

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.2 00
		Página	1 de 133

GUÍA DE APRENDIZAJE EN CÓDIGO G PARA TORNO Y FRESA CNC.

Autor

CARLOS ANDRÉS SANDOVAL MARTÍNEZ

Director

LUZ KARIME HERNANDEZ GEGEN

Codirector

AUDY ALEXANDER MARTÍNEZ PLATA

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, 05/ 25 / 2022**

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	2 de 133

GUÍA DE APRENDIZAJE EN CÓDIGO G PARA TORNO Y FRESA CNC.

Autor

CARLOS ANDRÉS SANDOVAL MARTÍNEZ
1116553685
carlos.sandoval4@unipamplona.edu.co
Teléfono: 310 285 9070

Director

LUZ KARIME HERNANDEZ GEGEN
Doctora en tecnologías avanzadas de producción
lukahege@unipamplona.edu.co
Teléfono: 310 789 7859

Codirector

AUDY ALEXANDER MARTÍNEZ PLATA
Ingeniero Mecánico
audyalexander@gmail.com

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, 05/ 25 / 2022

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	3 de 133

Dedicatoria

Seré breve. Se la dedico a toda mi familia y amigos

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	4 de 133

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	14
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	15
3.	JUSTIFICACION.....	16
4.	OBJETIVOS.....	17
4.1	Objetivo General.	17
4.2	Objetivos Específicos.	17
5.	ESTADO ACTUAL.....	18
5.1	Antecedentes.....	18
5.1.1	Antecedentes internacionales.....	18
5.1.2	Antecedentes nacionales.....	19
6.	MARCO CONCEPTUAL.....	20
6.1	Introducción a CNC.....	20
6.1.1	¿Cómo se puede usar el CNC?.....	20
6.1.2	Utilidades.....	21
6.1.3	Tipos de programas CAM.....	21
6.1.4	Programación según ISO.....	22
6.1.5	Velocidad del cabezal (S).....	22
6.1.6	Velocidad de avance (F).....	23
6.2	Controlador Fagor 8050.....	24
6.2.1	Cotas de los ejes (X, Y, Z...).....	24
6.2.2	Funciones preparatorias (G).....	25
6.2.3	Herramientas (T).....	26
6.2.4	Funciones auxiliares.....	28
6.2.5	Planos de mecanizado G17, G18 y G19.....	28

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	5 de 133

6.2.6	Control de trayectoria.....	29
6.2.7	Funciones preparatorias.	40
6.2.8	Compensación de herramientas.	42
6.2.9	Ciclos fijos para fresa.	44
6.2.10	Ciclos fijos para torno.	54
6.3	Controladores Fanuc.....	61
6.3.1	Cotas de los ejes (X, Y, Z...).	61
6.3.2	Control de trayectoria.....	62
6.3.3	Programación de unidades G20-G21.....	62
6.3.4	Traslado de origen absoluto G54-G59.	63
6.3.5	Velocidad de corte constante G96.	64
6.3.6	Velocidad de giro constante G97.	65
6.3.7	Velocidad de avance en mm/min (in/min) G98.....	65
6.3.8	Velocidad de avance en mm/rev (in/rev) G99.....	65
6.4	CONTROLADOR FANUC PARA TORNO.	65
6.4.1	Herramientas (T).....	65
6.4.2	Funciones auxiliares.	67
6.4.3	Funciones preparatorias (G).....	67
6.4.4	Posicionamiento rápido G00.	69
6.4.5	Interpolación lineal G01.....	69
6.4.6	Interpolación circular G02, G03.	70
6.4.1	Roscado constante G32.	73
6.4.2	Tallado de roscado por paso variable G34.....	74
6.4.3	Compensación de herramientas.	74
6.4.4	Limitación de la velocidad máxima del cabezal G50.	76
6.5	Ciclos fijos.....	76

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	6 de 133

6.5.1	Ciclo fijo de acabado G70.....	76
6.5.2	Ciclo fijo de desbaste en el eje X G71.	77
6.5.3	Ciclo fijo de desbaste en el eje Z G72.	79
6.5.4	Ciclo fijo de seguimiento de perfil G73.	82
6.5.5	Ciclo fijo de roscado múltiple G76.	84
6.6	CONTROLADOR FANUC PARA FRESA.	85
6.6.1	Herramientas (T).....	86
6.6.2	Funciones auxiliares.	87
6.6.3	Funciones preparatorias (G).....	88
6.6.4	Posicionamiento rápido G00.	89
6.6.5	Interpolación lineal G01.	89
6.6.6	Interpolación circular G02, G03.	90
6.6.7	Compensación de herramientas.	93
6.7	Ciclos fijos.....	95
6.7.1	Ciclo fijo de perforación G81.....	95
6.7.2	Ciclo de roscado a la derecha G84.	97
7.	EJERCICIOS.....	98
7.1	Ejercicios resueltos.	99
7.1.1	EJERCICIOS RESUELTOS DE FRESA.	99
7.1.2	EJERCICIOS RESUELTOS DE TORNO.	107
7.2	EJERCICIOS PROPUESTOS.	114
7.2.1	EJERCICIOS PROPUESTOS DE FRESA.	114
7.2.2	EJERCICIOS PROPUESTOS DE TORNO.	121
8.	Resultados.....	128
9.	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	129
10.	CONCLUSIONES.....	130

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	7 de 133

11.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	131
12.	LIMITACIONES.....	131
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Principales códigos G para torno y fresa para controlador Fagor 8050.	26
Tabla 2.	Ejemplo Cambio de herramienta y corrector.	28
Tabla 3.	Funciones auxiliares para controlador Fagor 8050.	28
Tabla 4.	Códigos para planos de mecanizado controlador Fagor.	29
Tabla 5.	Códigos de interpolación circular.	30
Tabla 6.	Parámetros para cejera rectangular.	45
Tabla 7.	Parámetros para cejera circular.	49
Tabla 8.	Parámetros para ciclo fijo de seguimiento de perfil.....	55
Tabla 9.	Parámetros para ciclo fijo de desbaste en el eje X.....	58
Tabla 10.	Funciones de cotas.....	63
Tabla 11.	Ejemplo cambio de herramienta y corrector para controlador Fanuc.	67
Tabla 12.	Funciones auxiliares para controlador Fanuc en torno.....	67
Tabla 13.	Principales funciones para torno con controlador Fanuc.....	69
Tabla 14.	Códigos de interpolación circular.	70
Tabla 15.	Parámetros para roscado constante.....	74

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	8 de 133

Tabla 16. Funciones para compensación de herramienta.....	74
Tabla 17. Parámetros para ciclo de acabado.....	76
Tabla 18. Parámetros 1 para ciclo fijo de desbaste en el eje X.	77
Tabla 19. Parámetros 2 para ciclo fijo de desbaste en el eje X.	78
Tabla 20. Parámetros 1 para ciclo fijo de desbaste en el eje Z.....	80
Tabla 21. Parámetros 2 para ciclo fijo de desbaste en el eje Z.....	80
Tabla 22. Parámetros 1 para ciclo fijo de seguimiento de perfil.	82
Tabla 23. Parámetros 2 para ciclo fijo de seguimiento de perfil.	83
Tabla 24. Parámetros 1 para ciclo fijo de roscado múltiple.....	84
Tabla 25. Parámetros 2 para ciclo fijo de roscado múltiple.....	85
Tabla 26. Ejemplo de cambio de herramienta para controlador Fanuc en fresa.	87
Tabla 27. Funciones auxiliares para controlador Fanuc en fresa.....	88
Tabla 28. Funciones principales para controlador Fanuc en fresa.....	89
Tabla 29. Códigos de interpolación circular.....	90
Tabla 30. Funciones para compensación de herramienta para fresa.	94
Tabla 31. Parámetros para ciclo de perforación.....	96
Tabla 32. Parámetros para ciclo de roscado a la derecha.	98

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1	22
------------------	----

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	9 de 133

Ecuación 223

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Trayectoria de mecanizado mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).24

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	10 de 133

Figura 2. Trayectoria de mecanizado mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	24
Figura 4. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	30
Figura 3. Plano de pieza a fresar mediante función G01. Fuente (El autor).	30
Figura 5: Trayectoria cartesiana. Fuente (FAGOR 2014).	31
Figura 6. Plano de pieza a fresar mediante interpolación circular. Fuente (El autor).	31
Figura 7. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	31
Figura 8. Plano de pieza a fresar mediante interpolación circular. Fuente (El autor).	33
Figura 9. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	33
Figura 10. Plano de pieza a fresar mediante interpolación circular. Fuente (El autor).	33
Figura 11. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	34
Figura 12. Plano de pieza a fresar mediante función G08. Fuente (El autor).	35
Figura 13. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	35
Figura 15. Plano de pieza a fresar mediante función G36. Fuente (El autor).	37
Figura 14. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	37
Figura 17. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	38
Figura 16. Plano de pieza a fresar mediante función G39. Fuente (El autor).	38
Figura 18. Compensación de radio, izquierda y derecha. Fuente (FAGOR 2014).	43
Figura 19. Visualización parámetro J. Fuente (FAGOR 2014).	46
Figura 20. Visualización parámetro K. Fuente (FAGOR 2014).	46
Figura 21. Visualización plano D. Fuente (FAGOR 2014).	47
Figura 22. Visualización parámetro L. Fuente (FAGOR 2014).	48
Figura 23. Plano de pieza a fresar mediante ciclo fijo cajera rectangular. Fuente (El autor).	48
Figura 24. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	48
Figura 25. Visualización parámetro J. Fuente (FAGOR 2014).	50
Figura 26. Visualización parámetro B. Fuente (FAGOR 2014).	51
Figura 27. Visualización parámetro C. Fuente (FAGOR 2014).	51

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	11 de 133

Figura 28. Visualización parámetro D. Fuente (FAGOR 2014).	52
Figura 29. Visualización parámetro L. Fuente (FAGOR 2014).	52
Figura 30. Plano de pieza a fresar mediante ciclo fijo cajera circular. Fuente (El autor).	53
Figura 31. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	53
Figura 32. Visualización parámetro L. Fuente (FAGOR 2014).	56
Figura 33. Visualización parámetro M. Fuente (FAGOR 2014).	56
Figura 34. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	57
Figura 35. Plano de pieza a torneear mediante ciclo fijo de seguimiento de perfil. Fuente (El autor).	57
Figura 36. Visualización parámetro C. Fuente (FAGOR 2014).	59
Figura 37. Visualización parámetro D y C. Fuente (FAGOR 2014).	59
Figura 38. Visualización paso de acabado. Fuente (FAGOR 2014).	60
Figura 40. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	60
Figura 39. Plano de pieza a torneear mediante ciclo fijo de seguimiento de perfil. Fuente (El autor).	60
Figura 42. Trayectoria de mecanizado mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).	62
Figura 41. Trayectoria de mecanizado mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	62
Figura 43. Visualización de orígenes de coordenadas con diferentes fundones. Fuente (El autor).	64
Figura 44. Plano de pieza a torneear mediante función G01. Fuente (El autor).	70
Figura 45. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	70
Figura 46: Trayectoria cartesiana Fuente (FAGOR 2014).	71
Figura 47. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	71
Figura 48. Plano de pieza a torneear mediante interpolación circular. Fuente (El autor).	71
Figura 49. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	73
Figura 50. Plano de pieza a torneear mediante interpolación circular. Fuente (El autor).	73
Figura 51. Compensación de radio para herramientas de torno. Fuente (Curso programación Fanuc).	74

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	12 de 133

Figura 52. Trayecto de compensación radial a la izquierda. Fuente (Curso programación Fanuc)...	75
Figura 53. Trayectoria cido fijo de acabado. Fuente (El autor).	77
Figura 54. Trayectoria cido fijo de desbaste en el eje X. Fuente (El autor).	78
Figura 56. Plano de pieza a torneear mediante ciclo fijo G71. Fuente (El autor).	79
Figura 55. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	79
Figura 57. Trayectoria de cido fijo con desbaste en el eje Z. Fuente (El autor).	81
Figura 58. Plano de pieza a torneear mediante ciclo fijo G72. Fuente (El autor).	81
Figura 59. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	81
Figura 60. Trayectoria de cido fijo de seguimiento de perfil. Fuente (El autor).	83
Figura 61. Plano de pieza a torneear mediante ciclo fijo G73. Fuente (El autor).	83
Figura 62. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	83
Figura 63. Trayectoria de cido fijo de roscado múltiple. Fuente (El autor).	85
Figura 64. Plano de pieza a fresar mediante función G01. Fuente (El autor).	90
Figura 65. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	90
Figura 66: Trayectoria cartesiana. Fuente (FAGOR 2014).	91
Figura 67. Plano de pieza a fresar mediante interpolación circular. Fuente (El autor).	92
Figura 68. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	92
Figura 69. Plano de pieza a fresar mediante interpolación circular. Fuente (El autor).	93
Figura 70. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	93
Figura 71. Compensación radial de la herramienta a la izquierda. Fuente (FAGOR 2014).	94
Figura 72. Compensación radial de la herramienta a la derecha. Fuente (FAGOR 2014).	95
Figura 73. Trayectoria de ciclo fijo de perforación para fresa mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).....	96
Figura 74. Plano perforaciones Fuente (El autor).	97
Figura 76. Trayectoria cido roscado a la derecha. Fuente (El autor).	98
Figura 77. Plano de pieza. Fuente (El autor).	100

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	13 de 133

Figura 78. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).....	101
Figura 79. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	101
Figura 80. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	103
Figura 81. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	104
Figura 82. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	106
Figura 83. Fuente (El autor).....	107
Figura 84. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).....	108
Figura 85. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	109
Figura 86. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	111
Figura 87. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	112
Figura 88. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).	113
Figura 89. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	114
Figura 90. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	115
Figura 91. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	116
Figura 92. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	117
Figura 93. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	118
Figura 94. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	119
Figura 95. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	120
Figura 96. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	121
Figura 97. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	122
Figura 98. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	123
Figura 99. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	124
Figura 100. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	125
Figura 101. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	126
Figura 102. Plano de pieza. Fuente (El autor).....	127

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	14 de 133

1. INTRODUCCIÓN.

Los procesos de mecanizado en torno y fresa CNC (control numérico computarizado), han tenido un considerado aumento a través de los últimos años en industrias manufactureras, esto se ve favorecido gracias al nivel de precisión que se tiene en dicho proceso [1]. Sin embargo, debido al repentino crecimiento de la implementación de máquinas CNC, se evidencia una carencia de material didáctico actualizado que facilite el aprendizaje. Es por esto que se pretende realizar una guía de aprendizaje para torno y fresa CNC.

Adicionalmente, se pretende exponer conceptos básicos a tener en cuenta en la estructura de programación. Además, se dará un espacio con la finalidad de plantear la solución ejercicios de lenguaje de máquinas. Asimismo se diseñará la elaboración de ejercicios para torno y fresa CNC. Cabe resaltar que la guía de aprendizaje se hará con un enfoque de programación de forma manual.

Este documento dará cabida a la planeación de la elaboración de una guía de aprendizaje para torno y fresa CNC. Inicia con el planteando del problema con su respectiva justificación y la metodología, explicando las diferentes actividades a realizar para la elaboración de dicha guía de aprendizaje. También se dará espacio para examinar los antecedentes de interés para la elaboración de la guía de programación.

Finalmente, se espera poder generar un planteamiento valido para generar una guía de aprendizaje para torno y fresa CNC.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	15 de 133

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Según el estudio realizado por Agudelo y García, en Colombia uno de los factores en deserción escolar en los estudiantes de educación superior, se debe a la complejidad aumentada de la teoría. En su estudio “Aprendizaje significativo a partir de prácticas de laboratorio de precisión” denota la falta de compromiso por parte de los docentes en buscar nuevas estrategias pedagógicas para el desarrollo de las diferentes asignaturas [2].

Otra causa que afecta a la docencia y al trabajo al que están sometidos los estudiantes según el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) es a un proceso de aprendizaje muy pasivo. Dando solución a ello los estudiantes universitarios pasaron de ser meros espectadores en las aulas de clase, a tener una mayor participación en dichas aulas. Pues anteriormente eran los profesores los únicos partícipes en las clases [3].

En el caso de la Universidad de Pamplona, específicamente el programa de Ingeniería Mecánica cuenta con 6 laboratorios, resultando de gran interés el laboratorio de plásticos y mecanizados. En dicho laboratorio se realiza la parte práctica de las materias: procesos de manufactura; sistemas avanzados de manufactura; CIM Y FMS. Estos laboratorios prestan servicio alrededor de 185 estudiantes por semestre [4]. Sin embargo, el laboratorio carece de material didáctico acorde a las necesidades tecnológicas actuales para la realización de prácticas de vital importancia al momento de manipular y entender el proceso CNC.

De igual forma, la tecnología y los programas computacionales para el control numérico avanzan rápidamente. Sin embargo, la actualización del material didáctico no avanza a la misma velocidad. Esta situación, conlleva a que el estudiante no conozca una secuencia lógica de pasos en lenguaje de máquinas. Trayendo como consecuencia, instrucciones redundantes de programación, que a su vez generan una ineficiencia en líneas productivas de CNC. Es por eso que con este proyecto se desea realizar una guía de aprendizaje en código G para torno y fresa CNC [1].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	16 de 133

3. JUSTIFICACION.

Ante la escasez de material didáctico actualizado para las prácticas en torno y fresa CNC, se propone implementar material que aporte al correcto aprendizaje de los estudiantes, ya que sin una información accesible podría generar falencias en la formación de lenguaje G. Trayendo como consecuencia ejercicios obsoletos que no cumplirán con lo deseado en el curso y la industria. Del mismo modo, resulta de especial interés la implementación de guías de aprendizaje, visto que el empleo de recursos didácticos se considera de gran soporte para la enseñanza [5].

El interés por este tema surge gracias al crecimiento de implementación de equipos CNC en la industria, generando de esta forma una creciente demanda en personas preparadas en la manipulación de lenguaje y equipo CNC. Es por eso que se pretende llevar información detallada y específica a los estudiantes de ingeniería mecánica, ingeniería mecatrónica y diseño industrial que están cursando previamente la materia de procesos avanzados de manufactura. De igual forma dejar la información al alcance de los estudiantes y docentes que se vean atraídos por este campo de ingeniería, facilitando de esta forma el acceso al público interesado en lenguaje G [1].

Este trabajo busca realizar una guía de aprendizaje que facilitará la información para los estudiantes que estén interesados en adquirir este conocimiento, inicialmente se hará una revisión bibliográfica con el fin de aclarar conceptos básicos en lenguaje de código G. Además, esta guía contará con ejercicios solucionados, estructurando de esta forma el paso a paso de cada operación y justificando su respectiva secuencia lógica. También se llevará a cabo la realización de una serie de ejercicios propuestos sin solucionar que permitirá tener una información más completa y detallada.

Desde un punto de vista educativo este tipo de aprendizaje crea un perfil enfocado a la industria manufacturera abriendo nuevos campos laborales. Además, podría llegar a hacer un estímulo para los estudiantes que estén pensando en su trabajo de grado, ya que podrían realizar material de apoyo que ayude al programa de Ingeniería Mecánica a conservar su acreditación de calidad, ayudando de esta forma a sostener la acreditación institucional de la Universidad de Pamplona.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	17 de 133

4. OBJETIVOS.

4.1 *Objetivo General.*

- Generar una guía de aprendizaje en código G para torno y fresa CNC.

4.2 *Objetivos Específicos.*

- Exponer conceptos básicos en lenguaje de máquinas CNC, que permitan entender la serie de pasos lógicos que interpretará las respectivas máquinas.
- Presentar ejercicios resueltos con su respectivo paso a paso, facilitando de este modo información al estudiante.
- Elaborar una serie de ejercicios propuestos que permita la práctica de la programación.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	18 de 133

5. ESTADO ACTUAL.

5.1 Antecedentes.

Los procesos de mecanizados en CNC permiten fusionar diferentes tecnologías para lograr un mecanizado asistido por computador. Este tipo de instrucciones se puede hacer tanto en la pantalla de máquina o mediante un ordenador que estará previamente conectado con a la misma [6].

Debido a los avances que ha tenido la tecnología al pasar de los años, la idea de implementación de automatización en las máquinas es una idea que se debe considerar fuertemente [7], La implementación de dicha tecnología beneficia directamente a las empresas manufactureras que necesiten un nivel de precisión mucho mayor [1], ya que con una serie de pasos indicados mediante lenguaje de máquinas G, permitirá realizar movimientos repetitivos las veces que sea necesario para la fabricación de piezas [8]. Del mismo modo, la lista de materiales que se logran mecanizar es bastante grande, entre las más usados se puede mencionar el aluminio, la MDF, acero, entre otras [8]. Cabe resaltar que una de las desventajas es que no todas las piezas existentes se pueden realizar mediante un proceso de torno o fresa CNC, ya que existen algunas geometrías que resultan imposibles de realizar en estas herramientas, para estos casos se recomienda algún tipo de proceso diferente para la elaboración de dichas piezas [7]. De igual forma, se necesita de personas calificadas en programación y manipulación de equipos para operar correctamente estas máquinas [1], y una de las formas de capacitar a los estudiantes adecuadamente es mediante el material didáctico. Según García las guías ofrecen un aprendizaje individual y autónomo [9].

A continuación, se plasman los antecedentes tanto internacionales como nacionales que se encontraron en la literatura ofrecida actualmente.

5.1.1 Antecedentes internacionales.

- Fagor (2014) se evidencia una amplia información teórica con respecto al control numérico computarizado, del mismo modo se aprecia ejercicios solucionados en lenguaje CNC, tanto en Torno, Fresa y su respectiva serie de pasos, desglosando de forma individual las instrucciones a tener en cuenta para la elaboración de los comandos necesarios que se emplean al momento de programar una pieza [6].
- Gusman, Camacho (2009) Realizaron un material de aprendizaje para lenguaje de máquinas en control numérico computarizado (CNC), esto lo hicieron mediante la implementación de guías de aprendizaje práctico para el laboratorio de torno en CNC, explicando la estructura del lenguaje y los comandos a ejecutar en el respectivo software

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	19 de 133

(GSK980TD) que contaban en ese entonces, dando como resultado 9 guías prácticas para implementar en los laboratorios disponibles [10].

- Kalpakjian (2002) Este libro realizó una recolección de información manufacturera, dando cabida y especificación de forma importante a los procesos de torno y fresa, explicando los parámetros y recomendaciones a tener en cuenta a la hora de usar los respectivos procesos de producción. Además, se habla sobre los primeros pasos del control numérico (CN) que se tenía en ese entonces, resaltando la importancia sobre el lenguaje de máquinas al momento de hacer procesos repetitivos con una buena calidad [8].
- Romero, Crisol (2011), mostraron el grado de satisfacción que tuvieron los estudiantes universitarios de la Universidad de Granada en España con respecto a las guías de aprendizaje, esto fue posible mediante una investigación por encuestas. Llegaron a la conclusión que a pesar que los estudiantes consideran que estudiar de esta forma requiere de más trabajo y dedicación, afirman que estas mismas herramientas contribuyen a un mejor aprendizaje [3].
- García, De La Cruz (2014), En este documento exaltan la importancia de las guías didácticas para los estudiantes universitarios de Cuba, ya que permite la autonomía y la independencia cognitiva del estudiante, esto lo realizan mediante la exposición de fundamentos teóricos y recalando la labor tan importante que tienen los maestros como promotores de la educación [9].
- Criollo, Aguirre (2015), En este documento comprobaron la incidencia que tiene los recursos didácticos innovadores en los estudiante de 9no grado en Guayaquil-Ecuador, esto lo ejecutaron por medio de una investigación de campo que se realizó en la institución “Manuel Rendón Seminario”, obteniendo como resultado la identificación de los problemas de aula [5].
- Aviña (2011), este documento tiene como objetivo principal realizar una metodología para la capacitación en control numérico computarizado, realizando una serie guías, esto lo logra realizando un material didáctico que detalla la importancia del tema y una respectiva guía que permitirá realizar ejercicios de nivel técnico, Ingeniero y gerencia de una empresa específica [1].

5.1.2 Antecedentes nacionales.

- Agudelo, García (2010), mediante este documento se expone algunas causas sobre la deserción estudiantil en estudiantes universitarios y a su vez se busca estrategias que

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	20 de 133

permitan mejorar el rendimiento de los estudiantes, esto se hace posible con una investigación de campo, seleccionando grupos de estudiantes y analizando su evolución con estrategias de aprendizaje distintas [2].

De lo anterior mencionado cabe resaltar la importancia del conocimiento del lenguaje de máquinas en código G en los nuevos perfiles profesionales, ya que son procesos que generan una mejor precisión en comparación a los procesos convencionales [1].

Según Camacho en su tesis “Implementación De Guía De Prácticas Para La Enseñanza De La Fabricación De Elementos Maquinados Mediante El Torno Con Control Numérico Computarizado Del Laboratorio De Máquinas-Herramientas De Ingeniería Mecánica” concluye que las guías de laboratorio facilitan el aprendizaje de los estudiantes. Igualmente resalta la importancia que tiene el aprendizaje de lenguaje en máquinas CNC, siendo este un factor importante en cuanto la competitividad de los futuros ingenieros [10]. Es por eso que se pretende realizar una guía de aprendizaje en código G para torno y fresa CNC utilizando la siguiente metodología.

6. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se especifican los conceptos básicos que se requieren en la programación teniendo en cuenta dos tipos de controladores. Esta información permitirá abordar el primer objetivo dejando los dos siguientes en apartados independientes.

6.1 *Introducción a CNC.*

Es un proceso automatizado que radica en controlar las ordenes de una máquina por medio de un código que consta de caracteres numéricos y alfabéticos. Dichos códigos permiten una orientación que será interpretado por el controlador CNC, dando como resultado pulsos eléctricos que finalmente terminan en ejecuciones en tiempo real en la interacción de la máquina y la pieza a mecanizar. Asimismo, se llevará a cabo las señales de salida en el control de movimientos de las partes de la máquina [11] [10] [12].

6.1.1 ¿Cómo se puede usar el CNC?

El mecanizado CNC se puede ejecutar por medio de ordenadores que cuenten con una conexión directa a la máquina de mecanizado. Adicionalmente debe contar con un programa del tipo CAM que permita programar el código que requiera la pieza o piezas a mecanizar. Finalmente, la máquina interpretará el código suministrado con movimientos lógicos en tiempo real [11].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	21 de 133

Cabe resaltar que el código de instrucciones de ejecución también se podrá realizar por medio de la pantalla de control del equipo. Sin embargo, si se realiza las instrucciones directamente por la pantalla de la máquina no se podrá hacer una simulación de lo programado, lo cual podrá tener posibles colisiones y posteriormente estropear herramientas con las que trabaje la máquina [10].

6.1.2 Utilidades.

Los campos metalmecánicos son los principales involucrados en este proceso de mecanizado. Sin embargo, la lista de materiales posibles a mecanizar es tan amplia como los mismos materiales, ya que con sus correctos parámetros de corte de las herramientas es posible mecanizar una gran variedad de materiales. Esto permite tener variedad en cuanto a máquinas CNC se refiere [11].

Alguna de las máquinas CNC más utilizadas en la actualidad son:

- Torno.
- Fresa.
- Taladro.
- Soldadoras.
- Máquinas de corte.
- Prensas.
- Dobladoras.
- Impresoras 3D. Etc....

6.1.3 Tipos de programas CAM.

La principal función de los programas CAM es hacer un modelamiento que permita simular la fabricación de ciertas piezas, en dicho modelamiento se definirá parámetros importantes del maquinado, como, por ejemplo, los parámetros de corte, herramientas, instrucciones a realizar, etc... Esto permitirá tener una simulación previa antes del maquinado, ahorrando así costos en la fabricación [13].

Entre los programas más comunes y/o comerciales que se utilizan en la actualidad se encuentran:

- Catia V5.
- NX CAM.
- EdgeCAM.
- Mastercam.
- Autodesk Fusion 360.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	22 de 133

6.1.4 Programación según ISO.

Según Fagor, un bloque de programación en lenguaje ISO debe estar compuesto por:

- Funciones preparatorias (G).
- Cotas de los ejes (X, Y, Z...).
- Velocidad de avance (F).
- Velocidad del cabezal (S).
- Número de herramienta (T).
- Numero de corrector (D).
- Funciones auxiliares (M).

Posteriormente se debe ordenar los componentes en una secuencia lógica que permita tener un correcto funcionamiento a la hora de mecanizar los materiales en las máquinas CNC, bien sea torno o fresa CNC. De no ser programados en el orden correspondiente el CNC mostrara error [14].

6.1.5 Velocidad del cabezal (S).

La velocidad del cabezal se calcula en RPM y se tendrá en cuenta la capacidad máxima que puede tener cada máquina CNC en este parámetro. La velocidad del cabezal va a depender por el tipo de material a mecanizar. El material determinará el tipo de herramienta a emplear en el mecanizado. Para el cálculo de la velocidad del cabezal que se utilizará en cada herramienta se tendrá en cuenta ciertos aspectos (ver Ecuación 1) que serán requeridos [15].

$$S = \frac{Vc * 1000}{\pi * D}$$

Ecuación 1

Donde.

S: Velocidad del cabezal (RPM).

Vc: Velocidad de corte (m/min).

π : Constante (3.1416).

D: diámetro de la herramienta a utilizar (mm).

La velocidad de corte (Vc) y el diámetro de la herramienta (D), está dado por el catálogo que proporciona el fabricante de la herramienta [15].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	23 de 133

En caso de tener decimales en el resultado de la operación se recomienda no aproximar, ya que el resultado dado es el límite en que trabajará la herramienta de manera óptima y con un buen rendimiento [11].

Se debe tener en cuenta que para cada herramienta se hará un cálculo de velocidad del cabezal, debido a que algunos procesos necesitan de 2 o más tipos de herramientas para lograr la geometría deseada. No realizarlo puede traer como consecuencia un incorrecto uso y se podrá reducir la vida útil de la herramienta o perder tiempo en el maquinado [11].

6.1.6 Velocidad de avance (F).

La herramienta seleccionada y el valor definido por la velocidad del cabezal proporcionan la información necesaria para definir el avance F. Para definir este parámetro se debe tener en cuenta la Ecuación 2 [15].

$$F = (f \cdot z) \cdot S$$

Ecuación 2

Donde.

F: Velocidad de avance (mm/min).

f: Avance por diente (mm/RPM).

z: Número de dientes.

S: velocidad del cabezal (RPM).

El avance por diente (f) y el número de diente (z) debe ser proporcionado por el fabricante en el catálogo de herramientas empleadas en el mecanizado [15].

Se debe tener en cuenta que para cada herramienta se hará un cálculo de velocidad de avance, ya que algunos procesos necesitan de 2 o más tipos de herramientas para lograr la geometría a mecanizar, esto puede traer como consecuencia una reducción de la vida útil de la herramienta o perder tiempo en el maquinado [11].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	24 de 133

6.2 Controlador Fagor 8050

A continuación, se dispone de las explicaciones básicas para un controlador Fagor el cual es muy encontrado en los simuladores, por esta razón se considera necesario incluir las instrucciones básicas de su uso, es preciso recordar que este trabajo se fundamenta especialmente en el controlador de FANUC.

6.2.1 Cotas de los ejes (X, Y, Z...).

Al igual que las funciones preparatorias, el componente de dicha instrucción debe especificar una letra. La letra identifica el plano en el que se desea realizar una operación. Así mismo, será acompañada de un número (el número puede ser digitado en decimal). El límite de las dimensiones a programar dependerá de la máquina de trabajo que efectúe el maquinando. Las siguientes figuras dan un ejemplo de programación en el eje Z (perpendicular al plano X, Y) [14].

Suponiendo que las unidades están programadas en milímetros.

G01 Z-5 → Perforación de 5 mm en la pieza
↓
Interpolación lineal

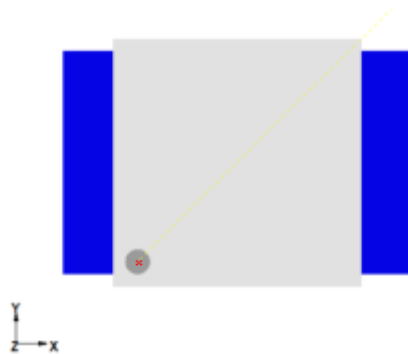


Figura 1. Trayectoria de mecanizado mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

G01 X80 → Trayectoria en el eje X, 80mm
↓
Interpolación lineal

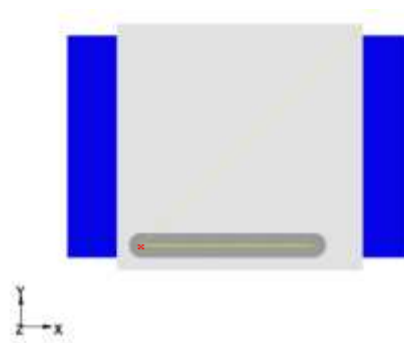


Figura 2. Trayectoria de mecanizado mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

Donde X representa la coordenada 0,0 en el plano X, Y.

