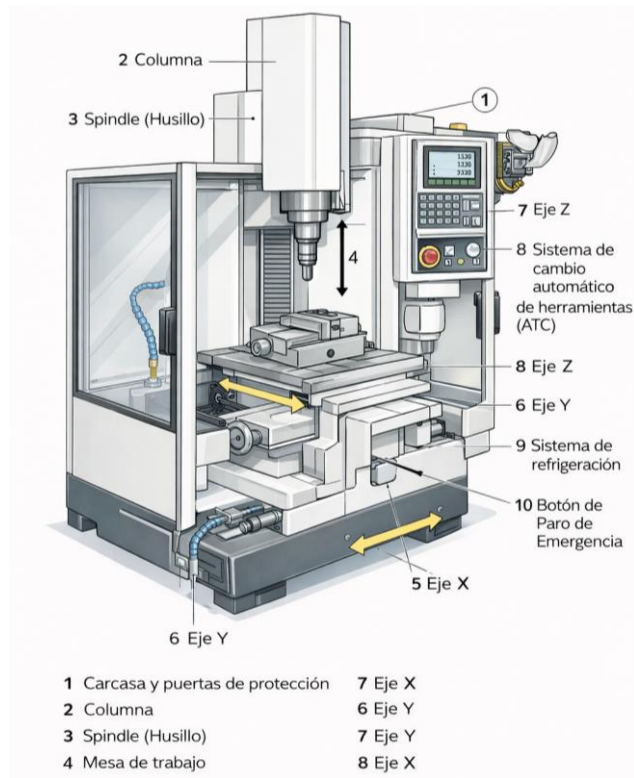


Ilustración 50. Descripción de componentes de la fresadora
 Nota. Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de diseño asistido.

7.1.4. Normas básicas de seguridad

Antes de cualquier operación, los estudiantes deben cumplir con las siguientes reglas:

- Usar siempre EPP: lentes y calzado de seguridad.
- No operar la fresadora sin instructor presente.
- Nunca introducir las manos en la zona de trabajo mientras la máquina esté energizada.
- Mantener la mesa sin objetos sueltos: llaves, tornillos, calibradores.
- Revisar que la herramienta esté correctamente fijada al spindle.
- No usar ropa suelta, accesorios colgantes o cabello largo sin sujetar.
- Activar el botón de paro de emergencia ante cualquier sonido o vibración anormal.
- Revisar el estado del refrigerante y lubricación antes de trabajar.

7.1.4.1 Resultados esperados

Al finalizar la práctica, el estudiante será capaz de:

- Identificar correctamente los componentes principales de la SunMill JHV-550.
- Explicar las reglas de seguridad esenciales para el trabajo en fresadoras CNC.

7.2. Práctica 2. Calibración de herramienta

7.2.1. Objetivo

Establecer correctamente la longitud de la herramienta en el eje Z mediante el ajuste del Tool Length Offset, garantizando la correspondencia entre el modelo virtual desarrollado en Mastercam X5 y la ejecución física del mecanizado en la fresadora SunMill JHV-550.

7.2.2. Materiales y equipo

- Fresadora CNC SunMill JHV-550
- Herramienta de corte (fresa)
- Portaherramientas compatible
- Llave de sujeción
- Superficie de referencia (mesa o pieza patrón)
- Hoja de papel o galga
- Panel de control de la máquina

7.2.3. Procedimiento de calibración

7.2.3.1 Referencia de la máquina

1. Encender la fresadora SunMill JHV-550.
2. Ejecutar el proceso de referenciación (homing) de los ejes X, Y y Z.
3. Verificar que la máquina reconozca correctamente su posición inicial.

7.2.3. Montaje de la herramienta

1. Insertar la herramienta en el portaherramientas.

2. Ajustar firmemente utilizando la llave correspondiente.
3. Colocar el portaherramientas en el spindle asegurando su correcta fijación.

7.2.4. Selección de herramienta

1. Seleccionar en el panel de control el número de herramienta correspondiente (T01, T02, etc.).
2. Verificar que coincida con la herramienta definida en el programa CAM.



Ilustración 51. Selección de herramienta.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

7.2.5. Posicionamiento sobre la superficie de referencia

1. Desplazar la herramienta en X y Y hasta una zona libre de la mesa.
2. Bajar lentamente el eje Z en modo manual.

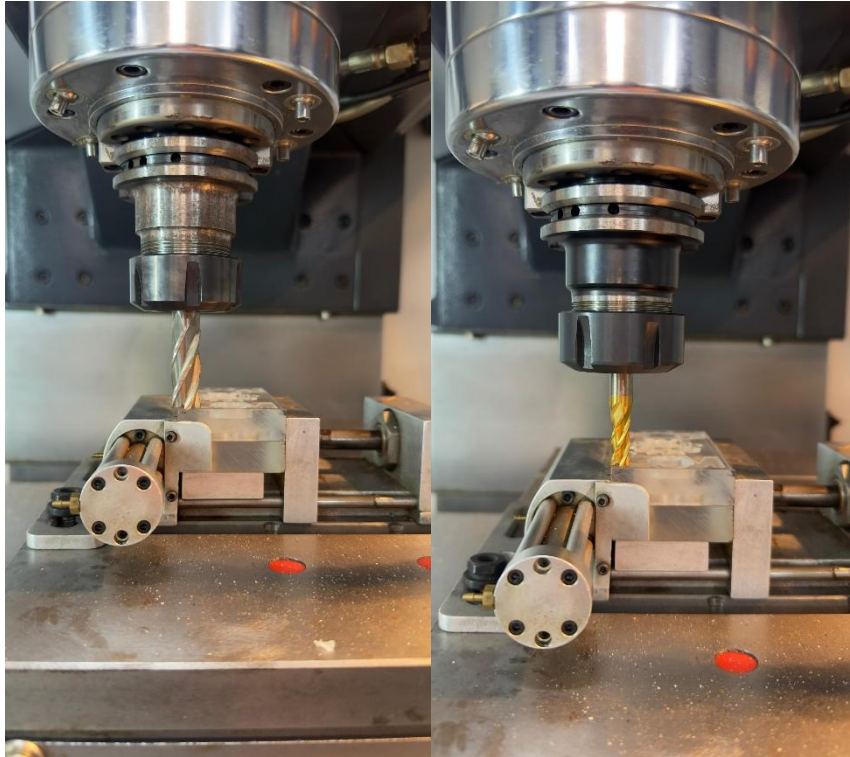


Ilustración 52. Ejemplo de diferentes herramientas.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

7.2.6. Calibración manual (método del papel)

1. Colocar una hoja de papel entre la herramienta y la superficie de referencia.
2. Descender lentamente el eje Z hasta que el papel quede ligeramente atrapado.
3. Registrar la posición del eje Z.
4. Guardar el valor en la tabla de Tool Length Offset correspondiente.



