

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DEL SUR DE GUANAJUATO



“Implementación de técnicas de optimización para el maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado de 3 ejes”

Opción 2 Titulación Integral – Tesis Profesional

Elaborada por:

Omar Almanza Lara

Que presenta para obtener el título de:

INGENIERO EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

Asesor:

Dr. José Eli Eduardo González Durán

“Implementación de técnicas de optimización para el maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado de 3 ejes”

Elaborada por:

Omar Almanza Lara

Aprobado por. Dr. José Eli Eduardo González Durán

Docente de la carrera de ingeniería en sistemas automotrices

Asesor de tesis profesional

Revisado por.M.C. Mariano Braulio Sánchez

Coordinador de las carreras de ingeniería en electrónica y sistemas automotrices

Revisor de tesis profesional

Revisado por. M.C. Pedro Durán Reséndiz

Docente de la carrera de ingeniería en sistemas automotrices

Revisor de tesis profesional



LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Uriangato, Gto., 05/Mayo/2022

Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral

Ing. J. Trinidad Tapia Cruz
Director Académico y de Estudios Profesionales
ITSUR
PRESENTE

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

Nombre de estudiante y/o egresado(a): Almanza Lara Omar	
Carrera: Ingeniería en Sistemas Automotrices	Núm. de control: T16120137
Nombre del proyecto: Implementación de técnicas de optimización para el maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado de 3 ejes	
Producto: Tesis profesional	

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

ATENTAMENTE

M. C. Mariano Braulio Sánchez
Coordinador de Ingeniería en Sistemas Automotrices
ITSUR



Instituto Tecnológico Superior
del Sur de Guanajuato
COORDINACIÓN INGENIERÍA
EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

La comisión revisora ha tenido a bien aprobar la reproducción de este trabajo.

Dr. José Eli Eduardo González Durán. Asesor de Tesis Profesional	M.C. Mariano Braulio Sánchez Revisor 1	M.C. Pedro Durán Reséndiz Revisor 2

c.c.p.- Expediente

Mayo 2022

Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato
Subdirección de Vinculación
Departamento de Difusión y Concertación

DEPARTAMENTO ACADEMICO	CLAVE:11EIT0002E ISA-EGR-2022/05
---------------------------	-------------------------------------

Uriangato, Guanajuato, **05/mayo/2022**

Asunto: Aprobación de impresión de trabajo profesional

C. ALMANZA LARA OMAR
PRESENTE:

Por medio de este conducto, le comunico a usted que después de haber sido revisado su trabajo bajo la cual se derivó la Monografía Titulada:

“Implementación de técnicas de optimización para el maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado de 3 ejes”

La comisión revisora, ha tenido a bien aprobar la impresión de este trabajo.

ATENTAMENTE

*“Excelencia en Educación Tecnológica”
“Tecnología y Calidad para la Vida”*



M.C. Mariano Braulio Sánchez
Jefe de División de Ingeniería en Sistemas Automotrices



Instituto Tecnológico Superior
del Sur de Guanajuato
COORDINACIÓN INGENIERÍA
EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

C.c.p Unidad de Servicios Escolares
C.c.p Coordinación de Ingeniería en Sistemas Automotrices
C.C.p Archivo Consecutivo



Ave. Educación Superior No. 2000, Col. Benito Juárez, Uriangato, Guanajuato, C.P. 38960
Tels. (445) 45 7 74 68 al 71 Ext. *116, e-mail: promocion@itsur.edu.mx
tecnm.mx | itsur.edu.mx



2022 Flores
Ricardo
Magón
PRESENCIA DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Tabla de contenido

Capítulo 1.....	15
Introducción.....	15
Capítulo 2.....	17
Marco teórico (antecedentes).....	17
2.1 Maquinado	17
2.2 Fresado.....	18
2.3 Fresadora.....	19
2.3.1 Tipos de Fresadora.....	19
2.3.2 Clasificación de fresadoras por el número de ejes	19
2.3.3 Clasificación de fresadoras por la orientación de la herramienta.....	20
2.4 CNC (Control Numérico Computarizado).....	21
2.4.1 Ventajas del control numérico computarizado	21
2.4.2 Tipos de sistemas de control CNC	22
2.4.3 Fresadora CNC.....	23
2.4.4 Programación CNC.....	24
2.5 Sistemas CAD/CAM.....	30
2.5.1 Ventajas de la codificación en CAM	31
2.6 Herramientas de corte.....	32
2.6.1 Requerimientos generales para herramientas de corte	32
2.6.2 Aceros al carbono de baja aleación.....	33
2.6.3 Aceros de alta velocidad (HSS).....	34
2.6.4 Fundición de aleaciones de cobalto.....	35
2.6.5 Carburo cementado y cermet	35
2.6.6 Aleaciones duras	36
2.6.7 Diamantes sintéticos y nitruro de buro cúbico	37
2.6.8 Tipos de herramientas de corte para fresadora.....	38
2.6.9 Inspecciones a la herramienta de corte acerca de su vida útil.....	41
2.7 Refrigerantes	42
2.7.1 Tipos de Mecanizado.....	43

2.7.2 Tipos de refrigerantes.....	43
2.8 Tipos de movimientos de operación de una fresadora	45
2.8.1 Operaciones de fresadora	45
2.9 Optimización de procesos.....	47
2.9.1 Tiempos de producción	48
2.9.2 Valor Añadido	49
2.9.3 Desperdicios	49
2.9.4 Recursos.....	50
Capítulo 3.....	52
Planteamiento del Problema	52
3.1 Justificación	52
3.2 Alcances	53
3.3 Limitaciones	54
Capítulo 4.....	55
Objetivos	55
4.1 Objetivo General	55
4.2 Objetivos Específicos.....	55
Capítulo 5.....	56
Metodología	56
5.1 Diseño de la investigación	56
5.2 Enfoque de la investigación	56
5.3 Población	57
5.4 Muestreo	57
5.5 Técnica de recolección de datos.....	57
5.6 Instrumento de recolección de datos	58
5.8 Selección del software CAD/CAM.....	58
5.9 Centro de manufactura del Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato	61
5.10 Parámetros de corte	63
5.10.1 Características de la materia prima a maquinar	63
5.10.2 Herramientas de corte	67

5.10.3 Cálculos requeridos	82
5.11 Implementación de CAM para el fresado de un molde para un desechable por control numérico computarizado	85
5.12 Postprocesados	128
5.13 Operaciones de fresado	131
5.13.1 Fijación de la materia prima a maquinar	131
5.13.2 Obtención del 0 pieza	132
5.13.3 Selección del programa a ejecutar	137
Capítulo 6	139
Resultados	139
Capítulo 7	150
Análisis de Resultados	150
Capítulo 8	155
Conclusiones y trabajo a futuro	155
8.1 Conclusiones	155
8.2 Trabajo a futuro	156
Referencias bibliográficas	157

Índice de Figuras

Figura 1. Herramientas de corte para fresadoras.....	41
Figura 2. Operaciones de fresadora	47
Figura 3. Diagrama de bloques de la metodología.....	58
Figura 4. Dynamach VMC540.....	62
Figura 5. Materia prima a maquinar.	66
Figura 6. Materia prima a maquinar segunda toma.....	66
Figura 8. Fresa con vástago 19.05mm.....	80
Figura 9. Fresa con vástago 6.35mm.....	80
Figura 10. Fresa semicircular convexa 12.7mm.....	81
Figura 11. Fresa semicircular convexa de 4mm.....	81
Figura 12. Parámetros de corte de las fresas fabricadas por TOOLMEX CORPORATION.....	83
Figura 13. Pieza molde A.....	85
Figura 14. Pieza molde B.....	86
Figura 15. Selección de la opción fabricación.....	86
Figura 16. Menú del apartado fabricación.....	87
Figura 17. MCS_MILL.....	88
Figura 18. Selección de la opción “cuadro de diálogo del SBC”.....	89
Figura 19. Menú SBC.....	89
Figura 20. Selección de la opción entre 2 puntos.....	90
Figura 21. 0 pieza.....	91
Figura 22. Plano 1.....	92
Figura 23. Plano 2.....	92
Figura 24. Workpiece.....	93
Figura 25. Menú pieza de trabajo.....	94
Figura 26. Geometría.....	94
Figura 27. Pieza en bruto.....	95
Figura 28. Pieza en bruto seleccionada.....	95
Figura 29. Dimensiones de la materia prima.....	96

Figura 30. Crear herramienta de corte.	96
Figura 31. Características iniciales del cortador 1.....	97
Figura 32. Características físicas del cortador 1.	98
Figura 33. Material del cortador.	98
Figura 34. Selección del material del cortador.	99
Figura 35. Características físicas del cortador número 2.	100
Figura 36. Características físicas del cortador 3.	100
Figura 37. Características físicas del cortador 4.	101
Figura 38. Crear una operación de corte.....	102
Figura 39. Menú crear un programa.....	103
Figura 40. Menú fresado de cavidades.	103
Figura 41. Avances y velocidades.....	104
Figura 42. Configuración de avances y velocidades.	105
Figura 43. Generar trayectoria.	105
Figura 44. Trayectoria de corte 1.	106
Figura 45. Simulación de operación de corte 1.	107
Figura 46. Operación de corte 2.....	108
Figura 47. Avances y velocidades operación 2.	108
Figura 48. Trayectoria de corte operación 2.....	109
Figura 49. Simulación operación de corte 2.	109
Figura 50. Operación de corte 3.....	110
Figura 51. Especificar área de corte en operación de corte 3.	111
Figura 52. Área de corte operación de corte 3 y 4.	111
Figura 53. Avances y velocidades de operación de corte 3 y 4.	112
Figura 54. Trayectoria de corte para operación de corte 3.....	113
Figura 55. Simulación operación de corte 3.	113
Figura 56. Operación de corte 4.....	114
Figura 57. Simulación operación de corte 5.	115
Figura 58. Operación de corte 5.....	115
Figura 59. Área de corte para operación de corte 5.	116
Figura 60. Avances y velocidades operación 5.	117

Figura 61. Trayectoria de corte operación de corte 5.....	117
Figura 62. Simulación operación de corte 5.....	118
Figura 63. Simulación operación de corte 6.....	119
Figura 64. Seleccionar geometría del molde B.....	120
Figura 65. Selección de inicio de fresado.....	120
Figura 66. Selección de finalización de fresado.....	121
Figura 67. Geometría de la pieza en bruto molde B.....	121
Figura 68. Trayectoria operación 1 de corte del molde B.....	122
Figura 69. Simulación operación de corte 1.....	123
Figura 70. Área de corte operación 2 y 3 molde B.....	124
Figura 71. Trayectoria de corte operación de corte 2 molde B.....	124
Figura 72. Simulación operación de corte 2 molde B.....	125
Figura 73. Trayectoria de corte operación de corte 3 molde B.....	126
Figura 74. Simulación operación de corte 3 molde B.....	126
Figura 75. Área de corte operación de corte 4 molde B.....	127
Figura 76. Trayectoria de corte operación de corte 4 molde B.....	127
Figura 77. Simulación operación de corte 4 molde B.....	128
Figura 78. Imagen 1 postprocesado.....	129
Figura 79. Menú postprocesar.....	130
Figura 80. Ejemplo de códigos G.....	130
Figura 81. Materia prima en mesa de trabajo.....	132
Figura 82. Cortador fracturado.....	133
Figura 83. Encontrando el eje x.....	134
Figura 84. Coordenada Y.....	135
Figura 85. Coordenada Z.....	136
Figura 86. Guardando coordenada Z.....	136
Figura 87. Programas en memoria.....	137
Figura 88. Resultado molde A.....	139
Figura 89. Resultado molde B.....	139
Figura 90. Desbaste 1.....	140
Figura 91. Desbaste 2.....	141

Figura 92. Desbaste 3.....	142
Figura 93. Desbaste 4.....	143
Figura 94. Desbaste 5.....	144
Figura 95. Resultado molde A.....	145
Figura 96. Desbaste 1 molde B.....	146
Figura 97. Operación 2 molde B.	147
Figura 98. Operación 3 molde B.	147
Figura 99. Fresa dañada 1.....	151
Figura 100. Fresa dañada 2.....	151
Figura 101. Fresa dañada 3.....	152
Figura 102. Fresa dañada 4.....	152
Figura 103. Estado de la fresa 1 después del proceso.	152
Figura 104. Estado de la fresa 2 después del proceso	153
Figura 105. Estado de la fresa 3 después del proceso.	153
Figura 106. Estado de la fresa 4 después del proceso.	153

Índice de Tablas

Tabla 1. Códigos G.	26
Tabla 2. Códigos M.	29
Tabla 3. Comparativa de criterios evaluados.	60
Tabla 4. Características del Aluminio 6061.	65
Tabla 5. Consideraciones para la correcta selección de la herramienta de corte.	67
Tabla 6. Características e implementaciones de los diversos materiales para fabricar fresas.	69
Tabla 7. Recubrimientos implementados en las fresas.....	71
Tabla 8. Tipos de fresas con vástago.....	74
Tabla 9. Fresas con vástago para el fresado de formas	76
Tabla 10. Tipos de fresas postizas.....	77
Tabla 11. Fresas postizas para el fresado de formas.....	78

Resumen

La presente investigación aborda el tema de la optimización de procesos de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes, debido a los bajos niveles de eficiencia encontrados en los procesos elaborados dentro del Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato ocasionando un excesivo desgaste prematuro en los herramientas de corte implementados, dejándolos inservibles para procesos futuros. El objetivo principal de la investigación fue desarrollar una serie de técnicas de optimización para procesos de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes, las cuales sean capaces de disminuir el desgaste prematuro de los herramientas de corte. De acuerdo con el análisis realizado sobre los resultados, se logra concluir que las técnicas desarrolladas funcionan como una guía de pasos a seguir para cualquier operador sin conocimientos previos en el mecanizado por control numérico computarizado de 3 ejes, permitiéndole desarrollar un proceso rápido, sencillo, seguro y confiable, además, de permitirle disminuir el desgaste prematuro en los herramientas de corte.

ABSTRACT

The present research addresses the topic of optimization of machining processes by 3-axis computerized numerical control, due to the low levels of efficiency found in the processes developed within the Higher Technological Institute of the South of Guanajuato causing excessive premature wear on the implemented cutting tools, leaving them unusable for future process. The main objective of the research was to develop a series of optimization techniques for 3-axis computerized numerical control machining processes, which are capable of reducing the premature wear of cutting tools. According to the analysis carried out on the results, it is concluded that the techniques developed work as a step guide for any operator without previous knowledge in 3-axis computerized numerical control machining, allowing you to develop a fast, simple, safe and reliable process, in addition to allowing you to reduce premature wear on cutting tools.

Palabras clave:

CNC, códigos G, maquinado, CAM, herramientas de corte.

Agradecimientos

Agradezco a mi madre por su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, al motivarme día a día para buscar una mejor vida, por darme todas las herramientas requeridas para el cumplimiento de mis actividades escolares como fuera de ella, gracias a ellos, he podido salir adelante ante todos los obstáculos con los que me he topado en la vida. De igual forma quiero agradecer a mis amigos y a mi novia por su apoyo y palabras de aliento en cada uno de las situaciones más complicadas de mi vida cotidiana, lo cual me permitió encontrar la resolución a múltiples conflictos a lo largo de un enorme trayecto escolar y también fuera de ella.

Omar Almanza Lara

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mi madre por todo el apoyo brindado en cada aspecto de mi vida y por sacarme adelante y poderme dar todas las herramientas que me permitieron forjarme como persona y por darme todas las facilidades para lograr el cumplimiento de mis objetivos escolares.

Omar Almanza Lara

Capítulo 1

Introducción

Uno de los procesos de manufactura más importantes a nivel mundial es el proceso de maquinado, debido a la enorme cantidad de materiales sobre los cuales se puede maquinar, prácticamente los metales, los plásticos y los compuestos plásticos se pueden trabajar mediante el proceso de maquinado, lo cual hace que sea altamente utilizado a nivel mundial. como lo expone Bernardo González Ortiz en su trabajo optimización de las variables envueltas en el maquinado en un centro de maquinado de control numérico computarizado.

México ha sido uno de los destinos favoritos de industrias transnacionales, especialmente del sector automotriz, lo cual, le ha permitido al país ser uno de los principales exportadores de automóviles y autopartes a nivel mundial, además, de ser uno de los principales sectores en donde se requiere la implementación de distintos procesos de maquinado.

El estado de Guanajuato ha sido uno de los mayores beneficiados en cuanto a la llegada de empresas transnacionales, siendo nuevamente el sector automotriz uno de los más importantes, colocando números concretos, en 2017 el estado registro un total de \$11,762 millones de dólares de los cuales el sector automotriz aportó el 72.5% de acuerdo con el diario El Economista en su artículo industria automotriz impulsa economía en Guanajuato.

El desgaste prematuro en los diversos herramientas de corte en procesos de mecanizado por control numérico computarizado de 3 ejes en el Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato es uno de los principales temas a tratar debido a que su resultado es la elaboración procesos poco eficientes, provocando la pérdida de oportunidades de empleo para jóvenes ingenieros en sectores importantes como lo es el automotriz. Uno de los principales orígenes de dicho problema es la falta de conocimiento e implementación de técnicas acerca de la correcta selección e implementación de los

parámetros de corte adecuados de las herramientas de corte para los procesos de maquinado. La pregunta central del trabajo es ¿Cómo disminuir el desgaste prematuro de las herramientas de corte en procesos de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes en el Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato? El objetivo central es la elaboración de una serie de técnicas de optimización para la elaboración de procesos de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes, que le permitan a los herramientas de corte seguir su ciclo de vida natural, disminuyendo a toda costa su desgaste prematuro.

El presente trabajo de tesis se encuentra estructurado en 8 capítulos, el capítulo actual (introducción) se realiza la primera interacción con la problemática que se busca resolver la estructura que compone al presente documento. En el capítulo número 2 “Marco teórico” se encuentran conceptos teóricos relacionados con los temas a tratar. En el capítulo 3 “Planteamiento del problema” en donde se presenta de manera más completa la problemática que se busca atender en la presente investigación. El capítulo 4 “Objetivos” se plantea al lector las metas que se buscan alcanzar mediante la elaboración de la presente tesis. El capítulo 5 “Metodología” se presentan los pasos realizados para la elaboración presente proyecto. En el capítulo 6 “Resultados” se presenta al lector los resultados obtenidos de la realización del proyecto. En el capítulo 7 “Análisis de Resultados” se analizan los resultados obtenidos en busca de determinar si el presente proyecto aporta una solución viable a la problemática planteada. Capítulo 8 “Conclusiones y trabajo a futuro” se presentan las conclusiones obtenidas de la elaboración de la tesis actual y se muestran áreas de oportunidad en las que el trabajo actual puede mejorarse en un futuro.

Capítulo 2

Marco teórico (antecedentes)

2.1 Maquinado

El maquinado es un proceso de manufactura en el cual se usa una herramienta de corte para remover el exceso de material de una parte de trabajo, de tal manera que el material remanente sea la forma de la parte deseada. La acción predominante del corte involucra la deformación cortante del material de trabajo para formar una viruta; al removerse la viruta, queda expuesta una nueva superficie. El maquinado se aplica más frecuentemente para formar metales (González Ortiz, 2004).

El maquinado se puede aplicar a una amplia variedad de materiales de trabajo. Prácticamente todos los metales sólidos se pueden maquinar. Los plásticos y los compuestos plásticos se pueden cortar también por maquinado. Los cerámicos presentan dificultades debido a su alta dureza y fragilidad; sin embargo, la mayoría de los cerámicos se pueden cortar exitosamente mediante procesos de maquinado abrasivo. El maquinado se puede usar para generar cualquier forma geométrica regular, como superficies planas, agujeros redondos y cilindros. Combinando varias operaciones de maquinado en secuencia se pueden producir formas de complejidad y variedad ilimitada.

Debido a sus características, el maquinado se realiza generalmente después de otros procesos de manufactura, como fundición o deformación volumétrica (por ejemplo, forjado y estirado de barras). Otros procesos crean la forma general de la parte y el maquinado produce la geometría final, las dimensiones y el acabado.

El maquinado no es solamente un proceso, sino una familia de procesos. La característica común es el uso de una herramienta de corte que forma una viruta, la cual se remueve de la parte de trabajo. Para realizar la operación, se requiere movimiento

relativo entre la herramienta y el material de trabajo. Este movimiento relativo se logra en la mayoría de las operaciones de maquinado por medio de un movimiento primario, llamado la velocidad, y un movimiento secundario, denominado el avance. La forma de la herramienta y su penetración en la superficie de trabajo, combinada con estos movimientos, produce la forma deseada de la superficie resultante del trabajo (González Ortiz, 2004).

2.2 Fresado

El fresado es un proceso que consiste en el desbaste o corte de material mediante la implementación de una herramienta que posee uno o más filos, la cual es llamada herramienta de corte. El proceso de corte del material se consigue al poner en contacto la herramienta de corte en giro a un número determinado de revoluciones con la superficie del material a desbastar, generando de dicha forma una trayectoria de corte. La trayectoria de corte se encuentra directamente relacionada con las capacidades de la fresadora (cantidad de ejes en los que se puede mover). Las trayectorias de corte son definidas de acorde al tipo de pieza que se desea producir, por lo que, son las encargadas de transformar la materia prima en un producto funcional (Armas Blacio, 2019).

2.3 Fresadora

Una fresadora es una máquina de movimiento continuo, la cual es la encargada de realizar el mecanizado del material por medio de la herramienta de corte denominada fresa. La pieza se encontrará sujeta sobre la bancada de la máquina. Además, la fresadora posee la capacidad de realizar un movimiento lineal en al menos tres direcciones (x, y, z), donde cada una de la denominación de los ejes de la máquina, estableciendo un ejemplo, una fresadora con la capacidad de realizar tres desplazamientos lineales, será denominada como fresadora de tres ejes (Armas Blacio, 2019).

2.3.1 Tipos de Fresadora

Existe una diversidad de maneras de clasificar una fresadora, ya sea por la cantidad de ejes que posee, por sus características especiales o por la orientación de la herramienta (Flores Pérez, 2009).

2.3.2 Clasificación de fresadoras por el número de ejes

Cuando se hace referencia al número de ejes de una fresadora, se hace referencia a las posibilidades de movimiento de la fresadora. A continuación, se desglosa cada fresadora por su número de ejes:

Fresadoras de 3 ejes: Los 3 ejes hacen referencia a los ejes x, y, z.

Fresadoras de 4 ejes: Las presentes fresadoras incorporan los 3 ejes anteriores, y se le añade un accesorio en la mesa de trabajo, el cual es capaz de permitir la posibilidad de girar la pieza a mecanizar.

Fresadoras de 5 ejes: Las fresadoras con 5 ejes poseen todas las características que las fresadoras de 4 ejes, además, incorporan la posibilidad de realizar una inclinación en la pieza a mecanizar (Flores Pérez, 2009).

Clasificación de fresadoras por características especiales

- Fresadoras manuales: Son las fresadoras más sencillas, poseen 3 ejes, y las trayectorias definidas para el cortador se realizan de forma manual.
- Fresadoras de puente móvil: En las fresadoras de puente móvil, la mesa de trabajo se queda inmóvil, la parte encargada de realizar el trabajo es la herramienta de corte.
- Fresadoras copiadoras: Las fresadoras copiadoras se encargan de copiar los diseños de las piezas.
- Fresadora circular: La fresadora circular tiene la peculiar característica de poseer la mesa de trabajo con una forma circular giratoria de un gran tamaño.
- Fresadora cnc: La fresadora cnc (control numérico computarizado), la trayectoria de trabajo es generada a través de un programa, dicho programa contiene todas las instrucciones del mecanizado. La fresadora es la encargada de reproducir el programa de manera automática (Flores Pérez, 2009).

2.3.3 Clasificación de fresadoras por la orientación de la herramienta

- Fresadoras verticales: Las fresadoras verticales poseen la característica de tener el cabezal en el eje vertical. Se pueden encontrar de banco fijo y torreta.
- Fresadoras horizontales: Las fresadoras horizontales poseen la característica de contar con la herramienta de corte en el eje horizontal.

- Fresadoras universales: Las fresadoras universales poseen la característica de combinar los dos tipos de fresadoras anteriores (horizontal y vertical), ya que, la herramienta de corte se puede colocar de manera horizontal y vertical (Flores Pérez, 2009).

2.4 CNC (Control Numérico Computarizado)

El control numérico surge de las necesidades de la industria por lograr la obtención de piezas más complejas e inclusive piezas que manualmente eran imposibles de realizar o que su fabricación conllevará mucho tiempo, disminución de costos, eficiencia de procesos, reducción de tiempos, etc. En sus inicios el control numérico surgió mediante la implementación de tarjetas perforadoras, pero su idea general siempre fue la misma que a la de hoy en día, la cual es, el desarrollo e implementación de un sistema de automatización que consigue que las máquinas realicen el trabajo sin la necesidad de la intervención humana en el proceso de fabricación. Dichas máquinas se manejan mediante comandos, los cuales son escritos por el operador en un programa, el programa es insertado en la memoria del control numérico.

El control numérico computarizado que se conoce hoy en día comienza con el abaratamiento, miniaturización y la implementación de los microprocesadores en las máquinas de la industria, lo que permite sustituir a las tarjetas perforadoras por programas escritos a computadora, ya sea de forma manual o mediante la implementación de un software CAM, (Flores Pérez, 2009).

2.4.1 Ventajas del control numérico computarizado

- Reduce la intervención del operador en la producción de piezas, lo cual otorga ciertos beneficios como, reducción del error humano, fatiga del operador, tiempo de maquinado consistente, predicción de tiempos de maquinado, reducción de

tiempos muertos, en general se consigue un aumento de productividad en la fabricación de las piezas.

- Exactitud y repetibilidad de las piezas, una vez fabricada la primera pieza, se somete a revisión para comprobar que contiene las correctas medidas y especificaciones, en caso de que la pieza apruebe dichas revisiones, se puede correr el programa para el número de piezas requeridas teniendo la certeza de que no ocurrirán fallas.
- Flexibilidad, significa que la elaboración de piezas es bastante sencilla, gracias a la operación de las maquinas mediante programas, fabricar una pieza diferente o inclusive la misma pieza es tan fácil como llamar a un programa desde la computadora de la máquina.
- Permite producir piezas con superficies tridimensionales, como moldes para moldeo por inyección de plásticos y estructuras de aviones.

El control numérico computarizado tiene la finalidad de otorgar alternativas de maquinado más rápidas y eficientes para cualquier tipo de proceso de manufactura, además, de reducir la carga de trabajo de los operadores. Gracias a su implementación, se pueden producir piezas que mediante un trabajo manual eran imposibles de fabricar o que su proceso de maquinado consume mucho tiempo, (Flores Pérez, 2009).

2.4.2 Tipos de sistemas de control CNC

Los sistemas de control para máquinas CNC puede ser de bucle cerrado o bucle abierto.

Sistemas de bucle abierto: El presente sistema no tiene la capacidad de reconocer el resultado de un proceso que corre en tiempo real, debido a que no posee dispositivos de retroalimentación, es por eso que no se tiene conocimiento si la orden dada por la máquina fue realizada de manera correcta, sumando a lo anterior, no se contará con medidas correctivas en caso de la ocurrencia de algún error. Debido a que las características del presente sistema producen cierta incertidumbre en el operador debido

a la falta de conocimiento acerca de la existencia de algún error, el sistema de bucle abierto no es utilizado en las máquinas industriales.

Sistemas de bucle cerrado: A diferencia del sistema de bucle abierto, el sistema de bucle cerrado posee dispositivos de retroalimentación, los cuales se encargan de controlar el resultado generado por una orden de la máquina y cualquier error en el resultado es corregido, el resultado de la implementación de los dispositivos de retroalimentación es la obtención de una máquina con niveles elevados de precisión (Armas Blacio, 2019).

2.4.3 Fresadora CNC

Si la pieza aumenta su complejidad para ser fresada, deberá incrementar el número de ejes giratorios; allí es donde nace el concepto de CNC, cuando se otorga una multiplicidad de ejes complementarios controlados de forma independiente y determinado por el movimiento de las mesas de trabajo giratorias y el cabezal orientable.

Se le implementa a la fresadora un control numérico computarizado que automatiza las trayectorias de trabajo y por ende cada movimiento del cabezal y la mesa de trabajo, para que los mismos no dependan de un operador.

La función básica del control numérico computarizado es controlar los movimientos de la mesa de trabajo, los carros y el husillo a lo largo de sus ejes respectivos mediante la incorporación de datos numéricos. Además, de la inclusión de los ejes principales. y complementarios, el sistema de transmisión y los sistemas de sujeción de piezas.

Dicho control es efectuado mediante la implementación de un software implementado en la fresadora. El software debe estar basado en alguno de los lenguajes de programación numérica CNC, como lo son:

- ISO.
- Fagor.

- Siemens.
- HEIDENHAIN.
- Fanuc.
- SINUMERICK.

El software debe de contener letras, símbolos y números.

Las fresadoras CNC son de gran similitud a las fresadoras manuales y se encuentran compuestas por las mismas piezas móviles. La diferencia es que el movimiento y la velocidad de los motores de la fresadora CNC es controlado por la computadora, lo cual permite la realización de movimientos circulares, líneas diagonales, y figuras complejas tridimensionales como las requeridas para el maquinado de moldes y troqueles (Armas Blacio, 2019).

2.4.4 Programación CNC

El término control numérico se acuñe debido a que las ordenes que controlan la máquina son indicadas mediante códigos numéricos. A cada orden se le denomina bloque de programa.

Se puede apreciar una estructura en el armado de los bloques de programas CNC, la cual es:

- 1) Número de bloque (es el número de la línea del programa).
- 2) Función G (Función de maquinado).
- 3) Cotas según ejes x, y, z (son los movimientos en los ejes x, y, z).
- 4) Avance de trabajo (se define en mm/min o mm/rev).
- 5) Velocidad del cabezal (es la velocidad de giro del cabezal, se mide en r.p.m).
- 6) Número de herramienta (Indica el número de la herramienta y su corrector).

7) Funciones auxiliares (Son todo tipo de funciones auxiliares como el paro del programa o el sentido de giro).

8) Comentarios.

Los comandos G y M son un tipo de lenguaje de bajo nivel. Son un lenguaje de programación vectorial mediante el cual se describen acciones simples y entidades geométricas sencillas (segmentos de recta y arcos de circunferencia) que vienen a ser los códigos G, en conjunto con sus parámetros de maquinado (velocidades de husillo y avance de herramienta) que vienen a ser los códigos M (Víctor, 2017), en la Tabla 1 y Tabla 2 se pueden apreciar los comandos G y M existentes para el fresado.

La terminología G y M provienen de la implementación de instrucciones generales (G) y misceláneas (M) que conforman al programa (Tecnología Educativa S.A. s.f.).

Cada carácter que conforma al bloque de entrada del programa posee un significado que le otorga un valor en específico e irreplicable al bloque, como se podrá apreciar en la siguiente lista, cada letra posee un significado diferente que provocará que la máquina termine por realizar una acción diferente de acuerdo a la estructura del bloque de entrada de programación.

- **Letra M:** Es la encargada de representar funciones auxiliares.
- **Letra T:** Se encarga de representar el número de la herramienta (tool).
- **Letra S:** Con la presente letra se puede introducir la velocidad del husillo (speed).
- **Letra F:** Es utilizada para definir la velocidad de avance (Feed).
- **Letra X:** Cota según el eje X.
- **Letra Y:** Cota según el eje Y.
- **Letra Z:** Cota según el eje Z.
- **Letra G:** Representa la instrucción de movimiento.
- **Letra N:** Es el número de bloque de entrada del programa.

Tabla 1. Códigos G.

Comando	Significado
G0	Avance rápido
G1	Recorrido de mecanización
G2	Interpolación circular a derechas
G3	Interpolación circular a izquierdas
G4	Temporización
G9	Parada exacta
G10	Ajuste de datos
G11	Ajuste de datos a parar
G15	Final de interpolación de coordenadas polares
G16	Comienzo de interpolación de coordenadas polares
G17	Selección de plano XY
G18	Selección de plano ZX
G19	Selección de plano YZ
G20	Medidas en pulgadas
G21	Medidas en milímetros

G40	Cancelar compensación de radio de corte
G41	Compensación de radio a la izquierda
G42	Compensación de radio a la derecha
G43	Compensación de longitud positiva
G44	Compensación de longitud negativa
G49	Cancelar compensación de longitud
G50	Cancelar factor de escala, efecto espejo
G51	Factor de escala efecto espejo
G52	Sistema de coordenadas locales
G53	Sistema de coordenadas de maquina
G54	Roscado con plato compensador
G55	Modo contorneado
G56	Decalaje de origen
G57	Decalaje de origen
G58	Decalaje de origen
G59	Decalaje de origen
G61	Modo de parada exacta

G63	Redondeo automático de esquinas
G64	Modo de corte
G68	Giro de sistema de coordenadas continuas
G69	Giro de sistema de coordenadas discontinúas
G73	Ciclo de taladrado con rotura de virutas
G74	Ciclo de mandrinado fino
G80	Cancelar ciclo de taladrado G83 a G85
G81	Ciclo de taladrado
G82	Ciclo de taladrado con temporización
G83	Ciclo de taladrado con extracción
G84	Ciclo de roscado macho
G85	Ciclo de escariado
G86	Ciclo de taladrado con parada de husillo
G87	Ciclo de mandrilado trasero
G88	Ciclo de taladrado con parada programada
G89	Ciclo de escariado con temporización
G90	Programación con valor absoluto

G91	Programación con valor incremental
G92	Configuración del sistema de coordenadas
G94	Avance en mm/minuto
G95	Avance en mm/revolución
G97	Revoluciones del husillo por minuto
G98	Retirada del plano inicial (ciclos de taladrado)
G99	Retirada al plano de retirada

Tabla 2. Códigos M.

Comando	Significado
M00	Parada programada
M01	Parada programada condicional
M02	Fin de programa
M03	Cabezal ON a derechas
M04	Cabezal ON a izquierdas
M05	Cabezal OFF
M06	Código M para cambio de herramienta

M07	Refrigerante ON
M08	Refrigerante OFF
M10	Sujetar eje redondo
M11	Desbloquear sujeción eje redondo
M27	Girar aparato divisor
M30	Fin de programa
M71	Soplado ON
M72	Soplado OFF
M98	Llamada subrutina
M99	Fin de subrutina

2.5 Sistemas CAD/CAM

Se ha popularizado bastante el uso de softwares de diseño asistido por computadora (CAD) para la creación y el diseño de las piezas en casi cualquier industria. Mientras que CAM (fabricación asistida por computadora) realiza y calcula todos los desplazamientos de todos los ejes para el maquinado de la pieza y agrega las velocidades de avance y giros para todas las diferentes herramientas a utilizar para el mecanizado de la pieza completa. Son el complemento perfecto para lograr obtener la mayor optimización de cualquier tipo de maquinado y más aun implementando el maquinado por control numérico computarizado.

Gracias a la combinación de los sistemas CAD/CAM con la programación CNC se otorga una mayor rapidez, precisión y reducción de costes para todos los diferentes procesos de producción, permitiendo lograr piezas que mediante el maquinado manual eran imposibles de lograr o que su proceso fuese demasiado complejo y por ende resultase en un proceso de maquinado bastante largo.

A todo lo anterior, se le aporta un mayor nivel de seguridad debido a la implementación de softwares de control de bucle cerrado que se encuentran incluidos en las maquinas CNC, debido a que puede conocer el resultado de un determinado comando y determinar si el mismo tendrá algún tipo de colisión o realizará de manera errónea el proceso.

El sistema CAM es implementado en ordenadores para realizar tareas de fabricación y montaje, donde se logra la inclusión de un sistema CNC. Su objetivo principal es la integración de una serie de herramientas para realizar la geometría CAD con el contenido tecnológico exacto para que la pieza logre maquinarse.

Una de las primeras aplicaciones de CAM (la cual es bastante utilizada en la industria de hoy en día) es la programación de piezas por control numérico, mediante el presente sistema se logra la codificación de las máquinas de manera off-line o fuera de línea, sin lograr interrumpir el proceso que se encuentre desarrollando (Armas Blacio, 2019).

2.5.1 Ventajas de la codificación en CAM

Gracias a la implementación de programas mediante la tecnología CAM, se logran obtener las siguientes ventajas:

- Una interfaz con una enorme simplicidad de manejo.
- El operador puede indicar de manera gráfica las diferentes trayectorias que son requeridas sobre el modelo CAM.
- El código se genera de manera automática.

- El usuario puede especificar todas las superficies a mecanizar, las diferentes herramientas a utilizar, las operaciones de mecanizado, entre otros datos requeridos para el cumplimiento de su pieza (Armas Blacio, 2019).

2.6 Herramientas de corte

Una herramienta de corte es el elemento utilizado para extraer material de una pieza cuando se quiere llevar a cabo un proceso de mecanizado. Existe una enorme diversidad de herramientas de corte en función del tipo de máquina con la que se llevará a cabo el proceso, pero en general todas las herramientas de corte se basan sobre el proceso de arranque de viruta. Es decir, al haber una elevada diferencia de velocidades entre la pieza a mecanizar y la herramienta, al entrar en contacto la arista de corte con la pieza, se arranca el material y se desprende la viruta (Méndez González, 2019).

2.6.1 Requerimientos generales para herramientas de corte

Para poder realizar la correcta selección del material para una herramienta de corte, se debe de considerar una variedad de aspectos a tomar en cuenta, esto debido a que dentro de las operaciones de mecanizado las herramientas de corte trabajan a elevadas temperaturas, se someten a enormes esfuerzos y se encuentran constante mente en contacto con otro material lo cual genera fricción. A continuación, se presenta una lista de algunas de las propiedades más importantes con las que debe contar una herramienta de corte:

- Tenacidad: Los materiales para una herramienta de corte deben poseer altos niveles de tenacidad, esto con el fin de evitar las fallas por fractura. La tenacidad es la capacidad de un material para la absorción de energía sin generar una falla. Se caracteriza principalmente por la combinación entre resistencia y ductilidad.

- Dureza en caliente: Es la capacidad del material a mantener su dureza ante temperaturas elevadas de trabajo.
- Resistencia al desgaste: La dureza es la propiedad de mayor importancia para oponerse a la resistencia por el desgaste abrasivo. Todos los materiales para herramientas de corte requieren una alta dureza, sin embargo, la resistencia al desgaste en el corte de metales puede depender de otros factores como lo son el acabado superficial de la herramienta (una superficie más lisa significa un coeficiente de fricción más bajo), la composición química de la herramienta y de los materiales de trabajo, y el uso de un fluido de corte.
- Resistencia ante choques térmicos.
- Estabilidad química para resistir la oxidación y la corrosión (Méndez González, 2019).

2.6.2 Aceros al carbono de baja aleación

Los aceros al carbono para herramientas se emplean para fabricar útiles que trabajan a bajas velocidades de corte. Los aceros C9 y C10A se usan para producir cuchillos, tijeras y sierras; los aceros C11, C11A, C12, para fabricar machos de roscar manuales, limas, etc. La letra C en la marca del acero significa que es un acero al carbono y la cifra su contenido de carbono en decimas del uno por ciento; la letra A indica que dicho acero es de alta calidad (el contenido de azufre y de fósforo no es mayor del 0.03% de cada uno). Las principales propiedades de los aceros al carbono para herramientas es su dureza (HRC 62-65) y su baja resistencia al calor de aproximadamente 220 °C. Para herramientas suelen utilizarse también aceros aleados al cromo (Cr), al cromo-silicio (CrS), al cromo-tungsteno (CrTM), etc. Se usan comúnmente para fabricar brocas, machos de roscar y escariadores pequeños con una resistencia al calor de entre 350-400 °C y una vida útil de 1.2 – 1.5 veces superior a los útiles fabricados en acero al carbono para herramientas.

Procesos adecuados de los aceros al carbono:

- Baja producción (Méndez González, 2019).
- Maquinados en los que se desarrollan temperaturas no muy altas.
- Acabados a baja velocidad de corte, en trabajos muy delicados.
- Finura en la arista cortante, que es difícil de obtener con aceros de alta velocidad (HSS).
- Corte de acero a baja velocidad (5 m/min).