En la Figura 1, el desplazamiento lineal se realizó en el eje Z negativo, es decir, se realizó una perforación de 5 mm en el material a mecanizar. En la Figura 2 se evidencia un desplazamiento del husillo en el eje X.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	25 de 133

6.2.2 Funciones preparatorias (G).

Para la realización de las funciones preparatorias se debe emplear la letra G, seguida de números que indiquen el tipo de función a ejecutar. Estas funciones pueden ir de movimientos de máquina, hasta la definición de unidades en la cual se va a trabajar (in, mm). Los números pueden ir de un dígito hasta tres dígitos [6] [16]. Entre las funciones más comunes se encuentran las mostradas en la Tabla 1.

Código	Función
G00	Posicionamiento rápido.
G01	Interpolación lineal.
G02	Interpolación circular en sentido horario.
G03	Interpolación circular en sentido antihorario.
G06	Centro de circunferencias en coordenadas absolutas.
G08	Circunferencia tangente a trayectoria anterior.
G09	Circunferencia por 3 puntos.
G10	Anulación de imagen espejo.
G11	Imagen espejo en X.
G12	Imagen espejo en Y.
G13	Imagen espejo en Z.
G14	Imagen espejo en las direcciones programadas.
G15	Selección de eje longitudinal.
G33	Roscado electrónico.
G36	Redondeo de aristas.
G37	Entrada tangencial.
G38	Salida tangencial.
G39	Achaflanada.
G40	Anulación de compensación radial.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	26 de 133

G41	Compensación radial de la herramienta a la izquierda.
G42	Compensación radial de la herramienta a la derecha.
G43	Compensación longitudinal.
G44	Anulación de compensación longitudinal.
G54	Traslado del origen absoluto.
G70	Programación en pulgadas.
G71	Programación en milímetros.
G72	Factor de escala general y particulares.
G73	Giro del sistema de coordenadas.
G66	Ciclo fijo de seguimiento de perfil (para torno).
G68	Ciclo fijo de desbastado en el eje X (para torno)
G87	Ciclo fijo de cajera rectangular (para fresa).
G88	Ciclo fijo de cajera circular (para fresa).
G90	Programación en coordenadas absolutas.
G91	Programación en coordenadas incrementales.
G93	Preselección de origen polar.
G94	Avance en milímetros (pulgadas) por minuto.
G95	Avance en milímetros (pulgadas) por revolución.
G96	Velocidad de avance constante.

Tabla 1. Principales códigos G para torno y fresa para controlador Fagor 8050.

6.2.3 Herramientas (T).

En CNC se puede manejar diferentes tipos de herramientas, entre las cuales se puede encontrar las herramientas de arranque de virutas, siendo estas las más usadas en torno y fresa CNC [11].

Este grupo de herramientas toleran un proceso de arranque de material que permite maquinar una pieza hasta llegar a la geometría deseada por el plano de fabricación [15] [11].

Para hacer el llamado de herramienta, en el banco de herramienta, se debe programar la letra T seguido de un carácter numérico que identifique al número de herramienta correspondiente a

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	27 de 133

la(s) herramientas a utilizar en el proceso. Es decir, si se necesita programar la herramienta 10 solo se digita T10, así sucesivamente con todas las herramientas a utilizar en el maquinado [14].

6.2.3.1 Cambio de herramienta.

El cambio de herramienta es una función muy útil en el mecanizado CNC. Esta función permite hacer un cambio de herramienta en el mismo código de mecanizado. Facilita el cambio de herramienta con el programa en ejecución y sin paradas inesperadas [6].

Según HAAS en su instructivo de programación, indica que, para hacer un cambio de herramienta se debe teclear M06, ya que al leer la máquina esta función detendrá automáticamente el husillo y el refrigeramiento (si el mecanizado lo está utilizando). Seguidamente se debe digitar la nueva herramienta a utilizar, es decir, si se tiene en funcionamiento la herramienta T10 y se quiere utilizar la herramienta T05 se debe digitar lo siguiente en un bloque de código [16].

M06 T05 → Herramienta número 5.
↓

Cambio de herramienta.

De ser necesario en esa misma línea se debe hacer el cambio de F y S [14].

De esta forma se hará el cambio de herramienta. Esta función puede ser utilizada las veces que sea necesario para maquinar la geometría que indique el plano [16].

6.2.3.2 Corrector D.

El corrector de herramientas es una función de vital importancia al momento de mecanizar. Esta función permite hacer una compensación de la herramienta. Por ese motivo las dimensiones de la herramienta no alteran la geometría deseada [16].

El corrector puede ser el mismo para diferentes herramientas, ya que pueden existir herramienta que hagan diferentes funciones de mecanizado, pero a su vez tengan las mismas dimensiones. Estos correctores se deben digitar después de teclear la herramienta, en caso de cambiar herramienta, pero no cambiar corrector, la CNC mantiene el corrector que fue digitado anteriormente [14]. Ver Tabla 2.

Ejemplo	Descripción
T10 D10	Programación correcta del corrector después de programar la herramienta.
M06 T05	Programación de cambio de herramienta, pero sin cambio de corrector, de esta

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	28 de 133

	forma el corrector sigue siendo D10.
M06 T08 D15	Programación de cambio de herramienta y con cambio de corrector.

Tabla 2. Ejemplo Cambio de herramienta y corrector.

6.2.4 Funciones auxiliares.

Estas funciones permiten tener intervenciones radicales en la máquina y el programa. Para programar estas funciones se debe digitar la lera M seguido del número que corresponda a la función requerida. La Tabla 3 muestra la lista de funciones auxiliares más comunes en la programación CNC [16] [14] [6].

Código	Función
M00	Parada del programa.
M01	Para condicional del programa.
M02	Final del programa.
M03	Giro del cabezal a la derecha.
M04	Giro del cabezal a la izquierda.
M05	Parada del cabezal.
M06	Cambio de herramienta.
M19	Parada orientada del cabezal.
M30	Final del programa con vuelta al comienzo.
M41, M42, M43, M44	Definir las gamas de velocidades máximas del cabezal.
M45	cabezal auxiliar/ herramienta motorizada.

Tabla 3. Funciones auxiliares para controlador Fagor 8050.

6.2.5 Planos de mecanizado G17, G18 y G19.

Estas funciones permiten seleccionar el plano a mecanizar. La selección dependerá de la geometría que se necesite trabajar. Para esto se tienen las funciones de la Tabla 4 que representan los planos [6].

G17	Plano X, Y. Profundidad Z.
-----	----------------------------

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	29 de 133

G18	Plano Z, X. Profundidad Y.
G19	Plano Y, Z. Profundidad X.

Tabla 4. Códigos para planos de mecanizado controlador Fagor.

En fresa es muy utilizada la función G17, sin embargo, esto dependerá del mecanizado que se deba realizar [14].

En torno la función más usada es la función G18 [6].

6.2.6 Control de trayectoria.

La programación en CNC permite el desplazamiento entre uno o más ejes, según lo necesite la geometría a mecanizar. Además, permitirá las cotas en el sistema internacional o en sistema inglés, según se determine en el código que ejecutará la fabricación de la pieza [14]. A continuación, se describen los desplazamientos con trayectoria básica.

6.2.6.1 Posicionamiento rápido G00.

Es una trayectoria en línea recta del punto de inicio al punto final, este posicionamiento se realiza independientemente de los ejes a trabajar [17].

Al realizar este posicionamiento no se pierde el valor de la última velocidad de avance que se programó. El posicionamiento rápido no toma en cuenta la velocidad de avance definida. La velocidad de esta función es independiente y únicamente se utiliza para evitar pérdidas de tiempo innecesarias. Su función es posicionar la herramienta lo más cerca posible de la pieza a mecanizar sin que estas dos choquen. Si esto llega a ocurrir habrá colisiones y posibles daños en las herramientas [6].

6.2.6.2 Interpolación lineal G01.

La interpolación lineal, es un corte en línea recta que será definido por las cotas en el eje X, Y, Z. El CNC calcula el avance de cada eje para que la trayectoria resultante cumpla con la velocidad de avance que haya sido programada anteriormente. Esta línea recta cubre la trayectoria del punto de inicio hasta el punto final [14] [16] [18].

Ejemplo.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	30 de 133

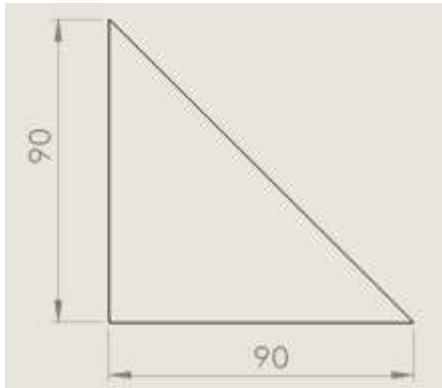


Figura 4. Plano de pieza a fresar mediante función G01. Fuente (El autor).

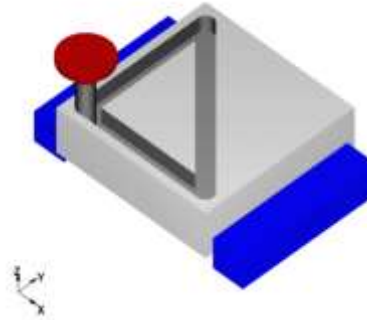


Figura 3. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

En la Figura 3 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 4 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

PROGRAMACIÓN.

```

N010 (ORGX54=-150, ORGY54=-150, ORGZ54=-100) ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54 ; Origen de coordenadas G54.
N030 T1 D1 M06 ; Cambio de herramienta.
N040 M03 ; Encendido de husillo con giro a la derecha.
N050 G0 G90 X10 Y10 Z2 ; Posicionamiento rápido.
G01 X10 Y10 Z-10 ; Inicio de interpolación lineal.
X10 Y90 Z-10
X90 Y10 Z-10
X10 Y10 Z-10 ; Fin de interpolación lineal.
N060 M30 ; Fin del programa.

```

6.2.6.3 Interpolación circular G02, G03.

La interpolación circular se puede hacer de 2 formas distintas. Sentido horario y sentido antihorario. En la Tabla 5 se muestra la forma de programar [16].

Función	Descripción
G02	Interpolación circular a la derecha (horario)
G03	Interpolación circular a la izquierda (antihoraria)

Tabla 5. Códigos de interpolación circular.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	31 de 133

6.2.6.3.1 Interpolación circular mediante coordenadas cartesianas.

La velocidad de avance se mantendrá constante a la definida en el inicio del programa o a la última actualización del programa en **F** [17].

Esta coordenada será definida por el final del arco y por la posición del centro con respecto al punto de partida. De igual forma, será definido por los ejes del plano de trabajo [14].

las cotas del medio se definirán en radios mediante las letras I, J, K. Los ejes en el plano para dicha programación cambiarán de la siguiente manera [6].

X -> I.

Y -> J.

Z -> K.

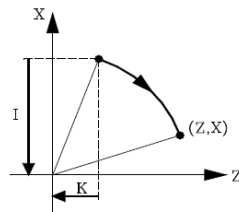


Figura 5: Trayectoria cartesiana. Fuente (FAGOR 2014).

En la Figura 5 se muestra la manera en la cual se acota el radio mediante coordenadas cartesianas, en este caso se puede notar que el trabajo se hace en el plano Z, X, pero su denotación cartesiana se hace con K, I respectivamente [6].

Ejemplo.

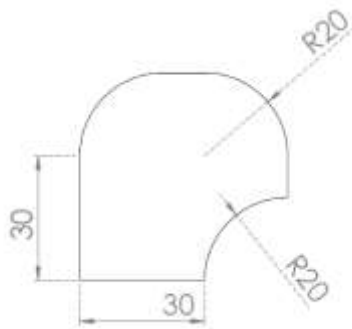


Figura 6. Plano de pieza a fresar mediante interpolación circular. Fuente (El autor).

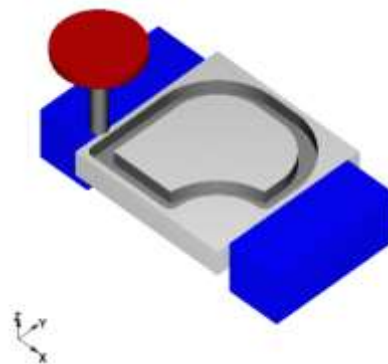


Figura 7. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	32 de 133

En la Figura 6 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 7 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

Programación.

```

N010 (ORGX54=-105, ORGY54=-105, ORGZ54=-100) ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54 ; Origen de coordenadas G54.
N030 T3 D3 M06 ; Cambio de herramienta.
N040 M03 ; Encendido de husillo con giro a la derecha.
N050 G0 G90 X30 Y0 Z10 F100 S1000 ; Posicionamiento rápido y parámetros de corte
N060 G01 Z-5 ; Inicio de interpolación lineal.
N070 X0 Y0
N080 X0 Y30 ; Final de interpolación lineal.
N090 G02 X20 Y50 I20 J0 ; Interpolación circular horaria cartesianas
N100 G01 X30 Y50 ; Interpolación lineal.
N110 G02 X50 Y30 I0 J-20 ; Interpolación circular horaria cartesianas
N090 G01 X50 Y20 ; Interpolación lineal.
N100 G03 X30 Y0 I0 J-20 ; Interpolación circular antihoraria carte.
N110 G01 X0 Y0
N120 Z10
N130 M30 ; Final del programa.

```

6.2.6.3.2 Coordenadas polares circulares.

Se debe iniciar con la definición de un punto polar que será tenido en cuenta para hacer el desplazamiento, luego se debe definir el ángulo hasta donde se va a mecanizar, para hacer esto se debe digitar con la letra Q, seguido de los grados necesarios para el maquinado. Los valores pueden ser positivos y negativos [14].

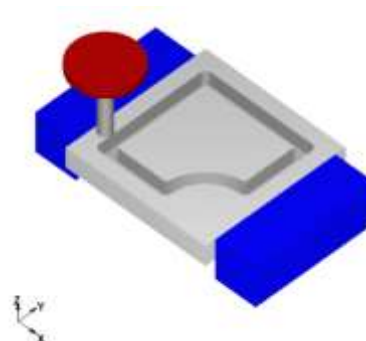
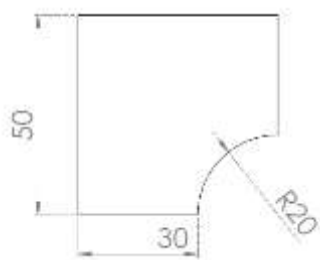
Los ejes en el plano cambiarán de la siguiente manera.

X -> I.

Y -> J.

Z -> K.

Ejemplo.



	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	33 de 133

Figura 8. Plano de pieza a fresar mediante interpolación circular. Fuente (El autor).

Figura 9. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

En la Figura 8 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 9 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

Programación.

```

N010 (ORGX54=-100, ORGY54=-100, ORGZ54=-100) ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54 ; Origen de coordenadas.
N030 T3 D3 M06 ; Cambio de herramienta.
N040 M03 ; Encendido de husillo en sentido horario.
N050 G0 G90 X0 Y0 Z10 F100 S1000 ; Posicionamiento rápido y parámetros de corte.
N060 G01 Z-5 ; Inicio de interpolación lineal.
N070 X0 Y50
N080 X50 Y50
N090 X50 Y20 ; Fin de interpolación lineal.
N100 G93 I50 J0 ; Definición de centro polar.
N100 G03 Q180 ; Interpolación circular antihorario polar.
N110 G01 X0 Y0
N120 M30 ; Final de programa.

```

6.2.6.3.3 Coordenadas cartesianas con programación de radio.

Para acceder a esta función se debe identificar el sentido a mecanizar, bien sea horario o antihorario, seguidamente se debe definir el punto inicial en el cual se desea hacer el desplazamiento, posteriormente se debe definir el punto final del desplazamiento. Finalmente, se debe suministrar el radio el cual va a terminar de proporcionar la información de la interpolación. Para determinar el radio se debe digitar con la letra R mayúscula, seguido de la medida en mm o en in (según el sistema de medición programado) [6].

Esta es una de las formas más comunes en programar, ya que su denotación es muy sencilla. Sin embargo, el método a utilizar en el mecanizado de una pieza está regido por el plano, cada plano proporciona información diferente y en algunos casos los planos con la información suministrada limita a utilizar un método en específico [14].

Ejemplo.

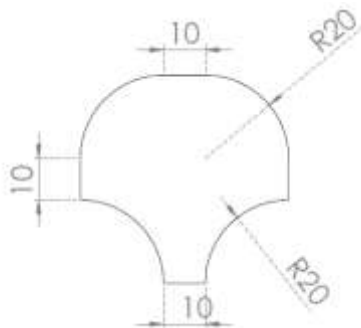
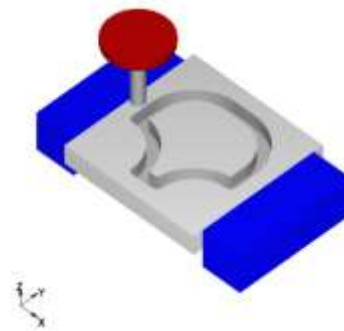


Figura 10. Plano de pieza a fresar mediante interpolación circular. Fuente (El autor).



	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	34 de 133

En la Figura 11. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor). Figura 10 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 11 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

Programación.

```

N010 (ORGX54=-105, ORGY54=-105, ORGZ54=-100) ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54 ; Origen de coordenadas.
N030 T3 D3 M06 ; Cambio de herramienta.
N040 M03 ; Encendido de husillo en sentido horario.
N050 G0 G90 X30 Y0 Z10 F100 S1000 ; Posicionamiento rápido y parámetros de corte.
N060 G01 X20 Y0 Z-5 ; Interpolación lineal.
N070 X30 Y0 ; Interpolación circular horaria con radio.
N080 G02 X50 Y20 R20 ; Interpolación circular antihoraria con radio.
N090 G01 X50 Y30 ; Interpolación circular antihoraria con radio.
N100 G03 X30 Y50 R20 ; Interpolación circular antihoraria con radio.
N110 G01 X20 Y50 ; Interpolación circular horaria con radio.
N120 G03 X0 Y30 R20 ; Interpolación circular horaria con radio.
N130 G01 X0 Y20 ; Final del programa.
N140 G02 X20 Y0 R20
N150 G01 Z40
N160 M30

```

6.2.6.4 Interpolación circular con centro del arco en coordenadas absolutas G06.

Al realizar la interpolación circular con este método se puede interpolar las cotas en el centro del arco en coordenadas absolutas. A diferencia de los métodos anteriores, este permitirá definir el centro del arco desde el centro de origen y no en el inicio del mismo. Se debe tener en cuenta que al utilizar esta función se programará G03, G02 al iniciar la línea en el cual se dará la instrucción [6] [14].

6.2.6.5 Trayecto circular tangente a la trayectoria G08.

La trayectoria circular tangencial al punto anterior no necesita de programar cotas I, J, K. De esta forma traerá como beneficio la simplificación de la complejidad del programa. Para hacer un correcto uso de esta función se deberá programar al inicio de cada línea que se desee implementar la instrucción de trayectoria circular. La función no permanece activa [6] [14].

Ejemplo.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	35 de 133

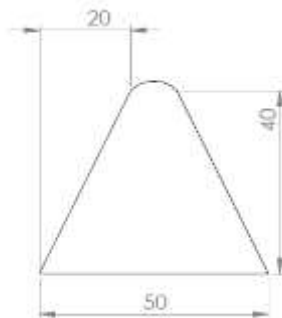


Figura 12. Plano de pieza a fresar mediante función G08. Fuente (El autor).

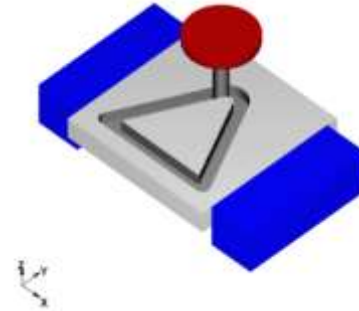


Figura 13. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

En la Figura 12 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 13 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

Programación.

```

N010 (ORGX54=-100, ORGY54=-100, ORGZ54=-100) ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54 ; Origen de coordenadas.
N030 T3 D3 ; Herramienta y corrector número 3.
N040 M06 ; Función auxiliar de cambio de herramienta.
N050 G0 G90 X20 Y40 Z10 M03 ; Posicionamiento rápido y encendido de husillo
; En sentido horario.
N060 G01 Z-5 ; Inicio de interpolación lineal.
N070 X0 Y0
N080 X50 Y0
N085 X30 Y40 ; Fin de interpolación lineal.
N090 G08 X20 Y40 ; Trayecto circular tangente.
N100 M30 ; Final del programa.

```

Esta función puede ser utilizar únicamente si anteriormente del círculo hay una recta [14].

Se debe tener en cuenta que con esta función no será posible programar un círculo completo. El CNC encontrará infinitas soluciones, generando un error en el programa [6].

6.2.6.6 Trayectoria circular definida por 3 puntos G09.

Para ejecutar esta función se debe programar el punto final y el punto intermedio de la trayectoria curva. El punto inicial será tomado de la posición anterior en donde termino el husillo. Cabe aclarar que el punto intermedio no necesariamente tiene que ser la mitad del círculo, este punto puede ser cualquiera en la trayectoria circular [6] [14].

Para digitar la función en la línea de código se debe introducir el punto final en coordenadas cartesianas o polares, seguido de la ubicación del punto intermedio que será definido únicamente en coordenadas cartesianas y con los ejes I, J, K, correspondientes [6] [14].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	36 de 133

Para disponer de esta función se debe programar G09 al inicio de cada línea que se quiera hacer una trayectoria circular a tres puntos. Ésta, a su vez, es compatible con las funciones G01, G02, G03. Para hacer esta trayectoria circular a tres puntos no es necesario programar G02 o G03 [6] [14].

6.2.6.7 *Entrada tangencial al comienzo del mecanizado G37.*

Esta función permite enlazar tangencialmente 2 trayectorias sin necesidad de calcular los puntos de intersección. Para hacer uso de esta función se debe dar información del radio que tendrá intervención en la entrada tangencial. Sin embargo, esto solo puede ser posible si el bloque en el cual se programará G37 contiene movimientos rectilíneos, es decir, esta función no es compatible con funciones G02 Y G03 [6] [14].

Para utilizar esta función se debe digitar G37, de no ser digitado el programa no asume esta función. Si esta misma función fue digitada en alguna línea de código anterior, el CNC no guardará dicha información y mostrará error o mecanizará de manera incorrecta [6] [14].

6.2.6.8 *Salida tangencial al final del mecanizado G38.*

Esta función permite finalizar un mecanizado con una salida tangencial de la herramienta para la trayectoria siguiente, es decir, puede ser utilizada en la misma línea en la cual se estableció una interpolación circular, G02 Y G03. Para utilizar esta función se debe digitar G38 cada vez que se requiera una salida tangencial al final del mecanizado, de igual forma, se debe digitar el valor del radio con el cual va a influir la salida tangencial. Los radios suministrados deben ser positivos [6] [14].

6.2.6.9 *Redondeo controlado de arista G36.*

Esta función permite hacer un redondeo en las esquinas del mecanizado, para esto se debe programar G36 en la línea que requiera terminar la recta, también se debe proporcionar el radio R con el que se redondeará la arista en el mecanizado, el valor del radio siempre debe ser positivo y debe ser digitado después de la función G36. Esta función siempre debe ser digitada cuando se requiera mecanizar las aristas y se hace al inicio de la línea de código [14].

Se debe tener en cuenta que esta función otorga facilidad al momento de hacer estos redondeos ya que no se necesitará de las funciones G02 y G03. Sin embargo, esta facilidad trae como consecuencia la baja de precisión en el mecanizado, en otras palabras, no es recomendable si la pieza requiere encajar con precisión con otra [19].

Ejemplo.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	37 de 133

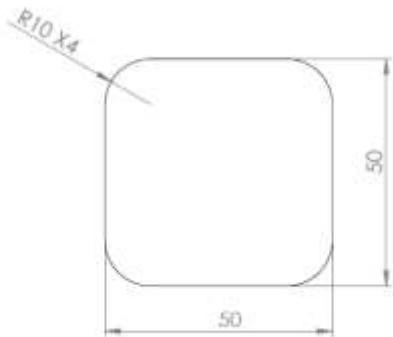


Figura 14. Plano de pieza a fresar mediante función G36. Fuente (El autor).

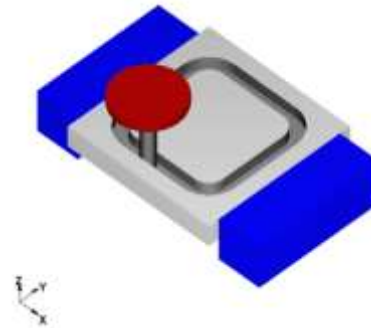


Figura 15. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

En la Figura 15 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 14 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

Programación.

```

N010 (ORGX54=-100, ORGY54=-100, ORGZ54=-100) ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54 ; Origen de coordenadas.
N030 T3 D3 ; Herramienta y corrector número 3.
N040 M06 ; Función auxiliar de cambio de herramienta.
N050 G0 G90 X20 Y0 Z10 M03 ; Posicionamiento rápido y encendido de
; Husillo horario.
N060 G01 Z-5 ; Interpolación lineal.
N070 G36 R10 X50 Y0 ; Inicio de redondeos.
N080 G36 R10 X50 Y50
N090 G36 R10 X0 Y50
N100 G36 R10 X0 Y0
N110 G36 R10 X20 Y0 ; Fin de redondeos.
N060 M30 ; Final del programa.

```

6.2.6.10 Achaflanado G39.

Esta función permite hacer un chaflan en la arista entre dos líneas rectas, para hacer la correcta programación de esta función se debe aplicar en la línea que se define el final del desplazamiento donde se quiere mecanizar el chaflan. Para utilizar esta función se debe digitar G39, seguida del radio R que sea definido en el plano de mecanizado. El G39 debe ser digitado cada vez que se necesite mecanizar un chaflan. El radio suministrado debe ser siempre positivo [14].

Se debe tener en cuenta que esta función otorga facilidad al momento de hacer los chaflanes, ya que no se necesitará de hacer interpolaciones lineales definiendo los chaflanes. Sin embargo, esta facilidad trae como consecuencia la baja de precisión en el mecanizado, lo cual no es recomendable si la pieza requiere encajar con precisión en otra [19].

Ejemplo.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	38 de 133

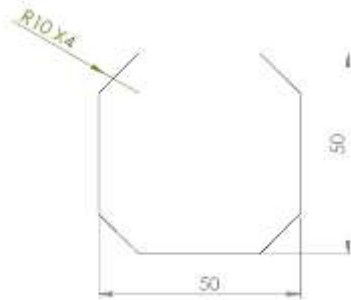


Figura 17. Plano de pieza a fresar mediante función G39. Fuente (El autor).

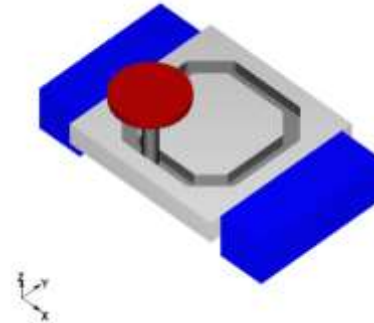


Figura 16. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

En la Figura 16 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 17 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

Programación.

```

N010 (ORGX54=-100, ORGY54=-100, ORGZ54=-100) ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54 ; Origen de coordenadas.
N030 T3 D3 ; Herramienta y corrector número 3.
N040 M06 ; Función auxiliar de cambio de herramienta.
N050 G0 G90 X20 Y0 Z10 M03 ; Posicionamiento rápido y encendida de
; Husillo horario
N060 G01 Z-5 ; Interpolación lineal.
N070 G39 R10 X50 Y0 ; Inicio de achaflanados.
N080 G39 R10 X50 Y50
N090 G39 R10 X0 Y50
N100 G39 R10 X0 Y0
N110 G39 R10 X20 Y0 ; Final de achaflanados
N120 M30 ; Final del programa.

```

6.2.6.11 Roscados electrónicos para torno G33.

Esta función puede ser empleada únicamente si la máquina CNC está dotada de un captor rotativo. Para hacer una correctiva programación se debe digitar de la siguiente manera [6].

G33 X-- Z-- L—Q—

Donde.

X, Y -> Son las coordenadas a mecanizar, puede ser solo una coordenada en la línea de código. Esto dependerá del tipo de roscado que se necesite.

L -> Paso del roscado, depende del diseño.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	39 de 133

Q -> Opcional, indica la posición angular del roscado.

Al momento de utilizar esta función no se permitirá cambiar los valores de la velocidad de avance F ni tampoco de la velocidad del cabezal S [6].

Al ejecutar un roscado electrónico se debe digitar la función G33. Hay que tener en cuenta que en la misma línea de código no se puede usar las funciones G00, G01, G02, G03, G34 y G75, ya que no son compatibles [6].

Los diferentes tipos de roscados programables son:

- Roscado longitudinal.
- Roscado longitudinal múltiple.
- Roscado cónico.
- Empalme de roscado.

Roscado de paso variable.

Esta función permite mecanizar un roscado de paso variable, sin embargo, el cabezal de la máquina debe contar con un captor rotativo. Su forma de programar correctamente es la siguiente [6].

G 34 X** Z** L** Q** K**

Donde:

X, Z-> Es la coordenada a la cual se va a mecanizar la rosca.

L -> es el paso de la rosca.

Q -> es opcional, posición angular del cabezal.

K -> incremento o decremento del paso de la rosca por giro del cabezal.

Cabe aclarar que mientras esté activa esta función no se podrá variar o cambiar la velocidad de avance F ni tampoco la velocidad del cabezal S [6].

Cuando se usa la función G34 hay que tener en cuenta que en la misma línea de código no se puede usar las funciones G00, G01, G02, G03, G34 y G75, ya que no son compatibles. Si se quiere empalmar un roscado de paso constante con uno de paso variable se debe coincidir el paso en el empalme del roscado, de lo contrario no será posible empalmar el roscado [6].

El roscado variable con un paso constante se deberá realizar con la misma función G34, solo que los parámetros de L y K serán cero. L=0, K=0 [6].

Es importante recordar que no es posible empalmar 2 roscados variables.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	40 de 133

6.2.6.12 Retirada de ejes en roscado ante una parada G233.

Es una función que permite programar la distancia de seguridad a la que se retirará los ejes en caso que se interrumpa un roscado, estas paradas pueden ser ocasionadas por paradas de emergencia, esta función debe programarse una línea antes de programar G33 [6].

Para programar correctivamente G233 se deberá hacer de la siguiente forma.

G233 X** Z**

Donde X y Z se darán las coordenadas donde se retirarán los ejes en caso de un repentino paro en el proceso.

Después de una parada de emergencia el ciclo se volverá hasta el punto de inicio. Una vez puesto en marcha nuevamente la máquina repetirá desde el inicio el ciclo [6].

6.2.7 Funciones preparatorias.

A continuación se detallan las funciones preparatorias más relevantes.

6.2.7.1 Funciones imagen espejo G10 G11, G12, G13, G14.

Según Fagor las funciones imagen espejo son las siguientes [14].

G10 -> Anulación imagen espejo.

G11 -> Imagen espejo en el eje X.

G12 -> Imagen espejo en el eje Y.

G13 -> Imagen espejo en el eje Z.

G14. -> Imagen espejo en cualquier eje o en varios ejes a la vez.

Las funciones G11, G12, G14, pueden ser programadas en el mismo bloque si el mecanizado así lo requiera. Estas funciones quedarán activas hasta que la función G10 sea activada, en el mismo bloque donde se programe G11, G12 y G13 no se podrá programar las funciones G10 y G14, ya que son incompatibles [14].

En caso de una parada de emergencia el CNC ejecutará el G10 por defecto.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	41 de 133

6.2.7.2 Factor de escala G72.

Esta función permite ampliar o reducir piezas programadas, es decir, se podrá mecanizar piezas con la misma geometría, pero de diferentes dimensiones, haciendo esto con el mismo programa [6] [14].

Existen 2 formas de utilizar la función G72.

- Factor de escala aplicado a todos los ejes.
- Factor de escala aplicado a uno o más ejes.

Esto dependerá del tipo de mecanizado que se esté efectuando.

6.2.7.2.1 Factor de escala aplicado a todos los ejes.

Para programar el factor de escala en todos los ejes correctamente se debe digitar en un bloque de código lo siguiente.

G72 S**

Donde:

S -> Factor de escala.

Para tener un buen mecanizado se debe elegir un nuevo punto de origen donde se mecanizará con el factor de escala. El factor de escala seguirá activo hasta cambiar de escala o la debida anulación de la misma. Para anular esta función se debe programar en un bloque lo siguiente [14].

G72 S1

Los valores de S deben ser siempre positivos, en caso de buscar una reducción de escala se deberá asignar valores menores de uno en el parámetro S, es decir, si se necesita mecanizar una pieza con la misma geometría, pero con la mitad de tamaño se deberá digitar en un bloque lo siguiente [6].

G72 S0.5

6.2.7.2.2 Factor de escala aplicado a uno o más ejes.

Para tener una correcta programación se debe digitar en un bloque de la siguiente forma.

G72 X** Y**

Donde se debe definir el valor de escala en cada eje [14].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	42 de 133

6.2.7.3 Giro del sistema de coordenadas G73.

Esta función permite girar el sistema de coordenadas tomando un centro de giro o el origen de coordenadas, esto depende de lo requerido por el mecanizado. Para programarlo en un bloque se debe digitar lo siguiente [6] [14].

G73 Q** I** J**

Donde:

Q -> Indica el ángulo de giro deseado.

