



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**HABILITACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL CUARTO EJE DEL
CENTRO DE MECANIZADO MARCA VIWA MODELO VCM3M400
PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

CRISTHIAN RODRIGO ROCHA MOLINA

cristhian.rocha@epn.edu.ec

VÍCTOR ADRIÁN VACA MINDIOLA

victor.vaca02@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ÉDGAR FERNANDO SARMIENTO BORJA, M.Sc.

edgar.sarmiento@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. MARIO ALBERTO CESEN ARTEAGA, M.Sc.

mario.cesen@epn.edu.ec

Quito, febrero 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Cristhian Rodrigo Rocha Molina y Víctor Adrián Vaca Mindiola, bajo nuestra supervisión.



Ing. Edgar Sarmiento Borja, M.Sc.

DIRECTOR DE PROYECTO



Ing. Mario Cesen Arteaga, M.Sc.

CODIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **Cristhian Rodrigo Rocha Molina y Víctor Adrián Vaca Mindiola**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Cristhian Rodrigo Rocha Molina



Víctor Adrián Vaca Mindiola

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación en primera instancia deseo agradecer a Dios por permitirme cumplir uno de mis sueños.

A mis padres Celia y Rodrigo quienes fueron mis pilares fundamentales que me supieron guiar por un buen camino y me brindaron sus consejos, experiencias y apoyo incondicional en los buenos y malos momentos; gracias a su amor y sacrificio es que puedo cumplir un sueño más.

A mis hermanas Alexandra y Estefanía, quienes siempre me apoyaron y me aconsejaron en cada paso que daba y que en base a su ejemplo de esfuerzo, dedicación y perseverancia he podido desarrollar aquellas habilidades.

A mis sobrinos Alejandro y Cristina, quienes con tan solo un abrazo te reconfortan y te invitan a seguir a pesar de cualquier adversidad.

A mis amigos y compañeros de la universidad que de una u otra forma han sido un apoyo para poder cumplir esta meta.

Cristhian Rodrigo Rocha Molina

El presente trabajo se lo dedico a Dios, ya que gracias a su bendición y protección pude culminar este trabajo de titulación.

A mi mamá Mirella Mindiola y papá Hugo Vaca quienes siempre fueron fuente de inspiración y me brindaron las fuerzas y apoyo necesarios para nunca rendirme.

A mis hermanos Hugo y Valentín quienes estuvieron allí acompañándome en todo momento.

A mis amigos de la universidad y colegio quienes estuvieron conmigo en la buenas y malas, también les dedico este trabajo de titulación ya que me enseñaron el verdadero valor que tiene la amistad.

Sin el apoyo de mi familia y amigos, este sueño y objetivo en mi vida jamás se hubiera hecho realidad es por eso que todo se lo dedico a ustedes. Al fin llegó el día de poder decir: “¡LO LOGRAMOS!”.

Víctor Adrián Vaca Mindiola

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme su bendición en todo momento y por permitirme cumplir este sueño tan anhelado.

A mis padres Rodrigo y Celia, por la confianza, paciencia, amor, esfuerzo y apoyo incondicional en todo momento, ya que gracias a todo eso que pude enfrentar varias batallas que encontré en el camino y lograr cumplir un sueño más, gracias por todos sus consejos los cuales han sido de vital importancia para poder ser una persona y profesional con valores éticos y morales.

A mis hermanas Alexandra y Estefanía, por enseñarme que a pesar de las adversidades que tengamos en el camino siempre hay una solución, y que muchas veces que al tener un mal día siempre hay que sacarle una sonrisa a la vida y al presentarse un problema siempre habrá la manera de seguir en adelante y encontrar la solución, finalmente a saber aprovechar las oportunidades que se nos presenta en la vida.

A mis padrinos y tíos que con sus consejos y con su voz de aliento me decían que cuento con ellos en lo que necesite en todo momento.

A mis amigos, Henry, Jhon, Henry, Alexander, Santiago, Marco, Saul, Brenda, Byron, Wilson, Pedro, Alex y David, por su amistad, apoyo, consejos y porque con ellos se llevó a cabo grandes momentos y experiencias de la universidad, las cuales hicieron que esta etapa de mi vida fuera inolvidable. Sin olvidar a Ricardo y David, los cuales estimo y con los cuales compartí varias conversaciones y experiencias. Finalmente, a mis buenas amigas Maly, Carol y Pris, con quienes he compartido una linda y hermosa amistad y han sido personas que siempre han estado conmigo en los buenos y malos momentos.

A mi compañero de tesis Víctor o mejor conocido como “cowy”, con quien he compartido mis últimos semestres en varias materias y gracias a estas coincidencias de la vida se formó una gran amistad; con el cual no solo se logró llegar a los objetivos planteados de este proyecto de titulación, sino que también se formó un gran equipo de trabajo.

A nuestro director y codirector de trabajo de titulación Ing. Edgar Sarmiento, M.Sc., Ing. Mario Cesen, M.Sc., e Ing. Marco Carrión, un agradecimiento especial y sincero por guiarnos y brindarnos su conocimiento, tiempo y apoyo en el desarrollo del presente proyecto de titulación. Al personal del Lab. de Máquinas Herramientas, un gran agradecimiento quienes con sus conocimientos en los equipos y experiencia facilitó el trabajo de titulación.

Finalmente quiero agradecer a la Escuela Politécnica Nacional, a la Facultad de Ingeniería Mecánica y a todos los docentes que conforman tan grandiosa facultad por todos sus conocimientos compartidos y experiencias las cuales fueron de gran importancia en mi formación personal y profesional.

Cristhian Rodrigo Rocha Molina

Le agradezco a Dios por acompañarme, cuidarme y bendecirme en el transcurso de toda mi carrera universitaria. Gracias a él, obtuve la perseverancia necesaria para nunca rendirme por más complicadas que fueron las situaciones que se me presentaron y que, gracias a eso, soy el profesional, pero sobre todo la persona quien siempre soñé ser.

A mi padre Víctor Hugo Vaca Montalvo quien con su ejemplo me enseñó a que no debo rendirme jamás porque el que se esfuerza logra cumplir sus metas. Además, le agradezco por haber sido mi guía durante mi formación como Ingeniero Mecánico y haber compartido sus conocimientos conmigo y así poder crecer como profesional.

A mi madre Magali Mirella Mindiola Carrillo le agradezco su preocupación diaria hacia mí, por haberme cuidado y siempre estar conmigo porque, a pesar de que nos veíamos un día a la semana, yo sentía que ella estaba a mi lado siempre. Por último, le agradezco a mi padre y madre por haber sido mi inspiración para cumplir esta meta en mi vida.

A mis hermanos, Hugo a quien le agradezco el apoyo que me brindó al comienzo de mi carrera en aspectos que resultaron ser completamente nuevos para mí y a Valentín, por su compañía incondicional cuando se amanecía conmigo estudiando. Muchas gracias a los dos.

Les agradezco a cada uno de los amigos que tengo: Karencita, Yudicita, Anita, Moyita, Heydicita, Karina, Damian, Lenin, Antonio, Mateo, Verónica, Jaimito, Arias, Alexa, Medy, Rochita, Samantha, Jorge, Anthony, Javier, Daniel, Irvin, a todo mi grupo de amigos de skate y del colegio que por motivo de espacio no puedo nombrar; el haber tenido el privilegio de conocerlos y caminar junto a ustedes me ha permitido superar diversos obstáculos a través de sus respectivas compañías y consejos.

Por último, le agradezco a los ingenieros Edgar Sarmiento, Marco Carrión y Mario Cesen por su colaboración para poder culminar este trabajo de titulación y haber compartido sus conocimientos y experiencias con nosotros para poder aprender más dentro de este campo de estudio.

“No sólo no hubiera sido nada sin ustedes, sino con toda la gente que estuvo a mi alrededor desde el comienzo.”

¡GRACIAS TOTALES!

Gustavo Cerati

Víctor Adrián Vaca Mindiola

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	I
DECLARACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	V
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
ALCANCE.....	2
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. Centro de mecanizado.....	3
1.1.1. Tipos de centros de mecanizados	3
1.1.1.1. Centro de mecanizado horizontal (HMC)	3
1.1.1.2. Centro de mecanizado vertical (VMC).....	4
1.1.1.3. Centro de mecanizado universal	4
1.2. Características de la utilización del cuarto grado de libertad en mecanizado. 7	
1.2.1. Ejes de rotación.....	8
1.2.2. Características del eje rotativo.....	9
1.2.3. Formas de mecanizado en un centro de mecanizado con el cuarto eje. 11	
1.2.4. Indexado.....	11
1.2.5. Simultáneo.....	12
1.2.6. Consideraciones generales en un centro de mecanizado usando el cuarto eje.....	12
1.2.7. Consideraciones en la programación usando el Cuarto Eje.....	14
1.2.8. Consideraciones en el mecanizado usando el cuarto eje.....	15
1.3. Elementos y piezas fabricadas con un centro de mecanizado usando el cuarto eje	16
1.3.1. Industria del Calzado.....	16
1.3.2. Industria de la Madera.....	16
1.3.3. Industria generación de energía	17
1.3.4. Industria de la Manufactura.....	17
1.3.5. Industria Automotriz.....	18
1.4. Post-procesamiento en la integración CAD/CAM.....	19
1.4.1. Concepto de CAD.....	19
1.4.2. Concepto de CAM	20
1.4.3. Integración CAD/CAM	21

1.4.3.1.	Ventajas y desventajas de la integración CAD/CAM	21
1.4.3.2.	Post-procesamiento en la integración CAD/CAM	22
1.4.4.	Solidcam	23
1.4.5.	Módulos de SolidCAM para el cuarto eje del centro de mecanizado VIWA VCM3M400.....	25
1.4.6.	Herramienta Gpptool y sus post-procesadores	25
1.4.6.1.	Lenguaje de programación GPPL	27
1.4.7.	Operadores.....	28
1.4.8.	Declaraciones.....	28
1.4.9.	Sistemas de variables Gpptool	30
1.4.10.	Comandos tool-path de SolidCam.....	33
1.5.	Elementos de un post procesador.....	34
1.5.1.	Máquina	34
1.5.2.	Control	35
1.5.3.	Código.....	36
1.6.	Estructura de un post procesador	36
1.6.1.	Encabezado.....	37
1.6.2.	Cuerpo	37
1.6.3.	Fin del programa	38
1.7.	Centroid Rotary Table modelo RT-150	38
1.7.1.	Especificaciones técnicas de Rotary Table modelo RT-150.....	39
1.7.2.	Características externas de Rotary Table, modelo RT-150	39
1.7.3.	Dimensiones externas de Rotary Table, modelo RT-150.....	40
1.7.4.	Mantenimiento	40
1.7.5.	Instalación.....	43
1.7.6.	Lubricación en Rotary Table RT-150	44
1.8.	Contrapunto manual ADJ. TAILSTOCK ATS-2.....	44
2.	METODOLOGÍA.....	46
2.1.	Programación del post-procesador para el cuarto eje del centro de mecanizado VIWA VCM3M400	46
2.1.1.	Programación del archivo CENTROID_M400AC20.gpp.....	46
2.1.2.	Desarrollo del archivo CENTROID_M400AC20.vmid	50
2.2.	Definición de la máquina	50
2.3.	Definición del controlador	52
2.4.	Parámetros definidos por el usuario.....	53
2.5.	Estilo de trabajo	53

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
3.1.	Pruebas de funcionamiento del post procesador para el centro de mecanizado marca VIWA, modelo VCM3M400.....	56
3.2.	Cilindro prismático	56
3.2.1.	Desarrollo de modelo CAD.....	57
3.3.	Paso helicoidal.....	58
3.3.1.	Desarrollo de modelo CAD.....	58
3.4.	Diseño CAM.....	60
3.4.1.	CAM-Part	60
3.5.	Operaciones del cilindro prismático	63
3.5.1.	4x_Rotary_model	63
3.5.2.	2D iMachining.....	68
3.5.3.	2.5D (Pocket_contour).....	71
3.5.4.	D_drill.....	75
3.5.5.	Engraving.....	79
3.6.	Operaciones del paso helicoidal.....	83
3.6.1.	2D iMachining.....	83
3.6.2.	4x_Rotary_model	86
3.7.	Simulación.....	92
3.7.1.	Introducción del Mill Demo	92
3.7.2.	Pasos para simular en Mill Demo	93
3.7.3.	Simulación de piezas.....	93
3.8.	Simulación en SolidCAM	95
3.9.	Montaje y Activación del Cuarto eje	97
3.10.	Cero Pieza.....	99
3.11.	Almacenamiento del archivo .NC al controlador	100
4.	RESULTADOS OBTENIDOS	102
4.1.	Generación del código.....	102
4.2.	Cilindro prismático	102
4.3.	Paso Helicoidal	104
4.4.	Análisis de Resultados	105
5.	CONCLUSIONES.....	108
5.1.	Conclusiones.....	108
5.2.	Recomendaciones	109
6.	BIBLIOGRAFÍA	111
7.	ANEXOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

- 7.1. ANEXO I: Tablas de Códigos G y M en Programas CNC **¡Error! Marcador no definido.**
- 7.2. ANEXO II: Diagrama de Flujo del Post-procesador..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 7.3. ANEXO III: Planos de taller de las piezas fabricadas
(Cilindro Prismático – Paso Helicoidal) **¡Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Centro de Mecanizado ROMI D600	3
Figura 1.2. Centro de Mecanizado Horizontal KH630 HYUNDAI WIA.....	4
Figura 1.3. Centro de Mecanizado Vertical VIWA VCM3M400.....	4
Figura 1.4. Centro de Mecanizado Universal DMC 210 U	5
Figura 1.5. Ejes de coordenadas con sus ejes de rotación.....	8
Figura 1.6. Ejes de rotación A, B, C con los ejes de coordenadas X, Y, Z.....	9
Figura 1.7. Eje de rotación A (Centroid M400) en centro de mecanizado	9
Figura 1.8. Partes de Centro de Mecanizado	10
Figura 1.9. Proceso de Indexado a) una botella y b) árbol de levas.....	11
Figura 1.10. Proceso de simultáneo en a) una broca y b) un eje estriado	12
Figura 1.11. Montaje de materia prima en centro de mecanizado.....	13
Figura 1.12. Controlador de centro de mecanizado	15
Figura 1.13. Fabricación de hormas de Zapatos	16
Figura 1.14. Aplicaciones arquitectónicas a) Grabados y b) formas en columnas.....	17
Figura 1.15. Álabes de Turbina.....	17
Figura 1.16. Aplicación en a) Helicoidales y b) Piezas con detalles especiales.....	18
Figura 1.17. Cuerpo del acelerador	18
Figura 1.18. Interfaz de trabajo de AutoCAD y SolidWorks	19
Figura 1.19. Interfaz de trabajo de CAMWorks y SolidCAM	20
Figura 1.20. Procesamiento y transformación de datos desde el software	23
Figura 1.21. Simulación de mecanizado en SolidCAM	24
Figura 1.22. Elementos de un post-procesador para su respectivo diseño.....	34
Figura 1.23. Centro de mecanizado de cuatro ejes.....	35
Figura 1.24. Control de un post-procesador	35
Figura 1.25. Código de un post-procesador	36
Figura 1.26. Estructura de un Post-Procesador	37
Figura 1.27. Centroid Rotary Table RT-150	38
Figura 1.28. Partes de Centroid Rotary Table RT-150.....	40
Figura 1.29. Dimensiones externas de Rotary Table RT-150.....	40
Figura 1.30. Montaje de Rotary Table RT-150	44
Figura 1.31. Contrapunto manual ADJ. TAILSTOCK ATS-2.....	44
Figura 1.32. Partes de contrapunto manual ADJ. TAILSTOCK ATS-2.....	45
Figura 2.1. a) Configuración del archivo .vmid para la definición del eje X	51
Figura 2.2. Configuración del archivo .vmid para la definición del eje rotatorio A.....	52
Figura 2.3. Ciclos de operación definidos en el archivos .vmid y en el post.....	53
Figura 2.4. a) Variables definidas en “Machine Options”	53
Figura 2.5. a) Configuración de “Working Style”,.....	55
Figura 3.1. Modelo CAD del Cilindro Prismático	57
Figura 3.2. Principales croquis elaborados en SolidWorks	57
Figura 3.3. Modelo CAD del paso helicoidal.....	58
Figura 3.4. Principales croquis elaborados en SolidWorks para la obtención del CAD.....	59
Figura 3.5. Operaciones necesarias para generar el Paso Helicoidal en 3D	59
Figura 3.6. Generación de los helicoides del paso helicoidal	60
Figura 3.7. Pasos para crear un archivo en SolidCAM	60
Figura 3.8. Cuadro de diálogo para la selección del tipo de CAM-Part y Unidades.....	61
Figura 3.9. Cuadro de diálogo para la selección del Post-procesador a usar	61
Figura 3.10. Definición del s. de coordenadas en cilindro prismático y paso	62
Figura 3.11. Stock utilizado para el mecanizado de las piezas de prueba	62

Figura 3.12. Trayectoria de la herramienta para la operación 4x_Rotary_model.....	63
Figura 3.13. Selección del sistema de coordenadas a utilizar en 4x_Rotary_model ...	63
Figura 3.14. Selección de la estrategia, superficies a maquinar y área	64
Figura 3.15. Parámetros de la herramienta seleccionada para 4x_Rotary_model.....	64
Figura 3.16. Velocidades de avance y del husillo establecidas para la operación	65
Figura 3.17. Distancias de seguridad a la entrada y salida de la herramienta	65
Figura 3.18. Selección de tolerancia de corte y paso longitudinal máx	66
Figura 3.19. Selección de la dirección de rotación para el cuarto eje.....	66
Figura 3.20. Definición del tipo de entrada y salida que tendrá la herramienta.....	67
Figura 3.21. Parámetros de entrada y salida de la herramienta	67
Figura 3.22. Definición del número de pases y espacios de mecanizado	68
Figura 3.23. Trayectoria de la herramienta para la operación 2D iMachining	68
Figura 3.24. Selección del s. de coordenadas a utilizar y geometría de mecanizado..	69
Figura 3.25. Parámetros de la herramienta para realizar la operación 2D iMachining	69
Figura 3.26. Distancia de seguridad y niveles de mecanizado superior e inferior.....	70
Figura 3.27. Definición de la profundidad, estilo de corte en cada pasada	70
Figura 3.28. Configuración del ángulo de rampa para la entrada helicoidal.....	71
Figura 3.29. Trayectoria de la herramienta para la operación 2.5D (Pocket_contour..	71
Figura 3.30. Selección del s. de coordenadas a utilizar y geometría de mecanizado..	72
Figura 3.31. Parámetros de la herramienta seleccionada al realizar 2.5D	72
Figura 3.32. Vel. de avance y del husillo establecidas para la operación 2.5D.....	73
Figura 3.33. Distancia de seguridad y niveles de mecanizado superior e inferior.....	73
Figura 3.34. Definición de profundidad, estilo de corte en cada pasada	74
Figura 3.35. Configuración de la operación “Transformation” para el cuarto eje	74
Figura 3.36. Líneas de mecanizado de la operación “Transformation” del cuarto eje .	75
Figura 3.37. Trayectoria de la herramienta para la operación D_drill	75
Figura 3.38. Selección del s. de coordenadas a utilizar y geometría de mecanizado..	76
Figura 3.39. Parámetros de la herramienta (Broca de centros).....	77
Figura 3.40. Velocidades de avance y del husillo establecidas para D_drill	77
Figura 3.41. Parámetros de la herramienta (Broca 4mm).....	77
Figura 3.42. Velocidades de avance y del husillo establecidas para D_drill	78
Figura 3.43. Distancia de seguridad y niveles de mecanizado superior e inferior.....	78
Figura 3.44. Configuración de la operación “Transformation” para el cuarto eje	79
Figura 3.45. Líneas de mecanizado de la operación “Transformation” del cuarto eje .	79
Figura 3.46. Trayectoria de la herramienta para la operación Engraving.....	80
Figura 3.47. Selección del s. de coordenadas a utilizar y geometría de mecanizado..	80
Figura 3.48. Parámetros de la herramienta para realizar la operación engraving.....	81
Figura 3.49. Vel. de avance y del husillo establecidas para la operación engraving ...	81
Figura 3.50. Distancia de seguridad y niveles de mecanizado superior e inferior.....	82
Figura 3.51. Definición del lado de la herramienta para comenzar el mecanizado	82
Figura 3.52. Trayectoria de la herramienta para la operación 2D iMachining	83
Figura 3.53. Selección del s. de coordenadas a utilizar en la operación 2D iMach	83
Figura 3.54. Parámetros de herramienta al realizar la operación 2D iMachining.....	84
Figura 3.55. Distancia de seguridad y niveles de mecanizado superior e inferior.....	85
Figura 3.56. Definición de profundidad, estilo de corte en cada pasada	85
Figura 3.57. Configuración de ángulo de rampa en la entrada helicoidal de hta	86
Figura 3.58. Trayectoria de la herramienta para la operación 4x_Rotary_model.....	86
Figura 3.59. Selección de s. de coordenadas a utilizar en la operación 4x_Rotary	87
Figura 3.60. Selección de la estrategia, superficies a maquinar y área	87
Figura 3.61. Parámetros de la herramienta seleccionada para realizar la operación ..	88
Figura 3.62. Vel. de avance y del husillo establecidas en la operación 4x_Rotary	88

Figura 3.63. Distancias de seguridad a la entrada y salidas de herramienta	89
Figura 3.64. Selección de tolerancia de corte y paso longitudinal máx.	89
Figura 3.65. Selección de la dirección de rotación para el cuarto eje en Rotary.....	90
Figura 3.66. Definición del tipo de entrada y salida que tendrá la herramienta.....	90
Figura 3.67. Parámetros de entrada y salida de la herramienta en Rotary	91
Figura 3.68. Definición del número de pases y espacios de mecanizado	91
Figura 3.69. Pantalla principal del simulador Mill Demo con sus opciones	92
Figura 3.70. Pasos para realizar una simulación de una pieza en Mill Demo	93
Figura 3.71. Tiempo de simulación y gráficos de trayectorias del cilindro prismático ..	94
Figura 3.72. Tiempo de simulación y gráficos de trayectorias de paso helicoidal.....	95
Figura 3.73. Trayectoria de las herramientas y sólido de cilindro prismático	95
Figura 3.74. Trayectoria de las herramientas y pieza en sólido de paso helicoidal	96
Figura 3.75. Tiempo de mecanizado de a) cilindro prismático b) Paso Helicoidal	96
Figura 3.76. Montaje de rotary table (cuarto eje) y aseguramiento en la mesa	97
Figura 3.77. Conectores de rotary table (cuarto eje) con en el centro de mecanizado	97
Figura 3.78. Pasos para la habilitación del cuarto eje en el controlador CENTROID ..	98
Figura 3.79. Activación de cuarto eje en el controlador mediante códigos M.....	98
Figura 3.80. Medición de todas las herramientas a usar durante el mecanizado	99
Figura 3.81. Cero pieza en cilindro prismático y paso helicoidal con el cuarto eje	100
Figura 3.82. Generación de código desde SolidCAM en un archivo .txt	100
Figura 3.83. Pasos para cargar el código en el controlador del C.M.....	101
Figura 4.1. Ejemplo de código generado por SolidCAM (Cilindro Prismático)	102
Figura 4.2. Vistas de cilindro prismático usadas para acotación	102
Figura 4.3. Cilindro prismático realizado en el centro de mecanizado.....	103
Figura 4.4. Vistas de Paso Helicoidal usadas para acotación	104
Figura 4.5. Paso helicoidal realizada en el centro de mecanizado	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Especificaciones generales de centro de mecanizado VIWA VCM3M400. ..	5
Tabla 1.2. Tipos de variables, constantes, expresiones y declaraciones en GPPL.	27
Tabla 1.3. Operadores de GPPL.....	28
Tabla 1.4. Tipos de declaraciones con su respectivo formato.	30
Tabla 1.5. Variables definidas en SolidCAM, significado y tipo	31
Tabla 1.6. Formatos de código G.....	31
Tabla 1.7. Variable de número de bloque.....	32
Tabla 1.8. Variables que tienen valores especiales	33
Tabla 1.9. Especificaciones Técnicas de Rotary Table RT-150	39
Tabla 1.10. Modos de falla del motor de Rotary Table Rt-150.....	41
Tabla 1.11. Recomendaciones para operar Rotary Table RT-150	43
Tabla 2.1. Procedimientos usados en @start_of_file	47
Tabla 2.2. Procedimientos usados en @start_program	48
Tabla 4.1. Valores de cilindro prismático	103
Tabla 4.2. Valores de paso helicoidal	104

HABILITACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL CUARTO EJE DEL CENTRO DE MECANIZADO MARCA VIWA MODELO VCM3M400 PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS

INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Máquinas Herramientas de la Facultad de Ingeniería Mecánica cuenta con un centro de mecanizado marca VIWA modelo VCM3M400, usado para actividades de docencia y prestación de servicios internos y externos. Con el fin de usar las máquinas CNC del laboratorio se ha realizado con anterioridad una guía de prácticas como trabajo de titulación, para el centro de mecanizado [1].

El centro de mecanizado actualmente no está en la capacidad de poder realizar mecanizados con la utilización de sus cuatro ejes, ya que el cuarto eje se encuentra deshabilitado, impidiendo y limitando a la máquina en brindar servicios más eficientes y eficaces, así como en el aumento de las aplicaciones y beneficios tanto para servicios internos y externos que presta el laboratorio. El centro de mecanizado del laboratorio actualmente es capaz de realizar traslaciones a lo largo de los tres ejes (tres grados de libertad); sin embargo, con la implementación del cuarto eje, existirá una mejora en la capacidad del laboratorio y permitirá el mecanizado de piezas de geometría compleja [2].

Un post-procesador ayuda a convertir las estrategias de maquinado al lenguaje básico de programación de la máquina mediante el acondicionamiento, corrección y adaptación del código obtenido del software CAM. Actualmente la estructura del post-procesador de la máquina no tiene habilitado la capacidad de poder codificar las estrategias y características establecidas en el software CAM para el cuarto eje de la máquina.

Con el fin de solventar estos problemas, el presente trabajo plantea habilitar, programar el post-procesador, probar y poner a punto el cuarto eje del centro de mecanizado. La habilitación y la puesta a punto del cuarto eje necesitará de la programación de un post-procesador que proveerá a la máquina nuevas aplicaciones en cuanto a manufactura se refiere, satisfaciendo las necesidades de servicios internos y externos que presta el laboratorio.

Objetivo General

Habilitar y poner a punto el cuarto eje del centro de mecanizado marca VIWA y modelo VCM3M400 para el Laboratorio de Máquinas Herramientas.

Objetivos Específicos

- Obtener información técnica de hardware y software del centro de mecanizado.
- Determinar los comandos, códigos y encabezados necesarios para la programación y operación correcta del cuarto eje del centro de mecanizado.
- Desarrollar un post-procesador que realice las correcciones en los códigos neutros del software CAM para realizar las operaciones correctas en el centro de mecanizado al utilizar en sus cuatro ejes.
- Validar el funcionamiento del cuarto eje mediante la fabricación de piezas de prueba.

Alcance

Adquirir información técnica del centro de mecanizado VIWA VCM3M400 como del cuarto eje Rotary Table RT-150. Desarrollar un post-procesador con base en las especificaciones de la máquina, herramienta y operaciones del centro de mecanizado en conjunto con el cuarto eje. Habilitar el cuarto eje en el centro de mecanizado marca VIWA modelo VCM3M400 y en el controlador CENTROID de la máquina. Poner a punto el post-procesador en SolidCAM usado en el Laboratorio de Máquinas - Herramientas. Ejecutar pruebas de funcionamiento del post-procesador generadas las cuales habiliten y pongan a punto el centro de mecanizado en conjunto con el cuarto eje.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Centro de mecanizado

Un centro de mecanizado, como el que se muestra en la Figura 1.1, es una máquina herramienta automática que realiza operaciones de maquinado de alta calidad, haciendo el uso del CNC (Control Numérico Computarizado), es decir que la interacción de la parte humana es mínima. Los centros de mecanizado realizan varias operaciones las cuales facilitan la producción en serie de piezas de gran complejidad y precisión. Las herramientas usadas en general para un centro de mecanizado son herramientas de corte rotatorias (fresas, brocas) [3].



Figura 1.1. Centro de Mecanizado ROMI D600 [4].

1.1.1. Tipos de centros de mecanizados

En lo que se refiere a los tipos de centros de mecanizados puede existir varias clasificaciones dependiendo el criterio del autor. La clasificación más importante es de acuerdo con la posición del husillo [3].

1.1.1.1. Centro de mecanizado horizontal (HMC)

Este centro de mecanizado se caracteriza por maquinar piezas cúbicas, es decir tiene acceso a mecanizar todos los lados del cubo formado. Estos tipos de centros de mecanizados trabajan con diferentes ejes y pueden tener hasta más de un husillo dependiendo del fabricante. La Figura 1.2 muestra un centro de mecanizado horizontal [3].



Figura 1.2. Centro de Mecanizado Horizontal KH630 HYUNDAI WIA [4].

1.1.1.2. Centro de mecanizado vertical (VMC)

Un centro de mecanizado vertical como el de la Figura 1.3 se caracteriza por maquinar piezas planas, es decir teniendo acceso a la cara superior de una pieza cúbica. Estos tipos de centros de mecanizados trabajan con diferentes ejes [3].



Figura 1.3. Centro de Mecanizado Vertical VIWA VCM3M400 [4].

1.1.1.3. Centro de mecanizado universal

Este centro de mecanizado se caracteriza por tener un cabezal de trabajo el cual puede girar los ejes del husillo en cualquier ángulo, cumpliendo con el trabajo de un HCM, VCM y en diferentes ángulos. En la Figura 1.4, se observa un centro de mecanizado universal DMC [3].



Figura 1.4. Centro de Mecanizado Universal DMC 210 U [5].

1.1.1. Especificaciones técnicas del centro de mecanizado marca VIWA, modelo VCM3M400

Las especificaciones técnicas del centro de mecanizado marca VIWA y de su controlador Centroid M400 ATC AC se detallan a continuación, describiendo de forma concisa sus principales características.

1.1.1.1. Características técnicas del centro de mecanizado marca VIWA, modelo VCM3M400.

El centro de mecanizado marca VIWA, modelo VCM3M400 es fabricado por fundición Taiwanesa, el cual trabaja en conjunto con un controlador marca CENTROID, modelo M400 ATC DC, que se encarga del procesamiento de información con mayor facilidad en procesos de maquinado realizados en el centro de mecanizado. Este centro de mecanizado tiene el objetivo de realizar trabajos de alta precisión y con acabados de gran calidad [6].

1.1.1.2. Especificaciones generales de centro de mecanizado:

En la Tabla 1.1 se detallan las especificaciones generales del centro de mecanizado CNC del Laboratorio de Máquinas Herramientas.

Tabla 1.1. Especificaciones generales de centro de mecanizado VIWA VCM3M400.

CARRERAS	
Carrera máxima en eje X	(400mm) 16"
Carrera máxima en eje Y	(300mm) 12"

Carrera máxima en eje Z	(250mm) 10"
MÁQUINA	
Motor Principal	5 / 7.5 HP
Cabezal de Velocidad variable	100 – 8000 rpm
Nariz del husillo a la mesa	10 – 350 mm
Diámetro del Cañón	4.5"
Cono del Husillo	BT – 30
Carrusel de Herramientas (ATC)	12 herramientas.
Centro del Husillo-Columna	(350mm) 14"
Tamaño de la Mesa	(770 x 300mm) 30" x 12"
Ranuras T de la mesa	16" x 3" x 3.15"
Capacidad de carga	120 kg
Husillo de bolas de alta Precisión.	X, Y, Z
EQUIPAMIENTO	
Bomba de Lubricación	¼ HP
Bomba de Refrigerante	100 W
Cabina Competa con puertas dobles	1
Guardas para guías	2 por eje
GENERALES DEL CUERPO	
Fundición de hierro bajo patente americana	
Guías lineales embaladas	X, Y, Z
Peso Neto de máquina	2550 kg
Espacio sobre el piso (L x A x A)	1570 x 2135 x 2175 mm
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	
Alimentación de la máquina	220 V x 3 Fases
Alimentación del Control	220 V
Consumo de Corriente	30 A

Nota: Se detalla las especificaciones generales del centro de mecanizado marca VIWA modelo VCM3M400, para su correcto funcionamiento [6].

1.1.1.3. Especificaciones del controlador del centro de mecanizado:

- Control Centroid M400 ATC AC.
- Servomotores AC de 1.1 KW en los tres ejes (X, Y, Z)
- Consola de operador con pantalla a color de 15" LCD y teclado
- Control basado en PC
- Interpreta códigos G y M (estándares)
- Graficación en pantalla tridimensional a color
- Estimación del tiempo de maquinado
- Programación convencional (INTERCON)
- Maneja varios idiomas

Sistema de doble procesador digital, de gran rapidez de procesamiento (600 bloques por segundo) y lookahead de 2000 líneas para maquinados de alta velocidad

- Servoamplificador digital con interfaz de fibra óptica
- Encendido y apagado electrónico del husillo
- Encendido y apagado de bombas de lubricación y refrigerante.
- Variador electrónico de velocidad
- Salidas de USB, ethernet y serial
- Tamaño de memoria ilimitado
- Generador manual de pulsos (MPG) *opcional
- Medidor de altura de herramienta *opcional
- Palpador *opcional [6].

Opciones de software

- Ciclos de taladrado
- Orígenes de coordenadas múltiples (G55 - 59)
- Macros y subprogramas (M98 – G65)
- Machueleado flotante
- Machueleado rígido (G74 & G84) *opcional depende de la máquina
- Rotación de coordenadas
- Cambio de escala y espejado
- Software de grabado
- Orientación de husillo
- Crecimiento a un cuarto y quinto eje
- Copiado de levas
- Software de digitalizado 3D [6].

1.2. Características de la utilización del cuarto grado de libertad en mecanizado.

En esta sección se redactan las características, formas de mecanizado y principales consideraciones del cuarto grado de libertad en el mecanizado. Estas permiten entender de mejor manera el funcionamiento del cuarto eje en el equipo de estudio.

1.2.1. Ejes de rotación

En lo que comprenden los ejes de rotación o ejes complementarios de rotación es importante acotar que estos ejes tienen una relación con los ejes de coordenadas (X,Y,Z), en otras palabras, se tiene que cada eje de coordenadas tiene un eje el cual gira en el mismo. Estos son conocidos como ejes (A, B, C) correspondientemente, como se puede observar en la Figura 1.5, la cual es una derivación de la famosa regla de la mano derecha [7].

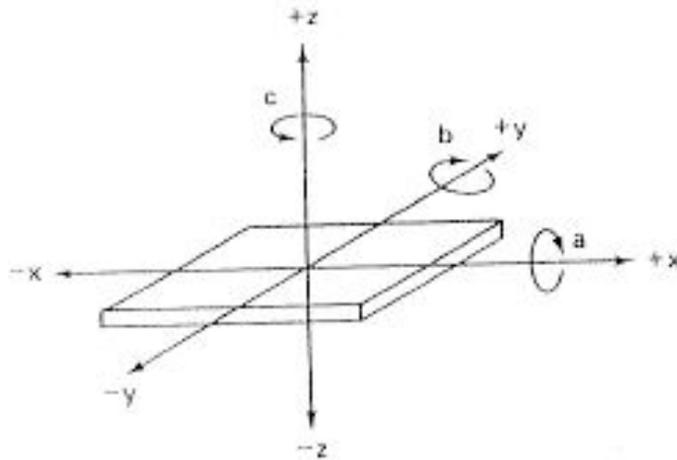


Figura 1.1. Ejes de coordenadas con sus ejes de rotación [7].

Para la identificación de un ángulo de coordenada polar de acuerdo con sus planos se tiene que:

- Si el punto pertenece al plano X-Y del sistema de coordenadas, el ángulo es igual al ángulo de rotación sobre el eje Z es decir corresponde al ángulo C.
- Si el punto pertenece al plano Y-Z del sistema de coordenadas, el ángulo es igual al ángulo de rotación sobre el eje X es decir corresponde al ángulo A.
- Si el punto pertenece al plano X-Z del sistema de coordenadas, el ángulo es igual al ángulo de rotación sobre el eje Y es decir corresponde al ángulo B [7].

La Figura 1.6 presenta los ejes de rotación los cuales giran alrededor de cada uno de los ejes de coordenadas X, Y, Z.

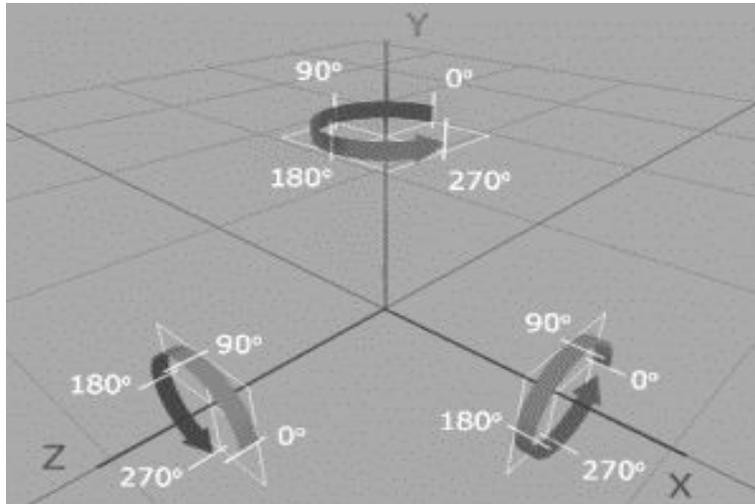


Figura 1.2. Ejes de rotación A, B, C con los ejes de coordenadas X, Y, Z [7].

Para el centro de mecanizado del Laboratorio Máquinas Herramientas del cual se va a trabajar en el cuarto eje, corresponde al eje de rotación A. El sentido de giro de este nuevo grado de libertad de la máquina tiene relación directa con la regla de la mano derecha. En la Figura 1.7 se muestra el centro de mecanizado con su cuarto eje en funcionamiento [7].