2.6.3 Aceros de alta velocidad (HSS)

Son aceros altamente aleados capaces de mantener su dureza a altas temperaturas. Su buena dureza en caliente permite el uso de estas herramientas a velocidades de corte más altas. Su nombre se debe a que, comparados con sus predecesores, los presentes aceros permiten realizar el corte de metales a una velocidad mayor.

Tipos de aceros de alta velocidad

- Tipo tungsteno (Grado T): El tungsteno es su principal ingrediente de aleación (12-20%). Con elementos adicionales como el cromo (Cr) y el vanadio (V).
- Tipo molibdeno (Grado M): Contienen combinaciones de tungsteno y molibdeno en una combinación de 6%W y 5% Mo.

Procesos adecuados para los aceros de alta velocidad:

- Producción de baja a media.
- Maquinados de precisión a bajo costo.
- Maquinados de alta velocidad a bajo volumen (Méndez González, 2019).

2.6.4 Fundición de aleaciones de cobalto

Los recubrimientos de aleación de cobalto contienen de 40-50% de cobalto, de 25-35% de cromo y 15-20% de tungsteno de trazas de algunos otros elementos. La resistencia al desgaste es mucho mayor que la del acero de alta velocidad, pero no tanto como la de los carburos cementados. Sin embargo, la tenacidad de estas herramientas es mucho mejor que la de los carburos cementados y no tan buenas como la de los HSS. Su dureza en caliente también se sitúa entre los dos. Comercialmente su importancia no es tan alta como los HSS o los carburos cementados (Méndez González, 2019).

2.6.5 Carburo cementado y cermet

Las herramientas de corte de carburo cementado (importante, no confundir con las herramientas de CERMET) son extremadamente duras. Son producidas mediante la técnica de pulvimetalurgia, con partículas de carburo (compuestos de carbón y metal) cementados dentro de un compuesto por algún elemento metálico como medio de unión, tales como el cobalto. Las herramientas de este tipo que tienen cobalto alto se usan para un corte en bruto, mientras que estas herramientas con cobalto bajo se utilizan para operaciones de acabado.

Pueden soportar operaciones de corte a muy alta velocidad y la herramienta de carburo no pierde su dureza hasta los 1,000 °C. Algunos de los materiales más comunes son: carburo de tungsteno (WC), carburo de titanio (TiC) o carburo de tántalo (TaC). Pese a su relativa fragilidad ofrecen una aceptable tenacidad, no siendo solamente materiales para acabado, sino también para fresado y torneado de aceros inoxidable. Usualmente se usan en forma de pequeños insertos.

El CerMet también un tipo de material cementado. CerMet es el nombre asignado a cerámicos basados en carburo de titanio (TiC), carburo de nitruro de titanio (TiCN) y/o nitruro de titanio (TiN), pero el aglutinante es níquel o molibdeno. Su nombre proviene de CERamic METal. Moderadamente caro, proporciona una mayor resistencia a la abrasión

en comparación con carburo de tungsteno, a expensas de alguna resistencia. También es químicamente mucho más inerte y tiene una altísima resistencia a la abrasión. Posee una alta resistencia al desgaste en incidencia, alta estabilidad química y resistencia al calor, y además poca tendencia a filo recrecido y al desgaste por oxidación.

Para incrementar la vida útil o modificar las propiedades de corte de las herramientas de carburo cementado, usualmente se le añaden recubrimientos de otros cerámicos o hasta carbón diamantado (DLC en inglés).

Los procesos adecuados son:

- Alto volumen de producción.
- Acabado grueso y fino.
- Alta precisión con costos moderado.
- Maquinado de materiales especiales (Yamazen Mexicana, 2019).

2.6.6 Aleaciones duras

Se dividen en metalocerámicas y mineralocerámica y son producidas en placas de forma diferente. Las herramientas dotadas de placas de aleaciones duras admiten velocidades de cortes más altas que los útiles fabricados de acero rápido.

Metalocerámicas: son divididas en las que son producidas a base de tungsteno, a base de tungsteno – titanio, a base de tungsteno, titanio y tantalio. Las aleaciones a base de tungsteno son empleadas para labrar el hierro fundido, aleaciones de metales no ferrosos y sus aleaciones y los materiales no metálicos (goma, plástico, cristal, etc.). Las aleaciones a base de tungsteno – titanio constan de carburos de tungsteno, titanio y cobalto y son empleados para maquinado de semi acabado y basto, para trabajar

materiales difíciles de maquinar; adicionalmente a los presentes materiales se les agrega cromo para aumentar aún más su dureza y la resistencia mecánica a altas temperaturas. Para elevar la resistencia mecánica de las placas, estas se recubren con una película protectora de carburos y nitruros de titanio que se aplican a la superficie de la placa con un espesor de 5 – 10 micras. En el presente caso, se forma una capa micro granular con dureza, resistencia al desgaste y quimicoresistencia altas a temperaturas elevadas. Dicho recubrimiento ofrece un promedio de 3 veces más de resistencia que si no lo tuvieran, circunstancia que permite elevar la velocidad de trabajo entre un 25-30%.

En la industria se utiliza la mezcla mineralocerámica para maquinar todo tipo de material a altas velocidades de corte como acero, hierro fundido y aleaciones de metales no ferrosos incluso a elevadas temperatura (1,200 °C) y se conserva la dureza en el flanco (HRC 89-95). El defecto de dichas aleaciones, es su elevada fragilidad por lo que se debe diseñar bien los procesos de maquinado para evitar los choques y vibraciones durante su uso (Méndez González, 2019).

2.6.7 Diamantes sintéticos y nitruro de buro cúbico

El diamante es el material más duro que se conoce. Como la dureza es una de las propiedades deseables para aplicaciones de esmerilado y mecanizado, es natural pensar en usarlo para operaciones de mecanizado. Las herramientas de corte con diamante sintético se hacen con diamante poli cristalino sinterizado. Las aplicaciones de las herramientas de corte de diamantes incluyen el mecanizado de metales no ferrosos y abrasivos no metálicos como fibras de vidrio y grafito. No es practico maquinar acero y otros metales ferrosos, así como aleaciones basadas en níquel, debido a la finalidad química que existe entre esos metales y el carbono. Después del diamante el material más duro es el nitruro de boro cubico, dicho material no reacciona químicamente con el hierro y el níquel como lo hace el diamante; por tanto, las aplicaciones de herramientas con dicha aleación se aplican para maquinar acero y aleaciones basadas en níquel (Méndez González, 2019).

2.6.8 Tipos de herramientas de corte para fresadora

Las fresas son un tipo de herramienta de corte de forma, material y dimensiones muy variadas de acuerdo con el tipo de fresado que se desea realizar. Una fresa se encuentra determinada por su diámetro, su forma, material constituyente, número de labios o dientes que posee y el sistema de sujeción a la máquina.

Se construyen generalmente en acero rápido, pero, dado el elevado costo de este material, las fresas de mayor tamaño poseen un cuerpo de acero de construcción y en la parte cortante tienen incorporadas cuchillas (o dientes) de acero rápido o bien insertos de corte que pueden ser permanentes o intercambiables.

Cada una de las piezas cortantes (o filos) permanecen comúnmente dispuestas de forma simétrica cerca de un eje y su funcionalidad es eliminar progresivamente el material de la pieza de trabajo transformándola en una pieza terminada.

A continuación, se muestra una serie de fresas basadas en la diversidad geométrica de las mismas.

2.6.8.1 Fresas de disco

Presentan poca longitud de corte respecto a su diámetro; se pueden apreciar en la Figura 1, dentro de sus variantes se pueden encontrar las siguientes:

- Fresas de disco con dentado recto: Se usan para ranurado recto.
- Fresa de disco con dentado cruzado o alterno: Se utilizan para un ranurado profundo.
- Fresas con dentado de cruz: Se utilizan para la creación de chaveteros profundos.
- Sierras circulares: Se utilizan para corte de piezas y ranurado estrecho (Méndez González, 2019).

2.6.8.2 Fresas angulares sin vástago

Se utilizan para mecanizar guías en ángulos prismáticos y frontales, cuñas y reglas de acero para taller de distintas formas y filos. Los tipos son:

- Frontales: Se utilizan para realizar mecanizados de guías a 45, 50, 55 y 60 grados.
- Prismáticas: Se utilizan para realizar mecanizados de guías prismáticas en ángulos de 45, 60 y 90 grados (Méndez González, 2019).

2.6.8.3 Fresas cilíndricas periféricas

Solo poseen dientes en su periferia y tienen variantes y su denominación está en función de su forma geométrica (Méndez González, 2019).

2.6.8.4 Fresa cilíndrica con dentado helicoidal

Ofrece las mismas prestaciones que la anterior con la diferencia que este tipo de fresas se pueden usar a mayores velocidades debido a que el arranque de viruta se realiza de manera progresiva. El espaciado entre los dientes varía según la dureza del material a fresar (blando = mayor espacio; duro = menor espaciado) (Méndez González, 2019).

2.6.8.5 Fresa cilíndrica con dentado recto

Normalmente utilizado para operaciones de corte brusco como pueden ser planeado, desbaste de superficies y acabado superficial (Ospina, 2010), en la Figura 1 se puede visualizar una imagen de una fresa cilíndrica con vástago.

2.6.8.6 Fresas cilíndricas frontales sin vástago

Solo existe un tipo de dentado (ver Figura 1); poseen dientes tanto en el exterior como en la cara lateral, principalmente son utilizadas para el careado de superficies, guías, correderas, etc (Méndez González, 2019).

2.6.8.7 Fresa cilíndrica frontal

- Punta plana y punta esférica: son utilizadas para ranurado, desbaste, acabados y contornos.
- Ranuras T y ranuras woodruff: se pueden visualizar en la Figura 1 y son empleadas para realizar piezas hexagonales, chaveteros y orificios rasgados, cabezas de tornillo, tuercas, ejes de chavetas, y ruedas dentadas (Méndez González, 2019).

2.6.8.8 Fresas angulares

Se utilizan para formas trapezoidales (Méndez González, 2019), se puede apreciar en la Figura 1.

2.6.8.9 Fresas Cónicas

Se usan para lograr un orificio avellanado (Méndez González, 2019).

2.6.8.10 Fresas de perfil constante

Pueden o no poseer un vástago y su principal ventaja es que dejan la geometría del diente en la pieza a mecanizar, se divide en distintos grupos.

- Fresa destalonada cóncava: Se utilizan para la obtención de superficies semicirculares con radios de 0.5 a 20 mm.
- Fresas destalonadas convexas: Se utilizan para ranurado semi circular con radios desde 1 a 20 mm.

2.6.8.11 Fresas de Módulo

Se utilizan para el tallado de engranes, piñones de cadenas, poleas síncronas, cremalleras, ejes dentados, acanalados y de transmisión, tomas de fuerza y tornillos sin fin (Méndez González, 2019).

2.6.8.12 Fresa Madre:

Pueden tener o no un vástago y se utilizan principalmente para mecanizar al mismo tiempo todos los dientes de un engranaje, con una gran ventaja sobre los de modulo, que lo hacen diente por diente ahorrando dinero en el tiempo de mecanizado (Méndez González, 2019).

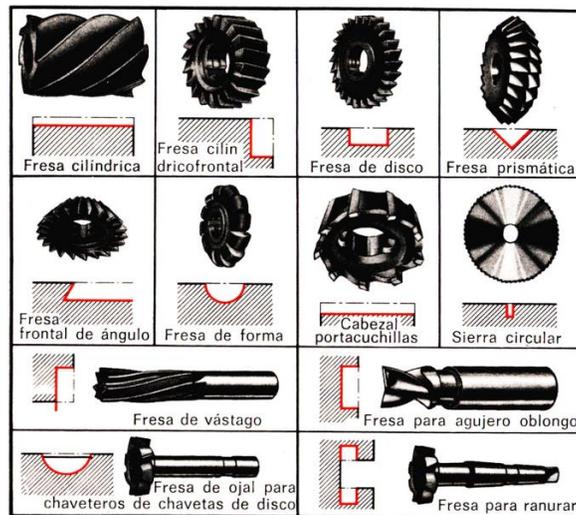


Figura 1. Herramientas de corte para fresadoras (Fuente <https://arukasi.wordpress.com/2011/09/08/herramientas-de-corte-para-la-fresadora/>)

2.6.9 Inspecciones a la herramienta de corte acerca de su vida útil

Para evitar daños en el producto final a mecanizar, se deben de seleccionar las condiciones de corte más favorables, logrando obtener un desgaste gradual de la herramienta de corte, lo cual a su vez provocará que la herramienta de corte no tenga que ser reemplazada después de una falla catastrófica o que se desgaste de manera prematura, ya que, las condiciones de maquinado son demasiado demandantes y es bastante sencillo conseguir una falla catastrófica en la herramienta de corte. Colocando un par de ejemplos muy comunes que provocan daños irreparables a las herramientas de cortes son:

- Fuerzas de corte demasiado grandes, si las fuerzas de corte son demasiado grandes, provocarán que la herramienta de corte se fracture durante el maquinado.
- Temperatura de corte elevada, si la temperatura de corte se eleva demasiado, el material de la herramienta se ablandará y fallará.

A continuación, se presenta un listado de criterios para poder determinar la vida útil de la herramienta de corte:

- Existe una falla completa del borde cortante (por fractura, por temperatura o desgaste).
- Inspección visual por el operador de la máquina del desgaste del flanco. El presente criterio se limita al juicio y habilidad del operador para observar el desgaste de la herramienta a simple vista.
- Prueba del tacto del borde o filo cortante (con la uña) del operador.
- Cambios en el sonido emitido por la operación, a juicio del operario.
- La viruta se vuelve más larga, enmarañada y más difícil de eliminar.
- Degradación del acabado superficial en el trabajo.
- Mayor consumo de potencia medida por un vatímetro conectado a la máquina herramienta.
- Conteo de las piezas de trabajo. Se capacita al operario para que cambie la herramienta después de un número específico de partes maquinadas.
- Tiempo acumulado de corte, el cual es similar a la cuenta de piezas sugerida anteriormente, excepto que se registra el tiempo que ha trabajado la herramienta. Solo disponible en máquinas CNC (Méndez González, 2019).

2.7 Refrigerantes

El objetivo de la aplicación de un líquido refrigerante a una operación de mecanizado es para la prevención de la concentración de calor en el filo del cortador y la pieza de trabajo tratando de evitar que su filo se suavice y acelere el desgaste además de deformar el metal base por la expansión térmica. Al aplicar un refrigerante, este se infiltra en la herramienta, sus lados y la pieza de trabajo formando una película que le permite a las virutas se deslicen con facilidad, protegiendo el filo (Méndez González, 2019).

2.7.1 Tipos de Mecanizado

2.7.1.1 Mecanizado continuo

Consiste en la aplicación de refrigerante de manera constante en el área de corte. Se dice que el mecanizado en húmedo incrementa la durabilidad de la herramienta 2.5 veces a comparación con el mecanizado en seco. Esto se debe al efecto del refrigerante, que reduce la temperatura del filo y previene que se reduzca la dureza del material de la herramienta (Méndez González, 2019).

2.7.1.2 Mecanizado interrumpido

Consiste en la aplicación de refrigerante en el área de corte de manera cíclica suspendiendo la aplicación del refrigerante por breves instantes de tiempo. Durante el mecanizado en húmedo con interrupciones, pueden producirse rupturas térmicas ya que el filo de la herramienta es expuesto a shock térmicos, cuando la temperatura del filo se incrementa rápidamente mientras mecaniza y disminuye abruptamente cuando la herramienta sale de la pieza de trabajo (Méndez González, 2019).

2.7.1.2 Mecanizado de materiales de difícil corte

Cuando se mecaniza materiales de difícil corte tales como el acero inoxidable, acero resistente al calor, superaleación con base de Ni y aleación de Ti, es necesario un refrigerante (soluble al agua) para prevenir astillamiento y fracturas. En este caso, para prevenir choques térmicos, una gran cantidad de refrigerante debe ser utilizado (Méndez González, 2019).

2.7.2 Tipos de refrigerantes

Existen refrigerantes solubles en agua y no solubles en agua. Los refrigerantes no solubles tienen un efecto de lubricación y los solubles al agua tienen un efecto de enfriamiento. Los refrigerantes no solubles en agua no son adecuados para el

mecanizado de alta velocidad debido a problemas ambientales tales como humo y regulación de encendido. Por ello, los refrigerantes no solubles al agua son utilizados para escariado, fresado y desbaste; donde las velocidades de corte son relativamente bajas. Para el perforado de agujeros profundos con brocas cañón, los cuales requieren una viscosidad moderada como efecto de lubricación y evacuación de virutas, son utilizados refrigerantes no solubles al agua (Méndez González, 2019).

2.7.2.1 Refrigerantes solubles al agua

El refrigerante soluble al agua utiliza un agente superficial activo para mezclar un refrigerante con base aceitosa con agua. Además de minerales y aceite, pueden incluirse aditivos de presión extrema, antioxidantes, antisépticos y anti espuma (Méndez González, 2019).

2.7.2.2 Emulsión

Se forma al añadir una pequeña cantidad de emulsificador, antiséptico y otros componentes del aceite mineral. Si se mezcla con agua, la emulsión se torna blanca. Este tipo de refrigerante es utilizado principalmente en torneado y fresado (Méndez González, 2019).

2.7.2.3 Soluble

Se genera en el momento de agregar grandes cantidades de aditivos a una pequeña cantidad de aceite mineral. Si es mezclado con agua, la solución se tornará traslúcida. Este tipo de refrigerante es principalmente utilizado para afilado y centros de mecanizado (Méndez González, 2019).

2.7.2.4 Corte en seco

Método en donde no se utiliza refrigerante en lo absoluto (Méndez González, 2019).

2.8 Tipos de movimientos de operación de una fresadora

Las operaciones de fresadora consisten en el mecanizado de materiales a través del movimiento giratorio de una herramienta de corte llamada fresa. Se pueden utilizar diferentes tipos de técnicas para trabajar el material, por ejemplo, cortar la pieza a las medidas adecuadas para el trabajo o hacer una rosca dentro del material, etc.

Se pueden encontrar 3 movimientos principales dentro de una fresadora:

- Corte: El presente movimiento se consigue cuando la herramienta de corte la cual gira a un determinado número de revoluciones se pone en contacto con la puesta a cara a cara con el material.
- Avance: Se presenta cuando se desplaza la herramienta hacia cualquier sentido en el plano horizontal.
- Profundidad pasada: Se refiere a la profundidad de corte que se hace en cada pasada (Ingeniería Mecafenix 2018).

2.8.1 Operaciones de fresadora

Planeado: Consiste en dejar la superficie plana de cualquier brote no deseado que pueda tener el material.

Fresado en escuadra: Es una variante del planeado que consiste en dejar escalones en la pieza mecanizada.

Ranurado Recto: Se utilizan fresas cilíndricas con la anchura total de la ranura.

Ranurado de formas: Se utilizan fresas de la forma en la que se quiere hacer la ranura, pueden ser en forma de "T", semicírculo, cola de milano, etcétera.

Ranurado de chaveteros: Consiste en hacer ranuras sobre ejes en los cuales se colocará una chaveta.

Copiado: Como su nombre lo indica trata de copiar una pieza en un material bruto. Para el copiado se utilizan fresas con pequeñas de perfil cilíndrico con el fin de poder trabajar en relieves y perfiles de caras cambiantes (Ingeniería Mecafenix 2018).

Roscado: Es una superficie cuyo eje está contenido en el plano y en torno a él describe una trayectoria helicoidal cilíndrica (Rosado 2015).

Fresado en rampa lineal: Es un método habitual y eficiente de aproximación a la pieza al mecanizar ranuras/alojamientos/cavidades cerradas y elimina la necesidad de emplear una broca. El mecanizado en rampa lineal se define como el avance simultáneo en dirección axial (Z) y en una dirección radial (X o Y), es decir, mecanizado en rampa de dos ejes.

Fresado en rampa circular: Es un desplazamiento simultáneo de un recorrido circular (X e Y) y de un recorrido de avance axial (Z) con un paso determinado, y, también, una alternativa al taladrado. El mecanizado en rampa circular siempre es preferible al mecanizado en rampa lineal (ranurado) dado que la interpolación helicoidal es un proceso mucho más suave porque el corte radial es reducido. También permite aplicar fresado en concordancia y ofrece una evacuación de la viruta optimizada. La rotación en sentido contrario a las agujas del reloj garantiza el fresado en concordancia (Sandvik s.f.).

Taladrado: Es un proceso que consiste en la fabricación de hoyos mediante la remoción de material mediante la implementación de una herramienta de corte rígida (Edgineers Edge s.f.).

Escariado: Es un proceso de arranque de viruta con el que se quiere agrandar un agujero y conseguir cierto acabado superficial y determinadas tolerancias dimensionales (Ikkaro s.f.).

Mandrinado: Se emplea para ampliar o mejorar la calidad de un agujero existente, obteniendo mayor precisión dimensional, mayor precisión geométrica o una menor rugosidad superficial, es decir, es necesario cuando se desea conseguir unas medidas o tolerancias muy estrechas que con otras operaciones no es posible conseguir (Manufacturas Lozano 2016).

Corte: Es la primera operación que se hace en casi todos los trabajos de mecanizado, consiste en cortar la pieza a las medidas adecuadas partiendo de barras y perfiles comerciales y se puede apreciar en la Figura 2.

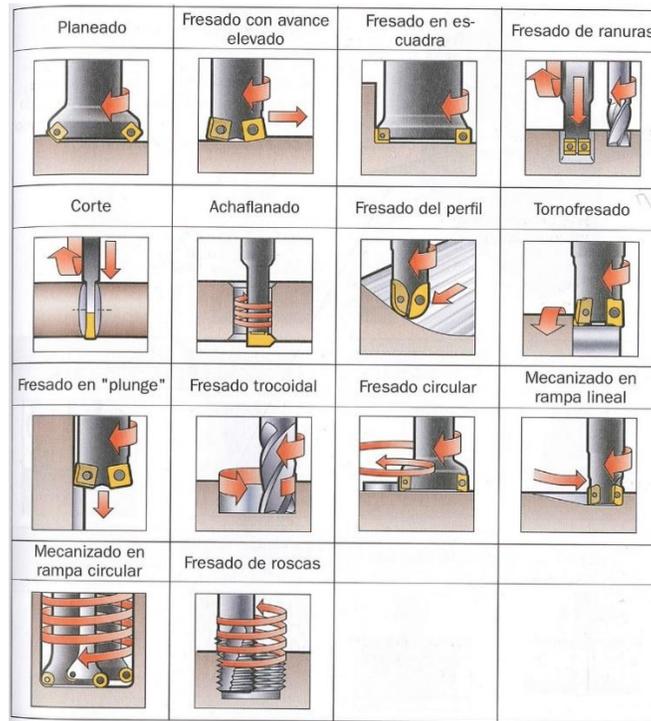


Figura 2. Operaciones de fresadora (fuente

https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/TFM/TFM04/es_DFM_TFM04_Contenidos/webseite_412_ngulo_de_posicin.html)

2.9 Optimización de procesos

La optimización de procesos consiste en la reducción o eliminación del tiempo y el desperdicio de recursos, los costes innecesarios, los cuellos de botella y los errores, mientras se logra el objetivo del proceso. El tiempo y recursos que se emplean en corregir un error solo se gastan si ese error existe. Por tanto, no bastaría con conocer la existencia de un fallo o una situación mejorable, sino que también haría falta conocer cómo lograr evitarlo. De dicha forma, se entiende que la optimización de procesos puede aportar a

una empresa una forma de reducir el dinero, el tiempo y los recursos invertidos en un proceso, para lograr mejores resultados empresariales (EAE Business School, 2019).

2.9.1 Tiempos de producción

El tiempo de producción es el tiempo requerido para realizar una o varias operaciones dentro de un proceso de producción. Se encuentra compuesto por todos aquellos tiempos que influyen en el proceso de producción como lo son:

- Tiempo de espera: Es aquel tiempo que pasa el producto en espera hasta comenzar una operación.
- Tiempo de preparación: Es el tiempo que se necesita para disponer adecuadamente los recursos que van a efectuar la operación.
- Tiempo de operación: Es el tiempo que se comprende entre el inicio y finalización de la operación.
- Tiempo de transferencia: Es el tiempo requerido para transportar una cantidad de producto que ya ha sido sometido a una operación a otra nueva (GestioPolis, 2013).

2.9.2 Valor Añadido

Se añade valor cuando el único objetivo de las actividades del proceso son transformar las materias primas en un producto terminado y funcional con las características que algún cliente esté dispuesto a comprar (Lean Manufacturing 10, s.f.).

2.9.3 Desperdicios

Un desperdicio es todo aquello que no aporta valor al producto o que no es absolutamente imprescindible para fabricarlo (Lean Manufacturing 10, s.f.).

2.9.3.1 *Desperdicios por exceso de almacenamiento*

Permiten la existencia de productos muertos que sólo se detecta al realizar inventarios físicos. Pueden ser materiales o productos obsoletos. Todos los productos necesitan de cuidados, mantenimiento, vigilancia, contabilidad, gestión, entre otros, y entre más producto almacenado se tenga, más costo implica. No permiten tener una idea clara de los activos de los balances, puesto que si son productos obsoletos no deberían estar considerados como activos ni como una inversión en stock. El desperdicio por almacenamiento es la consecuencia de tener una mayor cantidad de existencias de las necesarias. El hecho de que se acumule material, antes y después del proceso, indica que el flujo de producción no es continuo.

2.9.3.2 *Desperdicios por sobreproducción*

Ocurre por fabricar más cantidad de la necesaria. También por diseñar o comprar equipos con demasiada capacidad. Implica perder tiempo en fabricar una parte de un producto que no es necesario, lo que implica claramente un consumo inútil de componentes, aumento de transportes y del nivel de stock (Lean Manufacturing 10, s.f.).

2.9.3.3 *Desperdicios por tiempo de espera*

Son los tiempos perdidos o muertos que resultan de una secuencia de trabajo deficiente. Provocando con estos malos diseños de operación que unos operarios permanezcan

parados mientras otros están saturados de trabajo. Es preciso estudiar concienzudamente cada actividad para estandarizar los procesos.

2.9.3.4 Desperdicios por transportes o movimientos innecesarios

Se deben reducir las distancias entre las máquinas en las líneas de producción, el objetivo es que los materiales no deben esperar entre puestos, por lo que deben fluir sin esperas o stocks intermedios. Optimización de la disposición de las máquinas y de los movimientos de stocks en planta. El movimiento de stock aumenta la posibilidad de daños.

2.9.3.5 Desperdicios por defectos, rechazos y retrabajos

Cada error en la ejecución de un proceso genera un reworking o un trabajo extra. Los procesos productivos deben ser diseñados teniendo en cuenta los posibles errores. Hay que conseguir en la medida de lo posible no tener que hacer reprocesos, y eso implica necesariamente hacerlo bien a la primera. Y si no es posible hacerlo bien en todos los casos, los errores o las no conformidades deben detectarse lo antes posible. Prácticamente en el momento de la generación (Lean Manufacturing 10, s.f.).

2.9.4 Recursos

Un recurso es todo aquel medio, de cualquier clase, que permite la obtención de una meta u objetivo planteado (Westreicher, 2020).

2.9.4.1 Recursos Financieros

Los recursos financieros son aquellos activos que tienen algún grado de liquidez. Por tanto, desde una vertiente económica sería aquellos relacionados con el efectivo y sus equivalentes líquidos (Rus Arias, 2019).

2.9.4.2 Recursos Humanos

Los recursos humanos (RRHH) son el conjunto de trabajadores, así como cualquier persona física que se encuentran dentro (o vinculado directamente) de una organización,

sector o economía. También, en la administración de empresas, hace referencia a la gestión que se hace de los trabajadores dentro de una organización determinada (Coll Morales, 2020).

2.9.4.3 Recursos de materiales

Los recursos de materiales son todos los insumos, materias primas, herramientas, máquinas, equipos y todo elemento físico que se requieren para realizar el proceso de producción de una empresa (Quiroa, 2020).

Capítulo 3

Planteamiento del Problema

El desgaste prematuro en los diversos herramientas de corte en procesos de mecanizado por control numérico computarizado de 3 ejes en el Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato es el tema principal de este trabajo, debido a que no se realiza una implementación correcta en la técnica de mecanizado, como los parámetros de corte adecuados de las herramientas de corte utilizadas.

Las consecuencias producidas por la falta de conocimiento acerca de los componentes principales que afectan al proceso de maquinado son una constante generación procesos de maquinado poco productivos y el desgaste prematuro de las herramientas de corte.

Se busca contrarrestar dicha problemática mediante el desarrollo de una serie de técnicas de optimización para el maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes, la cual realiza un énfasis especial en la correcta selección de las herramientas de corte y se encontrará disponible para los alumnos del Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato.

3.1 Justificación

Debido a la amplia variedad de productos que son fabricados por medio de la implementación de uno o varios procesos de mecanizado, resulta de suma importancia la optimización de los mismos, ya que, la mejora continua de dichos procesos da como resultado un menor coste en la producción de sus productos, permitiendo a las empresas generar márgenes de ganancia mayores y ofertar nuevos productos a precios menores, beneficiando de dicha manera a los consumidores.

Es por ello, que resulta de suma importancia la elaboración de técnicas y metodologías que resulten en una serie de pasos a seguir para cualquier operador de máquinas como fresadoras, tornos, rectificadoras, etc. Que son máquinas industriales implementadas para la elaboración de proceso de mecanizado, pero que no solo el operador pueda realizar los procesos requeridos, sino que tenga la ventaja de poder optimizarlos, generando una reducción de los costes de fabricación para cada una de las piezas fabricadas.

El presente trabajo, pretende otorgar una serie de técnicas de optimización para procesos de mecanizado por control numérico computarizado de 3 ejes que terminan por ser una serie de pasos a seguir para alcanzar una reducción de gastos en el proceso mencionado, permitiéndole al operador la posibilidad de disminuir el desgaste prematuro en los herramientas de corte implementados en su propio proceso, lo cual le permite obtener una producción mayor de piezas con el mismo número de herramientas de corte, además, de implementar tecnologías CAM que permiten el ahorro de tiempo y complejidad en los procesos de mecanizado, ayudándole a optimizar los tiempos de trabajo y aportando una sencillez considerable a su proceso, lo cual genera una producción mayor a un menor coste.

3.2 Alcances

La presente tesis redacta acerca de una investigación de carácter descriptiva, debido a que se parte del conocimiento existente, en este caso de otras metodologías realizadas por otros investigadores, en donde se busca implementar los aportes positivos de las mismas en un proyecto de carácter propio, el cual, permita la elaboración de una serie de técnicas que permitan optimizar procesos de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes, donde su meta principal sea la disminución del desgaste prematuro en la herramienta de corte, ya que, el excesivo desgaste prematuro de dichas herramientas es una problemática encontrada en el Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato.

3.3 Limitaciones

En la elaboración del presente proyecto existieron diversas limitaciones que impidieron obtener el máximo aprovechamiento de los recursos investigados en el presente proyecto. Partiendo desde la falta de recurso y la falta de diversidad de fresas en el centro de manufactura del Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato provocando que no se pudiesen implementar las fresas requeridas para la obtención de la mayor optimización posible. Además, de que la fresadora DYNAMACH VMC540 es una fresadora de muy bajo poder, por lo que ciertos parámetros de corte fueron limitados por debajo de los requeridos, dando como resultado operaciones de corte más lentas.

Capítulo 4

Objetivos

4.1 Objetivo General

Implementar técnicas que permitan la optimización de los procesos de manufactura por maquinado en un sistema de control numérico computarizado de 3 ejes.

4.2 Objetivos Específicos

Identificar los tipos de cortadores y sus materiales para el proceso de maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado de 3 ejes.

Calcular los parámetros de corte para los cortadores seleccionados para el proceso de maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado de 3 ejes.

Describir la correcta serie de pasos CAM para el proceso de maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado de 3 ejes.

Desarrollar un molde para un plato desechable a través de un proceso de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes que implementé las técnicas de optimización.

Capítulo 5

Metodología

5.1 Diseño de la investigación

Dado que el objetivo del estudio fue implementar técnicas de optimización que permitan aumentar la productividad de los procesos de manufactura por maquinado en un sistema de control numérico computarizado de 3 ejes, se recurrió a un diseño no experimental, el cual fue aplicado de manera transaccional.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista, el diseño no experimental es “aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.” (Hernández, Fernández y Baptista, 1997). Estos mismos autores señalan que los diseños de investigación transaccionales “recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables, y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.” (Hernández, Fernández y Baptista, 1997).

5.2 Enfoque de la investigación

Dentro de la búsqueda realizada en el presente trabajo por obtener el cumplimiento de los objetivos establecidos, el presente trabajo fue elaborado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cualitativo.

El enfoque hace uso de la recolección de datos “sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación”, (Hernández, Fernández y Baptista, 1997).

5.3 Población

La población se define como “el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Selltiz, Deutsch, Cook, 1976).

La población de estudio se conformó por el proceso de maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado, el cual fue desarrollado en el instituto tecnológico superior del sur de Guanajuato.

5.4 Muestreo

La muestra es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población (Hernández, Fernández y Baptista, 1997).

En el presente trabajo no se estableció una muestra, debido a que el fenómeno de estudio fue el proceso de maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado, el cual fue desarrollado en el instituto tecnológico superior del sur de Guanajuato, y las técnicas de optimización fueron aplicadas desde el inicio del proceso hasta su culminación, a lo cual, otorga que la investigación realizada se desarrolló sobre toda la población.

5.5 Técnica de recolección de datos

Se entenderá por técnica de investigación o de recolección de datos, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información (Fidias, 1999).

Para el presente trabajo se implementó la técnica sistematización bibliográfica debido a que es la que permite analizar información bibliográfica para la obtención de resultados, de tal manera, se da a conocer que la mayor parte del trabajo realizado en el presente

trabajo consiste en el análisis de datos obtenidos a través de fuentes confiables para su posterior aplicación en un proceso de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes.

5.6 Instrumento de recolección de datos

Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valer el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en sí toda la labor previa de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados (Fidias, 1999).

En la figura 3 se puede apreciar la metodología seguida para llevar a cabo la elaboración del presente proyecto, desde una perspectiva muy general, la cual puede adaptarse a cualquier trabajo de mecanizado, ya que, cumple con todos los pasos requeridos para el desarrollo de un proceso de maquinado, seguro y eficiente.

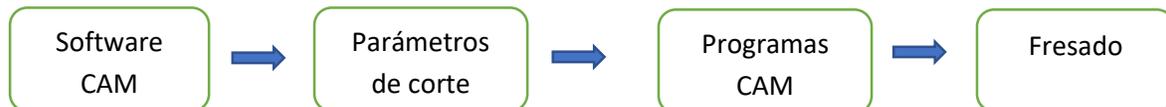


Figura 3. Diagrama de bloques de la metodología

5.8 Selección del software CAD/CAM

En el mercado existe una gran variedad de softwares CAM para el desarrollo de procesos de maquinado, de los cuales se pueden destacar 2 grandes categorías:

- Softwares de manejo de CAM: Únicamente son empleados para el manejo de CAM.

- Softwares de manejo de CAM y otros tipos de diseños (CAD, PCBs, etc.): Son empleados para manejar CAM y otros tipos de diseños como lo pueden ser CAD, o el diseño de PCBs para circuitos electrónicos, por mencionar algunos ejemplos.

De las categorías mencionadas anteriormente, se desprende una enorme diversidad de softwares. A continuación, se detallarán únicamente los aspectos a tomar en cuenta para la selección del software de CAM que se acople más a los requerimientos y necesidades del presente proyecto. El lector puede implementar los mismos pasos que se muestran a continuación, pero debe tomar en cuenta las necesidades y requerimientos de su propio proyecto.

El primer paso, fue detallar los criterios a evaluar de parte de cada software, en donde se utilizó el método ordinal corregido de criterios ponderados, el cual, es un método que permite la evaluación de diferentes productos para la selección del producto ideal para el trabajo a realizar. Consiste en el establecimiento y valoración de ciertos criterios a inspeccionar en cada uno de los productos.

Se le asignó una determinada calificación que comprende del 0 al 5, en donde 0 es la calificación más baja y 5 es la calificación más alta, el software seleccionado fue aquel que obtuvo el mayor puntaje, la calificación se otorgó de acuerdo a la capacidad de adaptación de la característica evaluada del software a los requerimientos del presente proyecto, quiere decir, que mientras más beneficio otorgue la característica del software al cumplimiento del proyecto, mejor valoración le fue otorgada.

Los criterios evaluados fueron:

- Capacidad del software para desarrollar modelados en 3D.
- Capacidad para desarrollar programas para máquinas de 2, 3, 4 o 5 ejes.
- Elaborar diferentes tipos de trayectorias de maquinado.
- Cantidad de herramientas de corte disponibles para el operador.
- Costo del software.
- Capacidad de corrección de errores en diseño.

- Nivel de sencillez para utilizar su interfaz de usuario.

Los softwares de CAM que fueron catalogados en una primera instancia como potenciales a implementar para la elaboración del presente proyecto, fueron NX, Powermill, Rhinocam y SolidCAM. La selección consistió simplemente en la búsqueda de softwares de CAM y de sus características técnicas, de donde, se escogieron aquellos que en la creencia del autor le otorguen las mejores características para facilitar el desarrollo y cumplimiento de las actividades de CAM requeridas para el presente proyecto.

En la Tabla 3 se presentan los criterios evaluados para cada software.

Tabla 3. Comparativa de criterios evaluados.

Criterio	NX	Powermill	Rhinocam	SolidCAM
Modelados en 3D	5	5	5	5
Maquinado en 2 o más ejes	4	4	5	5
Cantidad de trayectorias de maquinado	5	5	4	4
Diversidad de herramientas de corte	4	5	4	4
Costo del software	4	1	2	3

Sencillez en la interfaz de usuario	4	2	4	4
Funcionalidad en CAD	5	5	5	5
Total	31	27	29	30

Como se puede apreciar en la Tabla 3, el software de mayor utilidad para el desarrollo del presente proyecto es NX de Siemens, por lo cual, fue el utilizado para el desarrollo de los programas CAM para el proyecto. Se aclara que la tabla de criterios a evaluar no indica que NX es mejor que los demás softwares evaluados, sino que, en base a criterios y evaluaciones personales del autor, se consideró que NX es el software que mejor se acopla para el cumplimiento de los objetivos del proyecto, dichos criterios y evaluaciones fueron deducidas mediante una investigación realizada acerca de las características de cada software.

5.9 Centro de manufactura del Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato

En el centro de manufacturo del Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato, se encuentra una fresadora CNC (DYNAMACH VMC540) la cual se puede apreciar en la Figura 4, posee un movimiento en 3 ejes los cuales son X, Y, Z, además, de poseer una prensa posicionada en la mesa de trabajo la cual puede sujetar hasta piezas de 20cm.



Figura 4. Dynamach VMC540.

La fresadora posee una capacidad máxima de revoluciones por minuto de 9999 y un sistema de sujeción de conos neumáticos. Se puede operar de manera manual mediante un panel de control. Posee un sistema de refrigeración automático, un sistema de transmisión de datos y una memoria CompactFlash en donde se almacenan los programas a ejecutar por CNC.

Solamente se cuenta con una corta variedad de fresas, a causa de dicha acción el presente proyecto sufrió de algunas complicaciones al momento de la correcta selección de las herramientas de corte, ya que, existe una corta variedad de fresas, la cual disminuyó aún más por la mala operación de las mismas, produciendo la fractura de una gran cantidad de fresas, lo que dio como resultado la disminución de las fresas a elegir para el fresado de las operaciones requeridas.

Se debe comentar que la fresadora VMC540 se encontró en un mal estado y con ciertas averías como en el sistema de refrigeración en donde la bomba se encuentra dañada causando que en ocasiones no libere el líquido refrigerante durante el proceso de fresado. El cambio de herramientas debe de realizarse de manera manual debido a la falla en el sistema de la fresadora encargada de realizar el cambio automático de las fresas.