I, J -> Es opcional y define el centro de giro, si no se define se hará el giro con respecto al origen de coordenadas.

Para los valores de I, J, debe ser en cotas absolutas y con respecto al origen de coordenadas [6].

Si la función G73 está activa con la función imagen espejo, primero se ejecutará la función imagen espejo y luego la función G73, por eso es recomendable utilizarla sin que la función imagen espejo este activada [6].

Para anular la función G73, se debe programar G73 sin ningún valor del ángulo ni las cotas cartesianas [6].

6.2.8 Compensación de herramientas.

6.2.8.1 Compensación de radio de herramientas G40, G41 y G42 para fresa.

En el maquinado con fresa se necesita calcular y definir la trayectoria de las herramientas, esto se debe hacer considerando el radio de la misma. Además, al momento de utilizar la compensación de herramienta será de vital importancia definir el plano en el cual se desea mecanizar. Para estas consideraciones se cuenta con 3 funciones de compensación de radio de herramienta [16].

G40 -> Anulación de la compensación de radio de herramienta.

G41 -> Compensación de radio de herramientas a la izquierda. Ver con más detalle en la página 94

G42-> Compensación de radio de herramientas a la derecha. Ver con más detalle en la página 94

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	43 de 133

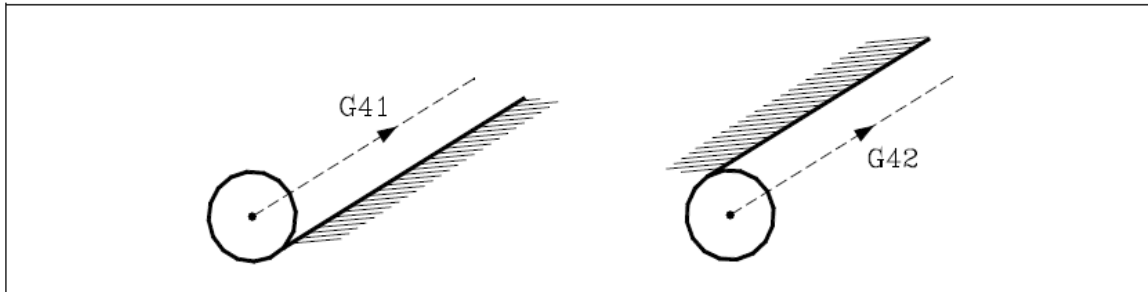


Figura 18. Compensación de radio, izquierda y derecha. Fuente (FAGOR 2014).

En la imagen Figura 18, se evidencia la compensación de la máquina a la izquierda y a la derecha. Los valores del corrector de cada herramienta deben estar almacenados en la tabla de correctores antes de comenzar el mecanizado. Las funciones G41, G42, permanecerán activas hasta que se desee anular. Las funciones G41, G42 serán anuladas al digitar las siguientes funciones [14].

G40 -> Anulación de compensación de radio de herramienta.

G04 -> Interrumpir la preparación de bloque.

G53 -> Programación con respecto al cero de máquina.

G54 -> Búsqueda del cero.

De igual forma se verá anulada las funciones G41, G42, una vez programados ciclos fijos (G81, G82, G83, G84, G85, G86, G87, G88, G89). De igual forma, al ejecutarse M02 y M30, o después de una parada de emergencia se anularán las funciones de compensación de radio [14].

Inicio de compensación radial de la herramienta.

La función T y D, o en su defecto solo la función T que se utilice en la operación de mecanizado, debe ser programada en el mismo bloque o en el bloque anterior de la compensación radial, esto se hace con el fin de que la función tome los datos correspondientes a la operación y así generar un debido mecanizado, de lo contrario no se tendrá en cuenta la herramienta y/o el corrector correspondiente [14].

Para realizar la compensación de herramientas se debe tener en cuenta que se puede realizar únicamente cuando están activas las funciones de movimientos rectilíneos, es decir, las funciones G00 y G01 [14].

6.2.8.2 Compensación de longitud de herramienta G43, G44, G15.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	44 de 133

6.2.8.2.1 Compensación de longitud de herramienta para fresa.

Esta función permite compensar posibles diferencias de longitudes entre la herramienta programada y la herramienta a utilizar. Esta función de compensación puede llegar a ser definida por G15 o se definirá en los ejes perpendiculares de las siguientes funciones [16].

G17 -> Compensación longitudinal en el eje Z.

G18 -> Compensación longitudinal en el eje Y.

G19 -> Compensación longitudinal en el eje X.

Para la compensación longitudinal se manejan las siguientes funciones.

G43 -> Compensación longitudinal de la herramienta.

G44 -> Anulación de la compensación longitudinal.

La función G43 permanecerá activa al momento de utilizar ciclos fijos, sin embargo, se debe programar antes de programar ciclos fijos [16].

6.2.9 Ciclos fijos para fresa.

6.2.9.1 Cajeras rectangulares G87.

Esta función permite mecanizar una cajera rectangular en los parámetros establecidos por el programador. Al finalizar cada ciclo permite una salida tangencial. La velocidad de avance para esta función será la establecida anteriormente por el programa, excepto la pasada de acabado (última pasada), este parámetro se debe digitar en el ciclo. Esto ayuda a evitar posibles colisiones o desgaste innecesario de las herramientas [14].

Una vez programado el ciclo, quedará abierto y funcional. De ser programado nuevas coordenadas X, Y el ciclo asumirá que debe hacer una nueva cajera con los parámetros del ciclo ya programado. Para evitar esto se debe desactivar el ciclo mediante la función G80 [14].

Esta función se programa generalmente en coordenadas cartesianas, su estructura es la siguiente.

G87 G98/G99 X Y Z I J K B C D H L

En la Tabla 6 se encuentra la definición de los parámetros para cajeras rectangulares.

G87	Función que identifica la cajera rectangular.
G98	Una vez realizada la cajera regresa el husillo al punto inicial de partida.
G99	Una vez terminada la cajera se regresa hasta el punto de referencia.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	45 de 133

X, Y	Coordenadas de mecanizado.
Z	Plano de referencia.
I	Profundidad del mecanizado.
J	Media anchura de la cajera según la abscisa.
K	Media anchura de la caja según el eje de ordenadas.
B	Paso de profundización.
C	Paso fresado.
D	Plano de referencia.
H	Avance para la pasada de acabado.
L	Demasía para el acabado.
Q	Parámetro opcional.

Tabla 6. Parámetros para cejera rectangular.

Donde:

X, Y -> Coordenadas de mecanizado.

Establece la cota del punto inicial de la cajera (opcional). De no ser programada se asume el cero de pieza [14].

Z -> Plano de referencia.

Define la cota del plano de referencia (PR), es opcional, pero de no ser digitada se asume el valor del plano de referencia al plano de partida [14].

I -> Profundidad del mecanizado.

Permite definir la profundidad total de la cajera.

J -> Media anchura de la cajera según la abscisa.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	46 de 133

Su signo definirá el sentido en el cual se va a mecanizar la caja. Signo positivo será de sentido horario. Signo negativo será de sentido anti horario. Como se muestra en la Figura 19.

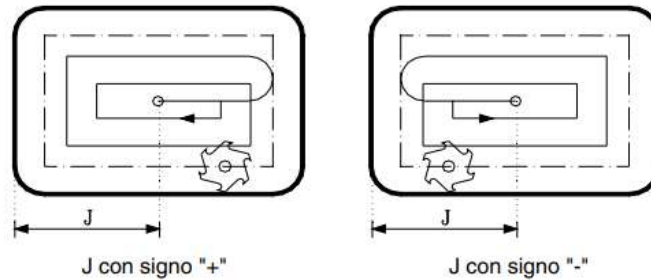


Figura 19. Visualización parámetro J. Fuente (FAGOR 2014).

K -> Media anchura de la caja según el eje de ordenadas.

Define el ancho del borde, medida desde el centro. En la Figura 20 se muestra cómo definir el parámetro.

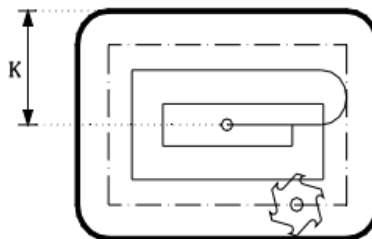


Figura 20. Visualización parámetro K. Fuente (FAGOR 2014).

B -> Paso de profundización.

Define la profundidad de cada ciclo. Se debe tener en cuenta el signo, de ser positivo su paso de profundización será constante, por este motivo su paso de profundización puede ser diferente que el programado. De ser negativo el signo, la profundidad de la caja será constante, excepto en el tramo final que variará para cumplir con las dimensiones requeridas en el mecanizado [14].

C -> Paso fresado.

Define el paso de fresado según el plano principal. Se debe tener en cuenta el signo en el cual va a ser programado, de ser positivo el paso de fresado será constante, por este motivo el paso de fresado puede ser inferior al programado para poder cumplir con la geometría del mecanizado. De

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	47 de 133

ser negativo el signo, el avance de la cajera será constante excepto en el tramo final que variará para cumplir con las dimensiones requeridas en el mecanizado [14].

De no ser programado el paso de fresado el CNC determinará un paso de $\frac{3}{4}$ del diámetro de la herramienta a utilizar. Cabe resaltar que no será posible programar un valor al paso de fresa superior al diámetro de la herramienta, el CNC arrojará error, ya que esto trae como consecuencia material sobrante no deseado. De igual forma si se define un paso de fresado de 0 el CNC mostrará error, debido a que no habrá un avance y nunca terminaría la cajera [14].

D -> Plano de referencia.

Es la distancia entre el plano de referencia (PR) y la distancia de la pieza.

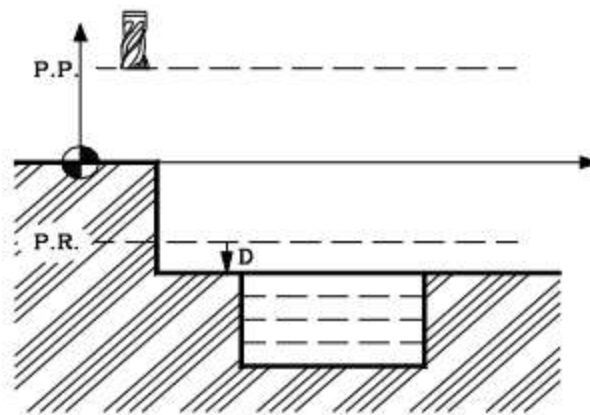


Figura 21. Visualización plano D. Fuente (FAGOR 2014).

En la Figura 21 se muestra la distancia D.

H -> Avance para la pasada de acabado.

Define el avance de trabajo en la última pasada (pasada de acabado). La programación de este factor será opcional, si no se define este parámetro, o si se programa cero (0), el CNC asume el valor del trabajo de mecanizado [14].

L -> Demasía para el acabado.

Este parámetro define el valor de pasada de acabado. De no ser programado no se hará una pasada de acabado [14]. Ver figura 22

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	48 de 133

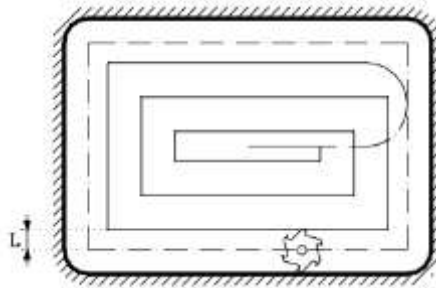


Figura 22. Visualización parámetro L. Fuente (FAGOR 2014).

Q -> Es un parámetro opcional. Este parámetro define el número del programa que contiene la descripción de la pieza. De no ser definido, o definirlo cero, el CNC interpretará que el perfil se encuentra definido en el mismo programa que contiene la llamada del ciclo (lo más común) [14].

Ejemplo.

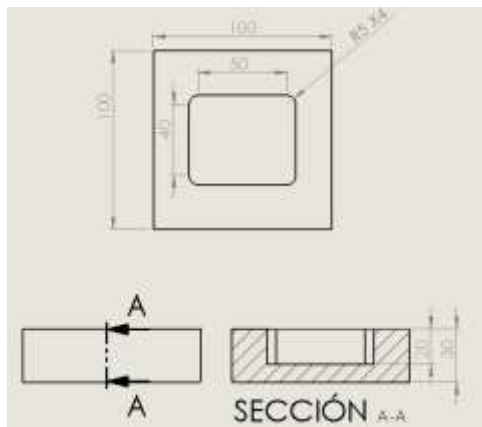


Figura 23. Plano de pieza a fresar mediante ciclo fijo cajera rectangular. Fuente (El autor).

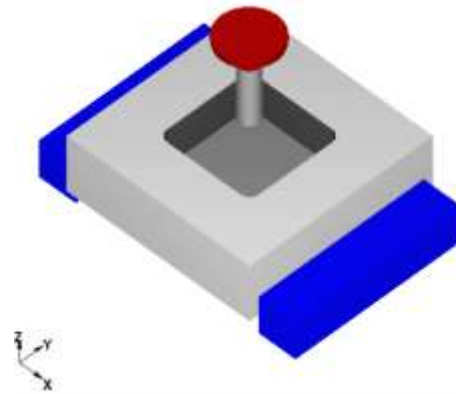


Figura 24. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

En la Figura 23 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 24 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

Programación.

```

N010 (ORGX54=-150, ORGY54=-150, ORGZ54=-100) ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54 ; Origen de coordenadas.
N030 F300 S500 ; Parámetros de corte.
N040 T1 D1 ; Herramienta y corrector 1.
N050 M06 ; Función auxiliar de cambio de herramienta.

```

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	49 de 133

N060 G0 G90 X0 Y0 Z10 M03 ; Posicionamiento rápido.
 N070 G87 G98 X50 Y50 Z2 I-20 J25 K25 B2 C5 D2 H15 L5 ;Programación de ciclo de cajera rectangular
 N080 G80 ; Anulación de ciclo fijo.
 N090 M30 ; Finalización del programa.

6.2.9.2 Cajeras circulares.

La función de este ciclo fijo es realizar cajeras de manera circular. Para acceder al funcionamiento se debe suministrar información de los parámetros requeridos para que la cajera funcione adecuadamente. Ver Tabla 7 [14].

La función G88 seguirá activa hasta deshabilitarla con la función G80.

G88 G98/G99 X Y Z I J B C D H L

G88	Función que identifica la cajera circular.
G98	Una vez realizada la cajera regresa el husillo al punto inicial de partida.
G99	Una vez terminada la cajera se regresa hasta el punto de referencia.
X, Y	Coordenadas donde inicia el mecanizado.
Z	Plano de referencia.
I	Profundidad del mecanizado.
J	Radio de la cajera.
B	Paso de profundización.
C	Paso fresado.
D	Plano de referencia.
H	Avance para la pasada de acabado.
L	Demasia para el acabado.
Q	Parámetro opcional.

Tabla 7. Parámetros para cejera circular.

Donde:

Coordenadas de mecanizado.

X, Y -> Coordenadas de mecanizado.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	50 de 133

Suministra la cota del punto inicial de la cajera (opcional). De no ser suministrado estos parámetros se tomará como coordenadas de mecanizado el cero de pieza [14].

Z -> Plano de referencia.

Se define la cota del plano de referencia, es opcional, pero de no ser digitada se asume el valor del plano de referencia al plano de partida [14].

I -> Profundidad del mecanizado.

Permite definir la profundidad total de la cajera.

J -> Radio de la cajera.

Su signo definirá el sentido en el cual se va a mecanizar. Si se programa con signo positivo será de sentido horario. De lo contrario el sentido del mecanizado será anti horario [14]. Como se muestra en la Figura 25 [14].

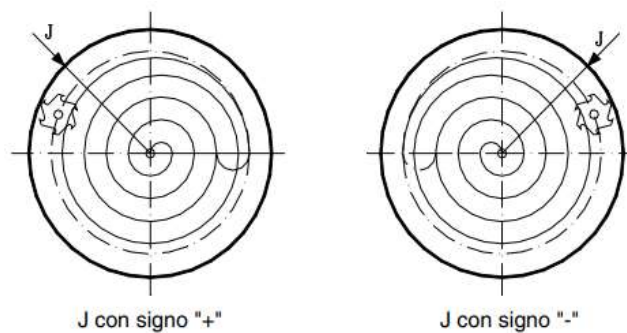


Figura 25. Visualización parámetro J. Fuente (FAGOR 2014).

B -> Paso de profundización.

Define el paso que tendrá cada ciclo. Al momento de mecanizar se debe tener en cuenta el signo, de ser positivo su paso de profundización será constante por ese motivo el paso de profundización podría llegar a ser inferior al programado, esto para cumplir con la geometría programada. De ser negativo el signo, la profundidad de la cajera será constante, excepto en el tramo final que variará para cumplir con las dimensiones requeridas en el mecanizado. En la Figura 26 muestra como se mide el parámetro B [14].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	51 de 133

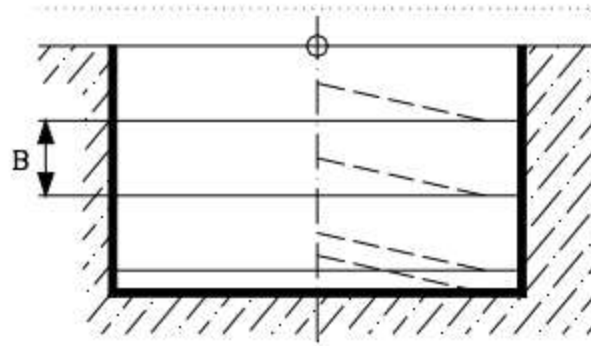


Figura 26. Visualización parámetro B. Fuente (FAGOR 2014).

C -> Paso de fresado.

Define el paso de fresado según el plano principal. Se debe tener en cuenta el signo en el cual va a ser programado, de ser positivo, su paso de fresado será constante, sin importar que el valor de paso de fresado sea un poco menor para poder cumplir con la geometría a mecanizar. De ser negativo el signo, el avance de la cajera será constante excepto en el tramo final que variará para cumplir con las dimensiones requeridas en el mecanizado [14].

De no ser programado el paso de fresado el CNC determinará un paso de $\frac{1}{4}$ del diámetro de la herramienta a utilizar. Cabe resaltar que no será posible programar un valor al paso de fresa superior al diámetro de la herramienta. El CNC arrojará error, ya que esto trae como consecuencia material sobrante no deseado. De igual forma, si se define un paso de fresado de 0 el CNC mostrará error, debido a que no habrá un avance y nunca terminaría la cajera, en la Figura 27 muestra cómo se define el parámetro C [14].

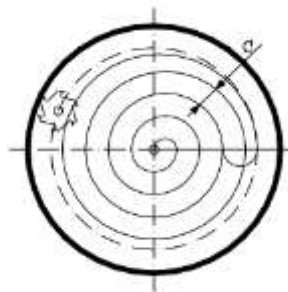


Figura 27. Visualización parámetro C. Fuente (FAGOR 2014).

D -> Plano de referencia.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	52 de 133

Es la distancia entre el plano de referencia (PR) y la distancia de la pieza. En la Figura 28 se evidencia la distancia D.

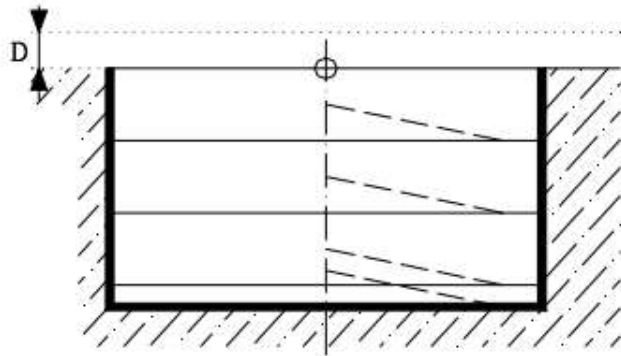


Figura 28. Visualización parámetro D. Fuente (FAGOR 2014).

H -> avance para la pasada de acabado.

Define el avance de trabajo en la última pasada, pasada de acabado. La programación de este factor será opcional, si no se define este parámetro, o si se programa cero (0), el CNC asume el valor del trabajo de mecanizado [14].

L -> Demasía para el acabado.

Este parámetro define el valor de pasada de acabado. De no ser programado no se hará una pasada de acabado [14].

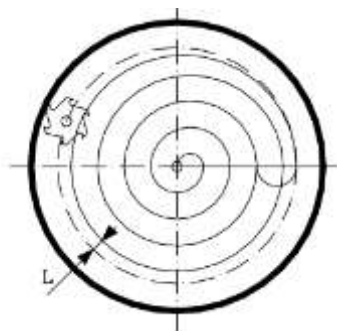


Figura 29. Visualización parámetro L. Fuente (FAGOR 2014).

En la Figura 29 se observa la especificación del parámetro.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	53 de 133

Q -> Es un parámetro opcional. Este parámetro define el número del programa que contiene la descripción de la pieza. De no ser definido, o definirlo cero, el CNC interpretará que el perfil se encuentra definido en el mismo programa que contiene la llamada del ciclo (lo más común) [14].

Ejemplo.

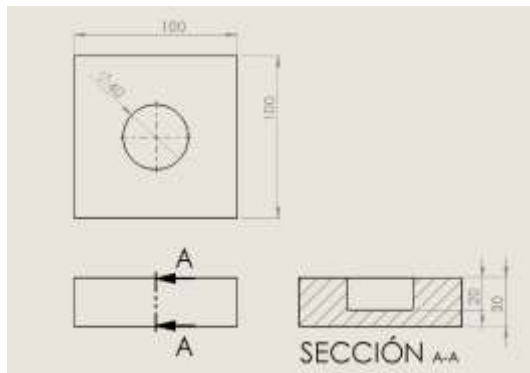


Figura 30. Plano de pieza a fresar mediante ciclo fijo cajera circular. Fuente (El autor).

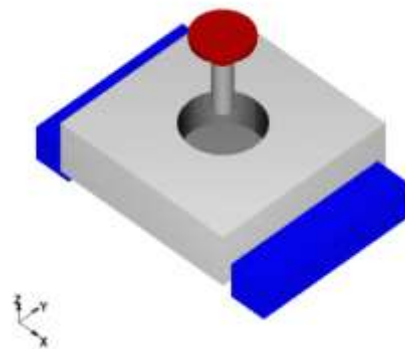


Figura 31. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

En la Figura 30 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 31 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

Programación.

```

N010 (ORGX54=-150, ORGY54=-150, ORGZ54=-100) ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54 ; Origen de coordenadas.
N030 F500 S1000 ; Parámetros de corte.
N040 T1 D1 ; Herramienta y corrector 1.
N050 M06 ; Función auxiliar de cambio de herramienta.
N060 G0 G90 X0 Y0 Z10 M03 ; Posicionamiento rápido y encendido del
; Husillo en sentido horario.
N070 G88 X50 Y50 Z2 I-20 J20 B2 C8 D2 H100 L6 ; Programación del ciclo cajera circular
N080 G80 ; Anulación del ciclo
N090 M30 ; Finalización del programa.

```

6.2.9.2.1 Compensación longitudinal para torno.

Esta función compensará posibles diferencias de longitudes entre las distintas herramientas programadas. Al momento de seleccionar nuevas herramientas en CNC se debe tener en cuenta

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	54 de 133

las compensaciones y definirla en la lista de correctores que corresponda. Las funciones que permiten tener una compensación longitudinal para torno son [6].:

G43 -> Compensación longitudinal de la herramienta.

G44 -> Anulación de la compensación longitudinal.

La función G43 permanecerá activa al momento de utilizar ciclos fijos, sin embargo, se debe programar antes de programar ciclos fijos [6].

Detección de colisiones G41N y G42N.

Esta función permite analizar hasta 50 bloques de código, si se detecta un bucle o colisión, la función no ejecutará los bloques con dichos inconvenientes, y mostrará un aviso por cada bucle o colisión encontrada. Se debe tener en cuenta que la programación de esta función ralentizará el mecanizado [6] [14].

6.2.10 Ciclos fijos para torno.

Los ciclos fijos pueden ser programados en cualquier parte del programa y funcionan adecuadamente siempre y cuando el ciclo pueda mecanizar la pieza definida por el plano.

6.2.10.1 G66 ciclo fijo de seguimiento de perfil.

Permite programar un ciclo fijo mediante la función G66. El ciclo permite utilizar herramientas triangulares, redondas y cuadradas [6].

La estructura del ciclo y su respectiva equivalencia se muestran a continuación y en la Tabla 8.

G66 X Z I C A L M H S E Q

G66	Función ciclo de seguimiento de perfil.
X	Define la cota en el eje X.
Z	Define la cota en el eje Z.
I	Define la cantidad a material a eliminar.
C	Paso de mecanizado.
A	Define eje principal del mecanizado.
L	Demasiá en el eje X.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	55 de 133

M	Demasia en el eje Z.
H	Velocidad de avance de la última pasada.
S	Bloque inicial del mecanizado.
E	Bloque final del mecanizado.
Q	Parámetro opcional.

Tabla 8. Parámetros para ciclo fijo de seguimiento de perfil.

Donde:

X -> Define la cota en el eje X, será programada en cotas absolutas, en radios o diámetros, según este programada la máquina CNC utilizada en el mecanizado [6].

Z -> Define la cota en el eje Z, punto inicial del perfil, se programa en coordenadas absolutas.

I -> Define la cantidad de material a eliminar. Será necesario definir el parámetro A para establecer en que eje de coordenadas se tomará el sobrante de material. Se define en radios [6]. En la figura # 32 se evidencia gráficamente el ciclo.

C -> Paso de mecanizado.

Define el paso del mecanizado que empleará el ciclo. Todas las pasadas tendrán este paso, excepto la última, que quitará el sobrante del material para cumplir con la geometría. Se define en radios. El paso de mecanizado variará en el eje X o Z, este mismo dependerá del parámetro A [6].

De programar el valor cero (0), el CNC mostrará error, ya que no tendrá ningún avance y el ciclo nunca terminaría [6]. En la figura # 33 se evidencia gráficamente.

A -> Define eje principal del mecanizado.

Si el parámetro A se define cero (A0), el eje principal será Z, y en el parámetro I el sobrante de material será en el eje X. Del mismo modo el paso de mecanizado en C será aplicado al eje X [6].

De ser el parámetro A como uno (A1), el eje principal será X, Y el sobrante de material para el parámetro I será en el eje Z del mismo modo el paso de mecanizado en C será aplicado el eje Z [6].

De no ser programado el parámetro A, los valores de los parámetros I y C dependerá de la herramienta utilizada en el ciclo [6].

Si la longitud de la herramienta en X es mayor que la longitud en Z, el CNC Tomará como cero en el parámetro A (A0). En caso contrario, el parámetro A se define como 1 (A1) [6].

L -> Demasia en el eje X para efectuar el acabado. Se define en radios. De no ser programado se define cero. En la Figura 32 se evidencia gráficamente.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	56 de 133

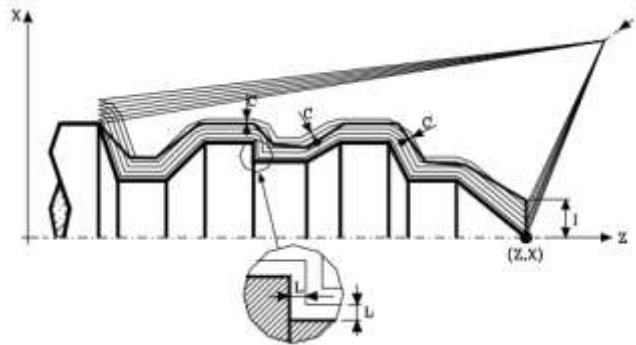


Figura 32. Visualización parámetro L. Fuente (FAGOR 2014).

M -> Demasía en el eje Z. define la demasía en la pasada de acabado en el eje Z. En la Figura 33 se evidencia gráficamente.

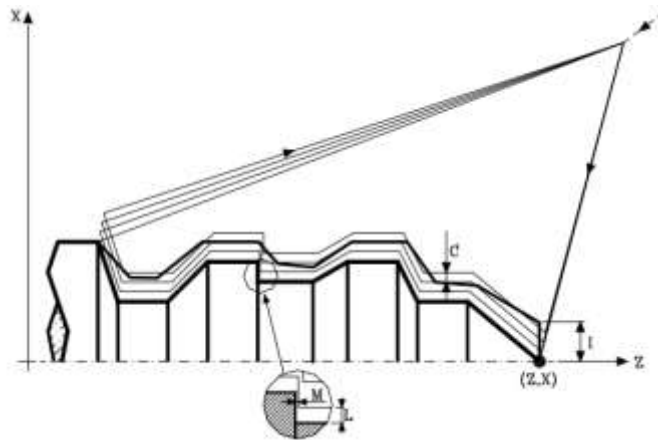


Figura 33. Visualización parámetro M. Fuente (FAGOR 2014).

H -> Define la velocidad de avance de la pasada de acabado. De no ser programado, o programar cero, el CNC asume que no se hará pasada de acabado [6].

S -> Define el número de bloque en el cual inicia el perfil a mecanizar.

E -> Define el número de bloque en el cual termina el perfil a mecanizar.

Q -> Es un parámetro opcional. Este parámetro define el número del programa que contiene la descripción de la pieza. De no ser definido, o definirlo cero, el CNC interpretará que el perfil se encuentra definido en el mismo programa que contiene la llamada del ciclo (lo más común) [6].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	57 de 133

Ejemplo.

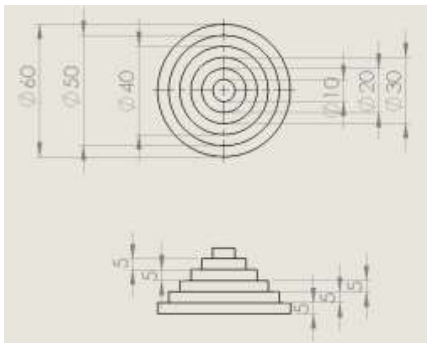


Figura 35. Plano de pieza a torneear mediante ciclo fijo de seguimiento de perfil. Fuente (El autor).

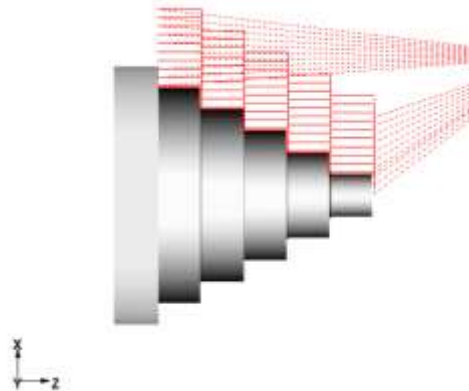


Figura 34. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

En la Figura 35 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 34 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

PROGRAMA

```

N010 (ORGX54=0, ORGZ54=30) ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54 ; Origen de coordenadas.
N030 G95 F0.04 S1000 T1 D1 M4 ; Definición de parámetros de corte,
; Herramienta, corrector y giro de la
; Máquina antihorario.

N040 G66 X0 Z0 I10 C1 A0 L0.2 M1 H0 S050 E130 Q0 ; Programación de ciclo fijo G66.
N050 G00 X5 Z0 ; Inicio definición de geometría.
N060 G01 X5 Z-5
N070 X10 Z-5
N075 X10 Z-10
N080 X15 Z-10
N090 X15 Z-15
N100 X20 Z-15
N110 X20 Z-20
N120 X25 Z-20
N130 X25 Z-25
N140 M03 ; Finaliza definición de geometría.
; Final del programa

```

6.2.10.2 G68 ciclo fijo de desbaste en el eje X.

Este ciclo permite ser mecanizado con herramientas triangulares, redondas y cuadradas. La función principal de este ciclo es mecanizar el perfil programado mediante pasos repetitivos [6].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	58 de 133

La estructura básica para este ciclo se muestra a continuación y la explicación de cada una de ellas se describe en la Tabla 9:

G68 X Z C D L M K F H S E Q

G68	Función ciclo fijo de desbaste en eje X.
X	Punto inicial del perfil en el eje X.
Z	Punto inicial del perfil en el eje Z.
C	Paso del mecanizado.
D	Distancia de seguridad en la cual se hace el retroceso de la herramienta.
L	Distancia para maquinar el acabado.
M	Demasía para acabado en Z.
K	Define la velocidad de avance para el ciclo.
F	Define la velocidad de avance del final del desbaste.
H	Este parámetro define la velocidad de la última pasada.
S	Bloque inicial del mecanizado.
E	Bloque final del mecanizado.
Q	Parámetro opcional.

Tabla 9. Parámetros para ciclo fijo de desbaste en el eje X.

Donde.

X -> Punto inicial del perfil, se programará mediante radios o diámetros (según este programada la máquina para mecanizar), según se desee iniciar a mecanizar el ciclo. De igual forma se programará en coordenadas absolutas [6].

Z -> Punto inicial del perfil, se programará en coordenadas absolutas.

C -> Paso del mecanizado, se digita en radios, de programar cero (0), el CNC arrojará error, ya que no habrá ningún avance de mecanizado. Las pasadas repetitivas se harán igual, excepto la última que quitará el material sobrante. En la Figura 36 se evidencia el parámetro C gráficamente [6].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	59 de 133

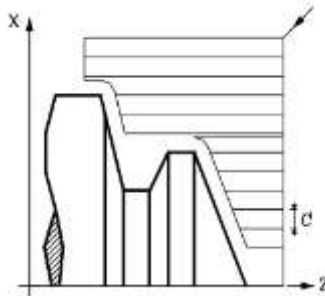


Figura 36. Visualización parámetro C. Fuente (FAGOR 2014).

