 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RUTEADORA CNC PARA LA ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS DE CIRCUITOS IMPRESOS DE UNA CAPA**

Autor 1

**IVÁN DAVID CARMONA ECHEVERRI**

Autor 2

**YADER ALEXIS OSORIO**

Programa Académico


**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Director del trabajo de grado: **NORMA GUARNIZO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

Fecha

2016

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## RESUMEN


---

Es muy notable la gran importancia que tienen los dispositivos electrónicos como medio para facilitar la ejecución de tareas que se realizan diariamente. Estos dispositivos electrónicos cuentan con una parte fundamental llamada “tarjeta de circuito impreso”, una placa que interconecta y sostiene cada uno de los componentes electrónicos, que hacen parte de un circuito, y la cual, es uno de los objetos principales en el desarrollo de este proyecto, cuyo objetivo fue llevar a cabo el diseño y la implementación de una ruteadora CNC a mediana escala y de bajo costo para la elaboración de prototipos de circuitos impresos de una sola capa, que ofrezca soluciones menos contaminantes que los métodos de manufactura artesanales.

Para ello se requirió el uso de un software de diseño PCB, capaz de generar archivos de extensión bmp, para luego convertirlos en código G, valiéndose del uso de software de código abierto que se encuentra disponible en el mercado. Una vez obtenido el código en el formato adecuado, se implementa un sistema de control capaz de interpretar coordenadas de posición, utilizando un sistema embebido que actúa como intérprete del código G.

Posteriormente, se presenta el diseño mecánico de la ruteadora CNC, realizado desde un software de diseño y modelación CAD, de manera que permite el desplazamiento de una herramienta de corte en 3 ejes funcionales de movimiento (Longitudinal, Transversal y Tangencial, respectivamente) con respecto a unas coordenadas de origen previamente definidas. Por último, se consolidan todas las etapas del proyecto, y se realiza la validación del funcionamiento de la ruteadora CNC, verificando la precisión con la que se elaboran los prototipos de circuitos impresos de una capa.

**Palabras claves:** Ruteadora CNC, código G, código abierto, sistema embebido, PCB, Circuito Impreso, Prototipado Electrónico.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## GLOSARIO

---

**ARCHIVO DE EXTENSIÓN BMP:** Es un archivo que contiene una imagen en el formato mapa de bits (.bmp), dicho formato permite crear y modificar imágenes que se guardan como archivos en un disco. Generalmente este tipo de archivos se crean con el programa Microsoft Paint que viene integrado con el sistema operativo Windows.


**ARCHIVO DE EXTENSIÓN NGC:** Es un archivo que contiene unas instrucciones generadas a partir del lenguaje de programación conocido como código G, y que se utiliza principalmente en máquinas CNC para indicar las rutas de mecanizado que debe seguir una herramienta de corte.

**CÓDIGO ABIERTO:** Término conocido en inglés como “Open source”, utilizado para indicar que un software o hardware ha sido desarrollado y distribuido libremente. Significa que cualquier persona puede obtener acceso al código fuente del desarrollo para su modificación y/o mejoramiento.

**CÓDIGO G:** También conocido como Gcode en inglés, es el nombre que recibe el lenguaje de programación utilizado en los sistemas de control numérico computarizado (CNC), implementado principalmente en automatización para controlar a través de un ordenador la trayectoria que debe seguir una herramienta de corte.

**FIRMWARE:** Conjunto de instrucciones con una función específica, que se registra en una memoria.

**GRBL:** Es un firmware de código abierto disponible para ejecutarse en la interfaz de hardware Arduino UNO. Su principal función es la interpretación de comandos de códigos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

g para convertirlos en señales eléctricas y así poder controlar el movimiento de cada uno de los motores que conforman la CNC.

**GITHUB:** Es una plataforma de desarrollo virtual colaborativo comúnmente implementada por comunidades Open source. Esta permite depositar proyectos utilizando un sistema de control de versiones, y se encuentra alojado en la página web: <https://github.com/>

**INSOLADORA:** Caja hermética que cuenta con un conjunto de tubos fluorescentes los cuales emiten rayos ultravioleta.


**MICROSTEPPING:** Conocido en español como micropaso, es un tipo de configuración que se puede habilitar en algunos drivers de control para motores PaP. Al habilitarse se logra aumentar la resolución de giro de dichos motores, aunque esto puede reducir la precisión de giro de los mismos.

**PAD:** Termino utilizado en la fabricación de tarjetas de circuito impreso para definir una superficie de cobre en la cual se puede soldar algún componente electrónico.

**PROCESSING:** Es un lenguaje de programación de código abierto que cuenta con un entorno de desarrollo de fácil utilización orientado principalmente al diseño de proyectos de multimedia.

**SERIGRAFÍA:** Método de impresión que utiliza una malla para limitar la zona de la imagen.

**SISTEMA EMBEBIDO:** Este consiste en un dispositivo electrónico diseñado para realizar funciones específicas y que puede utilizar la combinación de hardware, software y algunas piezas mecánicas para poder cumplir su función final o una serie de ellas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## RECONOCIMIENTOS


---

Agradecemos especialmente, en primer lugar, a Dios, a nuestras familias y a nuestra prestigiosa y amada universidad, por darnos un par de alas enmarcadas en el conocimiento adquirido, con el cual pretendemos llegar muy lejos, volar muy alto, y poder así encontrarle soluciones a esos desafíos que nos pueda presentar nuestra actividad laboral, queriendo siempre dar lo mejor de nosotros a la sociedad en que vivimos.

Al grupo de profesores, muy capacitados, quienes con sus conocimientos y espíritu de colaboración nos han sabido orientar y guiar para la culminación de nuestros estudios universitarios, haciéndonos ver el valor que tiene un gran esfuerzo cuando de superarnos se trata, disponiendo siempre de un momento para escuchar nuestras inquietudes e inculcar la responsabilidad y la alegría del deber cumplido hecho con amor.

Este trabajo no habría sido posible sin la influencia directa de la profesora Norma Guarnizo, por su interés, por su paciencia y sus acertados aportes, haciendo posible que este proyecto se realizara de manera satisfactoria, tanto a nivel personal como académico, dándonos más confianza para enfrentar el futuro cercano.

A nuestros Padres y hermanos, quienes han aportado su granito de arena, con ese apoyo incondicional y constante que nos han ofrecido, y esperamos algún día poder retribuir esos esfuerzos, sacrificios y toda la ayuda económica tan necesaria y vital para tener los recursos necesarios durante toda nuestra carrera universitaria.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# ACRÓNIMOS

---

**AC:** Alternating Current, en español corriente alterna

**AWG:** American Wire Gauge, en español calibre de cable americano

**CNC:** Computer Numeric Control; en español Control Numérico Computarizado

**CAD:** Computer-Aided Design; en español diseño asistido por computadora.

**Cu:** Cobre

**DC:** Direct Current; en español corriente directa

**DPI:** Dots Per Inch; en español puntos por pulgada

**ESD:** Electro Static Discharge, en español descarga electrostática


**EMI:** Electromagnetic Interference, en español interferencia electromagnética

**N:** Newton

**N.C.:** Normally Closed, en español normalmente cerrado

**N.O.:** Normally Open, en español normalmente abierto

**MS:** Microstepping, en español micropasos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**PaP:** Paso a Paso; utilizado para describir un tipo de motores eléctricos


**PCB:** Printed Circuit Board; en español tarjeta de circuito impreso

**Ra:** Radianes

**UV:** Ultravioleta

**UGS:** Universal Gcode Sender

**Z DEPTH:** Profundidad de corte


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## TABLA DE CONTENIDO


---

1.	INTRODUCCIÓN .....	15
1.1	Generalidades .....	15
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	General.....	16
1.2.2	Específicos.....	16
1.3	Organización del trabajo.....	17
2.	MARCO TEÓRICO.....	19
2.1	Tarjeta de circuito impreso.....	19
2.1.1	Clasificación de las tarjetas de circuito impreso.....	19
2.1.1.1	Placas de una sola capa .....	20
2.1.1.2	Placas de doble capa.....	20
2.1.1.3	Placas multicapa .....	21
2.1.2	Tamaño de la placa de circuito impreso .....	21
2.2	Métodos de fabricación de PCB.....	27
2.2.1	Fabricación de PCB's por manufactura artesanal y ataque químico .....	27
2.2.1.1	Trazado directo sobre la placa.....	28
2.2.1.2	Transferencia térmica.....	28
2.2.1.3	Transferencia por luz ultravioleta.....	30
2.2.1.4	Transferencia por serigrafía.....	32
2.2.1.5	Proceso de atacado químico y perforaciones de la placa.....	33
2.2.2	Fabricación de PCB a través de una ruteadora CNC .....	34
2.2.3	Tabla comparativa de los métodos de fabricación de PCB's.....	36
2.3	Ruteadora CNC.....	37
2.3.1	Sistema electrónico .....	38
2.3.1.1	Arduino .....	38
2.3.1.2	Motor Paso a Paso .....	39
2.3.1.3	Driver A4988 .....	40




 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

2.3.1.4	Fuentes conmutadas.....	40
2.3.1.5	Finales de carrera.....	41
2.3.2	Sistema mecánico .....	42
2.3.2.1	Corredera telescópica .....	44
2.3.2.2	Sistema de transmisión de potencia para los ejes de control X, Y, Z.....	45
2.3.2.2.1	Varilla roscada .....	45
2.3.2.2.2	Husillo .....	46
2.3.2.2.3	Correa dentada .....	49
2.3.2.3	Herramienta de corte rotativa.....	51
2.3.2.4	Fresas de corte.....	51
2.3.2.4.1.1	Fresas en V.....	52
2.3.2.5	Brocas de perforación.....	53
2.3.3	Software CAD para el diseño mecánico.....	54
2.3.4	Software de control .....	55
3.	METODOLOGÍA.....	56
3.1	Desarrollo del sistema electrónico de la ruteadora CNC.....	57
3.1.1	Selección de la plataforma de hardware de control.....	57
3.1.2	Selección de los Motores PaP .....	59
3.1.3	Selección de los drivers de potencia para los motores PaP .....	64
3.1.4	Selección de la fuente de alimentación para los motores PaP.....	65
3.1.5	Selección de los finales de carrera.....	67
3.1.6	Selección del calibre de los cables para las etapas de potencia y control.....	69
3.1.7	Sistema de conexiones eléctricas .....	71
3.2	Desarrollo del sistema mecánico de la ruteadora CNC .....	73
3.2.1	Selección de las correderas telescópicas.....	73
3.2.2	Selección de la varilla roscada .....	75
3.2.3	Selección de la herramienta de corte rotativa .....	75
3.2.4	Diseño de la estructura o marco principal de la ruteadora CNC .....	82
3.2.5	Sistema de desplazamiento del eje de control X.....	83
3.2.6	Sistema de desplazamiento del eje de control Y .....	85

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3.2.7	Sistema de desplazamiento del eje de control Z.....	86
3.2.8	Vista general del modelo de la ruteadora CNC.....	88
3.3	Ensamble mecánico de las partes que conforman la ruteadora CNC .....	89
3.3.1	Ensamble del marco principal.....	90
3.3.2	Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control X.....	92
3.3.3	Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Y.....	95
3.3.4	Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Z.....	99
3.3.5	Vista general del ensamble de la ruteadora CNC .....	104
3.4	Prueba de validación de la ruteadora CNC en la fabricación de PCB's.....	105
3.4.1	Diseño y exportación de la PCB desde un software de diseño electrónico.....	106
3.4.2	Importación del diseño de la PCB en el software de diseño vectorial Inkscape y exportación del código G .....	110
3.4.2.1	Eliminación de objetos sobrantes en la imagen de las pistas de la PCB.....	113
3.4.2.2	Eliminación de objetos sobrantes en la imagen de las perforaciones de la PCB.....	114
3.4.2.3	Creación de capas de contenido para cada proceso de fabricación de la PCB....	116
3.4.2.4	Proceso de generación del código G para la "Capa Pistas" .....	122
3.4.2.5	Proceso de generación del código G para la "Capa Perforaciones" .....	126
3.4.2.6	Proceso de generación del código G para la "Capa Marco externo" .....	128
3.4.3	Simulación de los procesos de fabricación de la PCB desde un software CAM .....	130
3.4.4	Importación del código G en el software de control "Universal Gcode sender" ....	132
3.4.5	Disposición de la placa virgen en la mesa de trabajo de la ruteadora CNC y ejecución de los códigos G .....	135
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	143
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	148
	REFERENCIAS .....	150
	ANEXOS.....	153

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## ILUSTRACIONES

Figura 1. PCB de una sola capa.....	20
Figura 2. PCB de doble capa.....	20
Figura 3. PCB de multicapa.....	21
Figura 4. Selección de valor de ancho de pista.....	25
Figura 5. Aplicación online para calcular el ancho de pista de una PCB.....	26
Figura 6. Trazado directo sobre la placa.....	28
Figura 7. Método del planchado.....	29
Figura 8. Insoladora.....	30
Figura 9. Fabricación de PCB por el método de serigrafía.....	32
Figura 10. Proceso de atacado químico de una PCB.....	33
Figura 11. Fabricación de una PCB utilizando una ruteadora CNC.....	34
Figura 12. Arduino UNO Rev3 Microcontroller Board based on ATmega328.....	38
Figura 13. Vista general de un Motor PaP.....	39
Figura 14. Driver A4988 Pololu.....	40
Figura 15. Vista interna de una fuente conmutada.....	41
Figura 16. Final de carrera.....	42
Figura 17. Ejes de control principales de una ruteadora CNC.....	44
Figura 18. Corredera telescópica.....	44
Figura 19. Varilla Roscada.....	46
Figura 20. Husillos de bolas recirculantes.....	47
Figura 21. Geometría de la rosca de un tornillo.....	48
Figura 22. Sistema de transmisión de potencia por correa dentada.....	49
Figura 23. Motortool.....	51
Figura 24. Variedad de fresas de corte.....	52
Figura 25. Fresas en V.....	53
Figura 26. Brocas de carburo de tungsteno para perforación de PCB.....	54
Figura 27. Diagrama de flujo que describe la metodología desarrollada en el proyecto.....	56
Figura 28. Diagrama de flujo que describe el desarrollo del sistema electrónico de la ruteadora CNC.....	57
Figura 29. Configuración de pines del Arduino UNO al ser utilizado con el firmware Grbl v0.9.....	58
Figura 30. Diagramas de esfuerzos en un husillo. a) Al subir la carga; b) Al bajar la carga.....	60
Figura 31. Motor PaP seleccionado. Modelo: 42BYGH47-401A.....	63
Figura 32. Diagrama de conexión del Driver A4988.....	64
Figura 33. Fuente conmutada Seleccionada; Modelo: ATX 500W LPJ2-20.....	66
Figura 34. Código de colores de la fuente de alimentación seleccionada.....	66
Figura 35. Características del final de carrera seleccionado.....	68
Figura 36. Tabla de valores normalizados para cables según el estándar AWG.....	70
Figura 37. Esquema gráfico de conexiones eléctricas.....	71
Figura 38. Diagrama esquemático de conexiones eléctricas.....	72