La fresadora posee un número muy bajo de revoluciones en el husillo, lo cual limitó ciertos parámetros de corte que se debieron considerar para la elaboración de los cálculos de avances y velocidades, dando como resultado la disminución del valor de algunos parámetros y por ende la obtención de procesos de fresado más lentos y sin aprovechar al máximo la capacidad de algunas fresas.

Otra limitación de parte de la fresadora fue la falta de capacidad de obtener el 0 pieza de manera automática, dejando la labor a los operadores del proyecto, en donde, el método se reduce a la inspección visual, siendo este un método muy inexacto e inapropiado para procesos de fresado en donde las exigencias en cuanto a tolerancias a fallas sean demasiado reducidas.

5.10 Parámetros de corte

5.10.1 Características de la materia prima a maquinar

Uno de los aspectos más importantes en un proceso de maquinado es la materia prima a maquinar, debido a que es el punto de partida para la correcta optimización de un proceso de maquinado, ya que, el material del cortador, así como su forma, deben de ser seleccionados a partir del material del cual se compone la materia prima a maquinar, además, para establecer los parámetros de corte correctos se requiere del conocimiento previo del material del cortador, y como se comentó, el material del cortador es seleccionado en base al material que compone a la materia prima a maquinar.

La falta de conocimiento del operador acerca de la materia prima a maquinar, es capaz de provocar fallos garrafales como desgastes prematuros en la herramienta de corte, fundición de la materia prima, fracturas en la herramienta de corte, maquinados lentos, mayor consumo de energía, obteniendo como resultado un maquinado defectuoso y no optimizado.

Otra característica importante de la materia prima a maquinar es su geometría, se debe de tomar en cuenta tanto su estado inicial (la materia prima a maquinar) como su estado

final (pieza terminada) ya que, a partir de la geometría de la pieza se definen las trayectorias de maquinado, y los diámetros de las herramientas de corte a implementar en el proceso de maquinado, dicha acción previene las fallas por colisiones en el proceso de mecanizado, además, previene el exceso de maquinado sobre la materia prima, quiere decir, que la herramienta de corte se ajustará a las dimensiones requeridas para obtener como resultado la pieza deseada por el operador.

También, se debe de tomar en cuenta las características y dimensiones de la bancada, que es en donde se realizará la sujeción de la materia prima a maquinar, ya que, se debe de prevenir cualquier posible colisión con la misma, lo idóneo, es que la geometría de la materia prima a maquinar contenga una zona definida para sus sujeción en la bancada, por lo tanto, no se debe de generar ninguna trayectoria de corte sobre la misma, simplemente es un espacio de material extra agregado a las dimensiones de la geometría de la pieza que su función es permitir la sujeción correcta y segura de toda la materia prima a maquinar, sin afectar la integridad de la pieza terminada (después del proceso de maquinado) ni de la herramienta de corte.

Para la correcta selección de las trayectorias a maquinar, se debe de considerar la geometría de la pieza, ya que, no considerar dicha geometría se puede obtener como resultado la implementación de trayectorias que obliguen a que el proceso de maquinado sea más lento, ya sea por el hecho de que el cortador se encuentre en una instancia de movimiento en vacío (el cortador realiza su movimiento de trabajo pero sin estar en contacto con la materia prima a maquinar), o por el hecho de que no aproveche al máximo su posición actual (el cortador realiza un movimiento no lógico de acuerdo a su posición, provocando su movimiento en vacío).

La materia prima que se trabajó en el presente proyecto fue un bloque de aluminio 6061, en la Tabla 4 se presentan las propiedades para dicho material.

Tabla 4. Características del Aluminio 6061.

Aluminio 6061	
Límite elástico (Kpsi)	40
Límite elástico (Mpa)	276
Resistencia Máxima (Kpsi)	45
Resistencia Máxima (Mpa)	310
Resistencia a la fatiga a 5E8 ciclos (Kpsi)	14
Resistencia a la fatiga a 5E8 ciclos (Mpa)	97
Elongación	12
Dureza Brinell	95
Conductividad Térmica (W/m.K)	73

De acuerdo a las características de la tabla anterior, se logra concluir que el aluminio 6061 es un material idóneo para el cumplimiento de los objetivos del presente proyecto, ya que, el material resulta ser bastante liviano y con poca dureza para la correcta implementación del molde terminado. Agregando, que el material es excelente para los procesos de maquinado de bajo costo, ya que, consume menos energía durante el proceso comparándolo con un mecanizado en acero inoxidable. Gracias a su elevado coeficiente de conductividad térmica, se puede maquinar el aluminio 6061 a altas velocidades sin requerir demasiado caudal del líquido refrigerante, únicamente lo suficiente para remover el material desprendido o viruta.

La geometría de la materia prima consiste en un bloque con las medidas de 254 mm x 254 mm x 50 mm, además, posee una forma de un prisma cuadrangular como se puede apreciar en la Figura 5 y Figura 6,



Figura 5. Materia prima a maquinar.

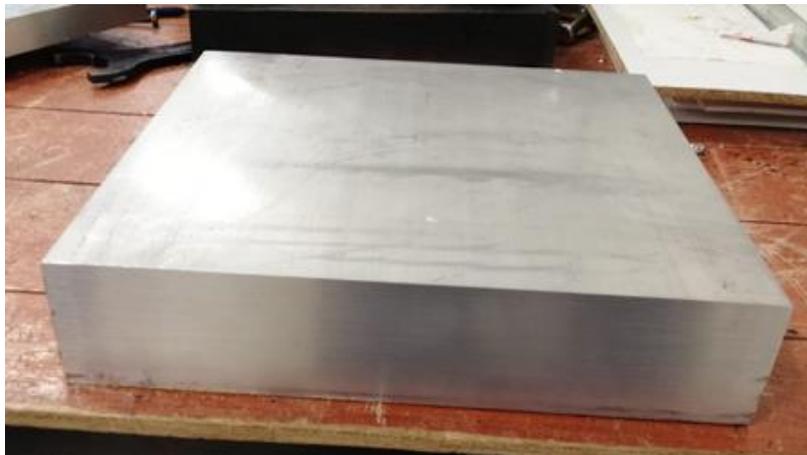


Figura 6. Materia prima a maquinar segunda toma.

5.10.2 Herramientas de corte

Existe una enorme diversidad de herramientas de corte para el proceso de fresado, por lo tanto, resulta crucial una correcta selección de la misma, de lo contrario, se pueden obtener fallas durante la elaboración del proceso de fresado, de las cuales, la gravedad de la falla puede variar drásticamente. A continuación, se encuentra un listado de algunas fallas ocasionadas por la mala selección de la herramienta de corte:

- Malos acabados en la pieza.
- Reducción del tiempo de vida de la herramienta de corte.
- Fracturas en la herramienta de corte.
- Fundición de la materia prima maquinada.

Todas las características anteriores, establecen un proceso de fresado poco óptimo y con resultados no deseados para el operador del proceso.

Para seleccionar de manera correcta a la herramienta de corte, se debe de considerar los aspectos presentados en la Tabla 5:

Tabla 5. Consideraciones para la correcta selección de la herramienta de corte.

Aspecto a considerar	Influencia sobre la selección de la herramienta de corte
Material a maquinar	Material de fabricación. Número de acanaladuras. Implementación de recubrimientos especiales. Tamaño de las ranuras.
Geometría de la piza final	Diámetro de la herramienta de corte
Trayectoria a desarrollar	Geometría del cortador a implementar

Se debe de tomar a consideración que cada proceso de fresado se compone de múltiples programas con diferentes trayectorias de corte y propósitos específicos, por lo que es bastante probable que se requiera de la utilización de múltiples herramientas de corte. Como se puede apreciar en la tabla anterior, existen diversas categorías a considerar para la correcta selección de la herramienta de corte.

A continuación, se encuentran los aspectos más importantes a tomar en cuenta para la correcta selección de la herramienta de corte. Se empieza por analizar los tipos de materiales que componen a la amplia diversidad de herramientas de corte que se encuentran en el mercado, es importante considerar que los procesos de fresado van evolucionando con el pasar del tiempo, por lo que es probable que exista información extra a la expuesta en las siguientes páginas, se recomienda realizar una investigación propia para poder lograr el propósito deseado por el lector.

Mucha de la información requerida se puede encontrar en los catálogos de empresas que se dediquen a la venta de herramientas de corte, un ejemplo es el caso de McMaster-Carr, el cual posee un catálogo online con una amplia variedad de productos. En general cualquier empresa posee su propio catálogo, por lo que se recomienda limitar la búsqueda de información al catálogo de la empresa que más se acomode a las necesidades del operador.

Como se puede apreciar en la Tabla 6, esos son algunos materiales que componen a la diversidad de cortadores existentes en el mercado, cada uno posee sus propias características y beneficios que aportan a cada proceso. Hoy en día, las empresas manufactureras, la industria automotriz y la aeroespacial demandan procesos demasiado complicados, ya sea por las trayectorias generadas, los materiales a maquinar, o la complejidad de la pieza requerida. Por lo tanto, una de las soluciones implementadas por la industria, es la mejora de las propiedades de los cortadores actuales mediante la implementación de recubrimientos sobre las superficies de corte.

Los recubrimientos son procesos industriales que se le dan a las herramientas de corte para el mejoramiento de sus características naturales. Algunos de los beneficios que aportan son:

- Aumentar la calidad de corte.
- Prolongar la vida útil de la herramienta.
- Incrementar la dureza de la herramienta para poder cortar materiales más duros.
- Mantener la dureza ante altas temperaturas.
- Aumento de las velocidades de maquinado.

Tabla 6. Características e implementaciones de los diversos materiales para fabricar fresas.

Material	Características	Implementación
Aceros al carbono de baja aleación	Dureza HRC 62-65. Baja resistencia al calor de aproximadamente 220 °C	Baja producción. Maquinados con temperaturas no muy elevadas. Acabados a baja velocidad de corte Finura en la arista cortante.
Aceros de alta velocidad (HSS)	Poseen la capacidad de mantener su dureza ante altas temperaturas. Permiten el corte de metales a velocidades más elevadas.	Producción de baja a media. Maquinados de precisión a bajo costo. Maquinados de alta velocidad a bajo volumen.

<p>Fundición de aleaciones de cobalto</p>	<p>Posee una resistencia al desgaste mucho mayor que la del acero de alta velocidad.</p> <p>La tenacidad es mucho mejor que la de los carburos cementados.</p>	<p>Se implementan sobre los aceros de alta velocidad para incrementar la dureza ante las altas temperaturas.</p>
<p>Carburo cementado</p>	<p>Su dureza es demasiado elevada.</p> <p>Es capaz de mantener su nivel de dureza hasta los 1000°C.</p> <p>Su resistencia al desgaste es mayor que las aleaciones de cobalto.</p> <p>Su tenacidad es aceptable para el maquinado de aceros inoxidable.</p>	<p>Cuando su contenido de cobalto es elevado, se implementan para realizar cortes en bruto o cortes a muy altas velocidades.</p> <p>Cuando su contenido de cobalto es bajo, se implementan para realizar acabados.</p> <p>Es utilizado para maquinar aceros inoxidable.</p>
<p>CERMET</p>	<p>Posee una resistencia a la abrasión demasiado elevada.</p> <p>Posee una alta resistencia al desgaste en incidencia y al calor.</p> <p>Posee poca tendencia al filo recrecido y al desgaste por oxidación.</p>	<p>Se utiliza en procesos con alto volumen de producción.</p> <p>Se utiliza para maquinados especiales.</p>
<p>Diamantes sintéticos</p>	<p>Es el material con mayor dureza.</p>	<p>Es implementado para maquinar metales no</p>

		ferrosos y abrasivos no metálicos.
Nitruro de boro cúbico	<p>Es el segundo material con mayor dureza, únicamente por debajo de los diamantes sintéticos.</p> <p>A diferencia de los diamantes sintéticos el nitruro de boro cúbico no reacciona químicamente ante maquinados de hierro y níquel.</p>	Se utiliza para maquinar aceros, materiales no ferrosos y aleaciones de níquel.

En la Tabla 7, se puede apreciar algunos de los recubrimientos utilizados en herramientas de corte.

Tabla 7. Recubrimientos implementados en las fresas

Recubrimiento	Características	Implementación
Nitruro de aluminio con titanio (AlTiN)	<p>Oxidación alrededor de los 800° C.</p> <p>Dureza Vickers de 4,000 a 4,500 HV.</p> <p>Espesor promedio de 3 a 6 micras con alta resistencia a la corrosión.</p> <p>Baja conductividad térmica y eléctrica.</p>	<p>Materiales de baja o difícil maquinabilidad.</p> <p>Mecanizado de materiales templados.</p> <p>Maquinado en seco o con poco lubricante.</p> <p>Mecanizados de alta velocidad.</p> <p>Aceros inoxidable.</p> <p>Fundiciones y aleaciones de titanio.</p>

<p>TiA70</p>	<p>Dureza Vickers 3,300 HV.</p> <p>Baja conductividad térmica y eléctrica.</p> <p>Espesor promedio de 3 a 6 micras con alta resistencia a la corrosión.</p> <p>Oxidación alrededor de los 900° C.</p>	<p>Materiales de baja o difícil maquinabilidad.</p> <p>Mecanizados de todo tipo de aceros.</p> <p>Maquinado en seco o con poco lubricante.</p> <p>Maquinados de alta velocidad.</p>
<p>Nitruro de titanio con aluminio (TiAlN)</p>	<p>Dureza Vickers 3,300 HV.</p> <p>Coeficiente de fricción 0.40.</p> <p>Espesor promedio de 3 a 6 micras con alta resistencia a la corrosión.</p> <p>Oxidación alrededor de los 900° C.</p>	<p>Mecanizado de Acero inoxidable Austenítico.</p> <p>Materiales de difícil maquinabilidad y materiales muy duros.</p> <p>Mecanizado de altas velocidades y altas temperaturas.</p> <p>Mecanizado de súper aleaciones.</p> <p>Mecanizado en seco o con poco refrigerante.</p> <p>Mecanizado de Titanio, fundición y material cuproso.</p>
<p>nACoB</p>	<p>Dureza Vickers 3,500 a 4,500 HV.</p> <p>Coeficiente de fricción 0.45.</p> <p>Espesor promedio de 1 a 4 micras con alta resistencia al calor y la corrosión.</p> <p>Oxidación alrededor de los 1,200° C.</p>	<p>Mecanizado de Aceros duros.</p> <p>Mecanizado en Acero inoxidable.</p> <p>Mecanizado de altas velocidades y altas temperaturas.</p> <p>Mecanizado en seco.</p>

		<p>Mecanizado en Aceros endurecidos.</p> <p>Ideal para acabados y semi-acabados.</p>
HELICA	<p>Dureza Vickers 3,000 HV.</p> <p>Coeficiente de fricción 0.25.</p> <p>Espesor promedio de 1 a 4 micras.</p> <p>Oxidación alrededor de los 1,000° C.</p>	<p>Mecanizados en Aceros al carbón.</p> <p>Mecanizado en piezas de hierro fundido.</p> <p>Puede mecanizar Acero inoxidable dependiendo del tipo de cortador.</p> <p>Operaciones de desbaste y semiacabado.</p> <p>Mecanizado en aceros aleados, aceros para herramientas y aceros tratados.</p> <p>Mecanizados rápidos con flujo de refrigerante.</p>
Nitruro de Cromo (CrN)	<p>Dureza Vickers 2,000 a 2,400 HV.</p> <p>Coeficiente de fricción 0.50,</p> <p>Oxidación alrededor de los 700° C.</p>	<p>Mecanizados de plásticos con carga mineral.</p> <p>Mecanizado de aluminio.</p> <p>Es buen material para acabados.</p> <p>Mecanizado de aleaciones de aluminio y de cobre.</p> <p>Mecanizado de plásticos y materiales más suaves.</p>

La correcta selección del material sobre el cual se fabricará la herramienta de corte o el recubrimiento que se requiere implementar a dicha herramienta serán definidos de acuerdo al material del cual se encuentra fabricada la materia prima a maquinar, como se puede apreciar de las tablas anteriores, el material define la dureza del mismo, por lo tanto, no resulta lo mismo maquinar aluminio, el cual resulta ser un metal blando, que maquinar acero inoxidable o un acero para fabricar herramientas de corte, los cuales aumenta en gran escala su dureza y para poder ser maquinados requieren una herramienta de corte diferente a la implementada en el proceso de aluminio.

No solo es importante conocer los diversos materiales existentes en el mercado de las herramientas de corte, sino que, también se requiere del conocimiento de sus diversas formas geométricas. el número de acanaladuras, los ángulos y áreas de corte entre otras características que se deben de considerar para la obtención del máximo aprovechamiento de la herramienta de corte.

Se comienza por mencionar que existe una gran diversidad de herramientas de corte, dentro de los procesos de fresado, a las herramientas de corte se les conoce como fresas o cortadores. Existe una enorme diversidad de formas de fresas, esto se debe gracias a que la forma de las piezas fresadas se obtiene a partir del contorno de las fresas.

De la Tabla 8 a la 11 se presentan las formas más básicas que se encuentran en el mercado de las herramientas de corte para fresadoras y su utilización en los procesos de fresado.

Fresas con vástago

Tabla 8. Tipos de fresas con vástago

Fresa	Implementación	Modelos
Fresa con vástago estándar	Son utilizadas para desbastes, ranurados, acabados y contornos (No se puede realizar el fresado de interiores sin un barrenado previo).	Se encuentran de diversos diámetros y cantidad de filos usualmente son de 2 a 8 filos. También existen modelos con punta de bola los cuales son especiales

		para superficies circulares, existen variaciones en el número de filos y en diámetros.
Fresa para cajear	Permite el fresado de interiores como oblongos, cuñeros y cajas sin la necesidad de realizar un barrenado previo.	Poseen varios diseños y de acuerdo a los mismos son el número de filos que incorporan, usualmente son de 2 a 4 filos.
Fresa para ranuras T	Se emplean para el maquinado de ranuras T (requieren del maquinado previo de la ranura para posteriormente realizar el maquinado definitivo de la ranura T).	Existen de una amplia diversidad de diámetros.
Fresa para ojales	Se utilizan para el fresado de cuñeros de media luna.	Existen de una amplia diversidad de diámetros.
Fresas de un solo diente	Se emplean únicamente para el fresado de materiales suaves. Para el grabado en fresas copiadoras, se requiere de la implementación de punzones, dichos punzones pertenecen a la familia de fresas de un solo diente.	Existen de diversas variedades, inclusive en ocasiones el operador puede afilar la geometría del punzón de acuerdo a su necesidad.
Fresas de roscar	Se emplean para la fabricación de roscas.	Se encuentran para diversos diámetros, tipos de roscado,

		de uno (forma completa o forma de v) o varios filos.
--	--	--

Fresas con vástago para el fresado de formas

Tabla 9. Fresas con vástago para el fresado de formas

Fresa	Implementación	Modelos
Fresa de radios	Se emplean para el fresado de formas cóncavas o convexas.	Se encuentran en fresas de medio círculo convexo (fresado de formas cóncavas) y de un cuarto de círculo cóncavo (fresado de formas convexas).
Fresas cónicas	Se emplean para el fresado de sesgos y guías prismáticas.	Existen en diversos diámetros y tamaños de la longitud de corte.
Fresas copiadoras	Se emplean en la construcción de moldes y modelos	Existen en diversos diámetros.

Fresas postizas

Tabla 10. Tipos de fresas postizas

Fresa	Implementación	Modelos
Fresa frontal cilíndrica	Sirve para el fresado de superficies, escalones y ranuras anchas.	Usualmente se encuentran en tamaños de 40 mm – 125 mm.
Fresa frontal cónica	Se emplean para el fresado de guías prismáticas.	Existen diseños de 45°, 60°, 75°.
Fresas de disco	Son utilizadas para el fresado de ranuras estrechas y profundas, chaveteros y cortes de pieza.	Existen en modelos con dentado recto (ranurado recto), dentado cruzado o alterno (ranurado profundo), dentado de cruz (chaveteros profundos).
Fresas cilíndricas	Únicamente sirven para el fresado de superficies planas, con la condicional de que la superficie a fresar no sea más ancha que la longitud del filo,	Se encuentra la fresa cilíndrica convencional y la fresa cilíndrica acolada con dientes helicoidales de sentidos opuestos (el empuje axial queda compensado).

Hoja de sierra circular	Sirve para fresar ojales profundos y cortes de piezas.	Se encuentran en diferentes diámetros.
-------------------------	--	--

Fresas postizas para el fresado de formas

Tabla 11. Fresas postizas para el fresado de formas

Fresa	Implementación	Modelos
Fresas para ranuras	Se emplean para el fresado de precisión de ranuras en un solo paso. Su mayor aplicación es en canales chaveteros.	Se pueden encontrar de diversos diámetros.
Fresa para engranes o fresa modular	Se implementan para la fabricación de ruedas dentadas.	Las variantes son la fresa combinada (baja producción de engranajes) y la fresa madre (alta producción de engranajes)
Fresa semicircular	Se utilizan para el fresado de ranuras cóncavas y convexas.	Existen en 2 modelos, las fresas semicirculares convexas (fresado de ranuras cóncavas) y las fresas semicirculares cóncavas (fresado de ranuras convexas).
Fresa de prismas	Se emplean para el fresado de formas prismáticas.	Se pueden encontrar con los ángulos de punta de 45°, 60° y 90°.

Se debe tomar a consideración que existe la posibilidad de encontrar algunas las formas presentadas en la tabla anterior en versiones de fresa para acabado o fresa para desbaste, la principal diferencia entre ellas, radica en que las fresas para desbaste son especiales para realizar desbaste de la materia prima, donde su principal beneficio es remover una mayor cantidad de material en un menor tiempo en comparación con su semejante pero de acabado, además, la zona maquinada quedará de manera imperfecta y será requerido implementar un acabado para obtener la textura deseada sobre la zona fresada. Por su parte, las fresas de acabado removerán el material requerido en un mayor tiempo, pero con la textura deseada sobre la zona fresada.

Complementando la información anterior, existe la posibilidad de encontrar las formas presentadas en la tabla anterior con pequeñas modificaciones, las cuales pueden consistir en:

- Cantidad de filos o acanaladuras que componen a la fresa.
- El material de la fresa.
- Tamaño de las ranuras.
- Recubrimientos añadidos.

Dichas variaciones en la fresa dependerán del material sobre el cual se encuentra fabricado la materia prima a fresar. Los cambios que se pueden apreciar dependen del fabricante de la herramienta de corte, por ejemplo, a mayor dureza de la materia prima a fresar mayor será el número de acanaladuras con las que cuente la fresa, o el material del cual se fabrique la pieza deberá de ser de mayor dureza o en lo contrario implementar un recubrimiento que aumente su dureza.

Debido a las limitaciones del centro de manufactura del instituto tecnológico superior del sur de Guanajuato, no se pudo lograr la mejor implementación de las fresas requeridas para cada función a desarrollar.

Las fresas utilizadas fueron:

En la Figura 8 se contempla una fresa con vástago de 19.05 mm de diámetro con 2 acanaladuras, se encuentra fabricada de acero de alta velocidad (HSS).



Figura 8. Fresa con vástago 19.05 mm.

En la Figura 9 aparece una fresa con vástago de 6.35 mm de diámetro con 4 acanaladuras, se encuentra fabricada de acero de alta velocidad (HSS).



Figura 9. Fresa con vástago 6.35 mm.

En la Figura 10 se puede apreciar una fresa semicircular convexa de 12.7 mm de diámetro con 2 acanaladuras, la cual, se encuentra fabricada de acero de alta velocidad (HSS).



Figura 10. Fresa semicircular convexa 12.7 mm.

En la Figura 11 se muestra una fresa semicircular convexa de 4 mm de diámetro con 4 acanaladuras, la cual, se encuentra fabricada de acero de alta velocidad (HSS).



Figura 11. Fresa semicircular convexa de 4 mm.

5.10.3 Cálculos requeridos

Para la obtención de buenos resultados ante un proceso de fresado se requiere de la correcta selección de la herramienta de corte, además, de la correcta elaboración de los cálculos del proceso.

El objetivo de los cálculos es la obtención de un proceso de fresado estable y que prevenga fallas como el desgaste prematuro de cortadores o fracturas tanto parciales como totales, fundición de la pieza maquinada y la falta de aprovechamiento de las características que brindan las fresas.

Los cálculos varían de acuerdo al diámetro de la fresa, su número de acanaladuras y el material del cual se encuentra fabricada.

Lo ideal es tener a la mano los siguientes valores:

- Diámetro y acanaladuras del cortador.
- Capacidades de la máquina.
- Tablas de velocidad de corte y avance por diente (estándar/fabricante de la fresa).

Los datos anteriormente mencionados, fueron requeridos para la correcta elaboración de las fórmulas.

Existen 2 tipos de tablas para encontrar los valores de velocidad de corte y avance por diente, una es la que el fabricante de la fresa pone a disposición de sus clientes y la otra es encontrar alguna otra tabla estandarizada, cualquiera de las opciones es de utilidad para la realización de los cálculos, en la Figura 12, se puede apreciar un ejemplo de una tabla otorgada por la empresa TOOLMEX CORPORATION de acuerdo a uno de sus catálogos.

Material Pieza de Trabajo	Velocidad (SPPM)	Avance (IPT) Basado en el Diámetro de la Herramienta						
		1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"
Aleaciones de Aluminio	600-1200	.0010	.0020	.0030	.0040	.0048	.0058	.0080
Lámina y Bronce	200-350	.0010	.0020	.0024	.0030	.0036	.0043	.0050
Acero al Carbón Bajo	100-600	.0010	.0015	.0024	.0030	.0036	.0043	.0060
Hierro Fundido	80-350	.0010	.0015	.0024	.0030	.0036	.0043	.0060
Acero Fundido	200-350	.0005	.0010	.0016	.0020	.0024	.0029	.0040
Aleaciones a Base de Cobalto	20-80	.0005	.0008	.0008	.0010	.0012	.0014	.0020
Cobre	350-900	.0010	.0020	.0024	.0030	.0036	.0043	.0060
Acero para Matrices	50-300	.0005	.0010	.0016	.0020	.0024	.0029	.0040
Grafito	600-1000	.0020	.0050	.0064	.0080	.0096	.0115	.0100
Inconel/Monel	30-50	.0005	.0010	.0012	.0015	.0018	.0022	.0030
Magnesio	900-1300	.0010	.0020	.0032	.0040	.0048	.0058	.0080
Hierro Maleable	200-500	.0005	.0010	.0024	.0030	.0036	.0043	.0070
Aleaciones a Base de Níquel	50-100	.0002	.0008	.0008	.0010	.0012	.0014	.0020
Plástico	600-1200	.0010	.0030	.0048	.0060	.0072	.0086	.0100
Acero Inoxidable – Blando	100-300	.0005	.0010	.0016	.0020	.0024	.0029	.0030
Acero Inoxidable – Duro	50-250	.0005	.0010	.0016	.0020	.0024	.0029	.0030
Acero – Templado	100-350	.0010	.0020	.0024	.0030	.0036	.0043	.0050
Acero – Rc 18-24	100-500	.0004	.0008	.0012	.0015	.0018	.0022	.0045
Acero – Rc 25-37	25-120	.0003	.0005	.0008	.0010	.0012	.0014	.0030
Titanio	100-200	.0005	.0008	.0012	.0015	.0018	.0022	.0030

Figura 12. Parámetros de corte de las fresas fabricadas por TOOLMEX CORPORATION. (Fresas (Cortadores) Verticales Convencionales (fotografía), por TOOLMEX CORPORATION, 2010)

Se recomienda observar detalladamente las características de cada una de las tablas por ciertas variaciones y/o conversiones que se puedan especificar y por ende realizar. Se aclara que para la velocidad de corte es primordial no superar el límite máximo debido a que ocasionara fallas durante el proceso, sin embargo, es posible que ni siquiera se alcance el valor mínimo definido y no ocasionará algún problema, siempre y cuando el valor colocado no sea exageradamente inferior al establecido, todo depende de las características de la fresadora.

A continuación, se presenta la nomenclatura a utilizar durante el procedimiento de elaboración de los cálculos requeridos, en donde los datos velocidad de corte y avance por diente fueron tomados de la Figura 9 con una serie de ligeros ajustes debido a la capacidad de la fresadora DYNAMACH VMC540.

Fórmulas

$$n = \frac{v_c * 1000}{\pi * D} \quad (1)$$

$$v_f = n * f * Z \quad (2)$$

n = giro del husillo.

v_c = Velocidad de corte (tablas).

f_z = Avance por diente (tablas).

D = Diámetro del cortador.

v_f = Velocidad de Avance.

Z = Acanaladuras del cortador.

Fresa con vástago 19.05 mm

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{\pi \cdot 19.05} = 2506.377 \text{rpm} = 2506 \text{rpm} \quad (3)$$

$$v_f = 0.073 \cdot 2506 \cdot 2 = 2439.514 \text{rpm} \quad (4)$$

Fresa con vástago 6.35 mm

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{\pi \cdot 6.35} = 7519.131 \text{rpm} = 7519 \text{rpm} \quad (5)$$

$$v_f = 0.015 \cdot 7519 \cdot 4 = 451.14 \text{rpm} \quad (6)$$

Fresa semicircular convexa 12.7 mm

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{\pi \cdot 12.7} = 3759.565 \text{rpm} = 3760 \text{rpm} \quad (7)$$

$$v_f = 0.039 \cdot 3760 \cdot 2 = 293.28 \text{rpm} \quad (8)$$

Fresa semicircular convexa 4 mm

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{\pi \cdot 4} = 11936.62 \text{rpm} = 11937 \text{rpm} \quad (9)$$

$$v_f = 0.008 \cdot 11937 \cdot 4 = 381.984 \text{rpm} \quad (10)$$

5.11 Implementación de CAM para el fresado de un molde para un desechable por control numérico computarizado

Un proceso de fresado comúnmente se compone de diversos programas, los cuales se encargan de generar las trayectorias de corte requeridas para el fresado de la pieza y de dicha forma, obtener la pieza final deseada por el operador, dichos programas son generados mediante códigos G y M los cuales son programados y definidos por computadora, mediante la implementación de un software de CAM.

Para la manufactura del molde deseado, se consideró la realización de dicho molde mediante la técnica de troquelado, la cual consiste en un troquel, que toma la forma de la superficie de la pieza deseada a fabricar. Dicho troquel se compone en 2 partes, para el proyecto las partes se denominaron pieza molde A, la cual se puede apreciar en la Figura 13 y su contra parte es la pieza molde B, la cual se puede apreciar en la Figura 14.

Para el presente proyecto, se implementó el software NX de la empresa siemens en su versión número 10. El punto de partida fue en la interfaz de usuario del software, en donde ya se puede visualizar la pieza molde A, la cual fue la primera pieza maquinada.

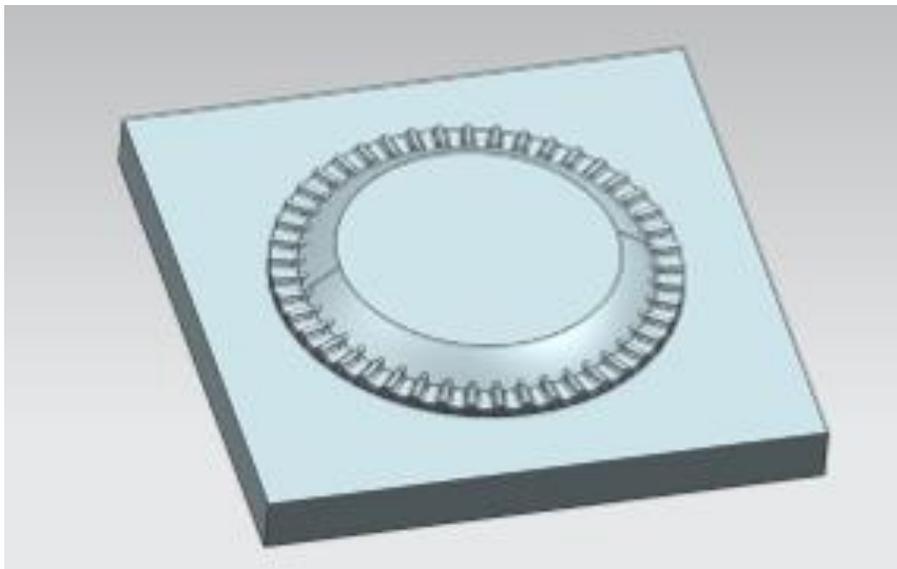


Figura 13. Pieza molde A.

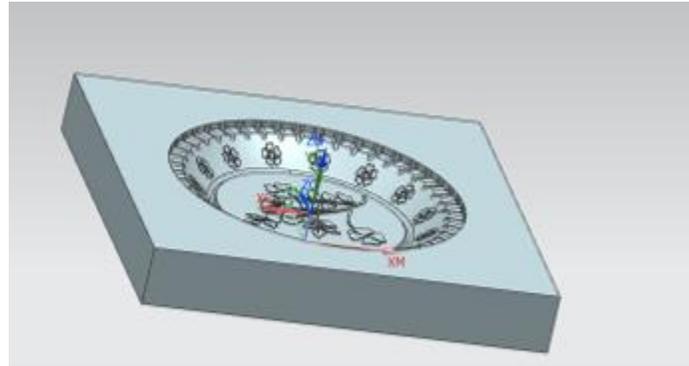


Figura 14. Pieza molde B.

Se prosiguió a definir los parámetros de CAM a implementar para la fabricación de la pieza y la geometría de la pieza, la cual consistió en establecer las medidas del bloque de la materia prima a fresar, las cuales fueron de 254 mm x 254 mm x 50 mm. Dentro de la interfaz de usuario del software, se prosiguió a la opción de archivo y se seleccionó la opción de fabricación, como se puede apreciar en la Figura 15.

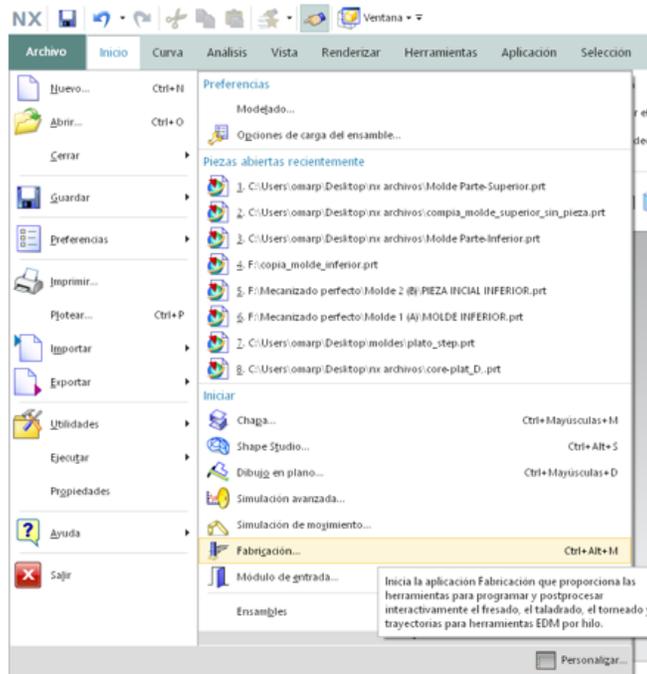


Figura 15. Selección de la opción fabricación.

Una vez que se seleccionó el apartado fabricación, se desplegó el menú de “elementos de maquinado” en donde se establecieron los parámetros de CAM, en donde la “configuración de la sesión de CAM” fue “cam_general” y la opción de “ajuste de inicial de CAM para crear” fue “mill_planar” como se muestra en la Figura 16.

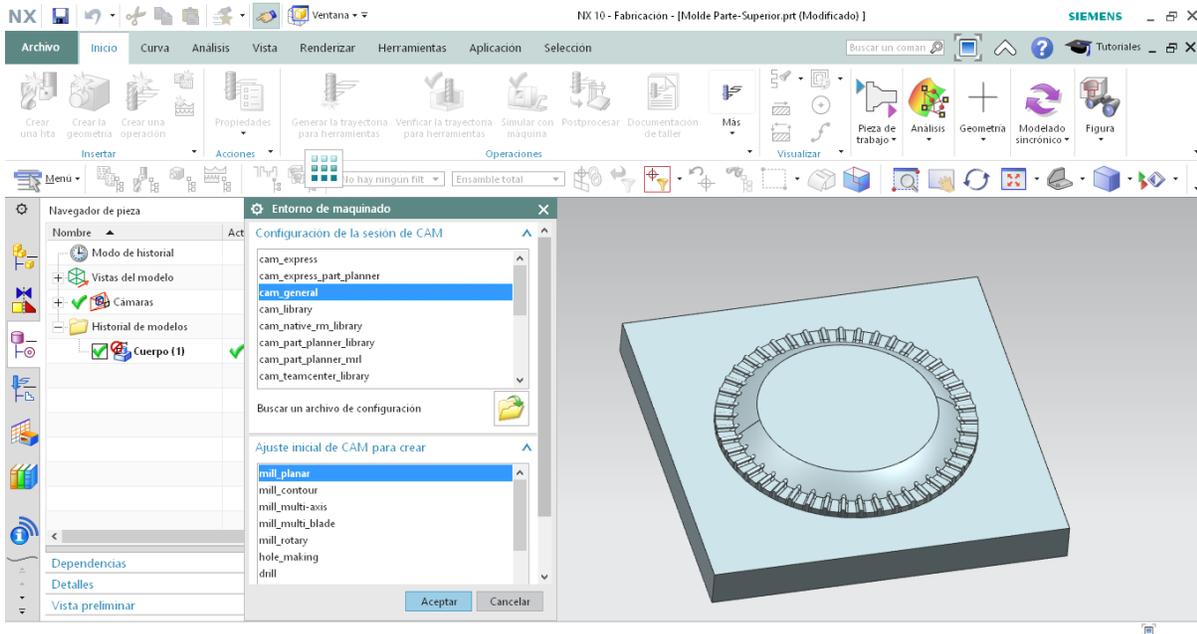


Figura 16. Menú del apartado fabricación.

El siguiente paso realizado fue la definición de la geometría de la pieza en donde se establecieron diversos parámetros, dicho proceso comenzó con la selección de la opción de “MCS_MILL” como se puede apreciar en la Figura 17. Dicha opción desplegó un menú alternativo, en donde se seleccionó la opción “cuadro de diálogo del SBC” como se muestra en la Figura 18, lo cual a su vez desplegó el menú “SBC”, como el de la Figura 16. Dichas opciones ayudaron a configurar el centro de la pieza de la pieza a maquinar y su proceso se describe a continuación.

Se debe de aclarar que el 0 pieza es el origen de coordenadas que se utilizará como referencia para acotar los puntos del programa, por eso, el cero pieza debe de ser situado en la posición más conveniente para el proceso, como consejo, es preferible colocar el

0 pieza en la parte inferior del bloque a maquinar, ya que en esa posición, es punto reconocible a simple vista del operador en caso de que su reconocimiento al inicio de cada programa deba de realizarse de manera manual, como lo es en el caso del presente proyecto realizado.