D -> Distancia de seguridad en la cual se hace el retroceso de la herramienta con cada pasada. Cuando D tiene un valor distinto a cero la cuchilla será retirada a 45 grados hasta alcanzar la distancia de seguridad. Sin embargo, este parámetro es opcional, de no ser programado el CNC asume el valor de cero. De igual forma, si se programa $D=0$ la trayectoria de salida coincide con la trayectoria de entrada, en este caso será de gran ayuda en los procesos de rectificado de cilindros. En la Figura 37 se evidencia el parámetro D gráficamente [6].

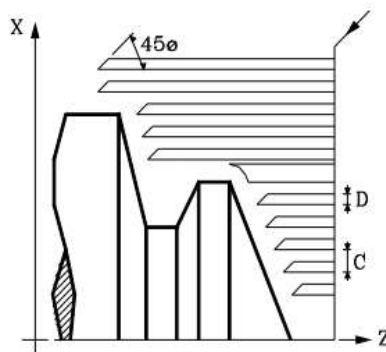


Figura 37. Visualización parámetro D y C. Fuente (FAGOR 2014).

L -> Distancia para maquinar el acabado, se define en radios, de no ser programado el CNC asume el valor de cero para este parámetro [6].

M -> Demasía para acabado en Z. De no ser definido este parámetro se tomará el mismo valor del parámetro L [6].

K -> Define la velocidad de avance para el ciclo, de no ser programada se define con la velocidad de avance del programa antes del ciclo [6].

F -> Define la velocidad de avance del final del desbaste. De no ser programado, o de ser programado cero se asume que no se hará pasada final. En la Figura 38 se evidencia el recorrido del parámetro F gráficamente [6].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	60 de 133

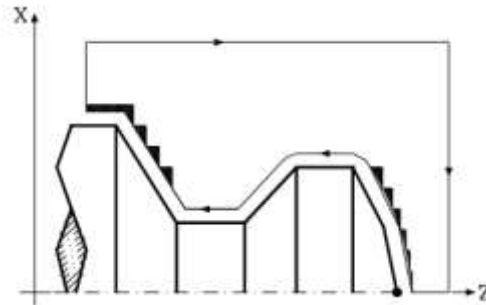


Figura 38. Visualización paso de acabado. Fuente (FAGOR 2014).

H -> Este parámetro define la velocidad de la última pasada, la pasada de acabado, de no ser programada, o de ser programada cero, el CNC asume que no se hará pasada de acabado [6].

S -> Define el número de bloque en el cual comienza a definir la pieza del ciclo a mecanizar [6].

E -> define el número de bloque final que define la pieza a mecanizar [6].

Q -> Es un parámetro opcional. Este parámetro define el número del programa que contiene la descripción de la pieza. De no ser definido, o definirlo cero, el CNC interpretará que el perfil se encuentra definido en el mismo programa que contiene la llamada del ciclo (lo más común) [6].

Ejemplo.

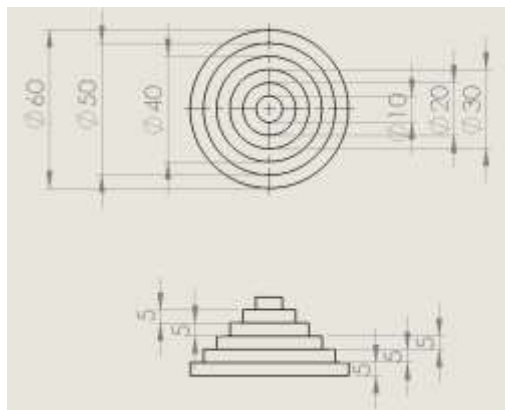


Figura 40. Plano de pieza a tornear mediante ciclo fijo de seguimiento de perfil. Fuente (El autor).

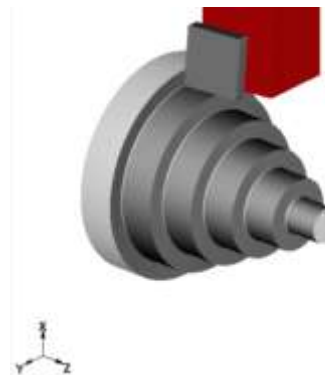


Figura 39. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

En la Figura 39 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 40 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fagor8050M.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	61 de 133

PROGRAMA.

```

N010 (ORGX54=0, ORGZ54=30)          ; Traslado de origen absoluto.
N020 G54                             ; Origen de coordenadas.
N030 G95 F0.04 S1000 T1 D1 M4        ; Definición de parámetros de corte,
                                      ; Herramienta, corrector y giro de la
                                      ; Máquina antihorario.
N040 G68 X0 Z0 C1 D1 L0.2 M1 K0 F0 H0 S050 E130 Q0 ; Programación de ciclo fijo G68.
N050 G00 X5 Z0                       ; Inicio definición de geometría.
N060 G01 X5 Z-5
N070 X10 Z-5
N075 X10 Z-10
N080 X15 Z-10
N090 X15 Z-15
N100 X20 Z-15
N110 X20 Z-20
N120 X25 Z-20
N130 X25 Z-25                         ; Finaliza definición de geometría.
N140 M03                             ; Final del programa

```

6.3 Controladores Fanuc.

A continuación, se explicará las principales funciones de código G y funciones auxiliares que permiten mecanizar en máquinas CNC por medio de controladores Fanuc para torno y fresa.

6.3.1 Cotas de los ejes (X, Y, Z...).

Para la correcta ejecución de las cotas a utilizar en los diferentes planos se debe especificar el eje en el cual se quiere intervenir con una letra (X, Y, Z...). La letra identifica el plano en el que se desea realizar una operación. Así mismo, será acompañada de un número (el número puede ser digitado en decimal). El límite de las dimensiones a programar dependerá de la máquina de trabajo que efectúe el maquinando. Las siguientes figuras dan un ejemplo de programación en el eje Z [14].

Suponiendo que las unidades están programadas en milímetros.

G01 Z-5 → Avance lineal en el eje Z de 5 mm.
↓

G01 X80 → Trayectoria en el eje X, 80mm.
↓

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	62 de 133

Interpolación lineal.

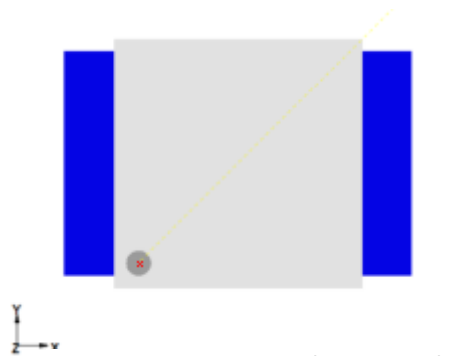


Figura 42. Trayectoria de mecanizado mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

Interpolación lineal.

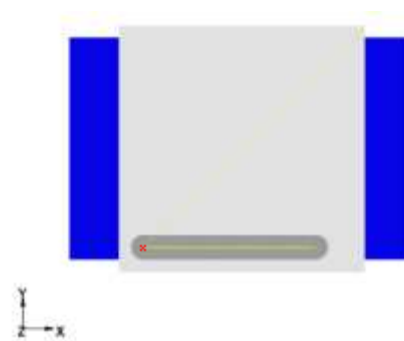


Figura 41. Trayectoria de mecanizado mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

Donde **X** representa la coordenada 0,0 en el plano X, Y. cambiar y adecuar para torno.

En la Figura 41, el desplazamiento lineal se realizó en el eje Z negativo, es decir, se realizó un desbaste en la pieza prismática de 5 mm. En la Figura 42 se realizó un desplazamiento en el eje X.

6.3.2 Control de trayectoria.

La programación en CNC permite el desplazamiento entre uno o más ejes, según lo necesite la geometría a mecanizar. Además, permitirá las cotas en el sistema internacional o en sistema inglés, según se determine en el código que ejecutará la fabricación de la pieza [14]. El apartado 6.2.6 explica al detalle el control de trayectorias para un controlador Fagor siendo el mismo sistema para Fanuc

6.3.3 Programación de unidades G20-G21

Estas funciones permiten cambiar las unidades en las cuales se trabajará en el mecanizado de las piezas prismáticas. Las unidades que se pueden emplear en el mecanizado CNC son en pulgadas y milímetros. La Tabla 10 describe las funciones de programación de unidades [20].

Función.	Descripción.
G20	Programación en pulgadas

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	63 de 133

G21	Programación en milímetros.
-----	-----------------------------

Tabla 10. Funciones de cotas.

Estas funciones deberán ser programadas al inicio del programada y antes de ser programada el sistema de coordenadas del programa. Algunos de los parámetros que se verán influenciados con la programación de esta función serán los siguientes [21].

- Avance F.
- Valor de desplazamiento del origen de la pieza.
- Compensaciones de herramienta.
- Unidad de escala.
- Distancia de avance en sistema incremental.

6.3.4 Traslado de origen absoluto G54-G59.

Estas funciones permiten definir los orígenes de coordenadas en la cual se quiere empezar a mecanizar, al momento de programar una función anulará la anteriormente programada. La forma de programar será al inicio del programa, seguidamente pueden ir diferentes instrucciones.

G54

Cabe resaltar que el traslado del cero de pieza se tomará en cuenta con los valores definidos en la tabla de cero de pieza proporcionada por la máquina de trabajo o el simulador. En la Figura 43 se muestra la tabla proporcionada por el simulador winuniso donde se puede definir los diferentes orígenes absolutos.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	64 de 133



	Cota X	Cota Y	Cota Z
G53	0.00	0.00	0.00
G54	-150	-150	-100
G55	0.00	0.00	0.00
G56	0.00	0.00	0.00
G57	0.00	0.00	0.00
G58	0.00	0.00	0.00
G59	0.00	0.00	0.00

Figura 43. Visualización de orígenes de coordenadas con diferentes funciones. Fuente (El autor).

Los valores de cada función deben ser proporcionado por medio de la tabla, en el código de mecanizado se debe definir el traslado de origen absoluto a implementar.

6.3.5 Velocidad de corte constante G96.

Esta función permite controlar la velocidad de corte de manera constante, representando un buen rendimiento en cuanto a acabados y cortes óptimos. La forma adecuada de programar es la siguiente.

G96 S**

Donde G96 es la función y S es el parámetro que se debe definir para la velocidad de corte constante. El parámetro S dependerá de la herramienta utilizada y el material que se esté mecanizando.

La función G96 y G97 no son compatibles, es decir, no se pueden programar en la misma línea y una vez programada una de las 2 funciones se desactivará la otra. Las funciones G96 y G97 permanecerán activas.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	65 de 133

6.3.6 Velocidad de giro constante G97.

La función G97 permite tener una velocidad de giro del cabezal constante en el mecanizado que se esté efectuando, controlando de esta manera las RPM. La manera correcta de programarla es la siguiente.

G97 S**

Donde G97 es la función y S es el parámetro que se pretende controlar.

La función G96 y G97 no son compatibles, es decir, no se pueden programar en la misma línea y una vez programada una de las 2 funciones se desactivará la otra. Las funciones G96 y G97 permanecerán activas.

6.3.7 Velocidad de avance en mm/min (in/min) G98.

Esta función permite controlar el parámetro de corte F de manera constante con el tiempo, las unidades serán en mm/min o in/min, esto dependerá en que unidades esté definido el programa. Para programarlo correctamente solo bastará con digitar G98. Una vez digitada esta función permanecerá activa.

6.3.8 Velocidad de avance en mm/rev (in/rev) G99.

Esta función permite controlar el parámetro de corte F contraria a la función G98 de manera que el avance dependerá de las revoluciones ya que las unidades serán en mm/rev o in/rev, esto dependerá en que unidades esté definido el programa. Para programarlo correctamente solo bastará con digitar G99. Una vez digitada esta función permanecerá activa.

6.4 CONTROLADOR FANUC PARA TORNO.

A continuación, se explicará las principales funciones de código G y funciones auxiliares que permiten mecanizar en máquinas CNC por medio de controladores Fanuc para torno.

6.4.1 Herramientas (T).

En CNC se puede manejar diferentes tipos de herramientas, entre las cuales se puede encontrar las herramientas de arranque de virutas, siendo estas las más usadas en torno CNC [11].

Este grupo de herramientas toleran un proceso de arranque de material que permite maquinar una pieza hasta llegar a la geometría deseada por el plano de fabricación [15] [11].

Para hacer el llamado de herramienta, en el banco de herramienta, se debe programar la letra T seguido de un carácter numérico que identifique al número de herramienta correspondiente y el

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	66 de 133

número de corrector a utilizar por la herramienta o las herramientas deseadas a utilizar en el proceso. Es decir, si se necesita programar la herramienta 10 con corrector 10 solo se digita T1010, así sucesivamente con todas las herramientas a utilizar en el maquinado [14][20].

6.4.1.1 Cambio de herramienta.

El cambio de herramienta es una función muy útil en el mecanizado CNC. Esta función permite hacer un cambio de herramienta en el mismo código de mecanizado. Facilita el cambio de herramienta con el programa en ejecución y sin paradas inesperadas [6].

Una correcta programación de cambio de herramienta se debe efectuar en una línea de código que especifique únicamente el cambio de herramienta y la modificación de parámetros de corte (de ser necesario). Un ejemplo de ellos es el siguiente, si se tiene en funcionamiento la herramienta T10 y se quiere utilizar la herramienta T05 se debe digitar lo siguiente en un bloque de código [20].

T0505 → Herramienta número 5.
↓
Corrector de herramienta número 5.

De ser necesario en esa misma línea se debe hacer el cambio de F y S [14].

6.4.1.2 Corrector D.

El corrector de herramientas es una función de vital importancia al momento de mecanizar. Esta función permite hacer una compensación de la herramienta. Por ese motivo las dimensiones de la herramienta no alteran la geometría deseada [16].

El corrector puede ser el mismo para diferentes herramientas, ya que pueden existir herramienta que hagan diferentes funciones de mecanizado, pero a su vez tengan las mismas dimensiones. Estos correctores se deben digitar junto a la herramienta que se esté usando, en caso de cambiar herramienta [14]. La Tabla 11 muestra un ejemplo de la programación de una herramienta con su corrector.

Ejemplo	Descripción
T1010	Programación correcta del corrector después de programar la herramienta.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	67 de 133

T0815	Programación de cambio de herramienta y con cambio de corrector.
-------	--

Tabla 11. Ejemplo cambio de herramienta y corrector para controlador Fanuc.

6.4.2 Funciones auxiliares.

Estas funciones permiten tener intervenciones radicales en la máquina y el programa. Para programar estas funciones se debe digitar la letra M seguido del número que corresponda a la función requerida. La siguiente lista de funciones auxiliares son las más comunes en la programación CNC [16] [14] [6]. Ver Tabla 12.

Código	Función
M00	Parada del programa.
M01	Para condicional del programa.
M02	Final del programa.
M03	Giro del cabezal a la derecha.
M04	Giro del cabezal a la izquierda.
M05	Parada del cabezal.
M08	Encender bomba de refrigeración.
M09	Apagar bomba de refrigerante.
M10	Abrir puerta.
M11	Cerrar puerta.
M30	Fin de programa (retorno al inicio).

Tabla 12. Funciones auxiliares para controlador Fanuc en torno.

6.4.3 Funciones preparatorias (G).

Para la realización de las funciones preparatorias se debe emplear la letra G, seguida de números que indiquen el tipo de función a ejecutar. Estas funciones pueden ir de movimientos de máquina,

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	68 de 133

hasta la definición de unidades en la cual se va a trabajar (in, mm). Los números pueden ir de un dígito hasta tres dígitos. Entre las funciones más comunes se encuentran las mostradas en la Tabla 13. Las casillas A, B, C indican los diferentes tipos de controladores Fanuc y los códigos asignados para la misma [6] [16][20].

Códigos G			FUNCIÓN
A	B	C	
G00	G00	G00	Posicionamiento rápido.
G01	G01	G01	Interpolación lineal.
G02	G02	G02	Interpolación circular en sentido horario.
G03	G03	G03	Interpolación circular en sentido antihorario.
G20	G20	G70	Unidades De trabajo en pulgadas.
G21	G21	G71	Unidades de trabajo en milímetros.
G32	G33	G33	Tallado de rosca con paso constante.
G34	G34	G34	Tallado de rosca con paso variable.
G40	G40	G40	Anulación de compensación radial.
G41	G41	G41	Compensación radial de la herramienta a la izquierda.
G42	G42	G42	Compensación radial de la herramienta a la derecha.
G50	G92	G92	Limitación de la velocidad máxima del cabezal.
G52	G52	G52	Definición del sistema de coordenadas.
G54	G54	G54	Traslado del origen absoluto.
G70	G70	G72	Ciclo fijo de acabado del perfil.
G71	G71	G73	Ciclo fijo de desbaste en el eje X
G72	G72	G74	Ciclo fijo de desbaste en el eje Z.
G73	G73	G75	Ciclo fijo de seguimiento de perfil.
G76	G76	G78	Ciclo fijo de roscado múltiple.
G96	G96	G96	Velocidad de corte constante.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	69 de 133

G97	G97	G97	Velocidad de giro constante.
G98	G94	G94	Velocidad de avance en mm/min (in/min).
G99	G95	G95	Velocidad de avance en mm/rev (in/rev).

Tabla 13. Principales funciones para torno con controlador Fanuc.

6.4.4 Posicionamiento rápido G00.

Es una trayectoria en línea recta del punto de inicio al punto final, este posicionamiento se realiza independientemente de los ejes a trabajar. Su función es posicionar la herramienta lo más rápido posible de la pieza a mecanizar sin que estas dos choquen. Si esto llega a ocurrir habrá colisiones y posibles daños en las herramientas [6] [17] [20].

La Función G00 no requiere de una previa programación del parámetro de corte F. De ser programado F se ignorará hasta que esta función sea desactivada. La función G00 permanecerá activa hasta programar alguna función de movimiento de corte (G01, G02, Etc....). El avance de G00 estará definido por la máquina en el cual se esté trabajando y únicamente se utiliza para evitar pérdidas de tiempo innecesarias [22].

```
N0010 G00 X0 Y0 Z5 F100
N0020 X10 Y10 Z2
N0030 G01 X10 Y10 Z-10
```

En la línea N0010 se da la orden específica de un posicionamiento rápido en X0 Y0 Z5. En la siguiente línea se hace nuevamente un posicionamiento rápido en X10 Y10 Z2. Por último, en la línea N0030 se activa la función G01 de interpolación lineal y toma como parámetro F el que se había programado previamente en la línea N0010, en este caso F100.

6.4.5 Interpolación lineal G01.

La interpolación lineal, es un corte en línea recta que será definido por las cotas en el eje X, Y, Z. El CNC calcula el avance de cada eje para que la trayectoria resultante cumpla con la velocidad de avance que haya sido programada anteriormente. Esta línea recta cubre la trayectoria del punto de inicio, es decir, donde se encuentra posicionada la herramienta en la última orden hasta el punto final [14] [16] [18] [20].

Para la función G01 se debe tener definido los parámetros de corte para evitar posibles colisiones o la activación de una alarma que pare el proceso de mecanizado (Esto dependerá de la máquina de trabajo). Esta función permanecerá activa hasta ser programada otra función de corte o de posicionamiento tales como, G00, G02. Etc. Esta función permite el movimiento rectilíneo entre 1 o más ejes, según se necesite en el mecanizado [22].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	70 de 133

Ejemplo.

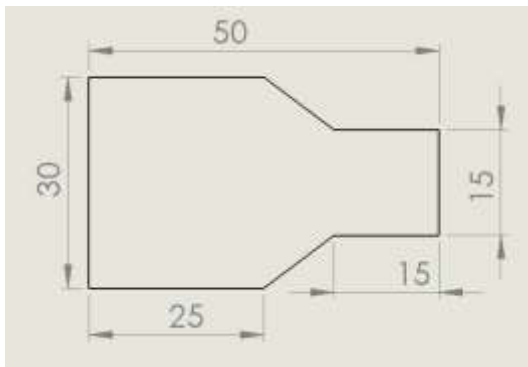


Figura 44. Plano de pieza a tornear mediante función G01. Fuente (El autor).

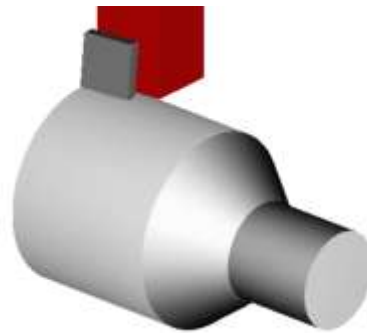


Figura 45. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

En la Figura 44 se evidencia el plano de la geometría a mecanizado con medidas en milímetros. En la Figura 45 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fanuc16iM.

Programación.

```

N0010 G54 ; Traslado de origen absoluto
N0020 G21 ; Definición de unidades a trabajar.
N0030 G97 G99 F0.04 S120 T0101 M03 ; Parámetros de corte, herramienta, corrector y
; Giro de la máquina en sentido horario.
N0040 G00 X15 Z2 ; Posicionamiento rápido.
N0050 G01 X15 Z-15 ; Inicio interpolación lineal.
N0060 G01 X30 Z-25
N0070 G01 X30 Z-50 ; Final de interpolación lineal.
N0080 M30 ; Final del programa.

```

6.4.6 Interpolación circular G02, G03.

La interpolación circular se puede hacer de 2 formas distintas. Sentido horario y sentido antihorario. En la Tabla 14 se muestra la forma de programar [16].

G02	Interpolación circular a la derecha (horario)
G03	Interpolación circular a la izquierda (antihoraria)

Tabla 14. Codigos de interpolación circular.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	71 de 133

6.4.6.1 Interpolación circular mediante coordenadas cartesianas.

La velocidad de avance se mantendrá constante a la definida en el inicio del programa o a la última actualización del programa en **F** [17].

Esta coordenada será definida por el final del arco y por la posición del centro con respecto al punto de partida. De igual forma será definido por los ejes del plano de trabajo [14].

las cotas del medio se definirán en radios mediante las letras I, J, K. Los ejes en el plano para dicha programación cambiarán de la siguiente manera [6].

X -> I.

Y -> J.

Z -> K.

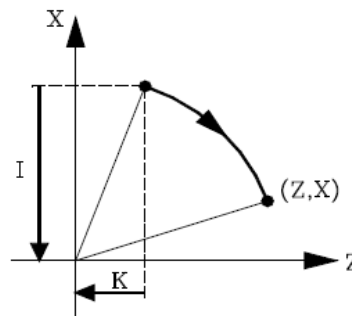


Figura 46: Trayectoria cartesiana Fuente (FAGOR)

En la Figura 46 se muestra la manera en la cual se acota el radio mediante coordenadas cartesianas, en este caso se puede notar que el trabajo se hace en el plano Z, X, pero su denotación cartesiana se hace con K, I respectivamente [6].

Ejemplo.

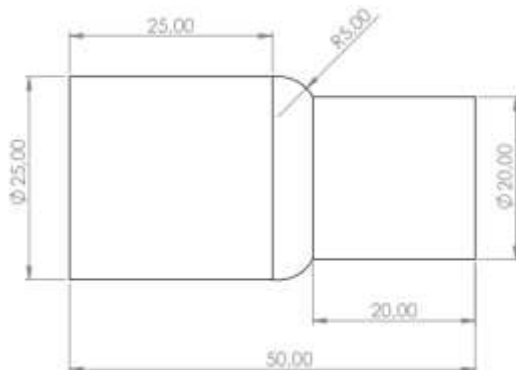


Figura 48. Plano de pieza a tornear mediante interpolación circular. Fuente (El autor).

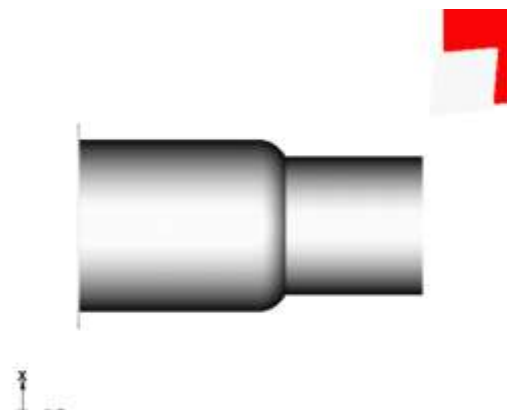


Figura 47. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	72 de 133

En la Figura 48 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 47 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fanuc16i TA.

Programación.

```

N0010 G54 G21 ; Traslado de origen absoluto y definición de
                Unidades a trabajar.
N0020 G97 G99 F0.04 S120 T0101 M03 ; Definición de parámetros de corte,
                Herramienta y giro de máquina horario.
N0030 G00 X20 Z2 ; Posicionamiento rápido.
N0040 G01 X20 Z0 ; Interpolación lineal.
N0050 G01 X20 Z-20 ; Interpolación Lineal
N0060 G03 X25 Z-25 I0 K-5 ; Interpolación circular antihoraria
                Cartesiana.
N0070 G01 X25 Z-50 ; Interpolación lineal.
N0080 G00 Z1 ; posicionamiento rápido.
N0090 M30 ; fin de programa.

```

6.4.6.2 Coordenadas cartesianas con programación de radio.

Para acceder a esta función se debe identificar el sentido a mecanizar, bien sea horario o antihorario, seguidamente se debe definir el punto inicial en el cual se desea hacer el desplazamiento, posteriormente se debe definir el punto final del desplazamiento. Finalmente, se debe suministrar el radio en el cual va a terminar de proporcionar de información de la interpolación, para determinar el radio se debe digitar con la letra R mayúscula, seguido de la medida en mm o en in (según el sistema de medición programado) [6].

Esta es una de las formas más comunes en programar, ya que su denotación es muy sencilla. Sin embargo, el método a utilizar en el mecanizado de una pieza está regido por el plano, ya que cada plano proporciona información diferente y en algunos casos los planos con la información suministrado nos limitan a utilizar un método en específico [14].

Ejemplo.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	73 de 133

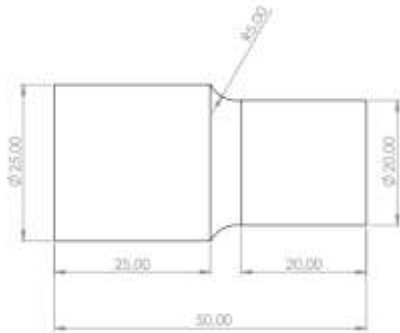


Figura 50. Plano de pieza a tornear mediante interpolación circular. Fuente (El autor).

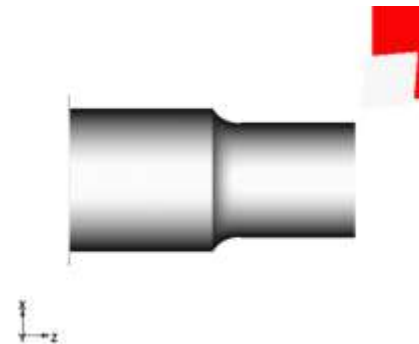


Figura 49. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

En la Figura 50 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 49 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fanuc16iTA.

Programación.

```

N0010 G54 G21 ; Traslado de origen absoluto y definición
                De unidades a trabajar.
N0020 G97 G99 F0.04 S120 T0101 M03 ; Definición de parámetros de corte y giro de
                Máquina en sentido horario.
N0050 G00 X20 Z2 ; Posicionamiento rápido.
N0060 G01 X20 Z0 ; Interpolación lineal.
N0070 X20 Z-20
N0080 G02 X25 Z-25 R5 ; Interpolación circular con radio.
N0090 G01 X25 Z-50 ; Interpolación lineal.
N0100 G00 Z1 ; Nuevo posicionamiento rápido.
N0120 M30 ; Finalización del programa.

```

6.4.1 Roscado constante G32.

Esta función permite realizar un roscado de paso constante. Para programar esta función correctamente se debe programar de la siguiente forma.

```
G32 Z-- W-- F--
```

En la Tabla 15 se describen los parámetros.

Donde.

Parámetro	Descripción.
Z	Cota total del roscado.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	74 de 133

W	Distancia del punto inicial al punto final del roscado.
F	Paso del roscado.

Tabla 15. Parámetros para roscado constante.

6.4.2 Tallado de roscado por paso variable G34.

Esta función permite tener un roscado de paso variable. La forma correcta de programar es la siguiente.

6.4.3 Compensación de herramientas.

En el maquinado se necesita calcular y definir la trayectoria de las herramientas, esto se debe hacer considerando el radio de la misma. Además, al momento de utilizar la compensación de herramienta será de vital importancia definir el plano en el cual se desea mecanizar. Para estas consideraciones se cuenta con 3 funciones de compensación de radio de herramienta [16]. Ver Tabla 16.

Código	Función
G40	Anulación de compensación radial.
G41	Compensación radial de la herramienta a la izquierda.
G42	Compensación radial de la herramienta a la derecha.

Tabla 16. Funciones para compensación de herramienta.

En la Figura 51 se evidencia la forma en la cual se tendrá en cuenta el radio de la herramienta.

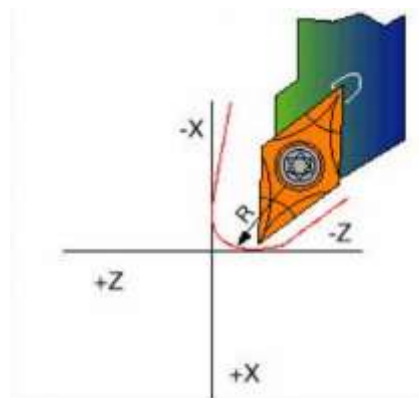


Figura 51. Compensación de radio para herramientas de torno. Fuente (Curso programación Fanuc).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	75 de 133

6.4.3.1 Anulación de compensación radial G40.

La función G40 permite anular la compensación de herramienta que se haya programado previamente, bien sea G41 o G42.

6.4.3.2 Compensación radial de la herramienta a la izquierda G41.

Esta función permite tener en cuenta el radio de la herramienta utilizado para el mecanizado definido, el radio a tener en cuenta en la compensación de cada herramienta será tomado en cuenta por el corrector programado. Esto evita tener chaflanes, arcos y conos con dimensiones diferentes a la programada.

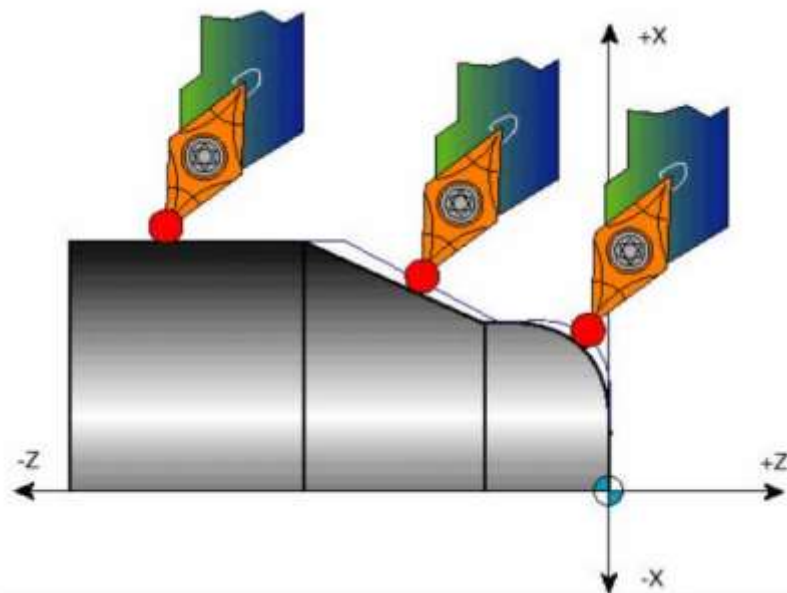


Figura 52. Trayecto de compensación radial a la izquierda. Fuente (Curso programación Fanuc).

En la Figura 52 se puede evidenciar la compensación de herramienta a la izquierda G41.

6.4.3.3 Compensación radial de la herramienta a la derecha G42.

Esta función permite tener en cuenta el radio de la herramienta utilizado para el mecanizado definido, el radio a tener en cuenta en la compensación de cada herramienta será tomado en cuenta por el corrector programado. Esto evita tener chaflanes, arcos y conos con dimensiones diferentes a la programada. Para los trayectos de paralelos al eje X no será necesario la programación de compensación radial.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	76 de 133

6.4.4 Limitación de la velocidad máxima del cabezal G50.

Esta función permite limitar la velocidad máxima a la cual va a girar el cabezal. Se programa de la siguiente forma en una línea aparte.

G50 S2500

Esta función puede ser programada al inicio o cuando lo requiera el programa.

6.5 Ciclos fijos.

La función principal de los ciclos fijos es simplificar la complejidad del programa, ahorrando de esta forma líneas de código y haciendo el programa mucho más fácil de digitar y entender.

Una de los principales parámetros en común que tienen los ciclos fijos de torno es que cuenta con el parámetro de inicio y el parámetro de terminada la definición del perfil a mecanizar.