Ilustración 53. Registro de Tool Length Offset.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

7.2.6. Verificación

1. Elevar la herramienta.
2. Repetir el acercamiento para confirmar la consistencia.
3. Validar el valor almacenado antes del mecanizado.

7.3. Práctica 3. Generación de cero pieza

7.3.1. Objetivo

Definir con precisión el origen del sistema de coordenadas de trabajo (X, Y y Z) en la fresadora SunMill JHV-550, de acuerdo con el modelo diseñado en SolidWorks y programado en Mastercam X5, asegurando la correcta ubicación del mecanizado sobre la pieza de trabajo.

7.3.2. Materiales y equipo

- Fresadora CNC SunMill JHV-550
- Pieza de trabajo

- Herramienta previamente calibrada
- Portaherramientas
- Llave de sujeción
- Hoja de papel
- Panel de control de la máquina

7.3.3. Procedimiento

7.3.3.1. Referencia de la máquina

1. Encender la fresadora SunMill JHV-550.
2. Ejecutar el proceso de homing de los ejes X, Y y Z.
3. Verificar que la máquina se encuentre en su posición de referencia.



Ilustración 54. Posición de referencia.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

7.3.4. Montaje y fijación de la pieza

1. Colocar la pieza de trabajo sobre la mesa de la fresadora.
2. Alinear la pieza según el plano de referencia definido en el diseño CAD.
3. Sujetar firmemente utilizando mordazas o dispositivos de fijación.

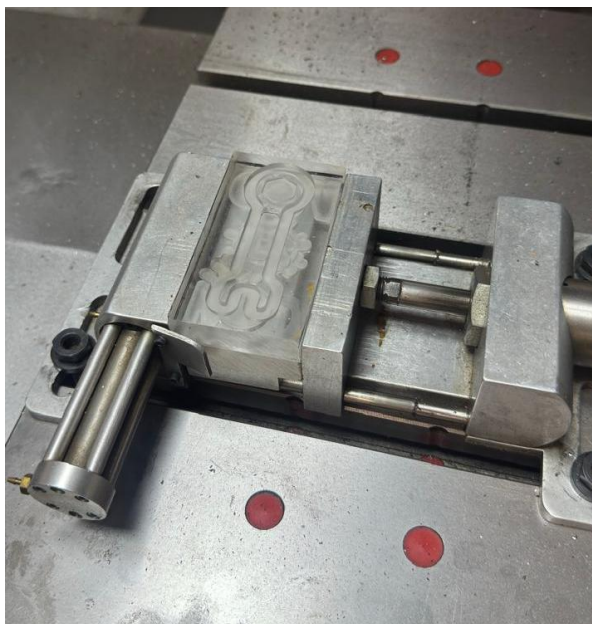


Ilustración 55. Colocación de pieza de trabajo.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

7.3.5. Selección del sistema de coordenadas de trabajo

1. En el panel de control, seleccionar el sistema de coordenadas de trabajo correspondiente.
2. Verificar que dicho sistema coincida con el configurado en Mastercam X5.

7.3.6. Definición del cero en X y Y

1. Desplazar la herramienta en modo manual hasta el borde de referencia de la pieza en el eje X.
2. Ajustar la posición hasta coincidir con el punto de origen definido en el modelo CAD.
3. Registrar el valor actual y asignarlo como cero en el eje X dentro del sistema G54.
4. Repetir el procedimiento para el eje Y.

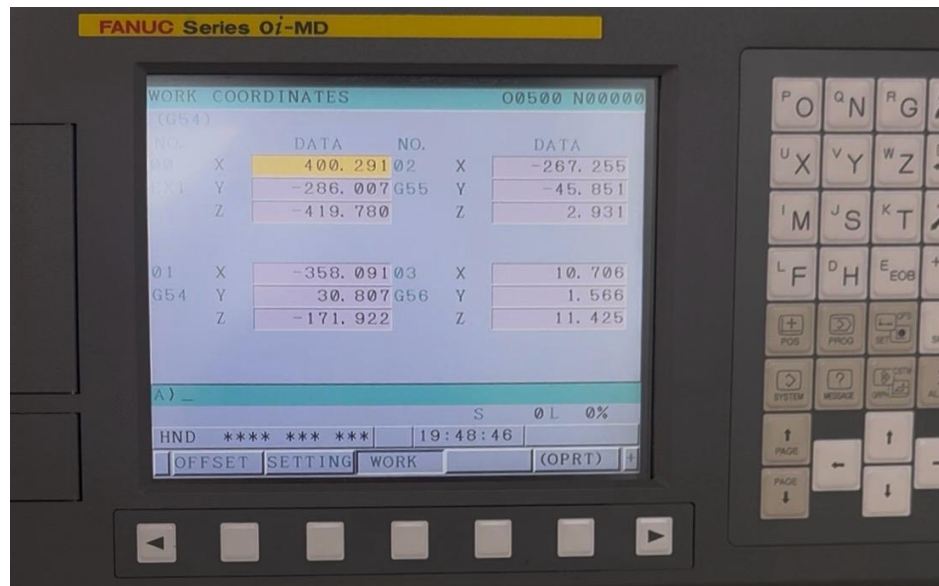
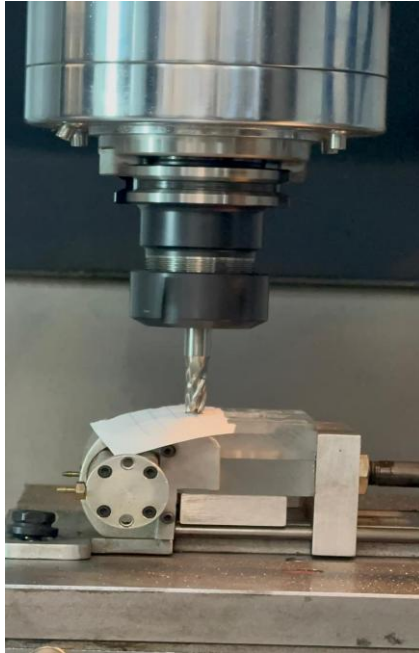


Ilustración 56. Definición del cero en X y Y.

Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.

7.3.7. Definición del cero en Z (método del papel)

1. Colocar una hoja de papel sobre la superficie superior de la pieza.
2. Bajar lentamente el eje Z hasta que la herramienta atrape ligeramente el papel.
3. Registrar la posición del eje Z.
4. Ajustar el valor correspondiente considerando el espesor del papel y asignarlo como cero del eje Z en el sistema G54.



*Ilustración 57. Generación del cero pieza por el método del papel.
Nota. Elaboración Propia, fotografía tomada en el laboratorio de manufactura de la UAEH.*

7.3.8. Verificación del cero pieza

1. Retirar la herramienta de la superficie.
2. Regresar los ejes a una posición segura.
3. Volver a posicionar la herramienta en el punto de origen para verificar la coherencia de los valores establecidos.
4. Confirmar que el cero pieza coincida con el definido en el entorno CAM.