Figura 1.3. Eje de rotación A (Centroid M400) en centro de mecanizado [8].

1.2.2. Características del eje rotativo.

El cuarto grado de libertad o el eje rotativo permite la realización de piezas con geometría compleja y cuenta con los siguientes beneficios como son: la realización de una pieza se lo hace en un solo montaje en el centro de mecanizado, se tiene menor tiempo de fabricación y excelentes acabados. El eje

rotativo cumple la función de combinar capacidades de mecanizar en un torno con las capacidades de mecanizar en un centro de mecanizado. En la actualidad, este tipo de fabricación es posible gracias a los softwares CAM los cuales facilitan la realización de este tipo de piezas sin tener un grado de complejidad alto. Lo importante es tener claro el tipo de centro de mecanizado que se necesite de acuerdo con el tipo de piezas que se va a fabricar (conocer las capacidades de este con el uso del cuarto grado de libertad), como también las dimensiones del equipo debido a que estas pueden variar para cada aplicación. El cuarto eje se lo define como una rotación en el eje X, por ende, este permite los cortes en ángulos compuestos, concediéndole a la máquina un soporte para procesos de indexado y simultáneo. El cuarto eje tiene el objetivo de agrupar un rango completo de operaciones posibles de torneado y fresado [10].

Para la incorporación del cuarto grado de libertad o eje de rotación se debe analizar el tipo de software del sistema CAM que usa el centro de mecanizado, la configuración de la máquina y del controlador y la incorporación del post-procesador correspondiente del cuarto eje. En lo que respecta a la máquina, el cuarto eje (Eje - A) cumple la función de agrupar un rango amplio de operaciones, así como la rotación del eje A. El beneficio que se tiene en la incorporación del cuarto eje es en las tolerancias ya que se puede mantener las tolerancias geométricas, lo cual mejora el proceso de fabricación que se tiene en un solo montaje [9].

En la Figura 1.8 se muestra los principales componentes del cuarto eje de un centro de mecanizado.

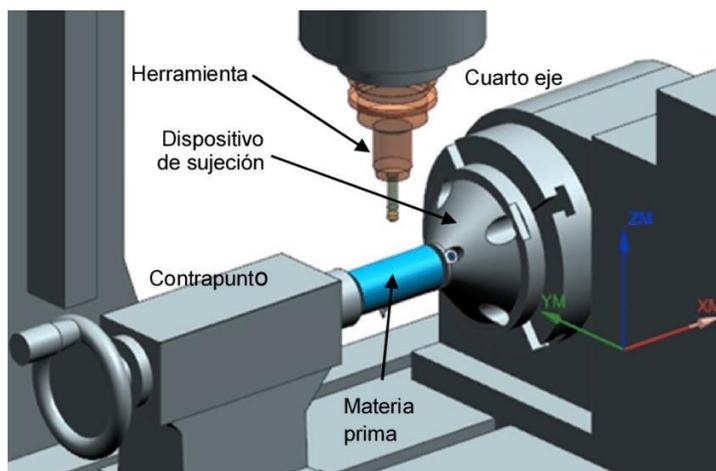


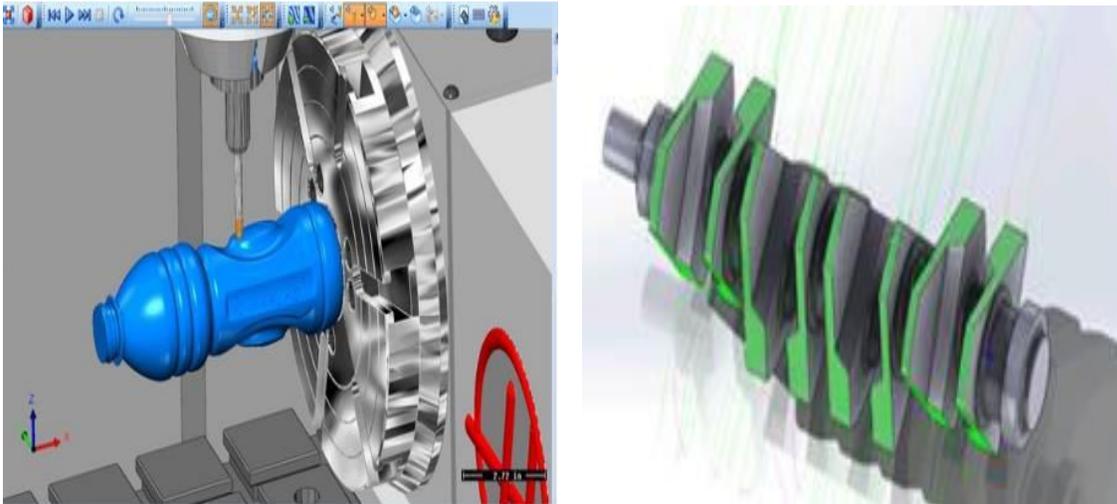
Figura 1.4. Partes de Centro de Mecanizado [17].

1.2.3. Formas de mecanizado en un centro de mecanizado con el cuarto eje

En lo que respecta en las formas de mecanizado que trabaja el cuarto eje en un centro de mecanizado, se tienen fundamentalmente dos procesos: indexado y simultáneo. A continuación, se detalla la forma de operación de cada proceso.

1.2.4. Indexado

Se refiere a mecanizar varios lados de una pieza sin la necesidad de desmontarla y rotarla manualmente cuando se tenga la necesidad de mecanizar en otro lado/ángulo de la pieza. La condición que se tiene es que mientras esté mecanizando el centro de mecanizado, la pieza no rotará, esta rotará cuando el código tenga la necesidad de hacerlo para realizar un mecanizado en otro lugar/ángulo de la pieza. Generalmente este proceso es la aplicación más frecuente en lo que respecta al uso del cuarto eje como se muestra en la Figura 1.9, ya que esto permite tener un mejor acceso a la pieza mecanizada. Este proceso viene a ser beneficioso en la construcción de una pieza en el SolidCAM debido a que se elimina los sistemas de coordenadas múltiples y solo se cambia el lado de la pieza cuando se requiera mecanizar en otro lado de esta [9].



a)

b)

Figura 1.9. Proceso de Indexado a) una botella y b) árbol de levas [11].

1.2.5. Simultáneo

En este proceso se puede mecanizar diferentes caras al mismo tiempo, es decir, mientras trabaja la herramienta, la pieza puede girar en su propio eje, lo cual proporciona un control total del mecanizado como se muestra en la Figura 1.10. Este proceso generalmente se lo usa para obtener una superficie lisa en una pieza. Por medio del software SolidCAM se tiene una gran compatibilidad entre las configuraciones del cabezal (cuarto eje) y la mesa, con la finalidad de realizar un proceso de mecanizado con el cuarto eje [9].

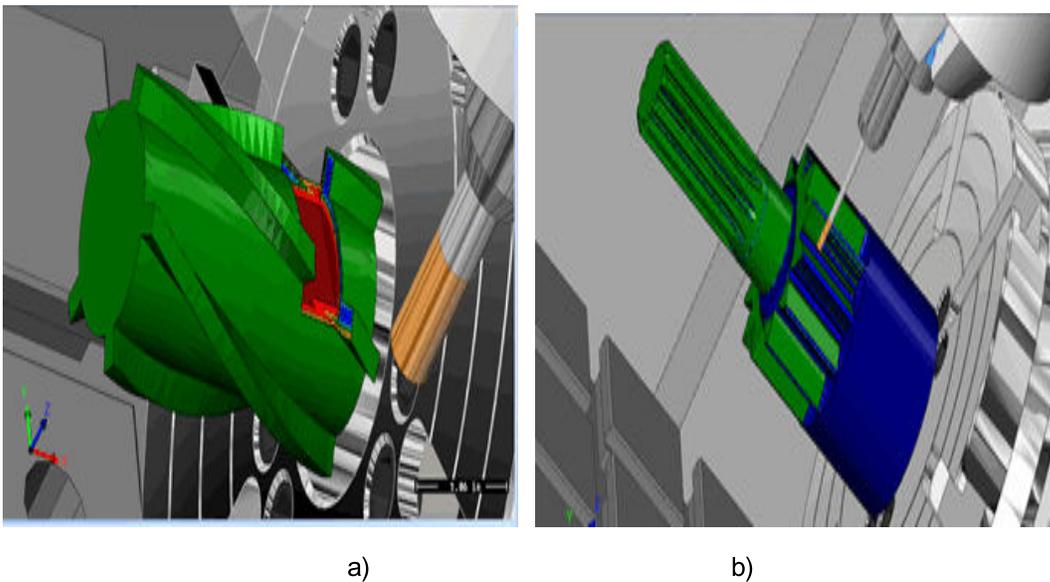


Figura 1.5. Proceso de simultáneo en a) una broca y b) un eje estriado [11].

1.2.6. Consideraciones generales en un centro de mecanizado usando el cuarto eje

Como características muy generales se debe tomar en cuenta el control, la programación, la potencia, herramientas de corte, velocidades, esfuerzos, montaje, accesorios, entre otros:

- El controlador debe tener la facilidad de entender el lenguaje de programación del programa de cada pieza, como identificar las herramientas que se tiene en el centro de mecanizado.
- La programación debe ser amigable con el operador y compatible con el controlador de la máquina, con la finalidad que le sea fácil entender al operador, al simulador y a la máquina lo que se desea hacer.

- Menor potencia en el husillo del cuarto eje, debido a que este eje no soporta cortes fuertes comparados a los cortes que se realizan en los tres ejes.
- Algunas piezas son de secciones delgadas y por ende no pueden soportar fuerzas de corte de gran magnitud.
- Para piezas mecanizadas con el cuarto eje es importante tener herramientas de corte de radio pequeño y de una gran longitud debido a que las herramientas de corte muchas veces no pueden ingresar en piezas de secciones muy delgadas y de gran profundidad como son en las aplicaciones de componentes estructurales de alas de aviones, partes de álabes de las turbinas, entre otras aplicaciones.
- En lo que respecta a las herramientas a usar es recomendable utilizar herramientas de carburo debido a que presenta una mayor rigidez a lo largo de toda la herramienta lo cual brinda un mayor desempeño en el mecanizado con respecto a una herramienta HSS. El montaje viene a ser un aspecto complicado debido a que esta máquina debe proporcionar rigidez, mantener los dispositivos de fijación tan bajos como sea posible en el área de trabajo, y en los problemas de interferencia con los movimientos de la máquina como los límites en los cuales trabaja la herramienta.
- La limitación que se tiene en el montaje son las partes que sujetan a la pieza a maquinar, debido a que esto reduce el área de trabajo, aumentan espacios muertos y aumenta la rigidez de la pieza como se observa en la Figura 1.11 [9].

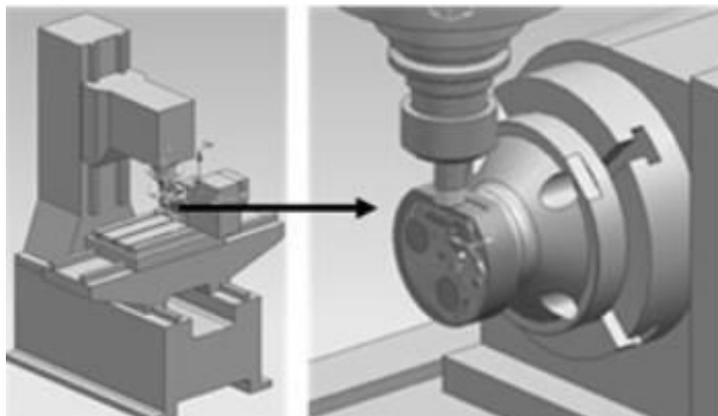


Figura 1.6. Montaje de materia prima en centro de mecanizado [18].

1.2.7. Consideraciones en la programación usando el Cuarto Eje

- El sistema CAM proporciona un control sobre los movimientos del centro de mecanizado por lo que reduce la dificultad en la programación debido a que se unifica la programación de procesos de torneado y fresado.
- Los planos de trabajo son de gran ayuda y permite al programador ubicar un sistema local de coordenadas.
- El beneficio que se tiene programar se lo refleja en el simulador ya que se podrá observar las operaciones en cualquier punto de la programación y además ayuda a evitar colisiones de herramientas, cuando se realiza un proceso de simultáneo ayuda para evitar choques que se puedan observar en el simulador.
- Cuando se haya realizado las operaciones respectivas en el CAM y se tenga las trayectorias de las herramientas, se genera la programación de la pieza en código G con la ayuda del post-procesador el cual transforma estas trayectorias, herramientas, velocidades en un código G.
- Considerar el tipo de herramientas CAD y CAM que se utilicen, ya que los archivos generados deben poseer una extensión para que sean compatibles estos dos tipos de software.
- El sistema CAM debe ser capaz de transformar sus salidas en programa de piezas la cual sea entendible para el centro de mecanizado además de verificar los límites de la máquina tanto en el dimensionamiento de la zona de trabajo, como los parámetros de mecanizado.
- La simulación ayuda al operador a identificar alguna posible colisión que no tomó en cuenta, además el identificar las herramientas de la máquina y todos los elementos que intervienen al utilizar el cuarto eje [9].

En la Figura 1.12, se presenta una ilustración del controlador del centro de mecanizado.



Figura 1.7. Controlador de centro de mecanizado [19].

1.2.8. Consideraciones en el mecanizado usando el cuarto eje

- En lo que respecta al mecanizado, un centro de mecanizado CNC con cuatro ejes, lo más importante es el tiempo de procesamiento de bloque. El número específico para el tiempo de procesamiento de cada bloque se lo determina con el cálculo de la mínima longitud de bloque a ser programada dividida con la máxima velocidad de alimentación programada en pulgadas por segundo.
- Otra consideración es la capacidad de almacenamiento del programa, para el caso de un centro de mecanizado de cuatro ejes, los programas son más largos con respecto a los programas de tres ejes, por ende, se debe tener una capacidad de memoria mayor al programa de una pieza, pero si no es el caso se debe trabajar por partes, es decir, por cada cambio operación realizar un programa.
- Para el caso de ejecutar un programa, la mejor opción es realizarlo desde la memoria de programas de piezas; pero si se lo puede ejecutar mediante la comunicación DNS (Direct Numerical Control) dependiendo si el centro de mecanizado tuviera esa opción [9].

1.3. Elementos y piezas fabricadas con un centro de mecanizado usando el cuarto eje

En esta sección se redacta de manera breve las aplicaciones industriales de un centro de mecanizado con cuatro ejes. Así como su importancia en la manufactura de piezas con geometrías complejas que solo pueden ser tratadas en este tipo de máquinas.

1.3.1. Industria del Calzado

Para el área del calzado tiene una aplicación en las hormas, y en los moldes de las plantas. Se facilita la producción en serie del calzado en diferentes tallas y modelos como se observa en la Figura 1.13. Gracias a estas hormas que soportan altas y bajas temperaturas, es posible dar la forma de la talonera y unir la planta con el cuero [8].



Figura 1.13. Fabricación de hormas de Zapatos [8].

1.3.2. Industria de la Madera

En el área de la carpintería, se usa un cuarto eje en los enrutadores CNC como los de la Figura 1.14, lo que viene a ser muy similar al centro de mecanizado. El objetivo que se tiene al usar el cuarto eje es el grabado en madera o columnas. Es decir, la carpintería con un cuarto eje realiza trabajos redondos como cilindros grabados de columnas de diferentes tipos, como se puede ver a continuación en la Figura 1.14 [12].



a)

b)

Figura 1.14. Aplicaciones arquitectónicas a) Grabados y b) formas en columnas [12].

1.3.3. Industria generación de energía

Para el área de generación de energía, se tiene una aplicación en los álabes y rodets de las turbinas, los cuales tienen un contorno complejo, es decir tiene un cierto ángulo en la superficie del álabe. Lo cual hace beneficioso el trabajar en proceso de indexado y simultáneo ya que se puede lograr mecanizar formas que sin el cuarto eje en el centro de mecanizado sería muy difícil lograrlo con facilidad. En la Figura 1.15, se muestra el mecanizado de un álabe con un centro de mecanizado de cuatro ejes [12].



Figura 1.15. Álabe de Turbina [13].

1.3.4. Industria de la Manufactura

En esta área se tiene la parte de moldes que son usados en proceso de inyección y soplado. Se tiene la fabricación de piezas que sirven de repuestos para las

mismas máquinas de trabajo como son los engranes helicoidales, conos, grabados de diferentes formas, brocas, tornillos sin fin, ejes estriados, elementos con detalles muy finos como se observa en la Figura 1.16 [12].

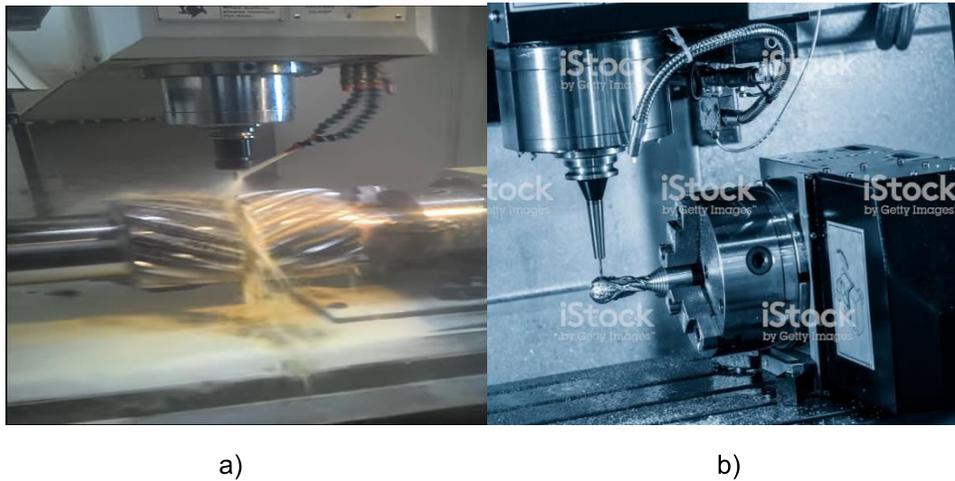


Figura 1.16. Aplicación en a) Helicoidales y b) Piezas con detalles especiales [14], [15].

1.3.5. Industria Automotriz

La Industria Automotriz tiene un sin número de elementos que se pueden realizar como: el árbol de levas, pistones, entre otros. Un ejemplo que se tiene para la aplicación del cuarto eje en el centro de mecanizado es en el cuerpo del acelerador o también conocido como cuerpo de mariposa el cual posee agujeros en todas sus caras como se observa en la Figura 1.17. Como se tiene muchos detalles se puede ir mecanizando por cada lado de la pieza, además se puede agregar un grabado de la marca de la empresa o algunas letras [12].



Figura 1.17. Cuerpo del acelerador [16].

1.4. Post-procesamiento en la integración CAD/CAM

1.4.1. Concepto de CAD

El Diseño Asistido por Computadora (CAD) consiste en técnicas que permiten crear el modelo de un producto, incluyendo la simulación de su comportamiento, antes de ser manufacturado. Este proceso se realiza mediante el uso de software CAD, cuya interfaz gráfica permite el diseño en dos o tres dimensiones para obtener el modelo del objeto en geometría alámbrica o sólida, como producto de una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.).

Los softwares CAD pueden ser de distintos tipos y su aplicación depende de las necesidades del diseñador, ya que estos pueden resaltar en el diseño en dos o tres dimensiones. Además, dependiendo del fabricante, se pueden realizar simulaciones del comportamiento del producto bajo las condiciones y restricciones que se desee. Entre los softwares CAD más usados por profesionales y estudiantes se tiene:

- Rhino3D
- OpenSCAD
- CATIA
- AutoCAD
- Solidworks

En la Figura 1.18 se presenta la interfaz de trabajo de AutoCAD y Solidworks, los cuales son dos de los programas CAD más utilizados a nivel académico e industrial.

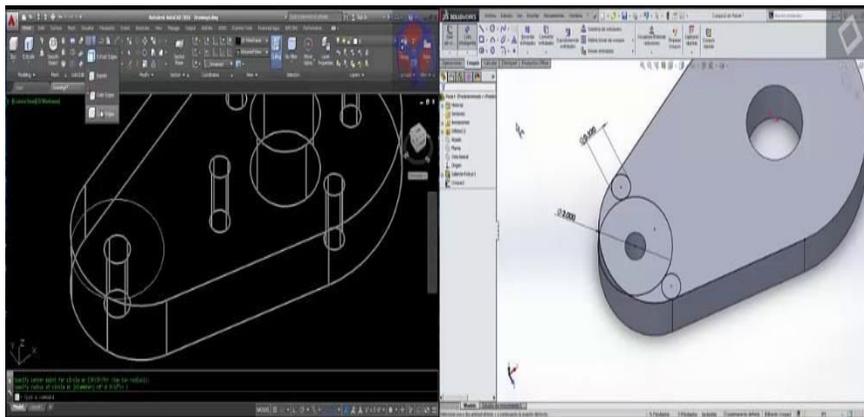


Figura 1.18. Interfaz de trabajo de AutoCAD y SolidWorks [Fuente: Propia].

1.4.2. Concepto de CAM

La Manufactura Asistida por Computadora (CAM), conlleva directamente al uso del control numérico (NC) que, mediante software, es posible la fabricación de un producto generando instrucciones detalladas que le permitan a la máquina herramienta (máquina CNC) ejecutar las órdenes de maquinado necesarias para cumplir su objetivo. El establecimiento de estas instrucciones se las realiza mediante la generación, por parte del software CAM, de un programa en lenguaje ISO (código G) de las cuales depende el resultado deseado.

Los softwares CAM tienen la ventaja que permiten la simulación del proceso de fabricación de la pieza, con esto es posible prever posibles errores en el código programado. Además, lleva a cabo el Post-procesamiento de dicho código para poder transmitirlo a la máquina. Entre los softwares CAM más usados se tienen:

- CAMWorks
- Mastercam
- Siemens NX CAM
- SolidCAM

En la Figura 1.19, se presenta la interfaz de trabajo de CAMWorks y SolidCAM, en donde SolidCAM es el software sobre el cual se elaboró el post-procesador para generar código G para el centro de mecanizado del Laboratorio de Máquinas y Herramientas.

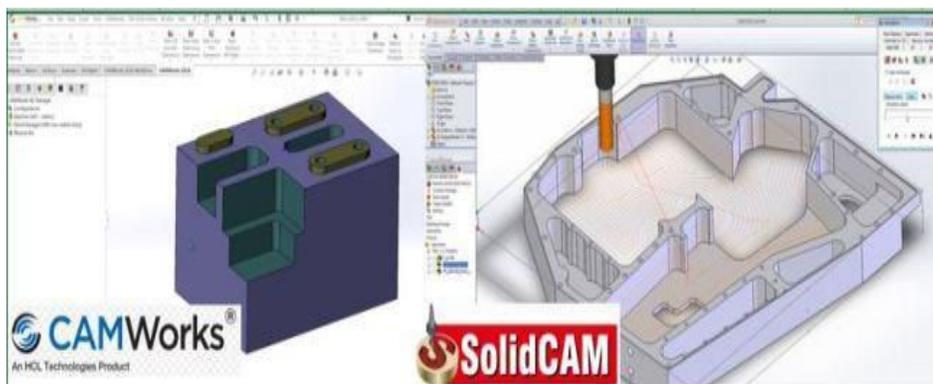


Figura 1.19. Interfaz de trabajo de CAMWorks y SolidCAM [21].

En la actualidad, el uso de esta tecnología es de vital importancia en la industria, ya que permite fabricar piezas de alta calidad debido a la precisión de la máquina CNC y a reducir costos en cuanto a producción en serie se refiere.

1.4.3. Integración CAD/CAM

De forma tradicional, para la obtención de nuevos productos o rediseño de uno se necesitaba en primera instancia de herramientas CAD para el diseño y por consiguiente de herramientas CAM para su fabricación. Sin embargo, el uso de estos procesos de manera independientes genera una barrera en la comunicación entre el proceso de diseño y el de manufactura, produciendo errores de diferente índole como retrasos en la producción, baja calidad y costos elevados.

Con el fin de dar solución a esta problemática, en la actualidad se tienen herramientas CAD/CAM integradas que facilitan la comunicación entre el proceso de diseño y fabricación, de tal forma que la interacción entre el personal de estas dos áreas permita incluso reducir el tiempo de obtención de un nuevo producto.

Los softwares que mantienen integrado el CAD/CAM son utilizados especialmente en la industria de la manufactura en serie. En donde el diseño CAD del modelo deseado es necesario para que el software CAM genere, acorde a la geometría del modelo y parámetros de operación, las trayectorias de herramientas. Estas trayectorias deben reflejarse en un archivo con la programación en código G que permita obtener el modelo físico [19].

1.4.3.1. Ventajas y desventajas de la integración CAD/CAM

Entre las principales ventajas del uso de sistemas CAD/CAM integrado se tiene:

- Se tiene una mayor automatización ya que el software CAD-CAM se encarga prácticamente de todo el proceso.
- Se hace más accesible al cliente, debido a que el software permite a los usuarios diseñar más rápido, gestionar proyectos, simular y trabajar más rápido.

- Mejora de control sobre la programación por las grandes capacidades de control y se obtiene como resultado piezas perfectamente acabadas.
- Se eliminan errores costosos debido a que el software CAD-CAM ofrece funciones de simulación de gran alcance, que permiten inspeccionar visualmente el proceso de mecanizado.
- Trabajos realizados en software CAD-CAM son más rápidos y eficientes debido a que ofrece ventajas importantes en la creación de los productos.
- Si se realizara el 3D a mano, por ejemplo, sería un trabajo muy largo y costoso.
- Incremento de la producción en el campo de la manufactura [29].

Sin embargo, el uso de esta nueva tecnología también presenta sus desventajas, las cuales se redactan a continuación:

- Alto costo de las licencias de software que tienen implementada esta tecnología.
- Se requiere de operadores con mayor capacitación en el uso de dichos softwares.
- Tecnología únicamente recomendada para la producción en serie de piezas o elementos mecanizados.
- Con el objetivo de mejorar los resultados, es necesario que los operadores cuenten con conocimientos básicos sobre máquinas CNC y programación en código G, ya que en ocasiones se debe modificar el código generado por el software.

1.4.3.2. Post-procesamiento en la integración CAD/CAM

Como se ha mencionado anteriormente, una de las ventajas de los sistemas CAD/CAM integrados es la configuración del proceso de mecanizado mediante seguimiento de trayectorias, configuración de herramientas, parámetros de mecanizado, etc. Sin embargo, el archivo generado por el CAM a partir del CAD es de tipo "CL DATA" (ubicación del cortador), el cual la máquina CNC no puede entenderlo ya que no considera los datos de configuración de la misma para que pueda ser ejecutado.

El post-procesador es una herramienta que trabaja en conjunto con el software CAD/CAM y es el que genera el programa en código G que se ejecutará en la

máquina CNC. Esta acción la realiza a partir de la transformación de las trayectorias de mecanizado, parámetros y estrategias de maquinado guardadas en el archivo CL DATA, creando un nuevo archivo de texto que la máquina sea capaz de entenderlo.

En la Figura 1.20, se muestra de forma simple el flujo de procesamiento de información desde el software CAD/CAM hasta la máquina CNC:

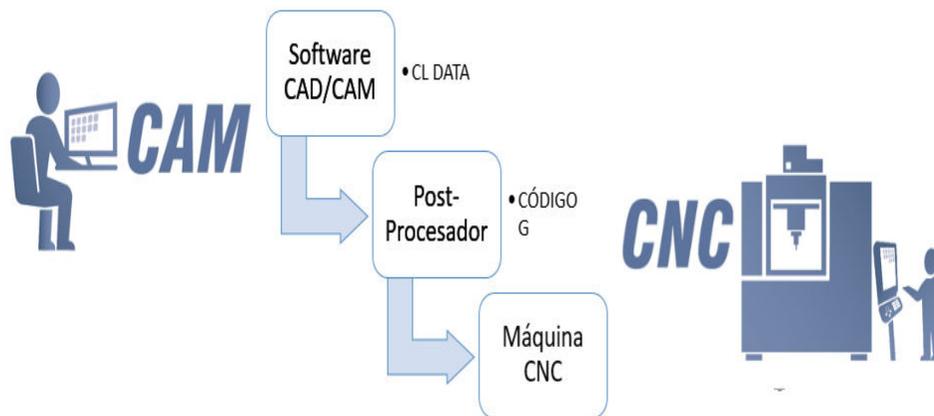


Figura 1.20. Procesamiento y transformación de datos desde el software a la máquina [Fuente: Propia].

1.4.4. Solidcam

SolidCAM es un software que cuenta con una perfecta integración CAD/CAM junto con su módulo iMachining, el mismo que permite considerar herramienta, materia prima y parámetros de la máquina en uno solo, asegurando la manufactura de los diseños en un tiempo optimizado. Brinda al usuario una mayor eficiencia en cuanto a procesos de mecanizados CNC se refiere. Además, tiene la ventaja de trabajar con geometrías 2D y 3D para el mecanizado asociadas con el modelo diseñado en SolidWorks y, al actualizar dicho modelo, automáticamente se actualizan todas las operaciones configuradas previamente [20].

En la Figura 1.21, se muestra la interfaz de SolidCAM de la simulación de un mecanizado con cuatro ejes.

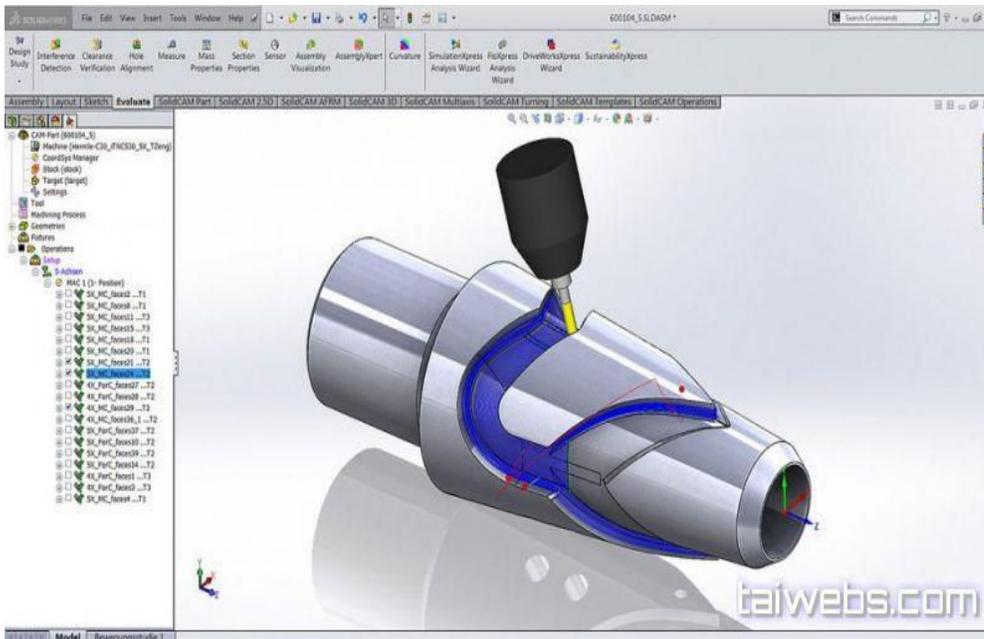


Figura 1.21. Simulación de mecanizado en SolidCAM [21].

Características

- Integración completa de SOLIDWORKS.
- Asociatividad total al modelo de diseño.
- Gama completa de soluciones CAM para SOLIDWORKS.
- Tecnología de fresado iMachining única y revolucionaria.
- Asistente patentado de tecnología iMachining.

Ventajas

- Define y verifica todas las operaciones de mecanizado sin abandonar el entorno de ensamblaje de SOLIDWORKS.
- Los cambios de diseño paramétrico fluyen directamente a su máquina y actualizan automáticamente las rutas de herramientas.
- Los módulos CAM incluyen iMachining 2D / 3D, fresado 2.5D, superficie de alta velocidad, mecanizado 3D de alta velocidad, 5 ejes simultáneos, torneado, fresado avanzado y sonda sólida.
- iMachining aumenta la productividad, ahorra un 70% y más en tiempo de ciclo y aumenta la vida útil de la herramienta de corte.
- El asistente de tecnología proporciona avances y velocidades óptimas, teniendo en cuenta la trayectoria de la herramienta, el stock, el material de la herramienta y las especificaciones de la máquina [22].

1.4.5. Módulos de SolidCAM para el cuarto eje del centro de mecanizado VIWA VCM3M400

2D iMachinig

Esta operación es usada para mecanizado en distintas caras de la pieza a obtener, en la cual se puede trabajar en una cara cuya superficie es plana o sobre una superficie compleja. Para el caso del cuarto eje esta operación es de gran ayuda cuando se requiera el mecanizado cuya profundidad de la herramienta es constante y sobre superficies redondeadas.

2.5D

El módulo CAM 2.5D está compuesto de varias operaciones, las mismas que son: Profile, Pocket, Contour y Drill. Estas operaciones se pueden usar con tres o cuatro ejes. Cuando la máquina posee cuatro ejes simultáneos estas operaciones se usan para trabajos de indexado.

Rotary Machining

“La operación de mecanizado rotativo está diseñada para generar una trayectoria de herramienta rotativa para fresar piezas en una máquina de cuatro ejes. Se puede utilizar para fresar piezas cilíndricas como moldes y núcleos de botellas, electrodos y carpintería. Las trayectorias de la herramienta se calculan directamente en geometría 3D y no se envuelven.” [27].

1.4.6. Herramienta Gpptool y sus post-procesadores

Gpptool es una herramienta con la que se puede configurar y definir los parámetros necesarios para el desarrollo y programación de un post-procesador, incluyendo las funciones y procedimientos en el lenguaje general de post-procesadores (GPPL), los mismos que son necesarios para la generación de un código G con las trayectorias de la herramienta para un controlador CNC específico.

De forma general, esta herramienta es la que permite el cambio del pre y post procesador existente por un archivo que es compatible con el controlador CNC y SolidCAM. Las ventajas de la creación de este archivo es la capacidad de realizar pequeñas modificaciones en el código G generado por el software.

Además, permite desarrollar un nuevo pre y post procesador para un controlador CNC que no sea compatible con SolidCAM.

La herramienta GPPTOOL proporciona tres tipos de post-procesadores que son:

1. Post-procesador definido por el usuario: en este tipo de post-procesador son necesarios dos archivos como entrada para GPPTool los cuales son:

-machine.mac.- este archivo configura todos los parámetros del pre-procesador que tienen que ver con la trayectoria de la herramienta.

-machine-gpp.- Aquí se define los parámetros del post-procesador y los procedimientos GPPL que configuran la trayectoria de la herramienta generada por SolidCAM para convertirla en código G el cual es útil en un controlador CNC específico.

2. Post-procesador interno: En este post-procesador solo el archivo "machine.mac" está bajo el control del usuario. El archivo "machine.gpp" es codificado por SolidCAM y no puede ser editado.

La diferencia de estos dos post-procesadores es que el post-procesador interno genera un código G más rápido que el post-procesador definido por el usuario.

3. Doc-procesador definido por el usuario: En el procesador de documentos son necesarios dos archivos los cuales pueden ser generados y editados por cualquier editor de texto, estos son:

-machine.mac.- Configura los parámetros del procesador de documentos que sirven para la salida de la documentación generada por SolidCAM.

-machine.dpp.- Define los parámetros del post-procesador y los procedimientos GPPL que configuran la documentación generada por SolidCAM para el controlador CNC específico.

Cabe mencionar que "machine" es un nombre de archivo cualquiera que puede ser configurado por el usuario [26].

1.4.6.1. Lenguaje de programación GPPL

El Lenguaje General de Post Procesador (GPPL) es aquel lenguaje de programación de alto nivel que controla la generación de archivos de código G a partir del lenguaje interno de SolidCAM [26].

Variables:

Las variables GPPL deben estar sujetas a las siguientes reglas:

- El primer carácter debe ser una letra.
- Los demás caracteres pueden ser una letra, un dígito o ‘ ’.
- El nombre de la variable no debe exceder los 27 caracteres.

Note que el lenguaje de programación GPPL no distingue entre letras mayúsculas o minúsculas. Además, cada variable tiene asociada dos atributos dentro de la misma. Estos son definidos y actualizados por GPPL, pero el usuario puede cambiarlos directamente. Estos son:

1. Change attribute. Se configura en VERDADERO cuando a una variable se le asigna primero un valor. La próxima vez que a la variable se le asigna un valor, si este es diferente del valor anterior entonces el atributo de cambio se establece en verdadero; sin embargo, si es el mismo valor previo, el atributo de cambio se establece en FALSO
2. Active attribute. Este atributo es verdadero para la mayoría de los sistemas. Este se establece en FALSO solo para variables en las cuales son opcionales ciertas condiciones. [26].

En la Tabla 1.2 se presenta los tipos de variables, constantes, expresiones y declaraciones de GPPL con su respectivo significado.

Tabla 1.2. Tipos de variables, constantes, expresiones y declaraciones en GPPL.

TIPOS	
Entero	Números enteros dentro del rango de (-999999999, +999999999)
Numérico	Cualquier número dentro del rango de (-1.E300, +1.E300).
Lógico	Pueden ser valores lógicos VERDADERO (1) o FALSO (0).

Cadena	Pueden ser cualquier secuencia de caracteres ASCII. El número de caracteres es ilimitado.
--------	---

Nota: Se indica los tipos de variables que se usa en el lenguaje GPL [26].

1.4.7. Operadores

GPL acepta tres tipos de operadores, los cuales se presentan en la Tabla 1.3 y son: interés/numéricos, lógicos y de cadena.