6.5.1 Ciclo fijo de acabado G70

Este ciclo permite realizar un acabado en una pieza, su programación es muy sencilla ya que este ciclo se encarga de realizar una sola pasada para finalizar el mecanizado. Se recomienda hacer uso de este ciclo una vez realizado los demás ciclos de mecanizado requeridos por la pieza a mecanizar. Este ciclo cuenta con los parámetros P y Q, como se definen en la Tabla 17:

Código	Descripción.
G70	Función de ciclo fijo de desbaste en el eje X.
P	Parámetro que determina la línea del inicio del ciclo que define la geometría.
Q	Parámetro que determina la línea final del ciclo que define la geometría.

Tabla 17. Parámetros para ciclo de acabado.

La estructura correcta para la definición de este ciclo es la siguiente.

G70 P-- Q--

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	77 de 133

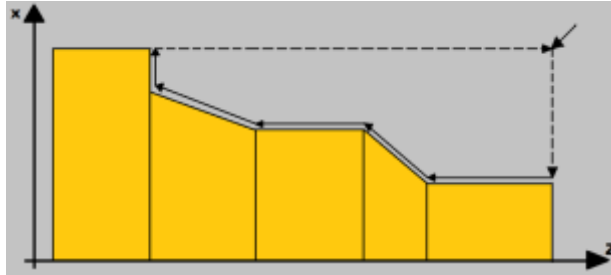


Figura 53. Trayectoria ciclo fijo de acabado. Fuente (El autor).

En la Figura 53 se muestra el recorrido que efectuará el ciclo de acabado G70.

Los valores de F y S no serán los mismos especificados por los ciclos anteriormente programados, sin embargo, el valor de los parámetros de corte F y S estarán definidos por los parámetros de corte que están especificados entre los números de línea suministrados en los parámetros P y Q.

6.5.2 Ciclo fijo de desbaste en el eje X G71.

El ciclo de desbaste en el eje X es muy útil para retirar material capa a capa. El recorrido de este ciclo incluye el recorrido en arcos chaflanes y demás que haya sido programado para cumplir la geometría definida por el plano. Estos parámetros están sujetos al tipo de herramienta y material a mecanizar. Se debe tener en cuenta que para programar correctamente esta herramienta se debe digitar dos veces la función G71, la primera especificará la definición del ciclo y la segunda especifica los parámetros a utilizar en el ciclo, La forma correcta de digitar la función G71 es la siguiente.

G71 U-- R--

Donde dichos parámetros son mostrados en la Tabla 18 y Tabla 19.

Parámetro	
U	Profundidad de corte por pasada.
R	Distancia de retirada en cada pasada.

Tabla 18. Parámetros 1 para ciclo fijo de desbaste en el eje X.

Además.

G71 P-- Q-- U-- W-- F-- S-- T--

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	78 de 133

Donde

Parámetro	Definición.
P	Parámetro que determina la línea del inicio del ciclo que define la geometría.
Q	Parámetro que determina la línea final del ciclo que define la geometría.
U	Sobrante de material en el eje X.
W	Sobrante de material en el eje Z.
F	Velocidad de avance.
S	Velocidad del cabezal.
T	Tipo de herramienta a utilizar.

Tabla 19. Parámetros 2 para ciclo fijo de desbaste en el eje X.

En la Figura 54 se evidencia el recorrido que hace la función G71 una vez programado el ciclo correctamente.

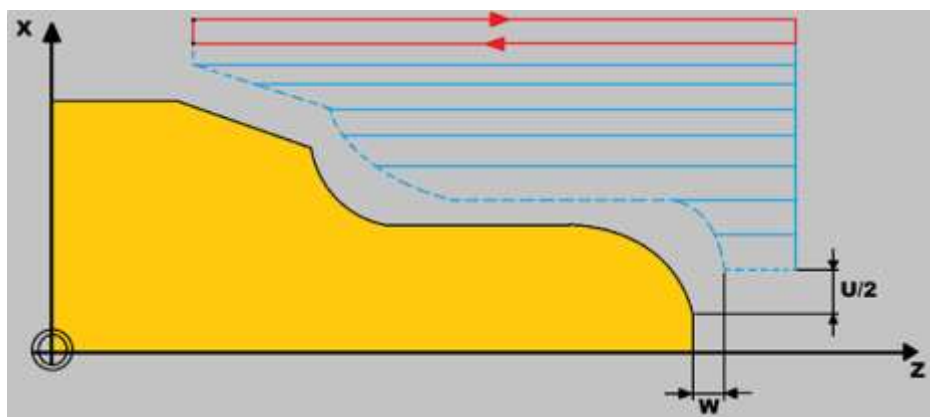


Figura 54. Trayectoria ciclo fijo de desbaste en el eje X. Fuente (El autor).

Ejemplo de función G70 y G71.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	79 de 133

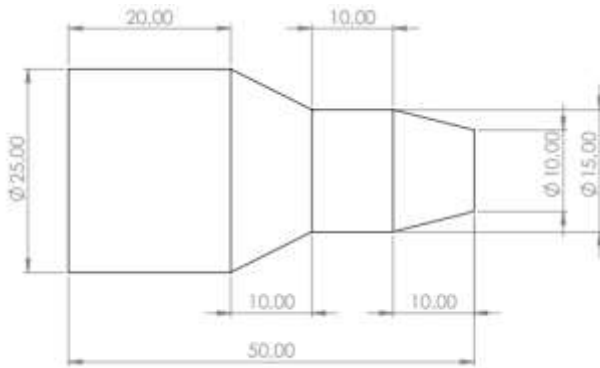


Figura 55. Plano de pieza a torneear mediante ciclo fijo G71. Fuente (El autor).

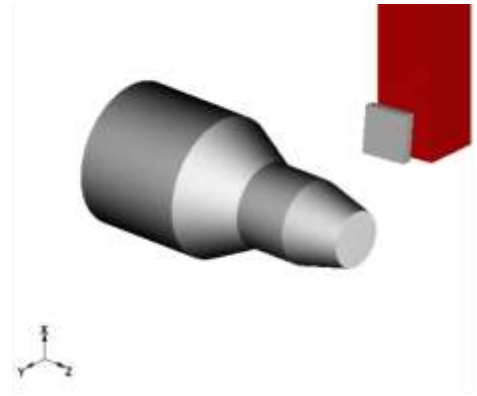


Figura 56. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

En la Figura 56 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 55 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fanuc16iTA.

Programación.

```

N0010 G54 G21 ; Traslado de coordenadas absolutas y definición de
                Unidades a programar.
N0020 G97 G99 F0.04 S120 T0101 M4 ; Definición de parámetros de corte, herramienta y
                Giro de máquina antihorario.
N0030 G71 U1 R1 ; Definición primeros parámetros ciclo fijo G71
N0040 G71 P60 Q100 U1 W0.5 F0.04 S100 T0101 ; Definición segundos parámetros ciclo fijo G71
N0050 G00 X10 Z2 ; Inicia definición de geometría del ciclo.
N0060 G01 X10 Z0
N0070 G01 X15 Z-10
N0080 X15 Z-20
N0090 X25 Z-30
N0100 X25 Z-50 ; Finaliza definición de perfil del ciclo.
N0110 G70 P60 Q100 ; Inicio ciclo fijo de acabado.
N0120 M30 ; Final del programa.

```

6.5.3 Ciclo fijo de desbaste en el eje Z G72.

El perfil a mecanizar en este ciclo puede estar compuesto por tramos curvos y tramos rectos. Este ciclo consta de una serie sucesivas de refrentado. La forma correcta de utilizar el ciclo es la siguiente. Ver especificaciones en la Tabla 20 y Tabla 21.

G72 W-- R--

Donde

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	80 de 133

Parámetro	
W	Profundidad de corte por pasada.
R	Distancia de retirada en cada pasada.

Tabla 20. Parámetros 1 para ciclo fijo de desbaste en el eje Z.

G72 P-- Q-- U-- W-- F-- S-- T--

Donde

Parámetro	Definición.
P	Parámetro que determina la línea del inicio del ciclo que define la geometría.
Q	Parámetro que determina la línea final del ciclo que define la geometría.
U	Sobrante de material en el eje X.
W	Sobrante de material en el eje Z.
F	Velocidad de avance.
S	Velocidad del cabezal.
T	Tipo de herramienta a utilizar.

Tabla 21. Parámetros 2 para ciclo fijo de desbaste en el eje Z.

En la Figura 57 se evidencia la trayectoria del ciclo.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	81 de 133

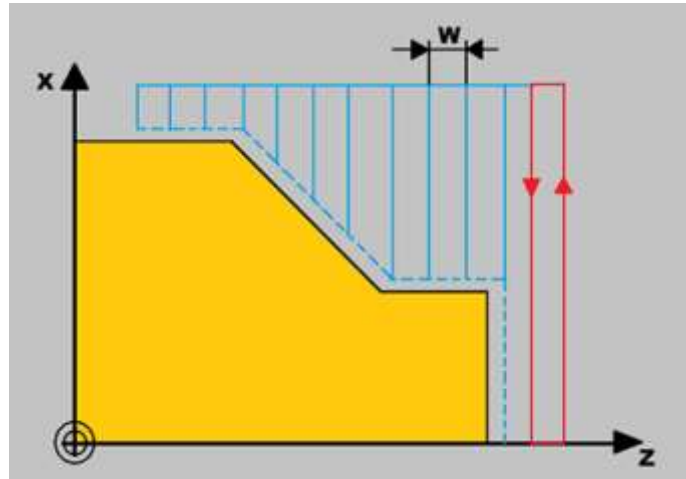


Figura 57. Trayectoria de ciclo fijo con desbaste en el eje Z. Fuente (El autor).

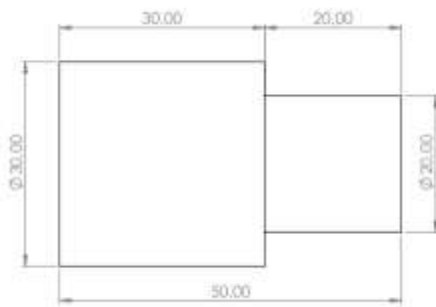


Figura 58. Plano de pieza a torneear mediante ciclo fijo G72. Fuente (El autor).

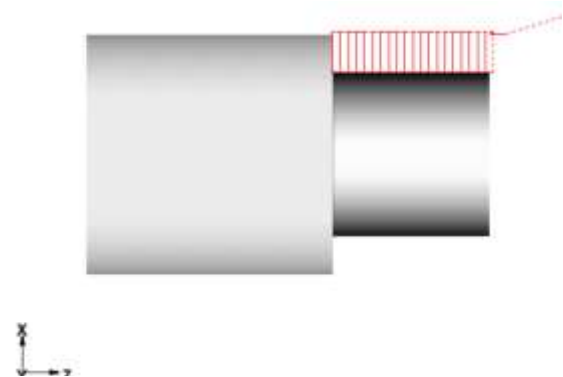


Figura 59. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

En la Figura 58 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 59 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fanuc16iTA.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	82 de 133

Programa.

N0010 G54 G21 ; Traslado de coordenadas absolutas y definición de Unidades a programar.
 N0020 G97 G99 F0.04 S120 T0101 M03 ; Definición de parámetros de corte, herramienta, Corrector y giro de la máquina en sentido horario.
 N0030 G00 X30 Z2 ; Inicia definición del perfil de mecanizado del ciclo.
 N0040 G01 Z0
 N0050 G72 W1 R1 ; Definición primeros parámetros ciclo fijo G72
 N0060 G72 P70 Q80 U0.5 W0.5 F0.04 S120 T0101 ; Definición segundos parámetros ciclo fijo G72
 N0070 G01 X30 Z-20 ; Inicia definición del perfil de mecanizado del ciclo.
 N0080 X20 ; Finaliza definición del perfil de mecanizado del ciclo.
 N0090 M30 ; Finalización del programa.

6.5.4 Ciclo fijo de seguimiento de perfil G73.

Esta función permite realizar un seguimiento de perfil en diferentes capas, para esto se debe definir la cantidad de pasadas que se requiera hacer. El CNC calculará la dimensión de profundidad de cada pasada. Para realizar una pasada de acabado será necesario utilizar la función G70. Los parámetros de corte a tener en cuenta para la función G70 deben estar definidas entre los parámetros P y Q. Ver especificaciones en la Tabla 22 y Tabla 23.

La forma correcta de programar la función G73 es la siguiente.

G73 U-- W-- R--

Donde

Parámetro.	Definición.
U	Material a mecanizar en el eje X.
W	Material a mecanizar en el eje Z.
R	Numero de pasadas a mecanizar.

Tabla 22. Parámetros 1 para ciclo fijo de seguimiento de perfil.

G73 P-- Q-- U-- W-- F-- S-- T--

Donde

Parámetro.	Definición.
------------	-------------

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	83 de 133

P	Parámetro que determina la línea del inicio del ciclo que define la geometría.
Q	Parámetro que determina la línea final del ciclo que define la geometría.
U	Sobrante de material en el eje X.
W	Sobrante de material en el eje Z.
F	Velocidad de avance.
S	Velocidad del cabezal.
T	Tipo de herramienta a utilizar.

Tabla 23. Parámetros 2 para ciclo fijo de seguimiento de perfil.

En la Figura 60 muestra la trayectoria de la función G73.

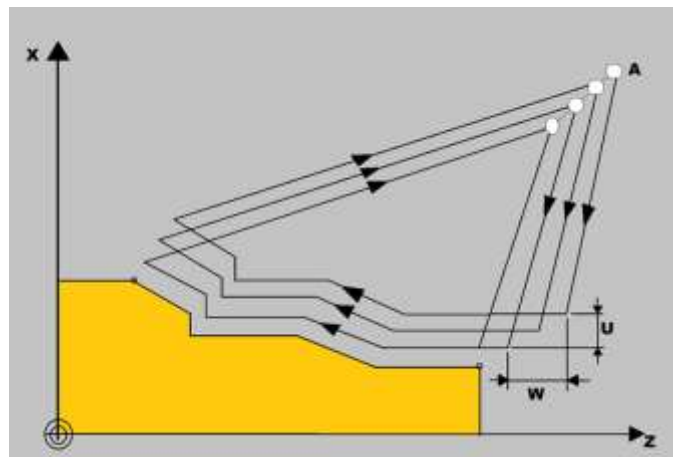


Figura 60. Trayectoria de ciclo fijo de seguimiento de perfil. Fuente (El autor).

Ejemplo de programación función G73.

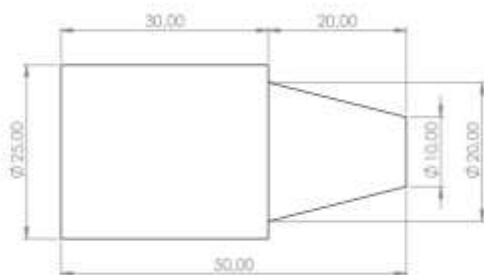


Figura 61. Plano de pieza a tornear mediante ciclo fijo G73. Fuente (El autor).

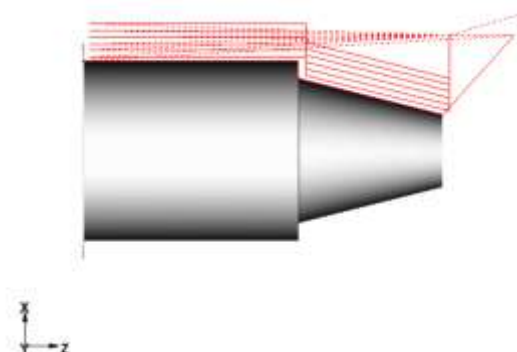


Figura 62. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	84 de 133

En la Figura 61 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 62 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fanuc16iTA.

Programación.

```

N0010 G54 G21 ; Traslado de coordenadas absolutas y definición de
Unidades a programar.
N0020 G97 G99 F0.04 S120 T0101 M03 ; Definición de parámetros de corte, herramienta,
Corrector y giro de la máquina en sentido horario.
N0030 G73 U3 W1 R10 ; Definición primeros parámetros ciclo fijo G73
N0040 G73 P60 Q90 U1 W1 F0.05 S1200 T0101 ; Definición segundos parámetros ciclo fijo G73
N0050 G00 X10 Z2 ; Posicionamiento rápido.
N0060 G01 X10 Z0 ; Inicia definición del perfil de mecanizado del ciclo.
N0070 G01 X20 Z-20
N0080 X25 Z-20
N0090 X25 Z-50 ; Finaliza definición del perfil de mecanizado del ciclo.
N0100 G00 Z10 ; Nuevo posicionamiento rápido.
N0110 G70 P60 ; Inicia ciclo de acabado G70.
N0120 M30 ; Finaliza programa.

```

6.5.5 Ciclo fijo de roscado múltiple G76.

Este ciclo permite realizar roscados con múltiples pasadas, la forma correcta de utilizar la función G76 es la siguiente.

G76 P-- Q-- R--

Los parámetros del ciclo son mostrados en la Tabla 24 y Tabla 25.

Donde

Parámetro	Descripción
P	Definición de roscado.
Q	Profundidad mínima de corte (micras).
R	Material sobrante para acabado.

Tabla 24. Parámetros 1 para ciclo fijo de roscado múltiple.

G76 X-- Z-- U-- W-- R-- P-- Q-- F--

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	85 de 133

Donde

Parámetro	Descripción
X	Diámetro final de la rosca.
Z	Cota final de la rosca.
U	Parámetro no obligatorio.
W	Parámetro no obligatorio.
R	Diferencia radial de rosca, para rosca inclinada.
P	Profundidad de roscado.
Q	Profundidad de corte en la primera pasada.
F	Paso de rosca.

Tabla 25. Parámetros 2 para ciclo fijo de roscado múltiple.

En la figura 63 se visualizan los parámetros y la trayectoria del ciclo G76.

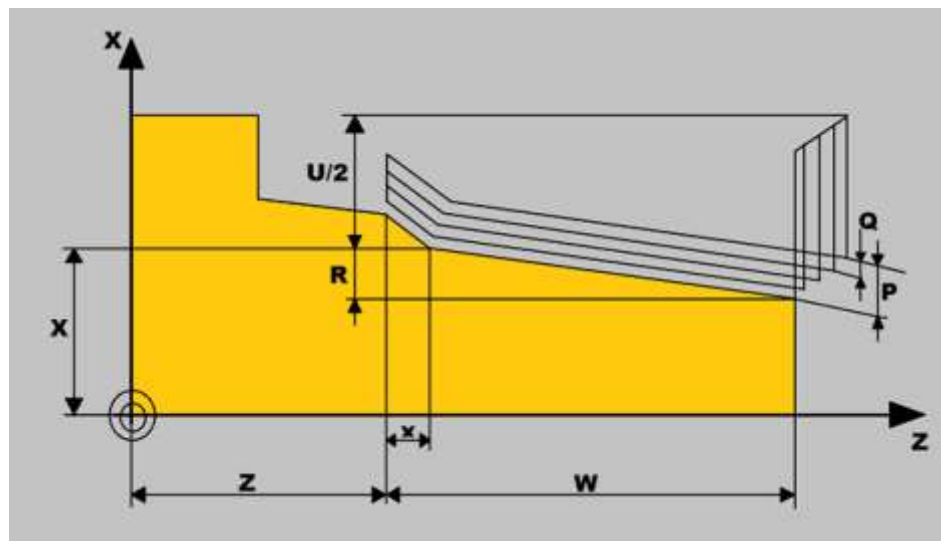


Figura 63. Trayectoria de ciclo fijo de roscado múltiple. Fuente (El autor).

6.6 CONTROLADOR FANUC PARA FRESA.

A continuación, se explicará las principales funciones de código G y funciones auxiliares que permiten mecanizar en máquinas CNC por medio de controladores Fanuc para fresa.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	86 de 133

6.6.1 Herramientas (T).

En CNC se puede manejar diferentes tipos de herramientas, entre las cuales se puede encontrar las herramientas de arranque de virutas, siendo estas las más usadas en torno CNC [11].

Este grupo de herramientas toleran un proceso de arranque de material que permite maquinar una pieza hasta llegar a la geometría deseada por el plano de fabricación [15] [11].

Para hacer el llamado de herramienta, en el banco de herramienta, se debe programar la letra T seguido de un carácter numérico que identifique al número de herramienta correspondiente y el número de corrector a utilizar por la herramienta o las herramientas deseadas a utilizar en el proceso. Es decir, si se necesita programar la herramienta 10 con corrector 10 solo se digita T1010, así sucesivamente con todas las herramientas a utilizar en el maquinado [14] [20].

6.6.1.1 Cambio de herramienta.

El cambio de herramienta es una función muy útil en el mecanizado CNC. Esta función permite hacer un cambio de herramienta en el mismo código de mecanizado. Facilita el cambio de herramienta con el programa en ejecución y sin paradas inesperadas, a diferencia del cambio de herramienta para torno en fresa es necesario programar la función auxiliar M06 para tener un correcto cambio de herramienta [16] [6].

Una correcta programación de cambio de herramienta se debe efectuar en una línea de código que especifique únicamente el cambio de herramienta y la modificación de parámetros de corte (de ser necesario). Un ejemplo de ellos es el siguiente, si se tiene en funcionamiento la herramienta T10 y se quiere utilizar la herramienta T05 se debe digitar lo siguiente en un bloque de código [20].

T0505 M06 → Función auxiliar cambio de herramienta.
↓ ↓
 Corrector de herramienta #5.
Herramienta número 5.

De ser necesario en esa misma línea se debe hacer el cambio de F y S [14].

6.6.1.2 Corrector D.

El corrector de herramientas es una función de vital importancia al momento de mecanizar. Esta función permite hacer una compensación de la herramienta. Por ese motivo las dimensiones de la herramienta no alteran la geometría deseada [16].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	87 de 133

El corrector puede ser el mismo para diferentes herramientas, ya que pueden existir herramienta que hagan diferentes funciones de mecanizado, pero a su vez tengan las mismas dimensiones. Estos correctores se deben digitar junto a la herramienta que se esté usando, en caso de cambiar herramienta [14]. En la Tabla 26 se muestra un ejemplo de corrector.

Ejemplo	Descripción.
T1010	Programación correcta del corrector después de programar la herramienta.
T0815	Programación de cambio de herramienta y con cambio de corrector.

Tabla 26. Ejemplo de cambio de herramienta para controlador Fanuc en fresa.

6.6.2 Funciones auxiliares.

Estas funciones permiten tener intervenciones radicales en la máquina y el programa. Para programar estas funciones se debe digitar la letra M seguido del número que corresponda a la función requerida. La siguiente lista de funciones auxiliares son las más comunes en la programación CNC [16] [14] [6]. En la Tabla 27 se muestra las principales funciones auxiliares utilizadas en controlador Fanuc para fresa CNC.

Código	Función
M00	Parada del programa.
M01	Para condicional del programa.
M02	Final del programa.
M03	Giro del cabezal a la derecha.
M04	Giro del cabezal a la izquierda.
M05	Parada del cabezal.
M06	Cambio de herramienta.
M08	Encender bomba de refrigeración.
M09	Apagar bomba de refrigerante.
M10	Abrir puerta.
M11	Cerrar puerta.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	88 de 133

M30	Fin de programa (retorno al inicio).
-----	--------------------------------------

Tabla 27. Funciones auxiliares para controlador Fanuc en fresa.

6.6.3 Funciones preparatorias (G).

Para la realización de las funciones preparatorias se debe emplear la letra G, seguida de números que indiquen el tipo de función a ejecutar. Estas funciones pueden ir de movimientos de máquina, hasta la definición de unidades en la cual se va a trabajar (in, mm). Los números pueden ir de un dígito hasta tres dígitos. Entre las funciones más comunes se encuentran las mostradas en la tabla. Las casillas A, B, C indican los diferentes tipos de controladores Fanuc y los códigos asignados para la misma [6] [16][20]. En la Tabla 28 se muestran las principales funciones de código G utilizados en controlador Fanuc para fresa.

Códigos G	FUNCIÓN
G00	Posicionamiento rápido.
G01	Interpolación lineal.
G02	Interpolación circular en sentido horario.
G03	Interpolación circular en sentido antihorario.
G20	Unidades de trabajo en pulgadas.
G21	Unidades de trabajo en milímetros.
G40	Anulación de compensación radial.
G41	Compensación radial de la herramienta a la izquierda.
G42	Compensación radial de la herramienta a la derecha.
G50	Limitación de la velocidad máxima del cabezal.
G52	Definición del sistema de coordenadas.
G54	Traslado del origen absoluto 1.
G55	Traslado del origen absoluto 2.
G56	Traslado del origen absoluto 3.
G57	Traslado del origen absoluto 4.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	89 de 133

G58	Traslado del origen absoluto 5.
G59	Traslado del origen absoluto 6.
G68	Giro del sistema de coordenadas.
G81	Ciclo fijo de perforación.
G84	Ciclo fijo de roscado a la derecha.
G98	Velocidad de avance en mm/min (in/min).
G99	Velocidad de avance en mm/rev (in/rev).

Tabla 28. Funciones principales para controlador Fanuc en fresa.

6.6.4 Posicionamiento rápido G00.

La forma de programar es igual a la vista en la sección 6.7.4 con el posicionamiento rápido G00 para torno, a continuación, se muestra un ejemplo de programación.

Ejemplo:

```
N0010 G00 X0 Y0 Z5 F100
N0020 X10 Y10 Z2
N0030 G01 X10 Y10 Z-10 F150
```

En la línea N0010 se da la orden específica de un posicionamiento rápido en X0 Y0 Z5. En la siguiente línea se hace nuevamente un posicionamiento rápido en X10 Y10 Z2. Por último, en la línea N0030 se activa la función G01 de interpolación lineal con un parámetro F específico, descartando de esta forma el parámetro F programado en la línea N0010. Se recomienda no redundar en parámetros.

6.6.5 Interpolación lineal G01.

La forma de programar es igual a la vista en la sección 6.7.5 con la función de interpolación lineal G01 para torno.

A continuación, se presenta un ejemplo de programación en interpolación lineal para fresa.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	90 de 133

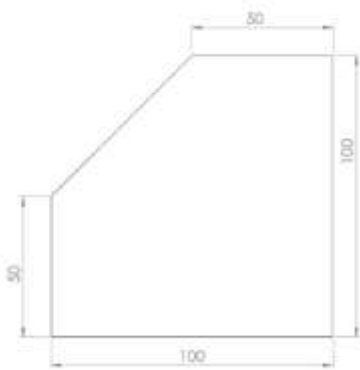


Figura 64. Plano de pieza a fresar mediante función G01. Fuente (El autor).

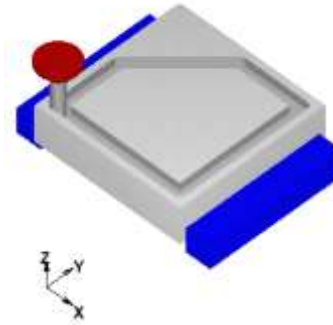


Figura 65. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

En la Figura 64 se evidencia el plano de la geometría a mecanizado con medidas en milímetros. En la Figura 65 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fanuc16iM.

Programación.

```

N010 T0101          ; Herramienta y corrector 1 utilizados.
N020 M6             ; Función auxiliar cambio de herramienta.
N030 G54 G21        ; Traslado de coordenadas absolutas y definición de
                    ; Unidades a programar.
N040 G0 G90 X0 Y0 Z10 F100 S100 M03 ; Posicionamiento rápido y parámetros de corte.
N050 G01 Z-5        ; Inicio de interpolación lineal.
N060 X0 Y50
N070 X50 Y100
N080 X100 Y100
N190 X100 Y0
N100 X0 Y0          ; Final de interpolación lineal.
N110 M30           ; Finalización del programa.

```

6.6.6 Interpolación circular G02, G03.

La interpolación circular se puede hacer de 2 formas distintas. Sentido horario y sentido antihorario. En la Tabla 29 se muestra la forma de programar [16].

G02	Interpolación circular a la derecha (horario)
G03	Interpolación circular a la izquierda (antihoraria)

Tabla 29. Codigos de interpolación circular.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	91 de 133

6.6.6.1 Interpolación circular mediante coordenadas cartesianas.

La velocidad de avance se mantendrá constante a la definida en el inicio del programa o a la última actualización del programa en F [17].

Esta coordenada será definida por el final del arco y por la posición del centro con respecto al punto de partida. De igual forma será definido por los ejes del plano de trabajo [14].

las cotas del medio se definirán en radios mediante las letras I, J, K. Los ejes en el plano para dicha programación cambiarán de la siguiente manera [6].

X -> I.

Y -> J.

Z -> K.

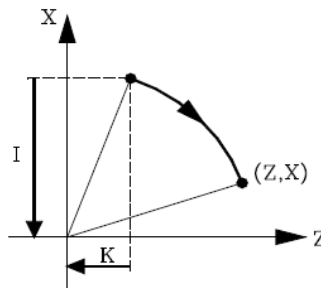


Figura 66: Trayectoria cartesiana. Fuente (FAGOR 2014).

En la Figura 66 se muestra la manera en la cual se acota el radio mediante coordenadas cartesianas, en este caso se puede notar que el trabajo se hace en el plano Z, X, pero su denotación cartesiana se hace con K, I respectivamente [6].

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	92 de 133

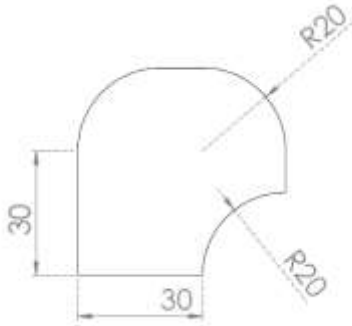


Figura 67. Plano de pieza a fresar mediante interpolación circular. Fuente (El autor).

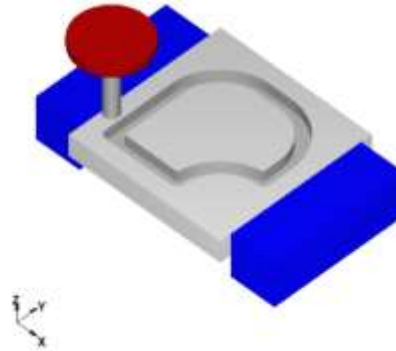


Figura 68. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

En la Figura 67 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 68 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fanuc16iM.

Programación.N010 T0303

; Herramienta y corrector número 1.

```

N020 M6 ; Función auxiliar de cambio de herramienta.
N030 G54 G21 ; Traslado de coordenadas absolutas y definición de unidades a
programar.
N040 M03 ; Giro de máquina a la derecha.
N050 G0 G90 X30 Y0 Z10 ; Posicionamiento rápido
N060 G01 Z-5 ; Interpolación lineal.
N070 X0 Y0
N080 X0 Y30
N090 G02 X20 Y50 I20 J0 ; Interpolación circular horaria y cartesiana.
N100 G01 X30 Y50
N110 G02 X50 Y30 I0 J-20
N090 G01 X50 Y20
N100 G03 X30 Y0 I0 J-20 ; Interpolación circular antihoraria y cartesiana.
N110 G01 X0 Y0
N120 Z10
N130 M30 ; Finalización del programa.

```

6.6.6.2 Coordenadas cartesianas con programación de radio.

Para acceder a esta función se debe identificar el sentido a mecanizar, bien sea horario o antihorario, seguidamente se debe definir el punto inicial en el cual se desea hacer el desplazamiento, posteriormente se debe definir el punto final del desplazamiento. Finalmente, se debe suministrar el radio con el cual se va a terminar de proporcionar la información de la interpolación, para determinar el radio se debe digitar con la letra R mayúscula, seguido de la medida en mm o en in (según el sistema de medición programado) [6].

Esta es una de las formas más comunes de programar, ya que su denotación es muy sencilla. Sin embargo, el método a utilizar en el mecanizado de una pieza está regido por el plano, ya que cada

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	93 de 133

plano proporciona información diferente y en algunos casos los planos con la información suministrado limitan a utilizar un método en específico [14].

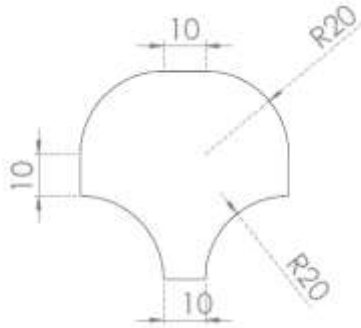


Figura 69. Plano de pieza a fresar mediante interpolación circular.
Fuente (El autor).

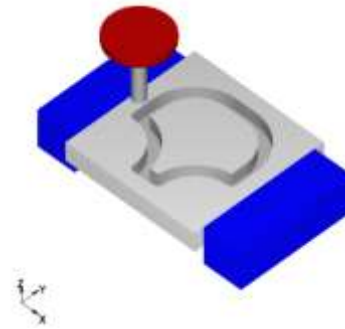


Figura 70. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

En la Figura 69 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la Figura 70 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fanuc16iM.

Programación.

```

N010 T0303 M06          ; Herramienta y corrector numero 3, función de cambio de
                          ; Herramienta.
N020 G54                ; Traslado de coordenadas absolutas.
N030 M03                ; Giro de máquina a la derecha.
N040 G0 G90 X20 Y0 Z10 F100 S100 ; Posicionamiento rápido y parámetros de corte.
N050 G01 X20 Y0 Z-5      ; Interpolación lineal.
N060 X30 Y0
N070 G02 X50 Y20 R20     ; Interpolación circular horaria por radios.
N080 G01 X50 Y30
N090 G03 X30 Y50 R20     ; Interpolación circular antihoraria por radios.
N100 G01 X20 Y50
N110 G03 X0 Y30 R20      ; Interpolación circular antihoraria por radios.
N120 G01 X0 Y20
N130 G02 X20 Y0 R20      ; Interpolación circular horaria por radios.
N140 G01 Z40
N150 M30                ; Finalización del programa.