7.4. Práctica 4. Diseño de pieza y simulación de fresado

7.4.1. Objetivo:

Objetivo: Diseñar y modelar en SolidWorks la pieza del plano, preparar el archivo para CAM, generar y simular trayectorias de fresado en Mastercam optimizando parámetros y trayectorias para minimizar el tiempo de mecanizado y garantizar ausencia de colisiones, postprocesar el G-code para la máquina objetivo y documentar las decisiones técnicas.

7.4.2. Materiales y recursos

- **Centro de maquinado SunMill JHV-550**

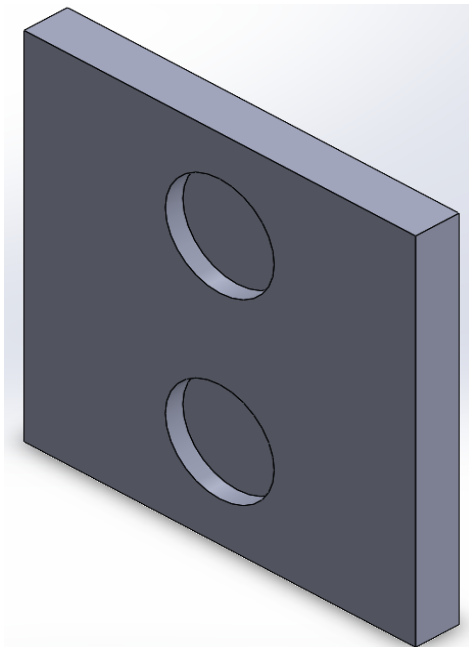
- **Computadora con:**
 - SolidWorks (versión instalada en el laboratorio).
 - Mastercam X5.
- **Equipo de protección personal (EPP):**
 - Lentes de seguridad.
 - Calzado de casquillo.
 - Bata o ropa de trabajo.

7.4.3. Resultados esperados

1. Crear el siguiente modelo geométrico básico en SolidWorks (Ilustración 41).
2. Importar diseños a Mastercam X5 y simular trayectorias de herramienta.
3. Comprender el flujo de trabajo completo: CAD → CAM → CNC, sin ejecutar aún en máquina.

7.4.4. Dibujo de la pieza

Realizar en SolidWorks la siguiente figura:



*Ilustración 58. Dibujo de la pieza práctica 4.
Nota. Elaboración Propia. Plano de dibujo en anexo C*

7.4.5. Estructura del programa

N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90 N104 T1 N106 G0 G90 G54 X.625 Y22.5 S1500 M3 N108 Z10. N110 G1 Z-1. F1000. N112 G3 X-.625 R.625 F300. N114 X.625 R.625 N116 G1 X1.75 N118 G3 X-1.75 R1.75 N120 X1.75 R1.75 N122 G1 X4. N124 G3 X-4. R4. N126 X4. R4. N128 G1 X6.25 N130 G3 X-6.25 R6.25 N132 X6.25 R6.25 N134 G1 X8.5 N136 G3 X-8.5 R8.5 N138 X8.5 R8.5 N140 G1 Z10. F200. N142 G0 X11. N144 G1 Z-1. F1000.	N146 G3 X-11. R11. F300. N148 X11. R11. N150 G1 Z10. F200. N152 G0 X.625 N154 G1 Z-2. F1000. N156 G3 X-.625 R.625 F300. N158 X.625 R.625 N160 G1 X1.75 N162 G3 X-1.75 R1.75 N164 X1.75 R1.75 N166 G1 X4. N168 G3 X-4. R4. N170 X4. R4. N172 G1 X6.25 N174 G3 X-6.25 R6.25 N176 X6.25 R6.25 N178 G1 X8.5 N180 G3 X-8.5 R8.5 N182 X8.5 R8.5 N184 G1 Z10. F200. N186 G0 X11. N188 G1 Z-2. F1000. N190 G3 X-11. R11. F300. N192 X11. R11.	N194 G1 Z10. F200. N196 G0 X.625 N198 G1 Z-3. F1000. N200 G3 X-.625 R.625 F300. N202 X.625 R.625 N204 G1 X1.75 N206 G3 X-1.75 R1.75 N208 X1.75 R1.75 N210 G1 X4. N212 G3 X-4. R4. N214 X4. R4. N216 G1 X6.25 N218 G3 X-6.25 R6.25 N220 X6.25 R6.25 N222 G1 X8.5 N224 G3 X-8.5 R8.5 N226 X8.5 R8.5 N228 G1 Z10. F200. N230 G0 X11. N232 G1 Z-3. F1000. N234 G3 X-11. R11. F300. N236 X11. R11. N238 G1 Z10. F200. N240 G0 X.625 N242 G1 Z-4. F100
--	---	--

7.5. Práctica 5. Diseño de pieza y simulación de fresado

7.5.1. Objetivo:

Diseñar y modelar en SolidWorks la pieza del plano, preparar el archivo para CAM, generar y simular trayectorias de fresado en Mastercam optimizando parámetros y trayectorias para minimizar el tiempo de mecanizado y garantizar ausencia de colisiones, postprocesar el G-code para la máquina objetivo y documentar las decisiones técnicas.

7.5.2. Materiales y recursos

- Centro de maquinado SunMill JHV-550
- Computadora con:

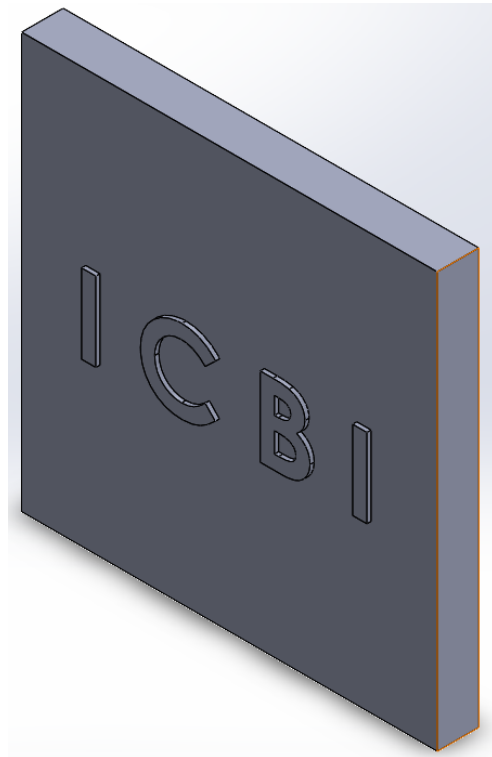
- SolidWorks (versión instalada en el laboratorio).
- Mastercam X5.
- Equipo de protección personal (EPP):
 - Lentes de seguridad.
 - Calzado de casquillo.
 - Bata o ropa de trabajo.