Tabla 1.3. Operadores de GPL

OPERADORES	
Entero / numérico	Operadores aritméticos básicos: +, -, *, /.
Lógico	1 representa VERDADERO y 0 representa FALSO. Pueden ser:
	and: VERDADERO si todos los operandos son verdaderos
	or: VERDADERO si alguno de los operandos es verdadero
	not: VERDADERO si este argumento es falso
	eq (or '=='): VERDADERO si ambos operandos son iguales
	ne (or '<>'): VERDADERO si ambos operandos son diferentes
	le (or '<='): VERDADERO si el primer operador es menor o igual que el segundo
	lt (or '<')_ VERDADERO si el primer operador es menor que el segundo.
	ge (or '>='): VERDADERO si el primer operador es mayor o igual que el segundo
gt (or '>'): VERDADERO si el primer operador es mayor que el segundo.	
Cadena	Concatenación de cadena (concatenación es la operación de agregar una cadena al final de otra para formar una nueva, más larga).

Nota: Se indica los tipos de variables con sus tipos de operadores en GPL [26].

1.4.8. Declaraciones

Una declaración es una sentencia que permite introducir un nombre en la unidad de compilación. A partir de esto, el compilador reconoce que representa esta sentencia. Existen varios tipos de declaraciones presentadas en la Tabla 1.4 y se describen a continuación:

- Declaración global: Es aquella que ya es conocida y puede ser usada en cualquier procedimiento. Su valor asignado previamente se mantiene hasta que se asigna uno nuevo.
- Declaración local: Es aquella que ya es conocida y puede ser usada únicamente en procedimientos en los cuales está declarada. Cada vez que inicia el procedimiento, la variable comienza con un valor de 0.
- De asignación: Son usadas para asignar un valor a cualquier variable GPPL. En el formato '`<num var>=<num exp>`' la expresión a la derecha del signo igual es la evaluada y se convierte en el tipo de variable del lado izquierdo del igual.
- De asignación de atributos: Estas establecen el cambio/activo de cualquier variable. En el formato `change ó active (<var>)= <logical exp>`, la expresión de la derecha es la evaluada y debe generar un valor 1 ó 0 (VERDADERO o FALSO).
- Condicional: La condición es evaluada y se convierte en tipo lógico. Si el resultado es VERDADERO (toma un valor de 1) solo la declaración entre el 'then' y el 'endif' o entre el 'then' y el 'else' son ejecutados. De lo contrario, ninguna declaración es ejecutada o solo se ejecutan las declaraciones entre 'else' y 'endif'.
- Llamada de procedimiento: Suspende la ejecución regular del programa, ejecuta la declaración en el procedimiento '@<proc name>', luego regresa a su ejecución normal.
- Definición de procedimiento: La definición de procedimiento consta de tres partes:
 - Nombre del procedimiento.
 - Cuerpo de procedimiento.
 - Fin del procedimiento.

- Comentario: Todo texto después de ‘;’ hasta el final de la línea es considerado como comentario.
- Generación de código G: La declaración de generación es usada para generar el código G. Todos los elementos de la declaración son evaluados y convertidos en un archivo de código G. Cada elemento puede ser:
 - Una variable de cualquier tipo (`{xpos}`).
 - Una expresión de cualquier tipo y debería aparecer entre paréntesis. (`{(2*xpos)}`) [26].

Tabla 1.4. Tipos de declaraciones con su respectivo formato.

DECLARACIONES	FORMATO
Global	<code><type>, <var1>, <var2></code>
Local	<code><type>, <var1>, <var2></code>
Declaración de asignación	<code><num var>= <num exp</code>
	<code><str var> = <str exp></code>
Declaraciones de asignación de atributos.	<code>change (<var>)= <logical exp></code>
	<code>active(<var>)= <logical exp></code>
Condicional	<code>if <cond> entonces declaraciones endif</code>
	<code>if <cond> entonces declaraciones else declaraciones endif</code>
Llamada de procedimiento	<code>llamar @<proc name></code>
Definición de procedimiento	<code>@<proc name></code>
Comentario	<code>; texto</code>
Generación de Código G	<code><item1>, <item2></code>

Nota: Se presenta el formato al realizar las diferentes declaraciones en la programación [26].

1.4.9. Sistemas de variables Gpptool

Existen tres tipos de sistemas de variables que están disponibles y pueden ser usadas en procedimientos GPPL, las cuales definen como son traducidos cada comando de tool-path de SolidCAM a código G. Estas son:

- Variables que son definidas en SolidCAM y pasan a GPptool como las presentadas en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Variables definidas en SolidCAM, significado y tipo

VARIABLE	SIGNIFICADO	TIPO
gcode	El número del último código G desarrollado	entero
mcode	El número del último código M desarrollado	entero
rotated	VERDADERO si el trabajo actual es rotado	lógico
mirrored	VERDADERO si el trabajo actual es reflejado	lógico
prev_comand	El nombre del comando tool-path de SolidCAM que fue ejecutado previamente.	cadena
current_comand	El nombre del comando tool-path de SolidCAM que está siendo ejecutado.	cadena
next_comand	El nombre del comando tool-path de SolidCAM que va a ser ejecutado.	cadena
first_user_proc	Número del primer procedimiento de código G definido por el usuario	entero

Nota: Se presenta las variables definidas en SolidCAM con el tipo de cada una de las variables [26].

- Variables que son definidas en el comienzo del archivo [machine.gpp] y están descritas en la Tabla 1.6 y Tabla 1.7.

Tabla 1.6. Formatos de código G

FORMATO	SIGNIFICADO	TIPO
remove_blanks	if es VERDADERO, todos los blanks (espacios) son eliminados del archivo de código G generado. Lo cual conduce a un archivo de código G optimizado.	lógico
gcode_space	Si es VERDADERO, el campo G que se omitió debido a la modalidad, se llena con espacios para mantener el campo en una columna fija.	lógico
gcode_f	Formato de visualización para el campo G.	cadena
mcode_f	Formato de visualización para el campo M.	cadena
numeric_def_f	Formato de visualización por defecto para valores numéricos.	cadena
integer_def_f	Formato de visualización por defecto para valores enteros	cadena

xpos_f	Formato de visualización para valores de posición en X.	cadena
ypos_f	Formato de visualización para valores de posición en Y.	cadena
zpos_f	Formato de visualización para valores de posición en Z.	cadena
apos_f	Formato de visualización para valores de ángulo para el cuarto eje.	cadena
feed_f	Formato de visualización para el campo de alimentación.	cadena
end_block_text	Cadena agregada al final de cada bloque.	cadena

Nota: Se muestra los diferentes formatos de código G con su significado y el tipo de variables [26].

Tabla 1.7. Variable de número de bloque

BLOQUE	SIGNIFICADO	TIPO
blknum_letter	El carácter usado para el campo de numeración (usualmente es la letra 'N').	cadena
blknum_exist	Decide si el código G de la máquina puede tener una numeración de bloque o no.	lógico
blknum_gen	Decide si se generará la numeración de bloques (para que se lleve a cabo tanto 'blknum_exist' como 'blknum_gen' son verdaderos).	lógico
blknum_f	Formato de visualización para el campo de numeración de bloque.	cadena
blknum_delta	Diferencia entre la numeración de dos bloques consecutivos.	entero
blknum	Valor inicial: número del primer bloque. Durante la ejecución del programa GPP, esta variable contiene el número del siguiente bloque a ser generado.	entero
blknum_max	Número de bloque máximo permitido.	entero

skipline	Decide si se genera o no una nueva línea al comienzo del siguiente bloque. Funciona si el siguiente bloque comienza con el comando 'nb' y no con el comando 'nl'.	lógico
num_user_procs	Número de procedimientos de usuario en el código G. Se define en '@end_of_file'.	entero

Nota: Se muestra las diferentes variables de número de bloque con su significado y el tipo de variables [26].

- Variables que tienen un valor especial y no se les puede asignar un valor nuevo y están descritas en la Tabla 1.8.

Tabla 1.8. Variables que tienen valores especiales

VARIABLE	SIGNIFICADO	TIPO
PI	Valor de la constante matemática pi. Valor: 3.1415926535 (15 dígitos)	numeric
FALSE (FALSO)	Valor lógico de una condición falsa.	logical
TRUE (VERDADERO)	Valor lógico de una condición verdadera.	logical

Nota: Se indica las diferentes variables que tienen valores especiales con su significado y el tipo de variables [26].

1.4.10. Comandos tool-path de SolidCam

Son comandos tool-path internos de SolidCAM y todos los tool-path calculados se guardan en este lenguaje. Cuando se requiere la generación de código G, el archivo de comandos tool-path guardado se convierte en un archivo de código G acorde con los archivos MACHINE.MAC y MACHINE.GPP [26].

Cada comando tool-path tiene parámetros con valores asignados por SolidCAM. La lista de parámetros viene dada con la descripción del comando tool-path y algunos de ellos son opcionales y estos son desactivados por los controladores CNC. Por medio de un controlador CNC específico se puede verificar si un parámetro está activo o no usando la función lógica 'active' [26].

Al comenzar un procedimiento, GPPtool solo asigna valores a parámetros de ese procedimiento. No cambia a otro sistema de variables global o parámetros de otros procedimientos y mantienen su mismo valor. Debido a esto, se puede usar todos los parámetros de un procedimiento ejecutado previamente en el procedimiento que se esté ejecutando actualmente [26].

1.5. Elementos de un post procesador

El uso de un post-procesador debe ser específico ya que depende de la máquina CNC que se tenga. Esto se debe a la variedad de máquinas CNC e incluso depende del tipo de fabricante.

En la Figura 1.22, se presentan los elementos de un post procesador que se deben tomar en cuenta para el diseño de este, los cuales definen su complejidad.

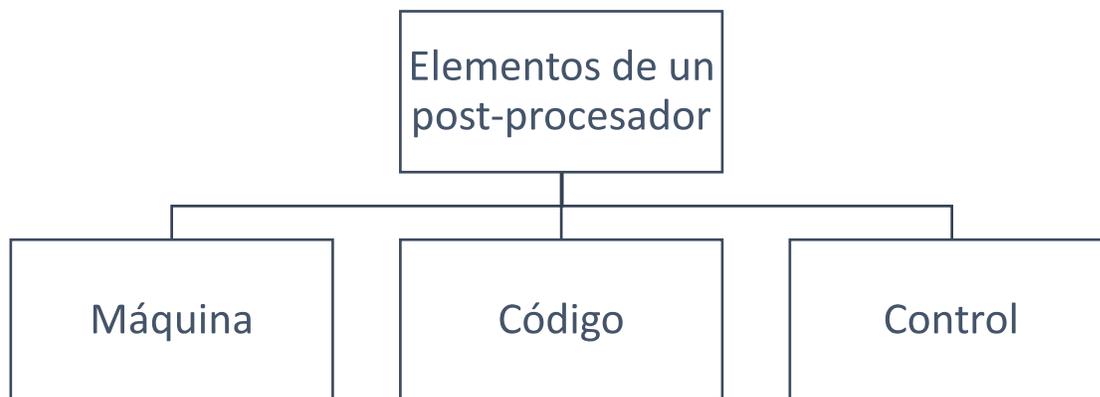


Figura 1.22. Elementos de un post-procesador para su respectivo diseño [Fuente: Propia].

1.5.1. Máquina

Uno de los desafíos en el diseño de post-procesadores es determinar los parámetros propios de la máquina como son posiciones para cambios de herramientas o cuando la herramienta va de una posición a otra. Además, aquí se configuran características de la máquina como horizontal o vertical e incluso el número de ejes que la conforman.

El número de ejes que presenta la máquina es vital en la complejidad del post-procesador (dos, tres, cuatro o cinco ejes), ya que los resultados obtenidos con una máquina que presente el mayor número de ejes son extraordinarios y

complejos. En la Figura 1.23 se muestra un centro de mecanizado con cuatro ejes.

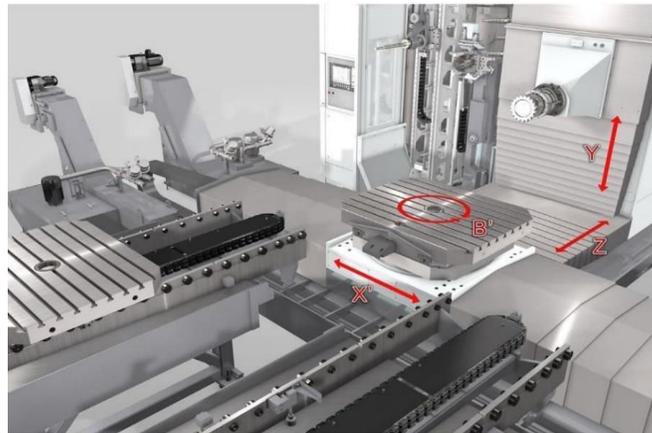


Figura 1.23. Centro de mecanizado de cuatro ejes [23].

1.5.2. Control

El control en el diseño de post-procesadores corresponde a configuraciones de parámetros que dependen de cada fabricante del controlador de la máquina. Estos tratan de la generación de arcos (G02 y G03), tipo de EOB (end of block), subprogramas y si la máquina permite ciclos enlazados.

En el control se visualiza la razón por la cual el post-procesador debe ser exclusivo para la máquina que se tenga ya que, a pesar de que el código generado es de tipo estándar (código G o código ISO), cada fabricante posee su propia manera de configurar los parámetros previamente mencionados, un ejemplo se presenta en la Figura 1.24.

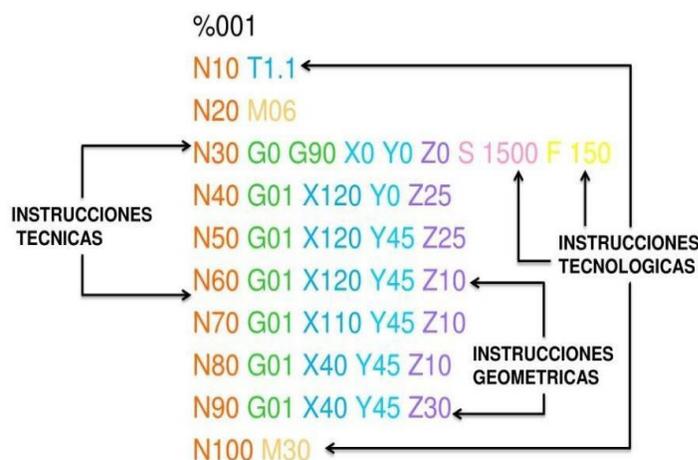


Figura 1.24. Control de un post-procesador [24].

1.5.3. Código

En el código es donde se configura la estructura del programa, encabezados, cambios de herramientas, movimientos lineales, rápidos, interpolaciones lineales y circulares como en la Figura 1.25.

La estructura del código generado debe seguir una secuencia lógica, lo cual le permite conectar las estrategias de mecanizado entre el software CAM y la máquina-herramienta.

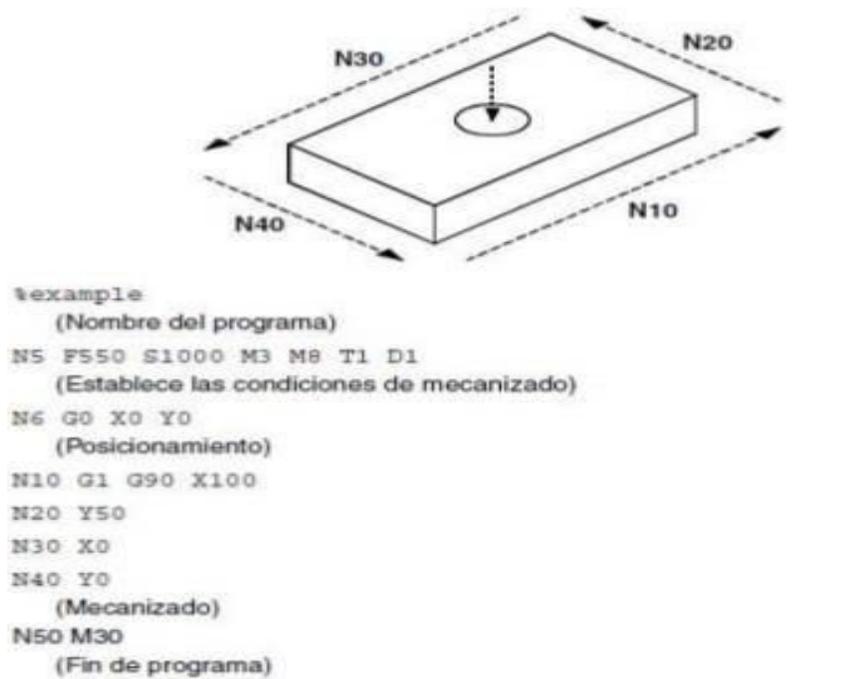


Figura 1.25. Código de un post-procesador [25].

1.6. Estructura de un post procesador

El post-procesador transforma la configuración y datos ingresados en el software CAD/CAM para el mecanizado en un archivo formato ISO dependiente del CN de la máquina herramienta. Es por tal razón que su estructura debe seguir la misma lógica que un programa de mecanizado en código G dependiente de la máquina.

A continuación, en la Figura 1.26 se muestra la estructura lógica de un post-procesador.

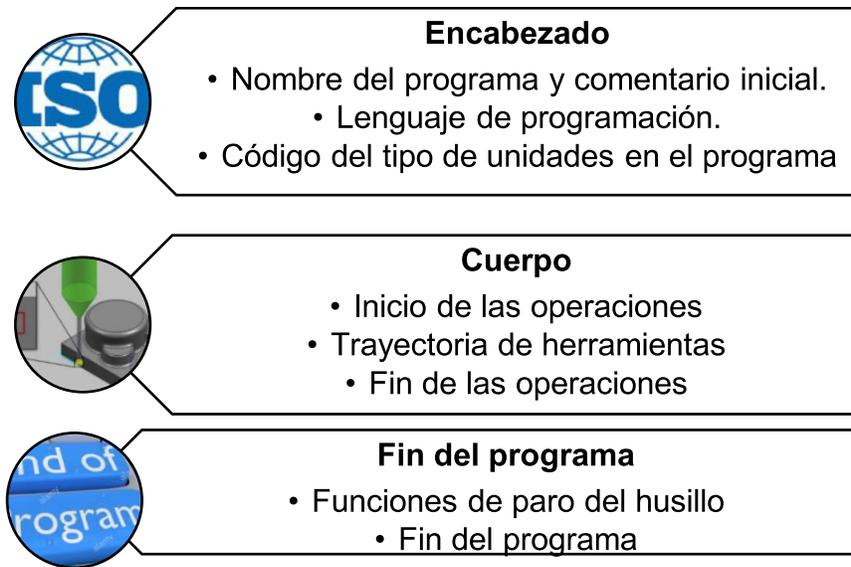


Figura 1.26. Estructura de un Post-Procesador [Fuente: Propia].

1.6.1. Encabezado

El encabezado es la secuencia inicial de todo programa y es en esta parte donde se coloca el nombre del programa, se puede colocar algún comentario previo al inicio del mecanizado, se establecen el tipo de lenguaje de programación y los códigos necesarios para determinar el sistema de unidades y de coordenadas, la velocidad de avance de la herramienta y por seguridad se activa la cancelación de compensación de herramienta que haya sido activa en un mecanizado previo.

1.6.2. Cuerpo

En el cuerpo del programa, el post-procesador debe interpretar todas las estrategias de mecanizado configuradas en el software y transformarla en estrategias que la máquina pueda ejecutar. El post-procesador debe asegurar que se cumplan dichos requerimientos en el inicio de las operaciones, en la trayectoria de las herramientas y en el fin de las operaciones. Esta parte de la estructura es muy importante ya que dependiendo de dicho proceso es que se asegura la efectividad del programa en la pieza obtenida.

En el inicio de la operación se coloca el nombre con el que se va a ejecutar, se definen los planos de trabajo de la herramienta y pieza, con que herramienta se va a trabajar y su respectiva compensación.

La trayectoria de la herramienta se debe asegurar que los movimientos de la cuchilla en las diferentes posiciones sean acordes con lo configurado en el CAM, así como la velocidad de avance y de corte ya que, dependiendo de esto se define el tipo de mecanizado que se le realizará a la pieza en bruto.

Respecto al fin de las operaciones, en esta parte de la estructura el post-procesador debe entender, de acuerdo con el CAM previamente configurado, las instrucciones de desactivación del sistema de refrigeración y retorno de los ejes a la posición del cero máquina.

1.6.3. Fin del programa

En el final del programa, se debe generar en el post-procesador las instrucciones necesarias para detener el movimiento del husillo y establecer el final del programa o algún otro comentario que el usuario considere necesario.

1.7. Centroid Rotary Table modelo RT-150

La mesa giratoria modelo RT-150 como la presentada en la Figura 1.27, está ensamblada con piezas de calidad y con un servomotor de precisión. Al contar con un disco de apriete uniformemente disperso garantiza un mecanizado de precisión sin deflexión bajo una carga pesada. La mesa giratoria o llamado técnicamente como cuarto eje permite realizar trabajos en el eje rotativo A. La mesa giratoria modelo RT-150 es un complemento del centro de mecanizado la cual permite realizar piezas que cuentan con mayores detalles y que anteriormente no se podía realizar con tan solo los tres ejes [28].



Figura 1.27. Centroid Rotary Table RT-150 [28].

1.7.1. Especificaciones técnicas de Rotary Table modelo RT-150.

Las características y especificaciones técnicas de Rotary Table modelo RT-150 se presentan en la Tabla 1.9, donde se detallan dimensiones, propiedades del equipo y capacidades de carga máxima que tiene el cuarto eje.

Tabla 1.9. Especificaciones Técnicas de Rotary Table RT-150

Modelo		RT-150		
Diámetro de mesa [mm]		150		
Sobre toda la tapa en vertical (sin tapa de motor) [mm]		240		
Altura del centro en vertical [mm]		135		
Altura de la mesa en horizontal [mm]		165		
Diámetro del orificio pasante [mm]		35		
Ancho de la ranura en T [mm]		12		
Ancho del bloque guía [mm]		18		
Tipo de Servomotor		MODEL	MAX. R.P.M.	RELACIÓN DE TRANSMISIÓN
	Centroid	17 in/lb DC	22,2	90 -1
	Centroid	35 in/lb DC	35,8	90 -1
Incremento mínimo [grados]		0,001°		
Abrazadera de recurso de presión [kg/cm2]		Neumática 5kg/cm2		
Par de Apriete [kgf.m]		25		
Máxima capacidad de carga Horizontal [kgs]		150		
Máxima capacidad de carga Vertical [kgs]		75		
Máxima inercia de trabajo [kg.cm.sec2]		4.08		
Par de accionamiento del husillo [kg.m]		9		
Máxima fuerza de mecanizado [kgf.m]		23		
Repetibilidad [seg]		± 2"		
Precisión de Indexación [seg]		A	25"	
N.W. [kgs]		70		

Nota: Indica todas las características del cuarto eje o Rotary Table, como máximas cargas y dimensiones [28].

1.7.2. Características externas de Rotary Table, modelo RT-150

En la Figura 1.28, se detallan los principales componentes del cuarto eje del centro de mecanizado.

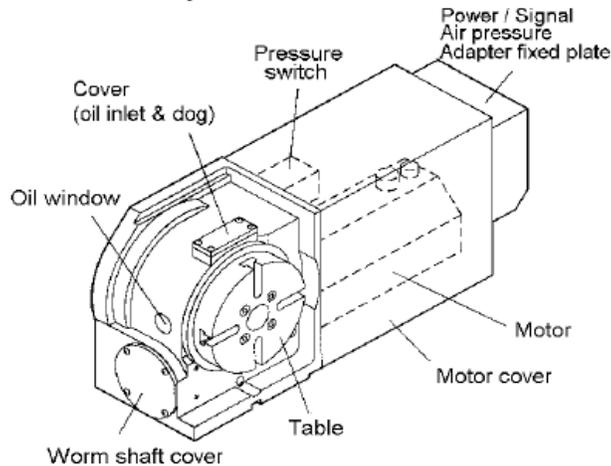


Figura 1.28. Partes de Centroid Rotary Table RT-150 [28].

1.7.3. Dimensiones externas de Rotary Table, modelo RT-150

Las dimensiones del equipo Rotary Table, modelo RT-150 se muestran en la Figura 1.29, detallando en un plano de vistas frontal, superior y lateral cada una de sus dimensiones.

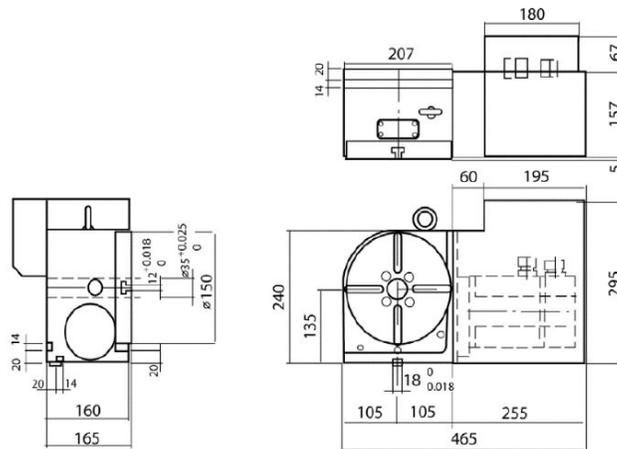


Figura 1.29. Dimensiones externas de Rotary Table RT-150 [28].

1.7.4. Mantenimiento

Los modos de fallas, causas y posibles soluciones que puede presentar el cuarto eje se especifican en la Tabla 1.10 y 1.11, en donde también se presentan recomendaciones de lo que se debe verificar o comprobar antes de que el equipo entre en funcionamiento.

Tabla 1.10. Modos de falla del motor de Rotary Table Rt-150

	Fenómeno	Posible razón	Verificar	Solución	Referencia
1	Mesa sin girar				
	Sin rotación de motor	Fallo del motor, cable empapado de refrigerante o cortocircuito eléctrico	Cable de conexión		Dibujo eléctrico
	Con rotación de motor	Engranaje aflojado	Caja de cambios	Reensamblaje	Ajuste del juego de engranajes
2	La rotación no es suave o hay ruido excesivo	Sobrecarga	Peso del accesorio y la pieza de trabajo	Reducir la carga	Capacidad de carga y datos de par
		Posición incorrecta del aparato	Carga del motor	Volver a montar el accesorio	
		Fallo de equipo	Motor de baja velocidad	Reensamblaje	Ajuste del juego de engranajes
		Conjunto de parámetros del motor	Montaje de engranajes	Reemplazar aceite	Manual del sistema de control
		Lubricación	Reacción del engranaje	Reemplazar engranaje	Mantenimiento y lubricación
		Eje helicoidal o engranaje impulsor	Conducción giratoria del motor		
		Parámetro incorrecto	Nivel de lubricante Interruptor de tubo y freno		
3	Alta corriente		Tubo de aire	Reducir la carga	Capacidad de carga y datos de par
		Freno o liberación	Fallo de solenoide	Modificar parámetro	Lista de parámetros
		Sobrecarga	Compruebe la función del solenoide		
		Parámetro incorrecto	Peso del accesorio y la pieza de trabajo	Reducir el aceite	Mantenimiento y lubricación
		Aceite demasiado lleno	Ajuste de parámetros		
4	Posición de índice incorrecta				
	Posición inexacta	Llevaba rueda helicoidal	Reacción del engranaje helicoidal	Ajustar la reacción	Ajuste del juego del engranaje helicoidal
	Mínimo o daño del cuerpo	Superficie dañada por accidente		Quitar borde	

	Sacudidas de mesa				
5	Al cortar con abrazadera	Fuerza lateral Freno aflojado Baja presión	Condición de corte Dispositivo de sujeción y sensor de sujeción	Condición de corte correcta Reducir la carga de corte	Tabla de velocidad de corte de mesa giratoria CNC Especificación
	Al cortar en hélice	Juego flojo del engranaje helicoidal Juego de engranajes suelto Cojinete de tornillo sin fin suelto	Reacción del engranaje helicoidal Juego del engranaje del motor Tuerca de tornillo sin fin	Ajustar la presión Ajustar la reacción Tuerca de tornillo sin fin apretada	Ajuste del juego del engranaje helicoidal Ajuste del juego de engranajes Ajuste del juego del engranaje helicoidal
	Fallo de la función de freno				
6	Abrazadera falla	Baja presión Junta tórica desgastada Sello gastado	Regulador de presión de aire Junta tórica	Reemplace la junta tórica Reemplazar sello	
	Sin señal de freno	Interruptor de presión Pistón atascado Cable de freno El tiempo de retraso es demasiado largo	Sello de pistón Función de presión Presión inferior a 71 psi Junta tórica y sello Cable de señal	Reemplace el interruptor de presión Ajustar la presión Reemplace la junta tórica o el sello Reconexión Restablecer parámetro	
	Retardo de señal	Línea de aire atascada Pistón atascado Cilindro de óxido Fuga de aire	Parámetro Línea de aire Pistón y cilindro Filtro y regulador de aire Verifique la línea de aire	Línea de aire limpio Limpiar pistón y cilindro Rellenar aceite Reemplazar línea o junta	
	Retorno cero				
7	Mesa sin rotación	Señal falla Fallo del interruptor de límite	Cable de señal Límite de cambio	Reconexión	

Rotación sin parar	Falla persistente		Reemplace el interruptor de límite	
Error de posición	Señal falla Falla persistente	Persistente retorno a cero	Ajuste persistente de retorno a cero	

Nota: Se detalla los fenómenos, la posible razón, que verificar, la solución de algún percance que puede darse en algún momento [28].

Tabla 1.11. Recomendaciones para operar Rotary Table RT-150

Método Incorrecto	Precaución
Rotary sin asegurar	Consulte el capítulo de instalación para asegurar la mesa giratoria en la máquina.
Método de corte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compruebe que las herramientas de corte estén afiladas antes de usarlas. 2. Evite la interferencia de herramientas y piezas de trabajo. 3. Asegúrese de que la pieza esté sujeta de forma segura a la mesa giratoria. 4. La tolerancia de altura entre la mesa y el contrapunto es inferior a 0,03 5. Evite la fuerza de corte superior al valor sugerido. 6. Regrese al punto cero antes de trabajar. 7. El parámetro de juego debe establecerse en el valor adecuado, si es necesario.
Estrellamiento	<p>La máquina accidentada puede causar daños a las piezas, índice inexacto o ruido durante la indexación.</p> <p>Recomendamos que envíe la mesa de regreso a Centroid para su reparación si se estrella</p>

Nota: Se define las dificultades que pueden surgir al mecanizar y las debidas precauciones a tener [28].

1.7.5. Instalación

Antes de ubicar la mesa giratoria tener en cuenta limpiar la mesa de la máquina, conectar el conector, el conducto MS y la línea de aire, alinear la mesa con la máquina y sujetarlas entre ellas como se muestra en la Figura 1.30, y finalmente asegurarse que el cuarto eje este encendido [28].

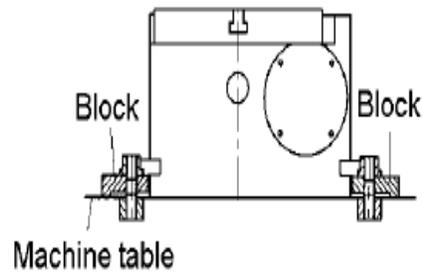


Figura 1.30. Montaje de Rotary Table RT-150 [28].

Se debe tener en cuenta que la fuerza de sujeción es impulsada por el aire por lo tanto es de vital importancia la instalación del filtro, el regulador y la lubricación lo más cerca posible al equipo neumático y con ello se logra proteger al equipo del óxido. Se debe mantener la presión neumática entre 57-85 [psi], si la presión es menor la precisión de sujeción se reducirá [28].

1.7.6. Lubricación en Rotary Table RT-150

- Funcionamiento normal: cambie el lubricante cada seis meses.
- Funcionamiento continuo: cambie el lubricante cada tres meses.
- Si la máquina está inactiva durante más de seis meses, cambie el aceite lubricante antes de usarla [28].

1.8. Contrapunto manual ADJ. TAILSTOCK ATS-2

El contrapunto, es uno de los componentes importantes en un centro de mecanizado de cuatro ejes, ya que permite el mecanizado de ejes de ejes cuya longitud requiera de un soporte para brindarle una mayor estabilidad al mecanizar. En la Figura 1.31, se presenta una imagen del contrapunto manual ADJ. TAILSTOCK ATS-2 del centro de mecanizado del Laboratorio de Máquinas y Herramientas.



Figura 1.31. Contrapunto manual ADJ. TAILSTOCK ATS-2 [28].

- Girar la manija de bloqueo en sentido antihorario para liberar el pistón.
- Girar la manija de bloqueo en sentido horario para bloquear el pistón.
- Para avanzar el pistón, girar el volante a la derecha.
- Para retroceder el pistón, girar el volante a la izquierda [28].

En la Figura 1.32, se muestran las principales partes del contra punto manual ADJ. TAILSTOCK ATS-2.

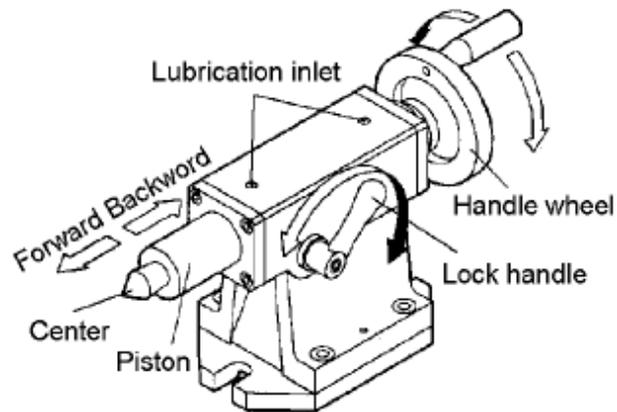


Figura 1.32. Partes de contrapunto manual ADJ. TAILSTOCK ATS-2 [28].

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para cumplir los objetivos de este trabajo de titulación consiste en la programación de un post-procesador que es la combinación de dos archivos cuyas extensiones son .gpp y .vmid. Estos archivos van de la mano para su correcto funcionamiento, contemplando las especificaciones del controlador del centro de mecanizado. En su respectiva programación se trabaja con varios tipos de variables y se realiza varias configuraciones, las cuales se detallarán en los siguientes puntos.

2.1. Programación del post-procesador para el cuarto eje del centro de mecanizado VIWA VCM3M400

La habilitación y puesta punto del cuarto eje del centro de mecanizado consta de la programación de un archivo .gpp denominado “CENTROID_M400AC20.gpp” correspondiente al post-procesador, que es el encargado de la generación del código G mediante el software SolidCAM, y del desarrollo de un archivo .vmid denominado “CENTROID_M400AC20.vmid” cuya función es definir los parámetros del centro de mecanizado tales como las dimensiones de la mesa de trabajo, velocidades límites de la máquina, ciclos de mecanizado, entre otras.

2.1.1. Programación del archivo CENTROID_M400AC20.gpp

El software SolidCAM utiliza archivos de post-procesador cuya extensión es .gpp, para el caso del centro de mecanizado marca VIWA VCMT3M400 el cual ya incorpora sus 4 ejes simultáneos se llamará CENTROID_M400AC20.gpp. El objetivo de este archivo es generar un documento de texto que pueda ser compilado por el controlador del equipo, en el que se establece las trayectorias de herramientas en código G, las definiciones de los ciclos de mecanizado, el control de encendido y apagado del refrigerante, el sentido de giro del husillo y del cuarto eje.

La programación del archivo gpp inicia con la declaración de variables en la sección @init_post, las mismas que pueden ser lógicas, enteras, numéricas y de caracteres. Además, se establece los formatos de visualización predeterminados para variables numéricas, enteras y de posicionamiento en sus cuatro ejes. En esta sección se establece el llamado a los procedimientos

“@usr_ip_useroptions” y “@usr_ip_postwriteoptions”, que se encargan de suspender la ejecución regular del programa y ejecuta las declaraciones de dicho procedimiento. A continuación, se detalla las variables globales incrementadas para el funcionamiento del cuarto eje.

En el procedimiento @usr_ip_useroptions se configura las opciones para los usuarios finales como cambios de herramienta, encabezado y fin del programa, movimientos de los ejes, compensación en el área de trabajo, ciclo de perforación, opciones de refrigerante, sentido de giro del husillo, número de líneas y de bloques, compensación de corte, configuración visual para la separación de código G, opciones misceláneas. En este procedimiento también se establece configuraciones correspondientes al cuarto eje como el sentido de giro positivo y negativo, el carácter de visualización, control de posición de rotación y el control para las operaciones de indexado y simultaneo [26].

En la sección @start_of_file se realiza el llamado de los procedimientos mencionados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Procedimientos usados en @start_of_file

PROCEDIMIENTOS	SIGNIFICADO
@usr_campart_path	Usa funciones de caracteres para obtener la ruta en la carpeta de Windows a la parte CAM.
@usr_init_gmstates	Manejo de códigos G y M para el correcto funcionamiento desde el inicio del archivo.
@usr_sof_character	Genera un carácter al inicio del archivo “%”.
@usr_sof_progrname	Maneja número y nombre del programa.
@usr_sof_commentsbeforecodes	Control de comentarios codificados. (Antes de códigos G y M).
@usr_sof_commentsaftercodes	Control de comentarios codificados o definidos por el usuario. (Después de códigos G y M).

Nota: Se detallan los procedimientos usados en el apartado de @start_of_file [26].

Los códigos G/M de seguridad y el sistema de unidades (mm o inch) que se generan en el encabezado del programa se los define en el procedimiento @start_program. En esta sección se realiza el llamado a los procedimientos presentados en la Tabla 2.2. Además, se establece la programación para el retorno del eje z a su referencia inicial con un movimiento rápido y cancelando la compensación longitudinal [26].