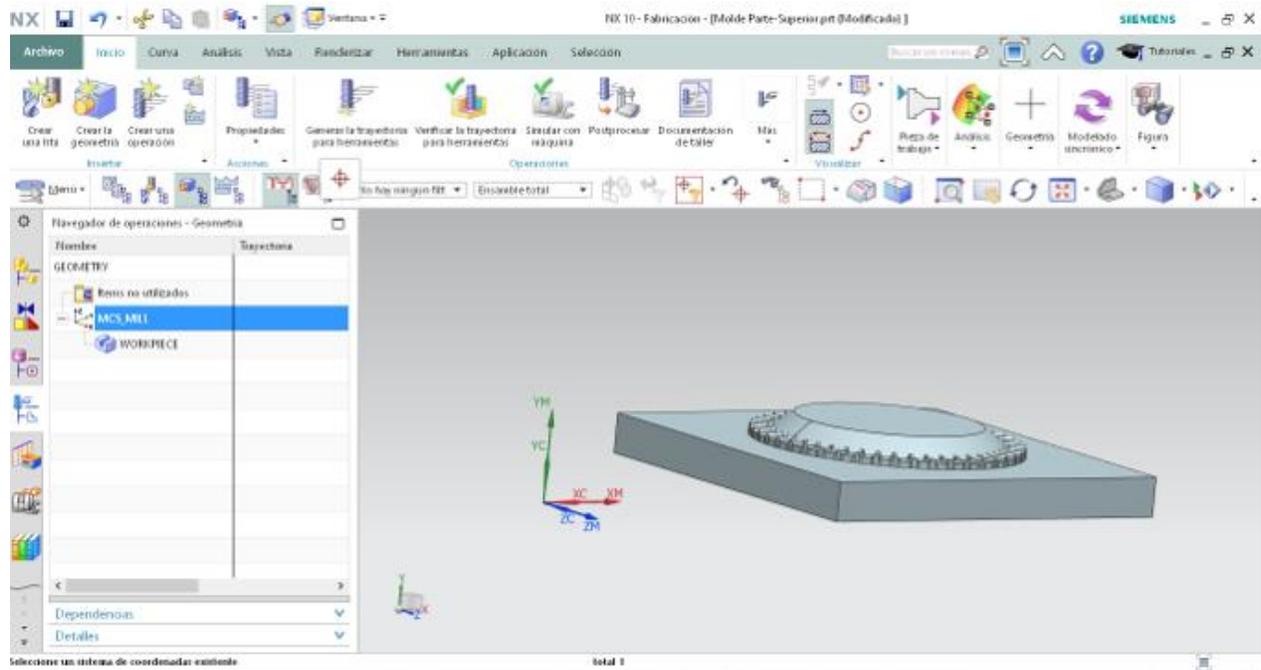


Figura 17. MCS_MILL.

Se prosigue a acceder al menú “SBC”, para ello, se requiere de la selección del apartado “Cuadro de diálogo del SBC”, como se puede visualizar en la Figura 18.

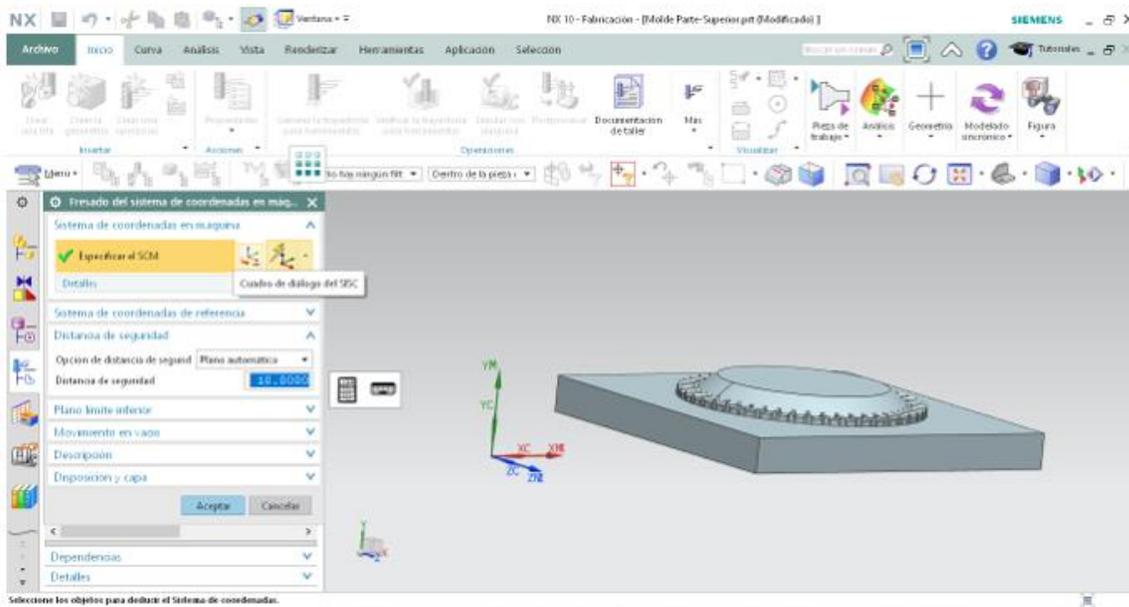


Figura 18. Selección de la opción “cuadro de diálogo del SBC”.

Dentro del menú “SBC”, la opción “tipo” fue “Dinámica” y seleccionando la opción “cuadro de diálogo de Puntos” como se muestra en la Figura 19 la opción seleccionada fue “Entre 2 puntos” como se muestra en la Figura 20.

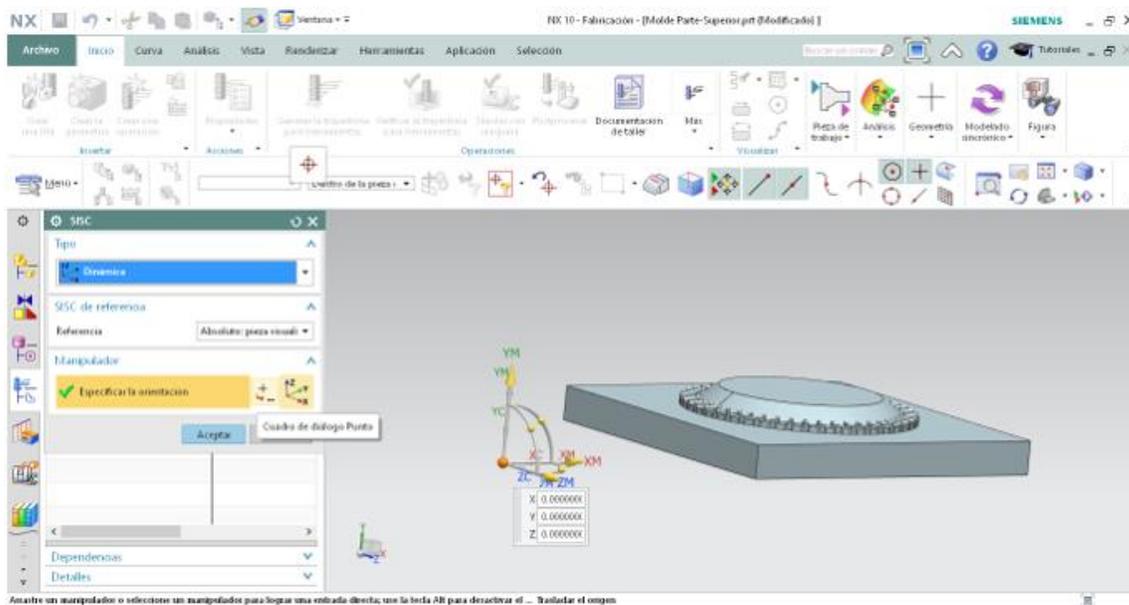


Figura 19. Menú SBC.

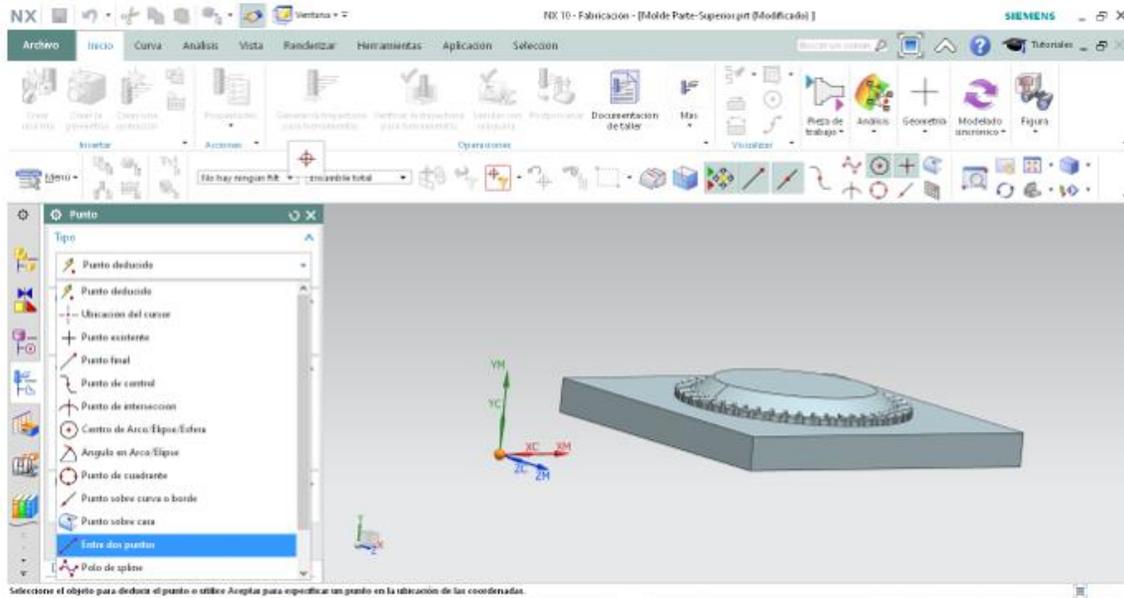


Figura 20. Selección de la opción entre 2 puntos.

Una vez seleccionada la opción anterior, aparecerán 2 campos en el menú “Punto” el primero de ellos dice “Especificar el punto 1” y el segundo “Especificar el punto 2”. Mediante la selección de dichos puntos el software NX 10 seleccionó de manera automática el 0 pieza para la pieza presentada en las capturas de pantalla. Por lo tanto, se seleccionó el campo “Especificar el punto 1”, seguido de la presente acción, se seleccionó el primer punto, el cual fue en una esquina inferior de la figura, se repitió el mismo proceso para el campo “Especificar el punto 2”, el resultado de las acciones se puede visualizar en la Figura 21.

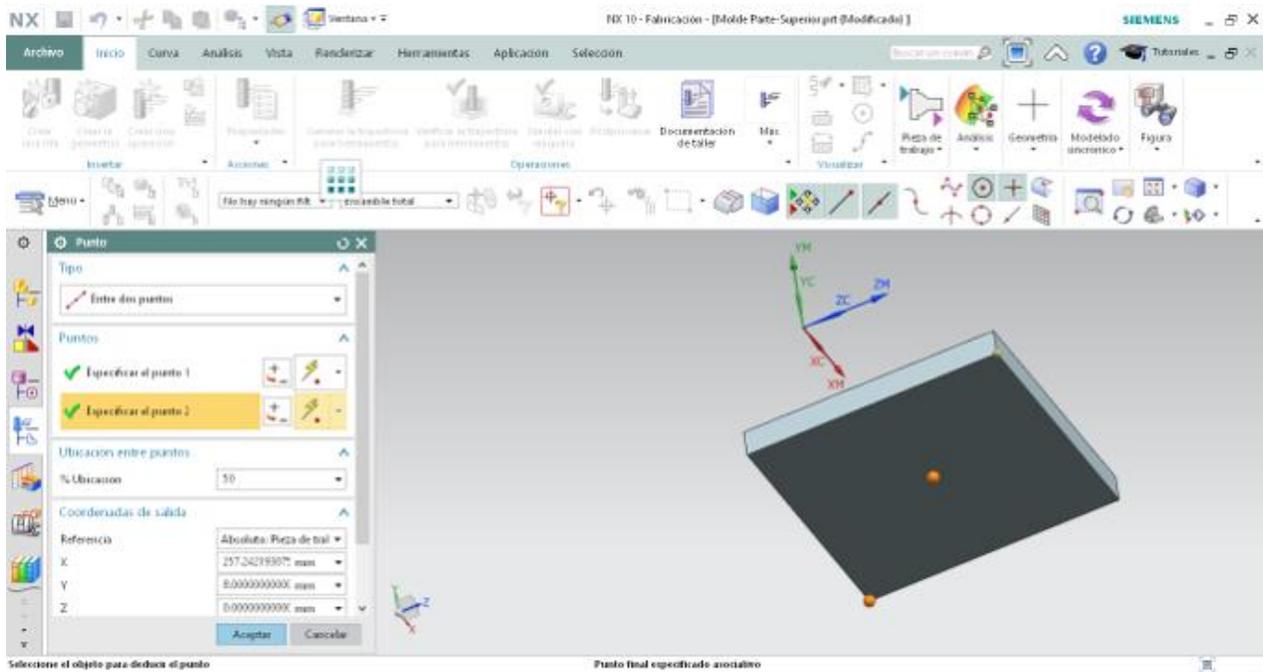


Figura 21. 0 pieza.

Se retornó al menú de fresado de sistemas de coordenadas de la máquina y se procedió a especificar el plano de la pieza, el presente paso fue más que nada para cuestiones de seguridad durante el fresado ya que, se seleccionaron la cara superior de la pieza Figura 22 y la cara inferior Figura 23 sobre la cual se máquina de la misma.

Se resalta que ambas opciones deben contener trayectorias de fresado y no seleccionar alguna cara en donde no se realice un proceso de fresado.

Capítulo 5. Metodología

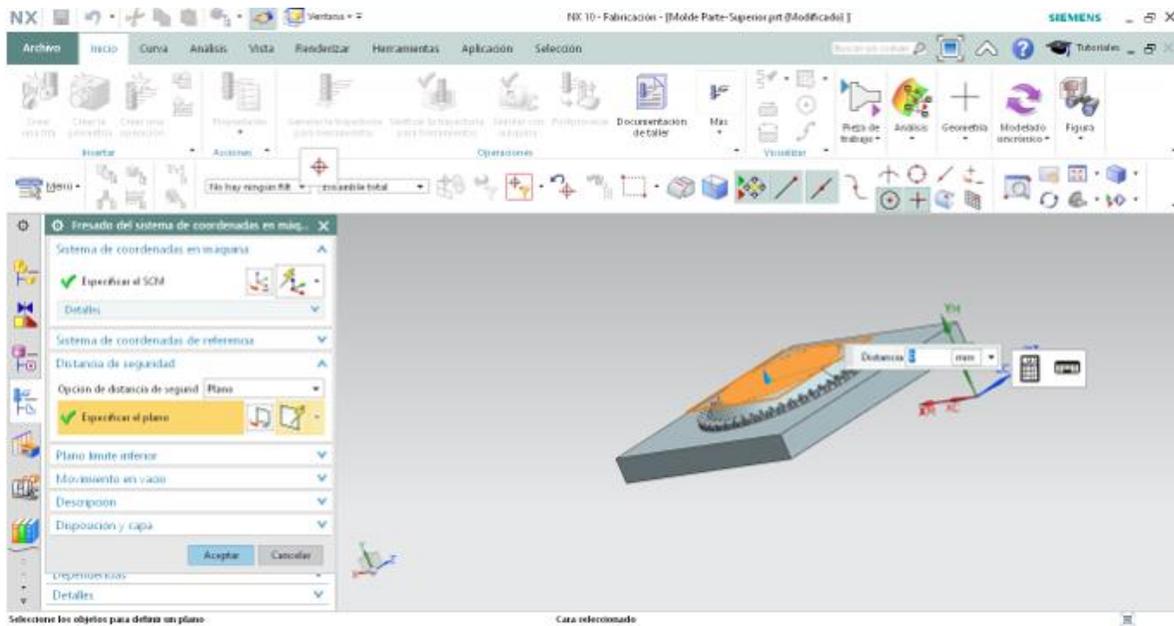


Figura 22. Plano 1.

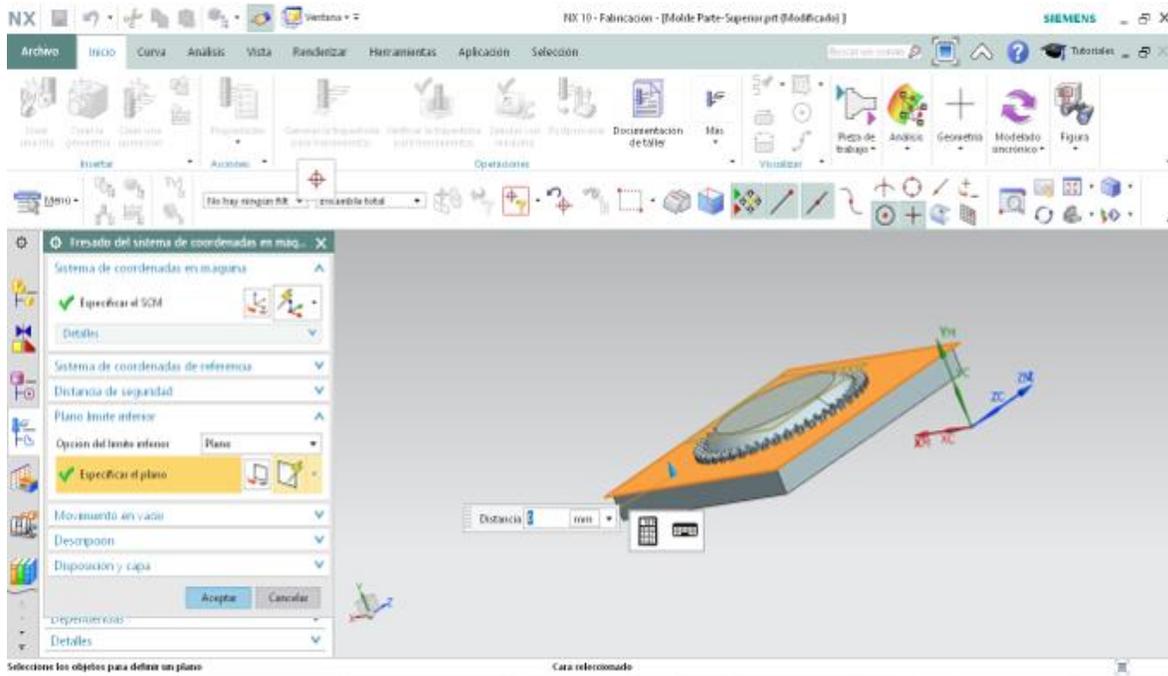


Figura 23. Plano 2.

Capítulo 5. Metodología

Se retornó al menú principal de la interfaz de usuario del software NX 10, y se seleccionó el apartado WORKPIECE como se muestra en la Figura 24.

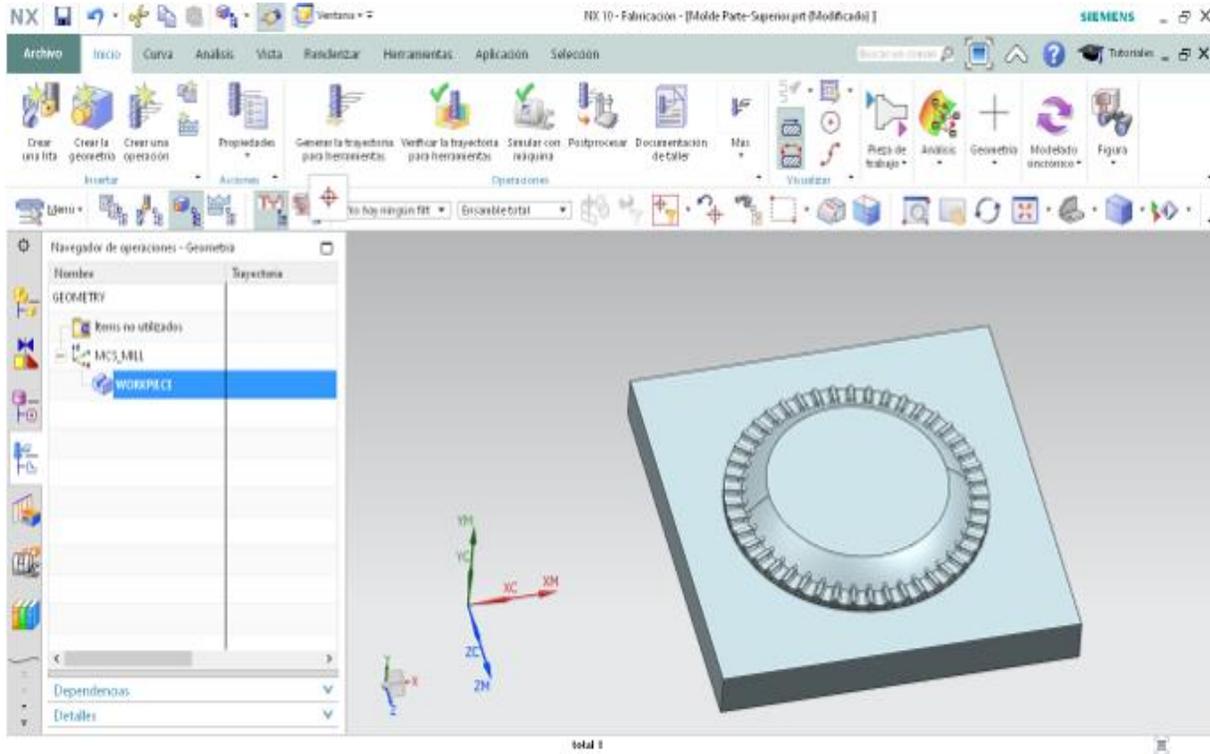


Figura 24. Workpiece.

Una vez que se seleccionó la opción WORKPIECE, se desencadena un menú alternativo, llamado “pieza de trabajo”, como se puede apreciar en la Figura 25. Dicha acción generó un nuevo menú llamado “Geometría de la pieza”. En la opción “Geometría”, se seleccionó el apartado llamado “Geometría”, en el cual se seleccionó la pieza a fresar como se puede apreciar en la Figura 26.

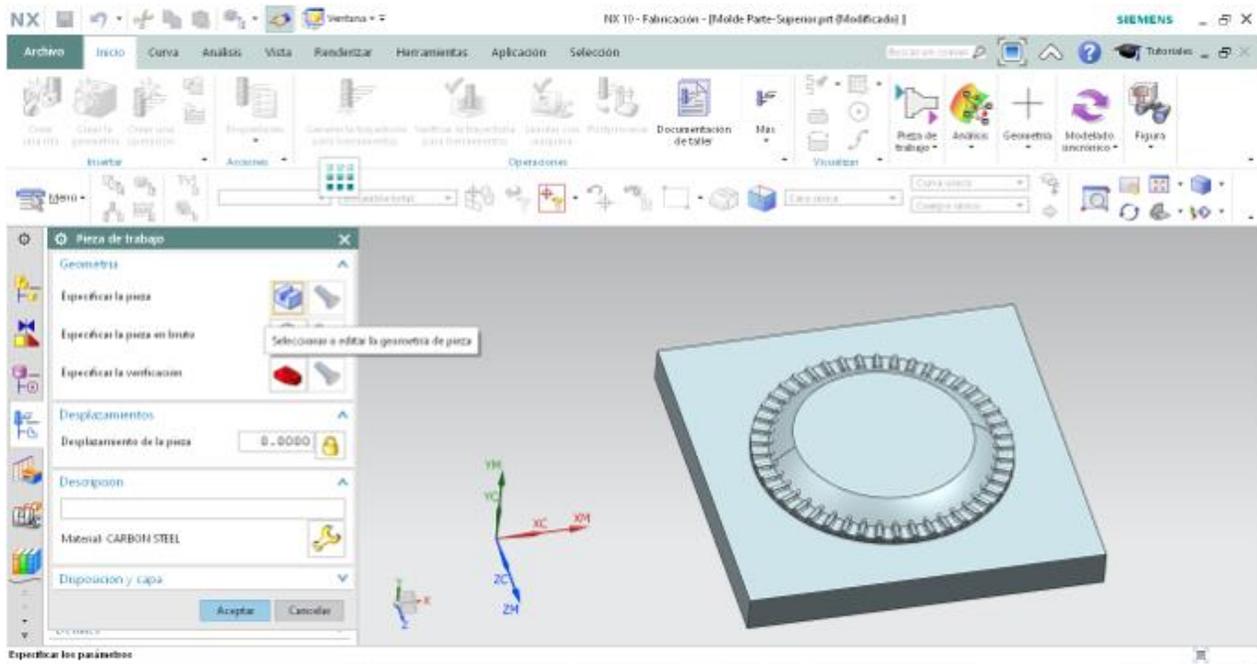


Figura 25. Menú pieza de trabajo.

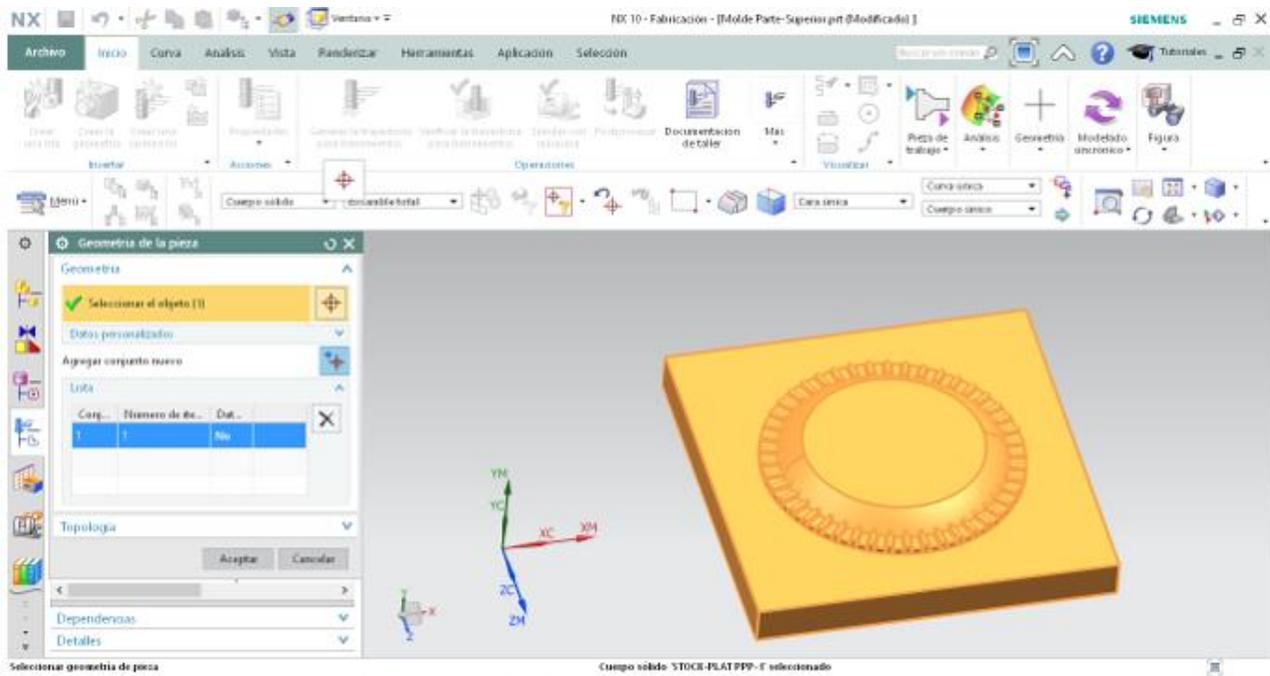


Figura 26. Geometría.

Retornando al menú “Pieza de trabajo” como se muestra en la Figura 27 se procedió a especificar la pieza en bruto, simplemente se dio un clic en la pieza, como se muestra en la Figura 28.

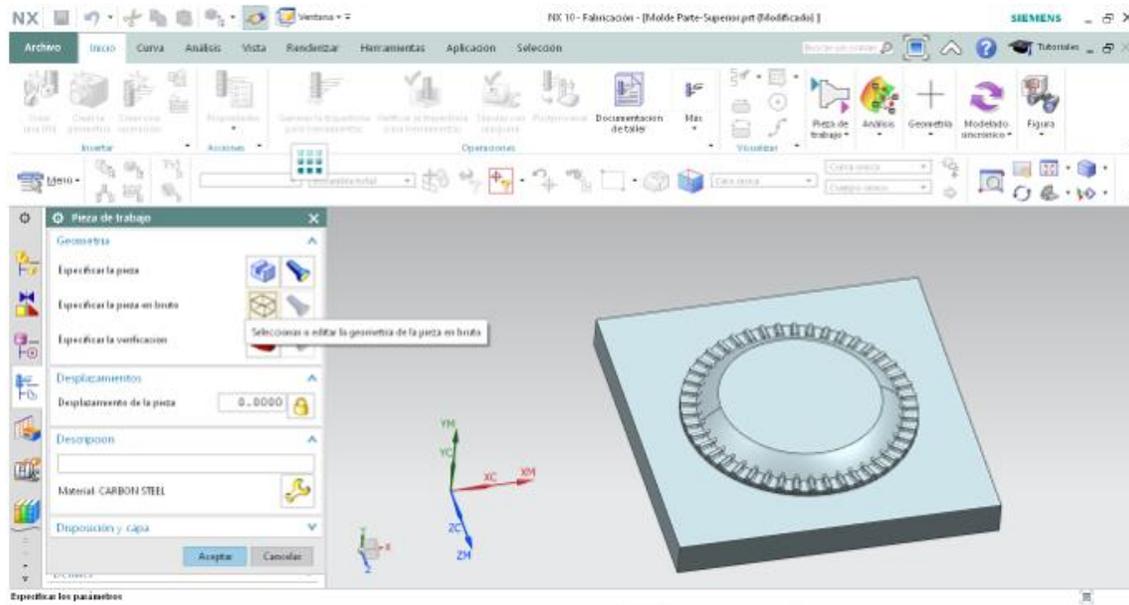


Figura 27. Pieza en bruto.

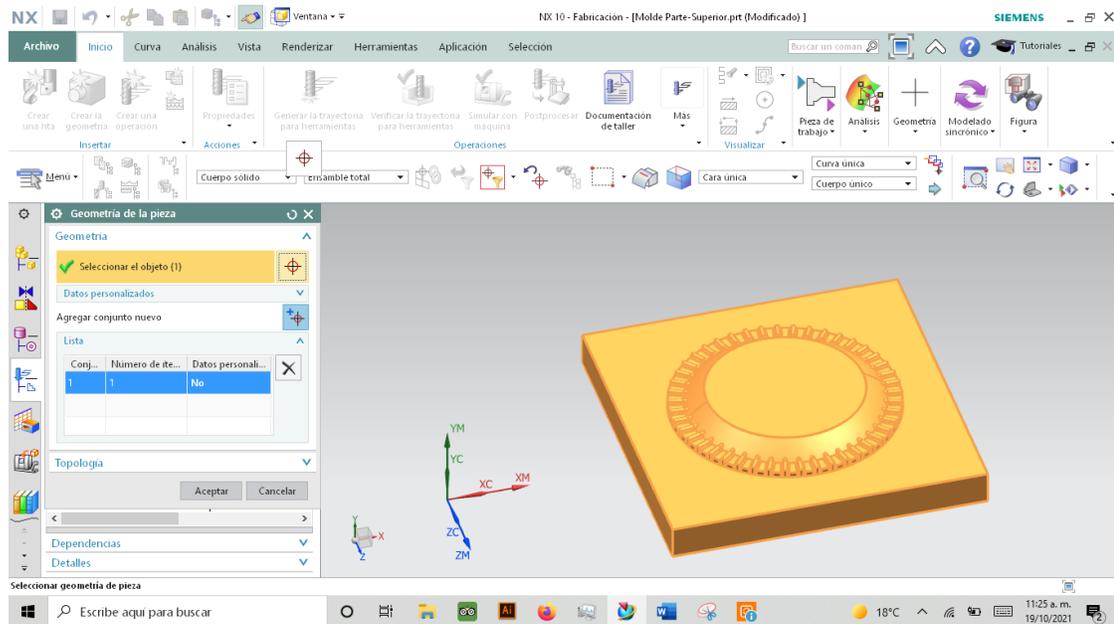


Figura 28. Pieza en bruto seleccionada.

Capítulo 5. Metodología

Se procedió a especificar las dimensiones del bloque de la materia prima a maquinarse como se muestra en la Figura 29.

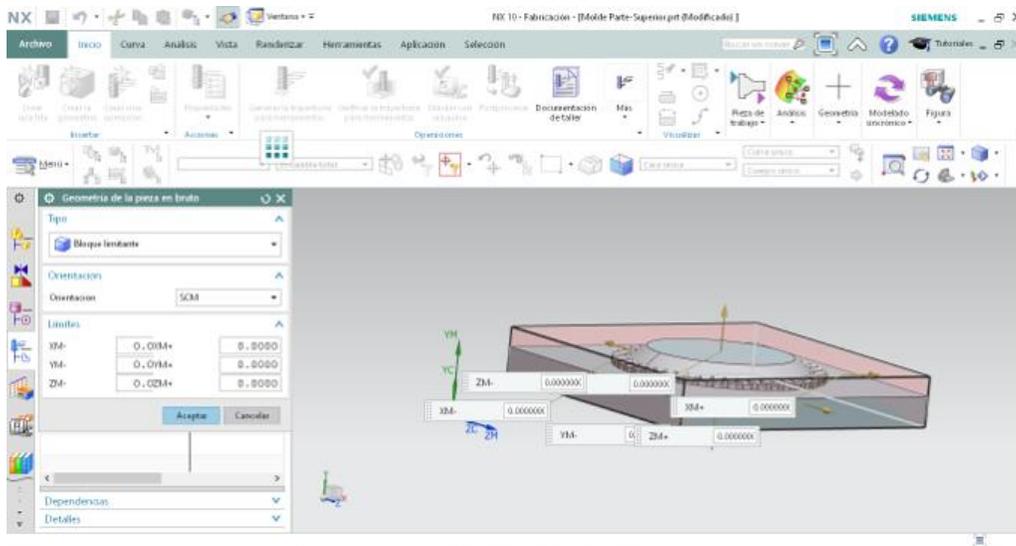


Figura 29. Dimensiones de la materia prima.

Solo quedó por aceptar las modificaciones realizadas y continuar con el proceso.

El siguiente paso desarrollado fue la creación de la herramienta de corte dentro del software NX 10, para ello, se seleccionó la opción “Crear herramienta de corte” como se muestra en la Figura 30.

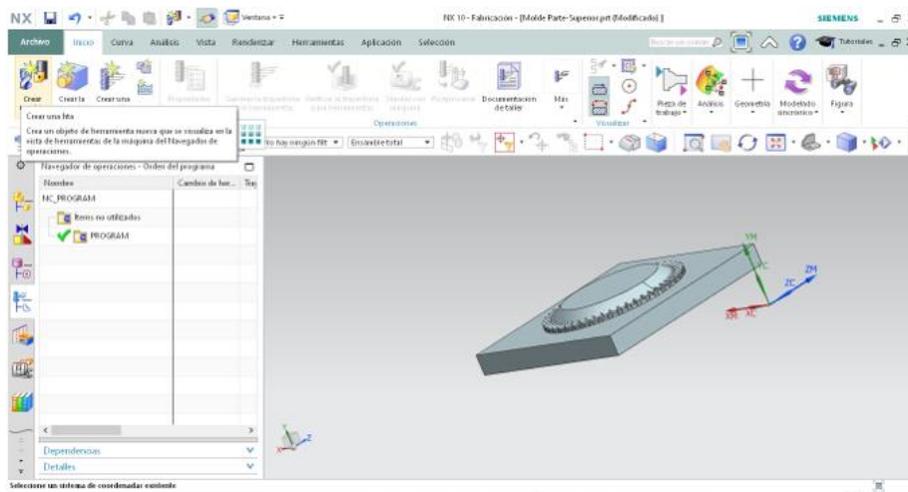


Figura 30. Crear herramienta de corte.

Se desplegó el menú “Crear una hta” en donde la función de dicho menú es introducir los valores para cada cortador requerido y de dicha forma poder lograr su creación. El primer cortador introducido fue el que se muestra en la Figura 8, el primer paso fue la selección del tipo de herramienta de corte en el apartado “Tipo” el cual fue “mill_planar”. En el apartado “subtipo de herramienta”, se seleccionó la opción de la figura con geometría idéntica a la de la fresa que se está creando en el momento, las características mencionadas anteriormente, se pueden apreciar en la Figura 31.

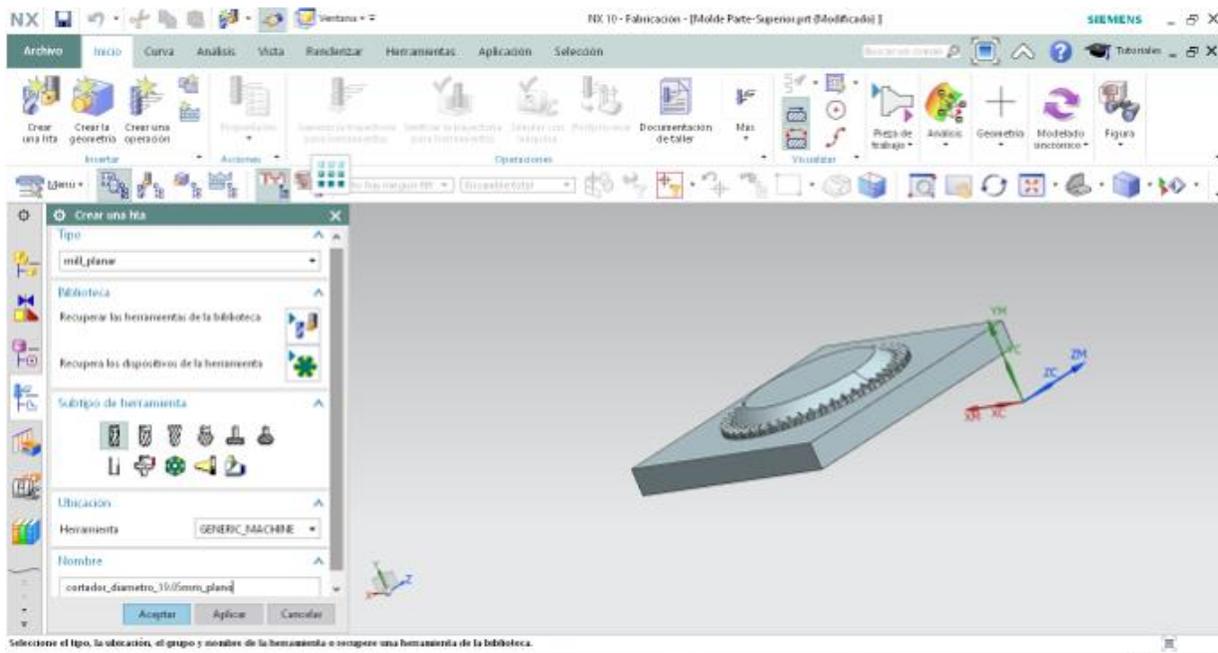


Figura 31. Características iniciales del cortador 1.

Se aceptó y apareció el menú “Herramienta fresadora – 5 parámetros” en donde se seleccionó el diámetro y el número de acanaladuras como se puede apreciar Figura 32.

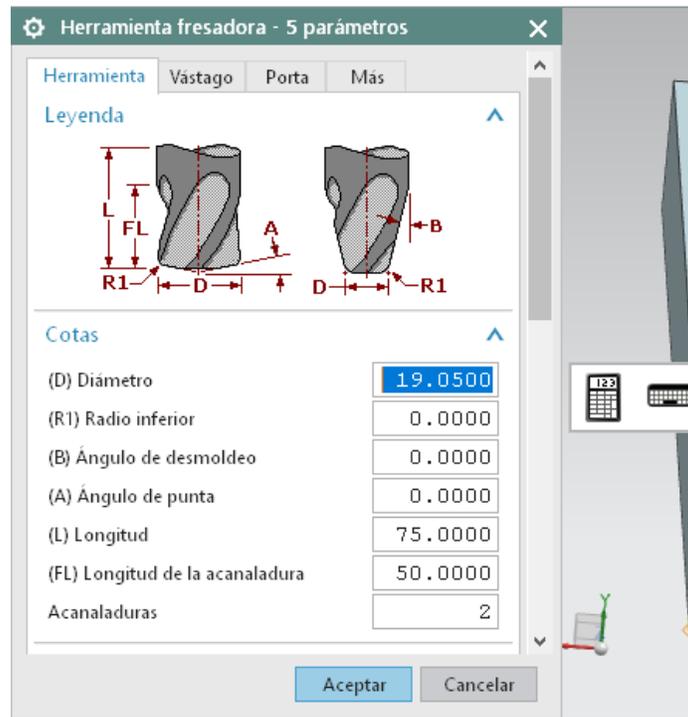


Figura 32. Características físicas del cortador 1.

Lo último en especificar es el material del cual se encuentra fabricada la fresa, como se mostró en la Figura 33 y en la Figura 34.