	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Figura 39. Diagrama de flujo que describe el desarrollo del sistema mecánico de la ruteadora CNC .....	73
Figura 40. Correderas telescópicas seleccionadas .....	74
Figura 41. Motortool seleccionado; marca Hi-Tronic .....	81
Figura 42. Diseño de la estructura principal de la ruteadora CNC .....	82
Figura 43. Diseño del sistema de desplazamiento del eje de control X .....	83
Figura 44. Vista en explosión de la carcasa y el rodamiento de diámetro interno 10mm .....	84
Figura 45. Diseño del sistema de desplazamiento del eje de control Y .....	85
Figura 46. Diseño del sistema de desplazamiento del eje de control Y .....	86
Figura 47. Vista general del diseño de la ruteadora CNC .....	88
Figura 48. Diagrama de flujo con el orden a seguir para realizar el ensamble mecánico de la ruteadora CNC .....	89
Figura 49. Ensamble del marco inferior de la ruteadora CNC .....	91
Figura 50. Detalle del conjunto que sostiene la varilla roscada en el eje de control X .....	93
Figura 51. Unión por soldadura con electrodo revestido, entre una placa de hierro y tuerca M10 .....	94
Figura 52. Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control X .....	94
Figura 53. Detalle de la unión del marco del eje de control Y .....	96
Figura 54. Vista general de las correderas telescópicas del eje de control Y .....	97
Figura 55. Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Y .....	98
Figura 56. Detalle del ensamble del perfil en L que soporta el conjunto carcasa-rodamiento en el eje de control Z .....	100
Figura 57. Detalle del ensamble de la base rectangular de madera en el eje de control Z .....	101
Figura 58. Detalle del conjunto encargado de soportar el motortool en el eje de control Z .....	102
Figura 59. Detalle del ensamble del eje de control Z con la estructura principal de la ruteadora CNC .....	103
Figura 60. Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Z .....	103
Figura 61. Vista general del ensamble de la ruteadora CNC .....	104
Figura 62. Diagrama de flujo con el orden y las etapas a seguir para fabricar una PCB a través de la ruteadora CNC .....	105
Figura 63. Diseño esquemático del circuito electrónico utilizando Proteus .....	106
Figura 64. Diseño del circuito impreso utilizando Proteus .....	107
Figura 65. Configuración de parámetros al exportar las pistas del diseño de la PCB desde Proteus .....	108
Figura 66. Configuración de parámetros al exportar las perforaciones del diseño de la PCB desde Proteus .....	109
Figura 67. Imágenes exportadas con el diseño de la PCB. a) Pistas; b) Perforaciones .....	109
Figura 68. Configuración de parámetros al vectorizar las pistas del diseño de la PCB desde Inkscape .....	110
Figura 69. Configuración de parámetros para escalizar las imágenes del diseño PCB .....	112




	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Figura 70. Conversión final de la imagen de las pistas de la PCB. a) Imagen inicial; b) Imagen final. .....	113
Figura 71. Configuración de parámetros para convertir los contornos de los Pads de la PCB en puntos .....	115
Figura 72. Visualización de los puntos de las perforaciones de la PCB.....	116
Figura 73. Recuadros para modificar las coordenadas de origen en el plano de trabajo X, Y.....	117
Figura 74. Proceso para desplazar las imágenes a su respectiva capa .....	118
Figura 75. Visualización de objetos en las capas. a) Pistas de la PCB; b) Marco de la PCB.....	119
Figura 76. Visualización de los puntos de la Capa Perforaciones .....	121
Figura 77. Selección de la “Capa Pistas” desde el panel lateral derecho.....	122
Figura 78. Configuración de parámetros para definir profundidad de corte .....	123
Figura 79. Configuración de parámetros de la herramienta de corte seleccionada para el proceso de tallado de las pistas de la PCB.....	125
Figura 80. Configuración final de parámetros para exportar el archivo con el código G .....	126
Figura 81. Simulación de los procesos de fabricación de la PCB. a) Tallado de las Pistas; b) Perforaciones; c) Corte de la placa.....	131
Figura 82. Comunicación establecida entre software y hardware de control .....	132
Figura 83. Botones que desactivan las alarmas en el software de control.....	133
Figura 84. Ejes de control de la ruteadora CNC .....	135
Figura 85. Uso de una hoja de papel para definir la coordenada de origen en el eje de control Z	136
Figura 86. Reset de los ejes de control X, Y, Z para definir sus coordenadas de origen .....	137
Figura 87. Importación del archivo con el código G para proceso de tallado de las pistas de la PCB .....	138
Figura 88. Visualización desde UGS, el proceso de tallado de las pistas en la ruteadora CNC.....	138
Figura 89. Proceso de tallado de las pistas para la PCB a través de la ruteadora CNC .....	140
Figura 90. Pistas de la PCB .....	140
Figura 91. Proceso de perforación para la PCB a través de la ruteadora CNC.....	141
Figura 92. Perforaciones de la PCB .....	141
Figura 93. Proceso de corte para la PCB a través de la ruteadora CNC .....	142
Figura 94. Corte de la PCB .....	142
Figura 95. Registro de pruebas realizando el proceso de perforado de PCB’s .....	144
Figura 96. Registro de pruebas realizando el proceso de tallado de pistas de PCB’s.....	145
Figura 97. Registro de pruebas realizando el proceso de corte de PCB’s.....	146

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## TABLAS

Tabla 1. Relación entre Ancho de Pista, Recubrimiento, Corriente y Temperatura.....	23
Tabla 2. Tabla comparativa de métodos de fabricación de PCB's .....	36
Tabla 3. Ficha técnica del motor PaP seleccionado .....	63
Tabla 4. Ficha técnica de los finales de carrera seleccionados .....	68
Tabla 5. Ficha técnica de las correderas telescópicas seleccionadas.....	74
Tabla 6. Ficha técnica de la varilla roscada seleccionada.....	75
Tabla 7. Ficha técnica de la herramienta de corte seleccionada .....	81
Tabla 8. Configuración de parámetros para la herramienta de corte que realiza el tallado de las pistas de la PCB .....	124
Tabla 9. Configuración de parámetros en la pestaña “Preferences” de la ventana “Path to Gcode” .....	125
Tabla 10. Configuración de parámetros para la herramienta de corte que realiza las perforaciones de la PCB.....	127
Tabla 11. Configuración de parámetros para la herramienta de corte que realizara el corte de la PCB .....	129
Tabla 12. Configuración de las teclas para el control manual de la ruteadora CNC.....	134
Tabla 13. Valores óptimos para los parámetros de los procesos de fabricación de PCB's.....	146

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Generalidades

Existen diversos métodos de elaboración de tarjetas de circuito impreso (PCB), desde la manufactura a nivel profesional para la producción en serie, hasta métodos artesanales para el desarrollo de prototipos por parte de estudiantes y emprendedores, y es en este último grupo al que se orienta este proyecto de grado. El problema que se pretende solucionar, es la gran dificultad para elaborar PCB's, ya que los métodos más utilizados de manufactura, son artesanales, los cuales requieren de un arduo trabajo, largos tiempos de fabricación y poca precisión, sin contar con el uso de sustancias químicas perjudiciales para la salud y para el medio ambiente, si no se toman las precauciones necesarias al momento de desechar los residuos.

Este proyecto presenta una solución para los problemas anteriormente identificados, en él se propone diseñar e implementar un sistema automático de bajo costo para fabricar PCB's de una capa, comúnmente llamado ruteadora CNC. Esta máquina ofrece beneficios como precisión, bajo tiempo de producción, uso de plataformas libres de software y hardware que son amigables con el usuario, además todos sus componentes son de fácil adquisición en el mercado, lo que facilita el soporte técnico y mantenimiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## 1.2 Objetivos


### 1.2.1 General

Diseñar e implementar una ruteadora CNC a mediana escala y bajo costo para la elaboración de prototipos de circuitos impresos de una capa, que ofrezca soluciones menos contaminantes que los métodos de manufactura artesanales.

### 1.2.2 Específicos

- Convertir los archivos de extensión “.bmp” obtenidos del software de diseño PCB, en código G para establecer las coordenadas del circuito, mediante el uso de un software de código abierto disponible en el mercado.
- Desarrollar el algoritmo de control para la máquina CNC, mediante el uso de sistemas embebidos.
- Diseñar una máquina ruteadora CNC, que permita el desplazamiento de una herramienta de corte en tres ejes de movimiento.
- Validar el funcionamiento de la ruteadora CNC en la elaboración de prototipos de circuitos impresos de una capa.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 1.3 Organización del trabajo


Para el desarrollo de este proyecto, se parte de un proceso de investigación acerca del marco teórico actual, acorde al desarrollo tecnológico que se observa en nuestro medio, queriendo incluir información clave sobre los conceptos fundamentales a tener en cuenta en la elaboración de circuitos electrónicos, según el campo de acción en el que se desean implementar.

Partiendo de esta base, quisimos presentar también los factores más relevantes que permitan identificar el método más apropiado a utilizar en la elaboración de tarjetas de circuito impreso, y para el caso particular de este proyecto que está enfocado en la elaboración de prototipos de circuitos impresos, el método ideal, por ser más técnico, de bajo costo y muy práctico, consiste en la utilización de una máquina de control numérico computarizado (CNC).

Por todo lo anterior, procedimos a realizar el diseño de una ruteadora CNC, iniciando con el desarrollo de un sistema electrónico que permitiera establecer un algoritmo de control valido, conformado entre otras, por las etapas de control y de potencia, las cuales se implementarían en un sistema de interfaz hombre-máquina, mediante el cual se establecería la comunicación requerida entre el software y el hardware de control. Teniendo el desarrollo de este sistema electrónico, podríamos controlar la máquina totalmente, pudiendo seleccionar el modo de control, ya sea control Manual o control Automático.

Después de alcanzar y probar este sistema electrónico, se procede a definir y desarrollar el sistema mecánico que conformará el conjunto físico, o el hardware, de la ruteadora. Para ello procedemos a identificar todas las piezas y las partes principales que generan el movimiento del ensamble físico de este tipo de máquinas, apoyándonos para ello en el marco teórico que ya habíamos investigado en la primera fase de este trabajo.


Debemos resaltar que todo el diseño del sistema mecánico requiere utilizar un software de diseño y modelación CAD, el cual nos permitirá realizar pruebas de verificación en los

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ensambles desarrollados, pudiendo garantizar así el buen funcionamiento de la máquina, una vez se implemente físicamente.

Una vez acoplemos ambos sistemas, es decir, los desarrollos del sistema electrónico y del sistema mecánico, se realiza el ensamble general de toda la máquina, realizamos las pruebas requeridas para garantizar el óptimo funcionamiento de la máquina, y poder garantizar así el desarrollo y proceso de fabricación de los sistemas que generan los desplazamientos controlados de cada uno de los ejes de control que involucra la ruteadora CNC.

Y como fase final, se verifica el funcionamiento de la maquina CNC, con el fin de garantizar el cumplimiento del objetivo inicial: Lograr la fabricación de tarjetas de circuito impreso, variando los parámetros de funcionamiento de la CNC, para verificar que el desempeño de la maquina sea confiable, permitiendo estabilidad y disponibilidad del equipo en el momento que se requiera, realizando pruebas con diferentes valores en los parámetros de funcionamiento, para así poder establecer los valores más adecuados, dándole total soporte a toda la información presentada en este proyecto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## 2. MARCO TEÓRICO

---

A continuación, se describirán los conceptos y teorías fundamentales para el desarrollo de este proyecto, inicialmente se describirá que es una tarjeta de circuito impreso profundizando en algunas recomendaciones técnicas a tener en cuenta al momento de su diseño. Después se describirán algunos de los métodos actuales más utilizados para la fabricación de PCB's, entre los cuales se hará mención del método a tratar en este proyecto, el cual es el de la fabricación de PCB's utilizando una ruteadora CNC.


Finalmente, se hará una descripción de lo que es una ruteadora CNC, las partes que la conforman y todo el sistema de control de software y hardware requerido en la implementación y elaboración de prototipos de circuitos impresos.

### 2.1 Tarjeta de circuito impreso

También conocida como PCB (Printed Circuit Board), es una tarjeta o placa fabricada con un material aislante (comúnmente de baquelita o fibra de vidrio) que puede ser rígida o flexible y que tiene sobre esta una delgada capa constituida por caminos o pistas de un material conductor (por lo general cobre de alta pureza) utilizadas para conectar eléctricamente y sostener mecánicamente, el conjunto de componentes electrónicos que serán utilizados en el circuito electrónico a desarrollar (Khandpur, 2005).

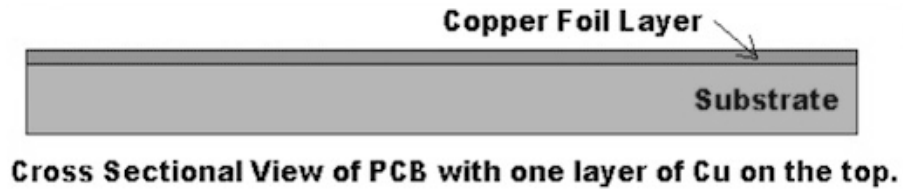
#### 2.1.1 Clasificación de las tarjetas de circuito impreso

Las tarjetas de circuito impreso se clasifican en tres grupos de acuerdo al número de capas que tengan, a continuación, se definirá cada una de ellas:

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 2.1.1.1 Placas de una sola capa

Solo cuentan con las pistas de material conductor por una cara de la placa (Figura 1), generando que los elementos electrónicos solo sean conectados entre ellos por un lado. Estas placas se fabrican para realizar circuitos simples y obtener costos mínimos (Bellido, 2015).

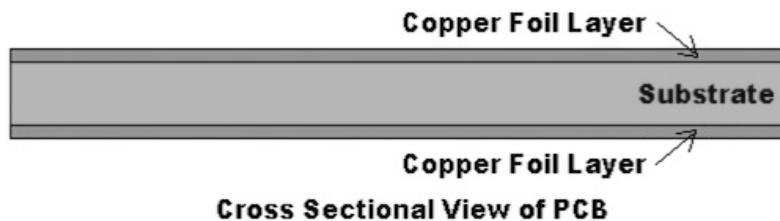


**Figura 1.** PCB de una sola capa

[Fuente: <http://www.edn.com/design/pc-board/4424239/1/PCB-design-basics>]


### 2.1.1.2 Placas de doble capa

Ambas caras de la placa cuentan con pistas de material conductor aisladas entre ellas (Figura 2). Estas PCB's son utilizados en su mayoría para circuitos que tienen una densidad de componentes mayor, generando una interconexión entre ellos por ambos lados de las caras (Bellido, 2015).