```

6.6.7 Compensación de herramientas.

En el maquinado se necesita calcular y definir la trayectoria de las herramientas, esto se debe hacer considerando el radio de la misma como se explicó en el apartado 6.2.8.1. Además, al momento de utilizar la compensación de herramienta será de vital importancia definir el plano en el cual se desea mecanizar. Para estas consideraciones se cuenta con 3 funciones de compensación de radio de herramienta ya mencionadas [16]. Ver Tabla 30.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	94 de 133

Código	Función
G40	Anulación de compensación radial.
G41	Compensación radial de la herramienta a la izquierda.
G42	Compensación radial de la herramienta a la derecha.

Tabla 30. Funciones para compensación de herramienta para fresa.

6.6.7.1 Anulación de compensación radial G40

La función G40 permite anular la compensación de herramienta que se haya programado previamente, bien sea G41 o G42.

6.6.7.2 Compensación radial de la herramienta a la izquierda G41.

Esta función permite tener en cuenta el radio de la herramienta utilizado para el mecanizado definido, el radio a tener en cuenta en la compensación de cada herramienta será tomado en cuenta por el corrector programado. Esto evita tener chaflanes, arcos y conos con dimensiones diferentes a la programada. En la Figura 71 se muestra la compensación de herramienta a la izquierda con respecto a la trayectoria.

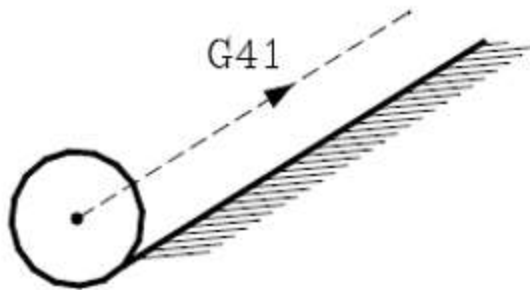


Figura 71. Compensación radial de la herramienta a la izquierda. Fuente (FAGOR 2014).

6.6.7.3 Compensación radial de la herramienta a la derecha G42.

Esta función permite tener en cuenta el radio de la herramienta utilizado para el mecanizado definido, el radio a tener en cuenta en la compensación de cada herramienta será tomado en cuenta por el corrector programado. Esto evita tener chaflanes, arcos y conos con dimensiones diferentes a la programada. Para los trayectos de paralelos al eje X no será necesario la programación de compensación radial. En la Figura 72 se muestra la compensación de herramienta a la derecha con respecto al recorrido.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	95 de 133

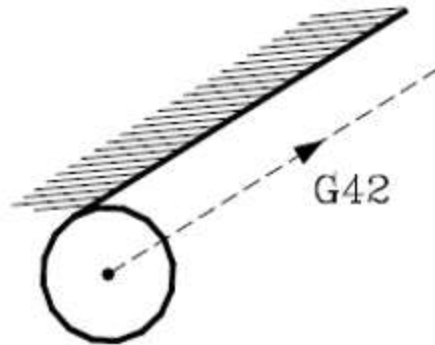


Figura 72. Compensación radial de la herramienta a la derecha. Fuente (FAGOR 2014).

Para realizar la compensación de herramientas se debe tener en cuenta que se puede realizar únicamente cuando están activas las funciones de movimientos rectilíneos, es decir, las funciones G00 y G01 [14].

6.7 Ciclos fijos.

La función principal de los ciclos fijos es simplificar la complejidad del programa, ahorrando de esta forma líneas de código y haciendo el programa mucho más fácil de digitar y entender.

6.7.1 Ciclo fijo de perforación G81

Este ciclo permite realizar una perforación en varias pasadas, se debe tener en cuenta que el sentido del cabezal y las RPM debe ser definido anteriormente al ciclo.

La estructura correcta para la definición de este ciclo es la siguiente.

G81 X-- Y-- Z-- R-- F-- K--

En la Tabla 31 se muestra la descripción de los parámetros a programar.

Donde:

Código	Descripción.
G81	Ciclo fijo de perforación.
X	Cota en el eje X.
Y	Cota en el eje Y.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	96 de 133

Z	Distancia del punto r hasta el fondo del agujero.
R	Distancia nivel inicial hasta el nivel del punto R
F	Velocidad de avance F
K	Número de repeticiones

Tabla 31. Parámetros para ciclo de perforación.

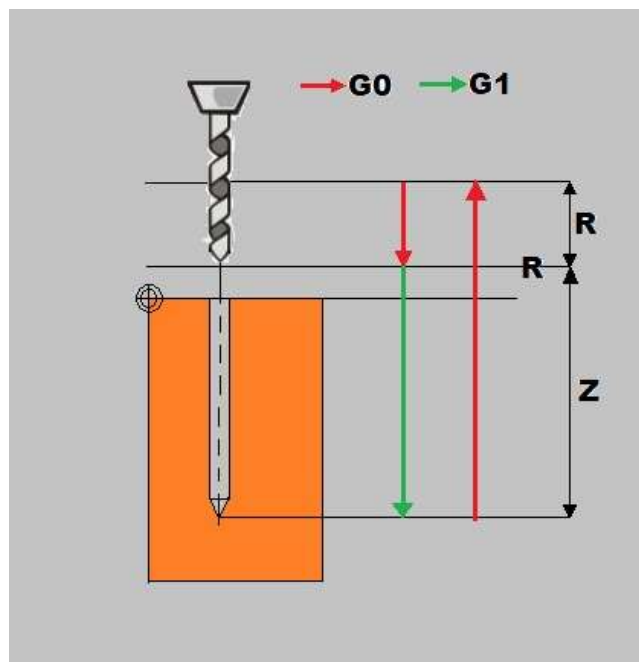


Figura 73. Trayectoria de ciclo fijo de perforación para fresa mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

En la Figura 73 Se evidencia claramente los parámetros Z, R y las trayectorias de posicionamiento rápido que se emplearán en el ciclo de perforación G81.

En el siguiente ejemplo se pretende hacer 4 perforaciones de 30 mm con 2 repeticiones en cada esquina mediante el ciclo G81.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	97 de 133

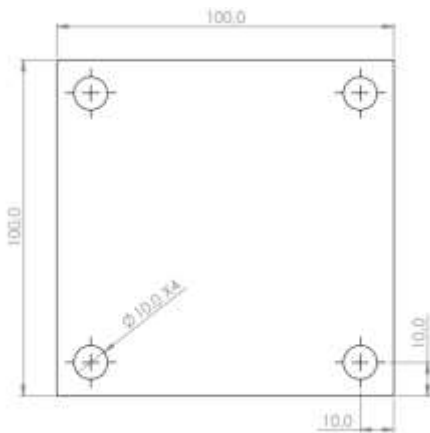


Figura 744. Plano perforaciones
Fuente (El autor).

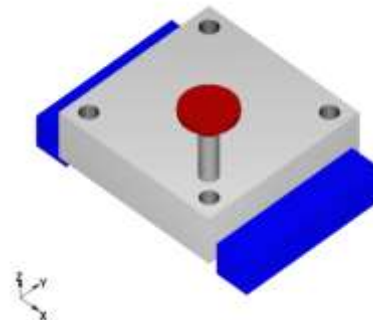


Figura 75. Simulación mecanizada
mediante controlador Fanuc.
Fuente (el autor).

En la 4 se evidencia el plano de la geometría a mecanizar con medidas en milímetros. En la 5 se muestra el mecanizado efectuado en la pieza por medio de un simulador Fanuc16iM.

Programación.

```

N0010 T0101 M06 ; Herramienta y corrector número 1, función auxiliar de
                  Cambio de herramienta.
N0020 G54 G21 ; Traslado de coordenadas absolutas y definición de
                  Unidades a programar.
N0030 G94 G96 F100 S1000 ; Definición de parámetros de corte.
N0040 G0 G90 X10 Y40 Z15 M3 ; Programación en coordenadas absolutas y posicionamiento
                              rápido
N0050 G81 X10 Y10 Z-30 R1 F100 K2 ; Inicia ciclos de taladrado G81.
N0060 G81 X10 Y90 Z-30 R1 F100 K2
N0070 G81 X90 Y90 Z-30 R1 F100 K2
N0080 G81 X90 Y10 Z-30 R1 F100 K2 ; Finaliza ciclos de taladrado G81.
N0090 M30 ; Fin del programa.

```

6.7.2 Ciclo de roscado a la derecha G84.

Este ciclo permite hacer un roscado.

G84 X-- Y-- Z-- R-- P-- F-- K--

En la Tabla 32 se muestra la descripción de los parámetros a programar.

Donde

Parámetro	Definición.
X	Cota en X.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	98 de 133

Y	Cota en Y.
Z	Distancia del punto R hasta el fondo del agujero.
R	Distancia nivel inicial Hasta el nivel del punto R.
P	Tiempo de espera.
F	Velocidad de avance.
K	Número de repeticiones.

Tabla 32. Parámetros para ciclo de roscado a la derecha.

En la Figura 75 se evidencia el recorrido que hace la función G71 una vez programado el ciclo correctamente.

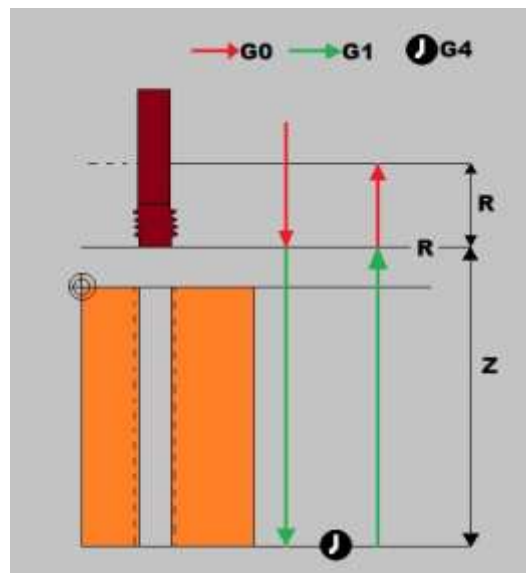


Figura 75. Trayectoria ciclo roscado a la derecha. Fuente (El autor).

7. EJERCICIOS.

Este apartado contará con ejercicios resueltos que permitirán evidenciar las funciones anteriormente vista para los diferentes controladores. Del mismo modo, se contará con ejercicios propuestos que permitirá poner en práctica los conocimientos adquiridos.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	99 de 133

7.1 Ejercicios resueltos.

Esta sección cuenta con seis ejercicios resueltos con diferente tipo de controladores, los cuales estarán separados por el tipo de máquina empleada para mecanizar (Torno o Fresa). Asimismo, se programaron en los 2 diferentes tipos de controladores. Los ejercicios serán programados y se hará una breve descripción en las líneas más influyentes en el programa.

7.1.1 EJERCICIOS RESUELTOS DE FRESA.

A continuación, se muestra tres ejercicios resueltos para fresa CNC. Los ejercicios estarán organizados por el controlador utilizado. Se dará inicio con el ejercicio programado por medio del controlador Fagor. Los dos ejercicios restantes se programaron por medio de controlador Fanuc.

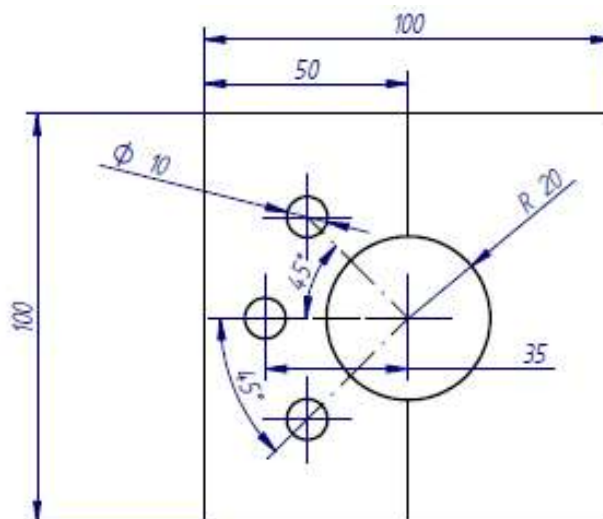
Ejercicio fresa 1.

Realizar un programa CNC utilizando ciclos fijos para el controlador Fagor 8050M que permita mecanizar la siguiente pieza (visualizar Figura 76), con los siguientes parámetros de corte:

F 150 mm/min.

S 1800 RPM.

Realizar el mecanizado mediante controlador Fagor 8050M.



	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	100 de 133

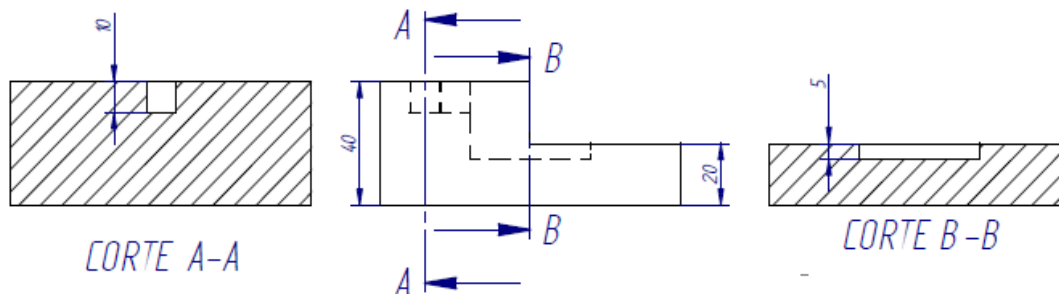


Figura 76.Plano de pieza. Fuente (El autor).

SOLUCIÓN.

PROGRAMA.

```

N010 (ORGX54=-150, ORGY54=-150, ORGZ54=-100) ; Definición de plano de coordenadas.
N020 G54 ; Plano de trabajo
N030 T1 D1 M06 ; Cambio de herramienta y corrector
N040 F150 S1800 ; Parámetros de corte
N050 G0 G90 X0 Y0 Z10 M03 ; Encendido de usillo con giro a la
; derecha y posicionamiento rápido.
N060 G87 X75 Y50 Z1 I-20 J25 K50 B4 C8 D2 H100 L8 ; ciclo fijo caj. Rectangular
N070 G88 X50 Y50 Z2 I-25 J20 B4 C8 D2 H100 L8 ; ciclo fijo caj. Circular
N080 G80 ; Anulación de códigos fijos.
N090 G01 X55 ; inicio de desbaste del sobrante de
; Material
N100 Y0
N110 Z-20
N120 Y100
N130 X100
N140 Y0
N150 X55
N160 Z10 ; Final de desbaste de sobrante de
; Material
N165 T5 D5 M06 ; Cambio de herramienta
N170 X15 Y50 ; inicio de perforación de agujeros
N180 Z-10
N190 Z10
N200 G93 I50 J50
N210 G03 Q225
N220 G01
N230 Z-10
N240 Z10
N250 G03 Q135
N260 G01
N270 Z-20
N280 Z10 ; Fin de perforación de agujeros
N290 M30 ; fin del programa.

```

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	101 de 133

En la Figura 77 se evidencia el resultado obtenido del mecanizado.

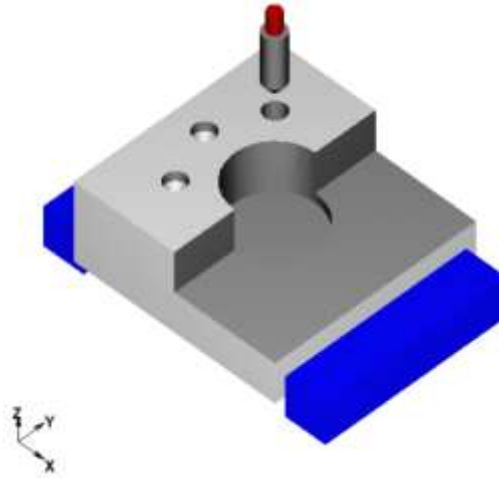


Figura 77. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).

Ejercicio fresa 2.

Realizar un programa CNC utilizando controlador Fanuc que permita mecanizar la siguiente pieza (visualizar Figura 79). Los parámetros de corte serán libres de considerar.

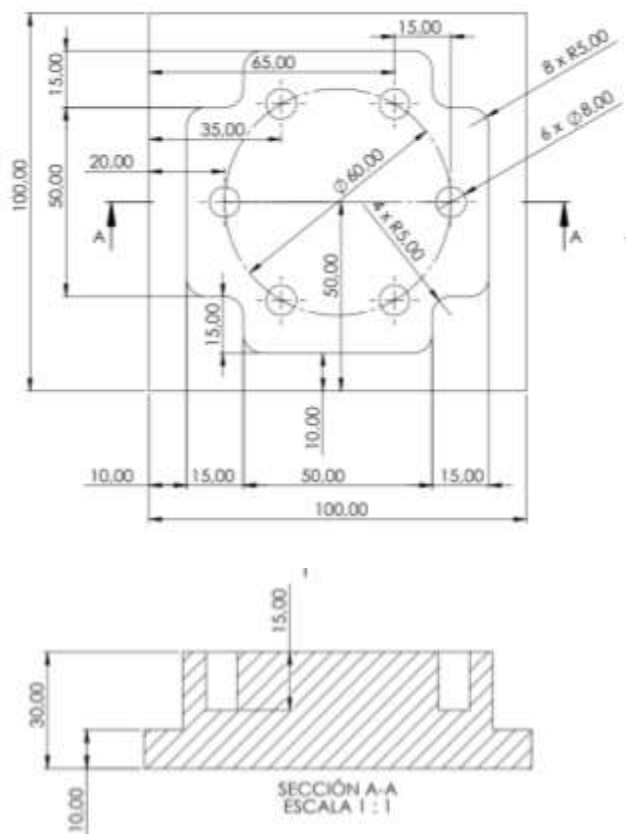


Figura 78. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	102 de 133

SOLUCIÓN.

PROGRAMA.

N0010 T0101	; Herramienta a trabajar
N0020 M6	; Función auxiliar de cambio de herramienta.
N0030 G54 G21	; plano a trabajar y unidades a trabajar.
N0040 G94 G96 F100 S1000	; Definición de parámetros de corte.
N0050 G0 G90 X5 Y0 Z10 M03	; Encendido de máquina y posicionamiento rápido.
N0060 G01 Z-30	; Inicio de mecanizado geometría exterior.
N0070 G41	; inicio de compensación radial a la izquierda
N0080 X10 Y70	
N0090 G02 X15 Y75 R5	; interpolación circular a horaria.
N0100 G01 X20	
N0110 G03 X25 Y80 R5	; interpolación circular antihoraria
N0120 G01 Y85	
N0130 G02 X30 Y90 R5	
N0140 G01 X70	
N0150 G02 X75 Y85 R5	
N0160 G01 Y80	
N0170 G03 X80 Y75 R5	
N0180 G01 X85	
N0190 G02 X90 Y70 R5	
N0200 G01 Y30	
N0210 G02 X85 Y25 R5	
N0220 G01 X80	
N0230 G03 X75 Y20 R5	
N0240 G01 Y15	
N0250 Y15	
N0260 G02 X70 Y10 R5	
N0270 G01 X30	
N0280 G02 X25 Y15 R5	
N0290 G01 Y20	
N0300 G03 X20 Y25 R5	
N0310 G01 X15	
N0320 G02 X10 Y30 R5	
N0330 G40	; Anulación de compensación radial.
N0340 G01 X3 Y97	
N0350 X97	
N0360 Y3	
N0370 X3	
N0380 Z10	; Fin de mecanizado geometría exterior.
N0390 T0202	; Cambio de herramienta.
N0400 M06	; Función auxiliar de cambio de herramienta.
N0410 X10 Y90	; Inicio de perforación de huecos.
N0420 Z-30	
N0430 Z10	
N0440 X90 Y90	
N0450 Z-30	
N0460 Z10	
N0470 X90 Y10	
N0480 Z-30	
N0490 Z10	
N0500 X10 Y10	
N0510 Z-30	
N0520 Z10	
N0530 T0505	
N0540 M06	



```
N0550 G01 X20 Y50  
N0560 Z-15  
N0570 Z10  
N0580 X35 Y75.98  
N0590 Z-15  
N0600 Z10  
N0610 X65  
N0620 Z-15  
N0630 Z10  
N0640 X80 Y50  
N0650 Z-15  
N0660 Z10  
N0670 X65 Y24  
N0680 Z-15  
N0690 Z10  
N0700 X35  
N0710 Z-15  
N0720 Z10  
N0730 M30
```

```
; Fin de perforación de huecos.  
; Fin de programa.
```

En la Figura 79, se observa el resultado final del mecanizado.

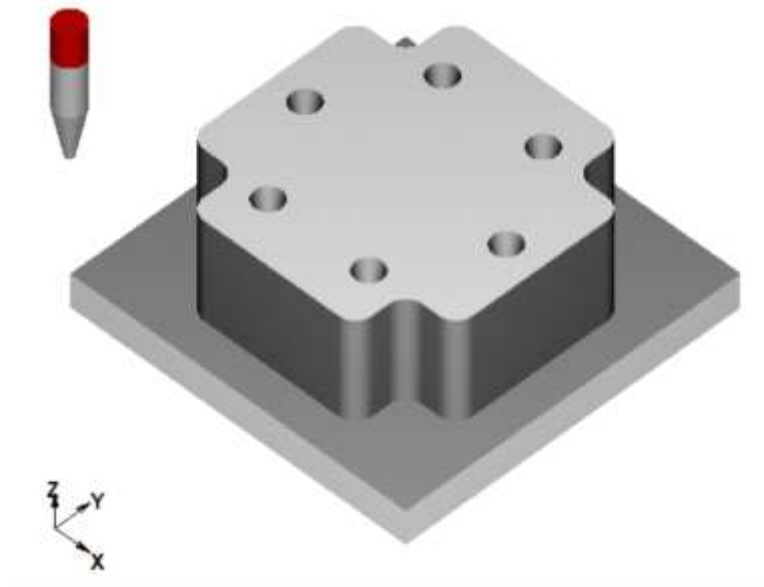


Figura 79. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	104 de 133

Ejercicio fresa 3.

Realizar un programa CNC utilizando ciclos fijos para el controlador Fanuc que permita mecanizar la siguiente pieza (visualizar Figura 81), con los siguientes parámetros de corte:

F 150 mm/min.

S 1800 RPM.

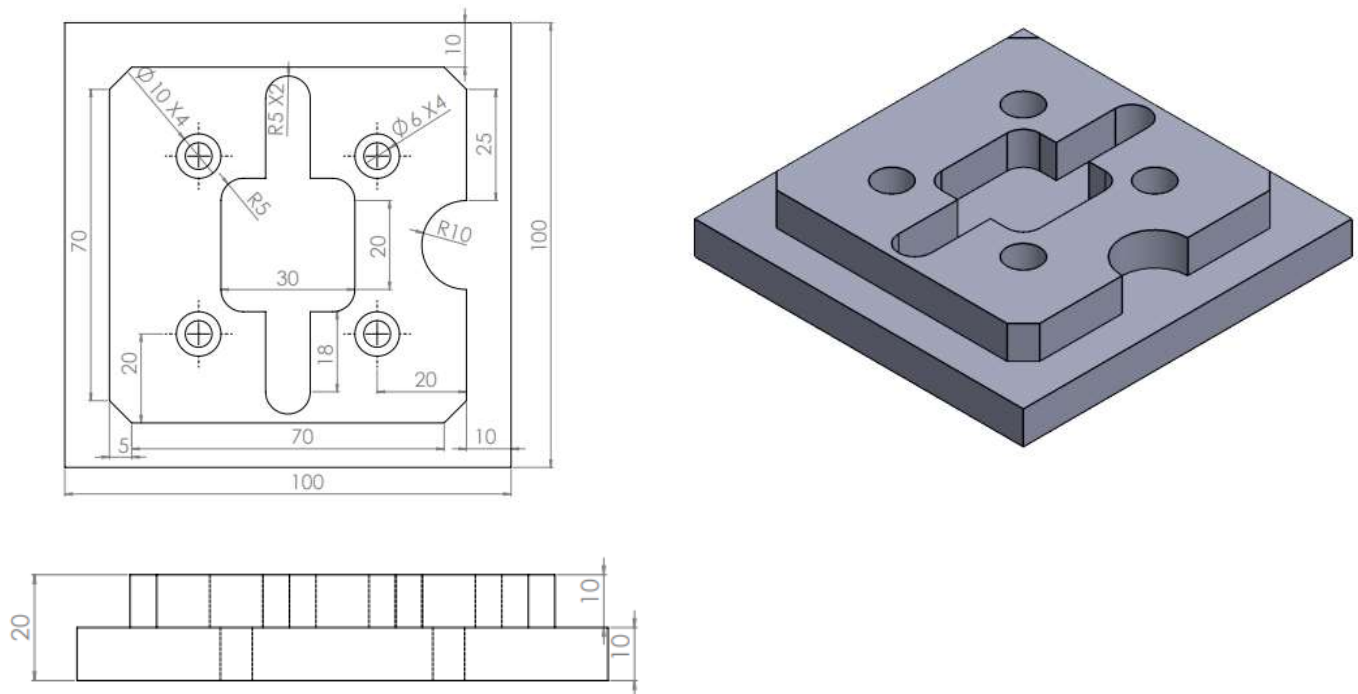


Figura 80. Plano de pieza. Fuente (El autor).

SOLUCIÓN.

PROGRAMA.

```

N0010 T0101 M06 ; Herramienta a trabajar y función de cambio
N0020 G21 ; Definición de unidades a trabajar.
N0030 G54 ; Plano a trabajar.
N0040 G94 G96 F100 S1000 ; definición de parámetros de corte.
N0050 G41 ; compensación de radio a la izquierda.

```

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	105 de 133

N0060 G0 G90 G43 X10 Y00 Z15 M3 ; Posicionamiento rápido y encendido
Del usillo en sentido horario.
N0070 G01 Z-10 ; inicio de geometría exterior
N0080 X10 Y85
N0090 X15 Y90
N0100 X85 Y90
N0110 X90 Y85
N0120 Y60
N0130 G03 X90 Y40 R10
N0140 G01 X90 Y15
N0150 X85 Y10
N0160 X15
N0170 X10 Y15 ; Fin de geometría exterior.
N0180 G40 ; Anulación de compensación radial.
N0190 X0 ; Inicio desbaste de material sobrante.
N0200 Y96
N0210 X97
N0220 Y3
N0230 X4
N0240 Z2
N0250 X90 Y50
N0260 Z-10
N0270 Z2
N0280 X50 Y17
N0290 Z-10
N0300 Y83
N0310 Z2 ; Fin desbaste de material sobrante.
N0320 G42 ; Compensación radial a la derecha.
N0330 Y35 ; inicio de mecanizado interior.
N0340 Z-10
N0350 X35
N0360 Y65
N0370 X65
N0380 Y35
N0390 X35
N0400 X50 Y50 ; Fin de mecanizado interior.
N0410 G40 ; anulación de compensación radial.
N0420 Z2
N0430 T0606 M06 ; Cambio de herramienta para agujeros de
10 mm de diámetro y 10 mm de profundidad
N0440 G01 X30 Y30 ; inicio de mecanizado de agujeros.
N0450 Z-10
N0460 Z2
N0470 X30 Y70
N0480 Z-10
N0490 Z2
N0500 X70 Y70
N0510 Z-10
N0520 Z2
N0530 X70 Y30
N0540 Z-10

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	106 de 133

N0550 Z2 ; Fin de mecanizado de agujeros.
N0560 T0505 M06 ; Cambio de herramienta para agujeros de
6 mm de diámetro y profundidad pasante.
N0570 X30 Y30 ; inicio mecanizado de agujeros.
N0580 Z-23
N0590 Z2
N0600 X30 Y70
N0610 Z-23
N0620 Z2
N0630 X70 Y70
N0640 Z-23
N0650 Z2
N0660 X70 Y30
N0670 Z-23
N0680 Z10 ; Fin de mecanizado de Agujeros.
N0690 G00 X0 Y0 ; posicionamiento rápido final.
N0700 M30 ; fin del programa.

En la Figura 82 se puede ver el resultado final del mecanizado.

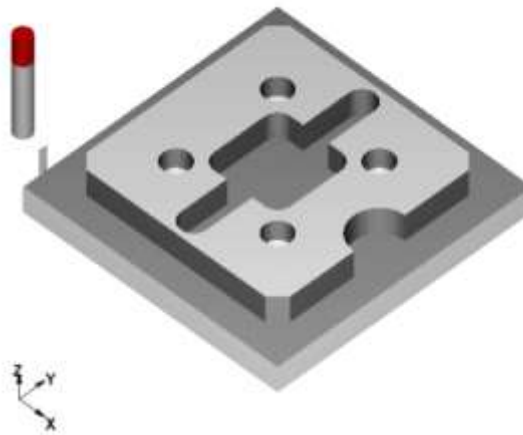


Figura 81. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	107 de 133

7.1.2 EJERCICIOS RESUELTOS DE TORNO.

A continuación, se muestra tres ejercicios resueltos para torno CNC. Los ejercicios estarán organizados según el controlador utilizado. Se dará inicio con el ejercicio programado por medio del controlador Fagor. Los dos ejercicios restantes se programaron por medio de controlador Fanuc.

Ejercicio Torno 1.

Realizar un programa que permita definir la siguiente geometría vista en la a partir de una pieza prismática cilíndrica con las siguientes medidas: 65*30 mm.

El programa debe ser definido por medio del controlador Fagor y utilizar ciclos fijos de desbaste a preferencia. Los parámetros de corte deben ser considerados por el programador.

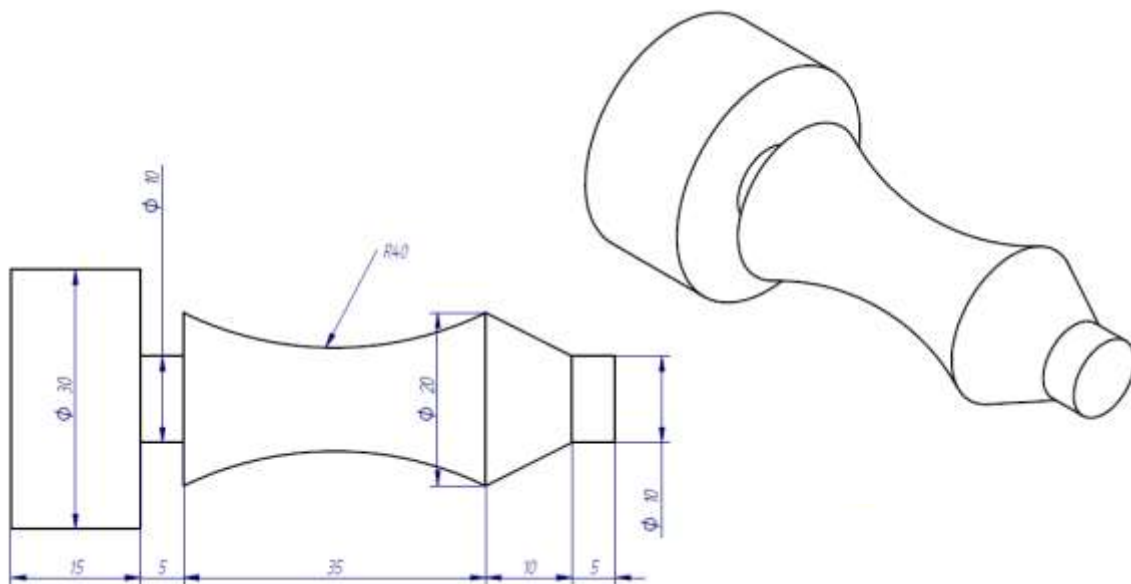


Figura 82. Fuente (El autor).

SOLUCIÓN.

PROGRAMA.

```
N010 (ORGX54=0, ORGZ54=0)
N020 G54
N030 G95 F0.04 S1000 T3 D3 M03
```

```
; Define coordenadas de orígenes.
; Plano a trabajar.
; Definición de parámetros de corte,
```

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	108 de 133

```

N035 G66 X0 Z0 I10 C1 A0 L0 M0 H0 S040 E75 Q0 ; Selección de herramienta y encendido.
N040 G00 X10 Z1 ; Definición de ciclo fijo G66.
N050 G01 X10 Z-5 ; Inicio de definición de geometría.
N060 X20 Z-15
N070 G02 X20 Z-50 R40
N075 G01 X20 Z-54 ; Fin de definición de geometría.
T5 D5 ; cambio de herramienta.
G66 X15 Z-52.5 I5 C1 A0 L0 M0 H0 S080 E130 Q0 ; Definición de ciclo fijo G66.
N080 G01 X10 Z-52.5 ; Inicio de definición de geometría.
N100 X10 Z-55
N110 X30 Z-55
N120 X30 Z-70
N130 X30 Z-52.5 ; Fin de definición de geometría.
N140 M30 ; fin de programa.

```

En la Figura 83 se evidencia el resultado final del mecanizado.