Tabla 2.2. Procedimientos usados en @start_program

@usr_abs_inc_output	Se establece el modo de posicionamiento absoluto o incremental (G90 o G91).
@usr_mp_output	Se establece el plano de interpolación circular en el cual se está trabajando (G17-G18-G19).
@compensation	Se definen los valores de las variables que permiten generar el código G para la compensación por izquierda, derecha y cancelación de la misma.
@usr_compensation_output	En este procedimiento se establece la programación para que en el archivo de salida de código G genere el G40, G41 o G42 que corresponden a la cancelación de la compensación, compensación por izquierda y compensación por derecha respectivamente.
@end_drill	Procedimiento para cancelar cada ciclo de perforación (G80).
@usr_arc	Los movimientos con interpolación circular de los ejes se establecen en este procedimiento de acuerdo con el sentido de giro, se puede generar G02 (interpolación circular en sentido

	horario) o G03 (interpolación circular en sentido antihorario).
@end_program	Es el encargado de detener el husillo, apagar el refrigerante, establecer la posición de los ejes a las coordenadas del cero máquina en el final del programa.
@usr_coolant_output	Definición de la variable de refrigerante de salida. Se genera el código M09 para apagar el refrigerante.
@usr_spindle_mcode_output	Definición para generar el código M correspondiente al husillo. En este caso se usa el M05 para detener el giro del husillo.
@usr_ct	Es el encargado de definir las variables que permiten realizar un cambio de herramienta. A continuación, se detalla los procedimientos llamados.
@usr_ct_before_notfirsttool	Manejo de salida antes del siguiente cambio de herramienta
@usr_ct_toolchange	Genera un código G/M cuando se da un cambio de herramienta en el archivo.
@usr_ct_after	Muestra en el archivo .NC el nombre de la operación a realizar.
@usr_r1pos_calc	Realiza los cálculos para definir los valores correspondientes a la variable de posicionamiento del cuarto eje en base a las operaciones realizadas en SolidCAM.

@usr_4x_index	En este procedimiento se establece la programación necesaria para que el cuarto eje funcione como indexador y la máquina pueda generar mecanizados en varias partes de la pieza. Además, permite trabajar a configuraciones distintas o alrededor de un centro de rotación en la materia prima, calculando los ángulos para que pueda ser utilizado en las distintas operaciones del SolidCAM.
---------------	--

Nota: Se detallan los procedimientos usados en el apartado de @start_program [26].

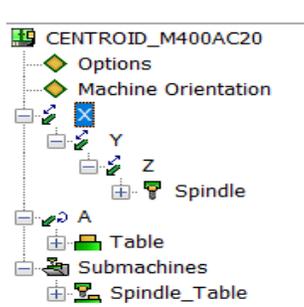
2.1.2. Desarrollo del archivo CENTROID_M400AC20.vmid

El archivo CENTROID_M400AC20.vmid es el editor que permite la definición de la máquina, controlador, parámetros definidos por el usuario y estilos de trabajo. Además, trabaja en conjunto con el post-procesador para generar un archivo .NC compatible con el equipo en cuanto se refiere a operaciones, número de ejes, dimensiones de la mesa de trabajo y velocidades límites tanto en desplazamientos y giros.

2.2. Definición de la máquina

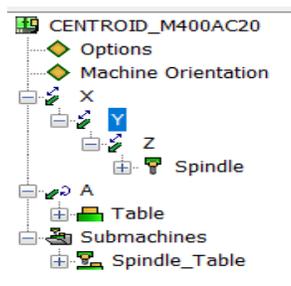
En esta sección del archivo CENTROID_M400AC20.vmid se define el tipo de operación que ejecuta la máquina, para el caso del centro de mecanizado se escoge la opción "MILLING" y se selecciona el post procesador "CENTROID_M400AC20.gpp". A continuación, en Options es posible activar varias aplicaciones de carácter utilitario como lo son el refrigerante, la luz y las paradas opcionales de la máquina; sin embargo, estas opciones se mantienen desactivadas ya que a través del SolidCAM es posible activarlas acorde a las necesidades del usuario. Luego, en Machine Orientation se define los vectores para los ejes lineales (X, Y, Z).

El segundo aspecto de esta sección consiste en la definición de los ejes lineales y rotatorios. En lo que concierne en los ejes lineales (X,Y,Z) se especifica el cero máquina, carreras mínimas y máximas de desplazamiento con el cuarto eje habilitado, pasos de interpolación y velocidad de avance mínima y máxima de sus ejes como se visualiza en la Figura 2.1 (a, b y c). Para el caso específico del eje Z se agrega el husillo en el cual se establece un nombre, el número de torreta, y el tipo de torreta.



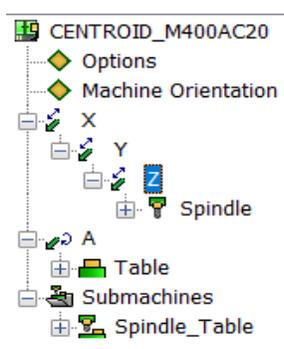
Name	Value	Units
Name	X	
Axis Type	LINEAR	
Axis Vector	(-1.000, 0.000, 0.000)	
Home Reference	225.000	
Min Limit	-475.000	(mm)
Max Limit	475.000	(mm)
Interpolation Step	0.001	(mm)
Rapid	20000.000	(mm/min)
Min Feed	0.000	(mm/min)
Max Feed	20000.000	(mm/min)

a)



Name	Value	Units
Name	Y	
Axis Type	LINEAR	
Axis Vector	(0.000, -1.000, 0.000)	
Home Reference	150.000	
Min Limit	-300.000	(mm)
Max Limit	300.000	(mm)
Interpolation Step	0.001	(mm)
Rapid	20000.000	(mm/min)
Min Feed	0.000	(mm/min)
Max Feed	20000.000	(mm/min)

b)



Name	Value	Units
Name	Z	
Axis Type	LINEAR	
Axis Vector	(0.000, 0.000, 1.000)	
Home Reference	350.000	
Min Limit	-350.000	(mm)
Max Limit	350.000	(mm)
Interpolation Step	0.001	(mm)
Rapid	8000.000	(mm/min)
Min Feed	0.000	(mm/min)
Max Feed	8000.000	(mm/min)

c)

Figura 2.1. a) Configuración del archivo .vmid para la definición del eje X,
 b) Configuración del archivo .vmid para la definición del eje Y,
 c) Configuración del archivo .vmid para la definición del eje Z [Fuente: Propia].

Por último se tiene el cuarto eje, el cual es el principal objeto de estudio y su definición consiste en proporcionarle un nombre, establecer el tipo de eje, su referencia con respecto al cero máquina, rotación mínima y máxima de giro,

pasos de interpolación y velocidad de avance mínima y máxima del eje como se visualiza en la Figura 2.2.

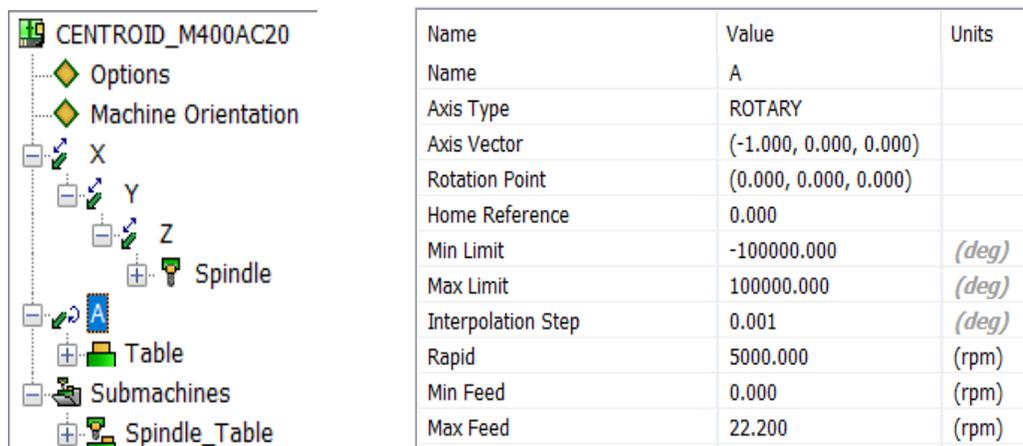


Figura 2.2. Configuración del archivo .vmid para la definición del eje rotatorio A [Fuente: Propia].

2.3. Definición del controlador

En la definición del controlador se hace referencia al tipo de sistema de coordenadas con el que trabaja la máquina para realizar sus desplazamientos, estos pueden ser coordenadas relativas o absolutas y relativas. Además, es necesario establecer la configuración del “Tilted Plane Definition” en “Use Kinematic Axes” con el fin de definir la secuencia de rotación de los ejes con los que realizará los cálculos la máquina. Por otra parte, es posible definir el número mínimo y máximo tanto de programas como de procedimientos que se desarrollarán. Luego, se debe configurar la precisión de los movimientos y giros que ejecuta el equipo con sus cuatro ejes simultáneos. Por último, se configura “Arc Execution Definition” en el que se establecen los límites para la longitud y el radio de arco ejecutados por el centro de mecanizado.

En “Milling Drill Cycles, se detalla los ciclos de operación que contiene el post procesador del centro de mecanizado en base a lo soportado por el controlador, en el cual cada uno contiene variables que son necesarias para ejecutar cada ciclo y a su vez que se genere el código G con sus parámetros especificados correctamente como se puede observar en la Figura 2.3.

Controller	GUI Name	GPP Name	Parameters ...
General	G81	G81	0
Tilted Plane Definition	G82	G82	1
Program Numbers	G84	G84	0
Precision Definition	G84_Peak	G84_Peak	3
Arc Execution Definition	G83	G83	0
Compensation Definition	G73	G73	1
Milling Drill Cycles	G85	G85	0
Probe	G89	G89	1
MCO Cycles	G74	G74	0

Figura 2.3. Ciclos de operación definidos en el archivos .vmid y en el post-procesador [Fuente: Propia].

2.4. Parámetros definidos por el usuario

Para esta sección se configura parámetros definidos por el programador, los cuales son de ayuda para una ejecución efectiva del post procesador y están clasificados en dos partes: “Machine Options”, el cual se compone de dos variables numéricas y una lógica y la parte de “Milling Misc. Parameters” compuesta por dos variables lógicas, dos de caracteres y una numérica. Estas variables llevan relación con los accesorios usados en la máquina, el paro manual del centro de mecanizado, mensajes de alerta entre otros. En la Figura 2.4, se presenta la configuración y distribución de las variables previamente mencionadas:

	Name	Value
	iWorkOffset_Method	...
	iNumber_of_Fixtures	...
	bLimit_3axis	...

a)

	GUI Name	Operation
	bStopM00	All Milling Operations
	sStopMessage	All Milling Operations
	bBrake_Off	All Milling Operations
	iG187_P	All Milling Operations
	nG187_E	All Milling Operations

b)

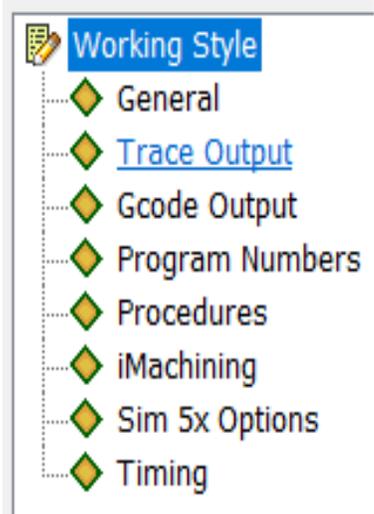
Figura 2.4. a) Variables definidas en “Machine Options”, b) Variables definidas en “Milling Misc. Parameters” [Fuente: Propia].

2.5. Estilo de trabajo

En esta sección es posible seleccionar el archivo que contiene todas las herramientas disponibles con sus respectivos parámetros acorde al catálogo del

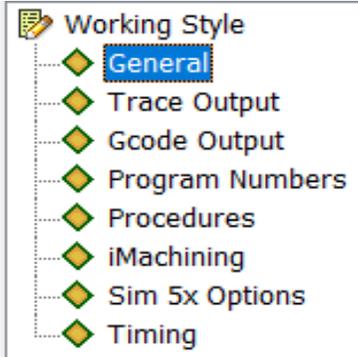
fabricante. Se establece el delta de compensación de altura que tendrá la máquina, el cual para este caso específico es cero. Además, se puede configurar un valor predeterminado correspondiente al “safety distance” que aparecerá en la definición de las operaciones en SolidCAM.

En la Figura 2.5, se indica cómo debe configurarse esta sección para el correcto funcionamiento del archivo NC generado con el centro de mecanizado.



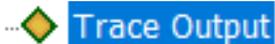
Name	Value
Pos To Machine	YES
DPP File Name	
Machine Tool Table Name	TOOLTABLEVIWAVCM3M400
Delta For Tool H	0
Home Data At Start	YES
Safety Distance	2.000
Hole Wizard (Metric)	
Hole Wizard (Inch)	
General	...
Trace Output	...
Gcode Output	...
Program Numbers	...
Procedures	...
iMachining	...
Sim 5x Options	...
Timing	...

a)



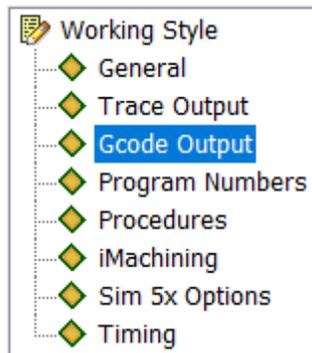
Name	Value
Compensation By Zero	NO
Compensation Rough Passes (f...	NO
Compensation Finish Passes (f...	NO
Compensation Clear Offset Pas...	NO
Arc Exist as Default (for Milling)	NO
Software Transform	NO

b)



Name	Value
Output @tool_path_info	YES

c)



Name	Value
Gcode File Extension	NC
Gcode File Name Format	Part Name
Gcode File Name Max Length	128
Gcode Folder	
Allow Spaces in Gcode File	NO
Separate Folder For Each Gcod...	NO
Separate Folder For Each CAM...	NO
Split Files Counter Separator	-
Skip Machine Limits Checking	NO

d)



Name	Value
Default Program Number	1000
Default Procedure Number	1

e)

Figura 2.5. a) Configuración de "Working Style", b) Definición de la sección "General" de "Working Style", c) Definición de "Trace Output", d) Especificación de "Gcode Output" para establecer el tipo y cantidad de programas generados, e) Definición por defecto del número [Fuente: Propia].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos son el post-procesador para el centro de mecanizado con cuatro ejes cuyo controlador es Centroid, y dos piezas mecanizadas en duralon. Estas piezas sirvieron de prueba para validar el correcto funcionamiento del centro de mecanizado en operaciones con el cuarto eje trabajando en conjunto con la máquina. Se inicia con una simulación del código G de cada pieza obtenida por el software SolidCAM, con la finalidad de comprobar que no existan posibles colisiones al mecanizar dicha pieza.

3.1. Pruebas de funcionamiento del post procesador para el centro de mecanizado marca VIWA, modelo VCM3M400.

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del post-procesador se efectuaron los diseños CAD y CAM de las piezas modelo, las mismas que corresponden a un cilindro prismático y un paso helicoidal, en las que se detalla cada una de las operaciones utilizadas que permiten obtener el archivo .NC capaz de manufacturar dichos diseños en el centro de mecanizado.

A continuación, se especifica el proceso de manufactura de las piezas modelo que validan el funcionamiento del post-procesador:

3.2. Cilindro prismático

En primer lugar, para comprobar la puesta a punto de las operaciones de mecanizado con cuatro ejes de esta máquina CNC, se realizó esta pieza que cuenta principalmente con una sección cilíndrica y una prismática de tipo hexagonal. Además, cada sección presenta diferentes operaciones tales como perforado, cilindrado, ranurado y grabado.

Como dimensiones principales de dicho cilindro-prismático, se tiene que el diámetro mayor es de 50mm, diámetro menor es de 42mm y el hexágono tiene un diámetro circunscrito de 40mm. En la Figura 3.1, se observa el modelo CAD del cilindro prismático realizado en SolidWorks.

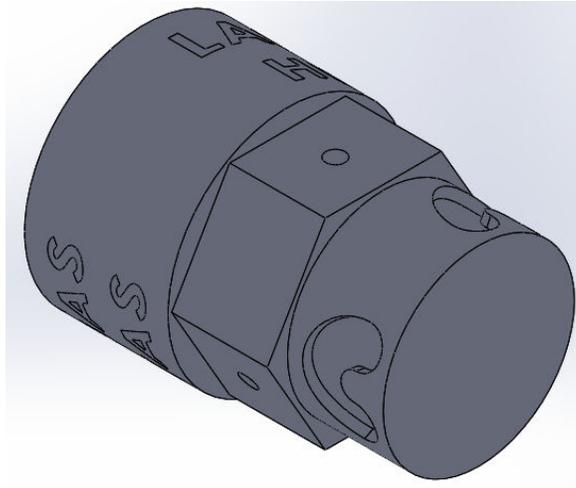


Figura 3.1. Modelo CAD del Cilindro Prismático [Fuente: Propia].

3.2.1. Desarrollo de modelo CAD

El cilindro prismático está compuesto en tres partes, la primera parte es un cilindro de diámetro de 50mm, en la cual lleva un grabado alrededor del cilindro de altura de letra de 7mm. La segunda parte se trata de un prisma hexagonal de distancia de 42mm entre caras opuestas, además este hexágono cuenta con 3 perforaciones de 4mm de diámetro y de 10 mm de profundidad, separadas entre ellas 120°. La última parte se trata de un cilindro de 40mm de diámetro con 3 ranuras alrededor del cilindro separadas entre ellas 120°. En la Figura 3.2, se puede observar dichas partes por separado con sus dimensiones principales.

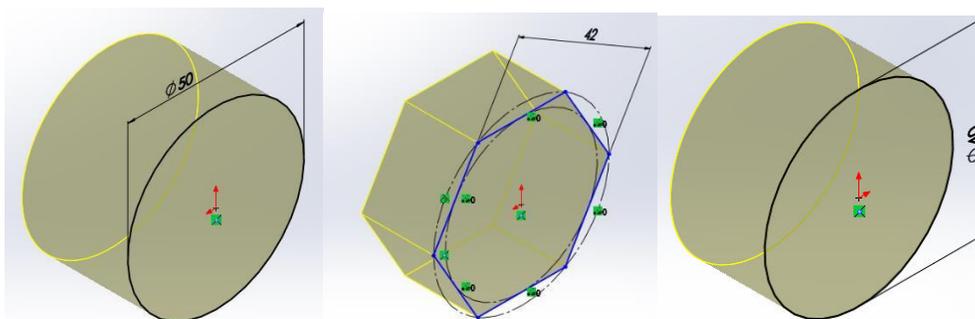


Figura 3.2. Principales croquis elaborados en SolidWorks para la obtención del modelo CAD del cilindro prismático [Fuente: Propia].

En lo que respecta a la longitud del cilindro prismático, la primera parte tiene una longitud de 30mm, la segunda parte tiene una longitud de 20mm y finalmente el cilindro pequeño cuenta con una longitud de 20mm. Finalmente, en lo que respecta a las operaciones para este cilindro, se usaron las operaciones extruir saliente, extruir corte, asistente para taladro y envolver y matriz.

3.3. Paso helicoidal

La siguiente pieza tiene como dimensiones principales un diámetro de 50mm y largo de 95mm. Además, para su manufactura se requieren procesos de mecanizado indexado y simultáneo ya que está compuesto por dos canales con un ángulo de torsión alrededor del eje de revolución. Por consiguiente, el mecanizado se lo realizó en dos partes las cuales se describen a continuación y en la Figura 3.3 se puede observar con mayor detalle.

La primera, con la operación “contour 2D”, la misma que permite mecanizar los canales del paso helicoidal con una profundidad constante y a su vez, comprobar el correcto funcionamiento del proceso de indexado del centro de mecanizado, ya que la pieza está compuesta por dos canales ubicados 180° uno respecto al otro.

Después, con la operación “4x_Rotary_model” se programa el mecanizado de la última sección; esta parte consta de profundidad variable al finalizar los canales. Con el objetivo de obtener un mejor acabado de la pieza final, esta operación se la efectúa en toda la geometría del paso helicoidal, comprobando así, la puesta a punto del proceso de mecanizado simultáneo del centro de mecanizado con sus cuatro ejes habilitados.

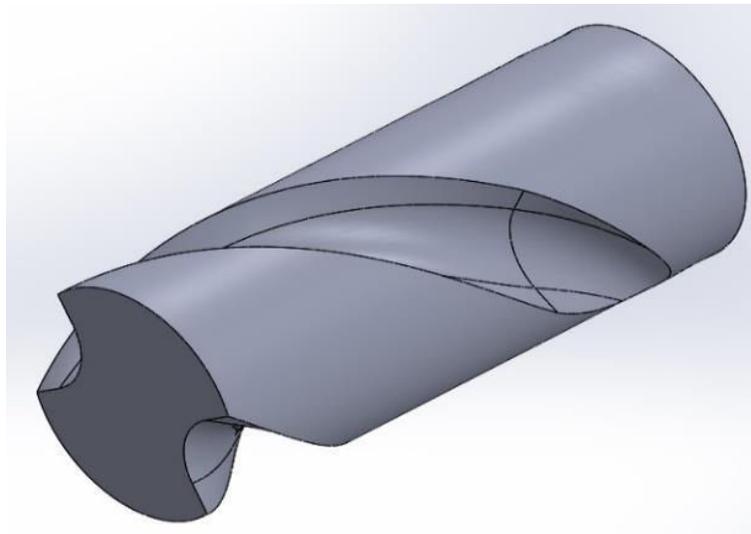


Figura 3.3. Modelo CAD del paso helicoidal [Fuente: Propia].

3.3.1. Desarrollo de modelo CAD

El diseño del paso helicoidal se compone de varios croquis. El primero consta de un círculo de 50mm de diámetro, para el siguiente croquis se define la forma del

canal y una profundidad inicial de 12mm y finalmente, en el último croquis definir la longitud y la forma que tendrá el canal como se puede observar en la Figura 3.4.

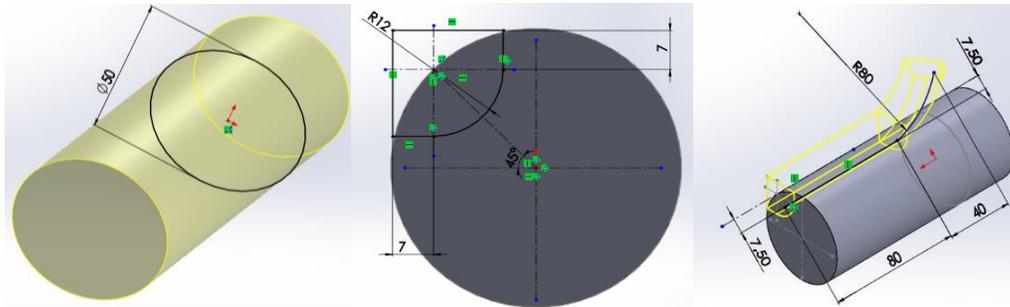


Figura 3.4. Principales croquis elaborados en SolidWorks para la obtención del modelo CAD del Paso Helicoidal [Fuente: Propia].

En cada uno de los croquis previamente mencionados, se ejecutan operaciones de “Extruir saliente”, “Extruir cortar – barrer”, “matriz” y “flexionar”. Para la operación “extruir saliente” se estableció una extrusión de material de 95mm; por otro lado, para la operación de “cortar – barrer” se debe tener en cuenta los dos croquis antes creados, los mismos que servirán para dar forma al corte. En la Figura 3.5 se puede observar tanto la operación extruir saliente como también la operación cortar – barrer.

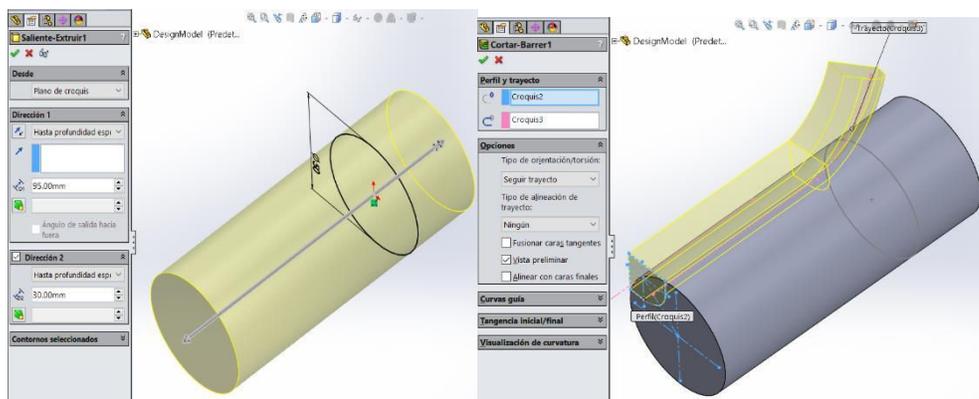


Figura 3.5. Operaciones necesarias para generar el Paso Helicoidal en 3D [Fuente: Propia].

Para la siguiente operación es importante tener un eje de referencia debido a que se va a realizar una matriz del canal a una distancia de 180° , una con respecto a otra. Finalmente, la última operación a realizar es una torsión a la matriz realizada anteriormente la misma que está a 360° . Para un mejor entendimiento del modelo CAD se muestra en la Figura 3.6, las operaciones y dimensiones principales del paso helicoidal.

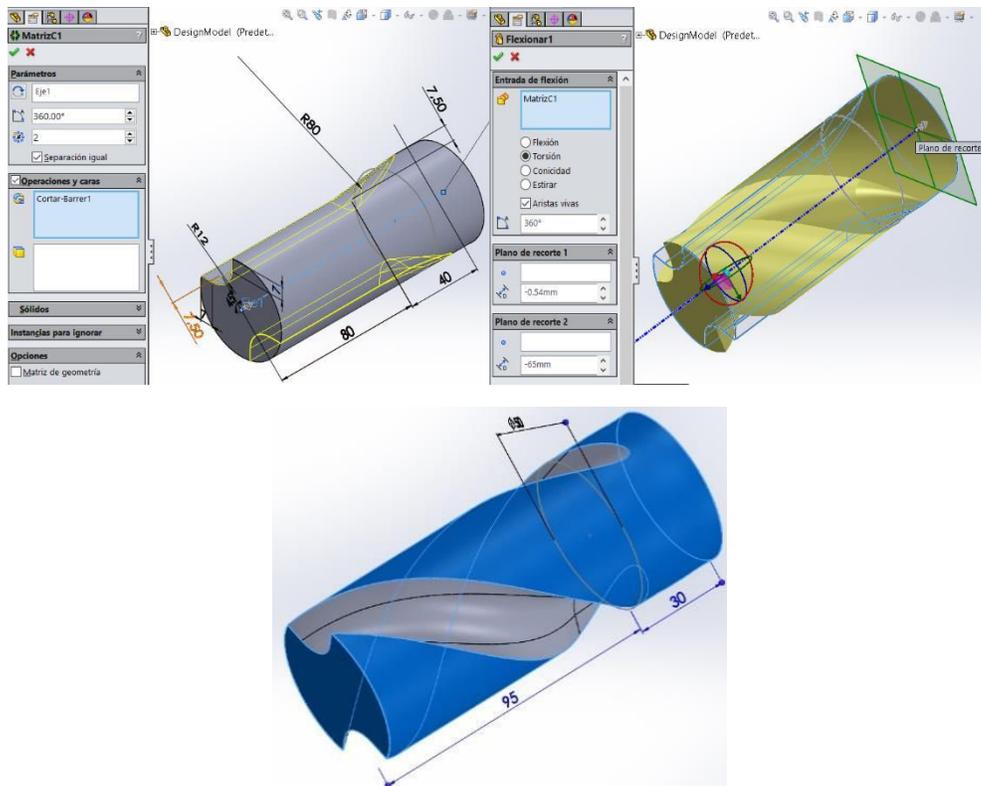


Figura 3.6. Generación de los helicoides del paso helicoidal [Fuente: Propia].

3.4. Diseño CAM

Una vez finalizado el diseño CAD del cilindro prismático y del paso helicoidal, se da inicio a la programación del CAM correspondiente a cada una de las piezas, los cuales cuentan con varias configuraciones que se detallan a continuación.

3.4.1. CAM-Part

Para crear un archivo en SolidCAM, se va a la barra de herramientas en donde se selecciona la opción herramientas, a continuación, SolidCAM, luego New y finalmente la opción Milling como se puede observar en la Figura 3.7, la cual hace referencia que se hará un diseño en un Centro de Mecanizado.

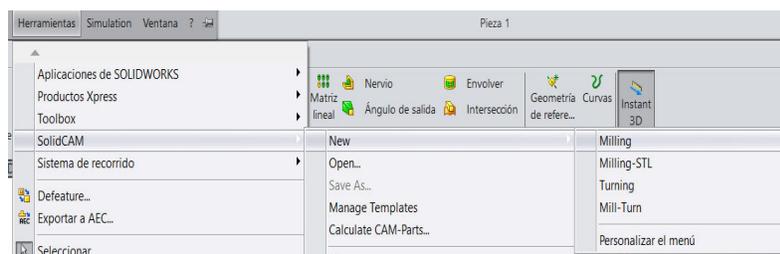


Figura 3.7. Pasos para crear un archivo en SolidCAM [Fuente: Propia].

Una vez que se inicia un archivo CAM, el software mostrará un cuadro de diálogo donde se debe establecer la extensión del archivo a guardar. En primera instancia se tiene la extensión External (SolidCAM Project *.PRT/*.PRZ) la cual generará un archivo CAM independiente del diseño CAD. Por otro lado, existe la extensión internal (Inside SolidWorks Part *.SLDPRT/*.SLDASM) donde el archivo CAM se guardará en conjunto con el CAD en un solo archivo. Además, definimos el nombre del archivo y configuramos el sistema de unidades. A continuación, en la Figura 3.8, se muestra el cuadro de diálogo de cada pieza donde se selecciona la extensión del archivo como el nombre del archivo.

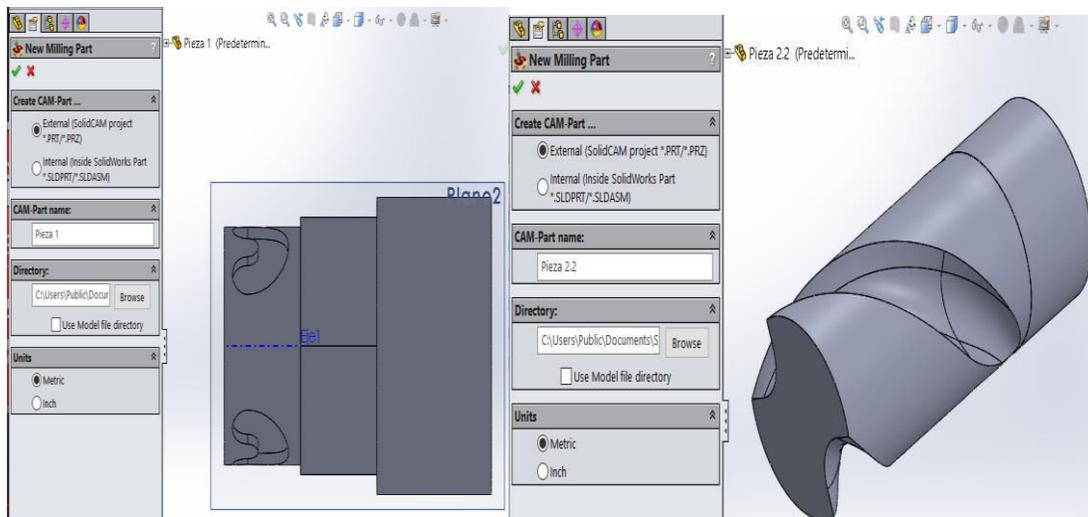


Figura 3.8. Cuadro de diálogo para la selección del tipo de CAM-Part y Unidades [Fuente: Propia].

En la Figura 3.9, se puede observar cuando se define el post-procesador a usar en este caso se selecciona “CENTROID_M400AC20” y se despliega un menú en el cual pide que definamos CoordSys, Stock y Target.

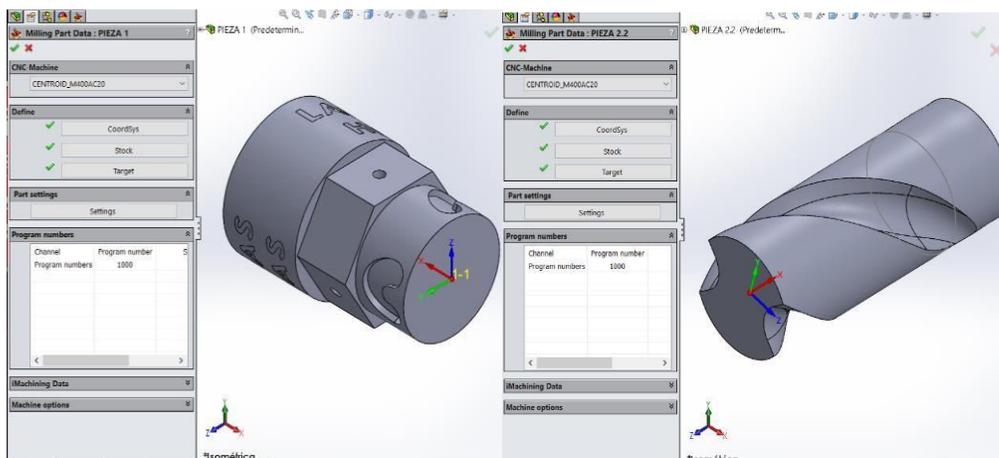


Figura 3.9. Cuadro de diálogo para la selección del Post-procesador a usar [Fuente: Propia].

Para definir el sistema de coordenadas en SolidCAM es importante que coincidan los ejes y sus direcciones con respecto a la pieza y al Centro de Mecanizado. Sin embargo, es necesario mencionar que el software permite definir varios sistemas de coordenadas y queda a criterio del usuario establecerlos según su necesidad, con el fin de facilitar la configuración del cero pieza en el centro de mecanizado. Tanto en el cilindro prismático como en el paso helicoidal se definió el sistema de coordenadas en el centro de una de las caras del stock como se puede observar en la Figura 3.10.

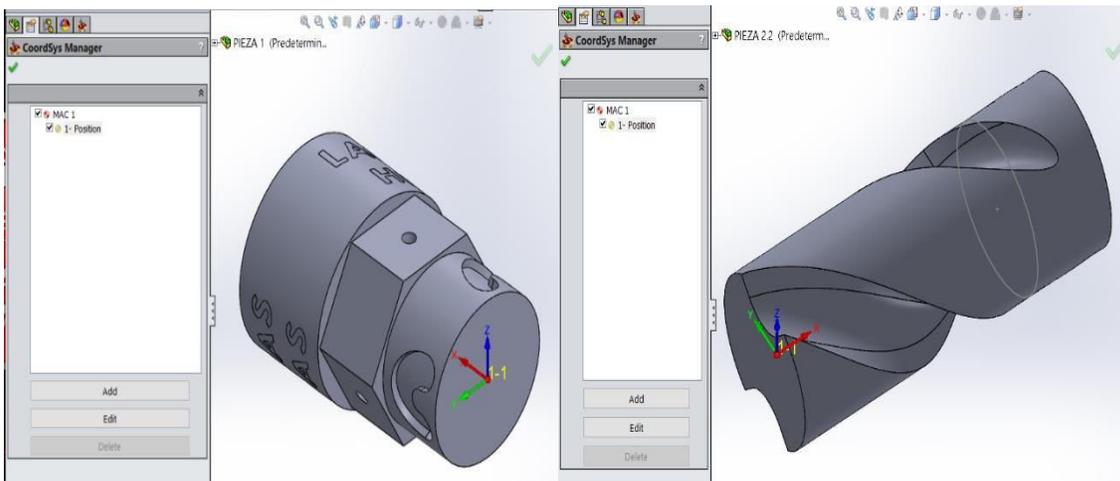


Figura 3.10. Definición del s. de coordenadas en cilindro prismático y paso helicoidal [Fuente: Propia].

El stock se puede definir de diferentes maneras, para el caso de estudio en específico se utilizó la opción 3D Model. Por consiguiente, se creó un nuevo solido que cubra el modelo CAD a obtener y de esta manera simular la materia prima que se utilizó para la fabricación de las piezas como se muestra en la Figura 3.11.

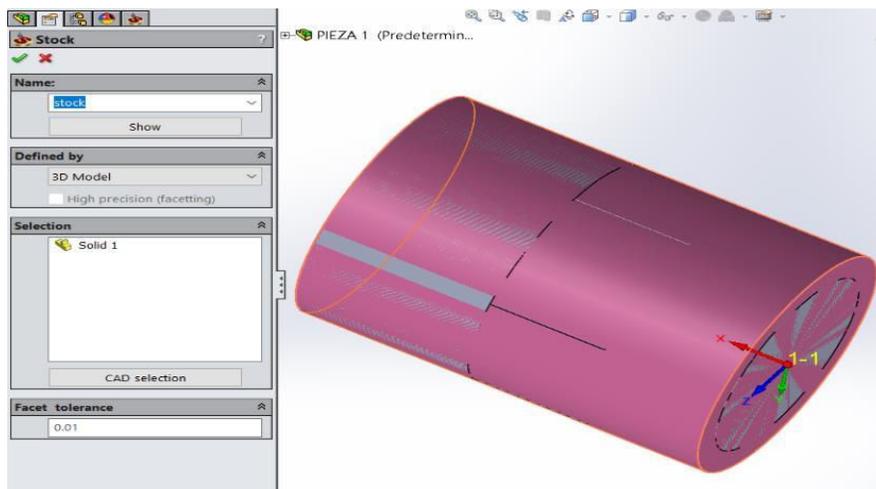


Figura 3.11. Stock utilizado para el mecanizado de las piezas de prueba [Fuente: Propia].

3.5. Operaciones del cilindro prismático

Para iniciar con las operaciones, el primer paso es hacer clic derecho a la opción “Operations” y luego ejecutar la opción “Add Milling Operations”. Finalmente, en este lugar se selecciona la operación que se desea realizar.

3.5.1. 4x_Rotary_model

Esta operación se la utiliza para que el centro de mecanizado trabaje sobre la materia prima, generando así un cilindrado y reduciendo su diámetro hasta un valor de 42mm. Para poder configurar esta operación se debe especificar todos los parámetros necesarios, con el fin de obtener la trayectoria de la herramienta como se puede visualizar en la Figura 3.12, y el código G que genera el mecanizado final de acuerdo con las condiciones del usuario y de la máquina.