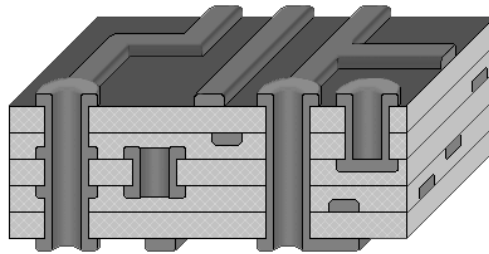
**Figura 2.** PCB de doble capa

[Fuente: <http://www.edn.com/design/pc-board/4424239/1/PCB-design-basics>]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 2.1.1.3 Placas multicapa

Similares a las de doble capa, añadiendo que llevan en el interior de la placa otra cantidad de capas de material conductor que se encuentran aisladas entre ellas (Figura 3). Estas PCB's facilitan la reducción de peso, tamaño y densidad de elementos, ya que se ha llegado a fabricar PCB's hasta de 50 capas, la interconexión de estas capas se realiza por medio de agujeros metalizados, estos PCB's también se utilizan para evitar distorsiones y/o tiempos de retraso en señales eléctricas (Bellido, 2015). Estas placas suelen utilizarse para solucionar problemas de descargas electrostáticas ESD e interferencias electromagnéticas EMI.




**Figura 3.** PCB de multicapa

[Fuente: <http://www.electronpcb.es/es/disenopcb.html>]


### 2.1.2 Tamaño de la placa de circuito impreso

Una vez se tiene un prototipo ya elaborado, este dará una idea de qué tamaño deberá tener la placa, para ello se debe garantizar que los componentes queden bien distribuidos y ubicados, preferiblemente de forma paralela o perpendicular a los bordes de la placa. Una buena manera de lograr una correcta distribución de los componentes, consiste en seguir la distribución desarrollada en el diagrama esquemático.

A la hora de realizar una tarjeta de circuito impreso, se deben seguir algunas recomendaciones técnicas como las mencionadas en (Wakerly, 2001):

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

1. El ancho de las pistas de cobre estará determinado por la máxima corriente que deben soportar las mismas, y normalmente mide entre 10 y 25 milésimas de pulgada.
2. Las pistas angostas, al igual que la mínima separación que debe existir entre 2 pistas adyacentes para garantizar un buen aislamiento eléctrico está alrededor de 4 milésimas de pulgada.
3. Se pueden realizar hasta 125 conexiones en una franja de una pulgada de ancho en uno de los lados de una tarjeta de circuito impreso.
4. Los puntos de cobre donde se conectan los pines de los componentes, deben ser redondos, y mínimo, tener 3mm de diámetro. Si se aumenta el diámetro del punto, se tendrá una mayor resistencia contra el calor, evitando que estos puntos se desprendan fácilmente.  
  
En algunos casos donde se requiera, los puntos de cobre pueden ser rectangulares, pero con el ancho adecuado.
5. Los orificios en los cuales se insertan los componentes, deben tener un diámetro mínimo de 0.75mm, y siempre estar ubicados en el centro de los puntos de conexión. Se recomienda utilizar una broca de 1mm y otras de mayor tamaño para componentes que así lo requieran.
6. Cuando en el diseño elaborado no sea posible interconectar 2 puntos con una pista de cobre (porque existe otra pista que interfiere en la trayectoria), se dejan 2 puntos de conexión y se realiza un puente entre ellos con alambre simple.
7. Se debe evitar formar ángulos agudos en los caminos de las pistas de cobre ya que estos podrían tener un comportamiento inductivo
8. El ancho de las pistas dependerá de la corriente utilizada, entre más alta sea la corriente las pistas deberán tener un mayor grosor
  - Para un ancho de pista de 0.5 milímetros, se acepta una corriente máxima de 0.5 amperios.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


- Para un ancho de pista de 1.5 milímetros, se acepta una corriente máxima de 2 a 4 amperios.
- Para un ancho de pista de 4 milímetros, se acepta una corriente máxima de 8 a 10 amperios.

Se presenta la Tabla 1, tomada como referencia de (Pareja A., 2010), con la cual se puede conocer el aumento de temperatura en una pista, en función de sus características de recubrimiento de cobre, ancho y corriente que fluye.

	ANCHO DE LA PISTA (mm)						
Recubrimiento 35µm	0.36	0.40	0.72	1.14	1.78	2.50	3.50
Recubrimiento 70µm			0.36	0.60	0.90	1.30	1.75
$\Delta T^{\circ} \rightarrow 10^{\circ}C$	0.90	1.00	1.80	2.70	3.70	4.70	5.70
$\Delta T^{\circ} \rightarrow 20^{\circ}C$	1.20	1.30	2.70	3.80	5.20	6.80	8.30
$\Delta T^{\circ} \rightarrow 30^{\circ}C$	1.80	1.90	3.50	4.60	6.20	8.20	10.5
	INTENSIDAD ADMISIBLE (A)						

**Tabla 1.** Relación entre Ancho de Pista, Recubrimiento, Corriente y Temperatura  
[Fuente: “*Diseño y Desarrollo de circuitos impresos con kicad*”, (Pareja A., 2010)]

Un ejemplo de utilización de la Tabla 1 es el siguiente, suponiendo que se tiene una placa con un recubrimiento de cobre de 70 micras, con una pista de 0.9mm de ancho y que por ella fluye una corriente de 3.70 amperios, se producirá entonces en la pista, un aumento de temperatura de 10 grados centígrados.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

A continuación, se presenta la ecuación para calcular el ancho de pista de un circuito, tomada del estándar general para el diseño de circuitos impresos (ANSI-IPC2221):

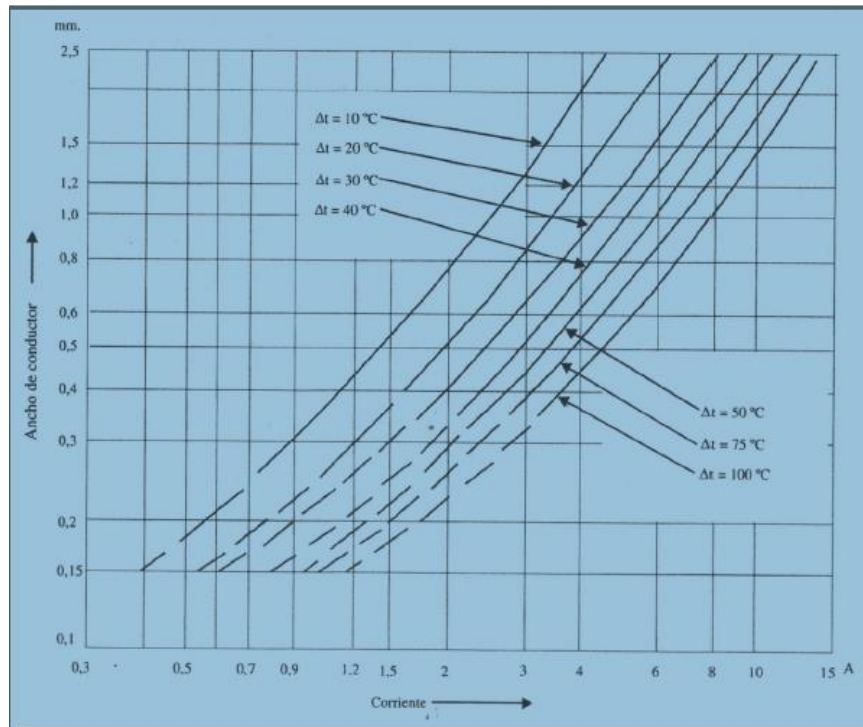
$$\text{Ancho} = \left( \frac{I}{K1 * \Delta T^{K2}} \right)^{1/K3} / (L * 1.378)$$

<i>I</i>	Corriente máxima, en amperios (A).
$\Delta T$	Incremento de temperatura máximo (°C)
<i>L</i>	Grosor de la capa de cobre, en onzas por pie cuadrado (oz/ft <sup>2</sup> ). El valor estándar de 35 micras, corresponde a una onza por pie cuadrado.
<i>K1</i>	Constante de valor 0,0150 para pistas internas, y 0,0647 para pistas externas.
<i>K2</i>	Constante de valor 0,5453 para pistas internas y 0,4281 para pistas externas.
<i>K3</i>	Constante de valor 0,7349 para pistas internas y 0,6732 para pistas externas.

El valor resultante de la ecuación se obtiene en unidades de milésimas de pulgada. Si se desea convertir el valor a milímetros, basta con dividir el resultado en 2,54, ya que un milímetro equivale a 2,54 milésimas de pulgada.

En la Figura 4, se presenta una gráfica que nos indica, cómo obtener el valor de ancho de pista, conociendo el valor de aumento de temperatura y la corriente que circula, para una placa con un recubrimiento estándar de 35 micras.






**Figura 4.** Selección de valor de ancho de pista

[Fuente: “*Diseño y Desarrollo de circuitos impresos con kicad*”, (Pareja, 2010)]

Según todo lo anterior, se puede concluir que:

- Para un valor de corriente menor a 300 miliamperios, se debe usar un valor mínimo de ancho de pista de 0.5 milímetros
- Para un valor de corriente mayor a 300 miliamperios, se debe seleccionar un valor mínimo de ancho de pista de 0.5 milímetros por cada amperio que circule, aunque se recomienda seleccionar un valor de ancho de pista de 1 milímetro por cada amperio.
- Para las pistas de alimentación, se debe seleccionar un valor de ancho de pista de 2 milímetros como mínimo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

También, se puede utilizar la aplicación para calcular el ancho de pista disponible en la página web de la empresa “Microensamble SAS” (Figura 5), con la cual se puede calcular el grosor de pista necesario para el diseño de circuitos impresos, de acuerdo a la curva de la norma IPC-2221. Para utilizar dicha aplicación, se debe conocer previamente el valor de la corriente que circulara por las pistas, el espesor de la capa de cobre de la placa, y algunos otros datos opcionales como temperatura y longitud de la pista.



**Datos de entrada**

Datos necesarios:

Corriente (0 - 35 A):  A (Amperios)

Espesor del cobre (.5 - 3 Oz):  Oz

Datos opcionales:

Aumento de temperatura (10-100°C):  °C

Temperatura ambiente:  °C

Longitud de pista:  mm

**Representación gráfica de una pista en un PCB:**

Sección = E x A

Circuito Impreso

Pista

Longitud

Espesor

Ancho

**Resultado para capas internas**

Ancho de pista:  mm

Resistencia eléctrica: 0.001348 Ω (Ohmios)

Caída de tensión: 0.01348 V (Voltios)

Potencia disipada: 0.1348 W (Wattios)

**Resultado para capas externas**

Ancho de pista:  mm

Resistencia eléctrica: 0.003507 Ω (Ohmios)

**Glosario:**

Mils: Milésimas de pulgada.

Corriente: Intensidad medida en amperios (A) que circulará por la pista. Hasta 35 A según IPC-2221.

Espesor del cobre: Grosor en onzas (oz) o micras (um) de la capa de cobre utilizada en la pista correspondiente a las siguientes equivalencias: 1/2 Oz = 17 um, 1 Oz = 35 um, 2 Oz = 70 um, 3 Oz = 105 um.

Aumento de temperatura: Define qué tanto más, por encima de la temperatura ambiente, se va a calentar la pista una vez se le aplique la corriente programada.

Longitud de pista: Largo de la pista en milímetros (mm) o milésimas de pulgada (mils) sobre la cual va a circular la corriente programada.


Capas externas: Usualmente TOP para circuitos de 1 capa, y TOP / BOTTOM para circuitos de 2 más capas.

Capas internas: Capas intermedias en circuitos multicapa.

**Figura 5.** Aplicación online para calcular el ancho de pista de una PCB

[Fuente:

[http://www.microensamble.com/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=105:calculadora-de-ancho-de-pista&catid=62&Itemid=197](http://www.microensamble.com/site/index.php?option=com_content&view=article&id=105:calculadora-de-ancho-de-pista&catid=62&Itemid=197)]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


## 2.2 Métodos de fabricación de PCB

Existen varios métodos de fabricación de PCB's, los cuales varían de acuerdo al objetivo que se desea lograr, están entonces los métodos utilizados para las producciones en masa y los métodos utilizados para la creación de prototipos. Como la finalidad de este proyecto es la elaboración de prototipos de circuito impreso, nos centraremos únicamente en los métodos utilizados para la creación de prototipos, y por consiguiente, poder establecer las diferencias que se dan entre utilizar métodos de manufactura artesanal y utilizar una ruteadora CNC en la elaboración de prototipos de circuitos impresos.

### 2.2.1 Fabricación de PCB's por manufactura artesanal y ataque químico

La principal diferencia que existe entre utilizar métodos de manufactura artesanal y utilizar ruteadoras CNC, es que los métodos de manufactura artesanal requieren el uso de un ácido corrosivo muy contaminante en las etapas finales de fabricación de la PCB, con el cual se remueven las partes de cobre sobrante de la placa para que solo queden adheridas las pistas de material conductor que conformaran el circuito impreso. Además, estos métodos de manufactura artesanal presentan un gran inconveniente, ya que requieren que las perforaciones estipuladas en el diseño de la PCB, sean realizadas de forma manual, lo cual aumenta considerablemente los tiempos de fabricación de cada PCB y reduce la calidad de las mismas.

A continuación, se describirán los principales métodos de manufactura artesanal, haciendo énfasis en los pasos por los que se destaca cada método, y al final, se describirá de manera general el paso final de estos métodos, el cual corresponde al proceso de atacado químico y las perforaciones de la placa. En cuanto a los métodos de manufactura artesanal se destacan los siguientes:

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 2.2.1.1 Trazado directo sobre la placa

Este método consiste en utilizar un rotulador de tinta permanente para dibujar sobre la cara de cobre de la placa las pistas que conforman el circuito impreso (Figura 6). Es un método muy económico, aunque el acabado final que se obtiene es de muy baja calidad y los tiempos de elaboración son muy extensos.




**Figura 6.** Trazado directo sobre la placa

[Fuente: <https://heathpaddock.com/?p=32>]

### 2.2.1.2 Transferencia térmica

Para la realización de este método también conocido como “método de planchado” (Figura 7), primero se debe imprimir el diseño de la PCB sobre un papel de textura muy lisa y brillante conocido como papel satinado (por lo general se usa propalcote), esta impresión debe realizarse desde una impresora láser ya que estas utilizan tóner (tinta en forma de polvo) para realizar la impresión, y es este tóner el que luego se transfiere a la placa tal como se explica en los párrafos siguientes.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27




**Figura 7. Método del planchado**

[Fuente: <http://320volt.com/en/pcb-baski-devre-yapiminda-farkli-bir-yontem/>]

Una vez se tiene el diseño impreso de la PCB, se procede a recortarlo y ubicarlo sobre la placa de tal manera que el lado del papel que tiene plasmado el diseño haga contacto directo con la cara de cobre de la placa. Después se debe colocar una hoja de papel sobre el papel satinado, para evitar que el papel satinado se queme al momento de realizar la transferencia térmica y por último se deben fijar estos 3 elementos, utilizando cinta adhesiva, con el fin de evitar que el diseño impreso se mueva al momento de realizar la transferencia.