7.5.3. Resultados esperados

1. Crear el siguiente modelo geométrico básico en SolidWorks (Ilustración 42).
2. Importar diseños a Mastercam X5 y simular trayectorias de herramienta.
3. Comprender el flujo de trabajo completo: CAD → CAM → CNC, sin ejecutar aún en máquina.

7.5.4. Dibujo de la pieza

Realizar en SolidWorks la siguiente figura:



*Ilustración 59. Dibujo de la pieza práctica 5.
Nota. Elaboración Propia. Plano de dibujo en anexo D.*

7.5.5. Estructura del programa

N100 G21	N148 G2 X8.349	N190 X-16.073 Y-
N102 G0 G17 G40 G49	Y10.051 R1.015	10.115 R11.146
G80 G90	N150 G1 X12.759	N192 X-21.348 Y-
N104 T1	Y10.026	1.596 R10.562
N106 G0 G90 G54	N152 G2 X15.861	N194 X-20.611 Y3.85
X35.071 Y-.475	Y9.609 R11.804	R12.317
S1500 M3	N154 X19.775 Y6.214	N196 X-15.369 Y9.4
N108 Z5	R5.912	R10.527
N110 G1 Z-1. F50.	N156 X19.434 Y1.343	N198 X-5.008 Y9.175
N112 X35.07 Y-	R5.664	R11.319
10.076 F100.	N158 X18.863 Y.581	N200 X-1.525 Y6.358
N114 X35.033 Y-	R5.421	R11.772
10.311	N160 X21.381 Y-	N202 G1 X-1.398
N116 G2 X34.148 Y-	4.023 R5.849	Y6.163
10.998 R1.016	N162 X17.212 Y-	N204 G2 X-1.573
N118 G1 X30.576 Y-	10.516 R6.378	Y5.076 R1.016
10.999	N164 X13.793 Y-	N206 G1 X-4.19
N120 X30.341 Y-	10.999 R10.494	Y2.574
10.962	N166 G1 X8.351	N208 X-4.383 Y2.44
N122 G2 X29.653 Y-	N168 X8.116 Y-	N210 G2 X-5.484
10.077 R1.016	10.961	Y2.594 R1.024
N124 G1 X29.652	N170 G2 X7.428 Y-	N212 G3 X-8.287
Y9.13	10.076 R1.015	Y4.665 R8.307
N126 X29.69 Y9.364	N172 G1 X7.427 Y-	N214 X-13.143
N128 G2 X30.575	.475	Y4.502 R5.788
Y10.052 R1.015	N174 G0 Z5.	N216 X-15.974 Y-
N130 G1 X34.149	N176 X-2.888 Y-	.442 R5.471
Y10.05	4.886	N218 X-14.457 Y-
N132 X34.384	N178 G1 Z-1. F50.	4.501 R5.614
Y10.013	N180 X-1.619 Y-	N220 X-9.848 Y-
N134 G2 X35.071	6.218 F100.	6.035 R5.58
Y9.128 R1.017	N182 X-1.484 Y-	N222 X-6.591 Y-
N136 G1 Y-.475	6.413	4.577 R5.735
N138 G0 Z5.	N184 G2 X-1.65 Y-	N224 X-5.474 Y-
N140 X7.427	7.521 R1.024	3.533 R16.477
N142 G1 Z-1. F50.	N186 X-5.388 Y-	N226 G1 X-5.279 Y-
N144 Y9.129 F100.	10.368 R15.26	3.393
N146 X7.464 Y9.363	N188 X-10.507 Y-	
	11.488 R11.194	

7.6. Práctica 6. Diseño de pieza y simulación fresado

7.6.1. Objetivo:

Diseñar y modelar en SolidWorks la pieza del plano, preparar el archivo para CAM, generar y simular trayectorias de fresado en Mastercam optimizando

parámetros y trayectorias para minimizar el tiempo de mecanizado y garantizar ausencia de colisiones, postprocesar el G-code para la máquina objetivo y documentar las decisiones técnicas.

7.6.2. Materiales y recursos

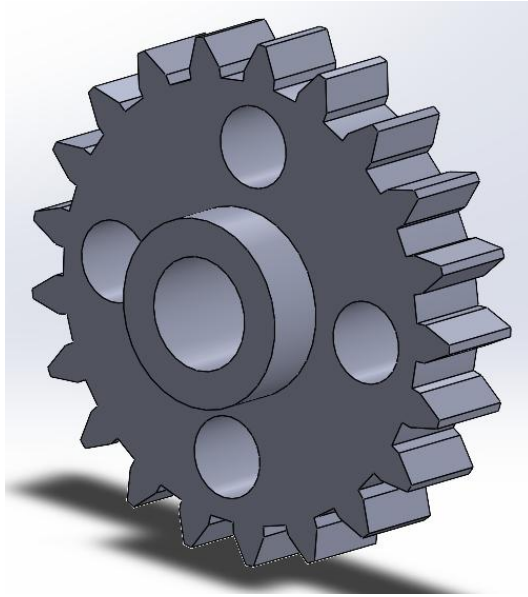
- **Centro de maquinado SunMill JHV-550**
- **Computadora con:**
 - SolidWorks (versión instalada en el laboratorio).
 - Mastercam X5.
- **Equipo de protección personal (EPP):**
 - Lentes de seguridad.
 - Calzado de casquillo.
 - Bata o ropa de trabajo.

7.6.3. Resultados esperados

1. Crear el siguiente modelo geométrico en SolidWorks (ilustración 43).
2. Importar diseños a Mastercam X5 y simular trayectorias de herramienta.
3. Comprender el flujo de trabajo completo: CAD → CAM → CNC, sin ejecutar aún en máquina.

7.6.4. Dibujo de la pieza

Realizar en SolidWorks la siguiente figura:



*Ilustración 60. Dibujo de la pieza práctica 6.
Nota. Elaboración Propia. Plano de dibujo en anexo E.*