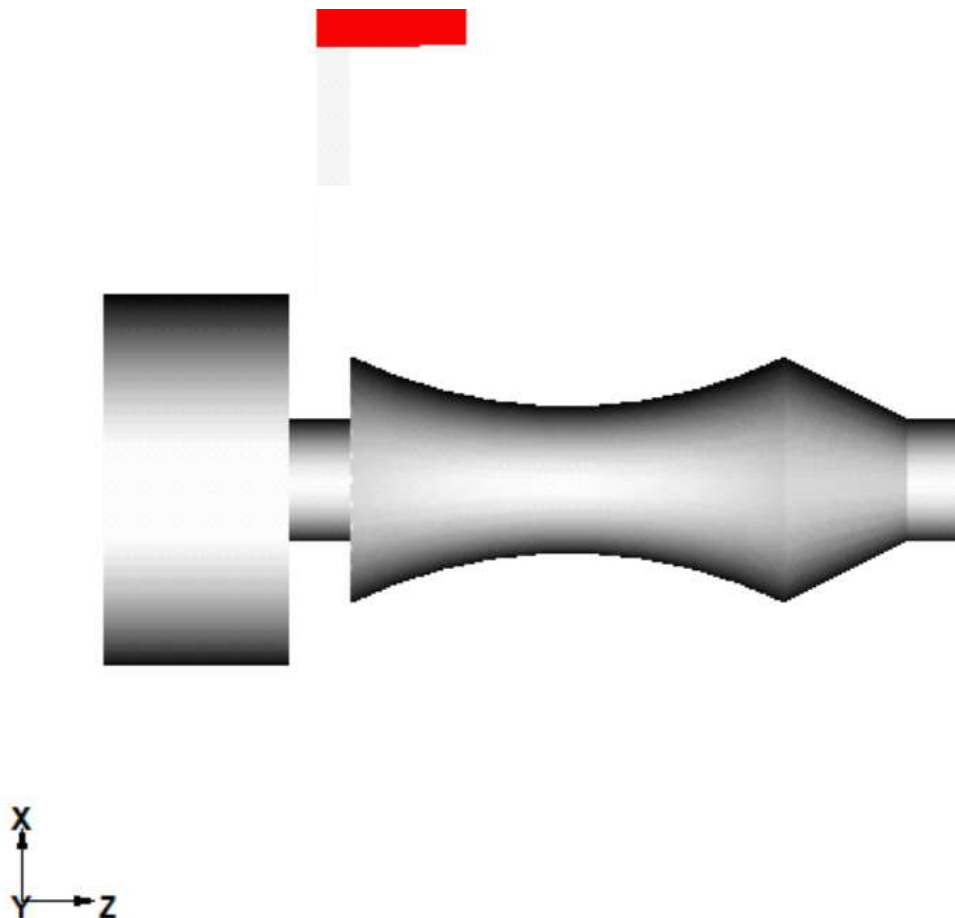


Figura 83. Simulación mecanizada mediante controlador Fagor. Fuente (El autor).



Ejercicio Torno 2.

Realizar un programa que permita definir la siguiente geometría vista en la Figura 84 a partir de una pieza prismática cilíndrica con las siguientes medidas: 100*30 mm.

El programa debe ser definido por medio del controlador Fanuc y utilizar ciclos fijos de desbaste y acabado a preferencia. Los parámetros de corte deben ser considerados por el programador.

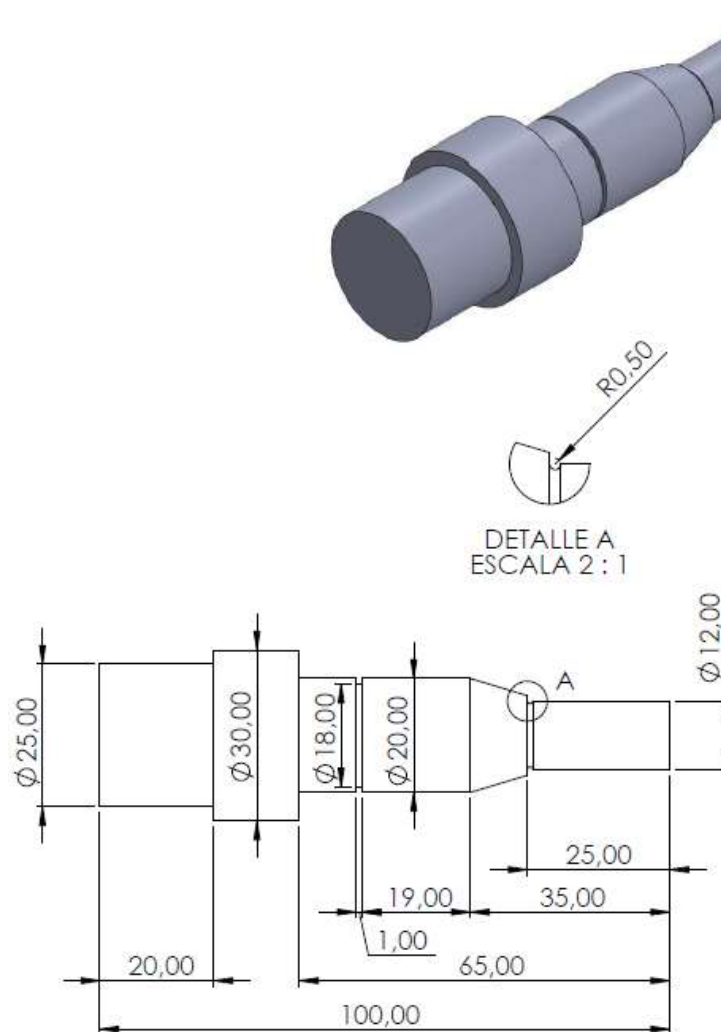


Figura 84. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	110 de 133

SOLUCIÓN.

PROGRAMA.

```

N0010 G54 G21 G50 S1200 ; Define coordenadas de orígenes, unidades y
                          Limitación de revolución
N0020 G97 G98 F130 S1000 T0101 M03 ; Define parámetros de corte, herramienta y
                          Encendido de la máquina en sentido horario.
N0030 G71 U1 R1 ; Definición primeros parámetros ciclo fijo G71
N0040 G71 P50 Q100 U1 W1 F130 S1000 T0101 ; Definición segundos parámetros ciclo fijo G71
N0050 G00 X12 Z2 ; Inicio de definición de geometría.
N0060 G01 X12 Z0 F100 S1200
N0070 G01 X12 Z-26
N0080 X20 Z-35
N0090 X20 Z-65
N0100 X30 Z-65 ; Fin de definición de geometría
N0110 G70 P60 Q100 ; Ciclo de acabado G70
N0120 G00 X30 Z-63
N0130 G01 X30 Z-85
N0140 T0505 ; Cambio de herramienta
N0150 G71 U1 R0.5 ; Definición prime. parámetros ciclo fijo G71
N0160 G71 P170 Q210 U0.5 W0.5 F130 S1000 T0505 ; Definición según. parámetros ciclo fijo G71
N0170 G00 X35 Z-82.2 ; Inicio de definición de geometría.
N0180 G01 X30 Z-82.2
N0190 X25 Z-82.2
N0200 X25 Z-102.2
N0210 G00 X25 Z-102.5 ; Fin de definición de geometría.
N0220 G70 P180 Q200
N0230 T0909 ; Cambio de herramienta.
N0240 G00 X32 Z-100 ; Posicionamiento rápido.
N0250 G00 X32 Z-26 ; Inicio de tronzados.
N0260 G01 X11 Z-26
N0270 G01 X25 Z-26
N0280 G00 X25 Z-57
N0290 G01 X18 Z-57
N0300 G00 X34 ; Fin de tronzados.
N0310 M30 ; Fin del programa

```

Resultado final del programa CNC generado para este ejercicio en la Figura 85.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	111 de 133

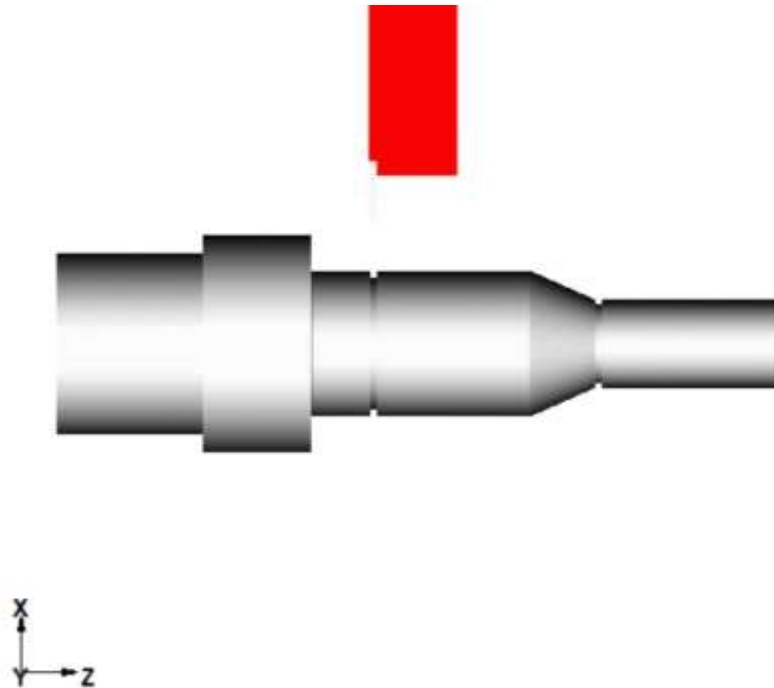


Figura 85. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	112 de 133

Ejercicio Torno 3.

Realizar un programa que permita definir la siguiente geometría vista en la Figura 87 a partir de una pieza prismática cilíndrica con las siguientes medidas: 50*30 mm.

El programa debe ser definido por medio del controlador Fanuc y utilizar ciclos fijos de desbaste y acabado a preferencia. Los parámetros de corte deben ser considerados por el programador.

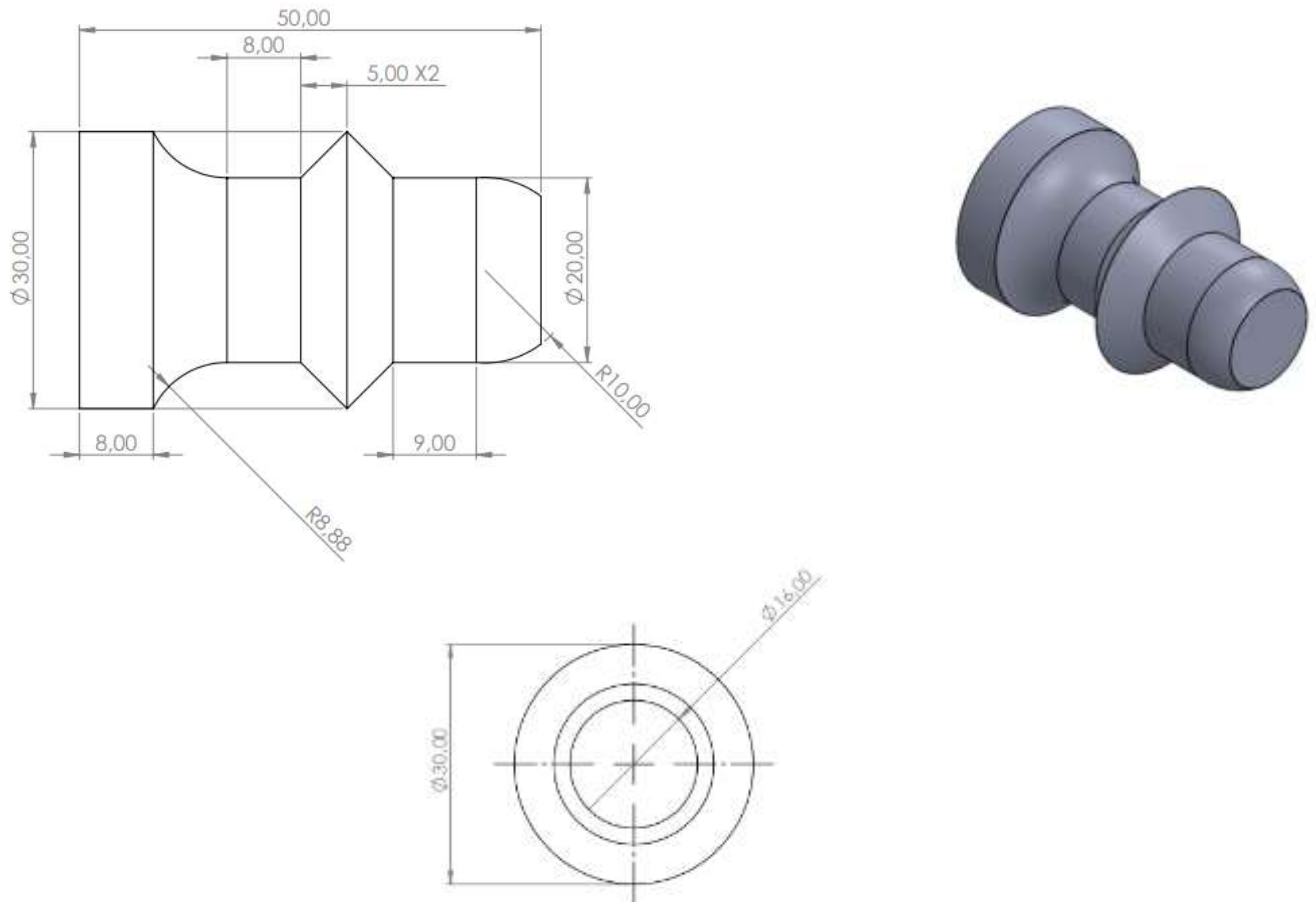


Figura 86. Plano de pieza. Fuente (El autor).

SOLUCIÓN.

PROGRAMA.

N0010 G54 G21 G50 S1200

; Define coordenadas de orígenes, unidades y
Limitación de revolución

N0020 G97 G98 F130 S1200 T0101 M03

; Define parámetros de corte, herramienta y
Encendido de máquina y giro a la derecha.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	113 de 133

```

N0030 G73 U3 W3 R5 ; Definición primeros parámetros ciclo fijo G73
N0040 G73 P50 Q90 U0.2 W0.2 F130 S1200 T0101 ; Definición segundos parámetros ciclo fijo G73
N0050 G00 X16 Z2 ; Inicia definición de geometría del ciclo.
N0060 G01 X16 Z0
N0070 G03 X20 Z-6.2 R10
N0080 G01 X20 Z-15.2
N0090 X30 Z-20.2 ; Finalización de geometría del ciclo.
N0100 G70 P50 Q90 ; Inicio de ciclo fijo de acabado.
N0110 G00 X35 ; Nuevo posicionamiento rápido
N0120 T0303 ; Cambio de herramienta.
N0130 G73 U3 W3 R6 ; Definición primeros parámetros ciclo fijo
G73.
N0140 G73 P150 Q190 U0.5 W0.5 F130 S1200 T0303 ; Definición segundos parámetros ciclo fijo
G73.
; Inicia definición de geometría del ciclo.
N0150 G00 X32 Z-20.2
N0160 G01 X30 Z-20.2
N0170 G01 X20 Z-25.2
N0180 X20 Z-33.2
N0190 G00 X35 Z-34 ; Finalización de geometría del ciclo.
N0200 G70 P150 Q190 ; Inicio de ciclo fijo de acabado.
N0210 G00 X35 Z-34 ; Nuevo posicionamiento rápido.
N0220 T0101 ; Cambio de herramienta.
N0230 G73 U2 W2 R5 ; Definición primeros parámetros ciclo fijo G73
N0240 G73 P250 Q290 U1 W1 F130 S1200 T0101 ; Definición segundos parámetros ciclo fijo G73
N0250 G00 X22 Z-33.2 ; Inicia definición de geometría del ciclo.
N0260 G01 X20 Z-33.2
N0270 G02 X30 Z-42 R8.8
N0280 G01 X30 Z-50
N0290 G00 X32 Z-50 ; Finalización de geometría del ciclo.
N0300 G70 P250 Q290 ; Inicio de ciclo fijo de acabado.
N0310 M30 ; Fin del programa.

```

En la Figura 88 se observa el resultado final del mecanizado con sus recorridos.

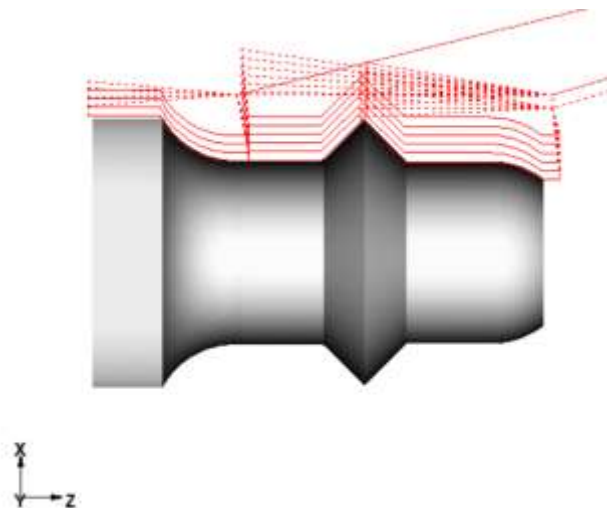


Figura 87. Simulación mecanizada mediante controlador Fanuc. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	114 de 133

7.2 EJERCICIOS PROPUESTOS.

Esta sección cuenta con 2 apartados distintos, uno para torno CNC y otro para fresa CNC. Cada apartado contiene siete ejercicios para ser solucionados en el controlador que se quiera poner en práctica. Además, los parámetros de corte serán de libre elección. Cabe resaltar que los ejercicios en su totalidad pueden ser programados por medio de los controladores Fagor y Fanuc.

7.2.1 EJERCICIOS PROPUESTOS DE FRESA.

Ejercicio fresa 1.

Realizar un programa CNC utilizando controlador Fanuc que permita mecanizar la siguiente pieza (visualizar Figura 88). Los parámetros de corte serán libres de considerar.

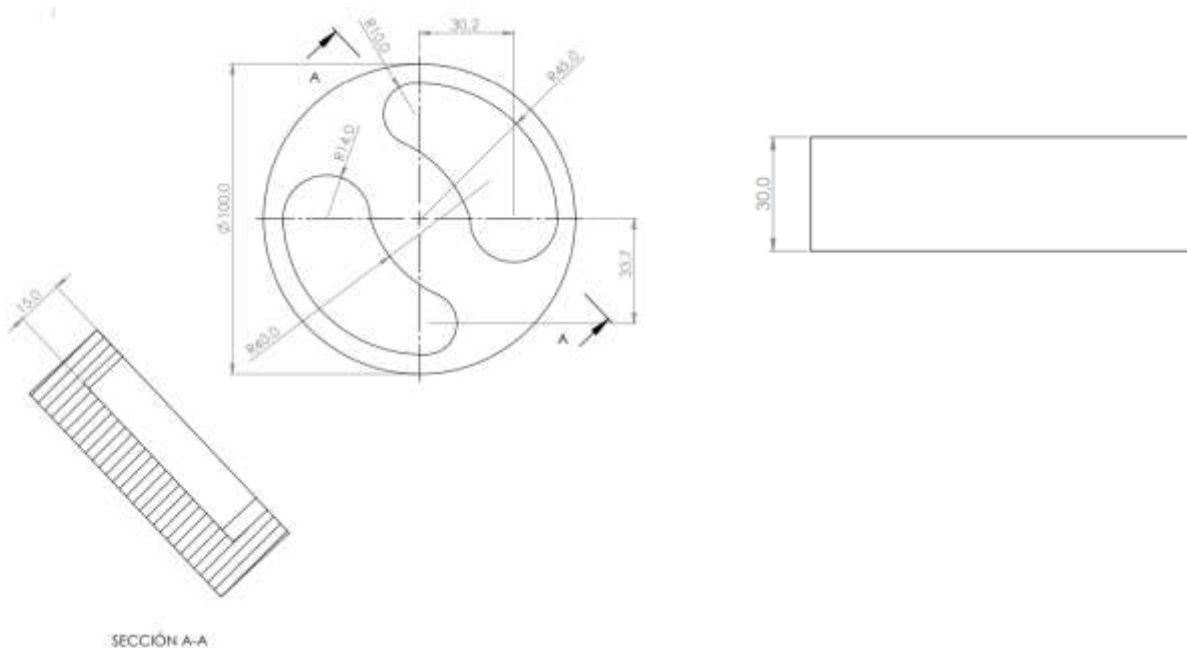


Figura 88. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	115 de 133

Ejercicio fresa 2.

Realizar un programa CNC utilizando controlador Fanuc que permita mecanizar la siguiente pieza (visualizar Figura 90). Los parámetros de corte serán libres de considerar.

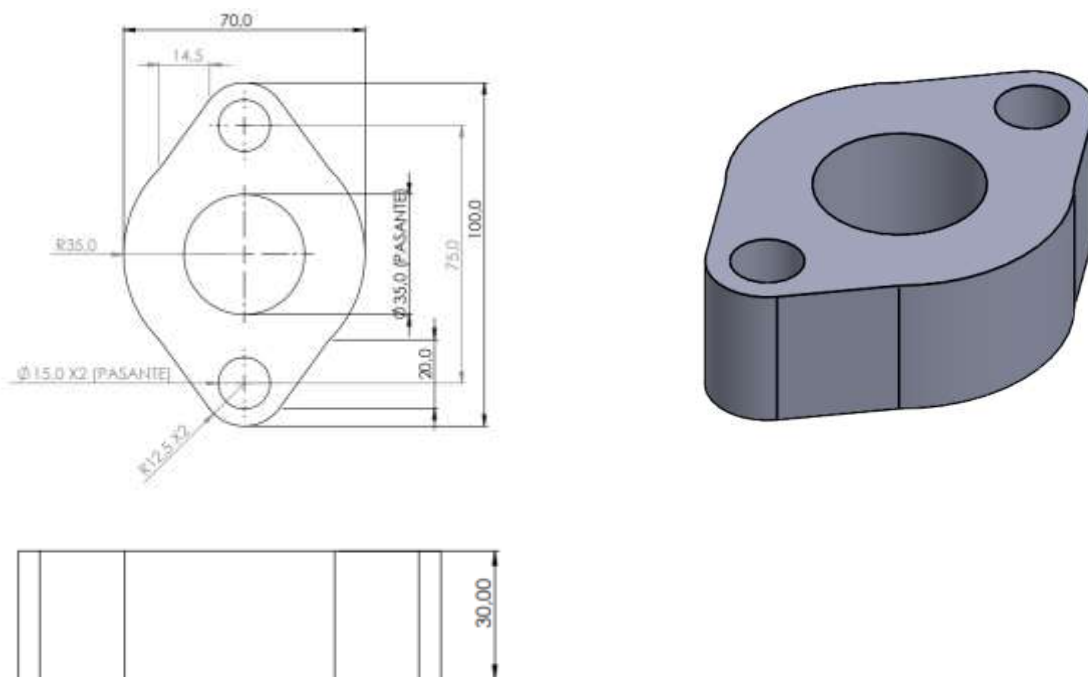


Figura 89. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	116 de 133

Ejercicio fresa 3.

Realizar un programa CNC utilizando controlador Fanuc que permita mecanizar la siguiente pieza (visualizar Figura 91). Los parámetros de corte serán libres de considerar.

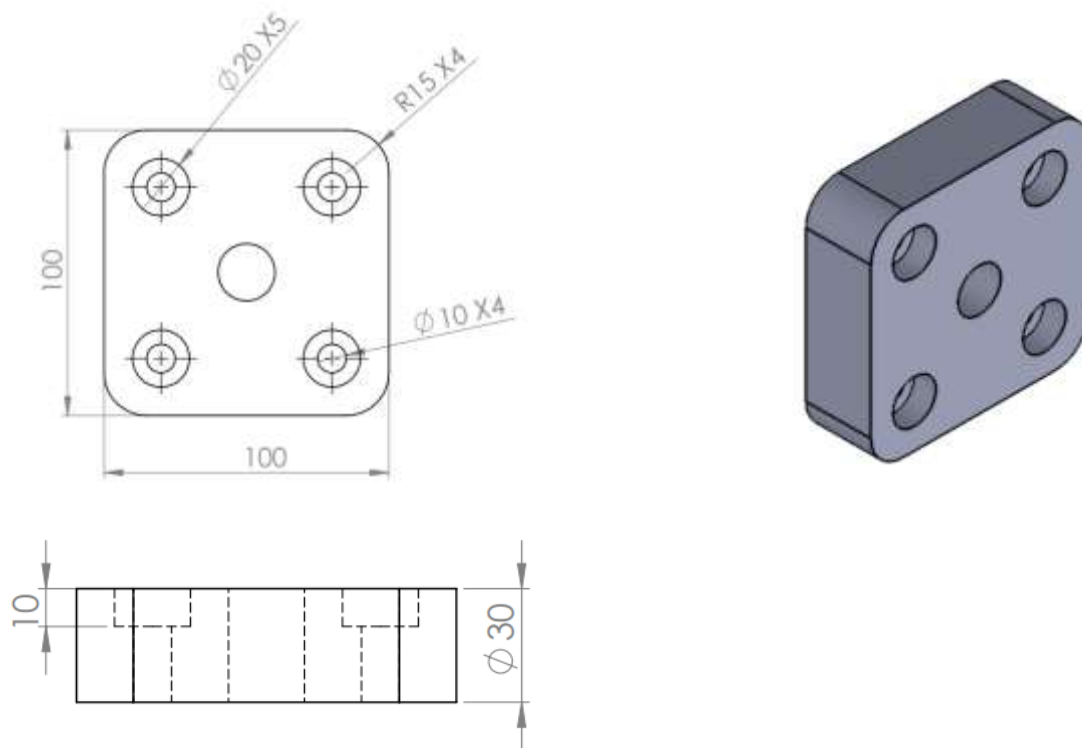


Figura 90. Plano de pieza. Fuente (El autor).



Ejercicio fresa 4.

Realizar un programa CNC utilizando controlador Fanuc que permita mecanizar la siguiente pieza (visualizar Figura 92). Los parámetros de corte serán libres de considerar.

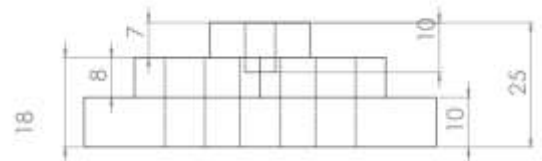
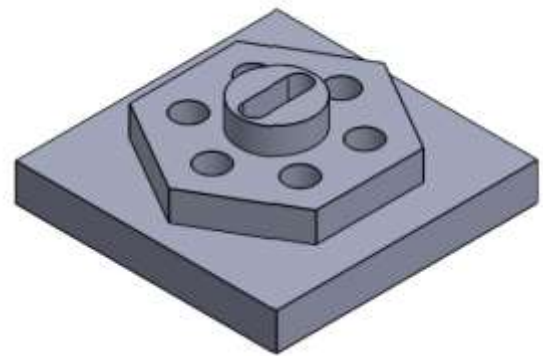
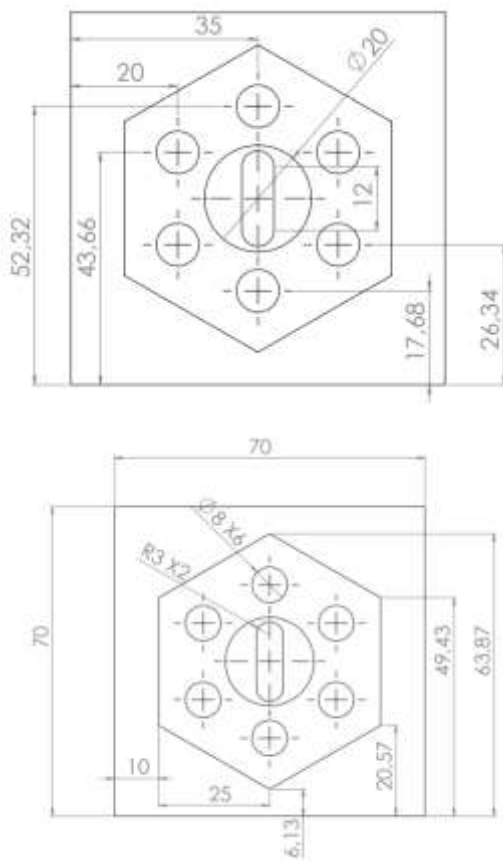


Figura 91. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	118 de 133

Ejercicio fresa 5.

Realizar un programa CNC utilizando controlador Fanuc que permita mecanizar la siguiente pieza (visualizar Figura 93). Los parámetros de corte serán libres de considerar.

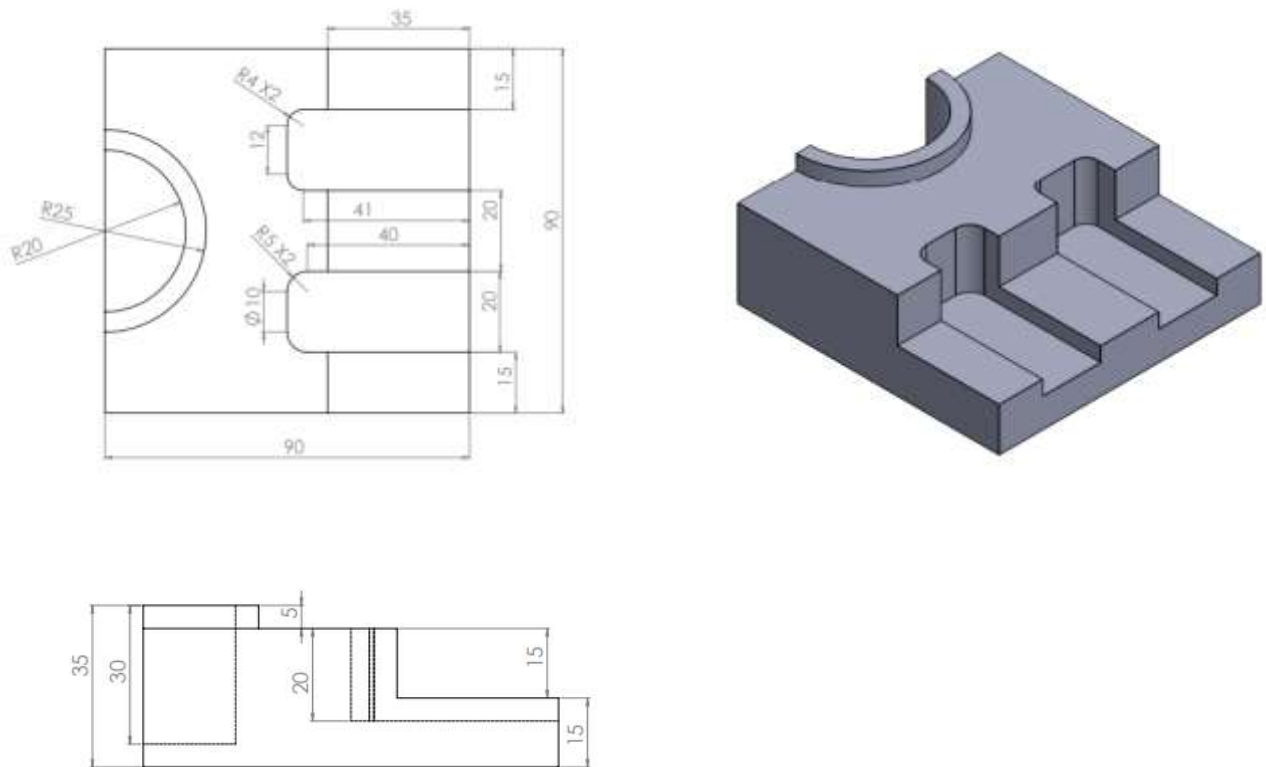


Figura 92. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	119 de 133

Ejercicio fresa 6.

Realizar un programa CNC utilizando controlador Fanuc que permita mecanizar la siguiente pieza (visualizar Figura 94). Los parámetros de corte serán libres de considerar.

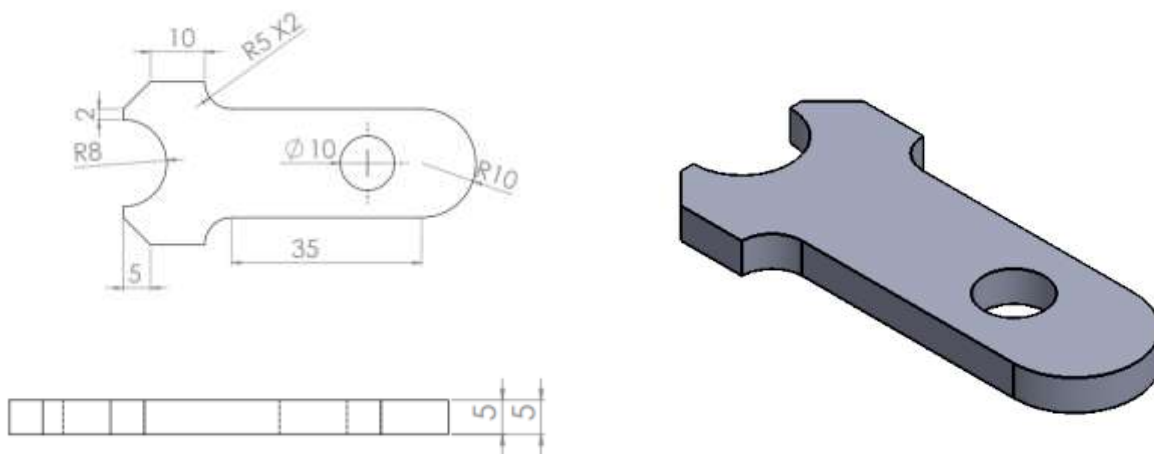


Figura 93. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	120 de 133

Ejercicio fresa 7.