Completados los pasos anteriores se procede a realizar la transferencia térmica del diseño impreso de la PCB hacia la placa, para ello se hace uso de una plancha de ropa, la cual debe desplazarse de manera uniforme sobre la hoja de papel. Este procedimiento se realiza durante un intervalo de tiempo entre 10 y 15 minutos dependiendo del tamaño del circuito impreso a realizar.

Pasado este lapso de tiempo, se debe sumergir la placa en un recipiente con agua a temperatura ambiente y dejar reposar por otros 10 minutos, esto se hace con el fin de que el papel satinado pueda desprenderse fácilmente de la placa, ayudándose con un suave movimiento de las yemas de los dedos sobre la placa; este procedimiento se realiza hasta

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

que en la placa quede únicamente el tóner transferido desde el papel satinado (Ocampo & de Jesús Deras, 2015).

Esta técnica presenta varias desventajas entre las cuales se destacan las siguientes:

- Los tiempos de fabricación son largos, debido a que involucra numerosos pasos.
- Baja calidad en el acabado final de las PCB's, debido a una mala transferencia térmica del tóner hacia la placa.
- Genera una gran demanda de esfuerzo físico, por lo que no resulta conveniente cuando se requiere fabricar varias placas de manera consecutiva.


### 2.2.1.3 Transferencia por luz ultravioleta

Tal como se describe en, (Salas P., Pérez A., & Ramírez, 2008), la técnica de transferencia por luz ultravioleta consiste en utilizar una placa virgen que cuenta sobre la cara de cobre con una resina protectora de propiedades únicas (fotosensible) capas de deshacerse al ser expuesta a los rayos ultravioleta (UV) de una insoladora (Figura 8). Estas placas traen de fábrica una cubierta (azul o negra) la cual las protege de la luz antes de su uso.



**Figura 8.** Insoladora


[Fuente: <http://www.pisotones.com/Articulos/PCBs.htm>]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Para realizar este método, primero se debe imprimir el diseño del circuito impreso en una hoja de transparencia o acetato con una impresora láser o fotocopidora, luego se coloca el acetato sobre la placa por el lado de la impresión, de tal forma que quede en contacto directo con la resina protectora de la superficie de cobre. Después, se ubican la placa y el acetato en una insoladora, para ser expuestos a los rayos UV por un tiempo que varía de acuerdo a la sensibilidad de la placa, luego se retira la transparencia de la placa y se sumerge la placa en un líquido revelador, normalmente se utiliza para dicho fin soda caustica, y se recomienda realizar el proceso en un cuarto oscuro. Por último, se lava la placa con abundante agua, para después continuar con el proceso de atacado químico.

Este método presenta una mayor facilidad al momento de transferir el diseño de la PCB hacia la placa en comparación con los métodos anteriores, además presenta una exactitud mayor si se define bien el tiempo de exposición a los rayos UV, sin embargo, presenta algunos inconvenientes como se mencionan a continuación:

- La placa que se utiliza para realizar este proceso es una placa fotosensible, las cuales son difíciles de adquirir en el mercado y además tienen un costo mayor comparadas con las placas de cobre que se comercializan normalmente.
- Se debe tener mucha precaución al momento de utilizar las placas fotosensibles, siempre trabajar con ellas en un cuarto o lugar oscuro, de lo contrario la placa podría perder sus propiedades al entrar en contacto con la luz quedando inservibles para la realización de este método.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

#### 2.2.1.4 Transferencia por serigrafía

El método de transferencia por serigrafía también conocido como “Screen” (Figura 9), consiste en utilizar un bastidor o marco serigráfico que cuenta con una malla (hecha de tela de seda) en la cual se revela el diseño la PCB a fabricar por medio de un proceso de impermeabilización de la malla. Este bastidor después se utiliza en conjunto con una emulsión de tinta acrílica, con la cual se recubre el Cu de la placa virgen para después ser sometida al proceso de atacado químico.




**Figura 9.** Fabricación de PCB por el método de serigrafía

[Fuente: [https://i.ytimg.com/vi/cdFgO\\_v3sbk/maxresdefault.jpg](https://i.ytimg.com/vi/cdFgO_v3sbk/maxresdefault.jpg)]

El proceso a seguir para realizar la transferencia de la imagen del circuito impreso a la placa de cobre por el método de serigrafía es el siguiente:

Primero se debe tener lista la impresión de la PCB en una hoja de transparencia o acetato, luego se debe aplicar una capa de foto emulsión de forma uniforme sobre la malla del bastidor serigráfico (esto se realiza para poder realizar el proceso de revelado de la malla), después, se coloca el acetato con el impreso de la PCB debajo de la malla del bastidor y se ubican ambos sobre una insoladora por un tiempo promedio de 15 minutos, pasado este tiempo se debe lavar la malla con abundante agua hasta que se vean los poros sellados donde existe la imagen de la PCB, obteniendo así la malla revelada y lista para proceder con el proceso de transferencia del diseño de la PCB hacia la placa virgen; para ello, se ubica la malla en contacto directo con la superficie de Cu de la placa y se procede a aplicar una



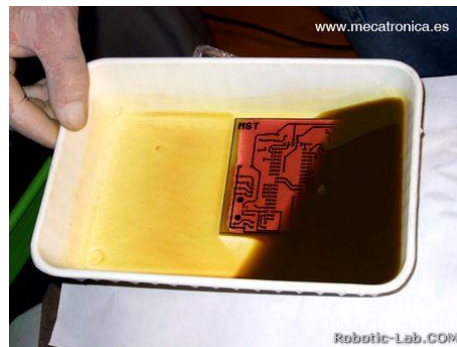
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

emulsión de tinta acrílica sobre la malla y se esparce con el uso de una espátula o raqueta de tal forma que quede pintado el diseño de la PCB sobre la superficie de Cu. Finalizado el paso anterior, se procede a dejar secar la pintura que esta sobre la placa de Cu, una vez seca, se procede a realizar el proceso de atacado químico.

Este método es muy utilizado en la industria para la fabricación de PCB's, ya que permite transferir el diseño de la PCB a la placa de manera muy rápida y presenta una altísima calidad en las pistas que conforman el circuito, su único inconveniente es que no resulta muy óptimo en la fabricación de prototipos ya que el costo por prototipo es muy elevado si se compara con los métodos mencionados, su principal aplicación está en ser implementado en la producción en serie de PCB's

#### 2.2.1.5 Proceso de atacado químico y perforaciones de la placa


A continuación, se procederá a describir el paso final que requieren todos los métodos de fabricación de PCB's por manufactura artesanal mencionados anteriormente, que corresponde al proceso de atacado químico tal como se muestra en la Figura 10.



**Figura 10.** Proceso de atacado químico de una PCB

[Fuente: <http://www.robotic-lab.com/blog/tutoriales/como-fabricar-circuitos-impresos/>]

Como paso final, se procede a sumergir la placa (que ya tiene impresa el diseño de la PCB), en una solución corrosiva que se prepara en un recipiente plástico mezclando una cantidad

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

de cloruro férrico por otra cantidad de agua hervida. Después, se debe agitar el recipiente plástico por un intervalo de tiempo de 10 a 30 minutos, que dependerá del tamaño de la placa (a mayor tamaño, requerirá más tiempo), esto se hace con el fin de que la solución corrosiva remueva las áreas de cobre de la placa que no hacen parte del diseño del circuito impreso. Por último, se limpia la placa con abundante agua y jabón para finalizar con la realización de las perforaciones requeridas en el circuito impreso por medio del uso de un taladro de mano o de banco. Como se puede observar, estos métodos requieren del uso de ácidos corrosivos para atacar químicamente la placa, y debido a que estos químicos son nocivos para la salud de los seres humanos y el medioambiente, estas técnicas de fabricación no resultan ecológicas, ni sostenibles (Ocampo & de Jesús Deras, 2015).


### 2.2.2 Fabricación de PCB a través de una ruteadora CNC

El uso de ruteadoras CNC en la fabricación de tarjetas de circuito impreso (Figura 11) se ha hecho cada vez más común, gracias al aporte brindado por las comunidades Open source, quienes a través del conocimiento colectivo brindan información en cuanto a la creación, implementación e innovación de máquinas CNC, tanto en la parte de software como en los relacionado con el hardware.



**Figura 11.** Fabricación de una PCB utilizando una ruteadora CNC


[Fuente: <http://www.enactiveenvironments.com/enabling/cnc-milling-pcbs/>]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

El proceso de fabricación de las placas de circuito impreso con este tipo de máquinas, requiere del uso de un computador el cual, a través de un software de control, envía una serie de comandos (denominados códigos G), hacia la interfaz de hardware de la máquina; Estos comandos controlan el movimiento de una herramienta de corte (dispuesta en el cabezal de la máquina) en los ejes de control X, Y, Z. Dicha herramienta es la encargada de ir removiendo el material de cobre sobrante de la placa, de tal forma que vayan quedando solamente los caminos o pistas que conformaran el circuito impreso, (Dávalos M., 2011).

Las ventajas de utilizar este método en la realización de prototipos de circuitos impresos son las siguientes:

- Es un proceso automático, ejecutado a través de un computador, lo cual reduce el error humano, aumentando de esta manera la precisión y el acabado final de las PCB's fabricadas.
- Brinda la posibilidad de cambiar fácilmente las herramientas de corte, lo que permite que la misma máquina realice tanto el tallado como las perforaciones indicadas en el diseño de la PCB.
- Es un método más amigable con el medio ambiente, ya que no requiere el uso de sustancias químicas corrosivas que afectan la salud de las personas y el medio ambiente, y que son requeridas en otros métodos de fabricación de PCB's.
- Reducción en los tiempos de fabricación de cada placa, ya que, al ser un proceso automático, solamente requiere de unos pocos pasos para fabricar cada PCB.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 2.2.3 Tabla comparativa de los métodos de fabricación de PCB's


Se presenta la Tabla 2, tomada como referencia de la tabla de ventajas y desventajas de métodos de fabricación de PCB presentadas en (Cifuentes M. & Jaramillo B., 2015), en la cual se pueden comparar de manera rápida y clara, los métodos de fabricación de PCB's mencionados anteriormente, añadiendo además 2 columnas a la tabla original, en las cuales se indican el tipo de técnica de eliminación del cobre sobrante y el método de perforación de la placa.

Método de fabricación de PCB	Trazado directo sobre la placa	Transferencia térmica	Transferencia por luz ultravioleta	Transferencia por serigrafía	Ruteadora CNC
<b>Técnica de eliminación del cobre sobrante</b>	Atacado químico	Atacado químico	Atacado químico	Atacado químico	<b>Fresado</b>
<b>Costo equipos</b>	Muy Bajo	Bajo	<b>Medio-Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Medio</b>
<b>Volumen de producción</b>	Muy Bajo	Bajo	Medio	<b>Alto</b>	Medio
<b>Nivel de automatización</b>	No aplica	No aplica	Bajo	Medio	<b>Alto</b>
<b>Método de perforación de la placa</b>	Manual	Manual	Manual	Manual	<b>Automático</b>
<b>Exactitud</b>	Muy Baja	Baja	Media	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>

**Tabla 2.** Tabla comparativa de métodos de fabricación de PCB's

[Fuente: <http://es.slideshare.net/LeonardoABonilla/fabricacin-digital-router-cnc-y-lser>]

De acuerdo a la Tabla 2 se puede verificar que el método más efectivo para la fabricación de prototipado rápido de PCB's es el que utiliza una ruteadora CNC, ya que este presenta grandes ventajas como su alto nivel de automatización, el no requerimiento de sustancias

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


químicas contaminantes para la eliminación del cobre sobrante, y su alto grado de exactitud en la fabricación de las tarjetas de circuito impreso.

### 2.3 Ruteadora CNC

Una ruteadora CNC, o un sistema de Control Numérico Computarizado, consiste en una máquina capaz de controlar de forma automática (con la ayuda de un ordenador) la posición de una herramienta de corte con respecto a unas coordenadas de origen definidas en un plano cartesiano X, Y, Z. Dicho sistema CNC, está conformado por un conjunto de órdenes generadas a partir de funciones lógicas fijas, que incluyen instrucciones alfanuméricas almacenadas en un microprocesador, y que son enviadas a través de un ordenador hacia una interfaz de hardware, capaz de interpretar dichas instrucciones para controlar los movimientos de los motores que accionan cada uno de los ejes de control de la máquina y de esta manera controlar el desplazamiento de la herramienta de corte, (Chang P., 2015).

El CNC tuvo su origen a principio de los años cincuenta en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora. Anteriormente, todos los procesos de producción de partes mecánicas eran ejecutados de manera manual. Esto cambio gracias a la llegada del computador que en sus inicios eran tan grandes, que ocupaban espacios mayores que las máquinas que controlaban. Fue gracias al uso de los computadores por medio de las herramientas informáticas y electrónicas, que mezcladas con sistemas mecánicos, conformaron los primeros sistemas electromecánicos que lograban ejecutar y realizar tareas de manera automática, con el fin de aumentar la precisión y la rapidez en las piezas fabricadas para poder cumplir con los estándares de producción exigidos, (Londoño O., León S., Alvarez D., & Marín Z., 2005).

Esta es la razón por la que surgen este tipo de máquinas CNC, con las cuales se reduce la intervención humana en los procesos productivos, logrando ejecutar labores productivas de manera mucho más rápida y precisa, requiriendo un mínimo esfuerzo físico y mental para llevar a cabo una labor específica.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 2.3.1 Sistema electrónico

Para el desarrollo del sistema electrónico de la ruteadora CNC, se implementará como hardware de control (para establecer una comunicación entre el ordenador y la máquina) un Arduino UNO, ya que por su facilidad de manejo y la amplia información que existe en la web sobre él, es ideal para ser utilizado en el desarrollo de este proyecto.


#### 2.3.1.1 Arduino

Se define un Arduino, como una plataforma de hardware y software de código abierto, basada en una sencilla placa que cuenta con un microcontrolador y unos puertos de entrada y salida, la cual también cuenta con un entorno de desarrollo basado en el lenguaje de programación Processing. Con estas placas de Arduino (Figura 12) que simulan pequeños ordenadores, se pueden llevar a cabo diversas tareas tales como leer información de algún sensor conectado en alguno de sus puertos de entrada, controlar luces o controlar motores, entre otros usos, (ARDUINO.CL, s.f.).