7.6.5. Estructura del programa

N100 G21	N146 G1 Z10. F200.	N194 X19.25 R19.25
N102 G0 G17 G40 G49	N148 G0 X30.25	N196 G1 Z10. F200.
G80 G90	N150 G1 Z-2. F100.	N198 G0 X16.5
N104 T1	N152 G2 X-30.25	N200 G1 Z-2. F100.
N106 G0 G90 G54	R30.25 F250.	N202 G2 X-16.5
X41.25 Y0. S1500 M3	N154 X30.25 R30.25	R16.5 F250.
N108 Z10.	N156 G1 Z10. F200.	N204 X16.5 R16.5
N110 G1 Z-2. F100.	N158 G0 X27.5	N206 G1 Z10. F200.
N112 G2 X-41.25	N160 G1 Z-2. F100.	N208 G0 X41.25
R41.25 F250.	N162 G2 X-27.5	N210 G1 Z-4. F100.
N114 X41.25 R41.25	R27.5 F250.	N212 G2 X-41.25
N116 G1 Z10. F200.	N164 X27.5 R27.5	R41.25 F250.
N118 G0 X38.5	N166 G1 Z10. F200.	N214 X41.25 R41.25
N120 G1 Z-2. F100.	N168 G0 X24.75	N216 G1 Z10. F200.
N122 G2 X-38.5	N170 G1 Z-2. F100.	N218 G0 X38.5
R38.5 F250.	N172 G2 X-24.75	N220 G1 Z-4. F100.
N124 X38.5 R38.5	R24.75 F250.	N222 G2 X-38.5
N126 G1 Z10. F200.	N174 X24.75 R24.75	R38.5 F250.
N128 G0 X35.75	N176 G1 Z10. F200.	N224 X38.5 R38.5
N130 G1 Z-2. F100.	N178 G0 X22.	N226 G1 Z10. F200.
N132 G2 X-35.75	N180 G1 Z-2. F100.	N228 G0 X35.75
R35.75 F250.	N182 G2 X-22. R22.	N230 G1 Z-4. F100.
N134 X35.75 R35.75	F250.	N232 G2 X-35.75
N136 G1 Z10. F200.	N184 X22. R22.	R35.75 F250.
N138 G0 X33.	N186 G1 Z10. F200.	N234 X35.75 R35.75
N140 G1 Z-2. F100.	N188 G0 X19.25	N236 G1 Z10. F200.
N142 G2 X-33. R33.	N190 G1 Z-2. F100.	N238 G0 X33.
F250.	N192 G2 X-19.25	N240 G1 Z-4. F100.
N144 X33. R33.	R19.25 F250.	

N242 G2 X-33. R33.
F250.
N244 X33. R33.
N246 G1 Z10. F200.
N248 G0 X30.25
N250 G1 Z-4. F100.
N252 G2 X-30.25
R30.25 F250.
N254 X30.25 R30.25
N256 G1 Z10. F200.
N258 G0 X27.5
N260 G1 Z-4. F100.
N262 G2 X-27.5
R27.5 F250.
N264 X27.5 R27.5
N266 G1 Z10. F200.
N268 G0 X24.75
N270 G1 Z-4. F100.
N272 G2 X-24.75
R24.75 F250.
N274 X24.75 R24.75
N276 G1 Z10. F200.
N278 G0 X22.
N280 G1 Z-4. F100.
N282 G2 X-22. R22.
F250.
N284 X22. R22.
N286 G1 Z10. F200.
N288 G0 X19.25
N290 G1 Z-4. F100.
N292 G2 X-19.25
R19.25 F250.
N294 X19.25 R19.25
N296 G1 Z10. F200.
N298 G0 X16.5
N300 G1 Z-4. F100.
N302 G2 X-16.5
R16.5 F250.
N304 X16.5 R16.5
N306 G1 Z10. F200.
N308 G0 X41.25
N310 G1 Z-6. F100.
N312 G2 X-41.25
R41.25 F250.
N314 X41.25 R41.25
N316 G1 Z10. F200.
N318 G0 X38.5
N320 G1 Z-6. F100.
N322 G2 X-38.5
R38.5 F250.
N324 X38.5 R38.5
N326 G1 Z10. F200.
N328 G0 X35.75
N330 G1 Z-6. F100.
N332 G2 X-35.75
R35.75 F250.
N334 X35.75 R35.75
N336 G1 Z10. F200.
N338 G0 X33.
N340 G1 Z-6. F100.
N342 G2 X-33. R33.
F250.
N344 X33. R33.
N346 G1 Z10. F200.
N348 G0 X30.25
N350 G1 Z-6. F100.
N352 G2 X-30.25
R30.25 F250.
N354 X30.25 R30.25
N356 G1 Z10. F200.
N358 G0 X27.5
N360 G1 Z-6. F100.
N362 G2 X-27.5
R27.5 F250.
N364 X27.5 R27.5
N366 G1 Z10. F200.
N368 G0 X24.75
N370 G1 Z-6. F100.
N372 G2 X-24.75
R24.75 F250.
N374 X24.75 R24.75
N376 G1 Z10. F200.
N378 G0 X22.
N380 G1 Z-6. F100.
N382 G2 X-22. R22.
F250.
N384 X22. R22.
N386 G1 Z10. F200.
N388 G0 X19.25
N390 G1 Z-6. F100.
N392 G2 X-19.25
R19.25 F250.
N394 X19.25 R19.25
N396 G1 Z10. F200.
N398 G0 X16.5
N400 G1 Z-6. F100.
N402 G2 X-16.5
R16.5 F250.
N404 X16.5 R16.5
N406 G1 Z10. F200.
N408 G0 X41.25
N410 G1 Z-8. F100.

7.7. Práctica 7. Diseño de pieza libre y simulación de fresado.

7.7.1. Objetivo:

Diseñar y modelar en SolidWorks la pieza del plano, preparar el archivo para CAM, generar y simular trayectorias de fresado en Mastercam optimizando parámetros y trayectorias para minimizar el tiempo de mecanizado y garantizar ausencia de colisiones, postprocesar el G-code para la máquina objetivo y documentar las decisiones técnicas.

7.7.2. Materiales y recursos

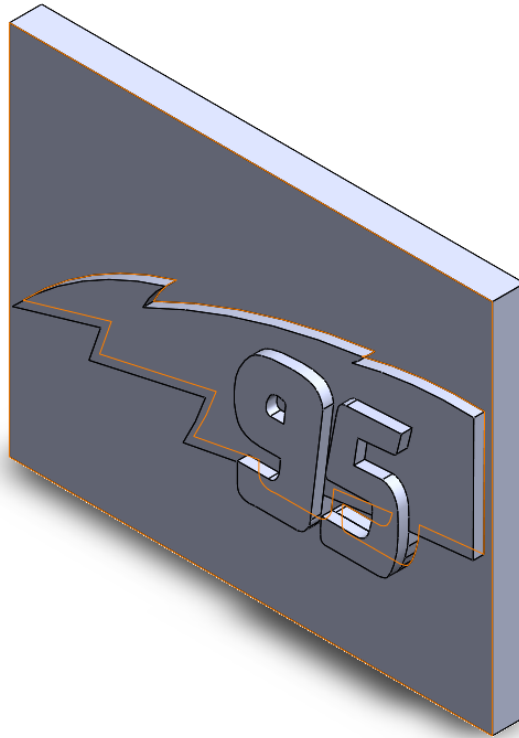
- **Centro de maquinado SunMill JHV-550**
- **Computadora con:**
 - SolidWorks (versión instalada en el laboratorio).
 - Mastercam X5.
- **Equipo de protección personal (EPP):**
 - Lentes de seguridad.
 - Calzado de casquillo.
 - Bata o ropa de trabajo.