Realizar un programa CNC utilizando controlador Fanuc que permita mecanizar la siguiente pieza (visualizar Figura 95). Los parámetros de corte serán libres de considerar.

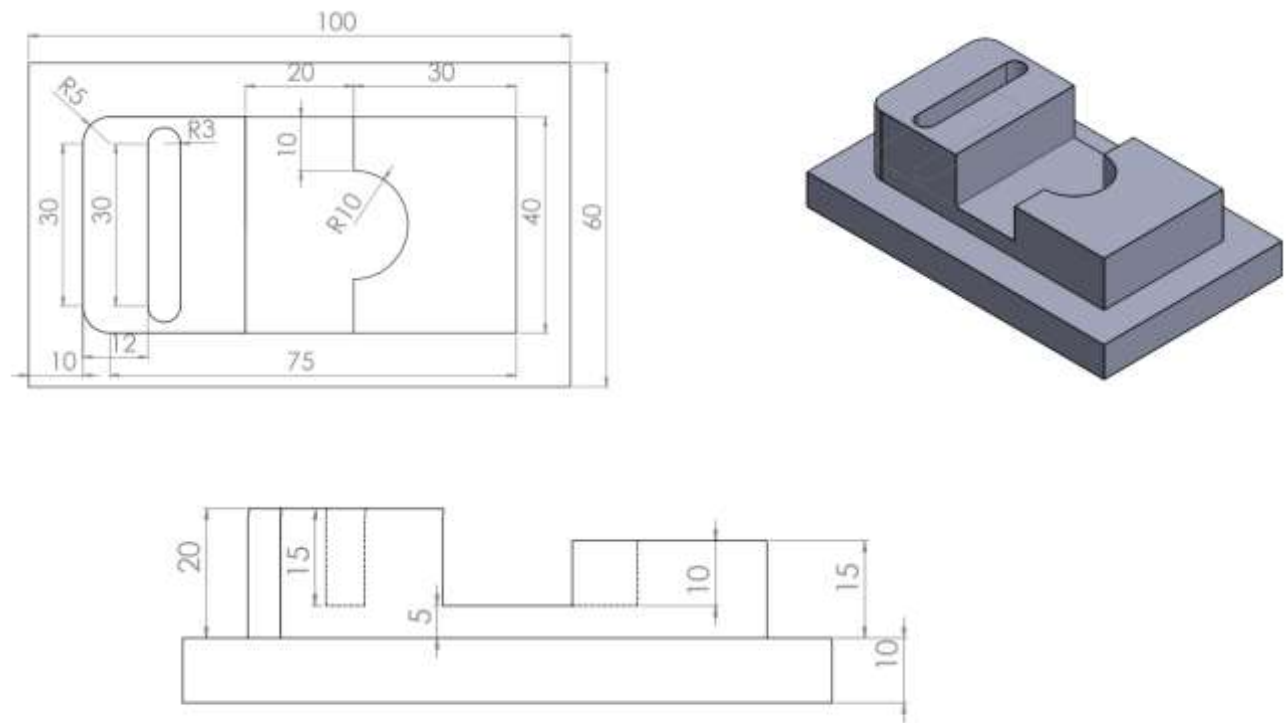


Figura 94. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	121 de 133

7.2.2 EJERCICIOS PROPUESTOS DE TORNO.

Ejercicio Torno 1.

Realizar un programa que permita definir la siguiente geometría vista en la Figura 96 a partir de una pieza prismática cilíndrica con las siguientes medidas: 50*30 mm.

El programa debe ser definido por medio del controlador Fanuc y utilizar ciclos fijos de desbaste y acabado a preferencia. Los parámetros de corte deben ser considerados por el programador.

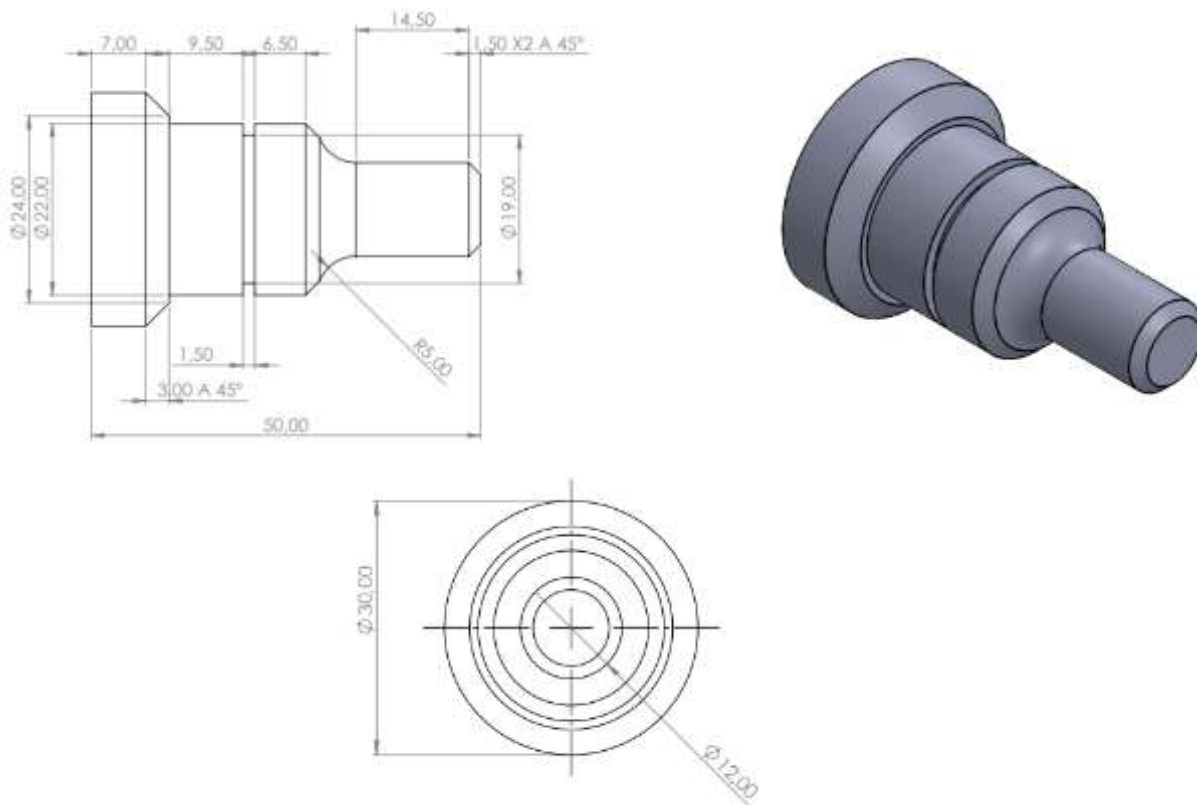


Figura 95. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	122 de 133

Ejercicio Torno 2.

Realizar un programa que permita definir la siguiente geometría vista en la Figura 97 a partir de una pieza prismática cilíndrica con las siguientes medidas: 50*30 mm.

El programa debe ser definido por medio del controlador Fanuc o Fagor y utilizar ciclos fijos de desbaste y acabado a preferencia. Los parámetros de corte deben ser considerados por el programador.

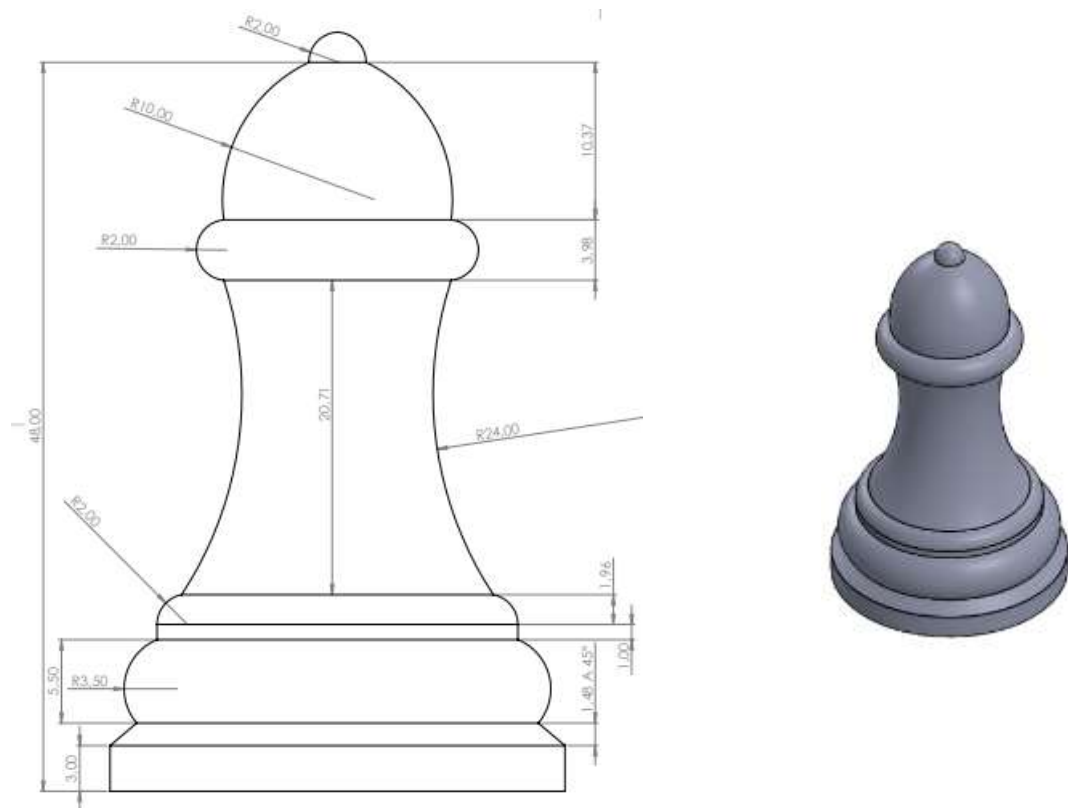


Figura 96. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	123 de 133

Ejercicio Torno 3.

Realizar un programa que permita definir la siguiente geometría vista en la Figura 98 a partir de una pieza prismática cilíndrica con las siguientes medidas: 50*30 mm.

El programa debe ser definido por medio del controlador Fanuc y Fagor utilizando ciclos fijos de desbaste y acabado a preferencia. Los parámetros de corte deben ser considerados por el programador.

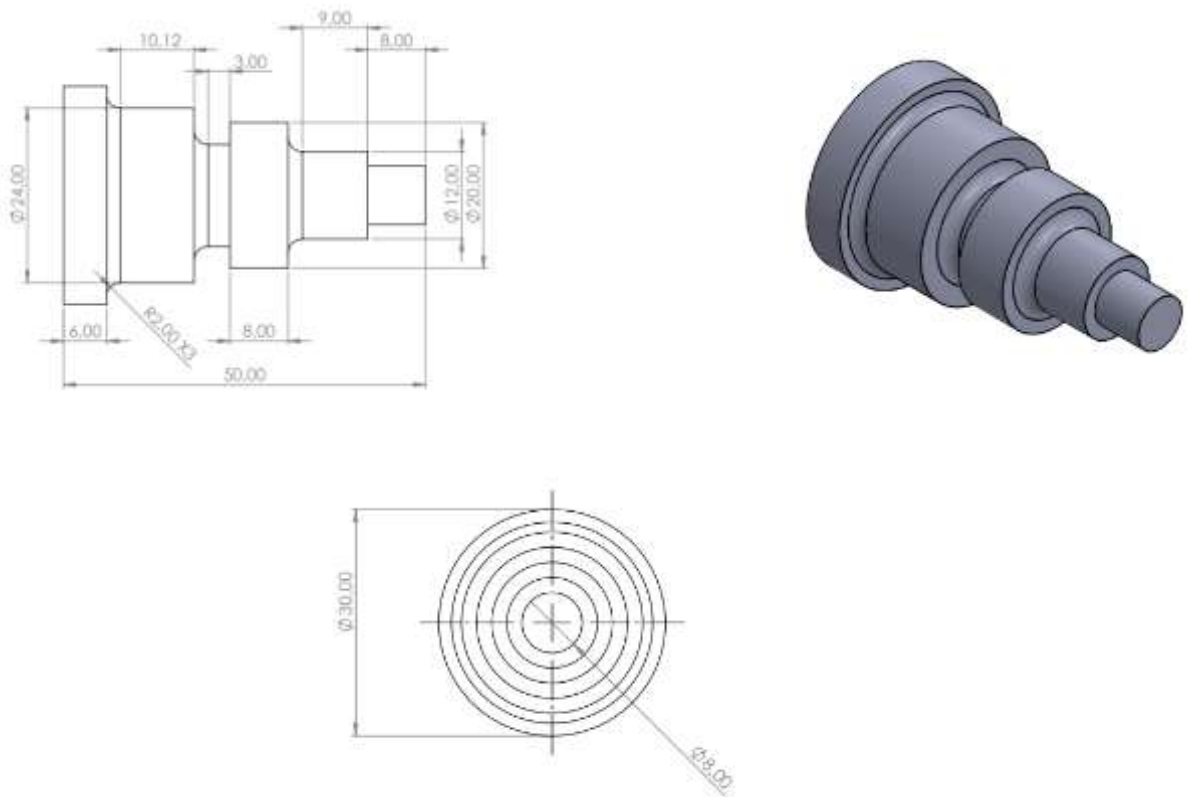


Figura 97. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	124 de 133

Ejercicio Torno4.

Realizar un programa que permita definir la siguiente geometría vista en la Figura 99 a partir de una pieza prismática cilíndrica con las siguientes medidas: 50*30 mm.

El programa debe ser definido por medio del controlador Fanuc y utilizar ciclos fijos de desbaste y acabado a preferencia. Los parámetros de corte deben ser considerados por el programador.

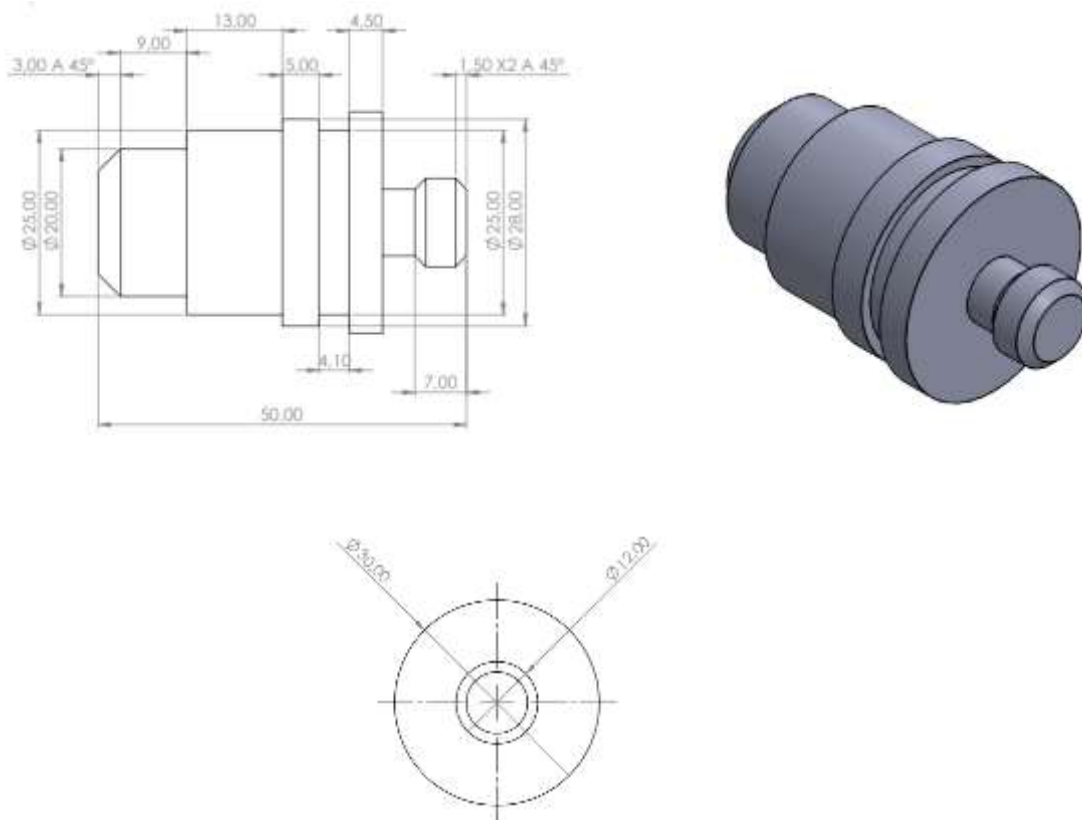


Figura 98. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	125 de 133

Ejercicio Torno 5.

Realizar un programa que permita definir la siguiente geometría vista en la Figura 100 a partir de una pieza prismática cilíndrica con las siguientes medidas: 50*30 mm.

El programa debe ser definido por medio del controlador Fanuc y utilizar ciclos fijos de desbaste y acabado a preferencia. Los parámetros de corte deben ser considerados por el programador.

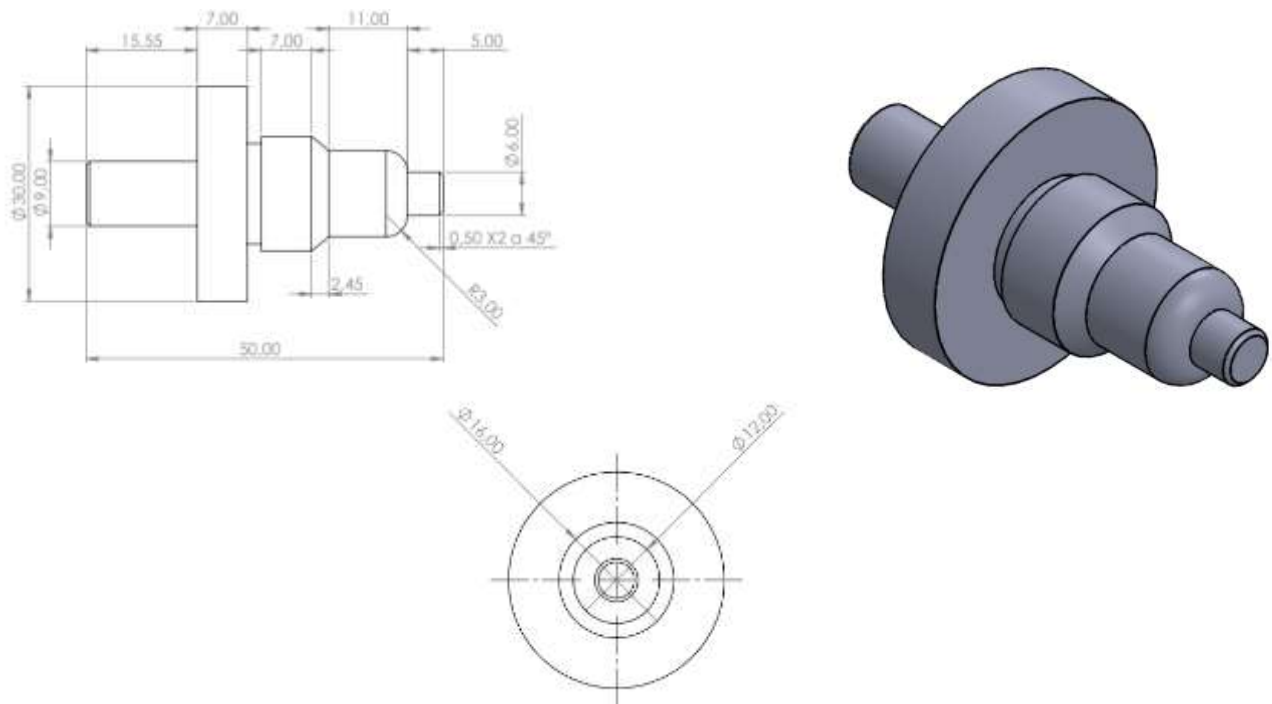


Figura 99. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	126 de 133

Ejercicio Torno 6.

Realizar un programa que permita definir la siguiente geometría vista en la Figura 101 a partir de una pieza prismática cilíndrica con las siguientes medidas: 50*30 mm.

El programa debe ser definido por medio del controlador Fanuc y utilizar ciclos fijos de desbaste y acabado a preferencia. Los parámetros de corte deben ser considerados por el programador.

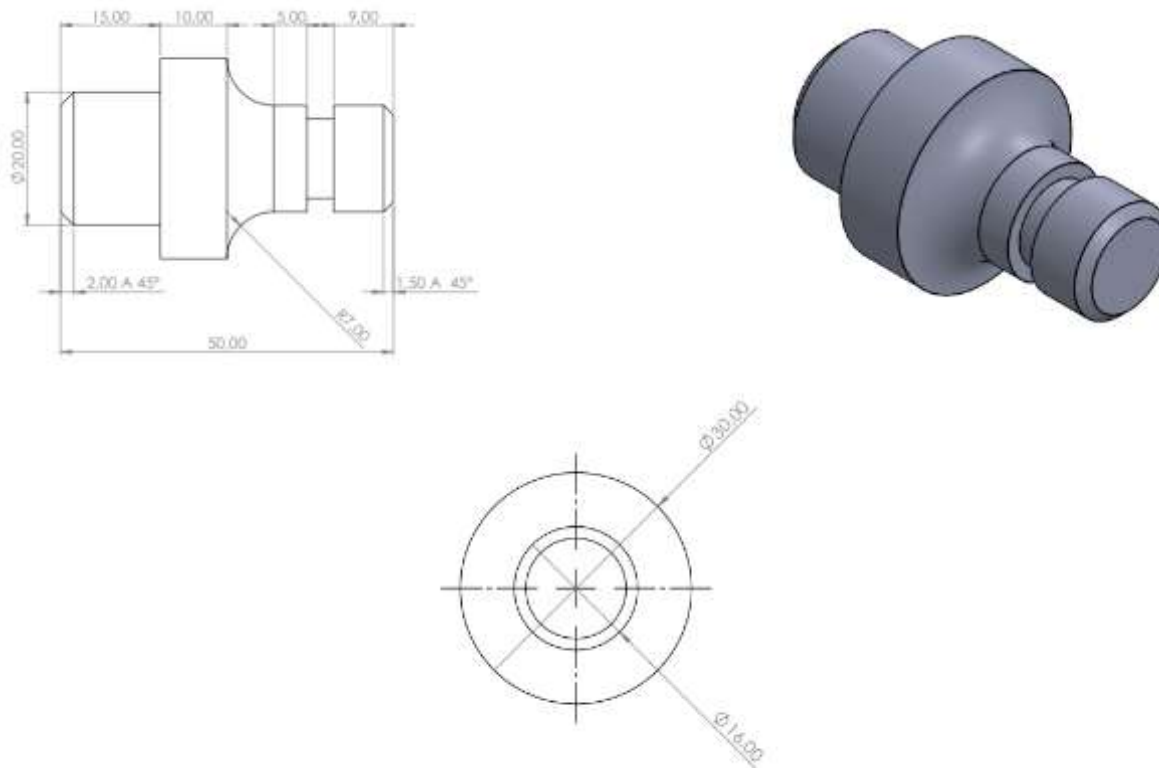


Figura 100. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	127 de 133

Ejercicio Torno 7.

Realizar un programa que permita definir la siguiente geometría vista en la Figura 102 a partir de una pieza prismática cilíndrica con las siguientes medidas: 50*30 mm.

El programa debe ser definido por medio del controlador Fagor y utilizar ciclos fijos de desbaste. Los parámetros de corte deben ser considerados por el programador.

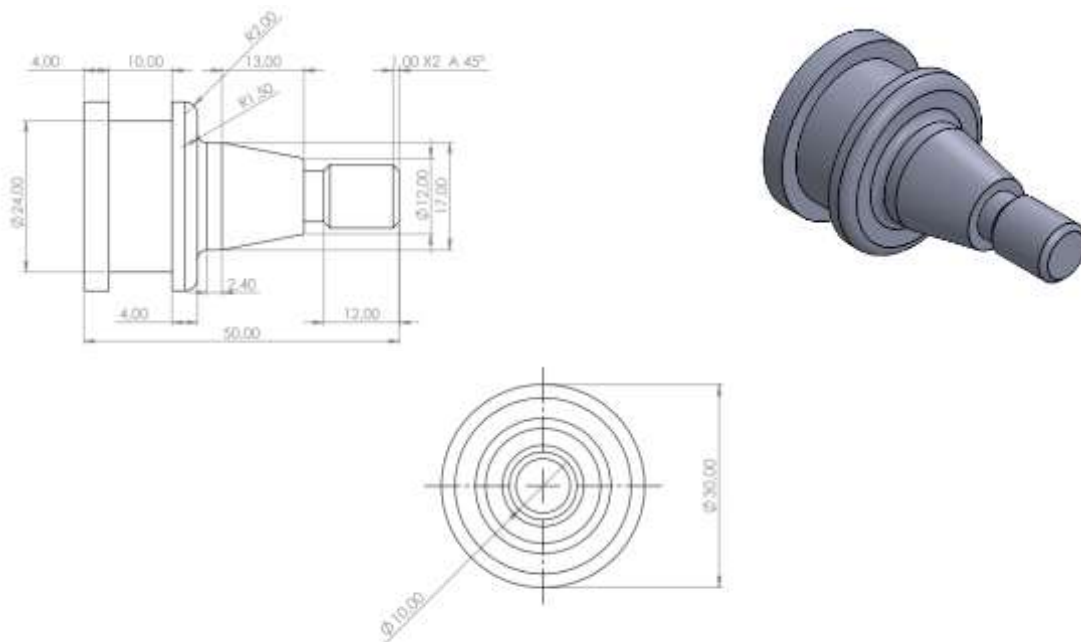


Figura 101. Plano de pieza. Fuente (El autor).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	128 de 133

8. Resultados.

- Se obtuvo la descripción de las principales funciones de mecanizado para 2 diferentes controladores y máquinas CNC. Haciendo descripción a las funciones más importantes y los ciclos fijos más usados al momento de mecanizar piezas.
- Se presentan detalladamente 3 ejercicios en torno y 3 ejercicios en fresa, usando dos controladores para la programación. Dando como resultado 1 ejercicio de torno programado por medio del controlador Fagor, un ejercicio de fresa programado con controlador Fagor, 2 ejercicios de torno programados por medio de controlador Fanuc y 2 ejercicios de fresa realizados con controlador Fanuc. El desarrollo de estos ejercicios le permitirá adquirir destrezas en programación.
- Finalmente, se realizó un apartado con ejercicios propuestos para poner en práctica la programación de mecanizado en torno y fresa CNC. Se proponen 7 ejercicios de torno que pueden ser programados en cualquier tipo de controladores. Igualmente, cuenta también con 7 ejercicios de fresa que pueden ser programados con cualquiera de los 2 controladores.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	129 de 133

9. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.

- La implementación de las nuevas tecnologías y la automatización de las mismas exigen una continua capacitación en lenguaje de máquinas. A pesar que este tipo de información es escasa tanto en la red como impresa es necesario reconocer que la información audio visual es una de las más utilizadas por los jóvenes al momento de aprender. Por lo tanto se sugiere plasmar los aportes de este documento en videos.
- Con esta guía se pretende que los estudiantes y personas interesadas adquieran conocimientos de mecanizado CNC invirtiendo alrededor de 30 horas de estudio.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	130 de 133

10. CONCLUSIONES.

- Cabe resaltar que a medida que avanzaba el proyecto se comprobó que el controlador Fanuc es uno de los controladores más utilizado por máquinas CNC.
- Para el controlador Fanuc algunas funciones auxiliares para torno y para fresa varían.
- Cada programador puede presentar una forma diferente de plantear su pieza, eso depende de la lógica de programación de cada persona. Los ejercicios desarrollados pretenden servir como guía de aprendizaje, pero no son la única manera de desarrollar el ejercicio.
- Por medio de este proyecto se pudo enriquecer la información de programación CNC en dos diferentes controladores.
- Finalmente, mediante la realización de este proyecto se deja la opción de futuros trabajos con énfasis a la programación CNC.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	131 de 133

11. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

- La utilización de software de simulación CNC es una necesidad que no se puede posponer, ya que es necesaria la adaptación a las nuevas tecnologías para asegurar una mejor transición a las nuevas interfases del mercado.
- Investigar sobre los controladores más utilizados en programación CNC. Esta recomendación se realiza por que es posible que con el tiempo algunos controladores sean más comerciales que otros.
- Desarrollar material audiovisual que se ajuste con el modo de aprendizaje de las nuevas generaciones.
- Se recomienda aumentar el número de ejercicios resueltos que permitan tener un uso de las funciones en diferentes geometrías.
- Finalmente se recomienda realizar más ejercicios resueltos y propuestos.

12. LIMITACIONES.

- El presente trabajo se limita al desarrollo del material y su implementación de forma manual, ya que en el laboratorio de plástico y mecanizado no se cuenta con la maquinaria para la implementación física de dicho proyecto.
- Es de especial importancia resaltar la limitación del tipo de lenguaje de máquinas en el cual se trabajará, ya que este proyecto será enfocado en código ISO-6983.
- Cabe resaltar que el controlador en el cual se va a realizar el enfoque del proyecto, es el controlador FANUC.
- Las piezas a mecanizar en los ejercicios se limitarán a piezas prismáticas, tanto en torno y fresa CNC.
- El número de ejercicios propuestos a solucionar en la realización del proyecto serán inferiores a 15 ejercicios.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	132 de 133

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] R. Aviña Hernandez, “Metodología Para La Capacitación En Máquinas De Control Numérico,” 2011.
- [2] J. D. G. Agudelo and G. G. García, “Aprendizaje significativo a partir de prácticas de laboratorio de precisión,” *Latin-American J. Phys. Educ.*, vol. 4, no. 1, pp. 149–152, 2010.
- [3] E. Crisol Moya and A. Romero López, “LAS GUÍAS DE APRENDIZAJE AUTÓNOMO COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA DE APOYO A LA DOCENCIA,” *Esc. Abierta*, vol. 0, no. 0, pp. 9–31, 2012.
- [4] L. K. Hernández Gegen, “Informe Laboratorio de Plásticos y CNC,” 2017.
- [5] T. M. Criollo Consuegra and O. R. Aguirre Sesme, “INCIDENCIA DE LOS RECURSOS DIDÁCTICOS DESACTUALIZADOS EN EL APRENDIZAJE DEL ÁREA DE ESTUDIOS SOCIALES PROPUESTA: ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE RECURSOS DIDÁCTICOS ACTUALIZADOS DIRIGIDO A DOCENTES Y DISCENTES DEL NOVENO GRADO DE LA ESCUELA DE EDUCACIÓN BÁSICA,” 2015.
- [6] Fagor, “FAGOR CNC TORNO 8055,” vol. 2, no. 1, p. 355, 2014.
- [7] L. Ruiz, *El control numerico computarizado en el desarrollo industrial*, vol. 0, no. 0. 2008.
- [8] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 2002.
- [9] I. García Hernández and G. de las M. de la Cruz Blanco, “Las guías didácticas: recursos necesarios para el aprendizaje autónomo,” *Edumecentro*, vol. 6, no. 3, pp. 162–175, 2014.
- [10] M. V. Guamán Alarcón and M. J. Camacho Camacho, “Implementación De Guía De Prácticas Para La Enseñanza De La Fabricación De Elementos Maquinados Mediante El Torno Con Control Numérico Computarizado Del Laboratorio De Máquinas-Herramientas De Ingeniería Mecánica,” 2009.
- [11] A. M. LLERENA PINTAG and M. O. CORONEL HERNANDEZ, “ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA HERRAMIENTA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO, CASO PRÁCTICO PROTOTIPO DE FRESADORA PARA MADERA,” 2014.
- [12] D. M. MENDIETA ESPINOSA, “Manual De Prácticas Básicas Del Centro De Mecanizado Vertical Cnc Haas Vf2,” 2014.
- [13] J. M. Ruiz, “Programas informáticos CAD / CAM / CAE usados en de fabricación y proyectos de fin de estudios,” *TÉCNICA Ind.*, vol. 0, no. 0, pp. 42–48, 2019, doi: 10.23800/10212.
- [14] Fagor, “FAGOR CNC FRESA 8055,” vol. 2, no. 1, p. 355, 2014.
- [15] M. Groover, *Fundamentos de manufactura*. 1997.
- [16] HAAS, *Manual del operador de la fresadora*, vol. 0. 2015.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 00
		Página	133 de 133

- [17] S. R. Montenegro Rodriguez and J. E. D. Acosta Horna, “Estudio de la programación manual del torno con control numérico FANUC OiT,” 2021.
- [18] J. F. Delgado Delgado and J. L. Durón, *PROGRAMACIÓN DE CNC*. 2016.
- [19] G. Z.-T. CNC, *Redondea ARISTAS así de RÁPIDO - G36 y G39 | CURSO CNC #7*. 2021.
- [20] “CURSO PROGRAMACIÓN FANUC. TORNO,” vol. 1, pp. 1–40.
- [21] F. Fanuc and S. Series, *For Machining Center System USER’S MANUAL*. .
- [22] P. SMID, *CNC Programming Handbook.pdf*. 2009.