**Figura 12.** Arduino UNO Rev3 Microcontroller Board based on ATmega328

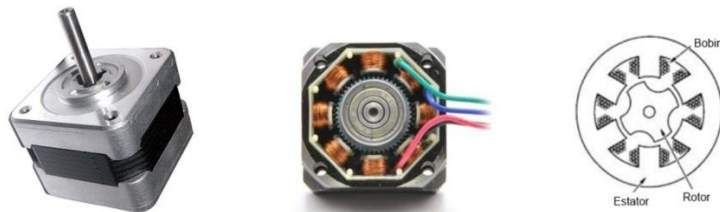
[Fuente: <http://www.quantum-wireless.com/arduino-uno-rev3-microcontroller-board-based-on-atmega328-a000066.html>]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 2.3.1.2 Motor Paso a Paso

Según la organización British Estándar Specifications (Athani, 1997), la definición de motor paso a paso es la siguiente: *“Un motor paso a paso, es un motor de corriente directa sin escobillas, cuyo rotor gira con incrementos angulares discretos cuando sus devanados del estator son energizados de una manera programada. La rotación ocurre por la interacción magnética entre los polos del rotor y los polos del devanado del estator energizados secuencialmente. El rotor no tiene devanados eléctricos, pero si tiene polos salientes y/o magnetizados.”*


Los motores PaP (Figura 13) son dispositivos ideales para utilizar en aplicaciones en las que se requiere realizar movimientos muy precisos, pues funcionan al recibir una serie de impulsos eléctricos, los cuales los convierten en desplazamientos angulares discretos, lo que quiere decir que pueden avanzar una serie de grados dependiendo de cómo se energicen sus entradas de control.



**Figura 13.** Vista general de un Motor PaP

[Fuente: <http://diymakers.es/mover-motores-paso-paso-con-arduino/>]

La principal característica que tiene este tipo de motores, es que se mueven un paso a la vez por cada impulso eléctrico que se aplique. Este paso viene configurado con una cantidad de grados siendo los valores más comunes  $0,72^\circ$ ,  $1,8^\circ$ ,  $3,6^\circ$ ,  $7,5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $90^\circ$ , lo que quiere decir que si por ejemplo el paso está configurado a  $90^\circ$ , se necesitarían 4 pasos para realizar un giro de  $360^\circ$ . Este valor de grados por paso usualmente recibe el nombre de resolución del motor.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 2.3.1.3 Driver A4988

Tomando como referencia la información brindada en la página web de (Pololu Corporation, s.f.), el driver A4988 (Figura 14) es un circuito electrónico con el cual se pueden controlar motores PaP de hasta 2 Amperios de corriente, valiéndose de una interface de control como la que presenta Arduino.



**Figura 14.** Driver A4988 Pololu


[Fuente: <https://www.pololu.com/product/11821>]

Este driver se utiliza para alimentar un motor PaP con un voltaje de operación, y maneja rango desde 8 hasta 35 voltios. Su principal función es la de limitar la corriente al valor más óptimo con que trabaja el motor PaP, lo cual es muy necesario, ya que si la corriente de este tipo de motores no se limita correctamente, el motor puede llegar a recalentarse y /o causar daños permanentes en el mismo.

### 2.3.1.4 Fuentes conmutadas

Existen innumerables procesos industriales en los que se requiere controlar y acondicionar el flujo de energía para aumentar el rendimiento de diferentes sistemas y dispositivos electrónicos, para lograr este tipo de control se utilizan comúnmente fuentes de energía que reciben el nombre de fuentes conmutadas (Figura 15). Estas tienen como función principal transformar la corriente alterna de las líneas eléctricas en corriente directa para alimentar los elementos electrónicos y eléctricos a un voltaje y corriente específicos mediante el uso de transistores en modo de conmutación con un flujo de corriente de mayor frecuencia, (Bossa & Serra, 2006). Actualmente, este tipo de fuentes han ido



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

tomando una gran acogida entre numerosos fabricantes de dispositivos electrónicos, siendo muy común encontrarlas en dispositivos como computadores, televisores, dvd's, entre otros, siendo ideales para estas aplicaciones, ya que además cuentan con la característica de proteger los elementos electrónicos en caso de picos o subidas de voltaje.




**Figura 15.** Vista interna de una fuente conmutada

[Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente\\_conmutada](https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_conmutada)]

### 2.3.1.5 Finales de carrera

Los finales de carrera (Figura 16), también conocidos como interruptores de límite, son dispositivos electrónicos, mecánicos y/o neumáticos, cuya finalidad es detectar la posición de un objeto en un punto en específico por medio de su activación, estos pueden tener una configuración de fábrica como interruptores normalmente abiertos (N.O. permiten el paso de una señal eléctrica cuando se activan) o normalmente cerrados (N.C. cortan el paso de una señal eléctrica cuando se activan), los cuales se seleccionan dependiendo de la aplicación final en que se desean implementar. En el mercado existe una gran variedad de finales de carrera, por lo que es muy importante al momento de seleccionar alguno de ellos, tener en cuenta ciertos aspectos técnicos como lo son el modo de operación y las características eléctricas, mecánicas y ambientales de funcionamiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



**Figura 16. Final de carrera**

[Fuente:


<https://tecnosi.wikispaces.com/3.+Control+electromec%C3%A1nico.+Leva,+final+de+carrera+y+rel%C3%A9.>]

En las características eléctricas se debe tener en cuenta el pico máximo de corriente, la corriente máxima de conmutación, la frecuencia de operación y la resistencia del contacto, en las características mecánicas, se debe tener en cuenta el peso, la resistencia a golpes, dimisiones y frecuencia de operación, y en las características ambientales es fundamental tener en cuenta la temperatura ambiente, la humedad y una de las más importantes es la fiabilidad, que indica cual es la vida útil eléctrica y mecánica del final de carrera, (Mandado P., Acevedo, & Fernández S., 2009).

### 2.3.2 Sistema mecánico

Como criterios de diseño en la fabricación de la ruteadora CNC se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

- **Área de trabajo de la máquina:** Es el área máxima en el plano X, Y donde la máquina podrá operar libremente para realizar correctamente el ruteado de las PCB's. Se definió un área de trabajo de 30X20cm, ya que es el tamaño adecuado para realizar prototipos de PCB.
- **Tipo de sistema de desplazamiento de los ejes de control:** existen 2 tipos de desplazamiento muy comunes en los ejes de control de máquinas CNC. En el primer tipo de desplazamiento, la mesa de trabajo de la CNC se encuentra fija y el cabezal de la máquina es móvil en los planos cartesianos X, Y, Z. En el segundo, la mesa de trabajo es móvil en los


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

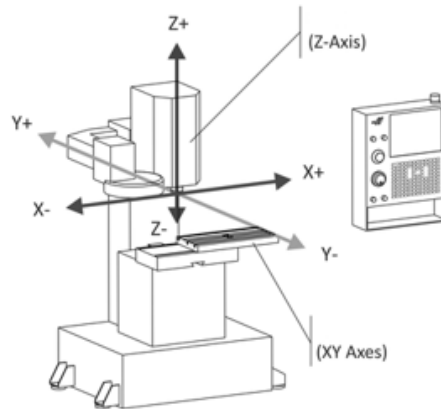
planos cartesianos X, Y, y el cabezal de la CNC es móvil en el plano del eje de control Z. Para el desarrollo de este proyecto se escogió el segundo tipo de sistema de desplazamiento, por ser el más fácil de implementar en el desarrollo físico de la máquina.

- **Bajo costo de fabricación:** se hará uso de materiales reciclables tales como perfilera de aluminio, bases de madera, y otros elementos que puedan ser reutilizados. Identificando aquellos elementos que se encuentren en buen estado y que puedan ser modificados y adaptados a la estructura principal de la máquina, de esta manera se logrará una reducción en costos de los materiales y además será un gran aporte para el medio ambiente el reutilizar dichos elementos que ya no cumplen ninguna función.

Para el diseño mecánico de la estructura o armazón principal de la ruteadora CNC, se propone utilizar perfilera de aluminio comúnmente implementada en aplicaciones de construcción, esto con el fin de aprovechar las características físicas que presenta este material como su alta resistencia a la corrosión, ligereza, alta maquinabilidad, buena resistencia mecánica y gran capacidad de absorber las vibraciones, haciéndolo ideal para soportar los esfuerzos que se generan en el proceso de fabricación de PCB's, añadiendo además, que es un elemento muy económico y fácil adquirir en el mercado. Esta perfilera de aluminio se mecanizará de tal forma que permita un fácil ensamble entre las partes y componentes que conforman la máquina utilizando para dicho fin tornillería y tuercas en general.

A continuación, se presenta la Figura 17, en la cual se pueden observar los 3 ejes de control X, Y, Z que deben estar presentes en el diseño mecánico de la ruteadora CNC para poder llevar a cabo el proceso de fabricación de las PCB's.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



**Figura 17.** Ejes de control principales de una ruteadora CNC

[Fuente: <http://www.helmacnc.com/cnc-program-block/>]


### 2.3.2.1 Corredera telescópica

Para el diseño mecánico de cada uno de los ejes de control de la máquina, se implementará un elemento de desplazamiento lineal, conocido como corredera telescópica (Figura 18). Dicho elemento, está conformado por una estructura metálica que sostiene una lámina de acero móvil por medio de una serie de balines que se hallan distribuidos de forma lineal entre la lámina móvil y la estructura metálica.



**Figura 18.** Corredera telescópica

[Fuente: <https://goo.gl/mcnIVF>]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


Las correderas telescópicas son comúnmente utilizadas en aplicaciones de desplazamiento y soporte para cajones pesados, se caracterizan por permitir realizar movimientos lineales muy suaves con muy buena precisión, esto gracias a la buena distribución geométrica que existe entre sus balines y su lámina móvil. Estas características las hacen ideales para ser implementadas como elementos de desplazamiento lineal para cada uno los ejes de control de la ruteadora CNC, reemplazando de esta manera, los sistemas de desplazamiento lineal comúnmente utilizados, que constan de barras de acero plata y rodamientos lineales que son muy costosos y difíciles de adquirir en el mercado, mientras que las correderas telescópicas, son muy económicas y fáciles de adquirir, y además cumplen con los requisitos mínimos de precisión para poder fabricar PCB's, logrando de esta manera una reducción de costos de fabricación y aun así garantizando una alta precisión en la fabricación de las PCB's.

### **2.3.2.2 Sistema de transmisión de potencia para los ejes de control X, Y, Z**

El sistema de transmisión de potencia para los ejes de control X, Y, Z hace referencia al tipo de mecanismo requerido para poder realizar el desplazamiento de la herramienta de corte en el área de trabajo de la CNC. Cada uno de los ejes de control de la máquina lleva acoplado un motor PaP para generar el movimiento, pero al ser este un movimiento rotatorio, debe convertirse en un movimiento lineal para poder desplazar cada uno de los carros que conforman la mesa de trabajo la ruteadora CNC. Este tipo de conversión de movimiento se puede lograr a través de un mecanismo que implica utilizar elementos como varillas roscadas, husillos o correas dentadas que hacen referencia a un sistema de transmisión de potencia los cuales se mencionaran a continuación.

#### **2.3.2.2.1 Varilla roscada**

Una varilla roscada (Figura 19) es una barra de gran longitud, que va roscada de extremo a extremo, estas son fabricadas con un diámetro y un paso de rosca con el cual se puede determinar el avance por giro, pueden estar fabricadas en diferentes materiales y terminados como el latón, bronce, aluminio, acero inoxidable, plástico entre otros, dependiendo de su utilidad. Sus aplicaciones son diversas comúnmente utilizadas para trabajos de fijación con propósitos generales como pernos de anclaje, y en mecanismos

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

especiales que requieran una correcta alineación. Esta varilla al utilizarse en conjunto con una tuerca, se puede implementar como elemento de desplazamiento lineal para transmitir el movimiento a cada uno de los ejes de control X, Y, Z que conforman una ruteadora CNC. Sus ventajas es que es un sistema de transmisión muy económico, sus precios oscilan entre US\$0.7 a US\$2.7, ideales para aplicaciones donde no se supere un metro de longitud y aplicaciones de bajo esfuerzos mecánicos, este elemento debe acoplarse al eje del motor por medio de un acoplamiento elástico u otro medio similar, transmite el movimiento generado por el motor PaP hacia la tuerca, la cual debe ir acoplada al carro del eje de control correspondiente y así transmitir el movimiento lineal.




**Figura 19.** Varilla Roscada

[Fuente: <https://www.pasaisa.com/blog/varilla-roscada/>]

#### 2.3.2.2.2 Husillo

El husillo es un tipo de tornillo de gran longitud, utilizado comúnmente como elemento de desplazamiento lineal en máquinas de gran tamaño como fresadoras y tornos, así como también en herramientas para compactar y apretar elementos como prensas hidráulicas y manuales. Comúnmente se fabrican en acero templado con tratamiento superficial o endurecido. Las ventajas de utilizar este tipo de elemento es su alta precisión, pero tienen un costo muy elevado comparado con los otros elementos de transmisión de potencia, su precio oscila entre los US\$37.72 a US\$41.57, y su implementación es muy similar al de la varilla roscada. Se debe unir el husillo al eje del motor PaP por medio de un acoplamiento, a su vez, este husillo tendrá una tuerca enroscada que irá fija al eje del carro al que se desea

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

transferir el movimiento, además otra característica que tienen los husillos es que permiten realizar movimientos más rápidos que las varillas roscadas, esto principalmente se debe a que poseen valores de paso mayores.

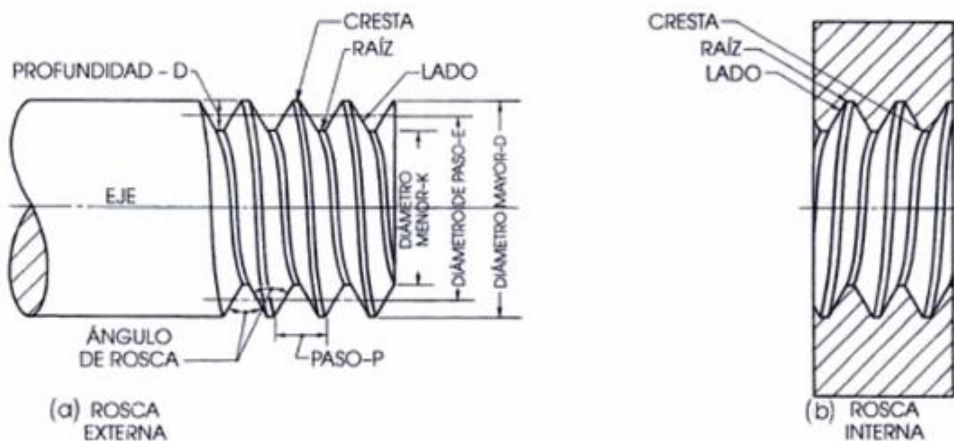
Existe un tipo de husillos utilizados principalmente para aplicaciones de CNC's llamados husillos de bolas recirculantes (Figura 20), los cuales manejan una altísima precisión, soportan altos torques y presentan una considerable reducción de esfuerzos por fricción, su único inconveniente es su alto precio que puede oscilar entre US\$207 - US\$277.