7.7.3. Resultados esperados

1. Crear el siguiente modelo libre en SolidWorks.
2. Importar diseños a Mastercam X5 y simular trayectorias de herramienta.
3. Comprender el flujo de trabajo completo: CAD → CAM → CNC, sin ejecutar aún en máquina.

7.7.4. Dibujo de la pieza

Realizar en SolidWorks la siguiente figura:



*Ilustración 61. Dibujo de la pieza práctica 7.
Nota. Elaboración Propia. Plano de dibujo en anexo F.*

7.7.5. Estructura del programa.

N100 G21
 N102 G0 G17 G40 G49
 G80 G90
 N104 T1
 N106 G0 G90 G54 X-
 16.563 Y7.407 S1500
 M3
 N108 Z0.
 N110 G1 Z-2. F100.
 N112 G3 X-39.858 Y-
 6.936 R64.001 F400.
 N114 G1 X-26.158 Y-
 2.942
 N116 X-25.983 Y-
 2.919
 N118 X-25.75 Y-
 2.963
 N120 X-25.543 Y-
 3.075
 N122 X-25.379 Y-
 3.246
 N124 X-25.277 Y-
 3.459

N126 X-25.244 Y-
 3.693
 N128 X-25.275 Y-
 3.868
 N130 X-27.033 Y-
 8.989
 N132 X-6.581 Y-
 4.463
 N134 X-6.409 Y-
 4.452
 N136 X-6.186 Y-
 4.506
 N138 X-5.989 Y-
 4.624
 N140 X-5.837 Y-
 4.795
 N142 X-5.742 Y-
 5.004
 N144 X-5.715 Y-
 5.232
 N146 G2 X-6.48 Y-
 7.438 R25.837

N148 X-9.212 Y-
 13.468 R54.376
 N150 X.733 Y-11.58
 R499.577
 N152 G1 X.759 Y-
 10.176
 N154 X.867 Y-9.963
 N156 X1.035 Y-9.795
 N158 X1.247 Y-9.687
 N160 X1.424 Y-9.659
 N162 X7.568 Y-9.662
 N164 X7.881 Y-9.519
 N166 G3 X8.581 Y-
 8.133 R2.239
 N168 X8.694 Y-6.762
 R10.631
 N170 G1 X5.368 Y-
 6.769
 N172 G2 X2.207 Y-
 5.867 R6.298
 N174 X.609 Y-3.596
 R3.723

N176 X.13 Y.093
R9.502
N178 X.505 Y3.306
R15.145
N180 X3.606 Y8.415
R11.062
N182 X5.904 Y9.566
R5.74
N184 X8.172 Y9.99
R10.654
N186 X12.573
Y10.194 R33.063
N188 X15.64 Y9.615
R13.83
N190 X17.717 Y7.545
R4.056
N192 X18.172 Y5.842
R4.946
N194 G1 X16.333 Y-
9.027
N196 G2 X25.733 Y-
7.723 R466.75

N198 G1 X25.882 Y-
6.315
N200 X25.857 Y-
5.579
N202 X18.462 Y-
5.787
N204 G2 X17.211 Y-
4.65 R1.228
N206 X17.191 Y-
3.917 R2.979
N208 G1 X19.299
Y6.965
N210 G2 X19.67
Y8.121 R4.951
N212 X21.181 Y9.299
R2.157
N214 X21.802 Y9.365
R1.787
N216 G1 X32.075
Y9.943
N218 X32.251 Y9.926
N220 X32.468 Y9.831

N222 X32.645 Y9.675
N224 X32.765 Y9.472
N226 X32.817 Y9.241
N228 X32.802 Y9.065
N230 X31.843 Y5.225
N232 G2 X30.485
Y4.351 R1.603
N234 G1 X24.583
Y3.794
N236 X24.069 Y.499
N238 X28.45 Y.752
N240 G2 X31.552 Y-
1.452 R3.74
N242 X32.158 Y-4.17
R6.038
N244 G1 X32.188 Y-
6.93
N246 G2 X42.68 Y-
5.819 R494.63
N248 G1 X42.78
Y15.829

8. Conclusiones

El desarrollo del manual de instrucciones para la operación de la fresadora SunMill cumple con el objetivo general planteado en esta investigación, al proporcionar una herramienta técnica y didáctica que estandariza los procedimientos de preparación, configuración, operación básica, mantenimiento preventivo y seguridad del equipo dentro del entorno académico. Dicho manual responde de forma directa a la problemática identificada, relacionada con la ausencia de documentación estructurada y adaptada al contexto educativo.

A partir del análisis de antecedentes y de la integración de contenidos técnicos, se logró describir de manera clara la interfaz de usuario, los controles, los parámetros de operación y las rutinas de mantenimiento, facilitando la comprensión del funcionamiento de la fresadora por parte de los estudiantes de Ingeniería Industrial. Asimismo, la incorporación de normas de seguridad y de una propuesta de ejercicios prácticos contribuye al desarrollo de competencias técnicas, operativas y preventivas, fundamentales en la formación profesional.

El mantenimiento de una fresadora SunMill no es opcional, sino una necesidad para garantizar su rendimiento, seguridad y durabilidad. Invertir en el cuidado de este equipo protege el capital de la empresa, asegura la calidad del trabajo realizado y reduce los riesgos operativos. Seguir las recomendaciones del fabricante y adoptar un enfoque preventivo constituyen acciones esenciales para maximizar el desempeño de esta avanzada herramienta de mecanizado.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que el manual mejora las condiciones de seguridad operativa, reduce la probabilidad de errores durante el uso del equipo y optimiza el aprovechamiento de la fresadora en el laboratorio académico. Además, el enfoque preventivo del mantenimiento favorece la conservación del equipo y la continuidad de las prácticas formativas.

Finalmente, este trabajo representa una aportación relevante para la enseñanza de la Ingeniería Industrial, al fortalecer el aprendizaje práctico mediante

el uso responsable de maquinaria CNC y promover una formación más integral, segura y alineada con las exigencias del entorno industrial actual.

Referencias

Acharya, D. (13 de octubre de 2023). ¿Cuáles son los seis beneficios del fresado CNC? PRO-LEAN. <https://proleantech.com>

American National Standards Institute. (2020). Safety requirements for the construction, care, and use of drilling, milling, and boring machines (ANSI B11.8-2020).

Arroyo, B. (2018). Manual de prácticas de: CAD-CAM (Versión 2). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Asociación Española de Normalización. (2019). Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales del diseño. AENOR.

Boothroyd, G., Knight, W., & Dewhurst, P. (2011). Fundamentals of machining and machine tools (3rd ed.). CRC Press.

CNC Haas. (2024). Fresadora CNC. Haas F1 Team. www.haascnc.com

Degarmo, E., Black, J., & Kohser, R. (2019). Materials and processes in manufacturing (12th ed.). Wiley.

Grewal, R. (2013). Engineering metrology and measurements. McGraw-Hill.

Groover, M. (2010). Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems (4th ed.). John Wiley & Sons.