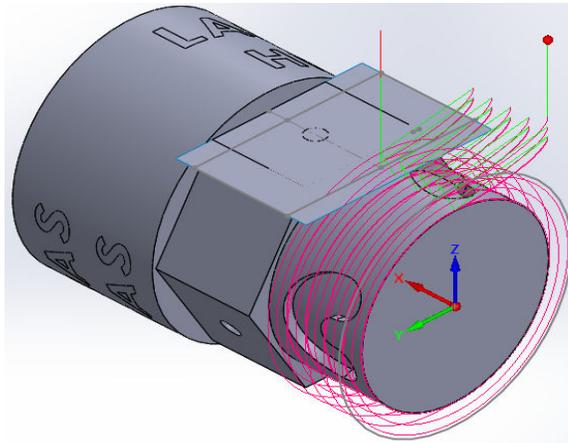


Figura 3.12. Trayectoria de la herramienta para la operación 4x_Rotary_model [Fuente: Propia].

En primer lugar, para comenzar la configuración de la operación “4x_Rotary_model”, es necesario seleccionar el sistema de coordenadas con el que trabajará el centro de mecanizado como se puede observar en la Figura 3.13.

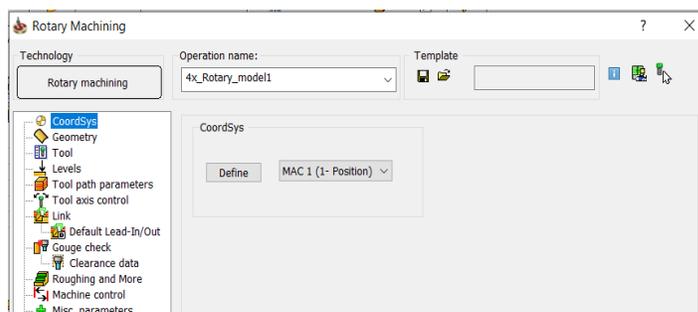


Figura 3.13. Selección del sistema de coordenadas a utilizar en la operación 4x_Rotary_model [Fuente: Propia]

Segundo, se configura la geometría, en este caso se selecciona la estrategia o la forma con la que la herramienta realizará el perfil deseado, el sólido en el cual se va a trabajar y el perfil que desea obtener. En la Figura 3.14, se puede observar un ejemplo donde se realiza las configuraciones antes mencionadas incluyendo unos límites de maquinado. Además, es posible establecer los límites del área de maquinado, lo cual puede ser configurado por el software o el usuario.

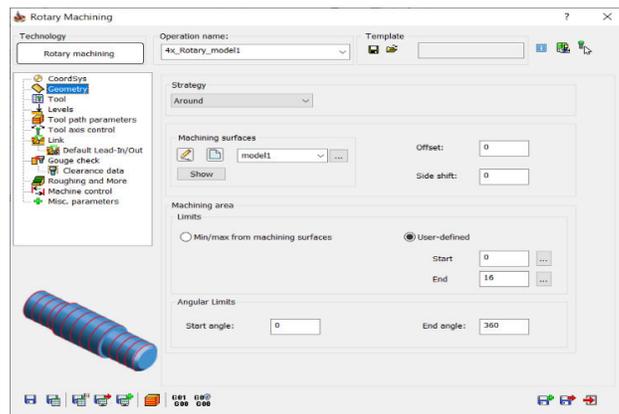


Figura 3.14. Selección de la estrategia, superficies a maquinar y área de mecanizado [Fuente: Propia].

El tercer paso es definir la herramienta como se puede observar en la Figura 3.15, con lo cual se realizará el mecanizado en la opción “Tool”, así como definir las velocidades lineales y de rotación de la mesa de trabajo y del husillo respectivamente, como se muestra en la Figura 3.16, donde se configura las velocidades de esta operación.

Por otro lado, esta opción permite activar y seleccionar el tipo de refrigerante con el que trabajará el centro de mecanizado, los mismos que pueden ser aire o líquido.

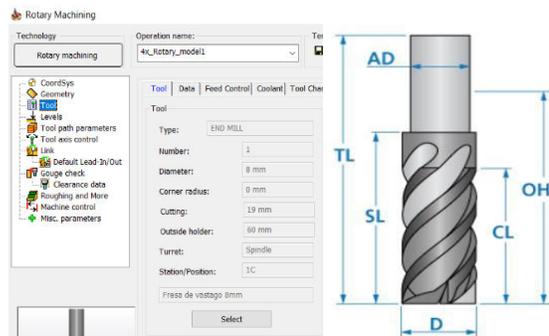


Figura 3.15. Parámetros de la herramienta seleccionada para realizar la operación 4x_Rotary_model [Fuente: Propia].

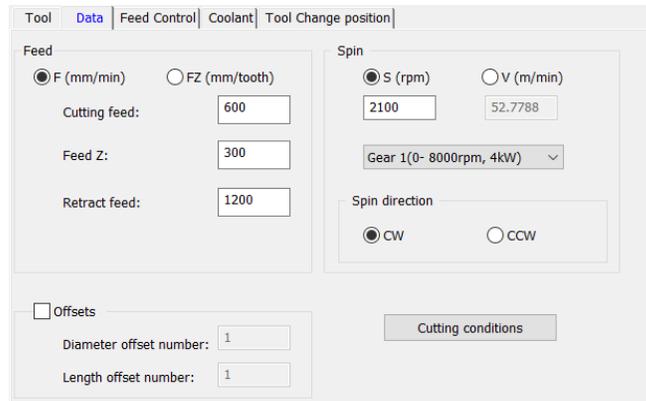


Figura 3.16. Velocidades de avance y del husillo establecidas para la operación 4x_Rotary_model [Fuente: Propia].

La cuarta etapa de configuración de esta operación hace referencia a la opción “Levels”, en la que se especifica la distancia de seguridad que va a existir al ingresar la herramienta a maquinar, la distancia de seguridad a la salida de la herramienta después del maquinado y el punto de acercamiento, como se puede observar en la Figura 3.17. Las configuraciones antes mencionadas dependen de las dimensiones de la mesa de trabajo del centro de mecanizado incluyendo el cuarto eje y de la materia prima.

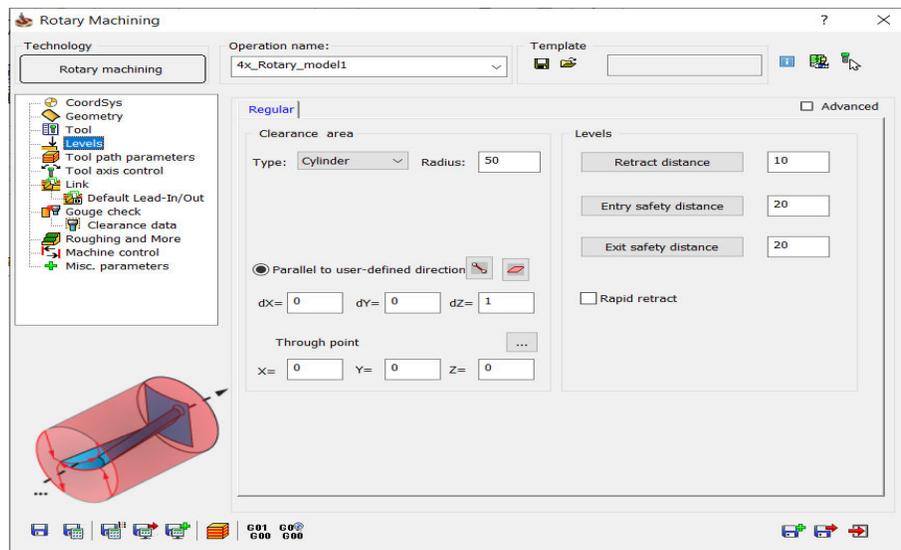


Figura 3.17. Distancias de seguridad a la entrada y salida de la herramienta [Fuente: Propia].

En la Figura 3.18, en la opción “Tool path parameters”, es posible especificar la calidad que tendrá la pieza maquinada de acuerdo con la tolerancia de corte, así como el paso longitudinal máximo que va a existir en cada pasada.

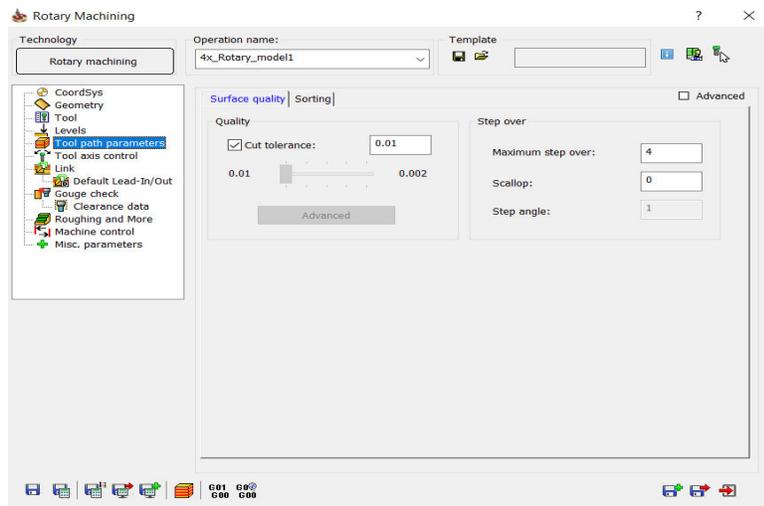


Figura 3.18. Selección de tolerancia de corte y paso longitudinal máx. en cada pasada [Fuente: Propia].

Es importante configurar la opción “Tool Axis Control”, ya que es necesario establecer la dirección del cuarto eje, debido a que este rotará respecto a la dirección especificada, como se puede observar en la Figura 3.19. Además, se puede definir la máxima interpolación angular de movimiento del cuarto eje.

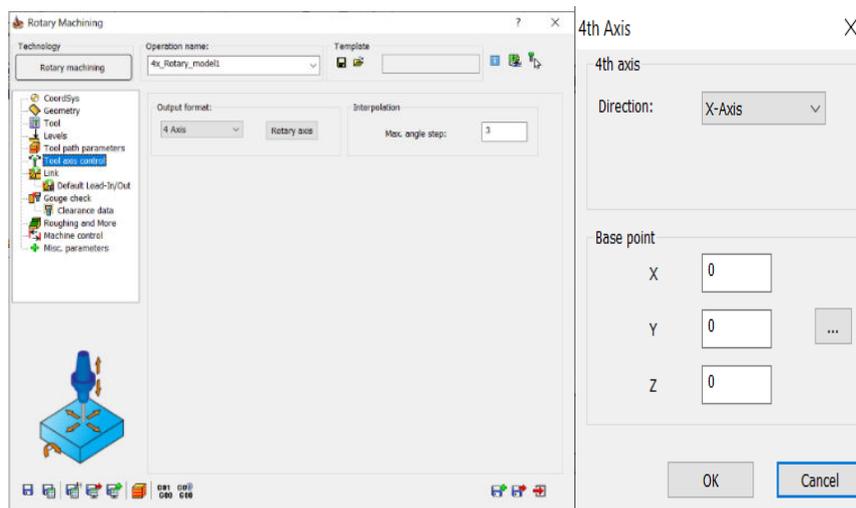


Figura 3.19. Selección de la dirección de rotación para el cuarto eje [Fuente: Propia].

La siguiente etapa es “Link”, cuya configuración es importante ya que, mediante una correcta programación, es posible mantener la integridad de la herramienta dentro de su vida útil y mejorar el acabado al comienzo y final de la pieza, como se puede observar en la Figura 3.20 la configuración de Link para esta operación. Esto debido a que podemos definir la forma en que las herramientas van a ingresar a mecanizar, entradas y salidas entre pases y la salida al finalizar la operación.

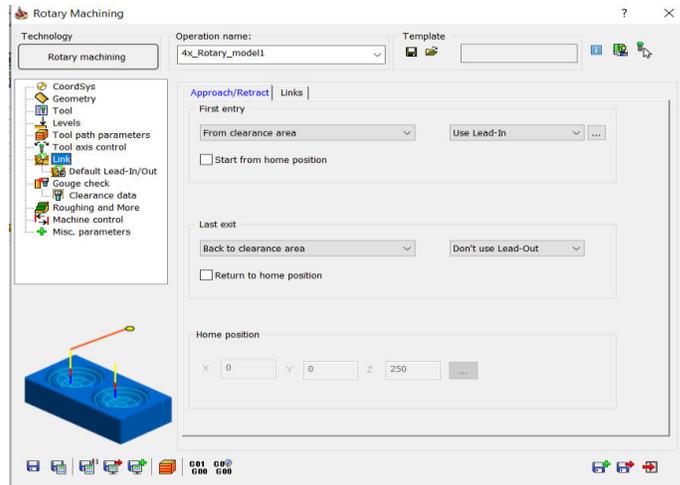


Figura 3.20. Definición del tipo de entrada y salida que tendrá la herramienta al iniciar y finalizar la operación [Fuente: Propia].

A continuación, se tiene “Default Lead-In/Out”, como se puede observar en la Figura 3.21 la cual hace referencia a la configuración de los parámetros tanto en entradas y salidas del maquinado. En otras palabras, se refiere al tipo de forma que tendrá y la orientación del eje de la herramienta.

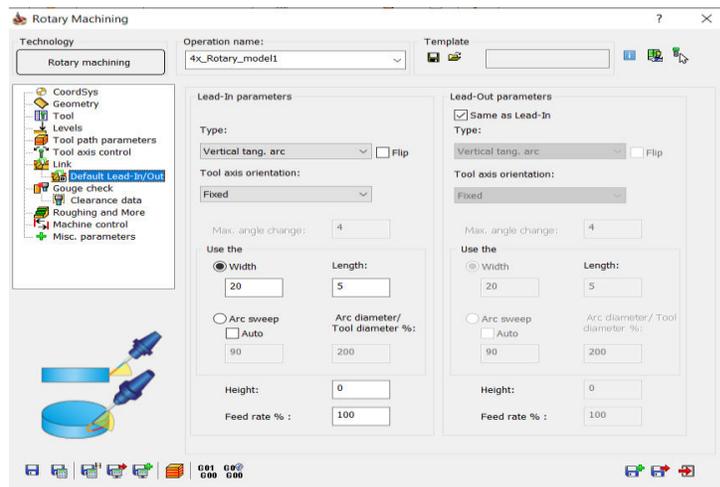


Figura 3.21. Parámetros de entrada y salida de la herramienta [Fuente: Propia].

Finalmente, “Roughing and More” se puede realizar varias configuraciones, como es el caso cuando el Stock tiene una forma variable. Además, se puede realizar la configuración de la opción Multi-passes en la cual se define el número de pases, el espesor a cortar en cada pase tanto para cuando se realiza pases de desbaste como pases de acabado. En la Figura 3.22 se puede observar las configuraciones realizadas en el número de pases como el espesor de cada pasada.

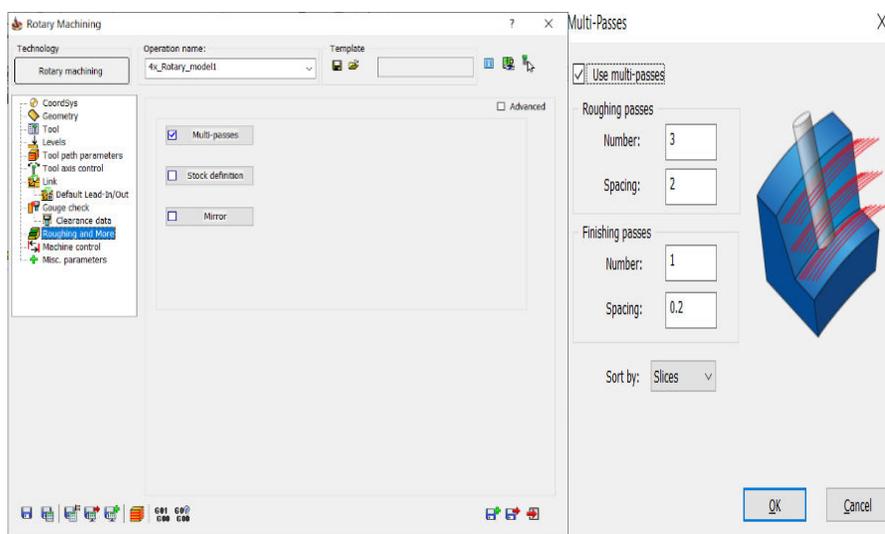


Figura 3.22. Definición del número de pases y espacios de mecanizado [Fuente: Propia].

3.5.2. 2D iMachining

El objetivo de 2D iMachining es producir el maquinado de las tres ranuras circulares ubicadas en el cilindro de 42mm y separadas a 120° , las mismas que cuentan con una profundidad de 4mm. En la Figura 3.23 se puede observar la trayectoria que sigue la operación antes mencionada en cada ranura.

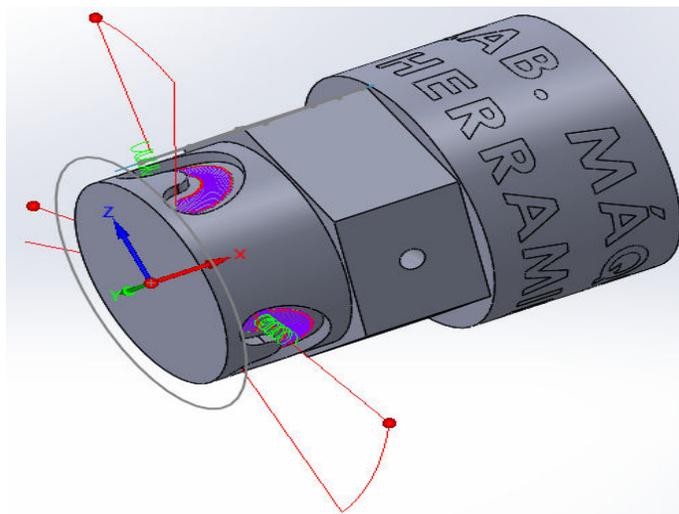


Figura 3.23. Trayectoria de la herramienta para la operación 2D iMachining [Fuente: Propia].

Para la configuración de esta operación se inicia con la opción “Geometry”, como se muestra en la Figura 3.24. Se inicia con la selección del sistema de coordenadas y se determina la forma de la pieza a maquinar respecto a una plana o circular. A continuación, se selecciona el contorno por el cual la herramienta debe mecanizar cerrando así un contorno alrededor de un perfil deseado.

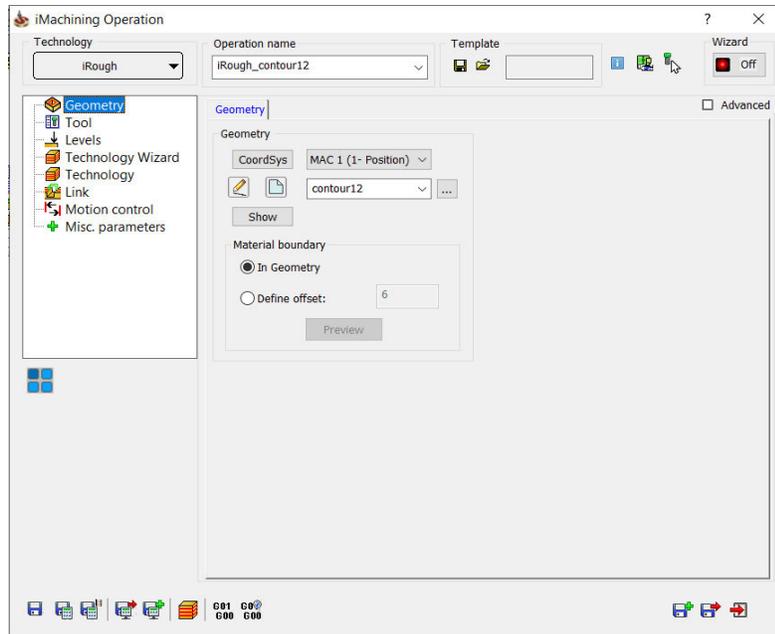


Figura 3.24. Selección del s. de coordenadas a utilizar y geometría de mecanizado en la operación 2D iMachining [Fuente: Propia].

El segundo paso es definir la herramienta con la cual se realizará el mecanizado en la opción “Tool”, en la cual para esta operación se usa una “Fresa de vástago de 3mm”, como se puede observar en la Figura 3.25. Además, se define las velocidades lineales, velocidad helicoidal, velocidad de reposición y de rotación de la mesa de trabajo y las velocidades de desbaste, acabado, helicoidal del husillo.

Por otro lado, esta opción permite activar y seleccionar el tipo de refrigerante con el que trabajará el centro de mecanizado, los mismos que pueden ser aire o líquido.

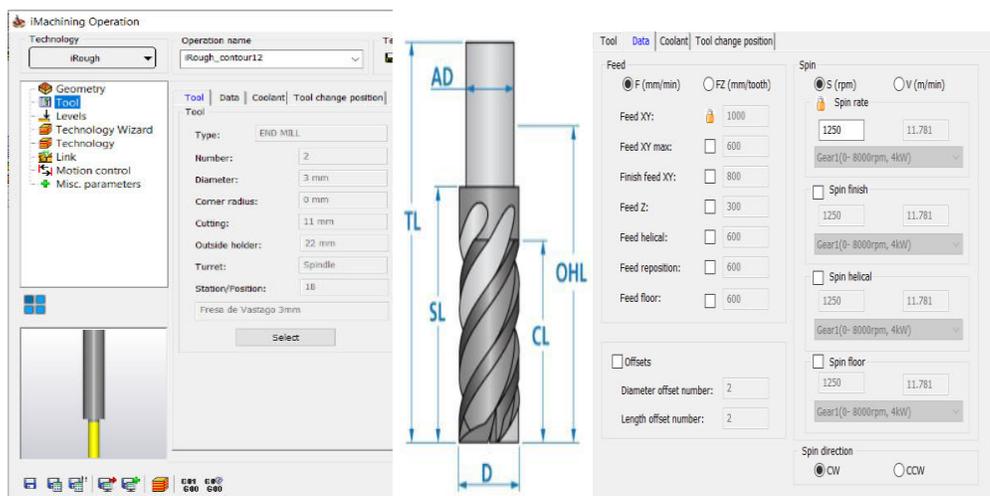


Figura 3.25. Parámetros de la herramienta para realizar la operación 2D iMachining [Fuente: Propia].

La siguiente etapa a configurar es “Levels”, en la que se detalla la distancia de seguridad de acuerdo con el criterio del programador para un centro de mecanizado determinado. En la parte “Milling Levels” se configura dos distancias, el “Upper Level” que define el límite superior de mecanizado y el “Pocket Depth” que hace referencia a el límite inferior de la pieza final. En la Figura 3.26 se puede observar el límite superior e inferior a configurar para esta operación.

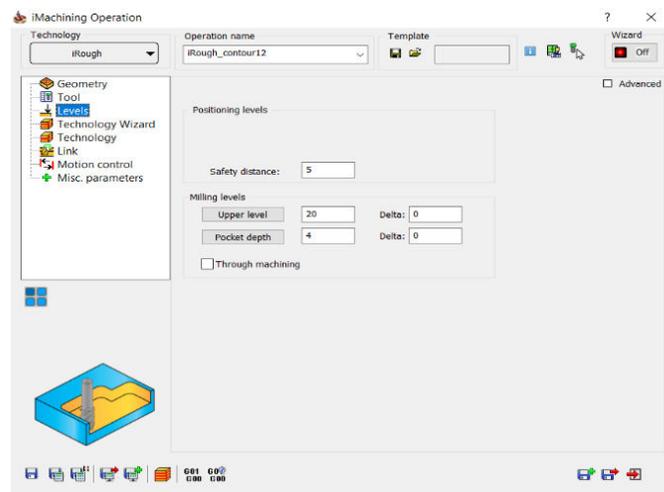


Figura 3.26. Distancia de seguridad y niveles de mecanizado superior e inferior [Fuente: Propia].

A continuación, se tiene “Technology”, como se muestra en la Figura 3.27, donde se define la profundidad y estilo de corte en cada pasada, además se define si se desea realizar una pasada de acabado, como el espesor de dicha pasada. Esta pasada puede ser un acabado total, o un acabado en las paredes de la ranura o un acabado en la superficie final de la pieza.

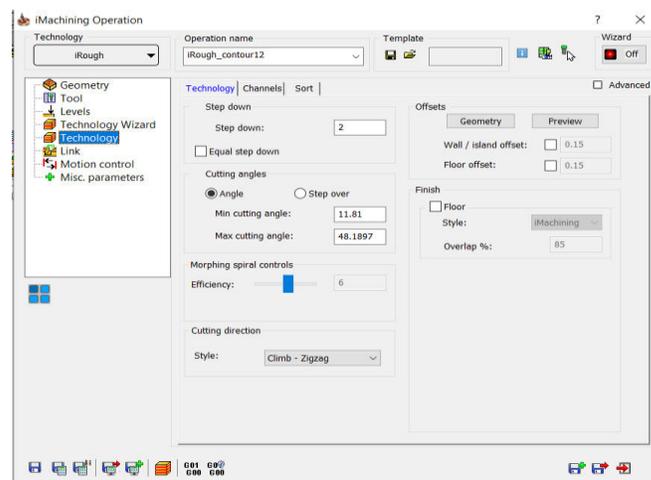


Figura 3.27. Definición de la profundidad, estilo de corte en cada pasada de mecanizado y activación de espesor para el acabado superficial [Fuente: Propia].

Finalmente, en la Figura 3.28 se observa la opción “Link” la cual permite definir el ángulo de rampa con una entrada helicoidal, manteniendo como centro del helicoide la fresa.

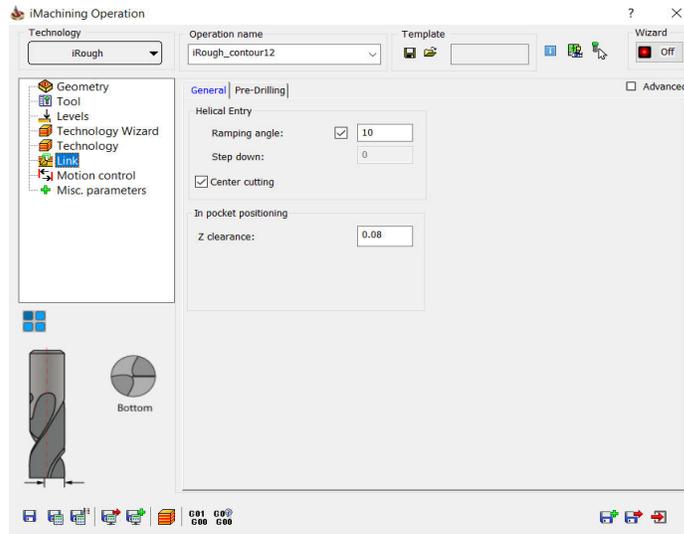


Figura 3.28. Configuración del ángulo de rampa para la entrada helicoidal de la herramienta [Fuente: Propia].

3.5.3. 2.5D (Pocket_contour)

Para poder validar la operación de indexado del cuarto eje se realiza el mecanizado de un hexágono, donde el desbaste de cada superficie se la ejecuta con la operación “Pocket_contour” junto con el módulo “Transform” perteneciente a esta misma configuración, con el fin de mecanizar una superficie de 46 mm de largo cada 60° alrededor del eje x. Para una mejor visualización de esta operación se puede observar en la Figura 3.29 la trayectoria que sigue dicha operación para la realización del hexágono.

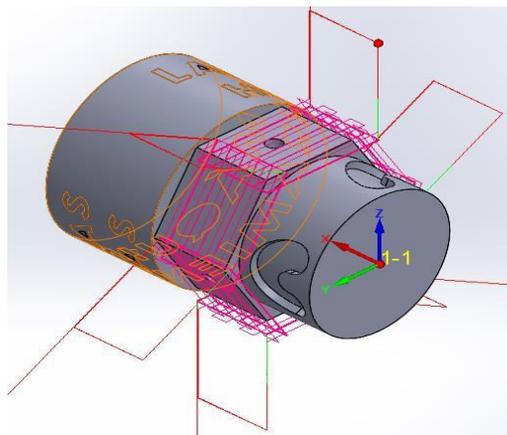


Figura 3.29. Trayectoria de la herramienta para la operación 2.5D (Pocket_contour) [Fuente: Propia].

La definición de esta operación comienza seleccionando el sistema de coordenadas a usar. A continuación, se escoge la geometría en la cual se puede definir si el lugar a maquinarse es plano o circular, para luego finalmente seleccionar el contorno como se muestra en la Figura 3.30.

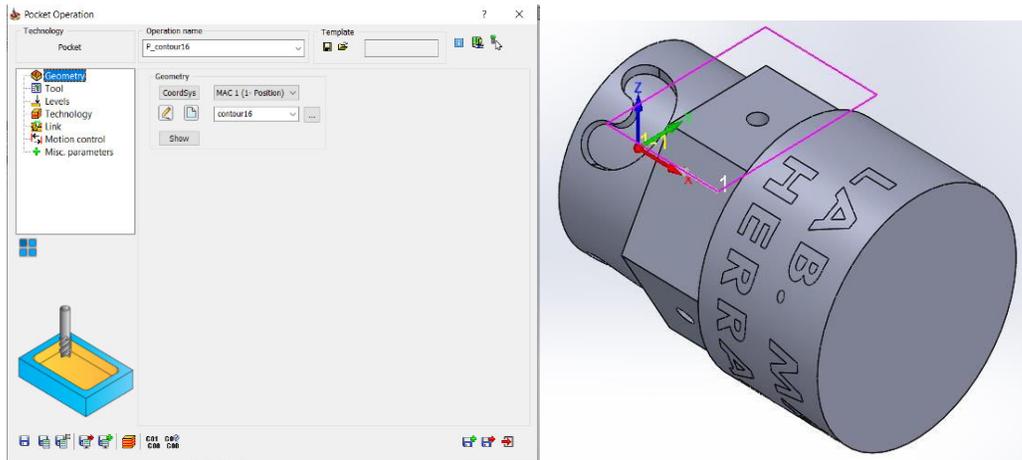


Figura 3.30. Selección del s. de coordenadas a utilizar y geometría de mecanizado en la operación 2.5D (Pocket_contour) [Fuente: Propia].

El Segundo paso a seguir es definir la herramienta a usar, la cual se lo hace en la opción “Tool”, en la cual para esta operación se usa una “Fresa de vástago de 8mm”, así como definir las velocidades lineales y de rotación de la mesa de trabajo y del husillo respectivamente, como se puede observar tanto en la Figura 3.31 como en la Figura 3.32.

Por otro lado, esta opción permite activar y seleccionar el tipo de refrigerante con el que trabajará el centro de mecanizado, los mismos que pueden ser aire o líquido.

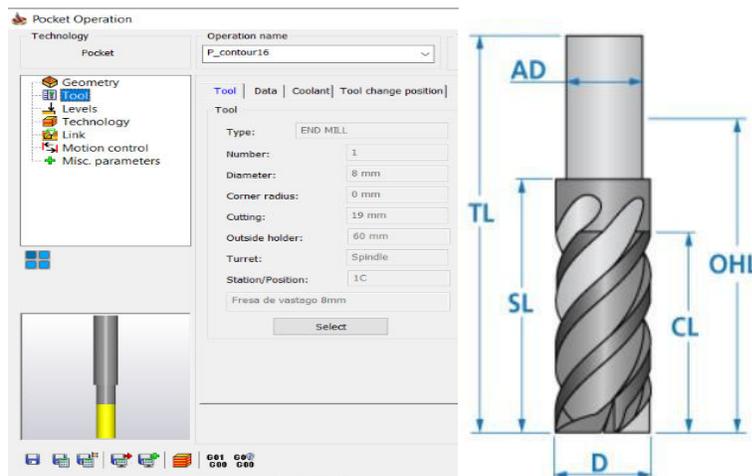


Figura 3.31. Parámetros de la herramienta seleccionada al realizar la operación 2.5D (Pocket_contour) [Fuente: Propia].

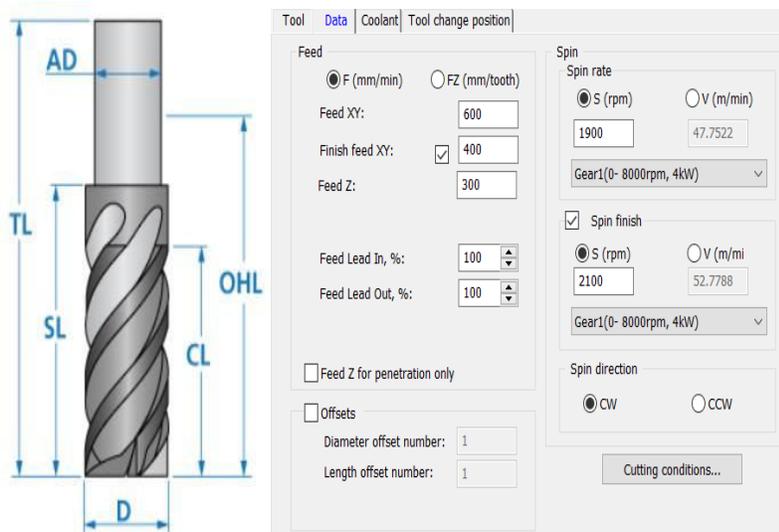


Figura 3.32. Vel. de avance y del husillo establecidas para la operación 2.5D (Pocket_contour) [Fuente: Propia].

La siguiente etapa a configurar es “Levels”, en la que se detalla la distancia de seguridad de acuerdo con el criterio del programador para un centro de mecanizado determinado. En la parte “Milling Levels” se configura dos distancias, el “Upper Level” que define el límite superior de mecanizado y el “Pocket Depth” que hace referencia a el límite inferior de la pieza final. Además, permite definir la distancia y estilo de corte en cada pasada el cual puede ser el mismo espesor o el espesor que el operador crea conveniente. Para una mejor comprensión en la Figura 3.33 se puede observar las configuraciones que se deben tener en cuenta.

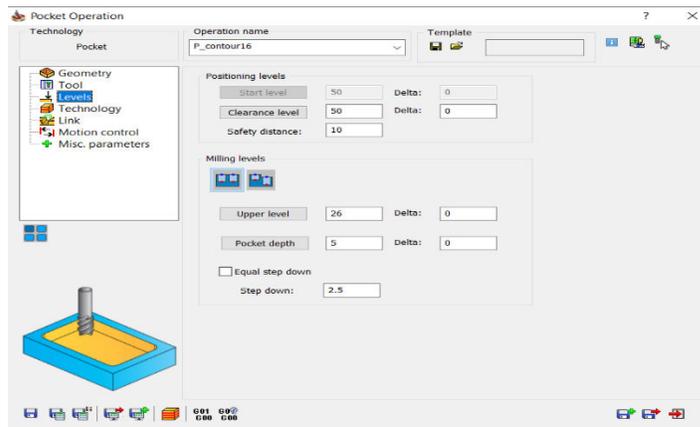


Figura 3.33. Distancia de seguridad y niveles de mecanizado superior e inferior [Fuente: Propia].

A continuación, se tiene “Technology”, como se muestra en la Figura 3.34, en la cual se define si al cortar material se lo hace por el contorno o se lo hace dentro de los límites del contorno, además, se define si se desea realizar una o varias

pasadas de acabado, como el espesor de dicha pasada. Estas pasadas puede ser un acabado total, o un acabado en las paredes de la ranura o un acabado en la superficie final de la pieza.

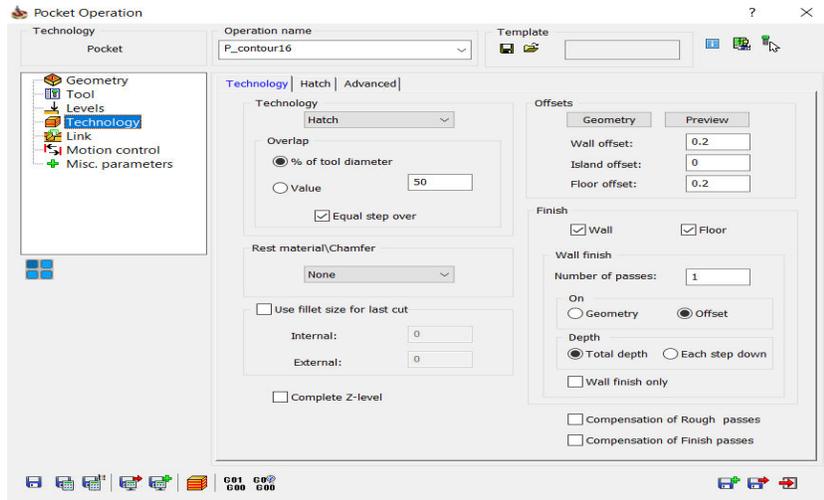


Figura 3.34. Definición de profundidad, estilo de corte en cada pasada de mecanizado y activación de espesor para el acabado superficial [Fuente: Propia].

Finalmente es importante acotar que en la operación “Pocket_contour” se utilizó la herramienta “Transformation”, la cual permite realizar el mecanizado en la primera cara del hexágono, gira 60° y así realiza la siguiente cara sucesivamente. El rango de giro es de 0° a 300° como se puede ver en la Figura 3.35 y en la Figura 3.36.

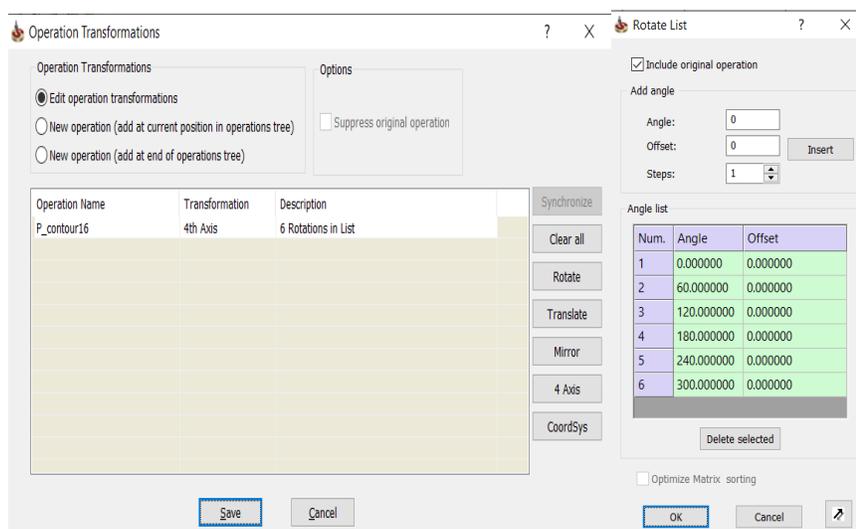


Figura 3.35. Configuración de la operación “Transformation” para el cuarto eje [Fuente: Propia].