**Figura 20.** Husillos de bolas recirculantes

[Fuente: <http://www.directindustry.com/cat/mechanical-transmission/ball-screws-L-572.html>]

Tanto en un husillo como en una varilla roscada, se pueden distinguir las siguientes características y geometría presentadas en la Figura 21:




**Figura 21.** Geometría de la rosca de un tornillo

[Fuente: libro “Dibujo y comunicación gráfica”, (Giesecke, 2006)]

<b>Número de entradas o hilos (<math>n</math>)</b>	Se refiere al número de filetes helicoidales que hay alrededor del husillo. Se clasifican como: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rosca sencilla: si tienen 1 sola entrada.</li> <li>- Rosca múltiple: si tienen 2 o más entradas, utilizados para obtener avances rápidos con un poco número de vueltas.</li> </ul>
<b>Paso de rosca (<math>p</math>)</b>	Es la distancia que existe entre 2 crestas o hilos consecutivos.
<b>Avance (<math>l</math>)</b>	Es la distancia que recorre una tuerca enroscada en un husillo al realizar un giro de 360°.
<p><b>Nota:</b> Si el husillo tiene una sola entrada, el avance será igual al paso de rosca.</p> <p>Si el husillo tiene 2 ó más entradas, el avance es un múltiplo del paso y se expresa en la siguiente ecuación:</p> $l = p \cdot n$	



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 2.3.2.2.3 Correa dentada

Las correas dentadas (Figura 22) son utilizadas comúnmente como sistemas de transmisión de potencia de buenas prestaciones y costos asequibles, su costo oscila entre los US\$2.08 a US\$4, su gran paso entre dientes hace que el sistema de transmisión sea más rápido en el eje donde se implementa, su velocidad está relacionada con el valor de paso de correa y la cantidad de dientes que tenga la polea. Para utilizar correas dentadas como sistema de transmisión de potencia, se requiere generalmente el uso de 2 poleas, una de ellas acoplada al eje del motor PaP y la otra en el extremo final del recorrido que realizara el eje de control, además se debe utilizar un elemento de fijación para acoplar la correa con el carro que genera el desplazamiento del eje de control al que se desea transferir el movimiento. Estas correas requieren de una tensión de fijación adecuada para evitar perder pasos por deformación de la misma.




**Figura 22.** Sistema de transmisión de potencia por correa dentada

[Fuente: <http://www.directindustry.com/cat/mechanical-transmission/timing-belts-L-1656.html>]

Como criterios de selección para escoger el tipo de sistema de transmisión de potencia de los 3 ejes de control se tuvieron las siguientes consideraciones:


**Resistencia a la deformación:** Es la resistencia que opone un material para evitar ser deformado por una fuerza externa.

**Bajo Costo:** El componente a utilizar debe ser asequible a un bajo costo para poder cumplir con el objetivo de realizar la ruteadora CNC a un bajo costo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**Precisión:** En este aspecto toma mucha importancia la resolución, la cual es la mínima unidad de medida a la que puede moverse la CNC para fabricar las PCB's.

Tomando en cuenta estos criterios, se pueden realizar los siguientes análisis para cada uno de ellos. En el aspecto de resistencia a la deformación, con relación a las bajas fuerzas necesarias para fabricar las PCB's, se seleccionaron las varillas roscadas que en comparación con las correas dentadas tienen mayor resistencia a la deformación, sin embargo si los comparamos con los husillos, estos presentan una mayor resistencia que las varillas, pero sus prestaciones son sobredimensionadas para para el trabajo requerido. En el aspecto de bajo costo, los husillos tienen costos muy elevados, por tal razón serán descartados, las correas dentadas presentan costos similares a las varillas roscadas así que tanto las dos tienen un punto a favor a la hora de definir cuál usar para la fabricación de la CNC. En cuanto al aspecto de precisión, al utilizar correas dentadas en conjunto con motores PaP se deben habilitar las opciones de microstepping que poseen los drivers de control de los motores, esto puede afectar la precisión de giro de los motores debido a posibles pérdidas de pasos; las varillas roscadas no presentan este inconveniente ya que no es necesario habilitar las opciones de microstepping para ser utilizados con motores PaP, por tal razón su precisión es mayor que las correas dentadas. Por tales motivos, se selecciona entonces como elemento de transmisión de potencia para cada uno de los carros de los ejes de control X, Y, Z la varilla roscada, debido a que cumple con los criterios de selección que permitirán lograr la realización de los objetivos planteados en el desarrollo de este proyecto, tomando como referencia el tipo de varilla roscada más común que se encuentra en el mercado de diámetro nominal de 10mm, paso de 1.5mm, y ángulo de rosca de 60°.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 2.3.2.3 Herramienta de corte rotativa

El proceso de fabricación de tarjetas de circuito impreso mediante el uso de una ruteadora CNC, requiere del uso de una herramienta de corte rotativa dispuesta de forma vertical en el cabezal de la máquina, la cual tiene la función de remover el material de cobre sobrante de las PCB's, así como también, realizar las perforaciones requeridas.

En el mercado existe una gran variedad de este tipo de herramientas, siendo una de las más comunes y económicas, utilizadas para aplicaciones de tallado y perforaciones en materiales como madera, plástico y metales, el “motortool” (Figura 23) que se define como una herramienta de corte eléctrica rotativa, diseñada para girar a grandes velocidades. El motortool, cuenta con un pequeño mandril en el cual se pueden colocar diferentes elementos y accesorios, tales como fresas, brocas, discos de corte, etc., diseñados bajo circunstancias especiales y geometrías especiales, para ser utilizados en trabajos específicos.




**Figura 23.** Motortool

[Fuente: <http://www.discovertools.com.co/buscar.php?seg=120>]

### 2.3.2.4 Fresas de corte

Las fresas de corte (Figura 24) comúnmente llamadas en inglés como “Milling cutters”, son herramientas utilizadas para el mecanizado de materiales, con sus dientes afilados y movimientos giratorios están diseñadas principalmente para remover el material sobrante de una pieza, (Garavito, Julio, 2007). Existen de una gran variedad de materiales y

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

geometrías dependiendo del material a mecanizar, y se suelen construir comúnmente en materiales como acero rápido, carburo de tungsteno y titanio, aunque también pueden encontrarse en otra gran variedad de materiales, e incluso algunas llevan en la punta un incruste intercambiable o fijo de materiales de alta dureza para mecanizado, con el fin de abaratar costos, (JUSTIA, s.f.) .




**Figura 24.** Variedad de fresas de corte

[Fuente: <https://www.indiamart.com/sudarshan-sales-pune/drilling-tools.html>]

A continuación, se describirá el tipo de fresa que se requiere para la fabricación de PCB's utilizando una ruteadora CNC.

#### **2.3.2.4.1.1 Fresas en V**

Las fresas con forma de V (Figura 25) son ampliamente usadas para la fabricación de PCB's empleándolas en máquinas CNC tanto para tallar, como para cortar. Estas remueven de manera mecánica el cobre sobrante de la placa, de tal forma que sobre esta vayan quedando grabadas únicamente las pistas que conforman el diseño del circuito impreso. Poseen un leve diámetro punta (0.1mm, 0.2mm, 0.4mm, etc.) y un ángulo determinado (10º, 20º, 30º, 45º, 60º, 90º, etc.) que varía de acuerdo al grosor de aislamiento requerido en las pistas.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27




**Figura 25.** Fresas en V

[Fuente: [http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-716172112-fresa-de-gravaco-flat-10x01mm-metal-duro-cnc-router-pcb-\\_JM](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-716172112-fresa-de-gravaco-flat-10x01mm-metal-duro-cnc-router-pcb-_JM)]

### 2.3.2.5 Brocas de perforación

Una vez esté lista la PCB para ser perforada en aquellos puntos donde se van a insertar los componentes electrónicos (los puntos donde se va a taladrar deben estar identificados por los nodos del circuito), se selecciona el tipo de broca correspondiente para cada perforación. En la fabricación de PCB's, comúnmente se utilizan brocas de material de carburo de tungsteno (Figura 26) ya que estas tienen un alto grado de dureza y buena durabilidad, siendo ideales para este tipo de aplicaciones donde se requieren diámetros de perforación inferiores a 1mm; estas brocas poseen un diámetro de vástago de 1/8 in o 3,175mm para ser acopladas al mandril de una herramienta de corte rotativa. Para seleccionar correctamente la broca se debe tener en cuenta el diámetro de la patilla de cada componente electrónico en el diseño de la PCB, se debe seleccionar siempre un diámetro de broca igual o mayor al de la patilla. Por lo general, para integrados, resistencias, y componentes de baja potencia se utilizan brocas desde 0.8mm hasta 1mm, y para terminales, resistencias ajustables y componentes de mayor potencia se utilizan brocas desde 1,2mm hasta 1,5mm. Como recomendación final, una vez realizadas las perforaciones pertinentes, se deben limpiar todos los orificios para evitar el polvillo o viruta del perforado antes de conectar con soldadura cualquier componente electrónico, (Calabuig & Bellver, 1997).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27




**Figura 26.** Brocas de carburo de tungsteno para perforación de PCB

[Fuente: [https://es.aliexpress.com/store/product/Free-shipping-10pcs-0-3mm-to-1-2mm-PCB-mini-drill-Bit-tungsten-steel-carbide-for/1612008\\_32348837706.html?detailNewVersion=&categoryId=100006468](https://es.aliexpress.com/store/product/Free-shipping-10pcs-0-3mm-to-1-2mm-PCB-mini-drill-Bit-tungsten-steel-carbide-for/1612008_32348837706.html?detailNewVersion=&categoryId=100006468)]

### 2.3.3 Software CAD para el diseño mecánico

Para realizar el diseño mecánico de la CNC, se hará uso de un software CAD que permita modelar un bosquejo inicial de la máquina, y sobre este primer diseño se irán realizando las modificaciones pertinentes a medida que se vayan definiendo los elementos y piezas que sean fáciles de adquirir en el mercado, y de esta manera poder cumplir con el objetivo de reducción de costos al utilizar piezas y elementos estándares. El software a utilizar será “PTC Creo Parametric”, el cual se define según su plataforma virtual de la siguiente manera:


*“PTC Creo Parametric proporciona la gama más amplia de prestaciones CAD 3D potentes pero flexibles para acelerar el proceso de desarrollo de productos. Mediante la automatización de tareas como la creación de planos de ingeniería, puede evitar los errores y ahorrar mucho tiempo. El software también permite realizar análisis, crear representaciones y animaciones, así como optimizar la productividad en una amplia gama de tareas de diseño mecánico. Por ejemplo, puede utilizarlo para verificar la conformidad del diseño con las prácticas recomendadas. PTC Creo Parametric permite diseñar productos de mayor calidad con más rapidez y comunicarse más eficazmente con el área de mecanizado, los proveedores y los clientes”, (PTC Creo Parametric, s.f.).*

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

#### 2.3.4 Software de control

A continuación, se describen cada uno de los software Open source que se utilizan en el proceso de fabricación de las PCB's utilizando la ruteadora CNC desarrollada en este proyecto:

- **Inkscape:** *“Es un editor profesional de gráficos vectoriales para Windows, Mac OS X y Linux. Es libre y de código abierto. Es similar a programas como Adobe Illustrator, Corel Draw, Freehand, Xara X... Lo que lo hace único es que usa como formato nativo el Scalable Vector Graphics (SVG), un estándar abierto de W3C basado en XML”,* (INKSCAPE, 2016). Este software se utilizará para vectorizar y convertir en código G, la imagen exportada en formato .bmp desde el software de diseño de PCB.
- **Universal G-code Sender:** Abreviado por sus siglas UGS, es una aplicación basada en el lenguaje de programación java, la cual incluye las instrucciones de código G necesarias para controlar una CNC mediante una interfaz de hardware basada en el firmware Grbl, (WINDER, s.f.).
- **Camotics:** Es un software de código abierto que sirve para simular una CNC de 3 ejes de control. Es un software de simulación rápido, flexible y amigable con el usuario, pensado para ser utilizado por las comunidades Open source. Funciona en sistemas operativos Linux, OS-X y Windows. Este software brinda la posibilidad de visualizar los resultados de una operación de corte antes de ser ejecutados físicamente en una CNC.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3. METODOLOGÍA

---


Para el desarrollo de la metodología se propone el diagrama de flujo (Figura 27), el cual presenta un orden lógico y estructurado encaminado a cumplir con cada uno de los objetivos planteados en este proyecto.



**Figura 27.** Diagrama de flujo que describe la metodología desarrollada en el proyecto

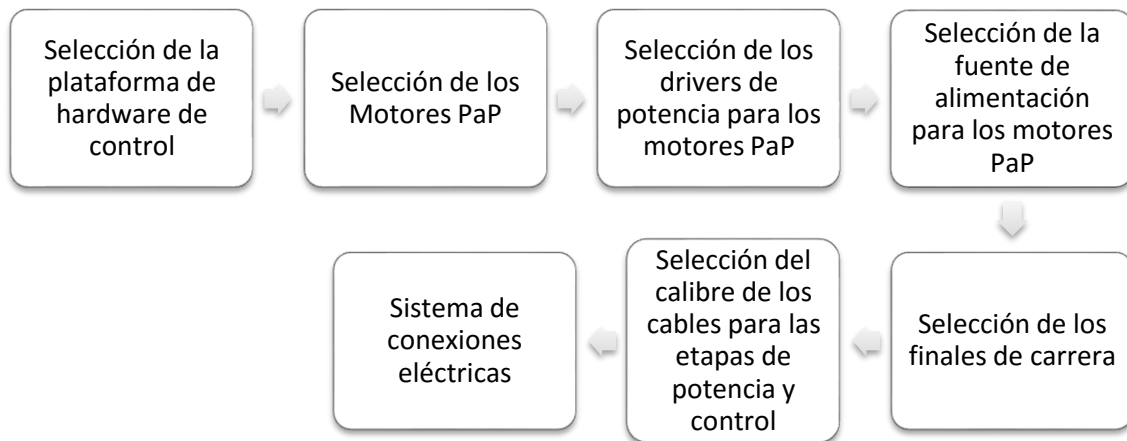
[Fuente: Autores]



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.1 Desarrollo del sistema electrónico de la ruteadora CNC

El desarrollo del sistema electrónico para la ruteadora CNC, se realizó siguiendo el orden planteado en el diagrama de flujo que se observa en la Figura 28.