Grote, K., & Antonsson, E. (2009). Springer Handbook of Mechanical Engineering. Springer.

Haas Automation. (2023). Pre-install guide: Mills. www.haascnc.com

Harrison, N. (12 de enero de 2021). Historia CNC: el origen y la evolución del mecanizado CNC. Rapid Direct. www.rapiddirect.com

Historia de la máquina CNC. (2022). La Historia. <https://lahistoria.info>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2021). Guía técnica para la utilización de equipos de trabajo. Ministerio de Trabajo y Economía Social.

International Organization for Standardization. (2010). Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction (ISO 12100:2010).

International Organization for Standardization. (2017). Machine tools safety - Turning machines (ISO 23125:2017).

International Organization for Standardization. (2022). Machine tools safety - Machining centres, milling machines, transfer machines - Part 1: Safety requirements (ISO 16090-1:2022).

Krar, S., Gill, A., & Smid, P. (2020). CNC technology and programming. Industrial Press.

Machinery's Handbook. (2021). (31st ed.). Industrial Press.

MachineTools.com. (2025). SunMill JHV-550. www.machinetools.com

Márquez, M. (2025). Centros de mecanizado vertical. Maquinaria Márquez. www.maquinariamarquez.com

Oberg, E., Jones, F., Horton, H., & Ryffel, H. (2016). Machinery's Handbook (30th ed.). Industrial Press.

Occupational Safety and Health Administration. (2024). Occupational safety and health standards: Machinery and machine guarding. U.S. Department of Labor.

Perez Camps. (2025). Fresadora: Medidas de seguridad y riesgos. <https://perezcamp.com>

Sánchez, J. (12 de enero de 2023). Normas de seguridad en máquinas CNC. Diseño y Corte. www.disenoycorte.com.mx

Sandvik Coromant. (2018). Metal cutting technology for machinists.

Secretaría de Economía. (18 de septiembre de 2025). Primer Informe de Labores 2024-2025. Gobierno de México.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (1999). NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008). Norma Oficial Mexicana NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008). Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal—Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008). Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene. Diario Oficial de la Federación.

Shaw, M. (2005). Metal cutting principles (2nd ed.). Oxford University Press.

Silla, H. (2005). Seguridad industrial y salud ocupacional. Alfaomega Grupo Editor.

Smid, P. (2018). CNC programming handbook (3rd ed.). Industrial Press.

Smith, G. (2012). CNC machining technology: Design, programming, and prototyping. Springer Science & Business Media.

Summit Machine Tool. (30 de julio de 2025). A Look into the History of Industrial Cutting Machines. <https://summitmt.com>

SunMill. (2025). Vertical Machining Center JHV-550. www.sunmill-cnc.com

Trent, E., & Wright, P. (2000). Metal Cutting (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Villamizar, J., & Torres, L. (2021). Normas de seguridad en el manejo de herramientas de corte en procesos CNC. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 39(2), 55-68.

10. Anexos

10.1. Anexo A. Marco normativo aplicable a la operación de la fresadora CNC SunMill JHV-550.

En la Tabla 6 se presenta el marco normativo aplicable a la operación de la fresadora CNC SunMill JHV-550, el cual incluye Normas Oficiales Mexicanas y estándares internacionales de seguridad.

Norma o estándar	Organismo	Relación con la fresadora
NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo	Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS)	Establece requisitos de seguridad en maquinaria industrial, incluyendo protecciones físicas, dispositivos de paro de emergencia y sistemas de resguardo en fresadoras CNC.
NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal— Selección, uso y manejo	Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS)	Define la selección, uso y manejo del equipo de protección personal requerido para operadores de maquinaria CNC.
ISO 12100:2010, Safety of machinery— Risk assessment and risk reduction	International Organization for Standardization (ISO)	Proporciona principios generales para el diseño seguro de maquinaria y la reducción de riesgos en equipos CNC.
ISO 16090-1:2022, Machine tools safety— Machining centres and milling machines	International Organization for	Establece requisitos específicos de seguridad para centros de mecanizado y fresadoras CNC.

	Standardization (ISO)	
OSHA 29 CFR 1910, Subpart O, Machinery and Machine Guarding	Occupational Safety and Health Administration (OSHA)	Regula la protección de maquinaria industrial y medidas de seguridad para operadores de equipos CNC.
Guía técnica para la utilización de equipos de trabajo (2021)	Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST)	Proporciona recomendaciones técnicas para el uso seguro de máquinas herramienta y prevención de riesgos laborales.
ISO 3448, Industrial liquid lubricants—ISO viscosity classification	International Organization for Standardization (ISO)	Clasifica la viscosidad de aceites industriales utilizados en sistemas hidráulicos y de lubricación de la fresadora (ISO VG 32, ISO VG 68).

Tabla 6. Marco normativo aplicable a la operación de la fresadora CNC SunMill JHV-550.

Nota. Elaboración propia con base en normas ISO, OSHA, INSST y STPS.

10.2. Anexo B. Descripción de parámetros

Parámetro	Descripción
Soft limits	Límites seguros de recorrido en X, Y y Z
Feed rate máximo	Velocidad máxima permitida de avance
Rapid traverse	Velocidad rápida de desplazamiento
Home position	Punto de referencia de la máquina
Tool offsets	Compensación de longitud y radio de herramienta

Tabla 7. Descripción de parámetros de la fresadora.

Nota. Elaboración propia.

10.3. Anexo C. Plano de la Ilustración 58 en práctica 4.

Las unidades marcadas en las cotas están expresadas en milímetros.

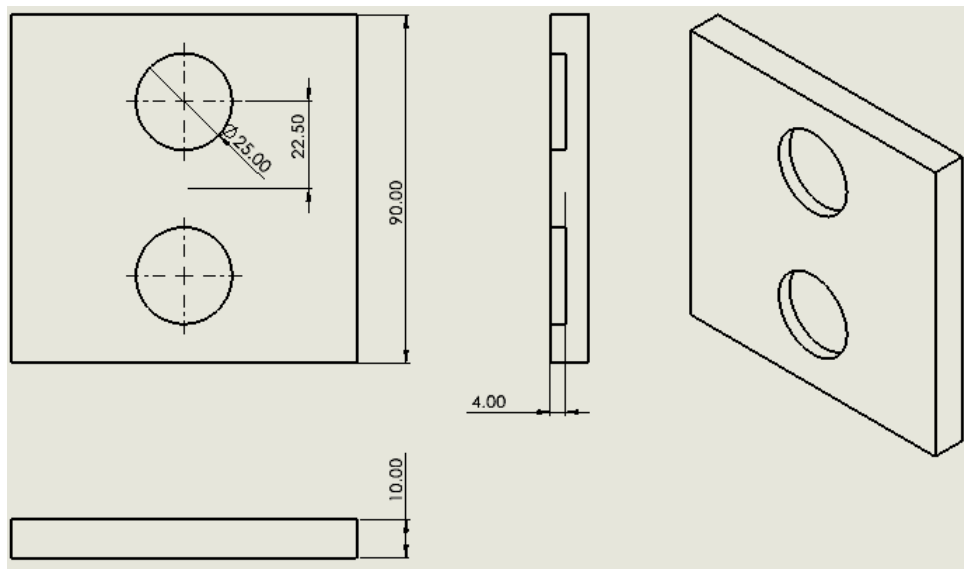


Ilustración 62. Plano de la Ilustración 57 en práctica 4.