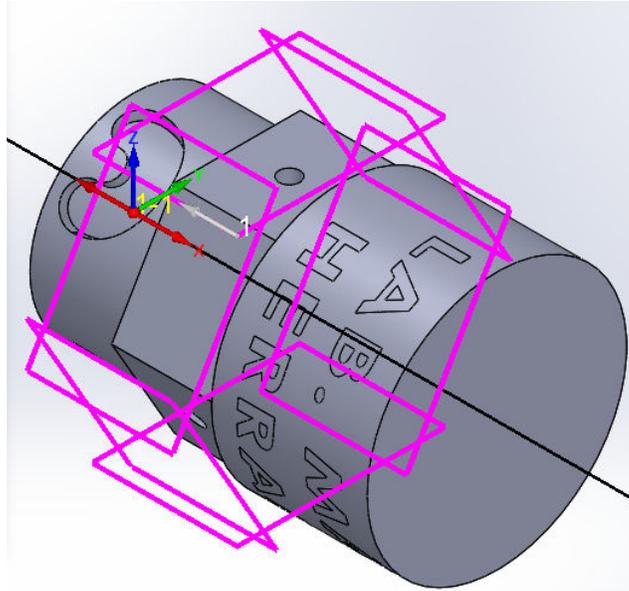


Figura 3.36. Líneas de mecanizado de la operación “Transformation” del cuarto eje [Fuente: Propia].

3.5.4. D_drill

Las perforaciones que se encuentran en el hexágono se las realiza con la operación “D_drill”. Con el fin de obtener perforaciones que cumplan con las dimensiones y profundidades especificadas, es imprescindible hacer un pequeño agujero con una broca de centros y así evitar posibles desviaciones de la herramienta al efectuar el taladrado. Por tal motivo en la programación del archivo CAM esta operación se la define dos veces en las que se configura las herramientas y las profundidades deseadas para cada caso. Para una mejor comprensión de la operación de taladrado en la Figura 3.37 se puede observar la trayectoria de la herramienta.

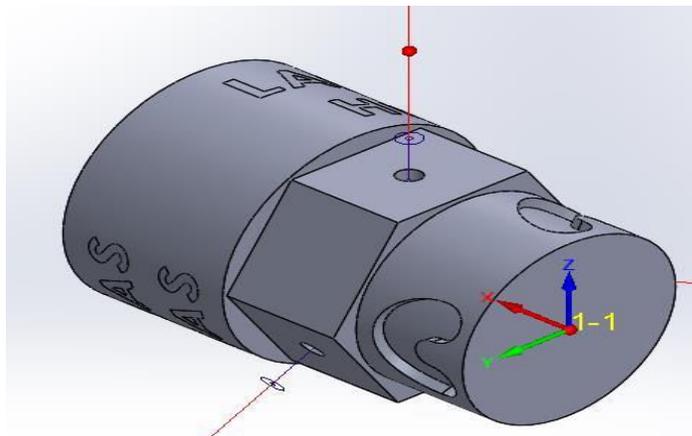


Figura 3.37. Trayectoria de la herramienta para la operación D_drill [Fuente: Propia].

Por otro lado, alrededor del eje x se realizan tres perforaciones sobre las superficies de las caras del hexágono, cada una a 120° con diámetro de 4mm y una profundidad de 10mm.

En lo que respecta a la configuración de “Geometry”, como muestra la Figura 3.38, esta se comienza definiendo el sistema de coordenadas y por último se selecciona los orificios a taladrar.

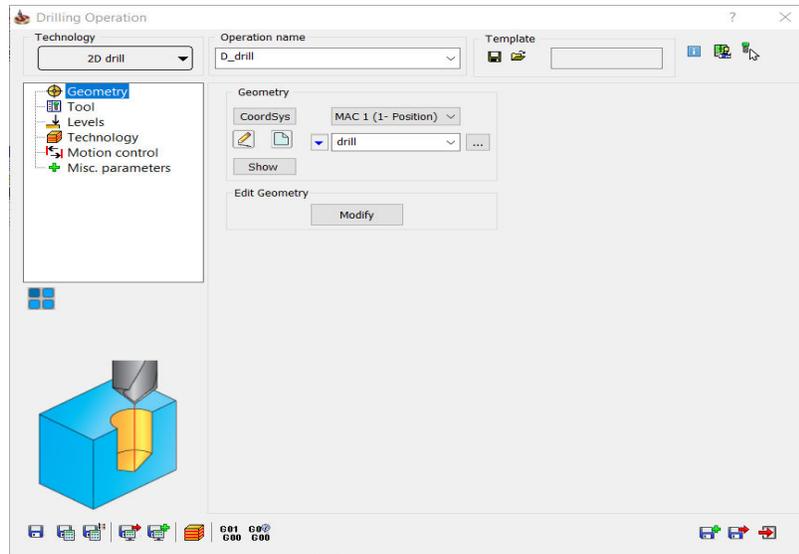


Figura 3.38. Selección del s. de coordenadas a utilizar y geometría de mecanizado en la operación D_drill [Fuente: Propia].

El segundo paso es definir la herramienta con la cual se realizará el mecanizado en la opción “Tool”, en la cual para esta operación se usa una “Broca de centros de 1mm” y una “Broca de 4mm”, así como definir las velocidades lineales, velocidad helicoidal, velocidad de reposición y de rotación de la mesa de trabajo y las velocidades de desbaste, acabado, helicoidal del husillo, los cuales vienen a ser los mismos parámetros para las dos operaciones. Para dicha operación se puede observar las configuraciones realizadas en la Figura 3.39, Figura 3.40, Figura 3.41 y en la Figura 3.42.

Por otro lado, esta opción permite activar y seleccionar el tipo de refrigerante con el que trabajará el centro de mecanizado, los mismos que pueden ser aire o líquido.

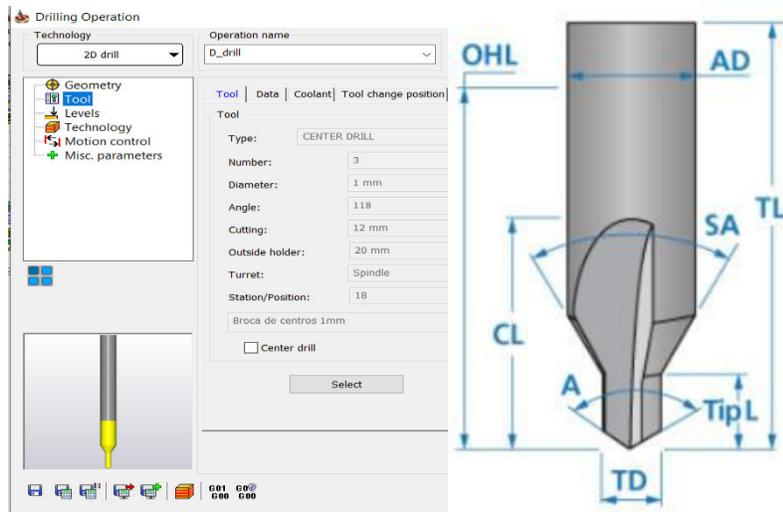


Figura 3.39. Parámetros de la herramienta (Broca de centros) para realizar la operación D_drill [Fuente: Propia].

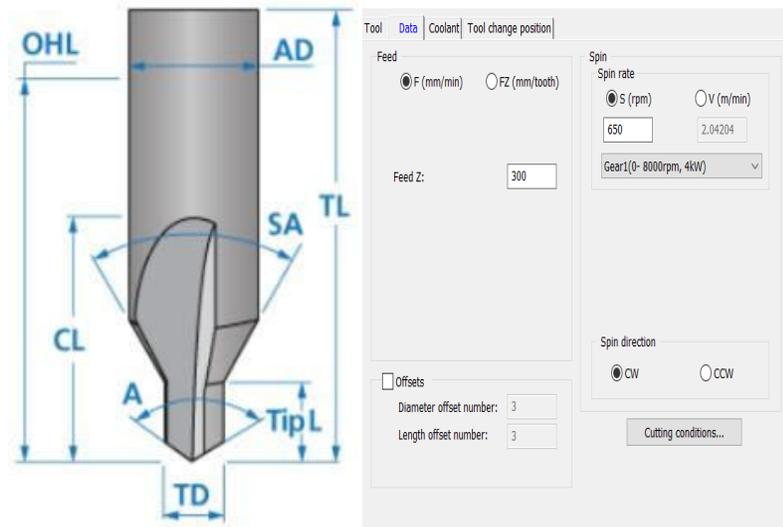


Figura 3.40. Velocidades de avance y del husillo establecidas para la operación D_drill [Fuente: Propia].

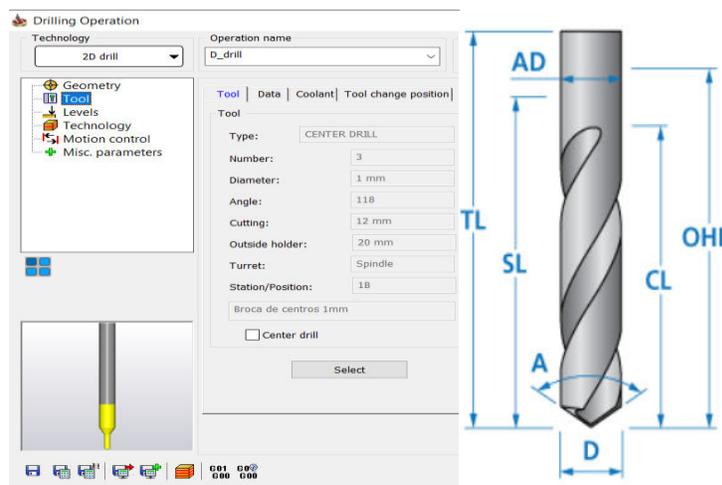


Figura 3.41. Parámetros de la herramienta (Broca 4mm) para realizar la operación D_drill [Fuente: Propia].

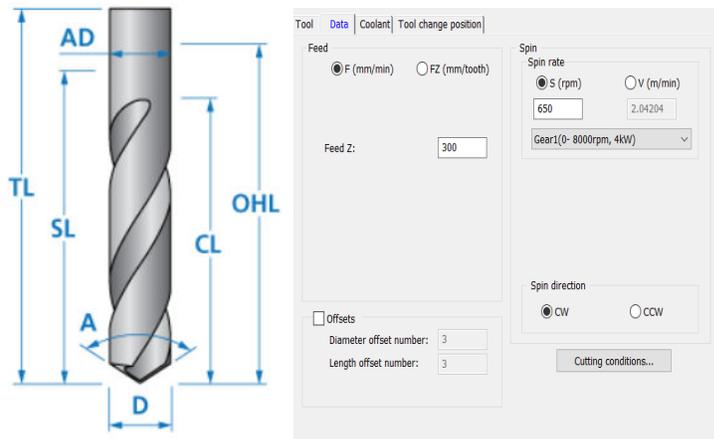


Figura 3.42. Velocidades de avance y del husillo establecidas para la operación D_drill [Fuente: Propia].

La siguiente etapa a configurar es “Levels”, en la que se detalla la distancia de seguridad de acuerdo con el criterio del programador para un centro de mecanizado determinado, como también se agrega “Clearance Level” el cual podemos especificar el diámetro en bruto antes de taladrar. En la parte “Milling Levels” se configura dos distancias, el “Upper Level” que define el límite superior de mecanizado y el “Pocket Depth” que hace referencia a el límite inferior de la pieza final. En lo que respecta a la distancia de perforación se tiene dos alternativas, la primera indica si la distancia se lo toma desde la punta de la broca o desde donde termina el labio cortante de la broca hasta la distancia especificada. En la Figura 3.43 se puede observar las configuraciones a tener en cuenta al realizar la configuración de esta operación.

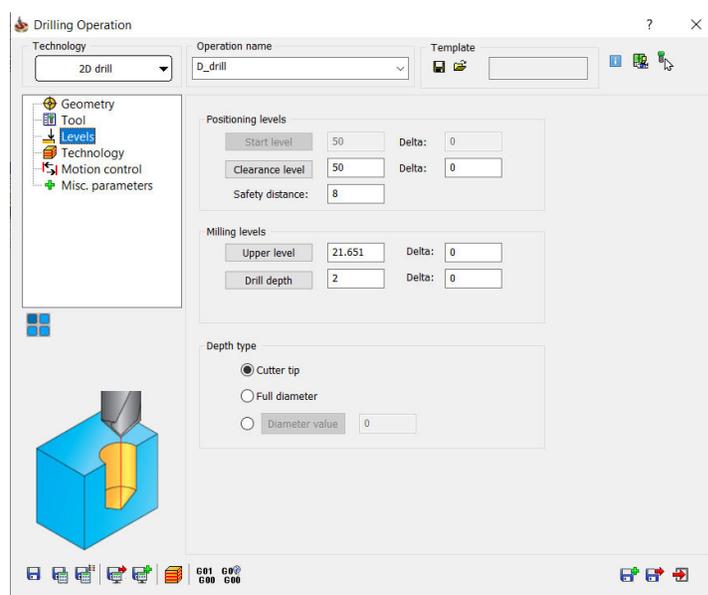


Figura 3.43. Distancia de seguridad y niveles de mecanizado superior e inferior [Fuente: Propia].

Finalmente es importante acotar que la operación en la operación de taladrado también se utilizó le herramienta “Transformation”, la cual, al realizar la primera perforación, gira 120° y así realiza la siguiente cara sucesivamente. El rango de giro es de 0° a 240° como se puede ver en la Figura 3.44 y en la Figura 3.45.

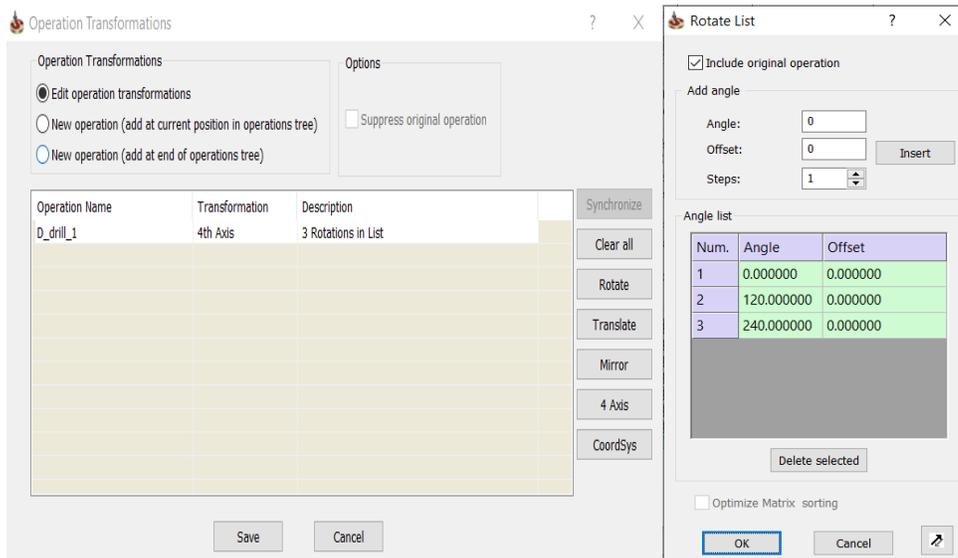


Figura 3.44. Configuración de la operación “Transformation” para el cuarto eje [Fuente: Propia].

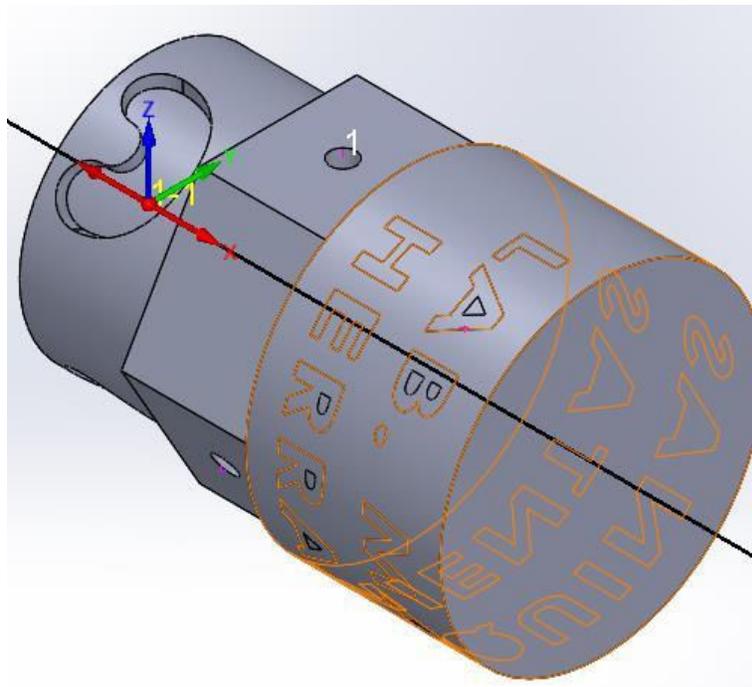


Figura 3.45. Líneas de mecanizado de la operación “Transformation” del cuarto eje [Fuente: Propia].

3.5.5. Engraving

“Engraving” es una operación que se usa cuando se requiere realizar un grabado sobre la superficie de una pieza y esta es otra de las operaciones que permiten

validar el cuarto eje en cuanto se refiere a movimiento simultáneo. Para el caso del cilindro prismático se determinó mecanizar el grabado con los siguientes caracteres “LAB. MÁQUINAS HERRAMIENTAS”, las cuales tienen una altura de 7mm y finalmente se puede observar dicho grabado en la Figura 3.46.

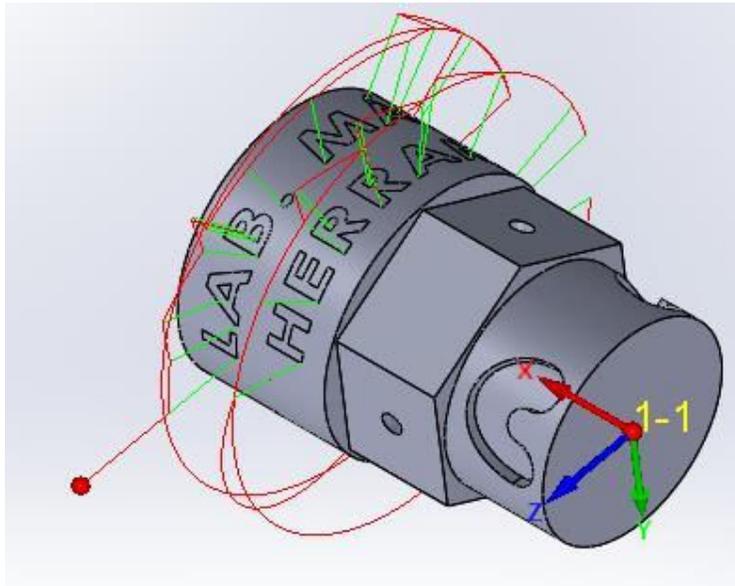


Figura 3.46. Trayectoria de la herramienta para la operación Engraving [Fuente: Propia].

La definición de esta operación comienza seleccionando el sistema coordenadas a usar. A continuación, se escoge la geometría en la cual se puede definir si el lugar a maquinarse es plano o circular, para luego finalmente seleccionar el contorno como se muestra en la Figura 3.47.

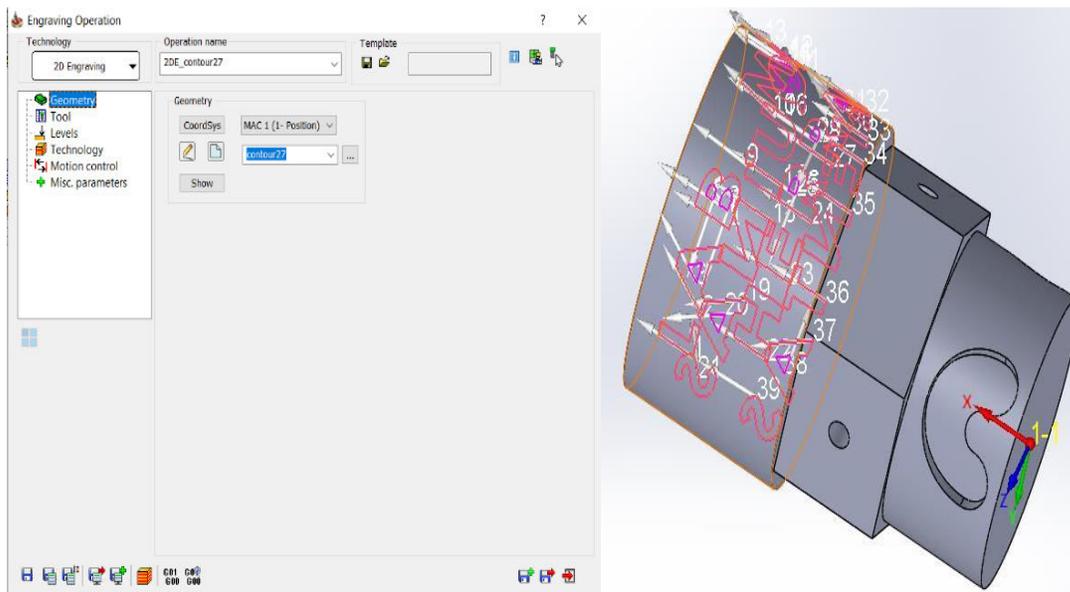


Figura 3.47. Selección del s. de coordenadas a utilizar y geometría de mecanizado en la operación Engraving [Fuente: Propia].

El segundo paso a seguir es definir la herramienta a usar, la cual se lo hace en la opción “Tool”, como se observa en la Figura 3.48 y en la Figura 3.49. Para esta operación se usa una “Fresa para grabado en PCB”, así como definir las velocidades lineales y de rotación de la mesa de trabajo y del husillo respectivamente.

Por otro lado, esta opción permite activar y seleccionar el tipo de refrigerante con el que trabajará el centro de mecanizado, los mismos que pueden ser aire o líquido.

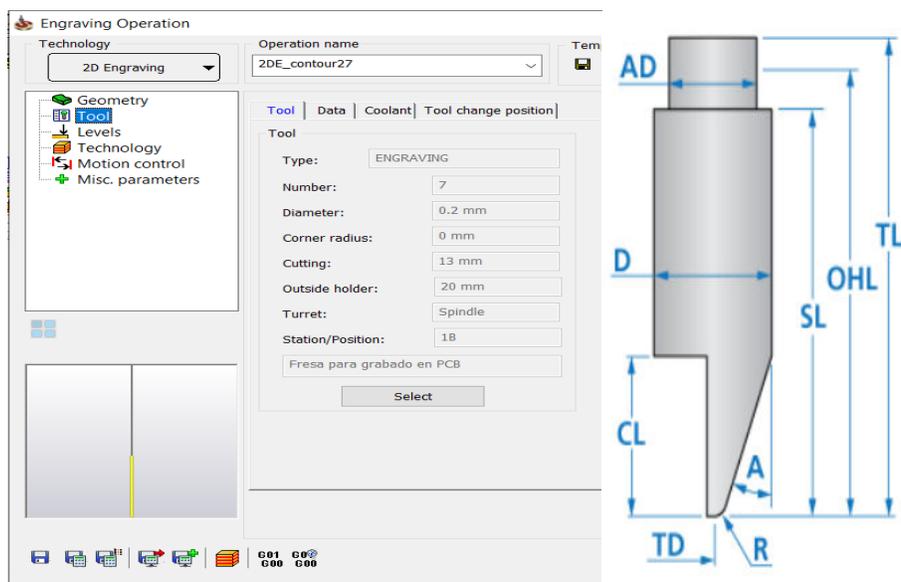


Figura 3.48. Parámetros de la herramienta para realizar la operación engraving [Fuente: Propia].

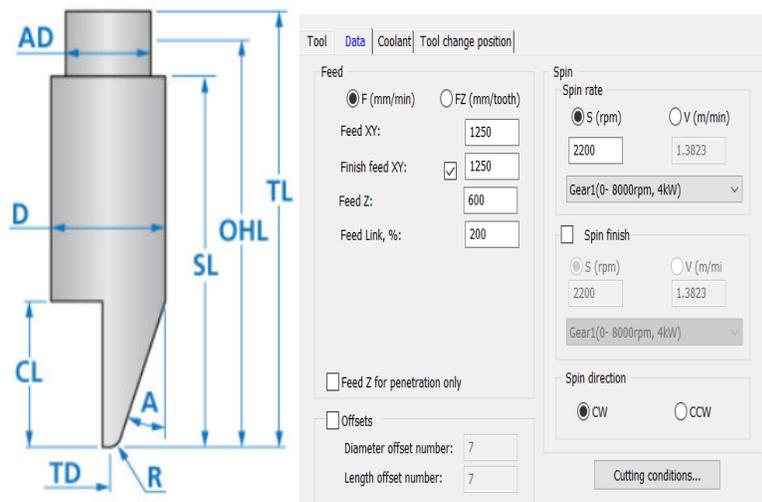


Figura 3.49. Vel. de avance y del husillo establecidas para la operación engraving [Fuente: Propia].

La siguiente etapa a configurar es “Levels”, en la que se detalla la distancia de seguridad de acuerdo con el criterio del programador para un centro de mecanizado determinado, como también se agrega “Clearance Level” en la cual

podemos especificar el diámetro en bruto del stock antes de taladrar. En la parte “Milling Levels” se configura dos distancias, el “Upper Level” que define el límite superior de mecanizado y el “Pocket Depth” que hace referencia a el límite inferior de la pieza final. En la Figura 3.50 se puede observar todos los parámetros a tener en cuenta cuando se realiza un grabado en lo que se refiere a la opción Levels.

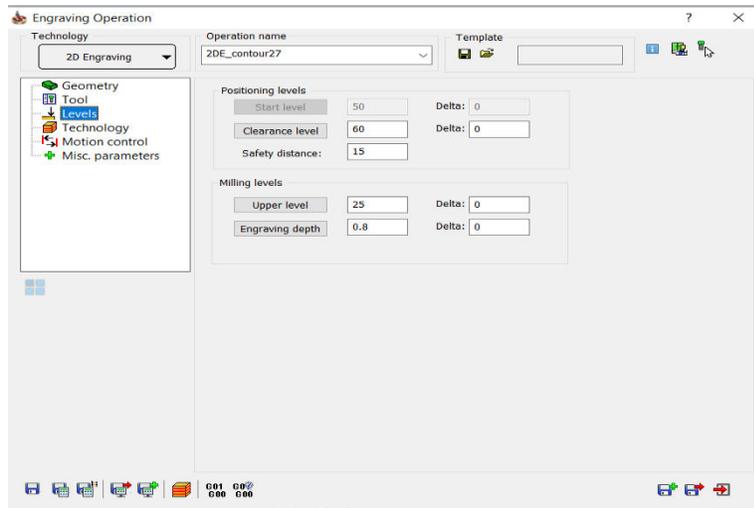


Figura 3.50. Distancia de seguridad y niveles de mecanizado superior e inferior [Fuente: Propia].

A continuación, se tiene “Technology”, como se muestra en la Figura 3.51, en la cual se define en base a las líneas de grabado el lado por el cual comenzará el mecanizado (derecha, izquierda o centrado), además, se define si el tipo de corte es decir lo hace en una sola manera o en zigzag.

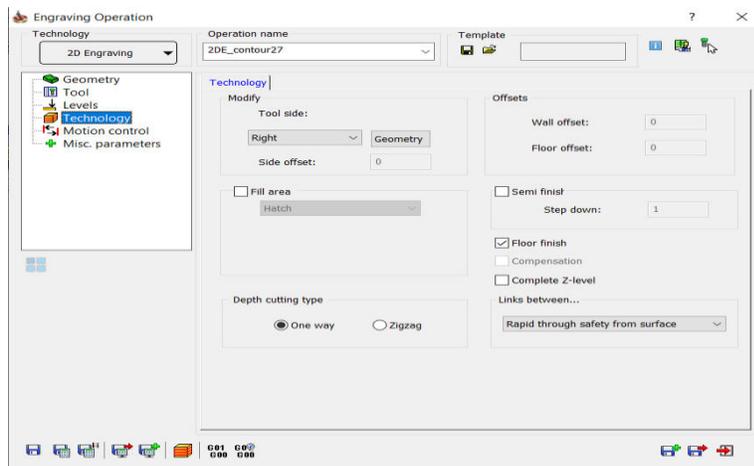


Figura 3.51. Definición del lado de la herramienta para comenzar el mecanizado y el tipo de corte de la operación [Fuente: Propia].

3.6. Operaciones del paso helicoidal

Para iniciar con las operaciones, el primer paso es hacer clic derecho a la opción “Operations” y luego ejecutar la opción “Add Milling Operations”. Finalmente, en este lugar se selecciona la operación que se desea realizar.

3.6.1. 2D iMachining

Esta operación tiene como objetivo el maquinarse los dos canales, pero en este caso debido a que se tiene una profundidad de corte variable al final se selecciona solamente la primera parte hasta donde la profundidad de corte es constante, como se observa en la Figura 3.52, en la cual se visualiza hasta dónde llegan las líneas de trayectoria.

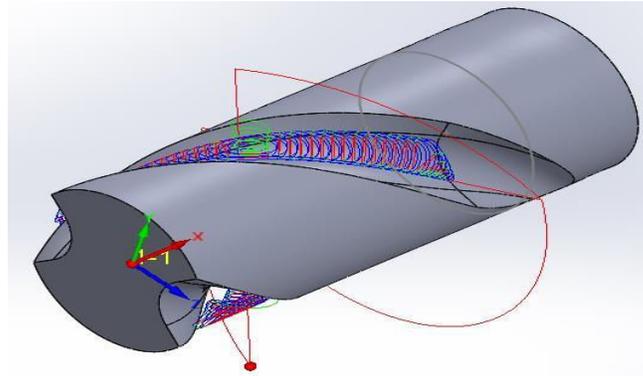


Figura 3.52. Trayectoria de la herramienta para la operación 2D iMachining [Fuente: Propia].

Para la configuración de esta operación se inicia con la opción Geometry, en la que se selecciona el sistema de coordenadas y se determina la forma de la pieza a maquinarse respecto a una plana o circular. A continuación, en la Figura 3.53 se presenta la selección del contorno por el cual la herramienta debe mecanizar cerrando así un contorno alrededor de un perfil deseado.

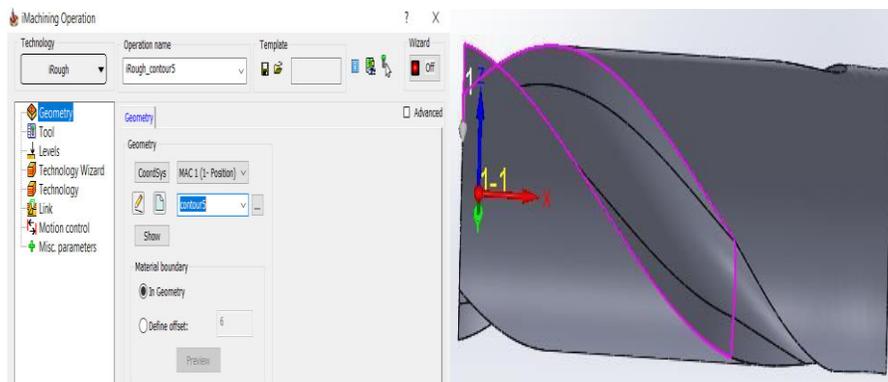


Figura 3.53. Selección del s. de coordenadas a utilizar en la operación 2D iMachining [Fuente: Propia].

El segundo paso es definir la herramienta con la cual se realizará el mecanizado en la opción “Tool”, en la cual para esta operación se usa una “Fresa de vástago de 8mm”, así como definir las velocidades lineales, velocidad helicoidal, velocidad de reposición y de rotación de la mesa de trabajo y las velocidades de desbaste, acabado, helicoidal del husillo. Para una mejor comprensión en la Figura 3.54 se puede observar todas las velocidades a considerar para esta operación.

Por otro lado, esta opción permite activar y seleccionar el tipo de refrigerante con el que trabajará el centro de mecanizado, los mismos que pueden ser aire o líquido.

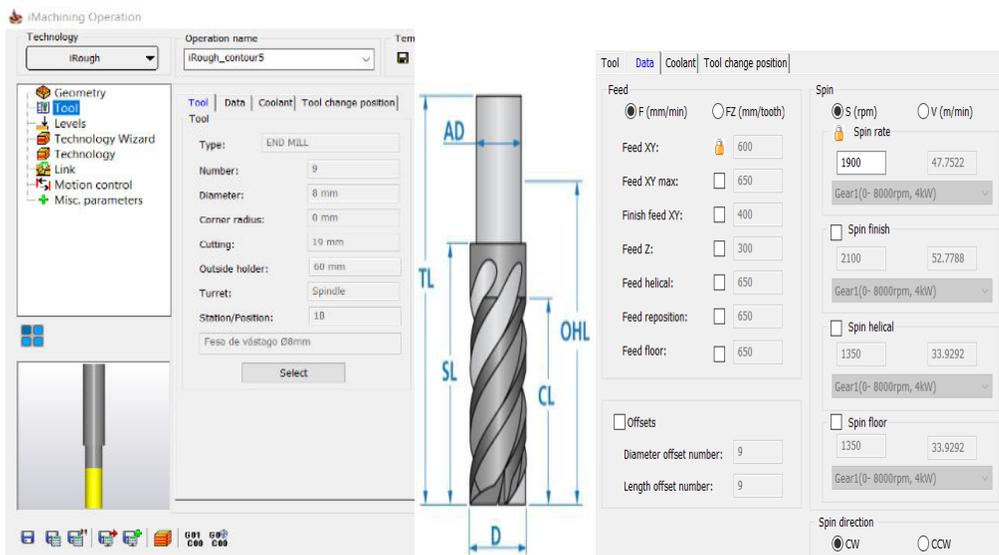


Figura 3.54. Parámetros de herramienta al realizar la operación 2D iMachining [Fuente: Propia].

La siguiente etapa a configurar es “Levels”, como se muestra en la Figura 3. 55 se detalla la distancia de seguridad de acuerdo con el criterio del programador para un centro de mecanizado determinado. En la parte “Milling Levels” se configura dos distancias, el “Upper Level” que define el límite superior de mecanizado y el “Pocket Depth” que hace referencia a el límite inferior de la pieza final que para este caso se lo hace de 5mm.

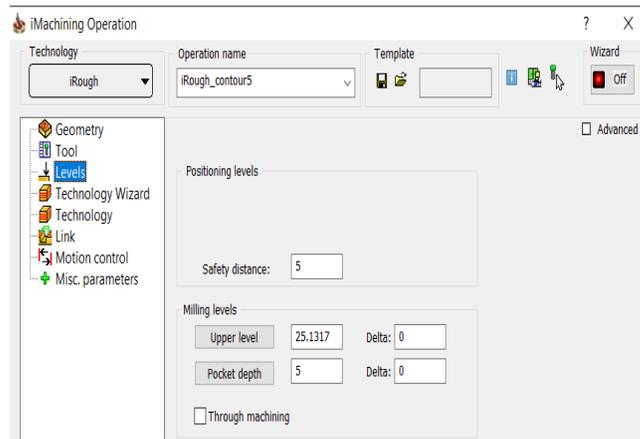


Figura 3.55. Distancia de seguridad y niveles de mecanizado superior e inferior [Fuente: Propia].

A continuación, en “Technology” se define la distancia y estilo de corte en cada pasada, además se define si se desea realizar una pasada de acabado, como el espesor de dicha pasada. Esta pasada puede ser un acabado total, o un acabado en las paredes de la ranura o un acabado en la superficie final de la pieza. Como se observa en la Figura 3.56. Para este caso se definió un offset tanto para las paredes como para la superficie final con la finalidad de que no desbaste material más de lo que se necesita.

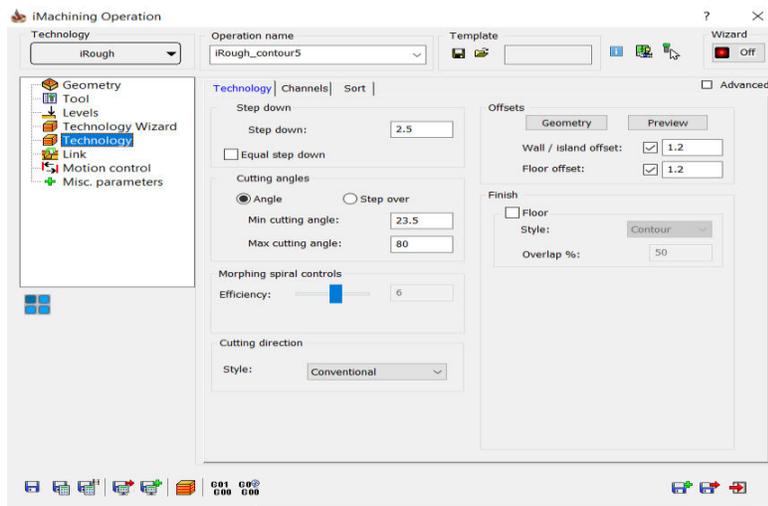


Figura 3.56. Definición de profundidad, estilo de corte en cada pasada de mecanizado y activación de espesor para el acabado superficial [Fuente: Propia].

Finalmente, la opción “Link”, como se observa en la Figura 3.57, permite definir el ángulo de rampa con una entrada helicoidal, manteniendo como centro del helicoide la fresa.