**Figura 28.** Diagrama de flujo que describe el desarrollo del sistema electrónico de la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]

#### 3.1.1 Selección de la plataforma de hardware de control

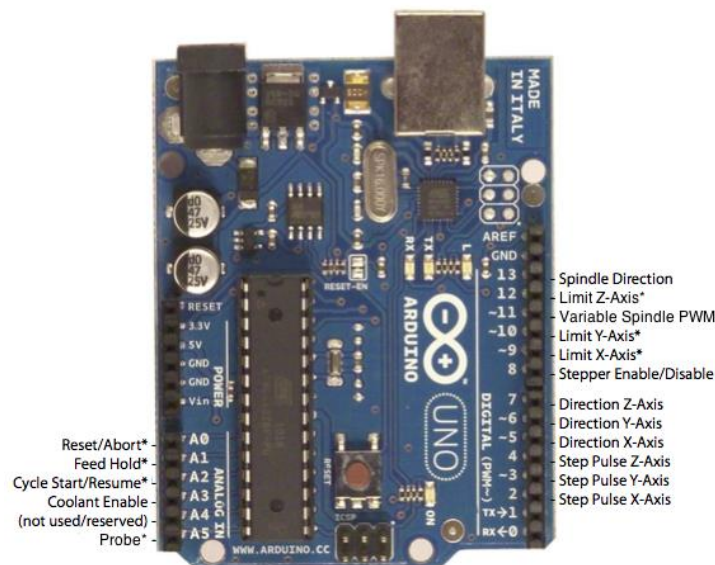
Se seleccionó como hardware de control para implementar en el desarrollo de este proyecto un Arduino UNO, el cual se escogió por las razones que se exponen en los siguientes párrafos.

Arduino se ha tornado poco a poco en una excelente plataforma de desarrollo tanto de hardware como de software, su gran ventaja reside en que permite llevar a cabo diferentes desarrollos tecnológicos a un bajo costo, presenta una gran facilidad a la hora de ser programado ya que es muy intuitivo, y ha fortalecido bastante los grupos y foros digitales conformados por comunidades Open source y de software libre, en los cuales se llevan a cabo el desarrollo de proyectos tecnológicos de innovación a nivel global. Uno de estos proyectos, es el que se ha ido desarrollando desde el año 2012 y que tiene su origen en la plataforma virtual de desarrollo colaborativo “github” en la cual se lleva a cabo el desarrollo

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

de un firmware para ser soportado por la interfaz de hardware de un Arduino UNO con el fin de controlar una CNC de 3 ejes. Dicho firmware, permite establecer una comunicación entre un software de control instalado en un ordenador y la interfaz de hardware del Arduino, con esto se logra establecer un medio de transmisión de órdenes y coordenadas de movimientos enviadas desde el software hacia cada uno drivers que controlan los motores PaP de la CNC, logrando de esta manera controlar el movimiento de los ejes de control de la CNC. Por tal razón se optó por utilizar un Arduino UNO, ya que existe mucha información online sobre cómo implementarlo como hardware de control para un sistema CNC, utilizando para ello el firmware Grbl v0.9 que se encuentra alojado en la plataforma virtual de github.


A continuación, se presenta en la Figura 29, la configuración de los pines de Arduino UNO para trabajar con el firmware Grbl v0.9



\* - Indicates input pins. Held high with internal pull-up resistors.

**Figura 29.** Configuración de pines del Arduino UNO al ser utilizado con el firmware Grbl v0.9

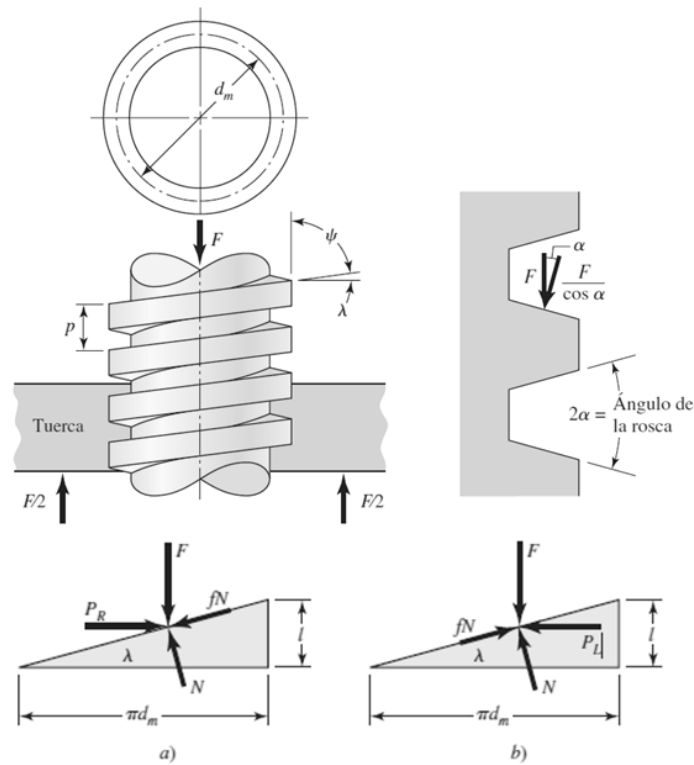
[Fuente: <https://github.com/grbl/grbl/wiki/Connecting-Grbl>]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.1.2 Selección de los Motores PaP

Para poder realizar la selección de los motores PaP, primero se debe calcular el valor de par de torsión necesario para desplazar cada uno de ejes de control de la ruteadora CNC. Para ello se parte de identificar cuál es el eje de control en el que se concentran la mayor cantidad de esfuerzos y que por tal razón, requerirá un valor de par de torsión mayor con respecto a los otros ejes al realizar un desplazamiento. Se identifica entonces que es en el eje de control Z, donde se hallan presentes la mayor concentración de esfuerzos, esto debido a que dicho eje debe soportar el cabezal donde va ubicada la herramienta de corte lo cual genera un gran esfuerzo por estar sometido al peso que se produce por la acción de la gravedad. Habiendo identificado este eje, se hace la observación de que el par de torsión requerido para hacer descender el carro del eje, es inferior al par requerido para su elevación, por tal razón solamente se calculara el par de torsión necesario para subir el carro del eje de control Z y con este valor se podrán seleccionar los motores PaP que serán implementados en el desarrollo de la ruteadora CNC.

Se toman entonces como referencia el diagrama de esfuerzos (Figura 30) y las ecuaciones planteadas en el libro *“Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”* (Budynas & Nisbett, 2008), para hallar el par de torsión necesario en los motores para mover los carros de los ejes de control de la ruteadora CNC, utilizando una varilla roscada de acero y una tuerca de bronce.




**Figura 30.** Diagramas de esfuerzos en un husillo. a) Al subir la carga; b) Al bajar la carga.

[Fuente: Libro “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, (Budynas & Nisbett, 2008)]

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + f \pi d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right)$$

<b>Paso</b>	$p$
<b>Diámetro mayor</b>	$d$
<b>Diámetro raíz o menor</b>	$d_r$
<b>Diámetro medio</b>	$d_m$
<b>Ángulo de avance</b>	$\lambda$
<b>Angulo de hélice</b>	$\psi$
<b>Fuerza axial de compresión</b>	$F$
<b>Coefficiente de fricción</b>	$f$
<b>Avance</b>	$l$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

El coeficiente de fricción ( $f$ ) entre el bronce y el acero es de 0.18 tal como se indica en el libro “Manual de Física Elemental”, (Koshkin & Shirkévich, 1975).

$$f = 0.18$$

Como la varilla roscada a utilizar tiene un diámetro mayor ( $d$ ) de 10mm, un paso ( $p$ ) de 1.5mm con rosca simple y un ángulo de rosca de  $60^\circ$  entonces se tiene que:

$$d_m = d - \frac{p}{2} = 10\text{mm} - \frac{1.5\text{mm}}{2}$$

$$d_m = 9.25 \text{ mm}$$

$$l = p \cdot n = 1.5\text{mm} \times 1$$

$$l = 1.5\text{mm}$$

$$\alpha = \frac{\text{Angulo de rosca}}{2} = \frac{60^\circ}{2}$$

$$\alpha = 30^\circ$$


El peso del carro del eje de control Z en conjunto con la herramienta de corte ejerce una fuerza de 4 Newtons sobre la varilla roscada.

$$F = 4 \text{ N}$$

Ahora reemplazando todos los datos anteriores en la ecuación para calcular el par de torsión requerido por los motores PaP:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + f \pi d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right)$$

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \frac{f \pi d_m}{\cos \alpha}}{\pi d_m - \frac{f l}{\cos \alpha}} \right)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

$$T_R = \frac{4N \times 9.25mm}{2} \left( \frac{1.5mm + \frac{\pi(0.18)(9.25mm)}{\cos 30^\circ}}{\pi(9.25mm) - \frac{(0.18)(1.5mm)}{\cos 30^\circ}} \right)$$

$$T_R = 4.85N \cdot mm$$

Este valor de torque se multiplica por un factor de seguridad de 3, dando como resultado 14.55N.mm, ahora se debe realizar la conversión de mm a cm, ya que los fabricantes de motores PaP especifican el torque de operación en unidades de N.cm. Se calcula entonces que el torque mínimo necesario que deben tener cada uno de los motores PaP es de 1.455N.cm.

Según el requerimiento de torque mínimo, se selecciona entonces el motor PaP, modelo: 42BYGH47-401A (Figura 31) Nema 17, que posee un torque de mantenimiento de 5.5N.cm, y además tiene un ángulo de giro de 1.8 grados por paso, lo cual se traduce en una resolución de desplazamiento lineal de 0,0075mm al utilizarse en conjunto con la varilla roscada seleccionada de referencia M10X1.5, logrando así una gran exactitud en la fabricación de las PCB's. A continuación, se presentan los cálculos realizados para hallar dicho valor de resolución de desplazamiento lineal:


$$\text{Paso de la varilla roscada} = 1.5mm$$

$$\text{Pasos por vuelta} = 200$$

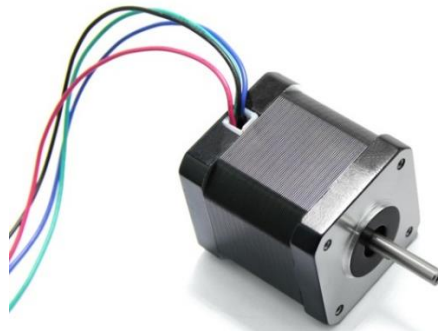
$$\text{Resolucion} = \frac{\text{Paso de la varilla roscada}}{\text{Pasos por vuelta}}$$

$$\text{Resolución} = \frac{1.5mm}{200 \text{ pasos}}$$

$$\text{Resolución} = 0,0075mm/paso$$

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

De igual manera este tipo de motor es comúnmente utilizado en la fabricación de impresoras 3D y en la implementación de sistemas CNC, por lo cual es ideal para ser implementado en el desarrollo de este proyecto, y además fue seleccionado sobredimensionado con el fin de poder utilizar la ruteadora CNC tanto para la fabricación de PCB's, como también para mecanizar materiales como plástico y madera.




**Figura 31.** Motor PaP seleccionado. Modelo: 42BYGH47-401A

[Fuente: [http://www.seeedstudio.com/depot/Step-Motor-42BYGH47401A-p-2022.html?cPath=39\\_40](http://www.seeedstudio.com/depot/Step-Motor-42BYGH47401A-p-2022.html?cPath=39_40)]

<b>Modelo</b>	42BYGH47-401A
<b>Fases</b>	2
<b>Longitud</b>	4.7cm
<b>Angulo de paso</b>	1.8°
<b>Voltaje nominal</b>	24V
<b>Corriente nominal por Fase</b>	1.5A
<b>Resistencia de fase</b>	1.6 ohm
<b>Inductancia de fase</b>	2.8mH
<b>Par de mantenimiento</b>	5.5N.cm
<b>Cables de conexión</b>	4
<b>Inercia del motor</b>	68
<b>Peso</b>	350 gramos

**Tabla 3.** Ficha técnica del motor PaP seleccionado

[Fuente: [http://www.seeedstudio.com/depot/Step-Motor-42BYGH47401A-p-2022.html?cPath=39\\_40](http://www.seeedstudio.com/depot/Step-Motor-42BYGH47401A-p-2022.html?cPath=39_40)]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.1.3 Selección de los drivers de potencia para los motores PaP

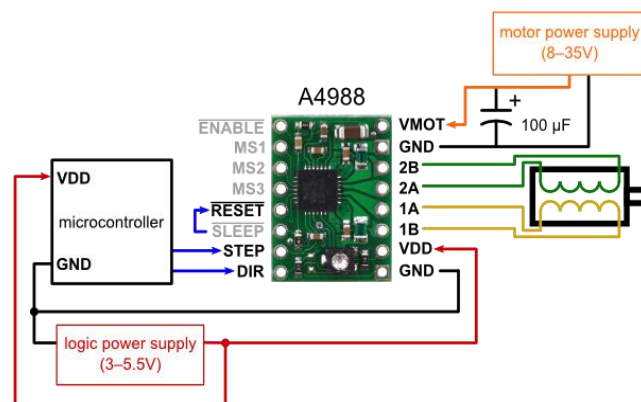
Los drivers de potencia se seleccionaron de acuerdo a los requerimientos de voltaje y corriente de operación de los motores PaP implementados en el desarrollo del proyecto, especificados a continuación:

*Voltaje de operación = 12V DC*

*Corriente de operación = 1.5A*

Teniendo en cuenta estos requisitos, se seleccionaron como drivers de potencia para el control de cada uno de los motores PaP, los driver con referencia A4988. Este driver requiere un voltaje de alimentación de 3 a 5,5 voltios entre los pines VDD y GND, a su vez, debe ser alimentado con un voltaje de 8 a 35 voltios entre los pines VMOT y GND, que para este caso serán 12V; pueden soportar un valor de corriente de hasta 2 amperios siempre y cuando se utilicen con un disipador de calor. Según recomendaciones del fabricante, entre los pines VMOT y GND se debe conectar un condensador de 100uf para poder suministrar corrientes hasta de 4 A para la alimentación del motor.


A continuación, se presenta en la Figura 32 un diagrama de conexión de un driver A4988 con un motor PaP:



**Figura 32.** Diagrama de conexión del Driver A4988

[Fuente: <https://www.pololu.com/product/11821>]



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.1.4 Selección de la fuente de alimentación para los motores PaP

Para la selección de la fuente de alimentación, se tomaron en cuenta los siguientes requerimientos de voltaje y corriente de los motores PaP.

*Voltaje de operación = 12V DC*

*Corriente de operación = 1.5A*

Como cada uno de los motores PaP consume una corriente de 1.5A, esta se multiplica por 3 para tomar en cuenta la corriente que consumen los 3 motores en funcionamiento, dando como resultado una corriente de 4.5A.