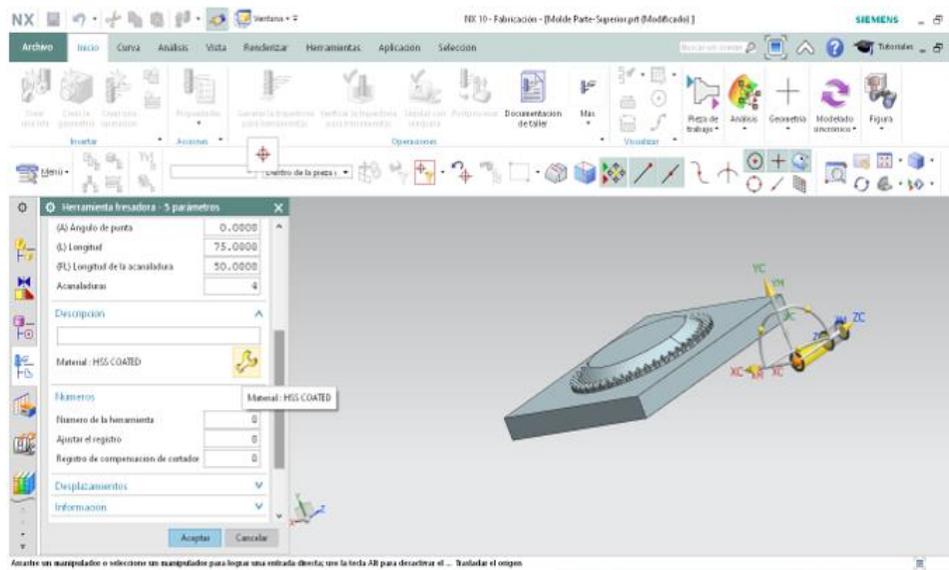


Figura 33. Material del cortador.

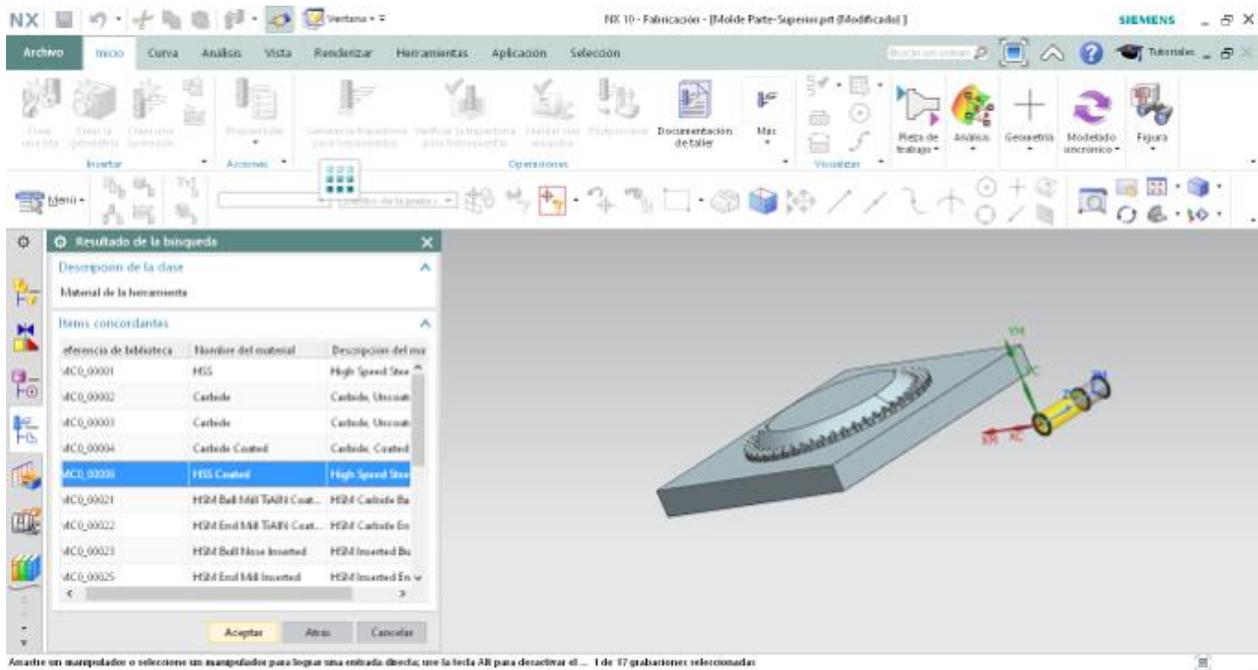


Figura 34. Selección del material del cortador.

El procedimiento anteriormente explicado se repitió para cada uno de los cortadores implementados en el proceso de fresado, por lo que únicamente se muestran los elementos que los diferencian entre ellos.

El siguiente cortador creado fue el cortador de la Figura 9, el cual es un cortador con vástago, posee un diámetro de 6.35 mm y 4 acanaladuras, se puede apreciar en la Figura 35.

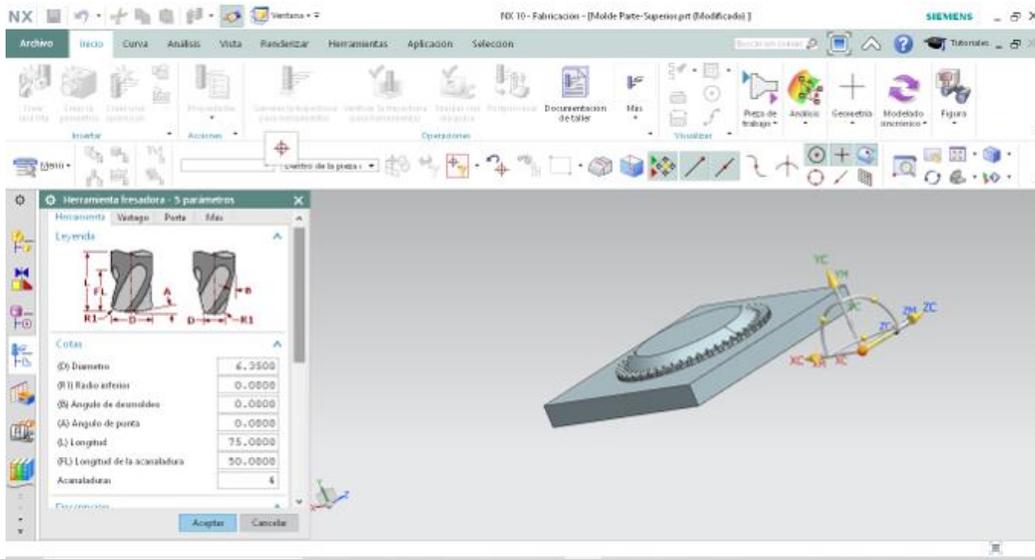


Figura 35. Características físicas del cortador número 2.

Para el cortador que se aprecia en la Figura 10 el cual es de “Tipo” “mill_contour” y la geometría seleccionada es la de forma esférica ya que es una fresa semicircular convexa. El número de acanaladuras es de 2 y el diámetro es de 12.7 mm como se muestra en la Figura 36.

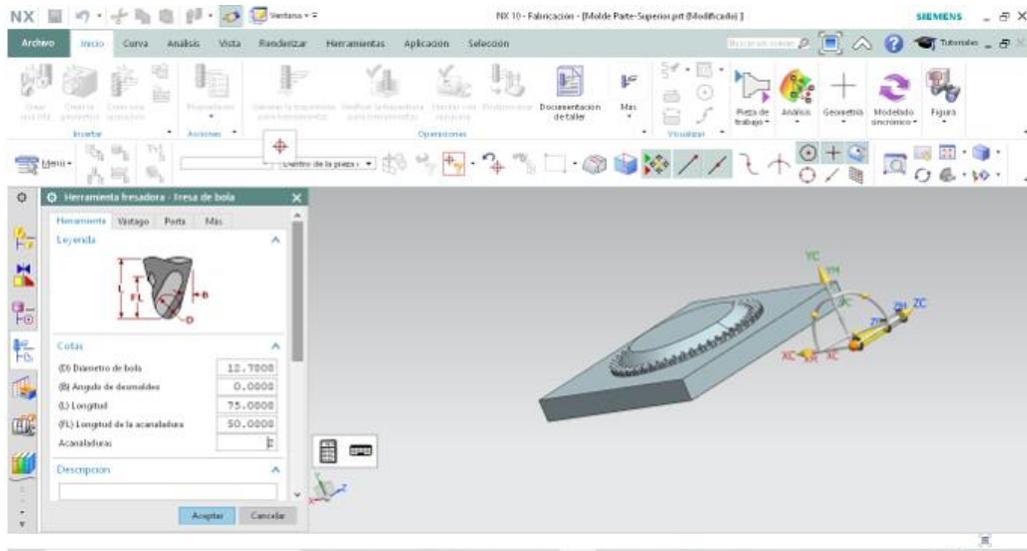


Figura 36. Características físicas del cortador 3.

El último cortador introducido fue el cortador que se puede apreciar en la Figura 11, en donde sus diferencias con el cortador número 2 fueron el diámetro y el número de acanaladuras, los cuales fueron 4 mm y 4 acanaladuras respectivamente como se puede apreciar en la Figura 37.

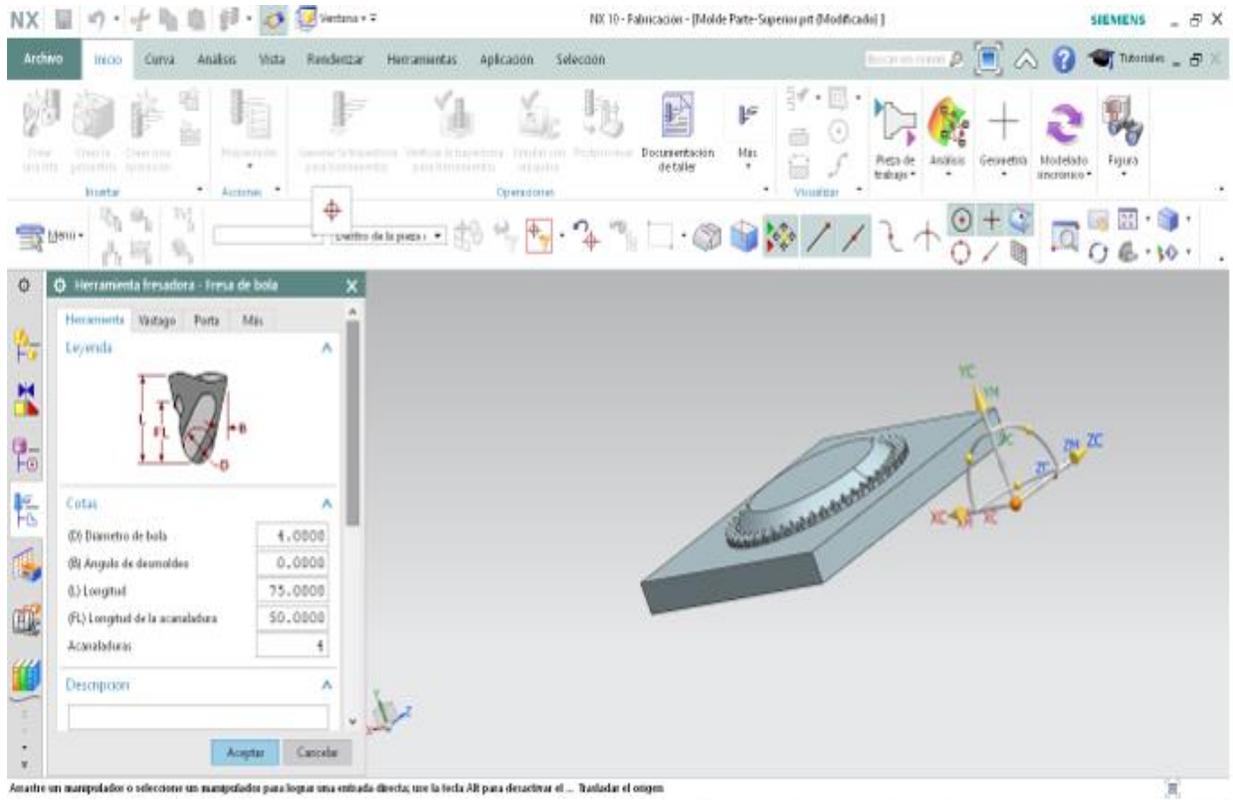


Figura 37. Características físicas del cortador 4.

El siguiente paso realizado fue la creación de las operaciones de corte. Se debe de seleccionar el apartado “Crear una operación” como se puede apreciar en la Figura 38.

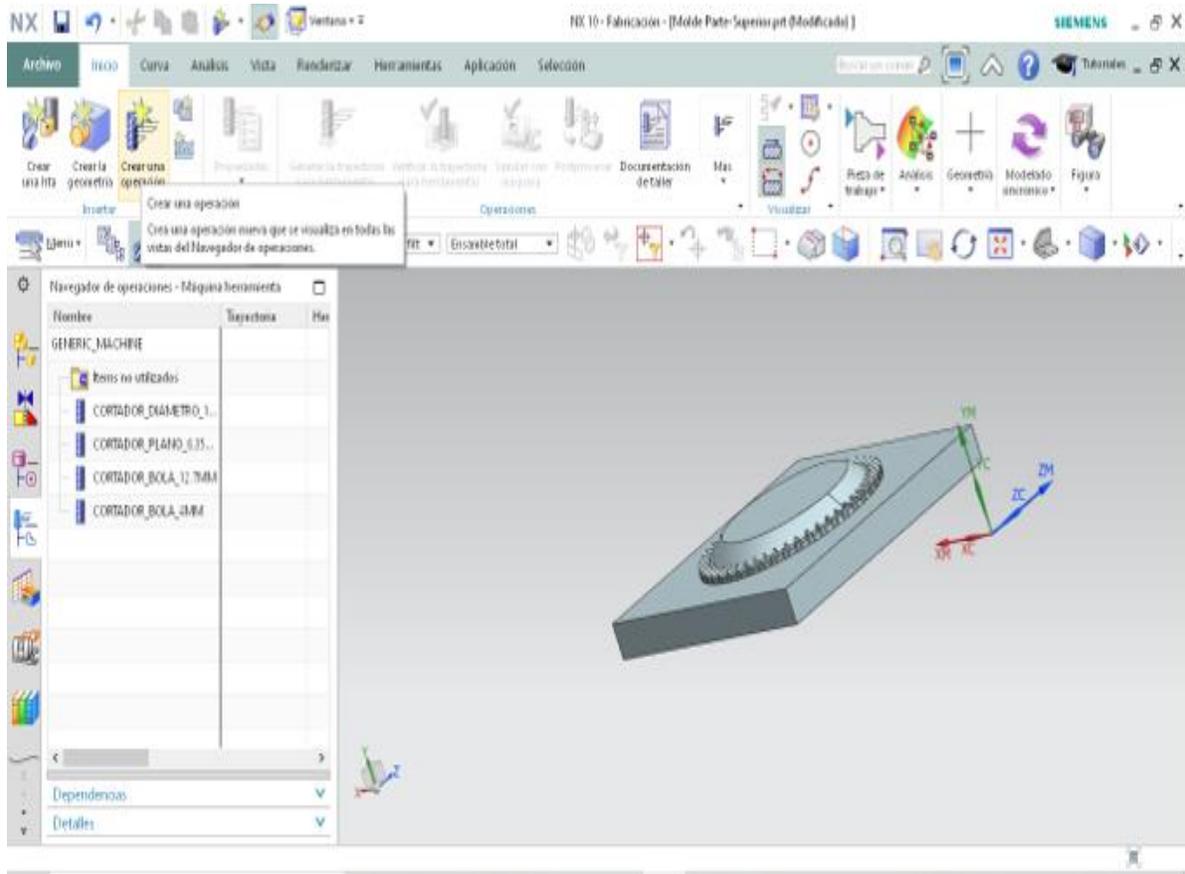


Figura 38. Crear una operación de corte.

Aparecerá el menú “mill_planar” como se puede apreciar en la Figura 39, en donde se debe de seleccionar el tipo de desbaste que se debe de realizar, para el presente caso es el tipo “mill_planar”, se debe de seleccionar la herramienta a implementar en el programa, para la primera operación de corte fue el cortador que se muestra en la Figura 8, se debe de seleccionar el método el cual es el tipo de acabado que se desea realizar, para el presente caso es el “semi-finish”.

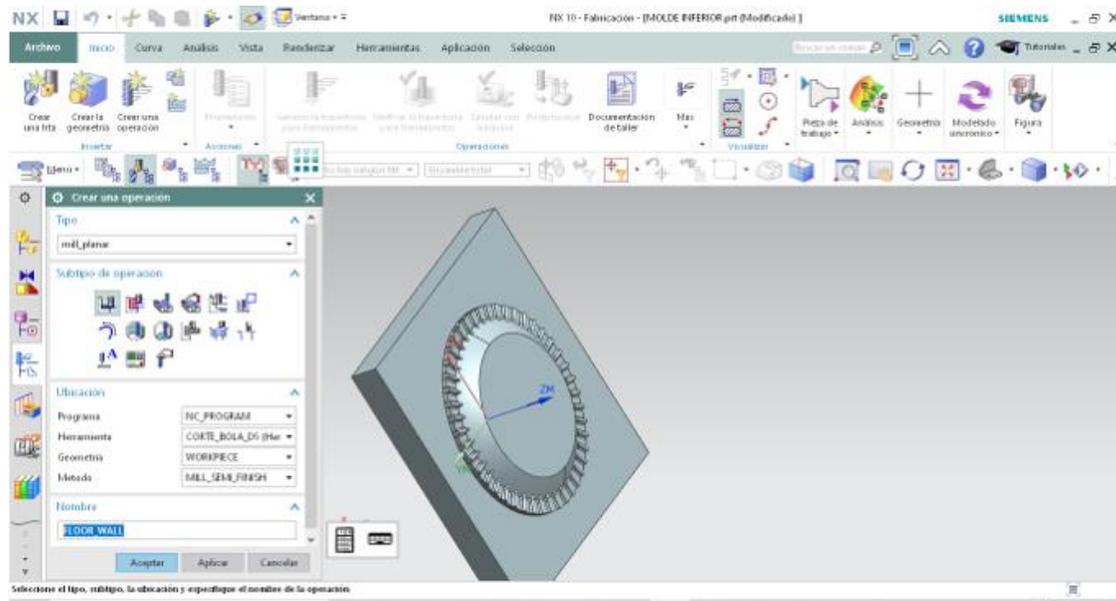


Figura 39. Menú crear un programa.

Posteriormente se aceptaron los resultados, y apareció el menú “fresado de cavidades”, en donde se podrían configurar ciertos parámetros para la operación de corte, el menú de “fresado de cavidades” se puede apreciar en la Figura 40.

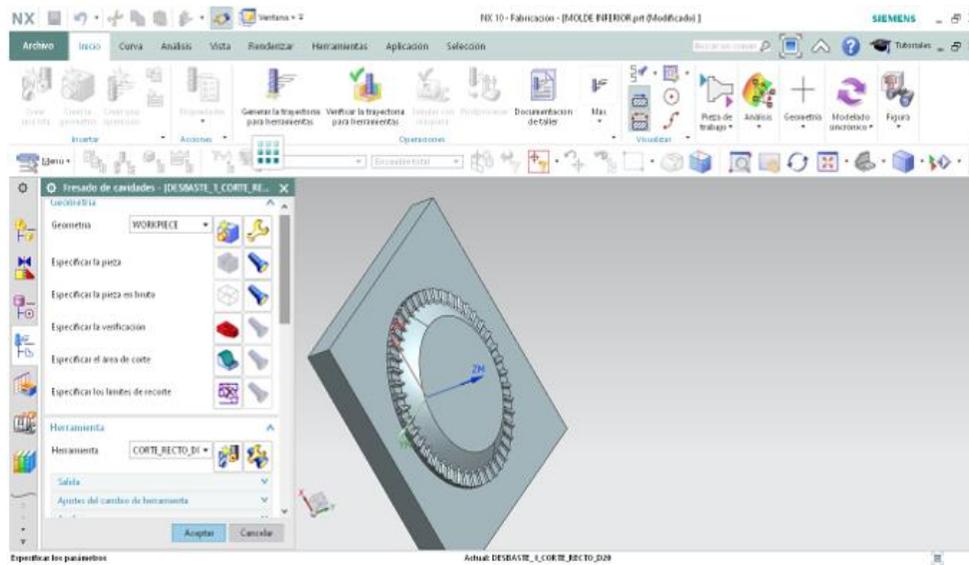


Figura 40. Menú fresado de cavidades.

Como se mencionó en el párrafo anterior, el presente menú sirve para configurar parámetros muy específicos de la operación de corte, colocando como ejemplo, la geometría, el área de corte, los parámetros de avance y velocidades, el área de corte, la herramienta, su acabado, etc. En la Figura 40, se apreció que existen algunas configuraciones que se pueden realizar previamente y que se mantienen durante el menú de “fresado de cavidades”, se hace un énfasis especial en la configuración de la selección de “avances y velocidades”, por lo que se dirigió a dicho apartado como se muestra en la Figura 41.

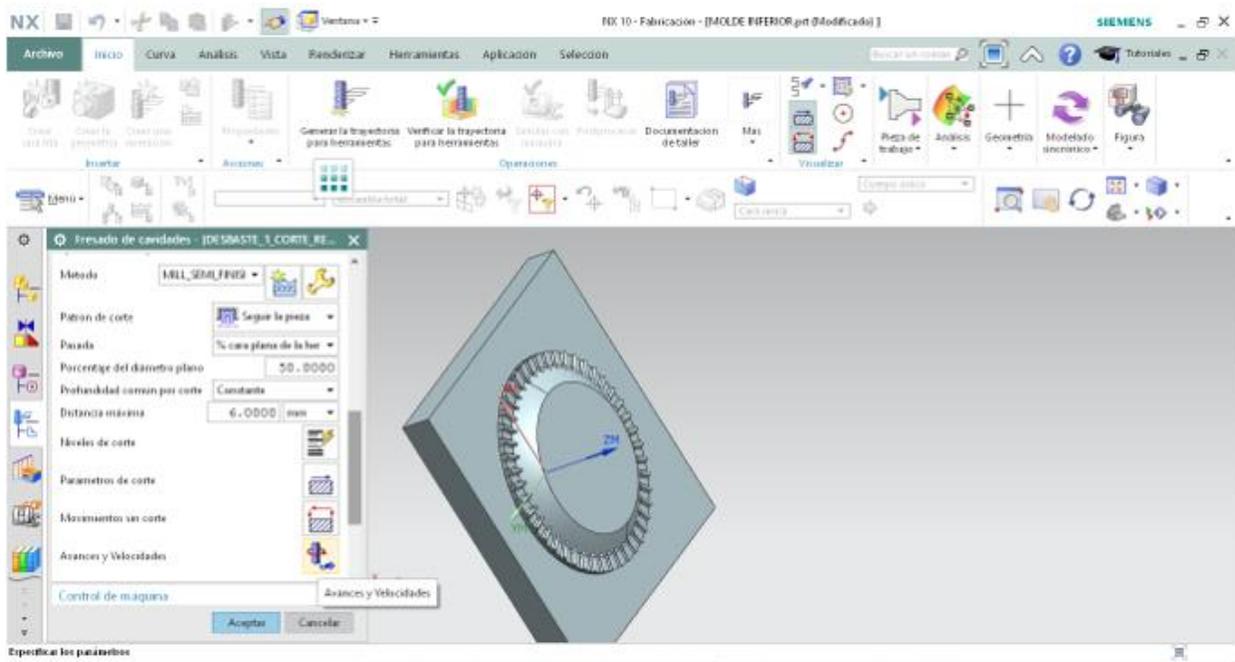


Figura 41. Avances y velocidades.

Entrando en dicha opción, se apareció el menú de “Avances y Velocidades”, en donde se puede apreciar que se puede realizar una modificación a los distintos parámetros que se muestran en el presente menú, dichos parámetros ya fueron calculados con anterioridad en la sección de parámetros de corte del presente trabajo, por lo que, se prosiguió con la modificación de los mostrados en el software NX 10 debido a la falta de

semejanza, con los calculados presentados previamente, como se puede apreciar en la Figura 42.

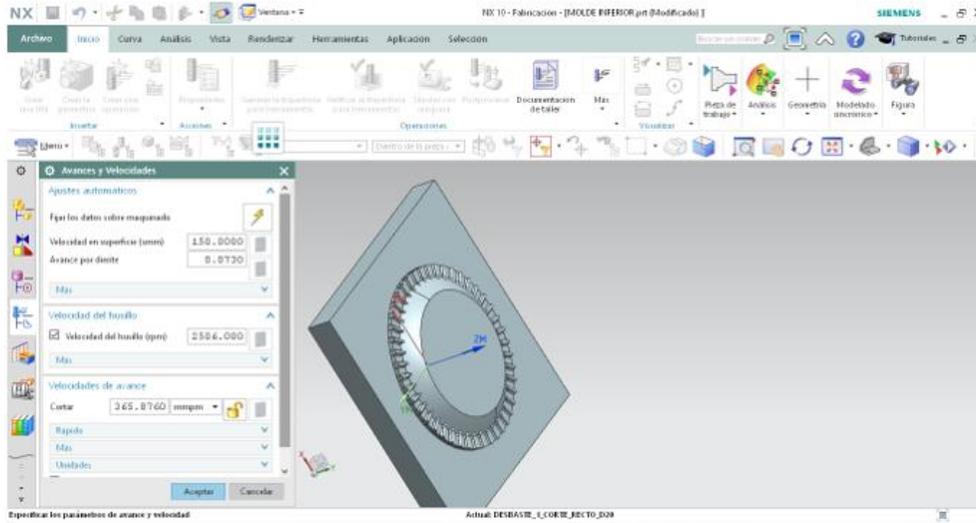


Figura 42. Configuración de avances y velocidades.

Se prosiguió a aceptar los parámetros de avances y velocidades y se retornó al menú “mill_planar”, en donde al final de dicho menú, se hizo clic en el botón de generar trayectoria como se puede apreciar en la Figura 43.

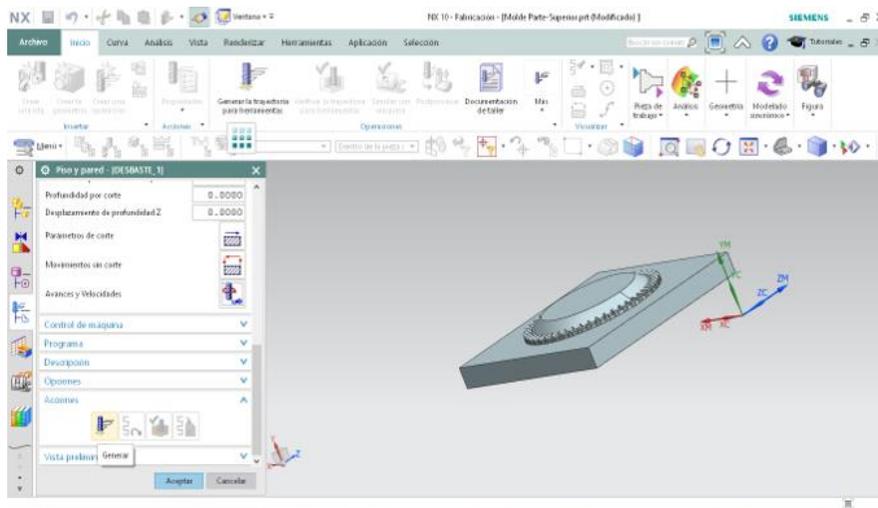


Figura 43. Generar trayectoria.

Dicha acción generó las trayectorias de corte implementadas en la operación corte 1, como se muestra en la Figura 44.

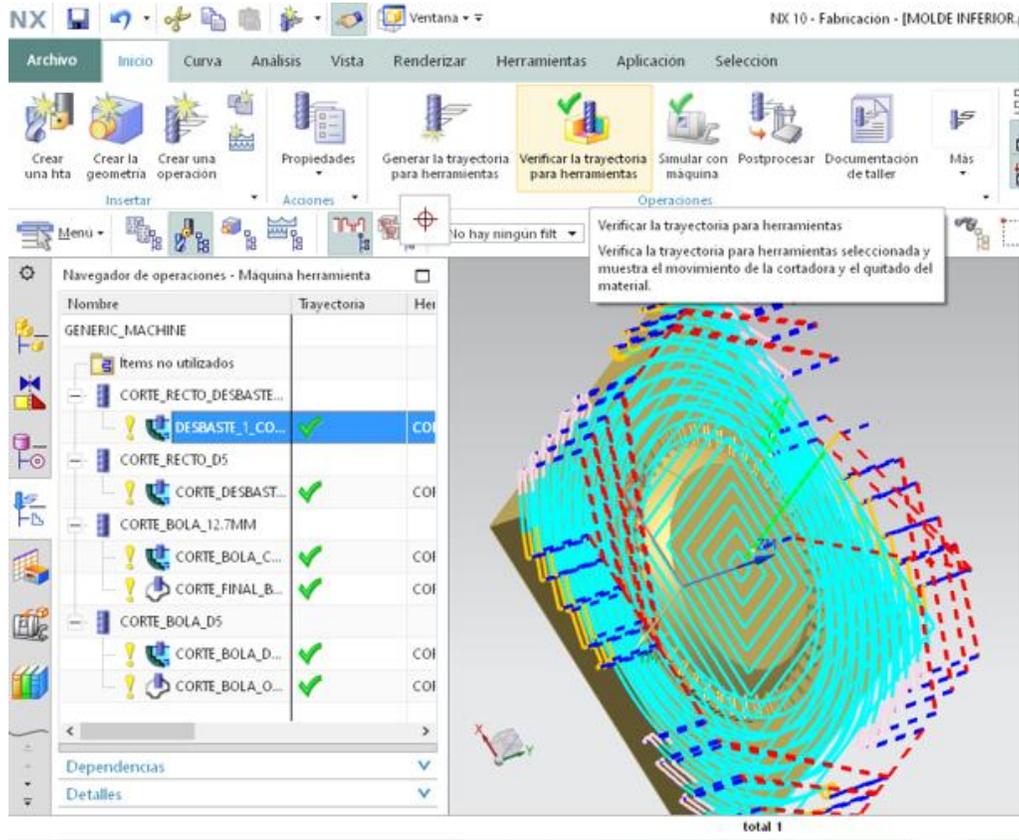


Figura 44. Trayectoria de corte 1.

La trayectoria creada se puede verificar en cualquier momento posterior a su creación, como se puede notar en la Figura 45, simplemente se requiere de hacer clic en la opción “verificar la trayectoria para herramienta”.

Dentro del software NX se muestra una simulación de toda la trayectoria de corte y el resultado de ella. Para la operación 1, el resultado aparece en la Figura 45.

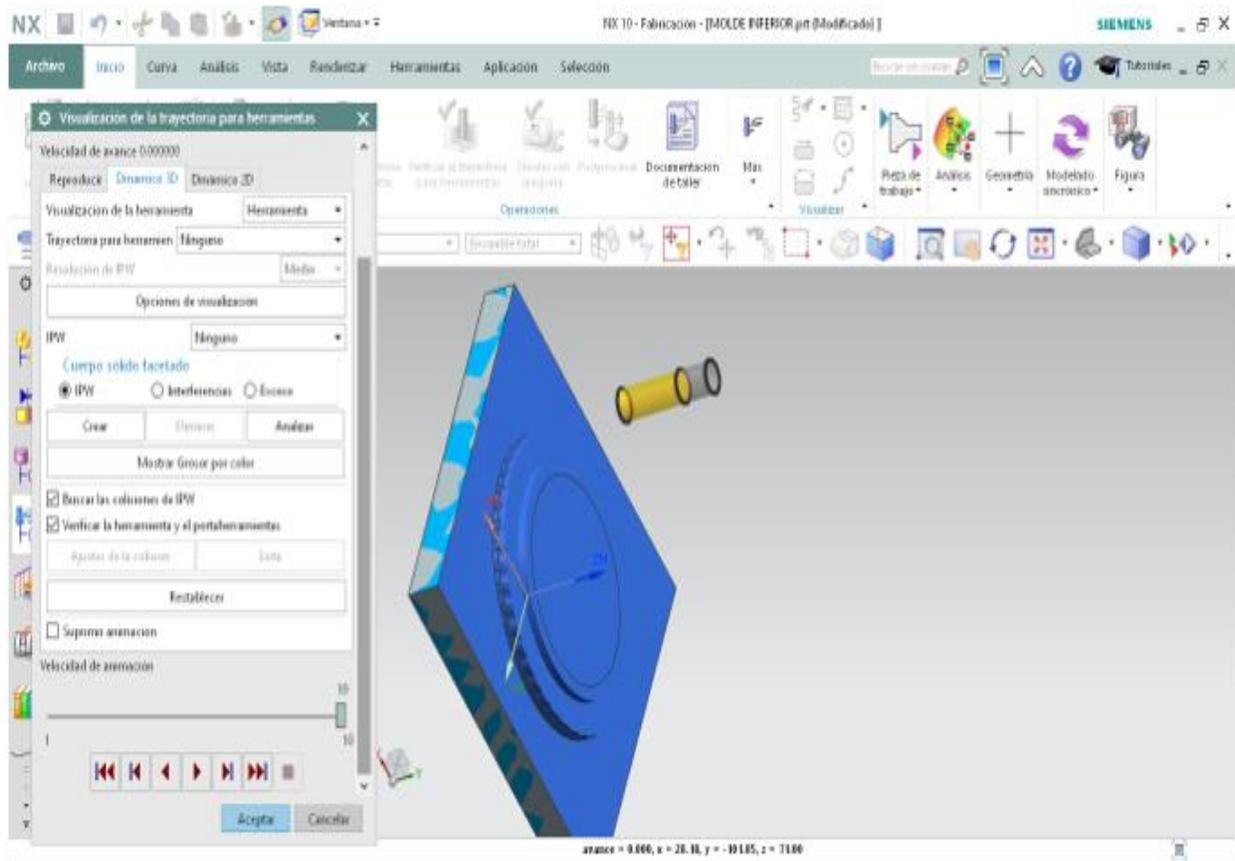


Figura 45. Simulación de operación de corte 1.

El proceso para cada trayectoria de corte es un tanto repetitivo por lo que únicamente se presentó la trayectoria de corte y los parámetros de avances y velocidades.

Para la segunda trayectoria de corte, se implementó el cortador que se puede apreciar en la Figura 6, como se muestra en la Figura 46, el acabado de dicha operación fue “mill_finish”, sus parámetros de avance y velocidades se pueden visualizar en la Figura 47.

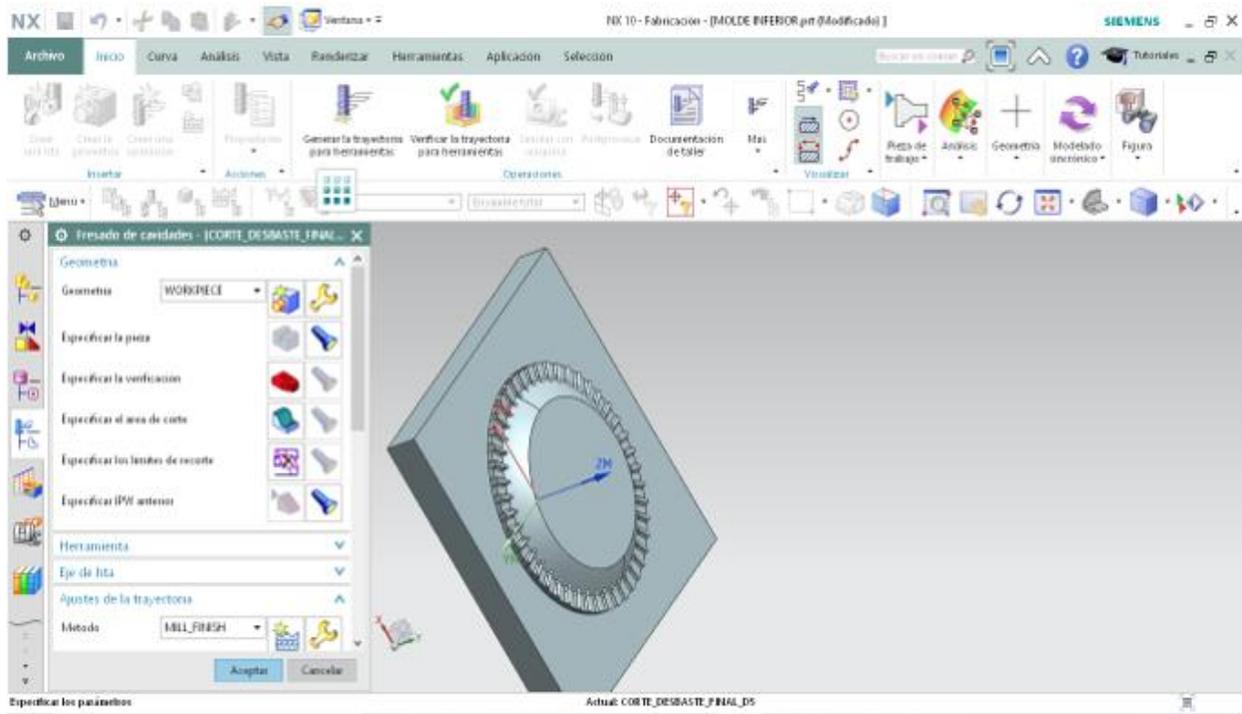


Figura 46. Operación de corte 2.

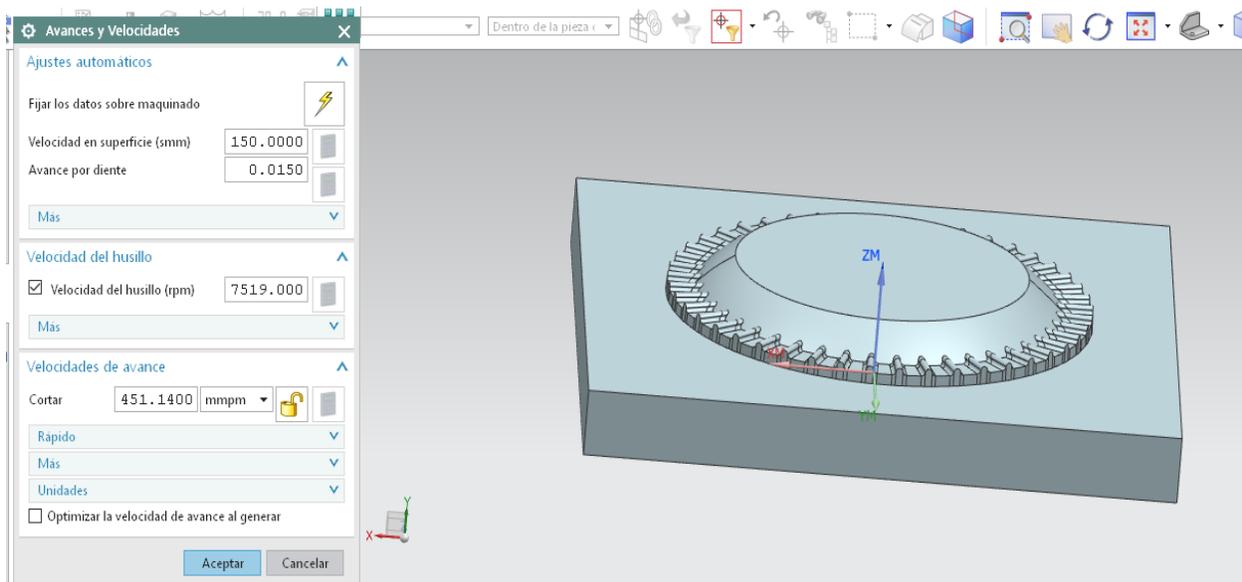


Figura 47. Avances y velocidades operación 2.

La trayectoria que se generó para la operación de corte 2 se puede apreciar en la Figura 48.