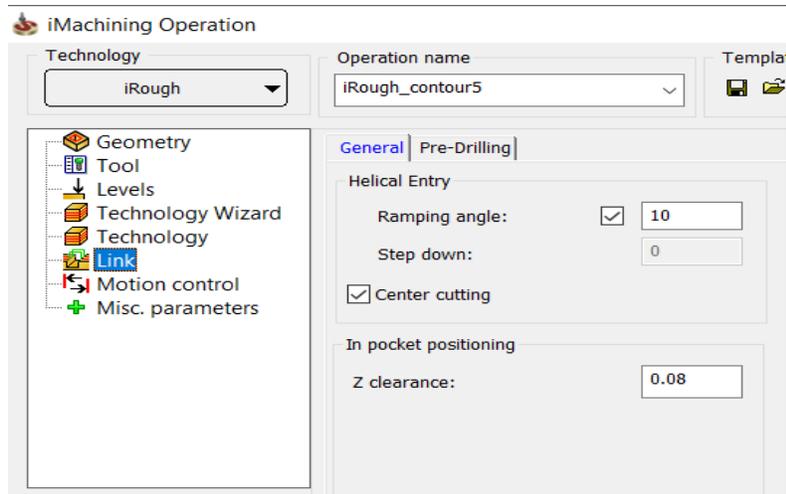


Figura 3.57. Configuración de ángulo de rampa en la entrada helicoidal de herramienta [Fuente: Propia].

3.6.2. 4x_Rotary_model

Esta operación se la utiliza para que el centro de mecanizado trabaje sobre la materia prima a profundidades de corte variables, generando así canales con la geometría deseada, como se muestra en la Figura 3.58.

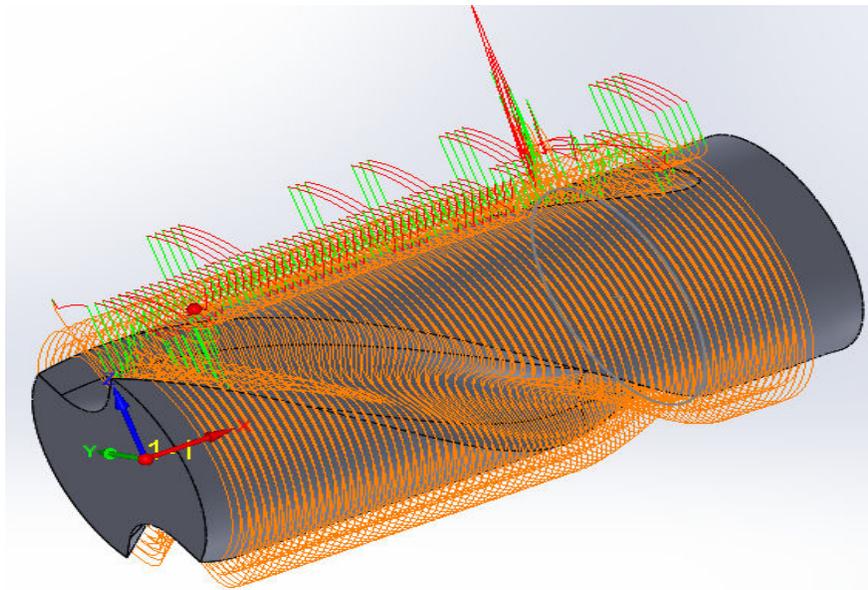


Figura 3.58. Trayectoria de la herramienta para la operación 4x_Rotary_model [Fuente: Propia].

El primer paso para configurar “4x_Rotary_model”, es seleccionar el sistema de coordenadas con el que trabajará en el centro de mecanizado. Para una mejor comprensión en la Figura 3.59 se muestra donde se configura dicha opción.

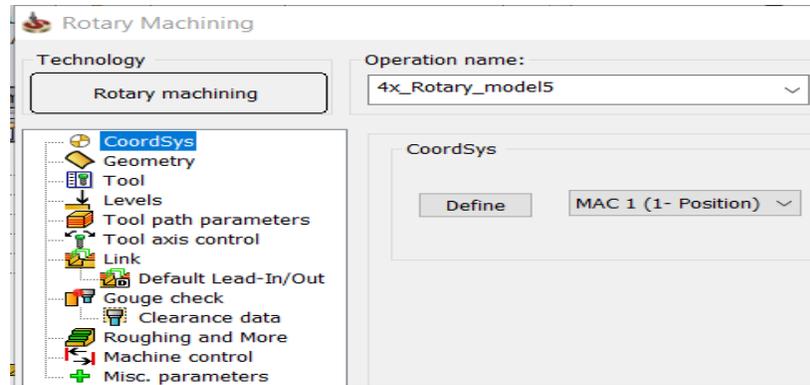


Figura 3.59. Selección de s. de coordenadas a utilizar en la operación 4x_Rotary_model [Fuente: Propia].

Segundo, es necesario seleccionar si el mecanizado se lo realizará alrededor o a lo largo de la materia prima. Después, la superficie que se desea obtener y automáticamente el software calculará la trayectoria de la herramienta incluyendo los distintos niveles que pueden tener los canales helicoidales en el eje. Además, es necesario que los límites de mecanizado sean definidos por el usuario, con el fin de optimizar el tiempo de mecanizado al solo trabajar sobre la distancia establecida y no en todo el stock, como se puede observar en la Figura 3.60.

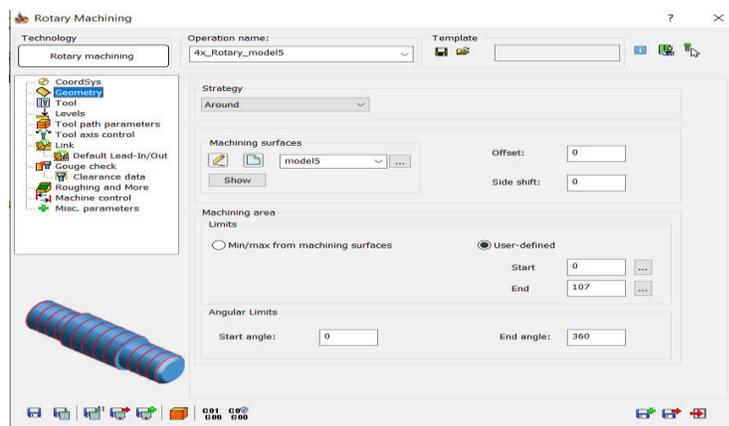


Figura 3.60. Selección de la estrategia, superficies a maquinar y área de mecanizado [Fuente: Propia].

El tercer nivel de configuración de esta operación es la definición de la herramienta, "Tool", como se observa en la Figura 3.61 y en la Figura 3.62, para este caso específico se selecciona una fresa de bola, la cual es perfecta para mecanizar todo el contorno de los canales y obtener un acabado de mejor calidad. Además, se define las velocidades lineales y de rotación de la mesa de trabajo y del husillo respectivamente.

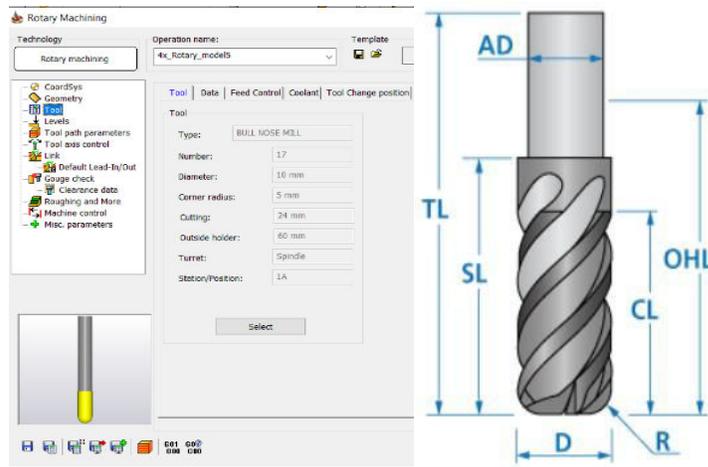


Figura 3.61. Parámetros de la herramienta seleccionada para realizar la operación 4x_Rotary_model [Fuente: Propia].

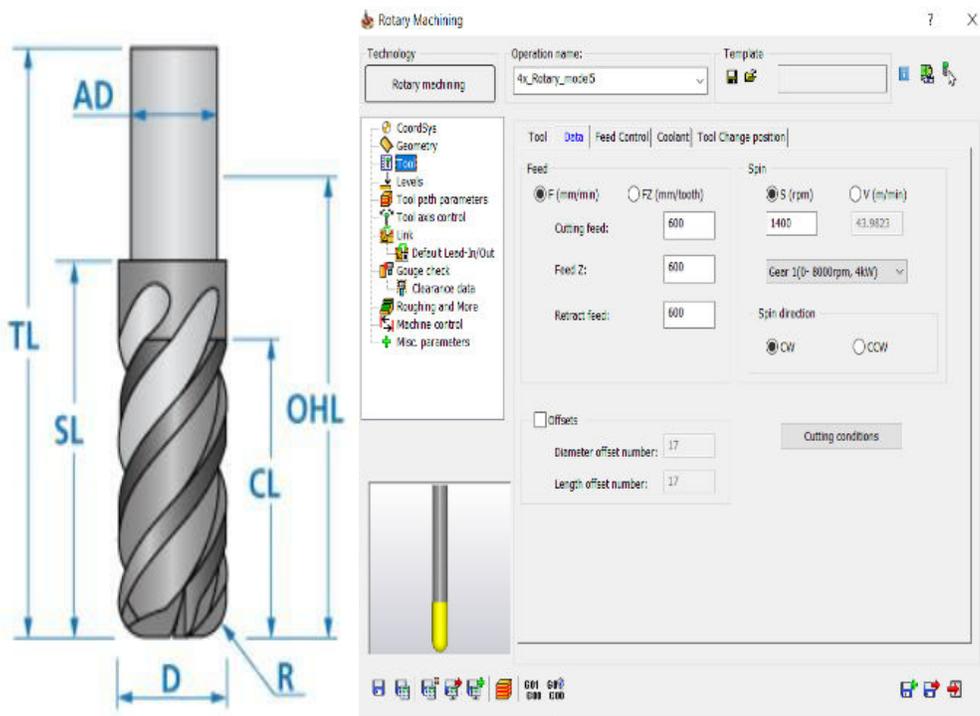


Figura 3.62. Vel. de avance y del husillo establecidas en la operación 4x_Rotary_model [Fuente: Propia].

La cuarta etapa de configuración de esta operación hace referencia a la opción “Levels”, en la que se especifica la distancia de seguridad que va a existir al ingresar la herramienta a maquinarse, la distancia de seguridad a la salida de la herramienta después del maquinado y el punto de acercamiento, los mismos que dependen de las dimensiones de la mesa de trabajo del centro de mecanizado incluyendo el cuarto eje y de la materia prima. En la Figura 3.63 se puede observar los niveles que se tomó en cuenta para esta configuración.

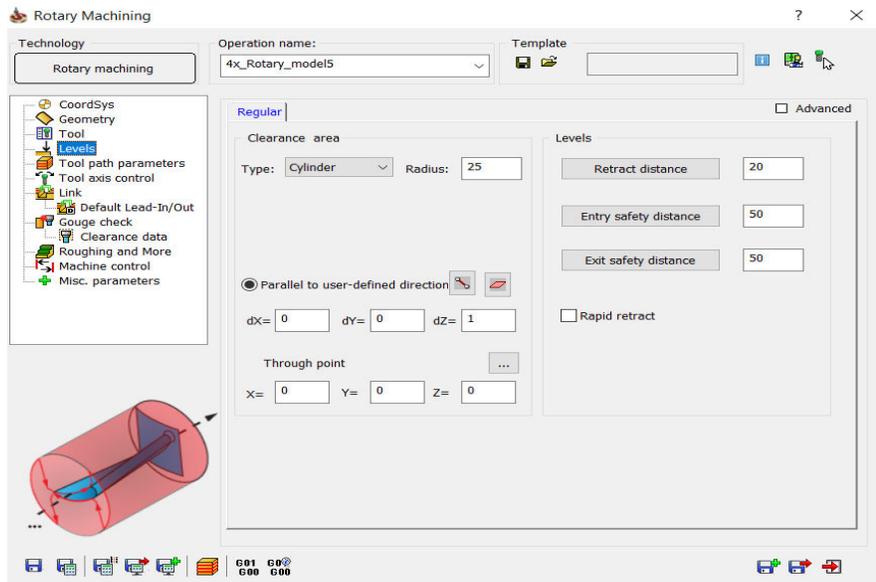


Figura 3.63. Distancias de seguridad a la entrada y salidas de herramienta [Fuente: Propia].

En “Tool path parameters”, como se muestra en la Figura 3.64, es posible especificar la calidad que tendrá la pieza maquinada de acuerdo con la tolerancia de corte, así como el paso longitudinal máximo que va a existir en cada pasada. Para este caso en especial se determina que en cada pasada desbastara 1.5mm, esta distancia se debe a que se está trabajando con una fresa de bola.

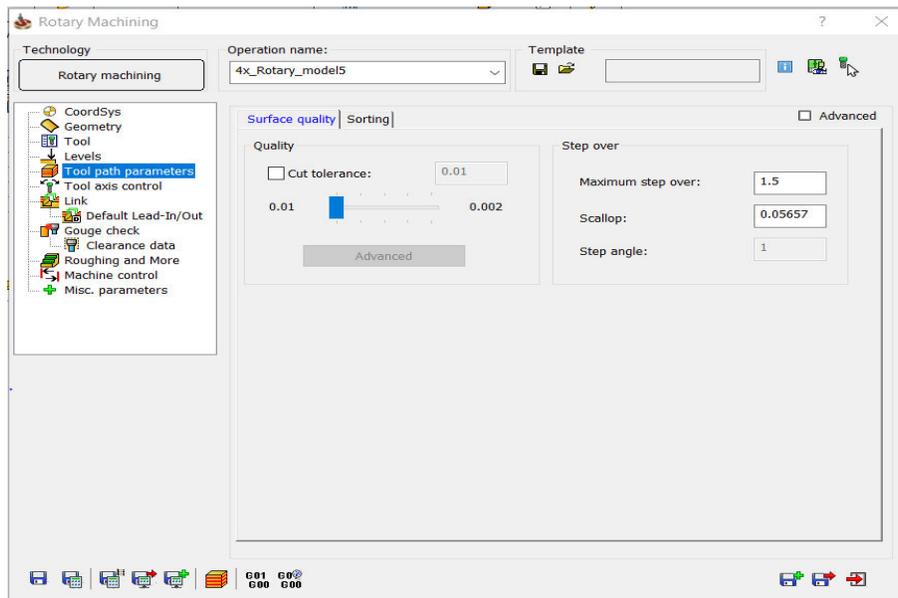


Figura 3.64. Selección de tolerancia de corte y paso longitudinal máx. en cada pasada [Fuente: Propia].

“Tool Axis Control” es un de las configuraciones más importantes de esta operación. Como ya se ha mencionado previamente, es necesario establecer la dirección del cuarto eje y la máxima interpolación angular de movimiento de este,

como se indica en la Figura 3.65, ya que de lo contrario la dirección de giro será desacertada.

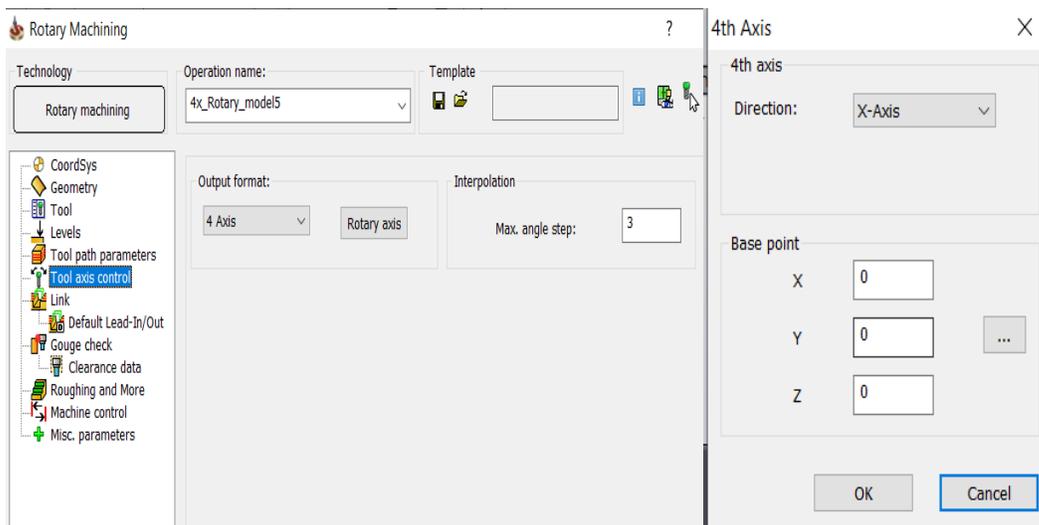


Figura 3.65. Selección de la dirección de rotación para el cuarto eje en Rotary [Fuente: Propia].

La siguiente etapa, mostrada en la Figura 3.66, es “Link”, cuya configuración es importante ya que, mediante una correcta programación, es posible mantener la integridad de la herramienta dentro de su vida útil y mejorar el acabado al comienzo y final de la pieza. Esto debido a que podemos definir la forma en que las herramientas van a ingresar a mecanizar, entradas y salidas entre pases y la salida al finalizar la operación.

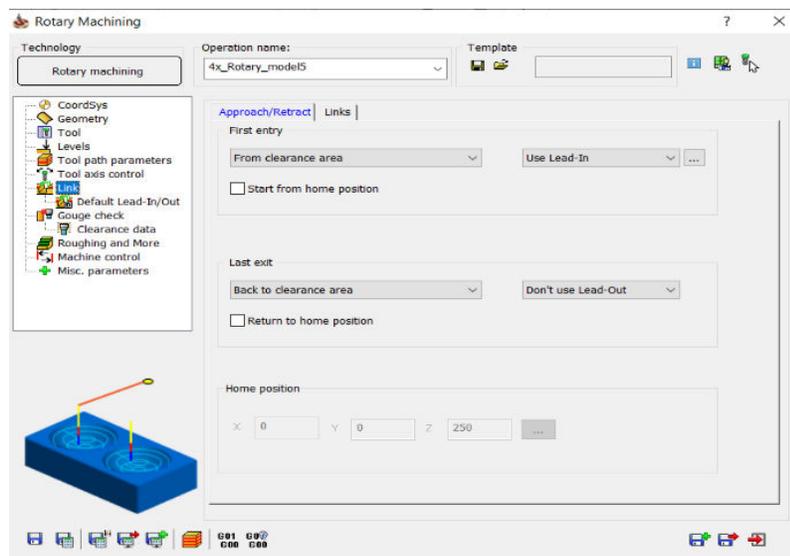


Figura 3.66. Definición del tipo de entrada y salida que tendrá la herramienta al iniciar y finalizar la operación [Fuente: Propia].

A continuación, se tiene “Default Lead-In/Out”, la cual hace referencia a la configuración de los parámetros tanto en entradas y salidas del maquinado,

como se muestra en la Figura 3.67. En otras palabras, se refiere al tipo de forma que tendrá y la orientación del eje de la herramienta.

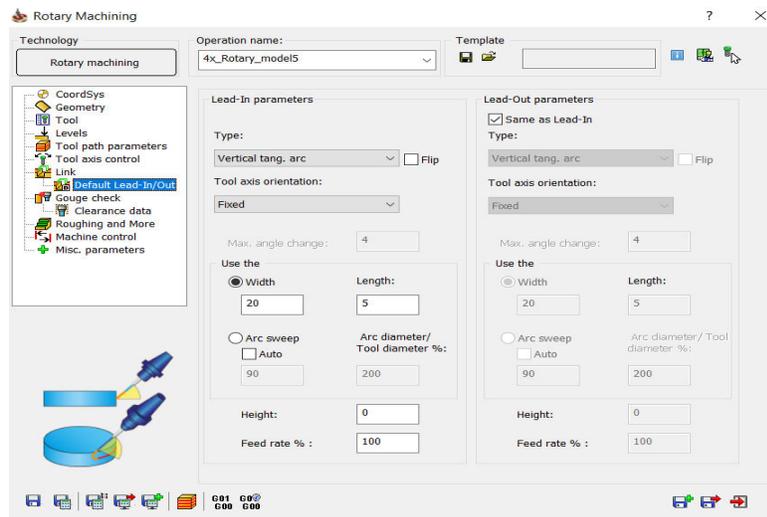


Figura 3.67. Parámetros de entrada y salida de la herramienta en Rotary [Fuente: Propia].

Finalmente, Roughing and More se puede realizar varias configuraciones, como es el caso cuando el Stock tiene una forma variable. Además, como se puede observar en la Figura 3.68 se puede realizar la configuración de la opción “Multi-passes” en la cual se define el número de pases, el espesor a cortar en cada pase tanto para cuando se realiza pases de desbaste como pases de acabado. Para este caso se realiza 3 pasadas y se desbasta por cada pasada 3mm.

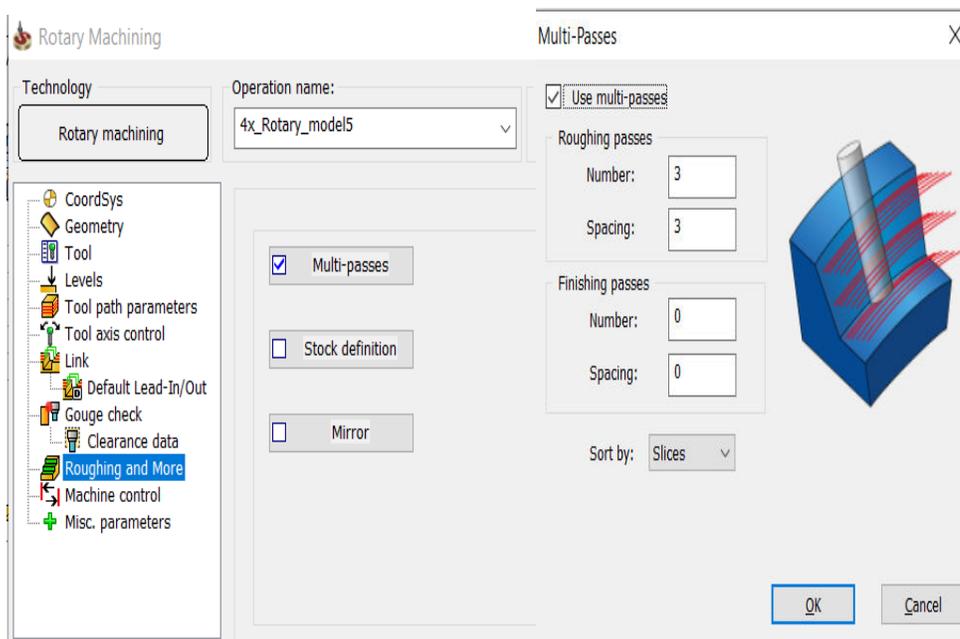


Figura 3.68. Definición del número de pases y espacios de mecanizado [Fuente: Propia].

3.7. Simulación

Con la finalidad de corroborar cualquier resultado del código G generado, se procede a realizar una simulación antes de ejecutarlo en el controlador del centro de mecanizado. Los fabricantes generalmente crean un simulador para cada máquina como es el caso de este centro de mecanizado y, cuando no se cuenta con simuladores propios del equipo, existen una variedad de simuladores genéricos que se pueden usar para controladores específicos. En la actualidad, las máquinas CNC vienen con simuladores incorporados de cada controlador, lo cual facilita este proceso y ayuda a verificar posibles impactos, errores en el código G, caracteres extraños que la máquina no identifica, y que los cambios de herramientas sean los adecuados.

3.7.1. Introducción del Mill Demo

Mill Demo es un simulador propio del controlador CENTROID, el cual no viene incorporado en la máquina como actualmente existe en el mercado. La presentación de este simulador es muy autentico y su interacción con el operador es idéntico al controlador del centro de mecanizado. La principal desventaja de este simulador es que una vez que se ejecuta el programa y se desea visualizar el gráfico en 2D generado, únicamente proporciona las trayectorias de la herramienta en los planos de trabajo y, para el caso de un gráfico en 3D, genera las trayectorias de la herramienta en un punto de los planos de trabajo. La Figura 3.69, da una idea de cómo es la pantalla del controlador, debido a que el simulador presente las mismas opciones y configuraciones que el controlador.



Figura 3.69. Pantalla principal del simulador Mill Demo con sus opciones [Fuente: Propia].

3.7.2. Pasos para simular en Mill Demo

En la Figura 3.70 se muestra el simulador Mill Demo el cual permite observar los posibles errores que pueden ocurrir cuando se va a realizar la pieza en el centro de mecanizado, así como realizar el estimado de tiempo que tardará en realizar la pieza deseada.

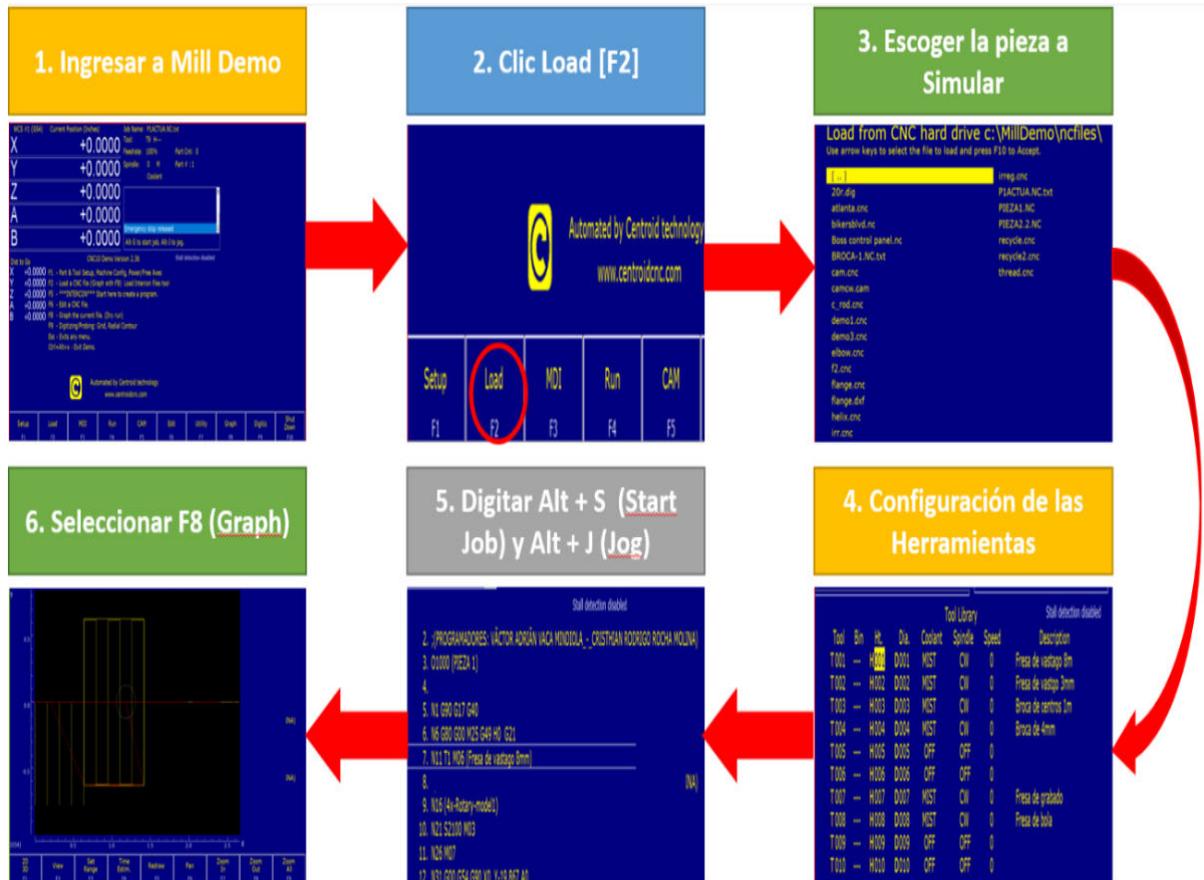


Figura 3.70. Pasos para realizar una simulación de una pieza en Mill Demo [Fuente: Propia].

3.7.3. Simulación de piezas

En la realización de la pieza “cilindro prismático” se logró obtener el tiempo de mecanizado de la pieza y la información de cada herramienta que se usa de acuerdo la operación a realizar. Como se puede observar en la Figura 3.71 se obtuvo gráficos en 2D y 3D. Para el caso del gráfico en 2D, muestra en la primera imagen la trayectoria de la herramienta de un plano de trabajo. Por otro lado, en el gráfico en 3D muestra la trayectoria en una vista isométrica

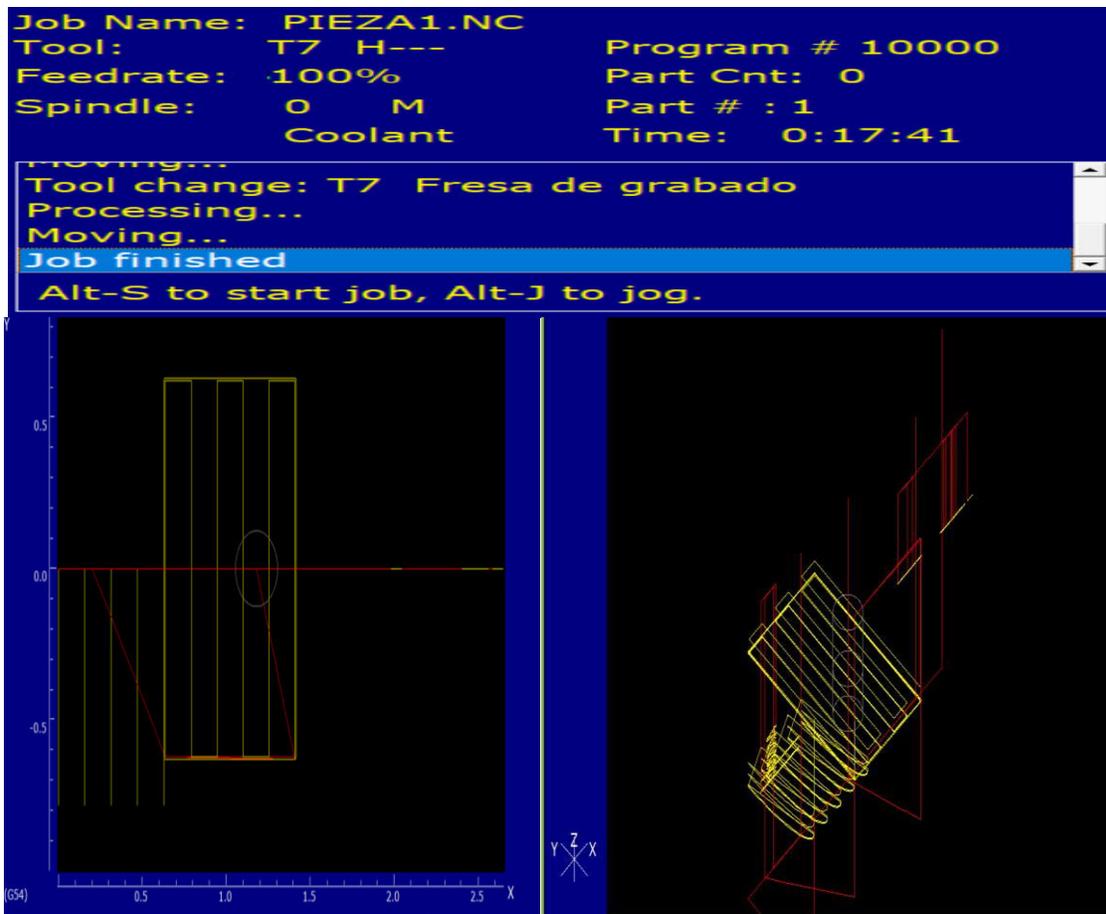
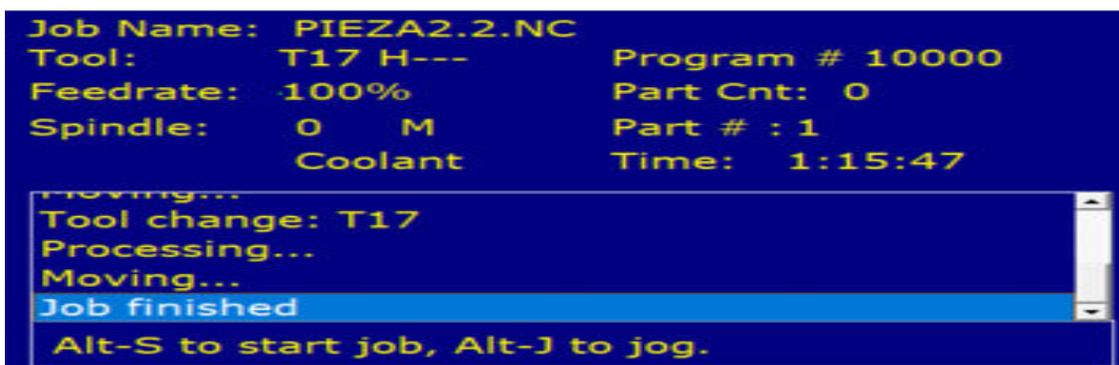


Figura 3.71. Tiempo de simulación y gráficos de trayectorias del cilindro prismático en 2D Y 3D [Fuente: Propia].

Con respecto al “paso helicoidal”, como se observa en la Figura 3.72, de igual manera, a través de este simulador se pudo obtener el tiempo total de mecanizado y los gráficos correspondientes a la trayectoria de las herramientas en 2D y 3D. Una particularidad importante es que, en esta ocasión, el tiempo de mecanizado se aproximó en un alto porcentaje al tiempo real. Además, es posible observar otro tipo de información como las especificaciones de las herramientas, velocidades y si existe un carácter dentro de la programación que el controlador no pueda entender o ejecutar.



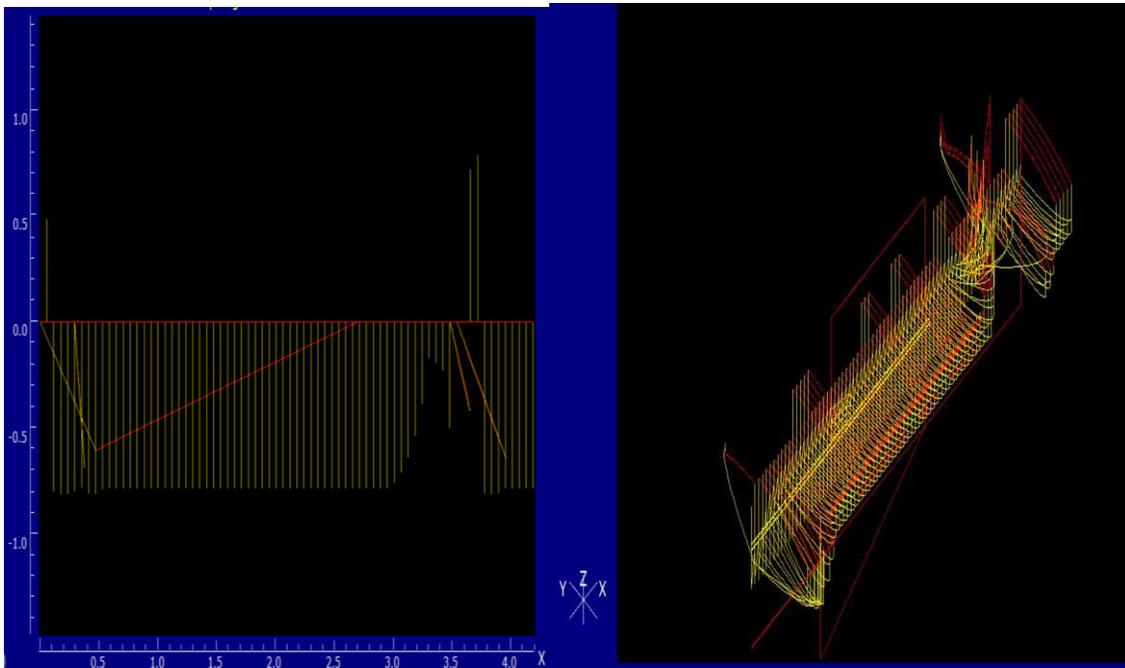


Figura 3.72. Tiempo de simulación y gráficos de trayectorias de paso helicoidal en 2D Y 3D [Fuente: Propia].

3.8. Simulación en SolidCAM

SolidCAM además de proveer el archivo .NC de la programación de la pieza a mecanizar, también está incorporado con un simulador propio del software donde las opciones de visualización son varias, como las trayectorias de las herramientas, el stock mecanizado, el material de sobre espesor e inclusive el acabado. Para una mejor comprensión en la Figura 3.73 se muestra las líneas de trayectoria que siguen las herramientas como el sólido de cilindro prismático.

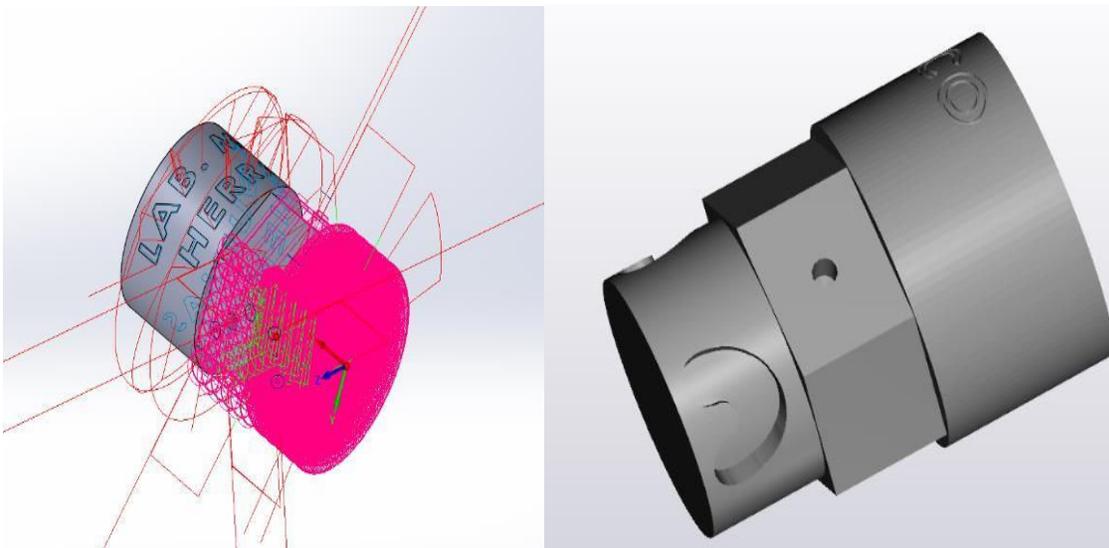


Figura 3.73. Trayectoria de las herramientas y sólido de cilindro prismático [Fuente: Propia].