Nota. Elaboración propia.

10.4. Anexo D. Plano de la Ilustración 59 en práctica 5.

Las unidades marcadas en las cotas están expresadas en milímetros.

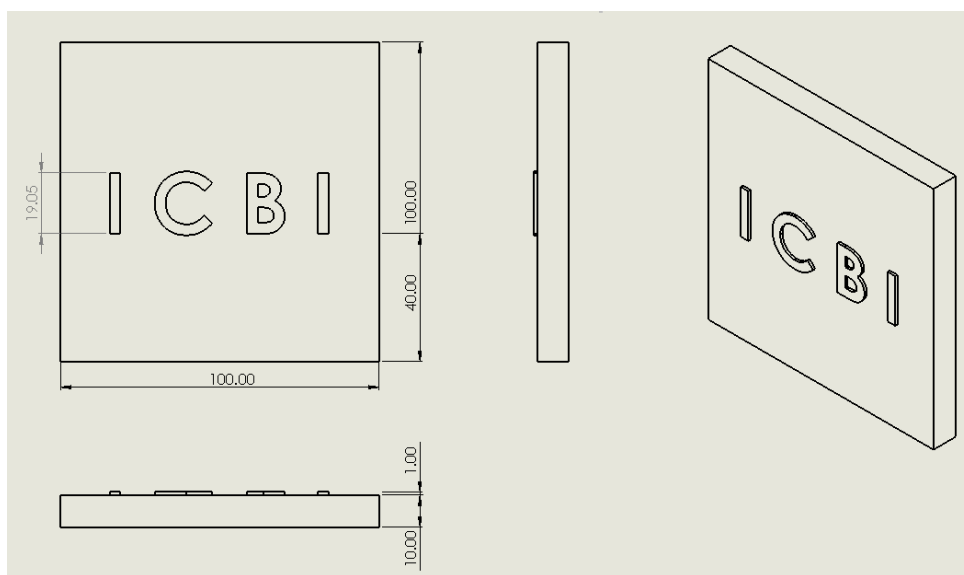


Ilustración 63. Plano de la Ilustración 58 en práctica 5.

Nota. Elaboración propia.

10.5. Anexo E. Plano de la Ilustración 60 en práctica 6.

Las unidades marcadas en las cotas están expresadas en milímetros.

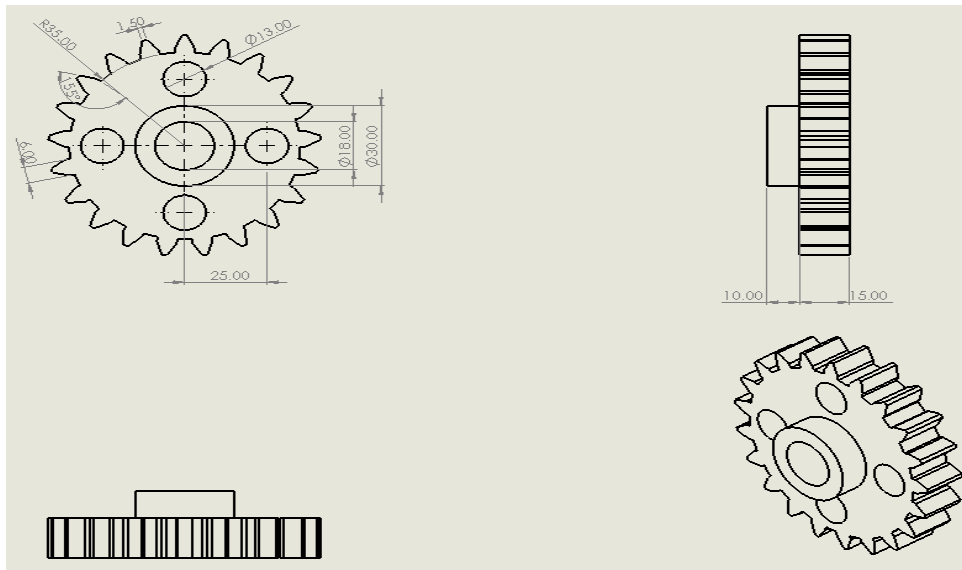


Ilustración 64. Plano de la Ilustración 59 en práctica 6.

Nota. Elaboración propia.

10.6. Anexo F. Plano de la Ilustración 61 en práctica 7.

Las unidades marcadas en las cotas están expresadas en milímetros.

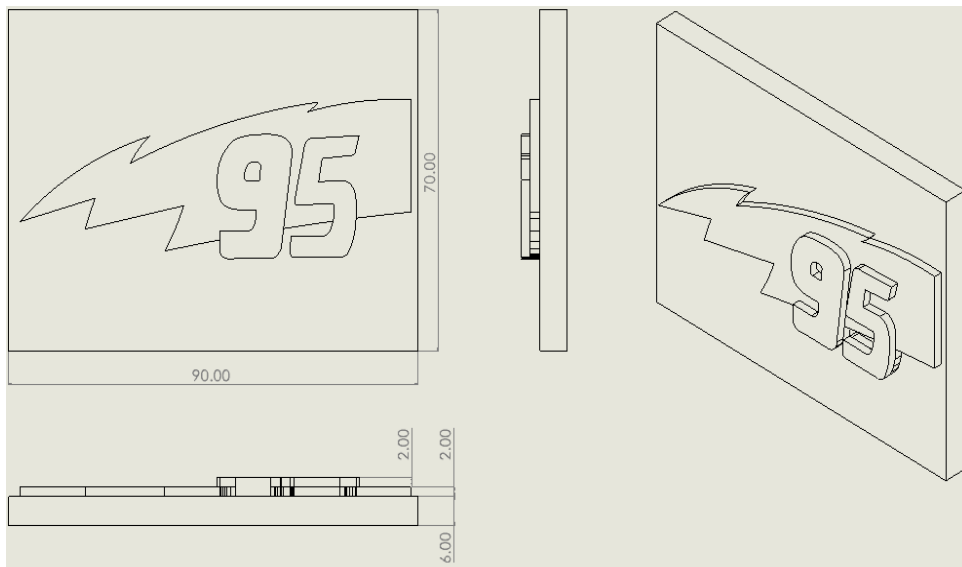


Ilustración 65. Plano de la Ilustración 60 en práctica 7.

Nota. Elaboración propia.