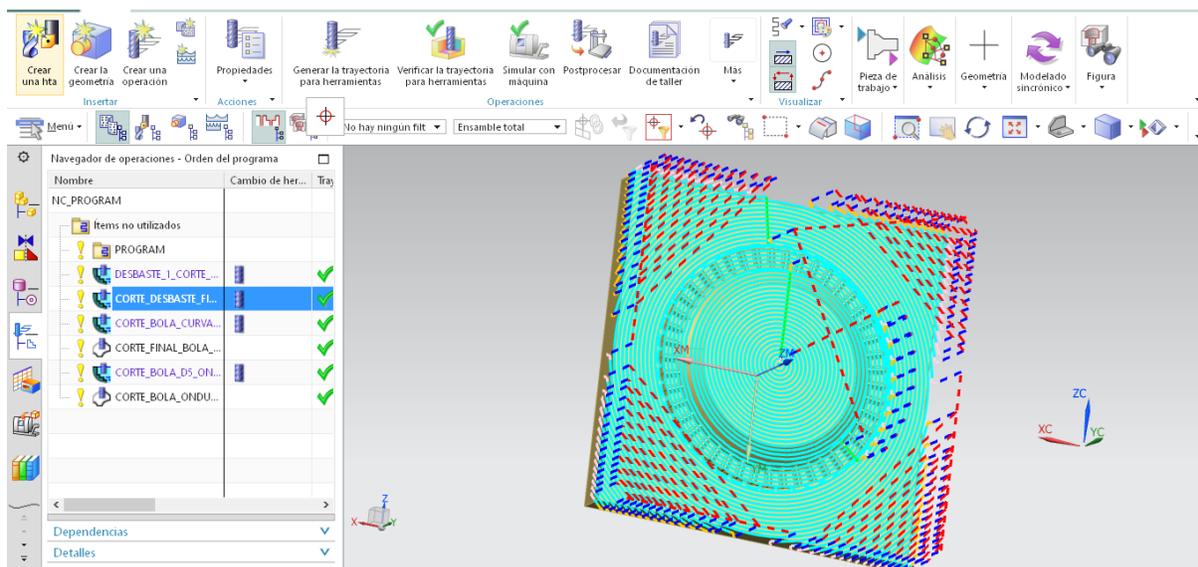


Figura 48. Trayectoria de corte operación 2.

La simulación para la operación de corte 2 se puede visualizar en la Figura 49.

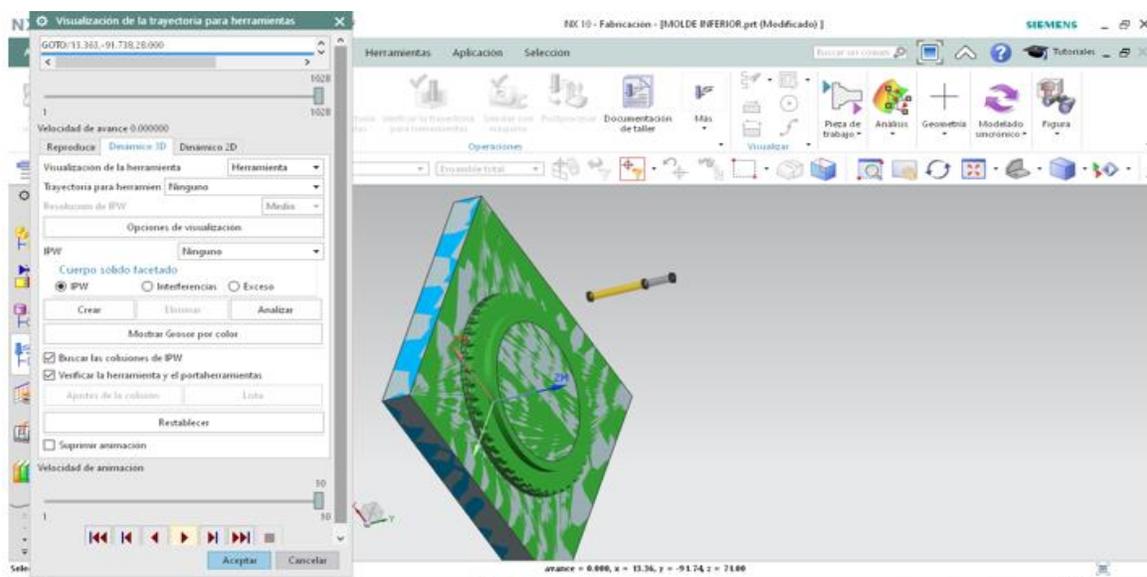


Figura 49. Simulación operación de corte 2.

La tercera operación de corte, implementó la fresa que se puede apreciar en la Figura 10, al ser una operación de desbaste, se implementó el método “mill_rough”, y el tipo fue de “mill_contur” como aparece en la Figura 50.

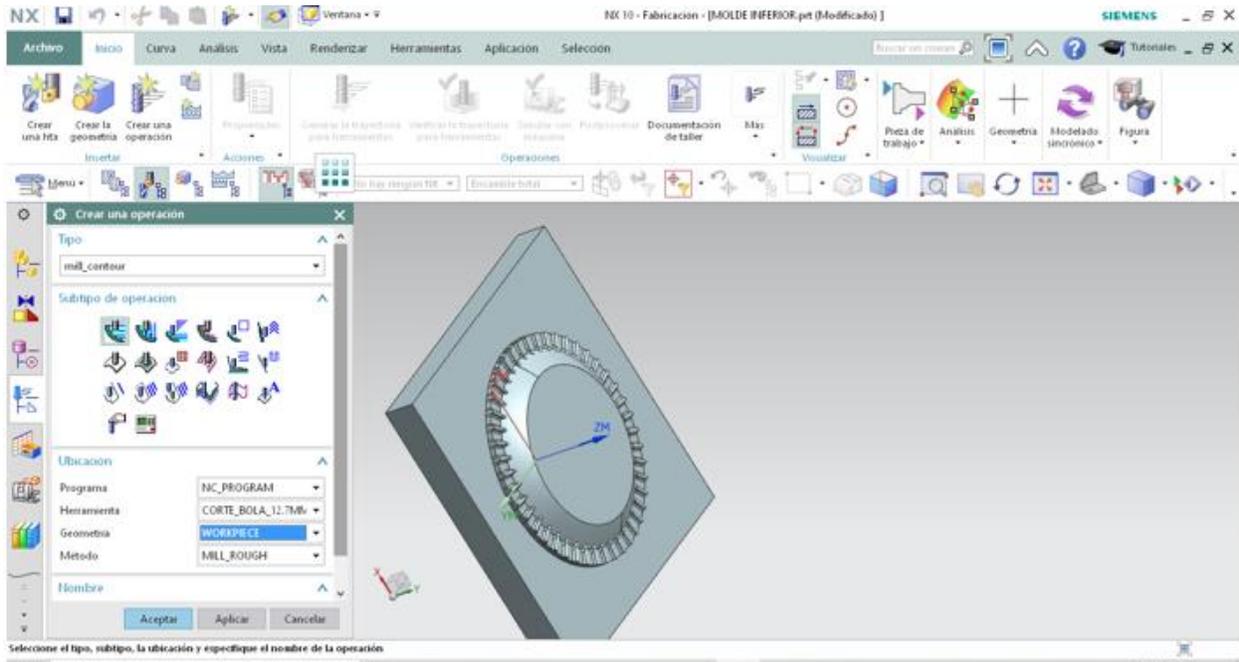


Figura 50. Operación de corte 3.

La finalidad de la presente operación fue comenzar a realizar la forma de curva que se puede apreciar en el molde A, en donde se requiere el desbaste de material para posteriormente realizar operaciones de acabado y que el molde termine con la textura deseada. Como se mencionó, se requiere del desbaste de material en una zona específica del molde A, por lo tanto, se prosiguió a seleccionar un área de corte como se puede visualizar en la Figura 51.

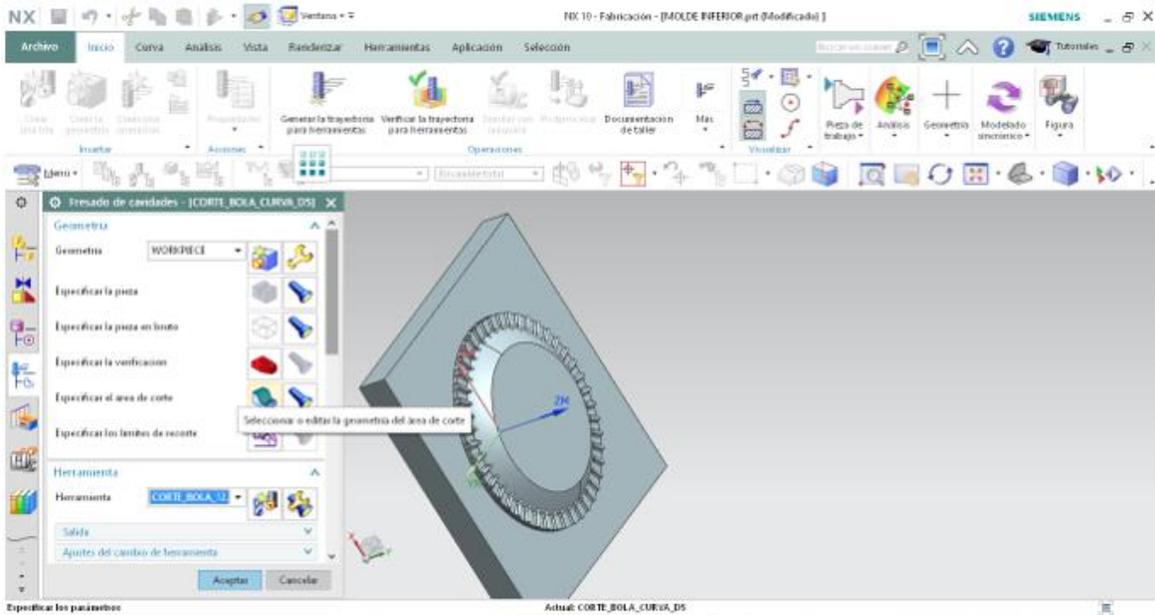


Figura 51. Especificar área de corte en operación de corte 3.

Dicha acción desencadenó el menú “Área de corte”, en donde se seleccionó la opción “Seleccionar área de corte”, posteriormente, se prosiguió a dar un clic sobre la zona que se freso en la operación de corte 3 como se aprecia en la Figura 52.

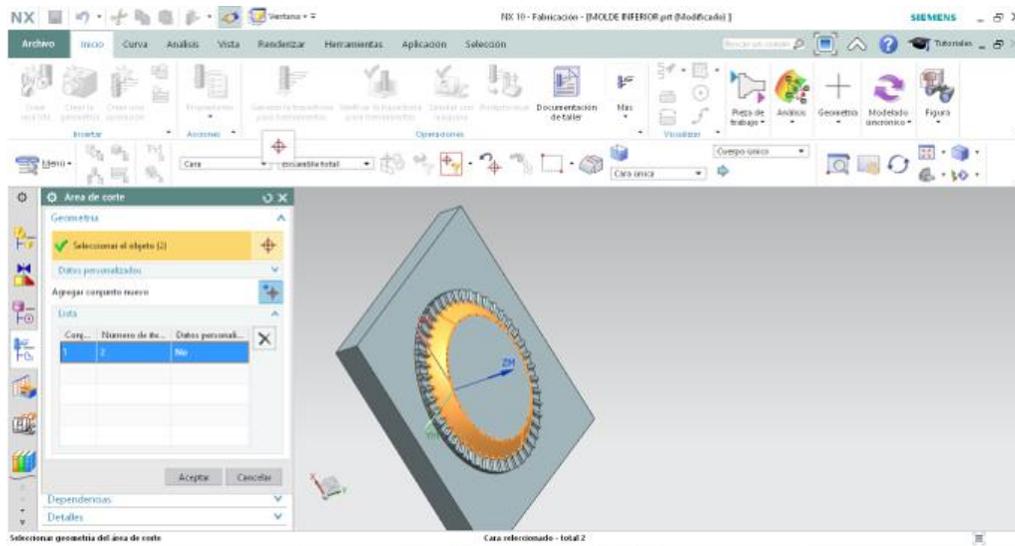


Figura 52. Área de corte operación de corte 3 y 4.

Se prosiguió a seleccionar los parámetros de avance y velocidades para la operación de corte 3 como se muestra en la Figura 53.

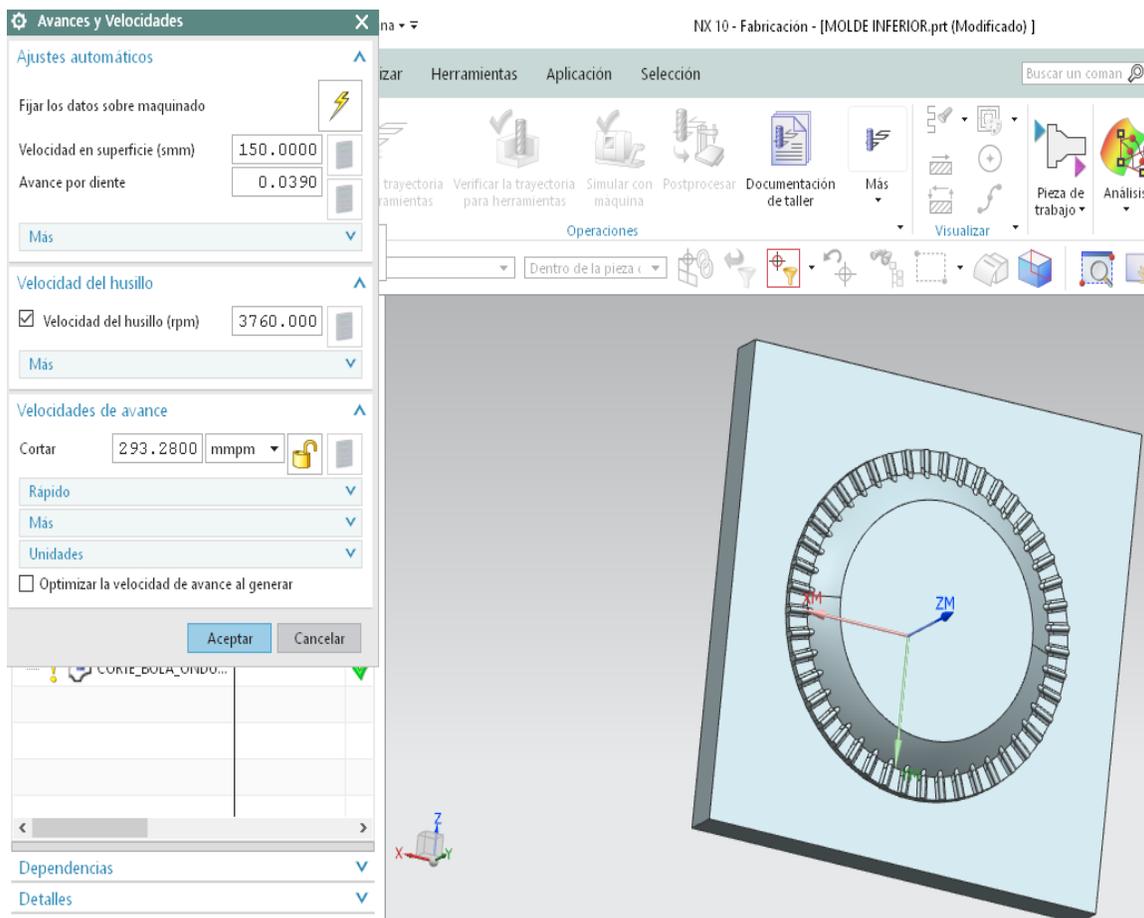


Figura 53. Avances y velocidades de operación de corte 3 y 4.

La trayectoria generada para la operación de corte 3 se muestra en la Figura 54.

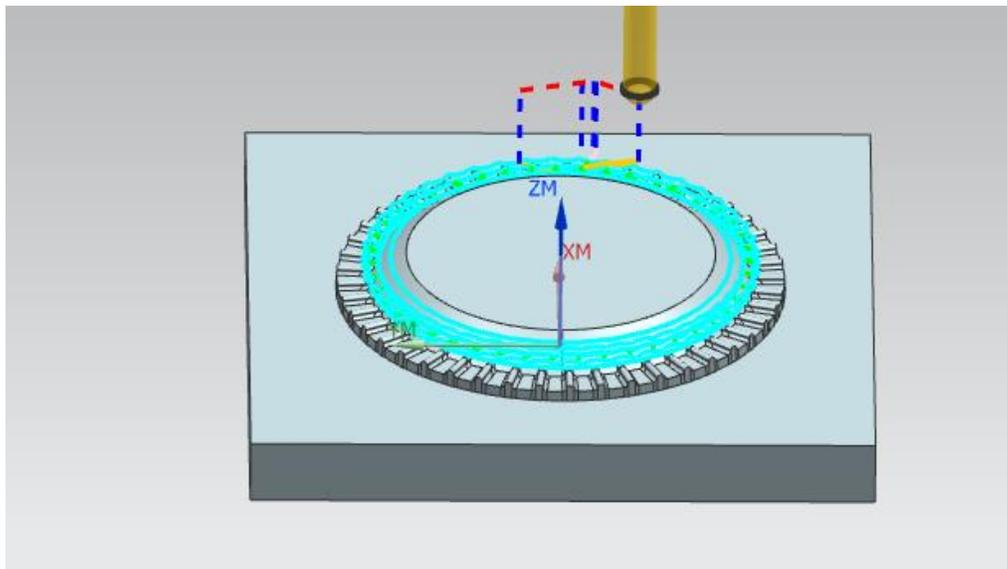


Figura 54. Trayectoria de corte para operación de corte 3.

La simulación de corte para la operación de corte 3 puede visualizarse en la imagen Figura 55.

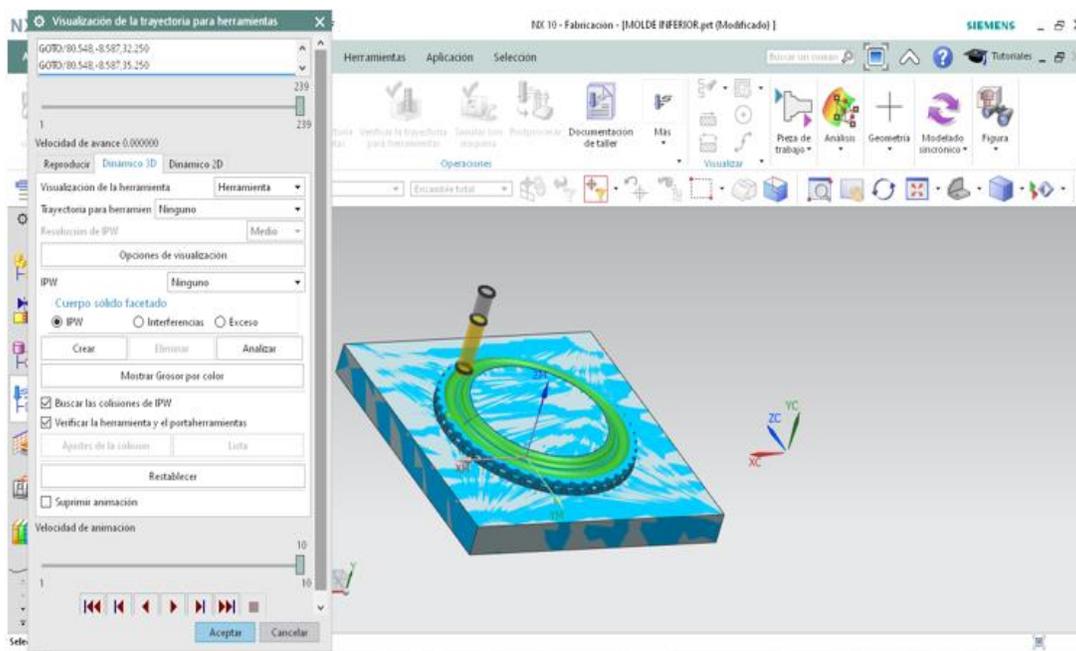


Figura 55. Simulación operación de corte 3.

La operación de corte 4 consistió en la elaboración de una trayectoria de acabado para la zona en donde se realizó la trayectoria de corte 3, se implementó la fresa que se puede visualizar en la Figura 10, el método implementado fue “mill_finish” por ser una operación de acabado y fue de tipo “mill_contour” como se puede apreciar en la Figura 56.

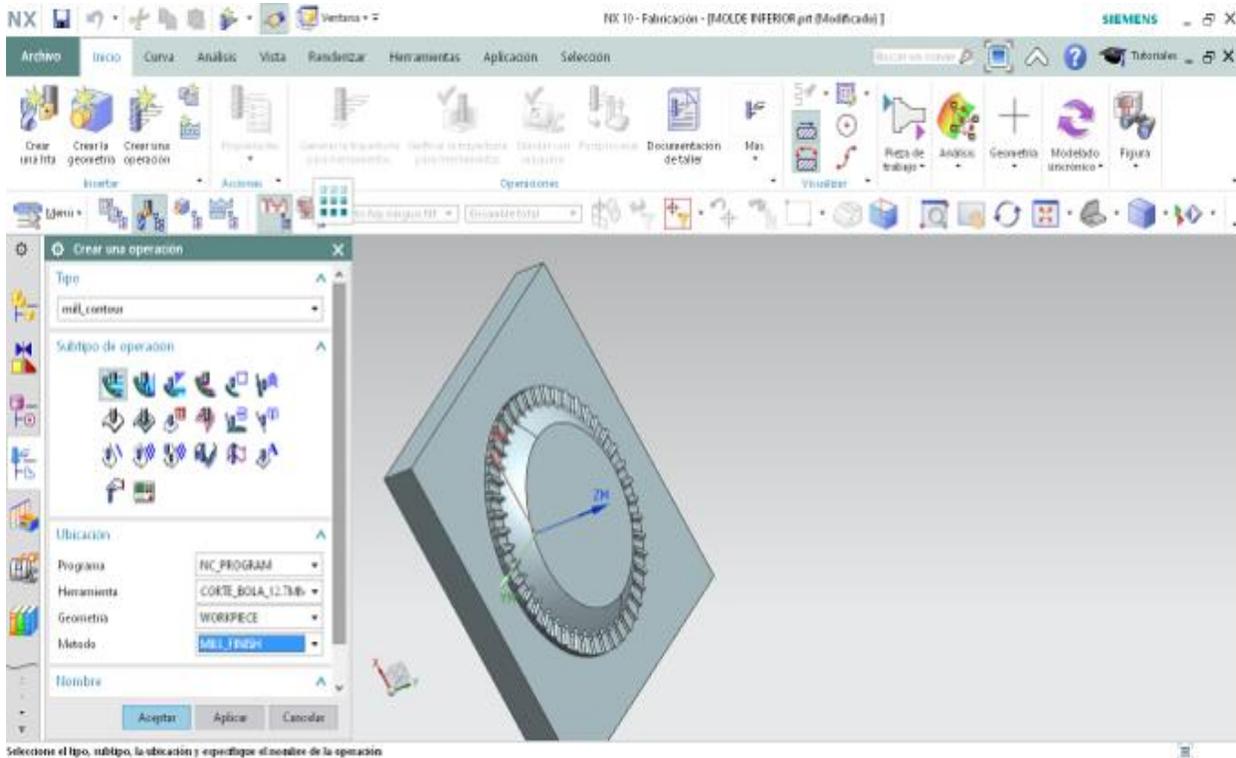


Figura 56. Operación de corte 4.

El área de corte se puede visualizar en la Figura 52.

Los parámetros de avance y velocidades para la operación de corte 4 son los mostrados en la Figura 53.

La simulación de la operación de corte 4 se puede visualizar en la Figura 57.

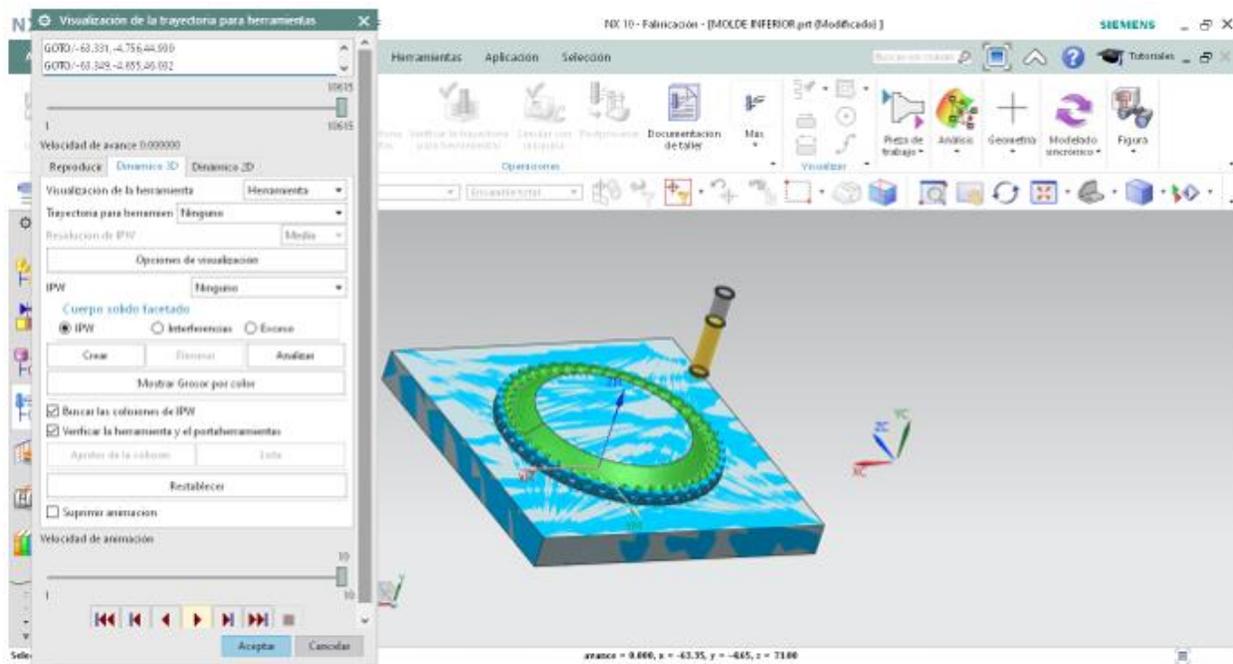


Figura 57. Simulación operación de corte 5.

La operación de corte 5 implementó la fresa que se puede apreciar en la Figura 11, el método implementado fue “mill_finish” y es de tipo “mill_contour” como se puede apreciar la Figura 58.

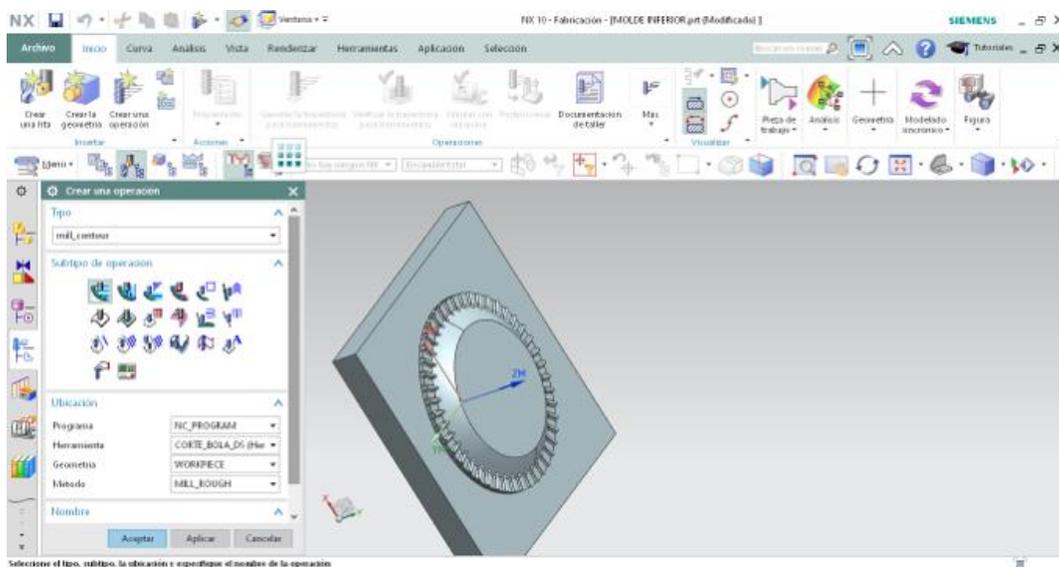


Figura 58. Operación de corte 5.

Capítulo 5. Metodología

La presente función tuvo como finalidad la formación de las ondulaciones que se pueden apreciar en los costados de la figura, por lo que se requirió de la especificación del área de corte, como se muestra en la Figura 59.

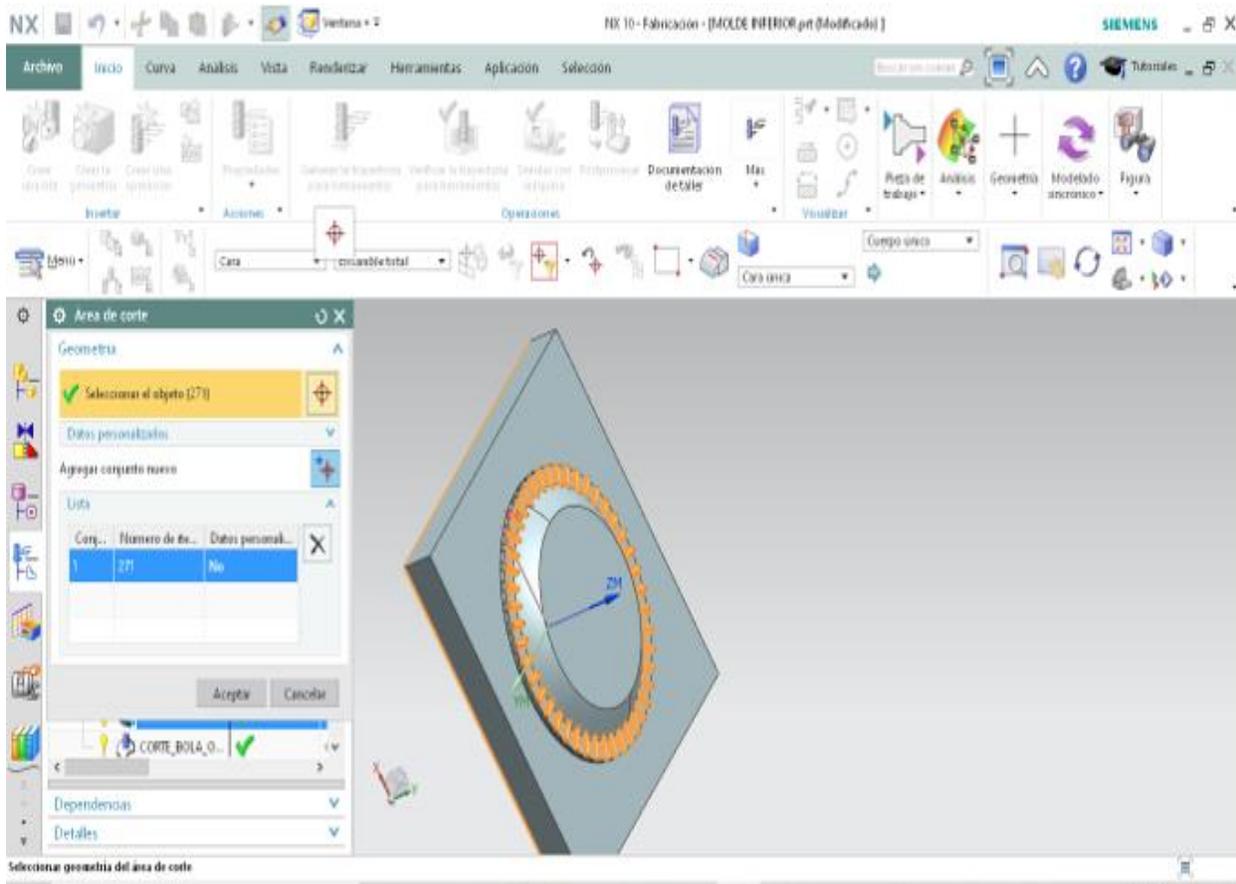


Figura 59. Área de corte para operación de corte 5.

Los parámetros de corte seleccionados para la operación de corte 5 se pueden visualizar en la Figura 60.

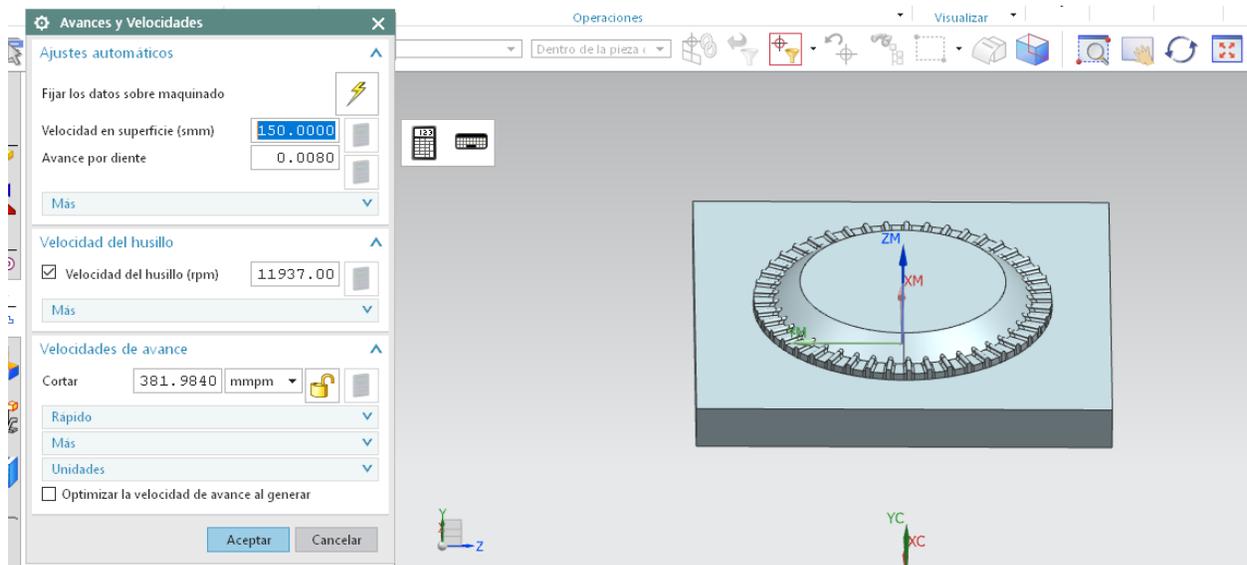


Figura 60. Avances y velocidades operación 5.

La trayectoria de corte generada para la operación de corte 5 se puede apreciar en la Figura 61.

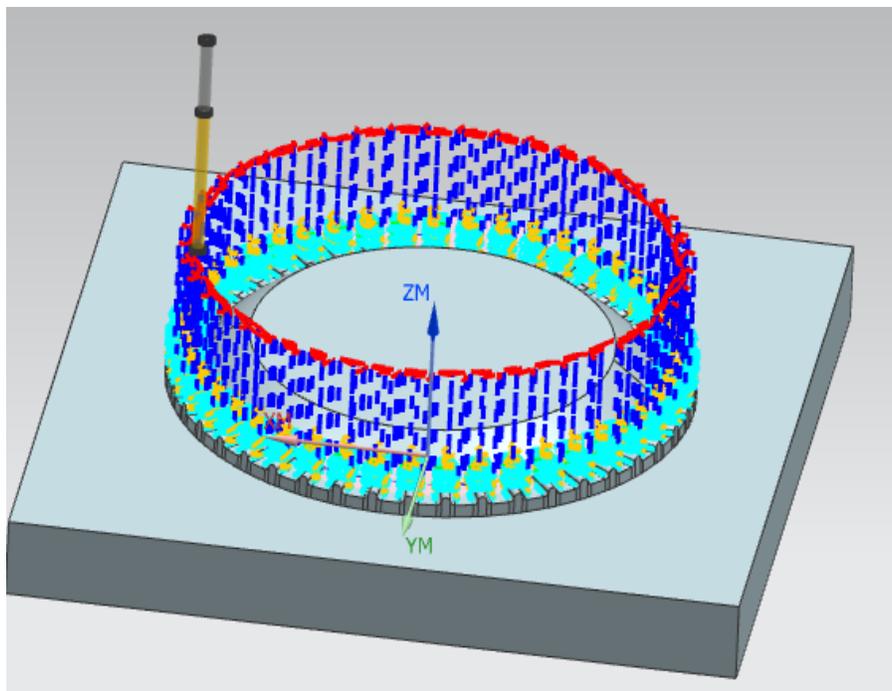


Figura 61. Trayectoria de corte operación de corte 5.

La simulación realizada para la operación de corte 5 se puede apreciar en la Figura 62.

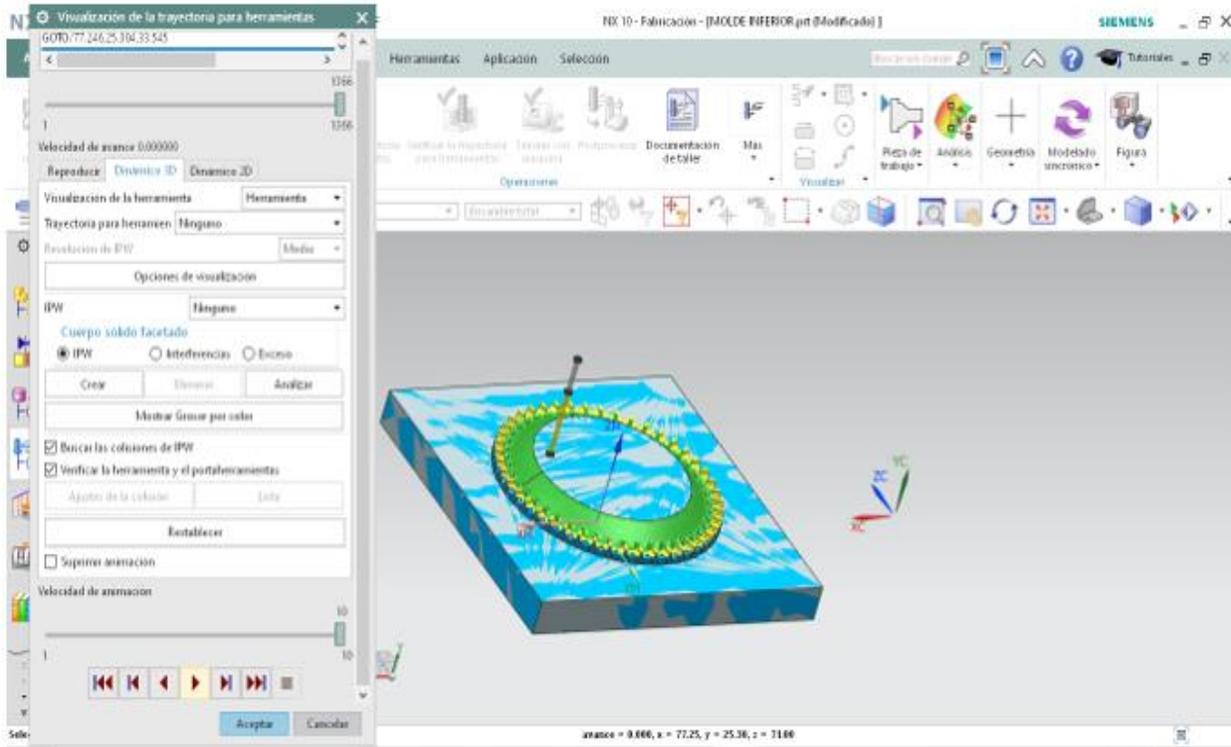


Figura 62. Simulación operación de corte 5.

La operación de corte 6 implementó la fresa que se puede visualizar en la imagen fresa 4, por lo que los parámetros de avances y velocidades y el área de corte fueron los mismos que en la operación de corte 5. El método fue “mill_finsh” y el tipo fue de “mill_contour”.

La simulación de la operación de corte 6 se muestra en Figura 63.