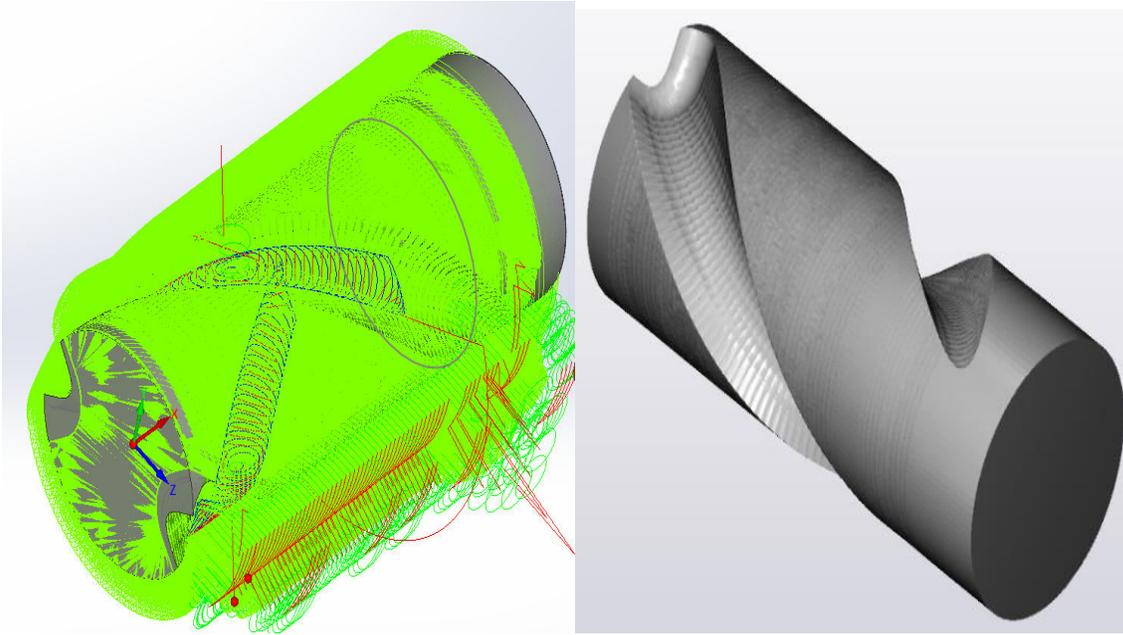


Figura 3.74. Trayectoria de las herramientas y pieza en sólido de paso helicoidal [Fuente: Propia].

La desventaja de este simulador es la exactitud del tiempo de mecanizado, ya que al no ser de la misma familia que el controlador, el tiempo proporcionado es poco confiable. En la figura 3.75, podemos observar que los tiempos estimados son relativamente muy altos comparados a la realidad.

Simulation Data	
Name	Value
X	44.9846
Y	0.0000
Z	50.0000
A	139.5960
-	-
Feed	8000.000
Spin	2200.000
Step	23682
Time	1:50:56

Simulation Data	
Name	Value
X	106.5000
Y	-0.0000
Z	45.0000
A	0.0000
-	-
Feed	2000.000
Spin	2500.000
Step	79859
Time	5:22:24

Figura 3.75. Tiempo de mecanizado de a) cilindro prismático b) Paso Helicoidal en SolidCAM [Fuente: Propia].

3.9. Montaje y Activación del Cuarto eje

Como se puede observar en la Figura 3.76, el montaje del cuarto eje en el centro de mecanizado se lo realizó con la ayuda de un montacargas hidráulico. Una vez ubicado, se asegura el cuarto eje a la mesa de trabajo con niveles y elementos de máquinas de fijación. En el caso que se use un contrapunto se lo fija de la misma manera y se verifica que coincidan los centros de cada elemento.

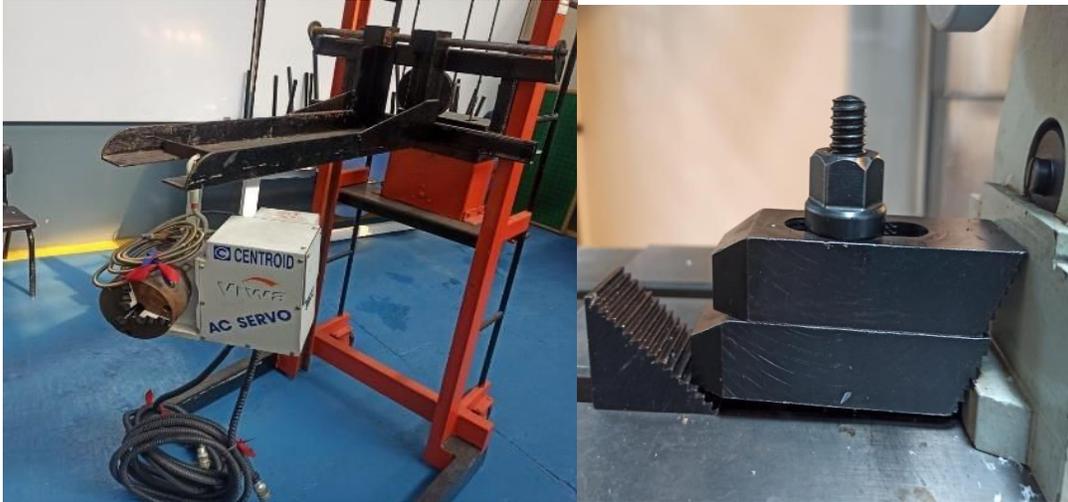


Figura 3.76. Montaje de rotary table (cuarto eje) y aseguramiento en la mesa de trabajo [Fuente: Propia].

Concluido el proceso de montaje, es fundamental efectuar las respectivas conexiones del mismo en la parte trasera de la máquina, con el fin de completar la comunicación del equipo con las órdenes emitidas desde el controlador. En la Figura 3.77 se tiene los conectores que sirven de comunicación entre el cuarto eje con el centro de mecanizado.

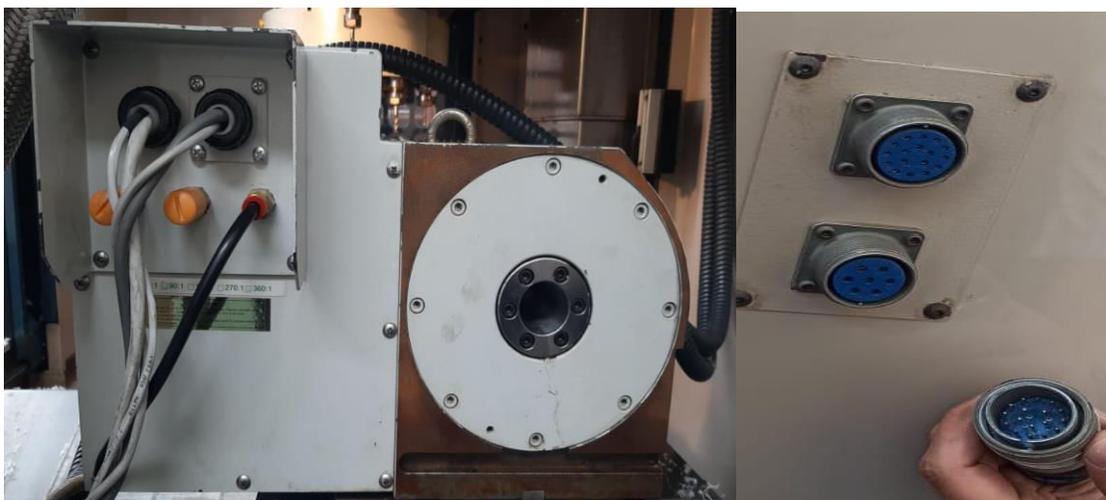


Figura 3.77. Conectores de rotary table (cuarto eje) con en el centro de mecanizado [Fuente: Propia].

En lo que respecta a la activación del cuarto eje en el controlador del centro de mecanizado, se debe seguir las instrucciones descritas en el manual del equipo en el que se detallan los pasos a seguir para aumentar este eje a las lecturas de la máquina. A continuación, en la Figura 3.78 se presentan los pasos a seguir para habilitar el cuarto eje en el controlador.



Figura 3.78. Pasos para la habilitación del cuarto eje en el controlador CENTROID [Fuente: Propia].

Como se puede observar en la Figura 3.79, el código “M92/Z” es el encargado de mover al interruptor y proporcionar un inicio positivo a una velocidad de avance lenta. Sin embargo, “M26/A” establece la posición inicial de la máquina para el eje A en la posición actual.



Figura 3.79. Activación de cuarto eje en el controlador mediante códigos M [Fuente: Propia].

3.10. Cero Pieza

Con la puesta a punto del cuarto eje y la materia prima lista para mecanizar, es necesario ubicar en el carrusel de máquina las diferentes herramientas utilizadas en los procesos de mecanizado. Por lo tanto, debido a que no todas las herramientas presentan dimensiones semejantes es necesario realizar una medición de estas respecto al eje “z” para compensar el desfase que existe con una herramienta de referencia. En la Figura 3.80 se puede observar que, para efectuar dichas mediciones, se utiliza un sensor de proximidad capaz de completar este proceso de manera automática; sin embargo, es imprescindible mencionar que este proceso también se lo puede llevar a cabo de forma manual.



Figura 3.80. Medición de todas las herramientas a usar durante el mecanizado [Fuente: Propia].

Una vez medidas todas las herramientas, se debe definir el “cero pieza” en los ejes “X” y “Y”. En el caso del eje “X” se aproxima de forma manual la herramienta a la cara longitudinal de la materia prima tomando en consideración el radio de la herramienta de referencia (herramienta #1). Al observar la Figura 3.81, la cual esta con respecto al eje “Y”, se lo define aproximando manualmente la herramienta a la cara transversal de la materia prima, considerando además en esta ocasión, el radio del stock.



Figura 3.81. Cero pieza en cilindro prismático y paso helicoidal con el cuarto eje [Fuente: Propia].

3.11. Almacenamiento del archivo .NC al controlador

Como se puede observar la Figura 3.82, al terminar la programación de la pieza en SolidCAM con todas las configuraciones de cada operación, se procede a generar el archivo con el código G. Este proceso comienza seleccionando la o las operaciones las cuales el usuario desee ejecutar en la máquina CNC. A continuación, se da un clic derecho en “Operations” y se selecciona “Calculate & GCode All”, en el caso de que aún no se hayan calculado todas las trayectorias de la herramienta. De forma instantánea y dependiendo de la complejidad del mecanizado, así como la memoria del computador, se genera un archivo .NC con toda la programación que permite obtener el mecanizado deseado.

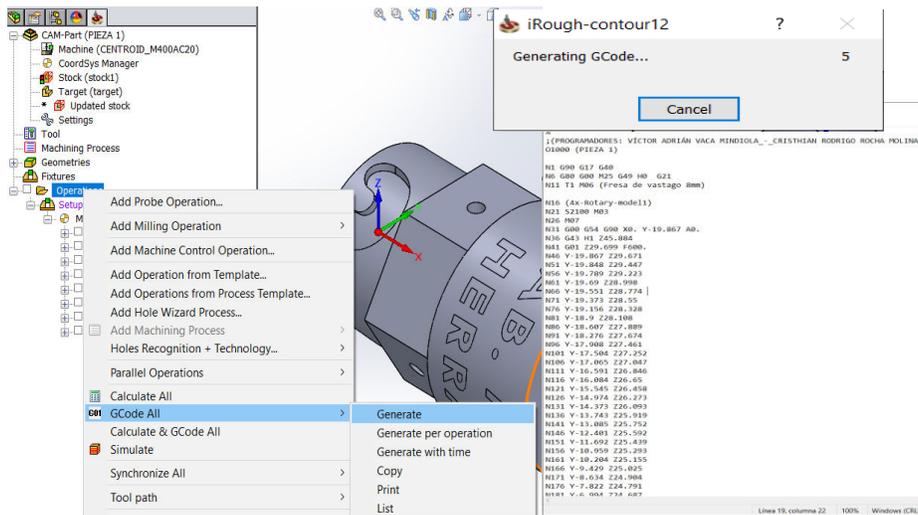


Figura 3.82. Generación de código desde SolidCAM en un archivo .txt [Fuente: Propia].

Una vez generado el código se guarda el archivo “.NC” o “.txt” en un USB y se lo almacena en el controlador de la siguiente manera como se lo puede observar en la Figura 3.83.



Figura 3.83. Pasos para cargar el código en el controlador del centro de mecanizado [Fuente: Propia].

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Generación del código

La puesta a punto del cuarto eje se lo puede verificar en la Figura 4.1, la cual muestra un código G de una pieza, en el mismo se observa el cuarto eje en la parte final del bloque N31 representado por la letra A, el cual es uno de los parámetros que dice que el centro de mecanizado está habilitado para trabajos que necesitan la ayuda del cuarto eje.

```
PIEZA1: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Z
; (PROGRAMADORES: VÍCTOR ADRIÁN VACA MENDOZA - CRISTHIAN RODRIGO RUCHA MOLINA)
O1000 (PIEZA 1)

N1 G90 G17 G40
N6 G80 G00 M25 G49 H0 G21
N11 T1 M06 (Fresa de vástago 8mm)

N16 (4x-Rotary-model1)
N21 S2100 M03
N26 M07
N31 G00 G54 G00 X0. Y-19.867 A0.
N36 G43 H1 Z45.884
N41 G01 Z29.699 F600.
N46 Y-19.867 Z29.671
N51 Y-19.848 Z29.447
N56 Y-19.789 Z29.224
N61 Y-19.69 Z28.918
N66 Y-19.551 Z28.774
N71 Y-19.373 Z28.55
N76 Y-19.156 Z28.328
N81 Y-18.9 Z28.108
N86 Y-18.607 Z27.889
N91 Y-18.276 Z27.674
N96 Y-17.908 Z27.461
N101 Y-17.504 Z27.252
N106 Y-17.065 Z27.047
N111 Y-16.591 Z26.846
```

Figura 4.1. Ejemplo de código generado por SolidCAM (Cilindro Prismático) [Fuente: Propia].

4.2. Cilindro prismático

Con respecto al cilindro prismático, el plano realizado en Solidworks se puede obtener los valores teóricos, los cuales han sido representados con letras como se puede ver en la Figura 4.2.

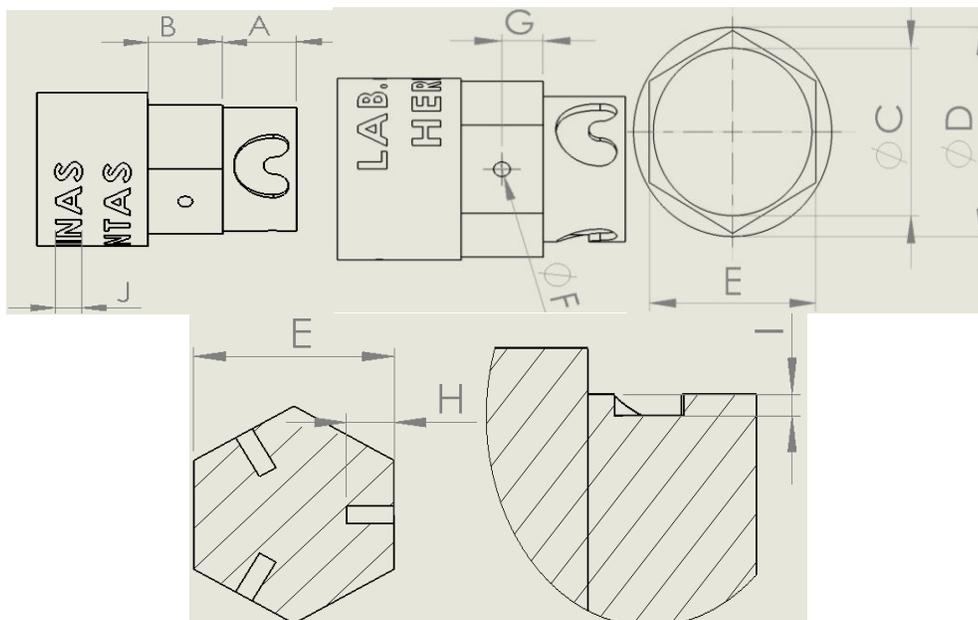


Figura 4.2. Vistas de cilindro prismático usadas para acotación [Fuente: Propia].

De acuerdo con los valores medidos del cilindro prismático con la ayuda del calibrador se toma tres medidas en diferentes posiciones de cada cota con el fin de poder tener un valor promedio de cada cota. A continuación, se puede observar tanto los valores experimentales como los valores teóricos y los errores relativos.

Tabla 4.1. Valores de cilindro prismático

VALORES EXPERIMENTALES										
# MEDICIONES	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	F [mm]	G [mm]	H [mm]	I [mm]	J [mm]
1	20.05	20.12	39.94	49.97	42.45	3.91	10	9.11	3.94	7.03
2	19.95	20.06	40.33	50.05	42.54	3.88	10.05	9.05	3.90	7.02
3	19.93	20.00	40.21	50	42.46	3.88	10	9.10	3.91	7.05
PROMEDIO	19.98	20.06	40.16	50.01	42.48	3.89	10.02	9.09	3.92	7.03
VALORES TEÓRICOS										
# MEDICIONES	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	F [mm]	G [mm]	H [mm]	I [mm]	J [mm]
1	20	20	40	50	42	4	10	10	4	7
ERROR RELATIVO										
# MEDICIONES	A [%]	B [%]	C [%]	D [%]	E [%]	F [%]	G [%]	H [%]	I [%]	J [%]
1	0.12	0.3	0.40	0.01	1.15	1.00	0.17	9.13	1.17	0.48



Figura 4.3. Cilindro prismático realizado en el centro de mecanizado [Fuente: Propia].

4.3. Paso Helicoidal

Como se puede observar la Figura 4.4, de la misma manera para el paso helicoidal se procede a la medición de cotas las cuales se realiza en tres diferentes posiciones de la pieza. Para esta pieza por la dificultad de toma de mediciones, se realiza en algunas partes del paso helicoidal como se puede observar en las siguientes tablas tanto los valores experimentales como los valores teóricos y los errores relativos.

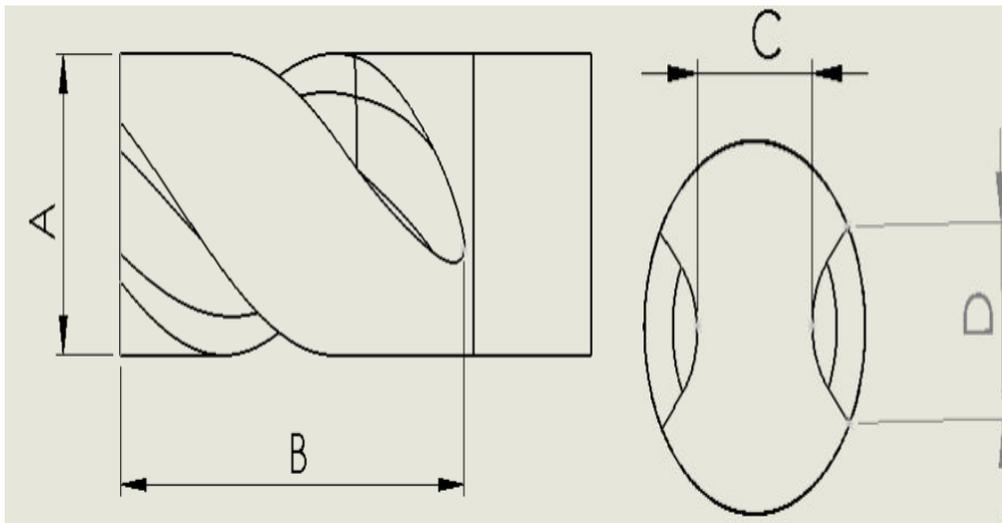


Figura 4.4. Vistas de Paso Helicoidal usadas para acotación [Fuente: Propia].

Tabla 4.2. Valores de paso helicoidal

VALORES EXPERIMENTALES				
# MEDICIONES	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]
1	50.17	88.10	26.5	26
2	50.19	88.13	26.6	25.7
3	50.10	88.10	26.5	25.9
PROMEDIO	50.15	88.11	26.53	25.87
VALORES TEÓRICOS				
# MEDICIONES	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]
1	50	87.67	26	26.4
ERROR RELATIVO				
# MEDICIONES	A [%]	B [%]	C [%]	D [%]
1	0.3	0.5	2.04	2.01



Figura 4.5. Paso helicoidal realizada en el centro de mecanizado [Fuente: Propia].

4.4. Análisis de Resultados

Con los resultados obtenidos surge la necesidad de someter dicha información a análisis e interpretación.

Una vez obtenido el archivo .NC con el código G de la pieza a mecanizar y ejecutarlo en el centro de mecanizado, se obtuvo el modelo real del cilindro prismático y el paso helicoidal. Por tal razón, surge la necesidad de verificar la eficacia del centro de mecanizado comparando las dimensiones reales de las piezas con las dimensiones teóricas proporcionadas por SolidWorks al momento de elaborar el modelo CAD.

Se puede señalar que el código G que genera el post-procesador es una programación optimizada, donde parámetros como velocidad de avance y del husillo están establecidos como códigos de tipo modal, lo cual significa que una vez que se los define, ya no es necesario volverlos a escribir o que se generen más de una vez. Además, el post-procesador está configurado para que genere las trayectorias de la herramienta en los cuatro ejes del centro de mecanizado dentro de un mismo bloque de programación y así liberando memoria del controlador. Por último, cabe destacar que el intervalo de la numeración que existe entre cada bloque de programación es de cinco, con el fin de proporcionar al operador facilidades para editar o agregar líneas de código G en el archivo final.

Una vez ejecutado el código G del cilindro prismático en el centro de mecanizado se observó que el controlador de la máquina pudo realizar las ocho operaciones de las cuales está compuesta el archivo CAM sin problema alguno, en la que

constaban 24023 líneas de programación. Sin embargo, el paso helicoidal sí presentó error al momento de ejecutar el archivo CAM correspondiente a su mecanizado ya que contenía 64010 líneas de programación, por tal razón para esta pieza se procedió a dividir el archivo en dos partes y ejecutar cada operación independientemente, las mismas que contienen 7923 y 56098 líneas de programación respectivamente.

El cilindro prismático es una pieza cuya geometría presenta varias particularidades en las tres secciones que lo componen y, su distribución permite obtener cotas que validan claramente la precisión de esta máquina CNC. Como se observó en la Tabla 4.1, de la sección de resultados obtenidos, de las diez cotas que se tomaron mediciones, solo una presenta 9.13% de error, la misma que corresponde a la profundidad de las perforaciones en la parte hexagonal de la pieza. Este error se debe a la dificultad que existe para que el instrumento de medida (calibrador) alcance la profundidad total de perforación, debido al diámetro de 4 mm y a la geometría de la herramienta, ya que la broca presenta una sección en forma de cono. Esta diferencia o error es normal en un proceso de manufactura CAD/CAM y CNC, cuando no se tiene las herramientas apropiadas.

Por otro lado, las cotas que corresponden a la longitud de la sección cilíndrica y hexagonal, profundidad del ranurado y grabado, diámetros del cilindro y distancia del hexágono cara a cara, presentaron un error menor o igual al 1%. Este valor pequeño de error se le atribuye la facilidad que tienen las cotas para tomar mediciones y más que todo a la eficacia del centro de mecanizado para elaborar piezas con alta precisión en cuanto a dimensiones se refiere.

El paso helicoidal es una pieza escogida principalmente para analizar la eficiencia y eficacia del centro de mecanizado al implementarle esta nueva aplicación. Con el mecanizado de esta pieza, se validó los procesos de mecanizado simultáneo e indexado de la máquina con sus cuatro ejes trabajando conjuntamente. Su geometría se compone principalmente de un mango y de la sección helicoidal en la que se destacan dos entradas y, al final de esta sección presenta una salida progresiva a lo largo del diámetro con el fin eliminar aristas que actúen como concentradores de esfuerzos. En la Tabla 4.2, de la sección de resultados obtenidos, se presentan cuatro cotas principales de las que se

obtuvieron mediciones reales y fueron comparadas con las dimensiones teóricas del modelo. Las cotas “C” y “D” que corresponden a la distancia mínima entre cada entrada helicoidal y al tamaño de la entrada, presentan un error del 2%, el mismo que se le atribuye a la complejidad que existe para obtener datos experimentales en estas partes de la pieza.

Además, lo que respecta a las cotas “A” y “B” del paso helicoidal, el error calculado es de 0.3 y 0.5% respectivamente. A diferencia de las cotas “C” y “D”, estas corresponden a las medidas extremas de la pieza, que son diámetro y la longitud helicoidal. Gracias a su distribución en el modelo, se facilitó la obtención de datos experimentales en donde se comprueba una vez más la precisión de la máquina para esta nueva aplicación.

Los acabados superficiales del cilindro prismático y del paso helicoidal resultaron excelentes. Esto se debe a la configuración de cada operación de mecanizado en el archivo CAM, donde parámetros como número de pasadas, avance entre pases, el tipo de herramienta, así como su entrada y salida en la superficie del material y las velocidades de giro y avance ocupan un rol fundamental para la mejora de la calidad del mecanizado. Además, es necesario mencionar que el tipo de material también influye en el acabado final, y para este caso el “duralón”, el cual es un termoplástico, ayudó a obtenerlo gracias a su alta maquinabilidad y propiedades que lo ubican como uno de los materiales más usados en la industria de la manufactura.

Finalmente, al comparar el tiempo de maquinado real con respecto al tiempo de maquinado que da el software SolidCAM, el tiempo real se reduce aproximadamente a la mitad del tiempo de maquinado que determina SolidCAM.

5. CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

- El objetivo fundamental de esta tesis es habilitar y poner a punto el cuarto eje del centro de mecanizado del Laboratorio de Máquinas Herramientas, el cual es fundamental para el desarrollo del aprendizaje con la posibilidad de realizar futuras prácticas donde se utilice el mecanizado con 4 ejes. Además, faculta a la institución y principalmente al laboratorio para la prestación de servicios internos y externos con este equipo.
- La principal aportación consiste en el diseño y programación del post-procesador que genera un archivo de texto con el código G e incluye las especificaciones, ciclos de mecanizado y códigos que el controlador CENTROID del equipo es capaz de ejecutar para comenzar el mecanizado.
- Para llevar esto a cabo, primero se obtuvo la información técnica del hardware y software del centro de mecanizado, donde datos del manual del controlador y del cuarto eje fueron claves para habilitar el mismo en el controlador de la máquina e instalarlo en el equipo. Durante este proceso, se indagó los parámetros de funcionamiento que se deben cumplir para la correcta operación de esta máquina CNC.
- Los comandos, códigos y encabezados para la programación y operación del cuarto eje del centro de mecanizado se los determinó a través de la guía de programación GPPTOOL, la misma que especifica los códigos en este lenguaje de programación ISO que generan y escriben los ángulos a los cuales debe moverse el cuarto eje acorde a lo requerido por el archivo CAM. En base a los archivos .NC generados, se observa que efectivamente ya se cuenta con la coordenada "A" de tipo modal, correspondiente al cuarto eje en procesos de mecanizado indexado y simultáneo.
- El post-procesador que se obtuvo después de implementar las funciones, operaciones y coordenada "A" del cuarto eje, es capaz de transformar los códigos neutros que genera SolidCAM a partir de un diseño CAD. Este post-procesador trabaja en conjunto con otro archivo

cuya extensión es .VMID, que funciona como editor de parámetros y especificaciones de la máquina en cuestión. Estos dos archivos son los que permiten que SolidCAM genere el código G deseado, el cual ya incluye todas las trayectorias de la herramienta y velocidades necesarias que conciernen al cuarto eje de una forma optimizada, escribiendo códigos de tipo modal y ordenada, en la que se distinguen el encabezado, cuerpo y final de un programa en código G. Estas particularidades implementadas en el post-procesador permiten reducir la memoria ocupada en el controlador y proporciona un mayor entendimiento al operador de lo que se desea obtener con dicho programa, además de facilitar la identificación de posibles errores.

- Se validó el funcionamiento del post – procesador con la elaboración de dos piezas de prueba, las cuales combinan distintas operaciones que únicamente pueden realizarse con 4 ejes trabajando conjuntamente. Esta validación se la llevó a cabo con la medición de las piezas y comparándolas con las medidas teóricas de las mismas, obteniendo errores para el cilindro prismático en un rango de 0.01% - 1.15%, los cuales corresponden a valores de errores bajos debido al proceso de manufactura empleado; sin embargo, existe un error de 9.13% el mismo que se considera un valor extremadamente alto debido a la geometría de la herramienta usada en la operación de perforado. En lo que respecta al paso helicoidal se tuvo errores en un rango de 0.3% - 2.04%, los mismos que permiten comprobar la exactitud de este proceso de manufactura.
- El centro de mecanizado marca VIWA modelo VCM3M400 puede operar sin ningún inconveniente con sus cuatro ejes instalados, aprovechando así el 100% de las capacidades de esta máquina CNC que en años anteriores estaba de desuso y desperdiciando recursos.

5.2. Recomendaciones

- Desarrollar la configuración del archivo CAM de las piezas a mecanizar en este equipo de manera minuciosa, permitirá reducir un alto porcentaje del tiempo de mecanizado, ya que el tipo de avance en el corte que realiza

la herramienta, la forma con la que entra la misma e inclusive la operación seleccionada para su fabricación, son factores importantes que tienen relación directa con el tiempo de manufactura.

- Evitar utilizar caracteres de texto especiales en la elaboración del archivo CAM con el fin de que el código G generado sea compilado por la máquina sin problema alguno. Debido a que el controlador es incapaz de entender símbolos, signos o letras griegas produciendo paros inesperados en el mecanizado.
- Comprobar el estado en el que se encuentran las mangueras, cables y presión de aire que corresponden al cuarto eje especialmente para evitar un paro de emergencia en el transcurso de un mecanizado.
- Diseñar un simulador más eficiente e interactivo con el usuario es uno de los trabajos futuros que pueden generarse a partir de esta tesis, ya que existe aún la necesidad de ejecutar una simulación de las piezas antes del mecanizado que permita observar posibles errores en la programación y las trayectorias que tendrán las herramientas a lo largo del stock de trabajo, de una forma clara y concisa. Además de poder predecir el tiempo de mecanizado real que tendrá la fabricación de una pieza.
- Utilizar el centro de mecanizado de manera continua para aprovechar el 100% de sus capacidades, ya que cuenta con sus cuatro ejes habilitados y listos para trabajar. Actualmente el equipo está en la capacidad de manufacturar tornillos sin fin, fresas, gravados en una sección de la materia prima, pasos helicoidales y muchas otras aplicaciones que incrementaran el alcance que tiene el laboratorio de máquinas herramientas a nivel académico y prestación de servicios internos y externos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Bolagay y D. Robayo, "Implementación de prácticas para la obtención de elementos maquinados en el centro de mecanizado con control numérico computarizado de la Facultad de Ingeniería Mecánica", Proyecto de Grado, Dpto. Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional., Quito, Ecuador, 2011.
- [2] K. Collaguazo y J. Conlago, "Diseño e implementación de un post-procesador para el torno GSK GT40 y el Centro de Mecanizado VIWA VCM3M400 para el Laboratorio de Máquinas y Herramientas," Proyecto de Grado, Dpto. Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional., Quito, Ecuador, 2020.
- [3] S. Krar y A. Check, *Tecnología de las Máquinas - Herramienta*, vol. 5 a ed. Glencoe/McGraw-Hill, Inc. 2002. Sec. 14. Ud. 77. pp. 625-629.
- [4] V. Acuña, (2011, Sept) "Centros de Mecanizado CNC". Disponible en <https://es.slideshare.net/VinicioAcuna/centros-de-mecanizado-cnc>
- [5] DMG Mori Ibérica, S.L.U. (s.f.) "Centros de Mecanizado Verticales". [Internet]. Disponible en <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Centro-de-mecanizado-universal-DMC-210-U-55344.html>
- [6] INDUSTRIAS VIWA, SA. DE C.V., (s.f.) INFO VCM3M400 AC. . Recuperado de <http://www.sellusedmachinery.com/listingbrochures/12113144883973269.pdf>
- [7] J.F. Terlevich, *Curso Básico de: Maquinas Herramientas con Control Numérico*. pp. 15, 64-65. Disponible en <https://es.slideshare.net/mizael34/curso-bsico-de-cnc>
- [8] "Maquinado en un centro de maquinado VIWA 4 ejes," VIWA CNC, 23 de jun. de 2010, [video en línea]. ¿Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=IYoM2fg7Pgs>.
- [9] G. Castro, *Técnicas Modernas de Mecanizado, Parte I*, Dpto. Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A., 2009, pp. 9-11, 60-69.
- [10] G. Castro, *Técnicas Modernas de Mecanizado, Parte III*, Dpto. Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A., 2009, pp. 39-40, 70-71.
- [11] BobCAD-CAM, (2014), "Fresadora 4 ejes BobCAD-CAM versión V27 PRO.", [Internet]. Recuperado de <http://www.softwarecadcam.com.mx/software/fresadora-4-ejes-pro.html>
- [12] B. Warfield, (2020), "4 Axis CNC Machining in 2020: The Definitive Guide.", [Internet]. Recuperado de <https://www.cnccookbook.com/4-axis-cnc-in-2020-the-definitive-guide/#chapter6>
- [13] "Steam Turbine Nozzle Machining," Chola Turbo, 13 de jul. 2012, [video en línea]. Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=FAONhPT41hA&feature=emb_title
- [14] "Centro de mecanizado con cuarto eje 1," SERMAT.O.J.H., 5 de Sept. 2014, [video en línea]. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=-y7LMpeAeqk>
- [15] iStock, (2019), *La Fresadora CNC multieje corta la pieza de muestra de alta precisión mediante herramienta de fresado de bolas solidas*. Recuperado de <https://www.istockphoto.com/es/foto/la-fresadora-cnc-multieje-corta-la-pieza-de-muestra-de-alta-precisi%C3%B3n-mediante-gm1192087940-338573740>
- [16] Spectrapremium, (2020), "CUERPO DEL ACELERADOR ELECTRÓNICO", Recuperado de <https://www.spectrapremium.com/es/aftermarket/northamerica/electronic-throttle-body>

- [17] J.A. Garcia, *Efecto de la estrategia de maquinado, en el proceso de fresado de acabado con herramienta de punta esférica, sobre la rugosidad superficial de la aleación de titanio Ti-6Al-4V*, 2016, ResearchGate, Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/308021224_Efecto_de_la_estrategia_de_maquinado_en_el_proceso_de_fresado_de_acabado_con_herramienta_de_punta_esferica_sobre_la_rugosidad_superficial_de_la_aleacion_de_titanio_Ti-6Al-4V/figures?lo=1
- [18] J. García, J. Arroyo y E. Cordova. *Planificación del proceso de fresado de una pieza compleja utilizando una máquina herramienta virtual*. Dpto. de Ingeniería Mecánica, Vol.17 (2014, dic.). Colombia, Bogotá. Universidad Santo Tomás y Universidad Nacional de Colombia. Publicado en Scielo, Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442014000300010
- [19] INDUSTRIAS VIWA CNC, (2016), “REFACCIONES Y SOFTWARE”. Recuperado de <http://viwacnc.com/refacciones-y-software/>
- [20] AUTODESK, «SOFTWARE CAD/CAM,» [En línea]. Available: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-cam>. [Último acceso: 19 Mayo 2020].
- [21] taiwebs.com, «SolidCAM 2020 SP1,» [En línea]. Available: Fig. 1 <https://es.taiwebs.com/windows/download-solidcam-3151.html>. [Último acceso: 25 Mayo 2020].
- [22] 3. C. Portal, «SOLIDCAM,» [En línea]. Available: <http://www.3dcadportal.com/solidcam.html?fbclid=IwAR2b9LWG2dWXnWWWhKIM1p3UWw59yIvk0KM1cI7Ui2R2Gmm1txvqxLIYOU4>. [Último acceso: 20 Mayo 2020].
- [23] SOLIDWORKS, «SolidCAM,» [En línea]. Available: <https://www.solidworks.com/es/partner-product/solidcam>. [Último acceso: 20 Mayo 2020].
- [24] Direct INDUSTRY, «CENTRO DE MECANIZADO 4 EJES/HORIZONTAL/MULTIHUSILLOS,» [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/starrag/product-122219-1908980.html>. [Último acceso: 30 Mayo 2020].
- [25] T. Soria, «INTRODUCCIÓN AL CAD CAM CNC,» [En línea]. Available: <https://www.slideserve.com/talasi/introduccion-al-cad-cam-cnc>. [Último acceso: 30 Mayo 2020].
- [26] SolidCAM, *SolidCAM GPPTOOL User Guide*, EE.UU., 1995 - 2009.
- [27] SolidCAM, “SolidCAM Application Tutorial Rotary Mahining”, Recuperado de: https://kupdf.net/download/solidcam-2016-rotary-machining_5a460fd7e2b6f5bc10c63607_pdf, 2017
- [28] CENTROID, “RT-150 Rotary Table”. Operator’s Manual. Rev. 082704, Howard, PA 16841. 2004.
- [29] MECASINC, *Que Ventajas obtenemos de un buen trabajo realizado con CAD-CAM para mecanizados CNC*, [En línea]. Available: <https://www.mecanizadossinc.com/cad-cam-y-sus-venyajas-para-trabajos-mecanizados-cnc/> (2019), [Último acceso: 26/01/2021]
- [30] CENTROID (2013-2015) Centroid M-Series Operators Manual CNC Software version: CNC11 V.3.14 Recuperado de https://www.centroidcnc.com/downloads/centroid_v3.14_mill_operator_manual.pdf