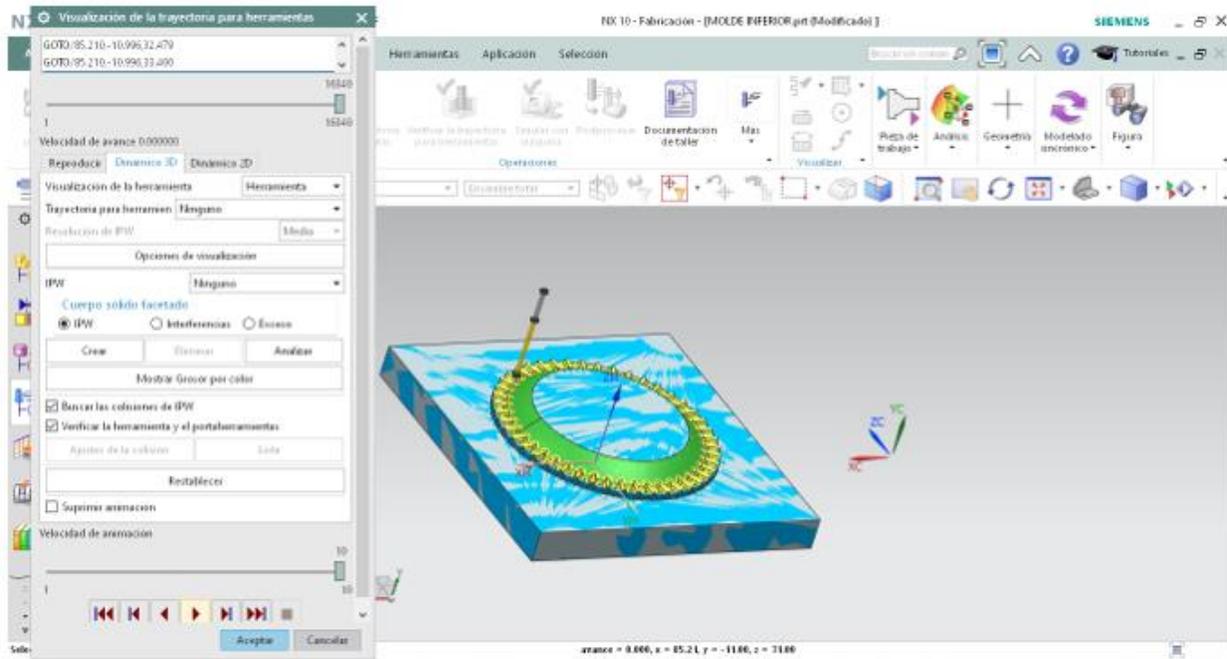


Figura 63. Simulación operación de corte 6.

La operación de corte 6 fue la última operación de corte realizada para el molde A, el cual es uno de 2 troqueles requeridos para obtener el molde deseado. A continuación, se presentan las operaciones de corte realizadas para el segundo troquel o figura denominada molde B.

Se debe de seguir la misma serie de pasos que en la figura molde A, por lo tanto, únicamente se muestran los aspectos ya realizados y los de mayor importancia para el proceso.

Se comenzó por seleccionar la geometría de la pieza nueva, se recuerda que, para la correcta elaboración del presente paso, se tuvo que desplegar el menú “geometría de la pieza,” y en el apartado “Geometría” seleccionar la pieza molde B como se aprecia en la figura 64.

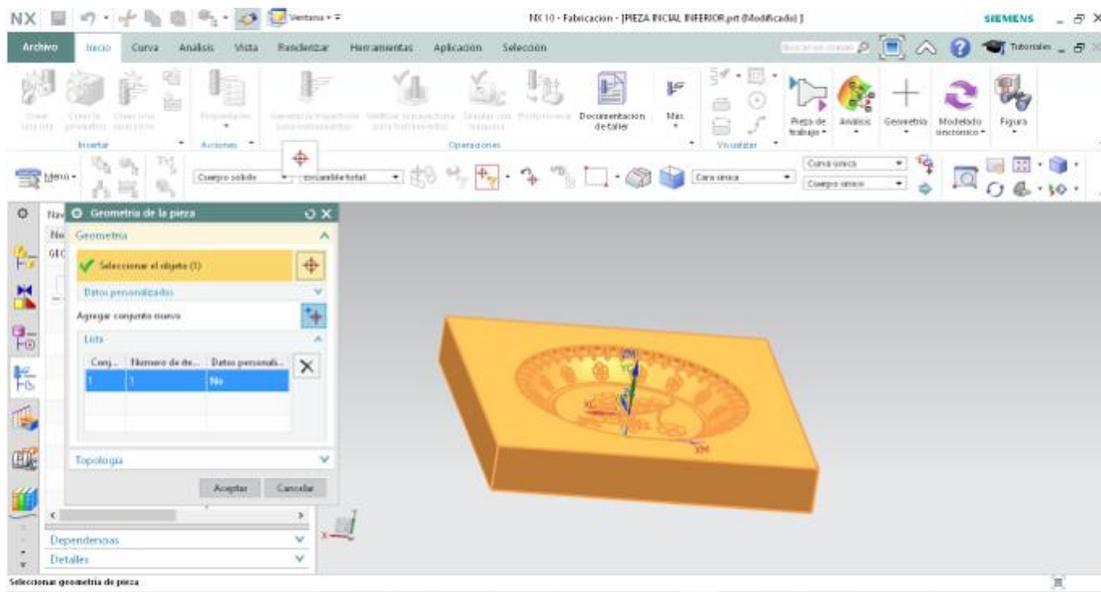


Figura 64. Seleccionar geometría del molde B.

Se prosiguió a definir las zonas en donde se realizó el fresado, como se realizó por cuestiones de seguridad en el molde A, en la Figura 65 se puede apreciar la zona en la cual se comenzará a fresar inicialmente, y en la Figura 66 se muestra la zona límite a fresar.

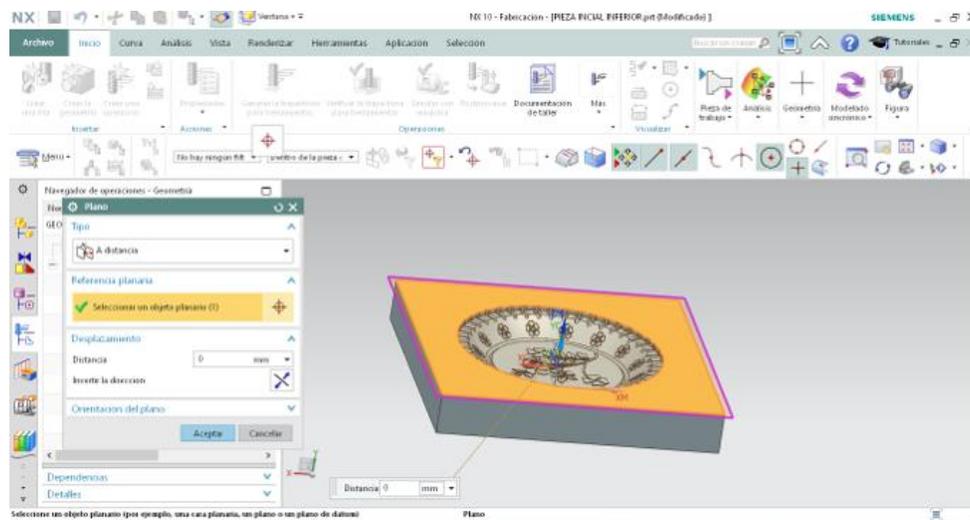


Figura 65. Selección de inicio de fresado.

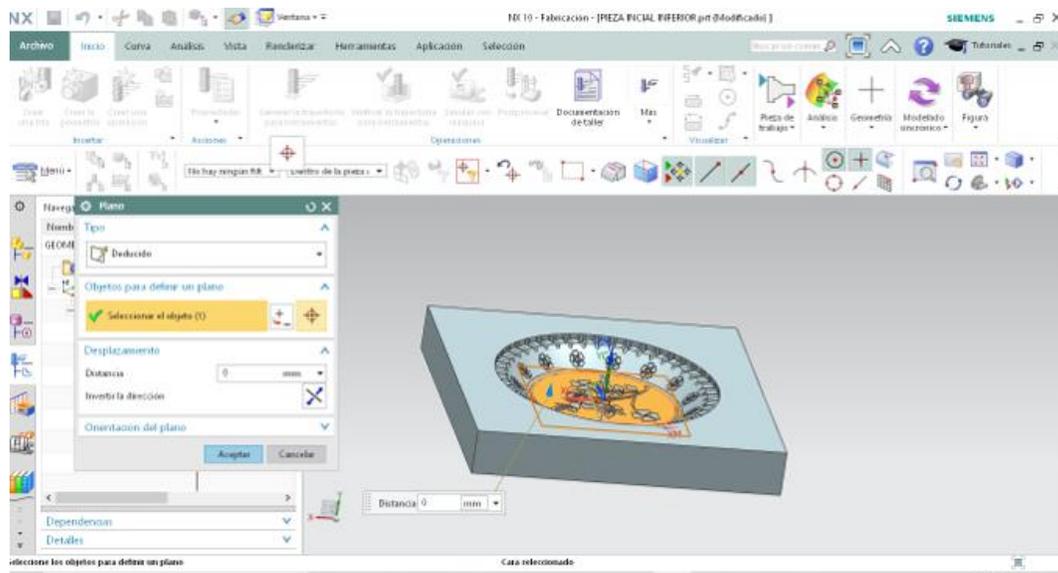


Figura 66. Selección de finalización de fresado.

También, se especificó la geometría de la pieza en bruto, las medidas son idénticas a las especificadas en la pieza molde A, se implementó la ayuda del menú “Geometría de la pieza en bruto” como se muestra en la figura 67.

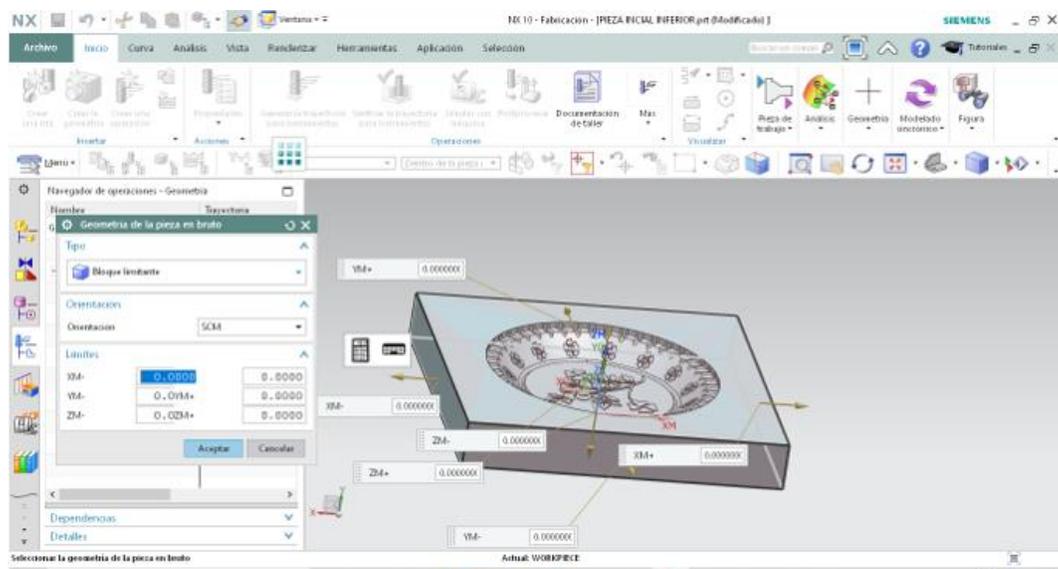


Figura 67. Geometría de la pieza en bruto molde B.

Para el fresado de la pieza molde B, se implementaron los cortadores que se pueden apreciar en la Figura 8, Figura 10 y Figura 11. Con anterioridad se mostraron los pasos para la creación de dichas herramientas de corte en el software NX 10 por lo que ya no serán mencionados.

Solo resta por definir las operaciones de corte para el molde B, en donde los parámetros de avance y velocidades ya han sido definidos para todas las fresas y también, se ha mostrado la manera de crear operaciones de corte por lo que ya no fueron mostrados en los siguientes pasos, únicamente se detallaron ciertas características y se mostraron las áreas de corte, trayectorias y simulaciones.

La primera operación consistió en un fresado de desbaste hacia el centro de la pieza para posteriormente culminar la forma de la curva para el plato. La operación realizada fue de tipo “mill_planar”, en donde la fresa implementada fue la apreciada en la Figura 8 y el método fue “mill_semi_finish”.

El área de corte para la primera operación se encuentra en la parte superior de la materia prima maquina y no requiere de una definición previa dentro del software.

La trayectoria generada para la operación de corte 1 se puede apreciar en la Figura 68.

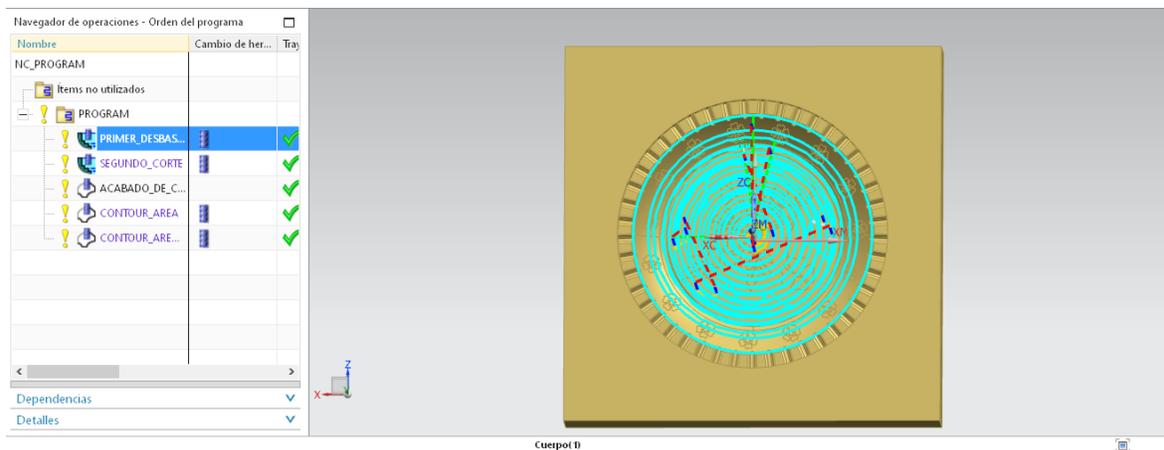


Figura 68. Trayectoria operación 1 de corte del molde B.

El resultado de la simulación de la operación de corte 1 se puede visualizar en la Figura 69.

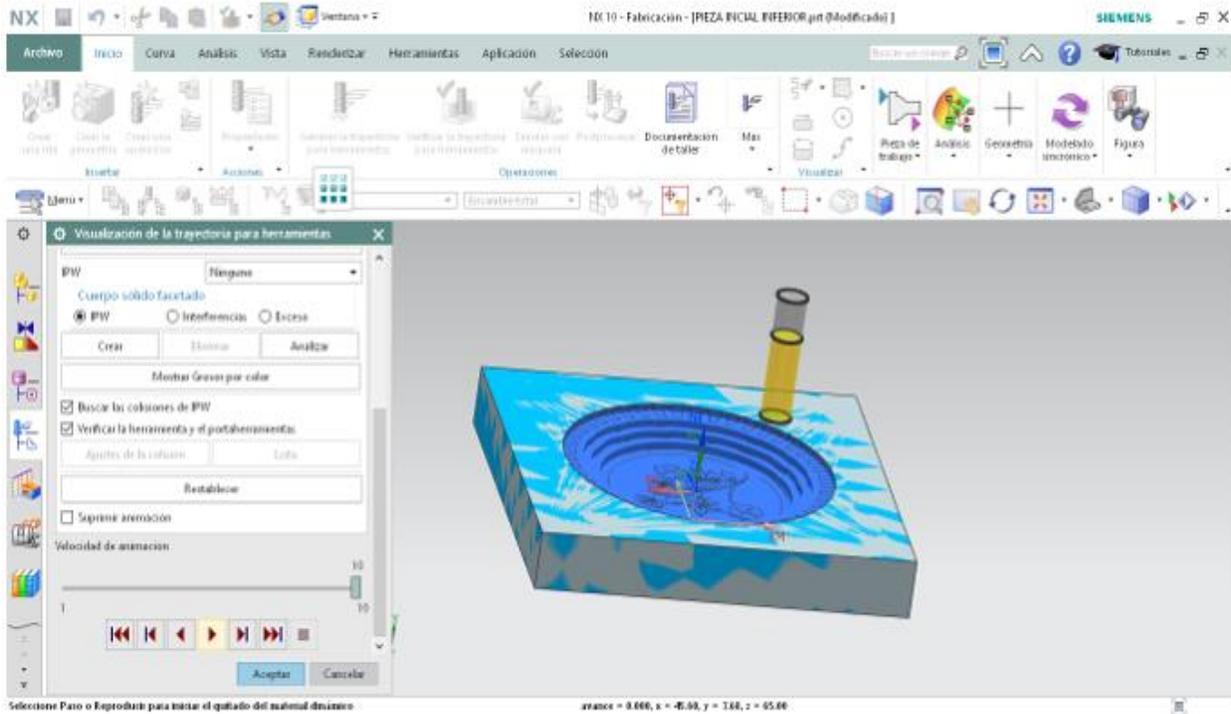


Figura 69. Simulación operación de corte 1.

La operación 2 consiste en la elaboración de la curvatura del plato, eliminando los escalones que se pueden apreciar en la Figura 69. La fresa implementada en dicha operación fue la mostrada en la Figura 10, con un método “mill_rough”, y fue de tipo “mill_contour”.

Para la presente operación si se debió especificar el área de corte, la cual se observa en la Figura 70.

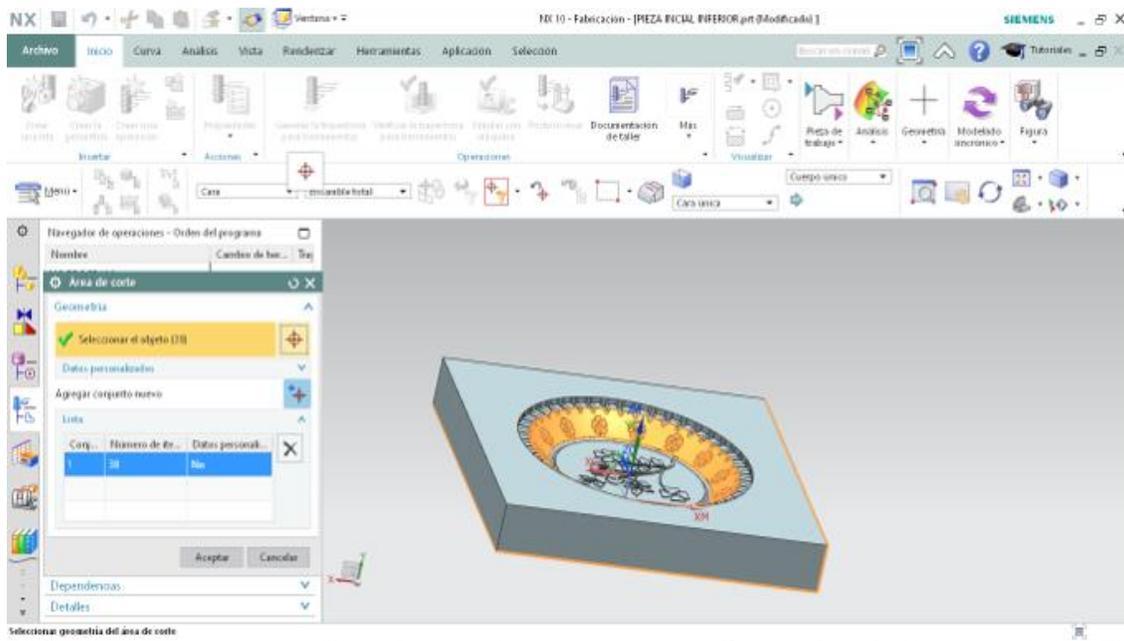


Figura 70. Área de corte operación 2 y 3 molde B.

La trayectoria de corte de la operación de corte 2 se muestra en la Figura 71.

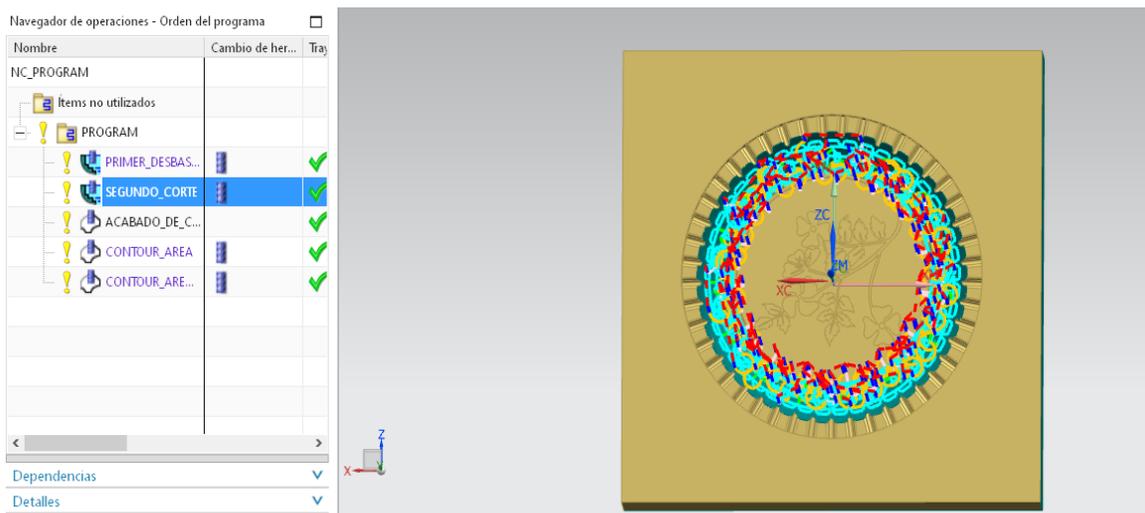


Figura 71. Trayectoria de corte operación de corte 2 molde B.

El resultado de la simulación de la operación de corte 2 se puede visualizar en la Figura 72.

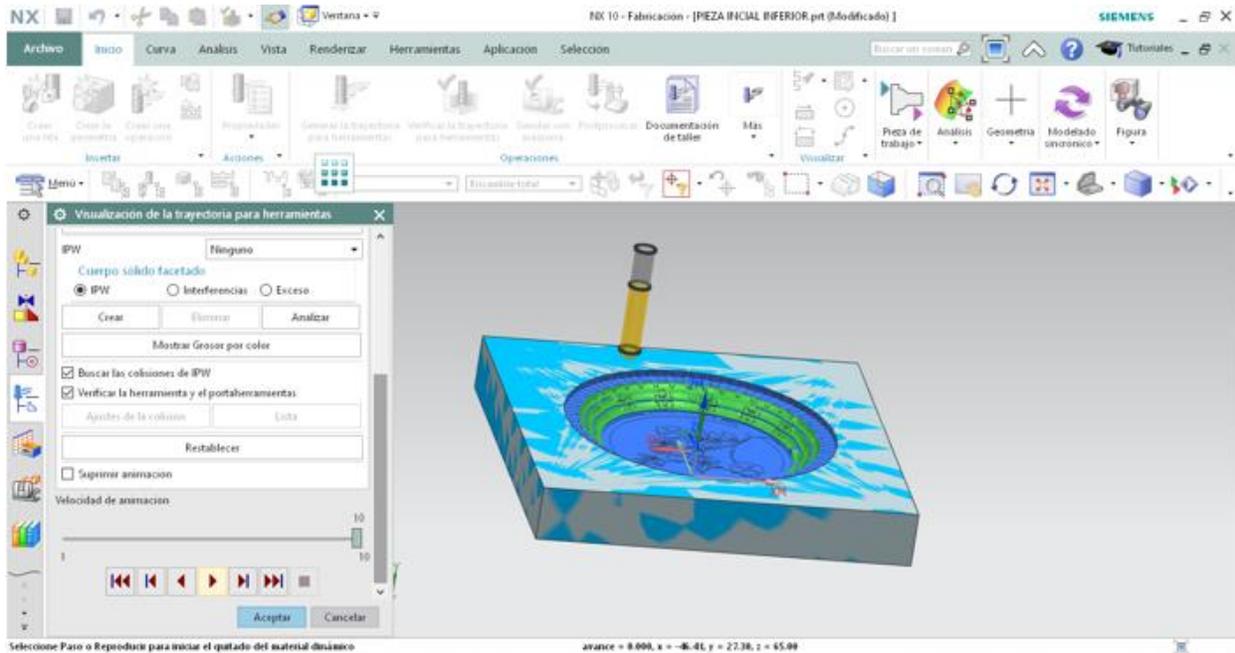


Figura 72. Simulación operación de corte 2 molde B.

La operación de corte 2 implementó un método de desbaste para la formación de la curvatura del molde B, el único inconveniente es que la textura de la zona fresada no es la deseada, por lo que se implementó una operación de corte 3 dedicada a realizar un acabado en dicha zona, donde se utilizó el mismo cortador, el tipo de operación también fue idéntica a la anterior, pero el método fue diferente, ya que fue “mill_finish”.

El área de corte se puede apreciar en la Figura 70.

La trayectoria de corte de la operación de corte 3 se muestra en la Figura 73.

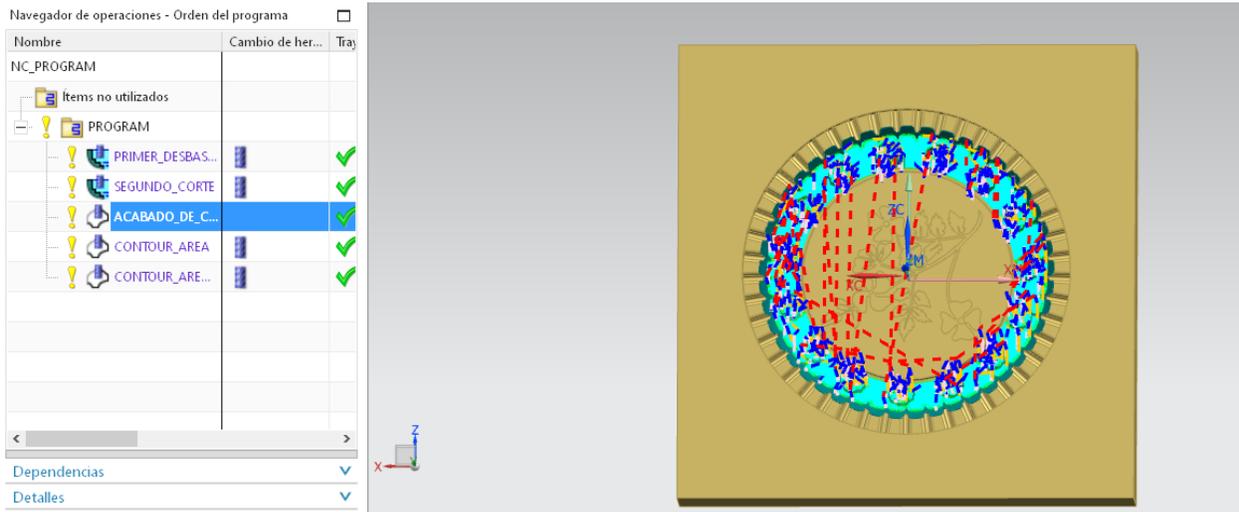


Figura 73. Trayectoria de corte operación de corte 3 molde B.

El resultado de la simulación para la operación de corte 3 se puede apreciar en la Figura 74.

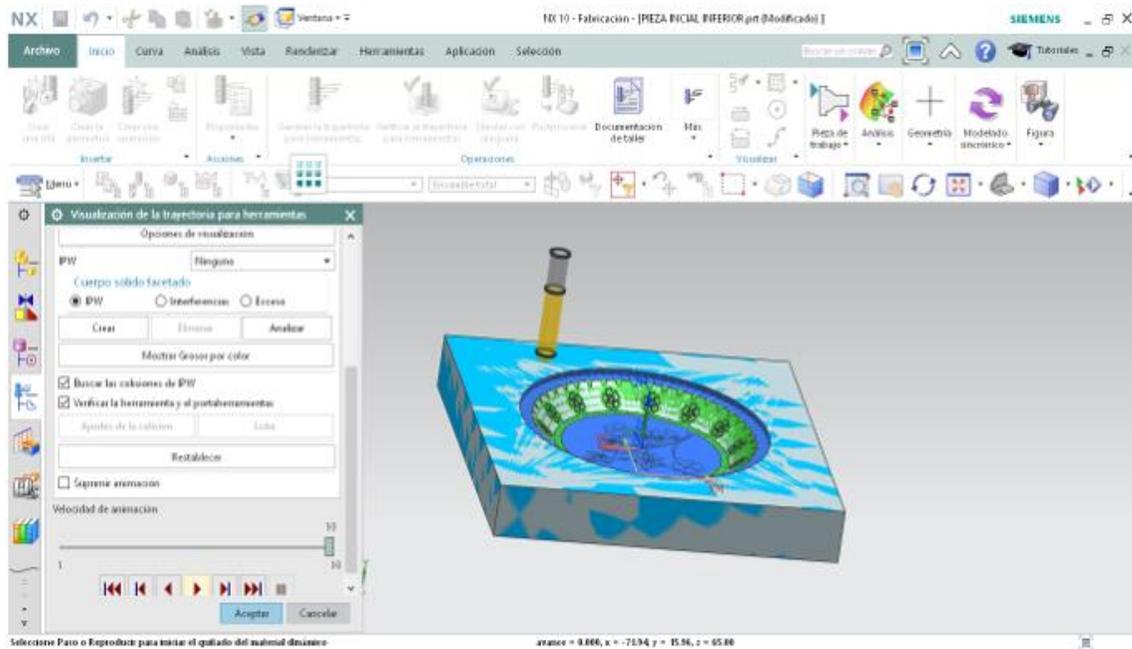


Figura 74. Simulación operación de corte 3 molde B.

La operación de corte 4 implementó la fresa que se aprecia en la Figura 11. En donde el objetivo de dicha función fue la formación de las ondulaciones sobre la circunferencia de la pieza molde B, el tipo de operación fue “mill_contour” y su método “mill_finish”.

El área de corte para la operación de corte 4 se muestra en la Figura 75.

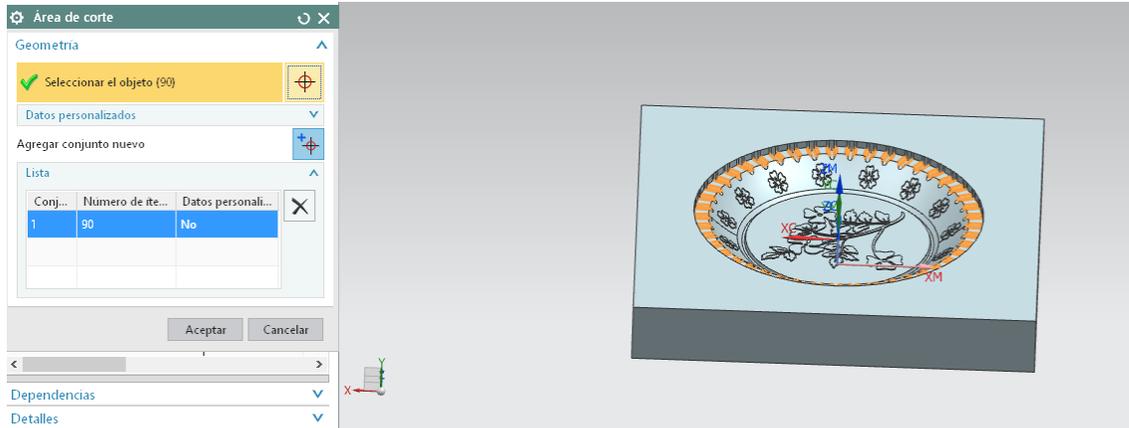


Figura 75. Área de corte operación de corte 4 molde B.

La trayectoria de corte generada para la operación de corte 4 se presenta en la Figura 76.

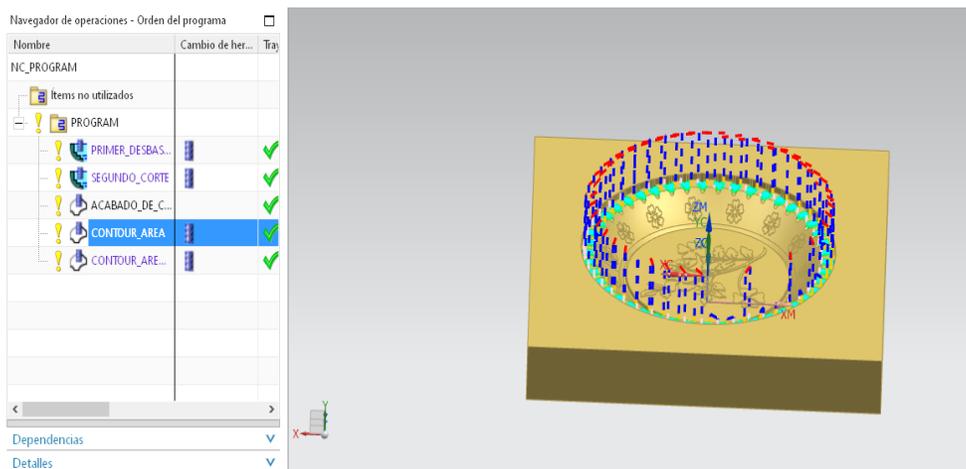


Figura 76. Trayectoria de corte operación de corte 4 molde B.

El resultado de la simulación de la operación de corte 4 se puede apreciar en la Figura 77.

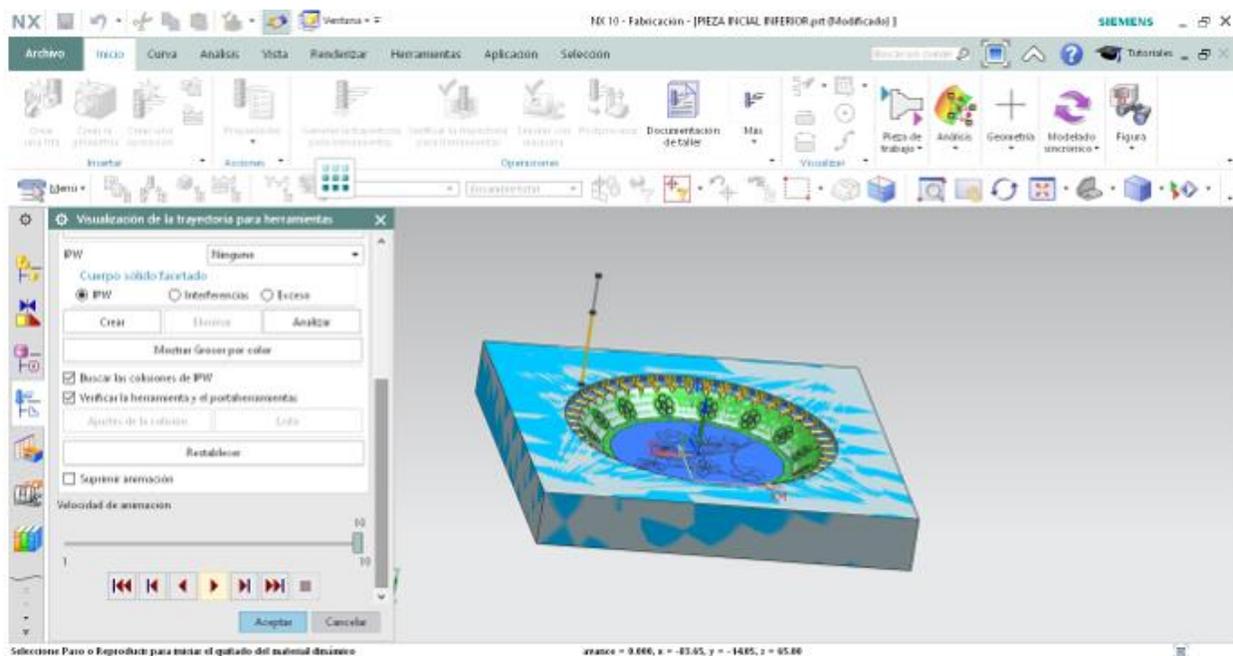


Figura 77. Simulación operación de corte 4 molde B.

Existe una operación de corte 5, la cual no se pudo llevar a cabo debido a la falta de herramientas de corte, por lo que su proceso no fue mencionado en el presente documento.

5.12 Postprocesados

Una vez finalizados todos los programas en CAM, se procedió a la generación de los códigos G para cada operación creada en CAM, el proceso es el mismo para cada operación de corte, por lo que únicamente se mostró una sola vez en el presente documento. Al proceso para generar códigos G se le conoce como postprocesado.

Se comenzó por realizar un clic derecho en la operación de corte a postprocesar y se debe de seleccionar la opción “Postprocesar” como se muestra en la figura 78.

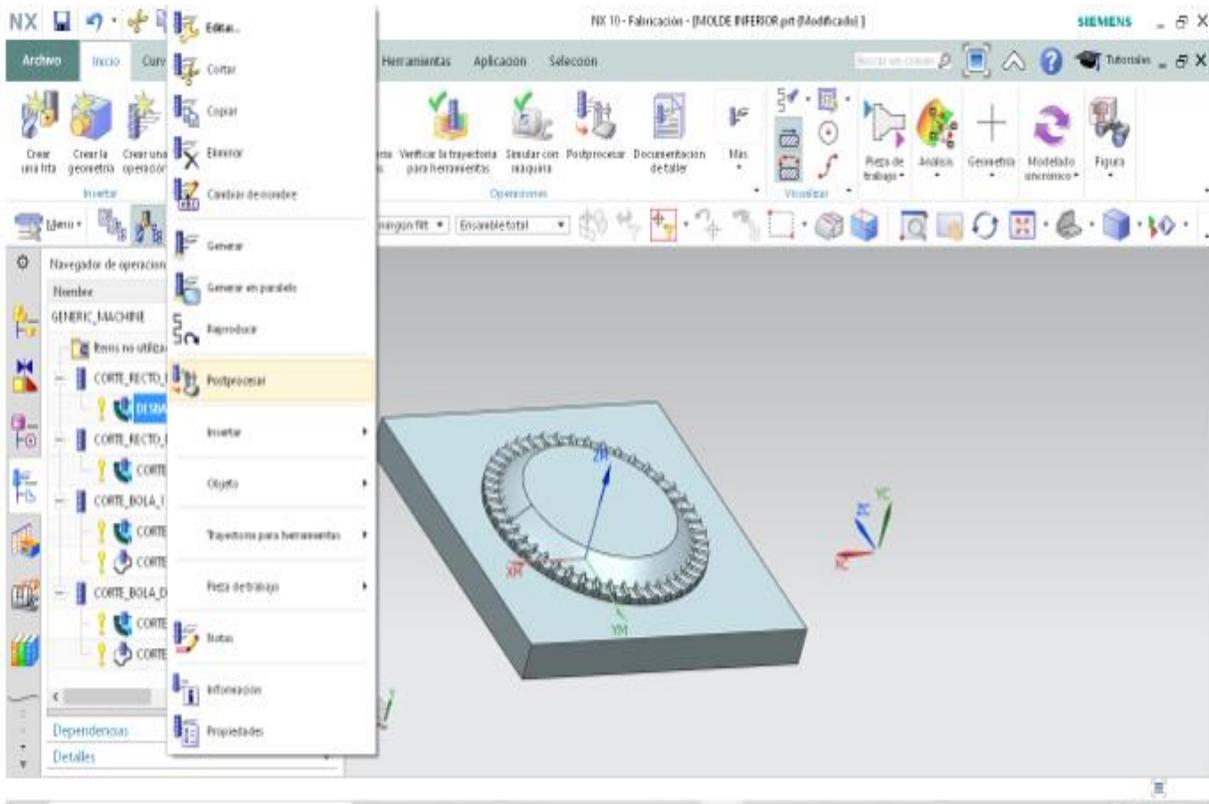


Figura 78. Imagen 1 postprocesado.

Una vez realizada la acción anterior, se desencadenó el menú “Postprocesar”, en donde se definió en el parámetro “Postprocesador” como “MILL_3_AXIS” y en “Unidades” como “Métrica/PIEZA” como se presenta en la Figura 79.

Una vez obtenido el archivo con los códigos G, se procede a transferir dicho archivo desde la PC que contiene el archivo a la PC de la fresadora, para ello, la fresadora DYNAMACH VMC540 que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato posee una memoria CompactFlash la cual puede ser insertada en cualquier computadora con una entrada SD, y es tan sencillo como copiar y pegar el archivo dentro de la memoria CompactFlash.

El siguiente paso fue insertar nuevamente la memoria CompactFlash dentro de la fresadora, de esa forma los códigos G se encuentran disponibles para la elaboración del trabajo requerido.

5.13 Operaciones de fresado

5.13.1 Fijación de la materia prima a maquinar

El primer paso para realizar una operación de fresado es ajustar la materia prima a maquinar en la base de trabajo de la fresadora, para el presente caso, se tuvo que recurrir a una base externa debido a que las dimensiones de la materia prima superaban a las dimensiones de sujeción de la prensa en la base de trabajo como se aprecia en la Figura 81.



Figura 81. Materia prima en mesa de trabajo.

5.13.2 Obtención del 0 pieza

En la mayoría de los centros de maquinado, la obtención del 0 pieza puede realizarse de manera automática por la fresadora, desgraciadamente la fresadora DYNAMACH VMC540 no cuenta con dicha función.

Para la obtención del 0 pieza se requirió de la implementación de un cortador fracturado como el que se encuentra en la Figura 82.

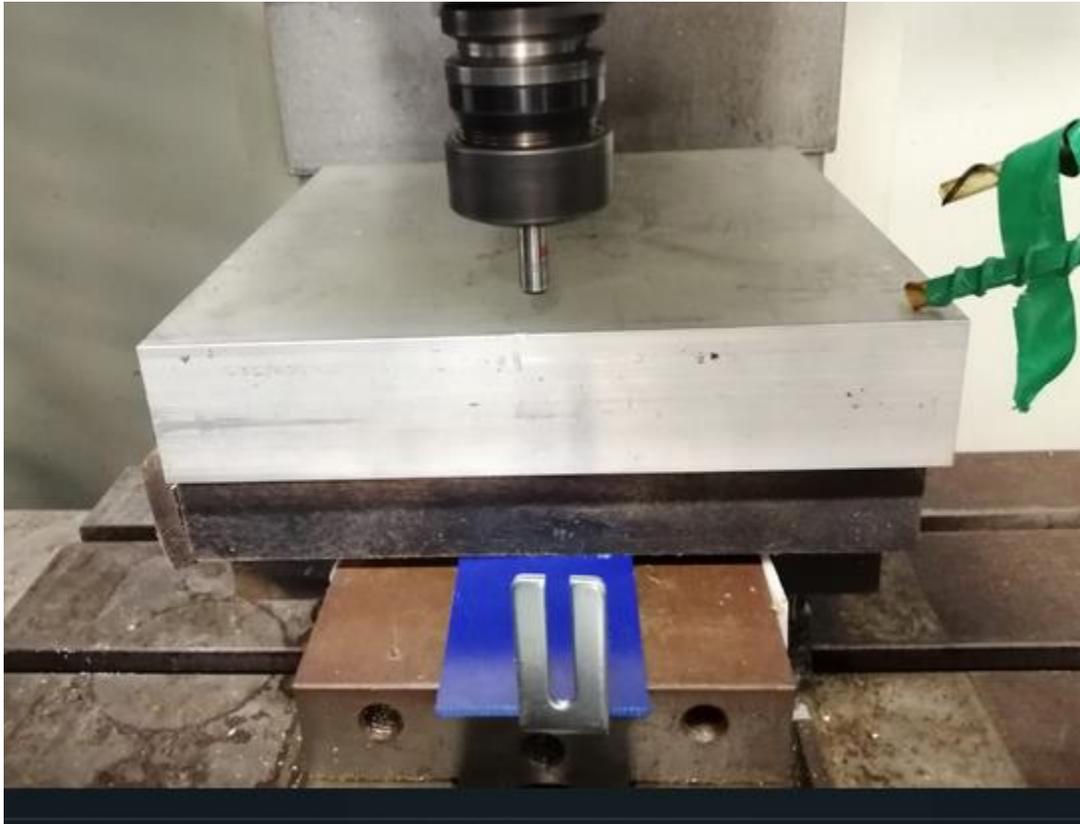


Figura 82. Cortador fracturado.

El objetivo es tocar el 0 pieza, el cual se definió en el programa NX 10 en los ejes x, y, z de la fresadora y guardarlos en la misma. Para encontrar el eje x, se muestra un ejemplo de cómo se realizó el proceso en la figura 83, se acercó el cortador a la pieza hasta el punto en donde toca la materia prima, y obtener la posición actual, la cual fue visualizada en la pantalla de la fresadora.

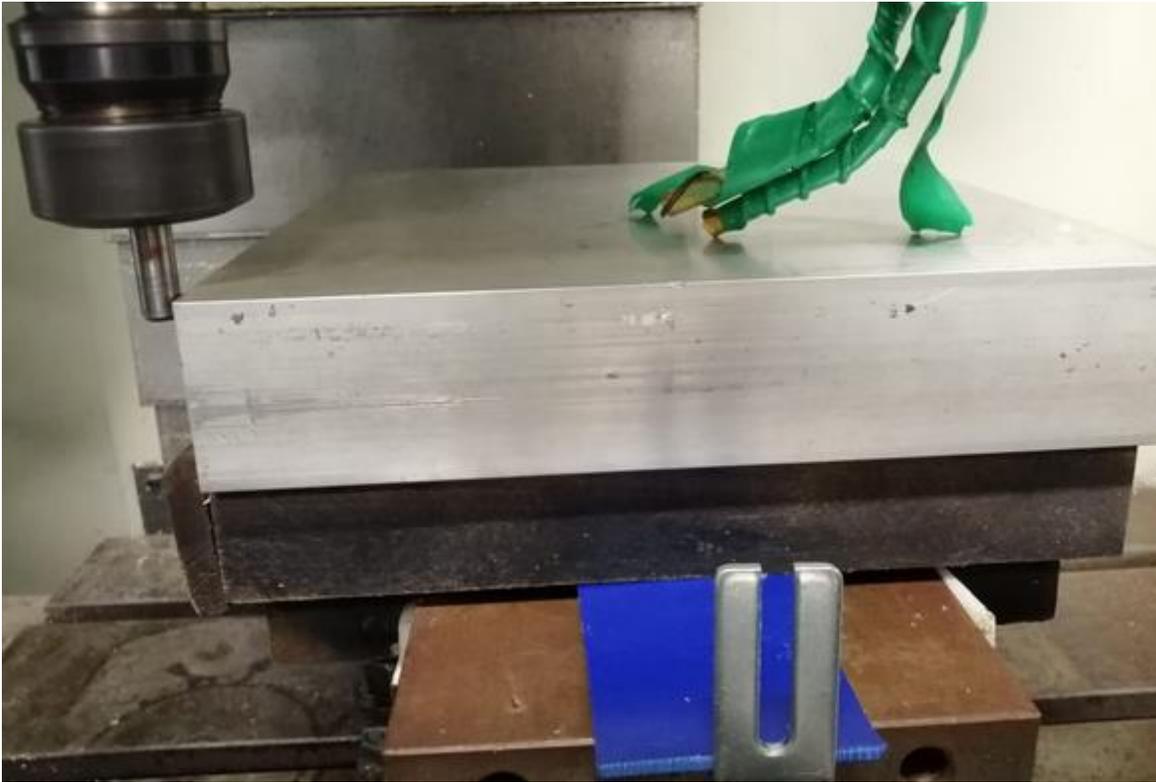


Figura 83. Encontrando el eje x.

El siguiente paso fue sumar el radio del cortador y la mitad de la longitud de la materia prima debido a que el 0 pieza se definió en el centro de la pieza en su parte inferior, una vez alcanzado el punto requerido, se prosiguió a guardar el valor, para ello, se oprimió el botón “PROG”, y se seleccionó la opción “WORK COORDINATES”, en donde se posicionó sobre la coordenada a guardar, para el presente caso es la coordenada X, y se oprimieron las teclas “X”, seguido de la tecla “0” y al final “MEASURE”. De dicha forma se guardó la coordenada X en la fresadora.

El proceso se repitió para la coordenada Y, en la Figura 84, se puede apreciar la posición de la coordenada Y. Una vez guardada dicha coordenada, se prosiguió a la obtención de la coordenada para el eje Z, donde se requirió del cambio del cortador roto por la fresa o cortador a implementar para el programa a correr.



Figura 84. Coordenada Y.

En el presente caso se colocó el cortador que se puede apreciar en la figura 8, mediante la implementación de una cuchilla en la parte inferior del molde, se prosiguió a tocar dicha cuchilla con la fresa como se ve en la figura 85 y guardar la posición en la fresadora en la figura 86.



Figura 85. Coordenada Z.

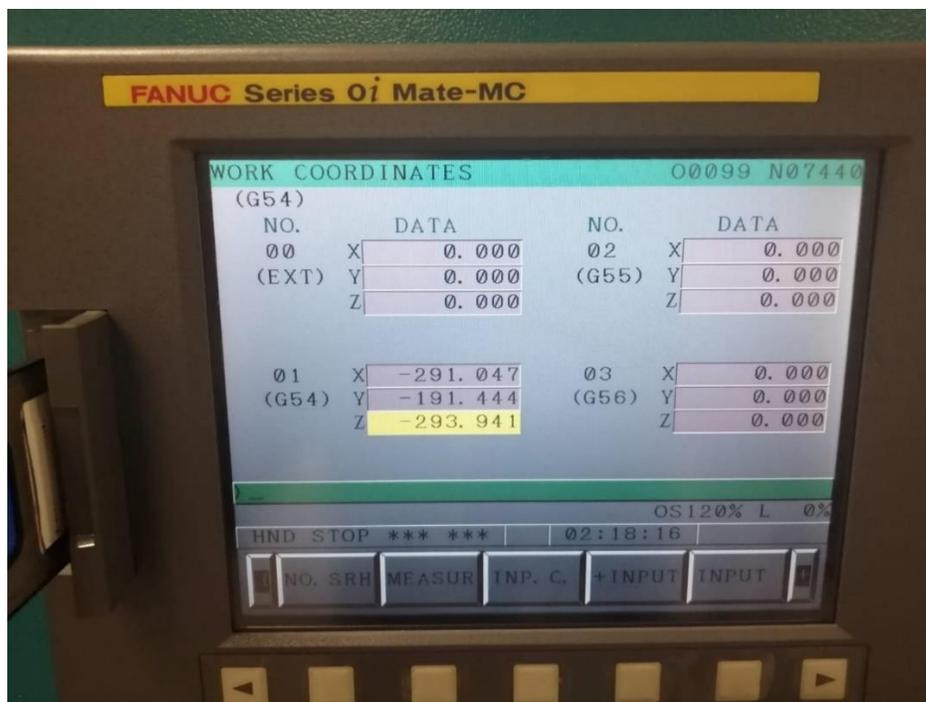


Figura 86. Guardando coordenada Z

Una vez que se obtuvieron todas las coordenadas, se establece que las coordenadas x, y, serán las mismas hasta obtener la pieza terminada, mientras la pieza no sea removida de la mesa de trabajo de la fresadora, con excepción del eje Z el cual varía de acuerdo a la fresa a implementar en la operación de corte, por lo tanto, para cada cambio de fresa se requiere de la obtención del eje Z, como se hizo anteriormente.

5.13.3 Selección del programa a ejecutar

El siguiente paso fue correr el primer programa, para ello, se dirigió al apartado DNC y al sub apartado DNC-CD, que es la ubicación para obtener la lectura de los programas encontrados en la memoria CompactFlash como se puede apreciar en la figura 87.

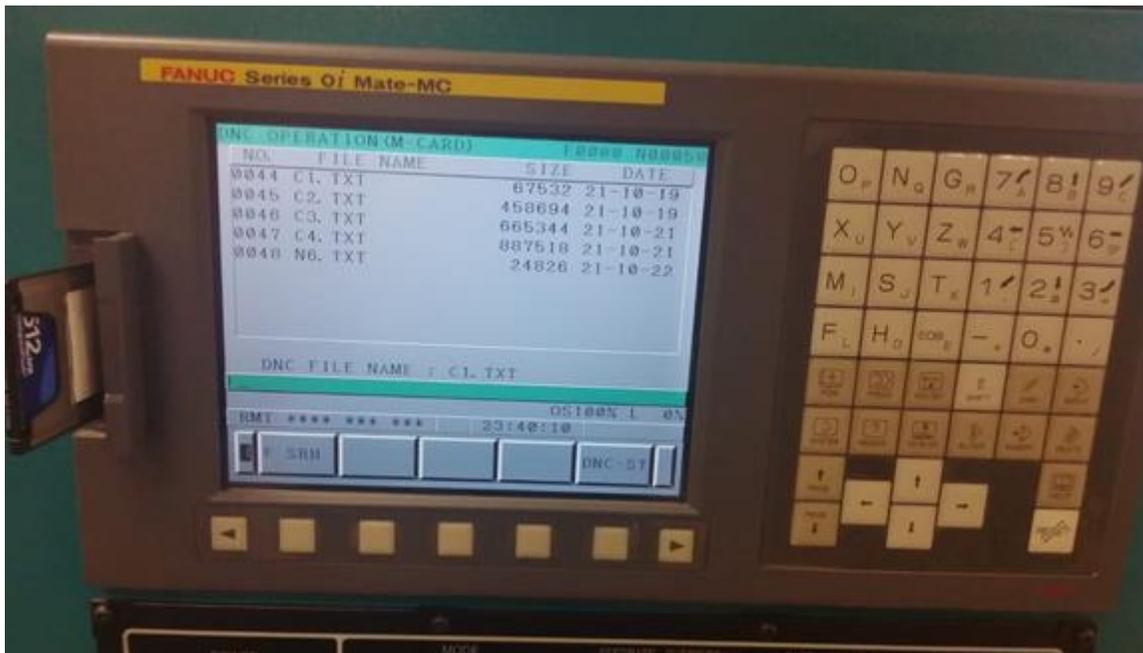


Figura 87. Programas en memoria.

Solo quedo por seleccionar el programa requerido, una vez seleccionado, el programa se inició automáticamente.

Capítulo 5. Metodología

El proceso para la selección del resto de los programas es el mismo, por lo tanto, no se comento acerca de ellos en los siguientes capítulos del presente documento.

Capítulo 6

Resultados

A lo largo del proceso de desarrollo de las diversas operaciones de corte durante el proceso de fresado se logró la obtención de diversos resultados, el primero de ellos fue la elaboración de un proceso de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes para la fabricación de un molde para un desechable, que se compone de 2 piezas o troqueles, los cuales se pueden apreciar en las Figuras 88 y 89.

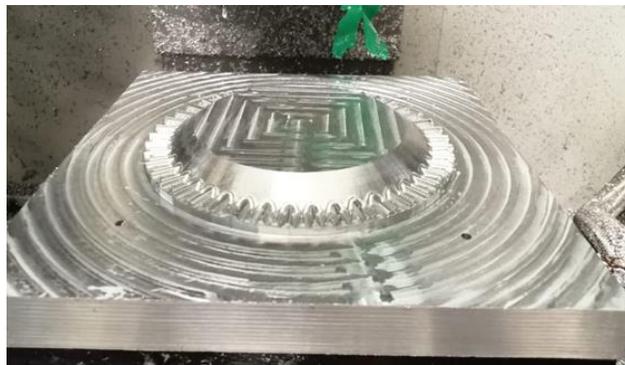


Figura 88. Resultado molde A.



Figura 89. Resultado molde B.

Como se mencionó, el molde en si es el resultado de diversas operaciones de fresado, en lo que comprende a la Figura 88, se requirió de la elaboración de 6 operaciones de fresado.

La operación 1 consistió en el desbaste del exceso de material sobre la materia prima a maquinar o la pieza en bruto, su resultado se presenta en la figura 90.



Figura 90. Desbaste 1.

La operación 2 consistió en un segundo desbaste, encargado de remover el excedente de material en zonas que la primera fresa dejó sobre la pieza maquinada procedente de la operación 1. El objetivo de la operación 2 fue la remoción del exceso de material para que cortadores futuros no sufran un excesivo desgaste al realizar sus trayectorias de corte sobre el molde y se puede apreciar el resultado de la operación en la figura 91.

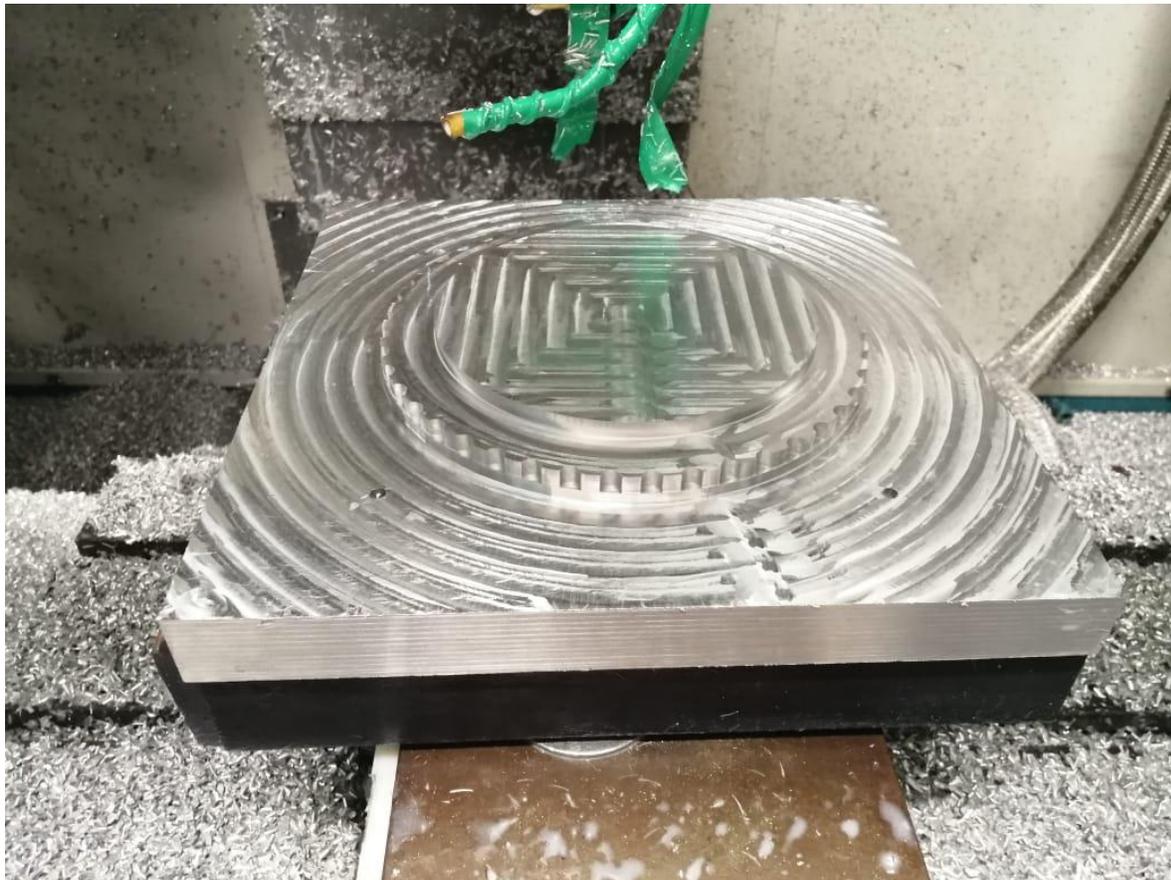


Figura 91. Desbaste 2.

La operación 3 consistió en la remoción de material para la formación de la curvatura en las zonas laterales de la pieza, debido a que la operación requirió de la eliminación de bastante material, dicha función fue realizada para el desbaste únicamente de la zona y obtener una versión inicial de la curvatura, donde su principal problemática fue que no contenía la textura adecuada y su resultado se puede apreciar en la Figura 92.

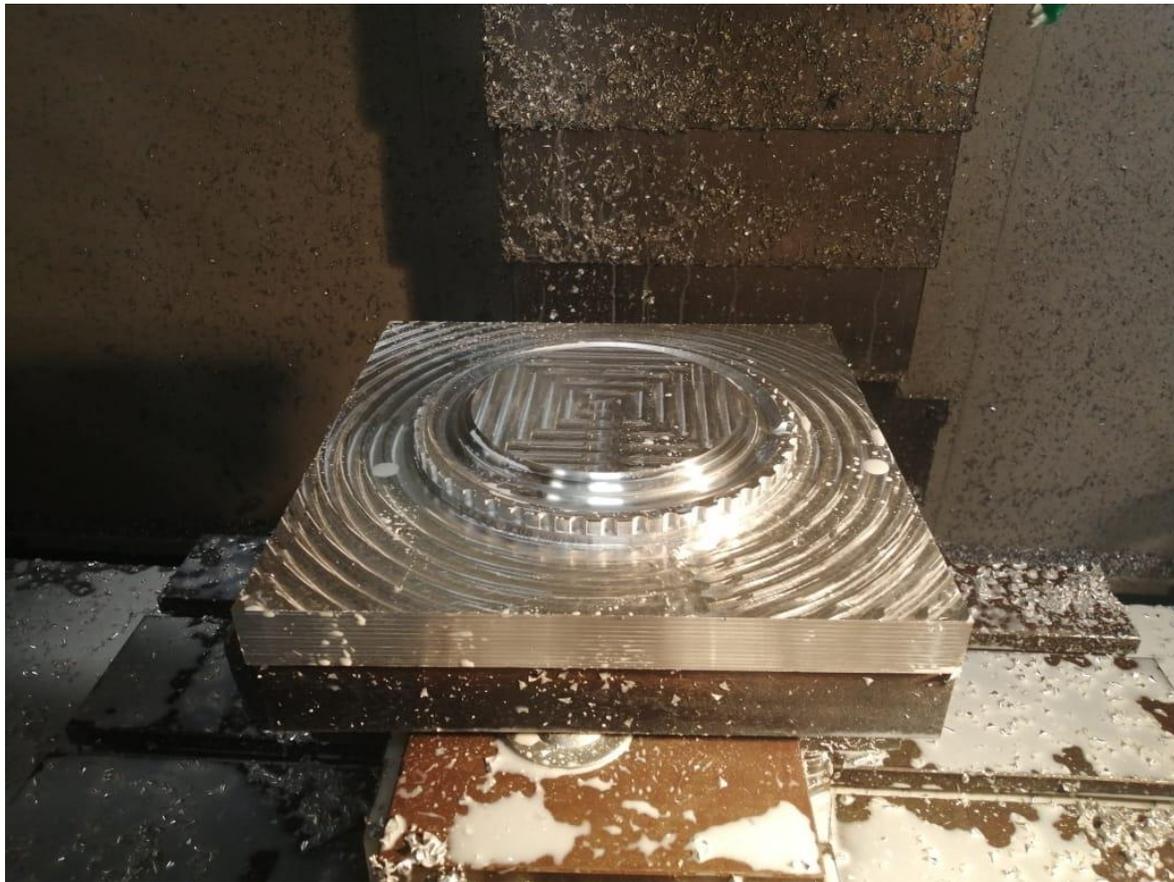


Figura 92. Desbaste 3.

La operación de corte 4 consistió en la elaboración de trayectorias de corte enfocadas al acabado de la pieza, en el presente caso, fue en la zona de la curvatura del molde, eliminando los pequeños excedentes de material dejados por la función anterior, obteniendo como resultado la textura requerida para el molde en la zona de la curvatura lateral, y se muestra en la Figura 93.



Figura 93. Desbaste 4.

La operación 5 consistió en la formación de las ondulaciones de la circunferencia del círculo del plato en una versión inicial y con un semiacabado, lo cual, otorga una correcta forma de las ondulaciones en un tiempo adecuado, pero con la problemática que, en ciertas zonas, se logró apreciar una pequeña porción de exceso de material que no les permitieron a las ondulaciones tomar el acabador requerido. Su resultado se presenta en la Figura 94.



Figura 94. Desbaste 5.

La última operación que se puede apreciar en la Figura 95 consistió en el acabado final de las ondulaciones encontradas en la circunferencia del molde, con ello, la figura molde A cuenta con un buen acabado en toda su circunferencia, por lo tanto, se culminó su proceso de fresado.



Figura 95. Resultado molde A.

Para la pieza molde B, también fue el resultado de una serie de operaciones de corte, para ser exactos de 4 operaciones las cuales tuvieron diferentes objetivos para la correcta formación de la pieza.

La operación 1 fue la encargada de realizar el primer desbaste hacia el interior de la pieza, su objetivo fue remover la mayor cantidad de material posible en una operación de desbaste, para posteriormente otorgar una curvatura hacia el centro de la pieza. Como se puede apreciar en la Figura 96, la operación de corte dejó una serie de escalones hacia el interior de la pieza y removiendo el exceso de material encontrado en el centro de la misma.



Figura 96. Desbaste 1 molde B.

La operación 2 fue la encargada de realizar la curvatura hacia el interior de la pieza, removiendo el exceso de material en el centro de la misma, además, de realizar un pequeño grabado de unas flores a lo largo de toda la zona de la curva, dicha función se definió con el objetivo de realizar el desbaste de los escalones dejados por la operación 1 y otorgar de manera simultánea el acabado requerido para la obtención de la textura deseada sobre la zona de la curvatura de la figura molde B, su resultado se muestra en la Figura 97.



Figura 97. Operación 2 molde B.

La operación 3 consistió en la elaboración de las ondulaciones en la circunferencia de la figura, son la contra parte a las realizadas para el molde A, ya que, las del molde A deben entrar en dichas ondulaciones o cavidades del molde B, su resultado se puede apreciar en la Figura 98. Fue solo la primera instancia de dichas ondulaciones o cavidades por lo que aún requieren de otra operación de corte para su correcta finalización.



Figura 98. Operación 3 molde B.

La operación de corte 4 desgraciadamente no pudo ser realizada debido a la falta de un cortador que no pudo ser conseguido por la falta de presupuesto para el proyecto y por

la poca diversidad de cortadores existentes en el centro de manufactura del Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato.

Las operaciones de corte se elaboraron mediante la correcta implementación de CAM, que se encargó de generar las trayectorias adecuadas y requeridas de corte para la correcta formación de un molde para un plato desechable, por lo tanto, se logra obtener el cumplimiento del segundo objetivo.

La correcta implementación de CAM se obtuvo a partir de la creación de un proceso de fresado que parte de un diseño en CAD sobre el software NX 10, en donde se logró traspasar los datos acerca de las mediciones y características en específico de la materia prima a maquinar o también conocida como la pieza en bruto al software NX 10, dando a conocer de dicha forma al software ciertos parámetros de seguridad que debe de considerar para la correcta selección de trayectorias, además, de poder introducir las características de cada fresa utilizada para la elaboración del molde. Con la ayuda de los temas mencionados y la especificación de áreas a cortar, solo quedo por seleccionar la trayectoria que generará la menor cantidad de rutas para la fresa sobre vacío (sin realizar desbaste sobre la pieza).

A su vez, para la correcta implementación de CAM se requirió del establecimiento de ciertos parámetros de corte, dando como resultado el cumplimiento de dos objetivos presupuestados para el proyecto, ya que, uno de los pasos para el correcto establecimiento de parámetros de corte, es la correcta selección de la fresa a implementar, se debe de aclarar que el resultado de este último objetivo resulta ser un tanto dependiente de las limitaciones obtenidas en el presente proyecto, ya que, dichas limitaciones redujeron en un gran número de posibilidades acerca de la selección de la fresa, en donde, se seleccionó la más ideal de acuerdo a las posibilidades obtenidas, sin embargo, las fresas implementados de acuerdo a la gran diversidad de herramientas de corte existentes en el mercado, no fue la más ideal en algunas operaciones de corte, principalmente, en las operaciones cuyo objetivo único fuese el desbaste de material. Partiendo de las fresas, se logró entablar los mejores parámetros de corte de acuerdo a las capacidades de la fresadora.

Mediante el cumplimiento de los objetivos planteados para el presente proyecto, se conformó una serie de pasos a seguir para que cualquier operador sin conocimientos previos con la finalidad de que pudiese desarrollar el fresado de una pieza. Una técnica al ser un procedimiento sistemático cuya finalidad es la ejecución de una determinada tarea o acción, se comprende que la serie de pasos desarrollados en el presente trabajo como una serie de técnicas de optimización de un proceso de maquinado por control numérico de 3 ejes, las cuales fueron aplicados para la elaboración de un molde para un plato desechable.

Capítulo 7

Análisis de Resultados

De los resultados obtenidos en el presente documento, se puede resaltar la gran ayuda que representan las técnicas de optimización desarrolladas y plasmadas para la optimización de procesos de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes, resolviendo de una gran manera la problemática encontrada en el Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato, la cual fue la poca eficiencia de procesos de fresado, lo cual provoca el desgaste prematuro de las herramientas de corte, ya sea por fracturas parciales o completas de la misma herramienta, o por un deterioro en su vida de corte bastante elevado, desencadenando la problemática que se presentó como limitante en el presente proyecto, que fue la falta de variedad de herramientas de corte o fresas.

Las técnicas de optimización o la serie de pasos elaborados en el presente documento, permitieron lograr la elaboración de 10 moldes, los cuales se constituyeron de 2 piezas o troqueles por molde, por lo tanto, se sometieron 20 piezas a un proceso de fresado, implementando siempre las mismas fresas para las operaciones requeridas, lo cual permite determinar que los resultados obtenidos son un gran aporte en la resolución de la problemática que presenta la institución, aumentando los niveles de productividad en sus procesos, al momento de poder producir una mayor cantidad de piezas con el mismo número de fresas con las que cuentan.

A continuación, se presenta una comparación visual entre las fresas implementadas por el instituto en sus procesos de fresado y las implementadas en el presente proyecto. Las fresas empleadas por el instituto se pueden visualizar de la Figura 99 a la 102, presentan daños severos en la estructura de la fresa, lo cual impide que sean empleadas en nuevos procesos, en la Figura 99, la fresa presenta una fractura total, en la figura 100, se puede visualizar el desprendimiento de uno de los filos del cortador, los daños de la figura 101 se encuentran en la fractura parcial de las puntas de la fresa, para la Figura 102 los

daños se encuentran en la fractura total de las puntas de los filos del cortador. Las fresas utilizadas en el presente proyecto se muestran de la Figura 103 a la 106, dichas fotografías fueron tomadas al terminó del fresado de las 20 piezas, las fresas pueden ser empleadas en procesos futuros debido al estado de su condición, y que los filos aún poseen vida útil.



Figura 99. Fresa dañada 1.



Figura 100. Fresa dañada 2.



Figura 101. Fresa dañada 3.



Figura 102. Fresa dañada 4.



Figura 103. Estado de la fresa 1 después del proceso.



Figura 104. Estado de la fresa 2 después del proceso



Figura 105. Estado de la fresa 3 después del proceso.



Figura 106. Estado de la fresa 4 después del proceso.

Las fotografías mostradas de la Figura 99 a la 102 aportan veracidad al análisis de resultados obtenidos en el presente documento, ya que, con la implementación de un método visual se puede apreciar que las fresas implementadas por el instituto en sus procesos de fresado no pueden volverse a implementar, además, de que únicamente fueron implementados en procesos donde su materia prima a maquinar fue nylamid, el cual es un material con muy poca dureza al ser un polímero.

De la Figura 103 a la 106 se puede apreciar que las fresas implementadas cuentan con vida de trabajo útil, por lo que se pueden implementar en procesos futuros en caso de que sean requeridas, además, la viruta de desprendida de la materia prima maquinada es de un tamaño muy pequeño y durante las operaciones de corte no se obtuvieron cambios en el sonido producido por la fricción entre la fresa y la materia prima a maquinar..

La utilización de CAM es otra práctica importante al momento de elaborar procesos eficientes, por lo tanto, se puede optimizar cualquier proceso de fresado tomando en cuenta los parámetros mostrados en el presente documento, en donde, se parte desde el establecimiento de prácticas de seguridad como la definición de la pieza en bruto, la inclusión de la herramienta de corte en el software y la elaboración de programas de corte para el fabricado de la pieza, lo cual, es considerado como otra técnica de optimización de gran valor y que debe de implementarse en cualquier proceso, dicha acción, le aporta una mayor veracidad y validez al presente documento en cuanto a su compromiso con la obtención de la optimización de procesos.

Los resultados terminaron por ser satisfactorios en cuanto a la resolución de la problemática presentada en el presente documento, aportando un gran valor académico, ya que, le permite a cualquier estudiante, profesor, operador, realizar un proceso de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes para cualquier pieza que los mismos requieran, implementando técnicas que abarcan desde la correcta selección de las herramientas de corte, hasta la implementación de CAM para obtener como resultado su pieza deseada, implementando en todo momento un proceso óptimo y eficiente.

Capítulo 8

Conclusiones y trabajo a futuro

8.1 Conclusiones

En el presente trabajo, se elaboraron técnicas de optimización para la fabricación de un molde para un plato desechable a través de un proceso de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes, las cuales otorgaron rapidez, sencillez, seguridad y confiabilidad al proceso y pueden ser implementadas en todo tipo proceso de maquinado, además, de disminuir de manera considerable el desgaste prematuro en las herramientas de corte implementadas en el proceso.

En el presente trabajo se identificaron los diferentes tipos de cortadores y sus materiales óptimos para el proceso de maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado de 3 ejes, debido a que cada tipo de cortador aporta sus propios beneficios a dicho proceso y son de carácter independiente, por lo que sus beneficios son diferentes a los aportados por otro tipo de cortador.

En la presente investigación se calcularon los parámetros de corte requeridos para los cortadores seleccionados para el proceso de maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado de 3 ejes, ya que, cada parámetro calculado aportó un cierto nivel de seguridad y eficiencia al proceso desarrollado.

En el documento actual se describió la correcta serie de pasos CAM a seguir para el proceso de maquinado de un molde para un plato desechable por control numérico computarizado de 3 ejes, gracias a ello, se le permitió aportar un gran valor de eficiencia en cuanto a la reducción de tiempos y complicaciones en la elaboración del proceso de fresado elaborado.

En el presente trabajo, se desarrolló un molde para un plato desechable a través de un proceso de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes que implementó las técnicas de optimización desarrolladas en el presente documento, las cuales permitieron obtener un proceso de fresado seguro y óptimo para la elaboración del presente molde.

8.2 Trabajo a futuro

En la presente tesis se arrojan una serie de técnicas de optimización para procesos de maquinado por control numérico computarizado de 3 ejes, en donde su mayor énfasis es evitar el desgaste prematuro de la herramienta de corte también conocidas como fresas.

Si bien el proyecto se basó en el mecanizado de un molde para un plato desechable, todas las técnicas se encuentran listas a implementarse en cualquier proceso de mecanizado por control numérico computarizado de 3 o más ejes, permitiéndole a los operadores tener total confianza de que se encuentran desarrollando un proceso seguro y óptimo para el mecanizado de su pieza, brindándole la oportunidad de reducir gastos y tiempos durante todo su proceso.

Como implementaciones futuras, se buscará indagar en más información acerca de componentes extra a los mencionados en el presente documento pero que de igual manera se encuentran involucrados en los procesos de mecanizado, por mencionar un ejemplo, es la implementación de refrigerante o líquido de corte adecuado para el proceso. Además, de aumentar la recopilación y procesamiento de la información acerca de la selección de la mejor ruta o trayectoria que debe de seguir la operación corte mediante la ayuda de herramientas más específicas de CAM.

Referencias bibliográficas

Armas Blacio R. A. (2019). Implementación de una fresadora CNC controlada mediante tecnología CAM [Trabajo de titulación, Universidad Tecnológica de Israel]. Repositorio institucional – Universidad Tecnológica de Israel.

EAE Business School (25 de marzo de 2019). *Optimización de procesos: 3 claves para mejorar*. <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/optimizacion-de-procesos-3-claves-para-mejorar/>

El Economista (8 de diciembre de 2017). *Industria automotriz impulsa economía de Guanajuato*. <https://www.economista.com.mx/estados/Industria-automotriz-impulsa-economia-de-Guanajuato-20171208-0036.html>

Endengineers Edge (s.f.). *Review of Boring Manufacturing Process*. <https://www.engineersedge.com/manufacturing/boring-manufacturing.htm>

Enrique Rus Arias (23 de diciembre de 2019). *Recursos financieros*. <https://economipedia.com/definiciones/recursos-financieros.html>

Fidias, A. (1999) *El proyecto de investigación*. (6ta Edición). Editorial Episteme.

Flores Pérez J. G. (2009). Manual de operación y prácticas didácticas de torno y fresadora CNC en el laboratorio LPAIC de ESIME Azcapotzalco [Trabajo de titulación, Instituto Politécnico Nacional]. Academia.

Francisco Coll Morales (25 de marzo de 2020). *Recursos humanos (RRHH)*. <https://economipedia.com/definiciones/recursos-humanos-rrhh.html>

GestioPolis. (21 de abril de 2013). *¿Qué es el tiempo de producción y cómo está compuesto?*. <https://www.gestiopolis.com/que-es-el-tiempo-de-produccion-y-como-esta-compuesto/>

González Ortiz B. (2004). Optimización de las variables envueltas en el maquinado en un centro de maquinado de control numérico computarizado [Opción al grado de maestro, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio institucional – Universidad Autónoma de Nuevo León.

Referencias Bibliográficas

Guillermo Westreicher (15 de julio de 2020). *Recurso*.
<https://economipedia.com/definiciones/recurso.html>

Hernández R. Fernández C. y Baptista P. (1997). *Metodología de la investigación*.
Mcgraw-Hill Interamericana de México.

<https://yamazen.com.mx/blog/cutting-tool/herramientas-de-corte-para-maquinado-tipos-de-materiales.html>

Ikkaro (s.f.). *El escariado*. <https://www.ikkaro.com/escariado/>

Ingeniería Mecafenix (5 de noviembre de 2018). *Tipos de operaciones de fresadoras*.
<https://www.ingmecafenix.com/otros/maquinas-herramientas/operaciones-de-fresadora/>

Ingeniería Mecafénix (5 de noviembre de 2018). *Tipos de operaciones de fresadora*.
<https://www.ingmecafenix.com/otros/maquinas-herramientas/operaciones-de-fresadora/>

Lean Manufacturing 10 (s.f.). *Los 8 desperdicios en el lean manufacturing*.
<https://leanmanufacturing10.com/desperdicios-lean-manufacturing>

Manufacturas Lozano. (3 de noviembre de 2016) *MANDRINADO O MADRILADO*.
<https://procesosymanufacturas.com.mx/mnadrinado-o-mandrulado/>

Maquinas, Herramientas y CNC (9 de septiembre de 2011). *Refrigerantes*.
<https://pyrosisproyect.wordpress.com/2011/09/09/refrigerantes/>

Méndez González F. J. (2019). Restauración de fresadora vertical marca ELLIOT del taller de máquinas herramientas de la Facultad de Tecnología de la Industria en la Universidad Nacional de Ingeniería [Trabajo de titulación, Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Tecnología de la Industria]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Tecnología de la Industria

Myriam Quiroa (07 de mayo de 2020). *Recursos materiales*.
<https://economipedia.com/definiciones/recursos-materiales.html>

Roscado (3 de Julio de 2015). *Roscado*.
<https://roscado.wordpress.com/2015/07/03/roscado/>

Referencias Bibliográficas

Sandvik (s.f.). *Mecanizado en rampa: circular y lineal de dos ejes*.
<https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/milling-holes-cavities-pockets/pages/ramping.aspx>

Selltiz, C., JAHODA, M., Deutsch, M., y Cook, 5. W. (1976). *Métodos de investigación en las relaciones sociales*. (8tava Edición). Editorial RIALP.

Tecnología Educativa S. A. (s.f.). *Programación de máquinas CNC con códigos G&M*.
<https://tecnoedu.com/CNC/GM.php>

TOOLMEX CORPORATION. (2011). *Fresas (Cortadores) Verticales Convencionales*
Víctor (21 de abril de 2017). *Estructura de un bloque de programación CNC*.
Programacioncnc. <https://www.programacioncnc.es/estructura-de-un-bloque-de-programacion-cnc/>

Yamazen Mexicana (29 de noviembre de 2019). *Herramientas de corte para maquinado: Tipos de materiales*.