Este valor de corriente se multiplica por 1.9 como factor de seguridad, dando como resultado 8,55A redondeándolo a 9A, entonces la fuente a seleccionar debe tener la capacidad de suministrar un voltaje de salida de 12V DC y entregar una corriente mínima de 9A.

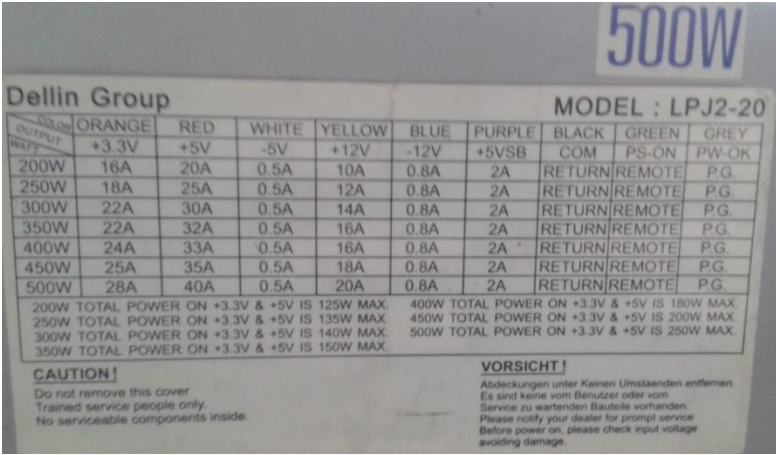
Siguiendo los criterios anteriores, se selecciona la fuente conmutada ATX Modelo: LPJ2-20 de 500W de potencia (Figura 33), que entrega un voltaje de salida de +12V y una corriente máxima de 20A. Este tipo de fuente es utilizada comúnmente para alimentar las CPU y tienen un precio muy económico, trabajan con una tensión de alimentación alterna de 110V y 60 hertzios y también entrega tensiones de salida continua de +5V, -5V,+12V,-12V y 3,3V, además cuenta con un ventilador que sirve para refrigerar los elementos internos de su circuito electrónico y así se evitan temperaturas elevadas, haciéndola ideal para la implementación de este proyecto cumpliendo con los requerimientos de voltaje y potencia.



**Figura 33.** Fuente conmutada Seleccionada; Modelo: ATX 500W LPJ2-20

<https://www.wei.cl/?op=producto&pcode=FUMICRO750>


Adicionalmente, se presenta la Figura 34 que indica el código de colores de la fuente seleccionada, en la cual se presentan las tensiones de salida y corriente máxima para cada cable de acuerdo a su color:



Dellin Group		MODEL : LPJ2-20								
OUTPUT	ORANGE	RED	WHITE	YELLOW	BLUE	PURPLE	BLACK	GREEN	GREY	
	+3.3V	+5V	-5V	+12V	-12V	+5VSB	COM	PS-ON	PW-OK	
200W	16A	20A	0.5A	10A	0.8A	2A	RETURN	REMOTE	P.G.	
250W	18A	25A	0.5A	12A	0.8A	2A	RETURN	REMOTE	P.G.	
300W	22A	30A	0.5A	14A	0.8A	2A	RETURN	REMOTE	P.G.	
350W	22A	32A	0.5A	16A	0.8A	2A	RETURN	REMOTE	P.G.	
400W	24A	33A	0.5A	16A	0.8A	2A	RETURN	REMOTE	P.G.	
450W	25A	35A	0.5A	18A	0.8A	2A	RETURN	REMOTE	P.G.	
500W	28A	40A	0.5A	20A	0.8A	2A	RETURN	REMOTE	P.G.	
200W TOTAL POWER ON +3.3V & +5V IS 125W MAX.					400W TOTAL POWER ON +3.3V & +5V IS 180W MAX.					
250W TOTAL POWER ON +3.3V & +5V IS 135W MAX.					450W TOTAL POWER ON +3.3V & +5V IS 200W MAX.					
300W TOTAL POWER ON +3.3V & +5V IS 140W MAX.					500W TOTAL POWER ON +3.3V & +5V IS 250W MAX.					
350W TOTAL POWER ON +3.3V & +5V IS 150W MAX.										
<b>CAUTION!</b> Do not remove this cover. Trained service people only. No serviceable components inside.					<b>VORSICHT!</b> Abdeckungen unter Keinen Umständen entfernen. Es sind keine vom Benutzer oder vom Service zu wartenden Bauteile vorhanden. Please notify your dealer for prompt service. Before power on, please check input voltage avoiding damage.					

**Figura 34.** Código de colores de la fuente de alimentación seleccionada

[Fuente: Autores]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.1.5 Selección de los finales de carrera

En la selección de los finales de carrera, se optó por utilizar finales de carrera mecánicos, ya que estos no requieren de alimentación para su funcionamiento, y además soportan valores de corriente muy altos.

Para la implementación de los finales de carrera en la ruteadora CNC, se definen 2 tipos de aplicaciones que se describen a continuación:


- **Final de carrera de control:** Se conectarán en modo de configuración N.O. a cada uno de los pines del Arduino UNO que detectan los límites de los ejes de control. Estos finales de carrera serán detectados a través del software de control de la CNC para indicar con su activación que la CNC ha llegado a un extremo o tope límite de desplazamiento, con lo cual se podrá establecer las coordenadas de origen de la máquina.
- **Final de carrera de choque:** Actúan como última protección en caso de que los finales de carrera de control estén deshabilitados o defectuosos. Estos se conectarán con la configuración N.C. en serie con la fuente de alimentación para aislarla en caso de que sean activados.

Para cada uno de los ejes de control de la CNC se utilizarán en 4 finales de carreras repartidos así:

- 2 finales de carrera de control conectados en paralelo y ubicados en ambos extremos del eje de control
- 2 finales de carrera de choque conectados en serie y ubicados en ambos extremos del eje de control

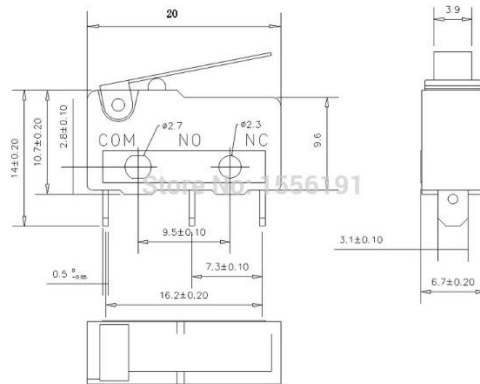
Con los siguientes datos de operación de los motores PaP se podrán seleccionar los finales de carrera a implementar:

*Voltaje de operacion = 12V DC*

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

*Corriente de operación total en los 3 motores pap = 4.5A*

Para cumplir con estos criterios de voltaje y corriente, se seleccionan los finales de carrera indicados en la Figura 35, con capacidades de operación de 5A a 250V AC, estos finales de carrera cuentan con 3 pines para utilizarlos en 2 tipos de configuración, tanto como interruptor normalmente abierto o como interruptor normalmente cerrado con respecto a un pin central de conmutación.




**Figura 35.** Características del final de carrera seleccionado

[Fuente: <https://goo.gl/QumLmO>]

<b>Voltaje y Corriente Max.</b>	5A 250V AC
<b>Resistencia de contacto</b>	≤50mΩ
<b>Resistencia de aislamiento</b>	≥100MΩ
<b>Intensidad dieléctrica</b>	1000V AC/1 min
<b>Vida</b>	≥ 1000,000 Ciclos

**Tabla 4.** Ficha técnica de los finales de carrera seleccionados

[Fuente: <https://goo.gl/QumLmO>]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.1.6 Selección del calibre de los cables para las etapas de potencia y control

La selección del calibre del cable, se realiza mediante el uso de una tabla internacional que maneja el estándar de calibre de cable americano (Figura 36) conocido por sus siglas en inglés AWG (**A**merican **W**ire **G**auge). Esta nos indica algunos datos importantes como el diámetro y área del cable, así como también la capacidad máxima de flujo de corriente para cada valor de calibre AWG. Entre mayor sea el valor de calibre, menor será el diámetro del alambre, (Gallardo V., 2015).


Para la selección del calibre de cable se tomará en cuenta cual es el valor de máximo de corriente que deben soportar los cables en la etapa de potencia, para ello se tomara en cuenta la corriente que consumen los 3 motores PaP.

$$\text{Corriente de operación total en los 3 motores pap} = 4.5A$$

Según este valor, se selecciona para la etapa de potencia un calibre de cable AWG 14 que soporta hasta 5.9 A.

Para la etapa de control, el consumo de corriente es muy bajo, con un valor inferior a 1 A, por tal razón se seleccionó para la etapa de control un calibre de cable AWG 20 que soporta hasta 1.5 A.

Los valores de calibre seleccionados se tomaron de la tabla presentada a continuación:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

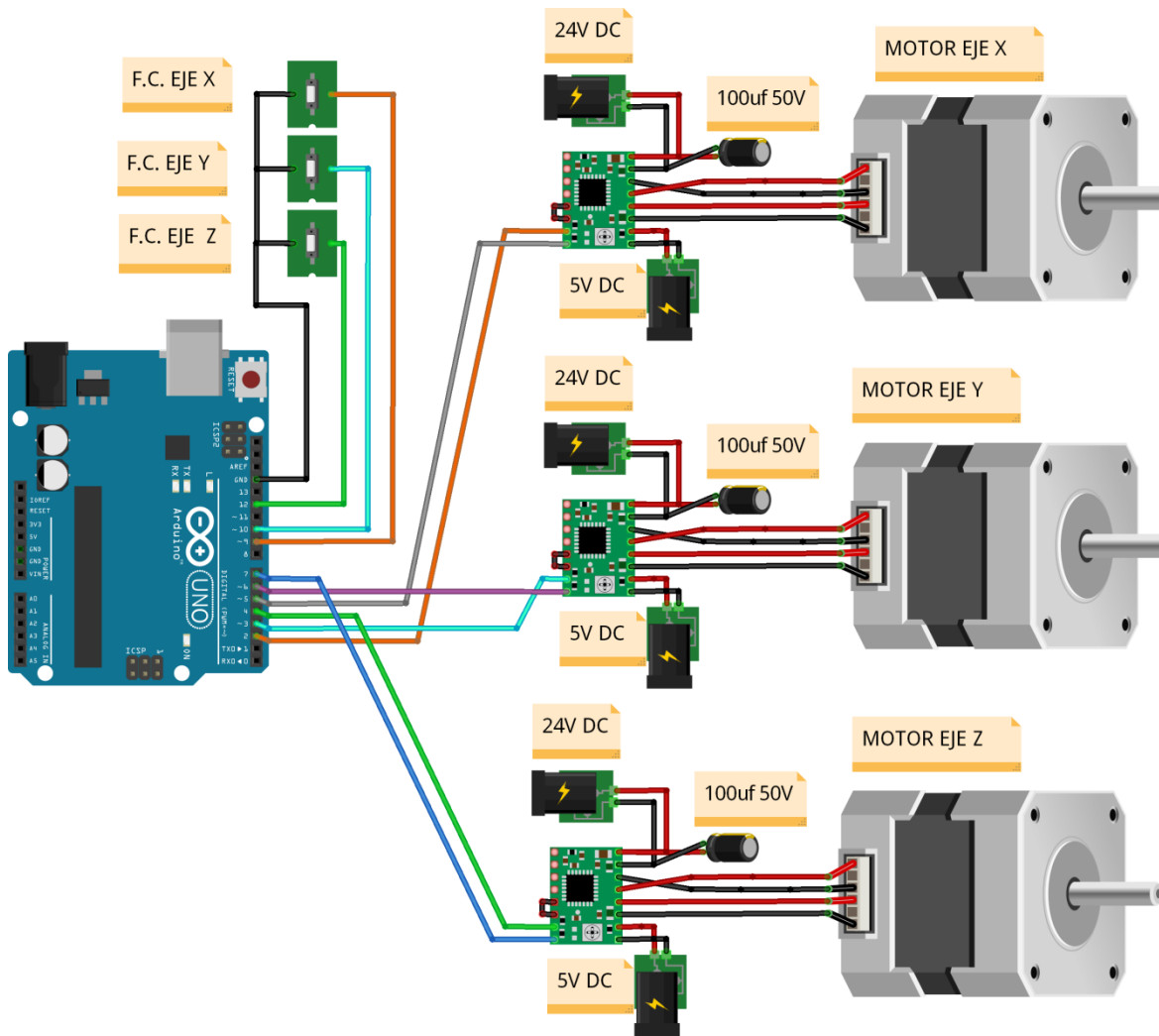
AWG	Diameter [inches]	Diameter [mm]	Area [mm <sup>2</sup> ]	Resistance [Ohms / 1000 ft]	Resistance [Ohms / km]	Max Current [Amperes]	Max Frequency for 100% skin depth
0000 (4/0)	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	302	125 Hz
000 (3/0)	0.4096	10.40384	85	0.0618	0.202704	239	160 Hz
00 (2/0)	0.3648	9.26592	67.4	0.0779	0.255512	190	200 Hz
0 (1/0)	0.3249	8.25246	53.5	0.0983	0.322424	150	250 Hz
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	119	325 Hz
2	0.2576	6.54304	33.6	0.1563	0.512664	94	410 Hz
3	0.2294	5.82676	26.7	0.197	0.64616	75	500 Hz
4	0.2043	5.18922	21.2	0.2485	0.81508	60	650 Hz
5	0.1819	4.62026	16.8	0.3133	1.027624	47	810 Hz
6	0.162	4.1148	13.3	0.3951	1.295928	37	1100 Hz
7	0.1443	3.66522	10.5	0.4982	1.634096	30	1300 Hz
8	0.1285	3.2639	8.37	0.6282	2.060496	24	1650 Hz
9	0.1144	2.90576	6.63	0.7921	2.598088	19	2050 Hz
10	0.1019	2.58826	5.26	0.9989	3.276392	15	2600 Hz
11	0.0907	2.30378	4.17	1.26	4.1328	12	3200 Hz
12	0.0808	2.05232	3.31	1.588	5.20864	9.3	4150 Hz
13	0.072	1.8288	2.62	2.003	6.56984	7.4	5300 Hz
14	0.0641	1.62814	2.08	2.525	8.282	5.9	6700 Hz
15	0.0571	1.45034	1.65	3.184	10.44352	4.7	8250 Hz
16	0.0508	1.29032	1.31	4.016	13.17248	3.7	11 k Hz
17	0.0453	1.15062	1.04	5.064	16.60992	2.9	13 k Hz
18	0.0403	1.02362	0.823	6.385	20.9428	2.3	17 kHz
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	1.8	21 kHz
20	0.032	0.8128	0.518	10.15	33.292	1.5	27 kHz
21	0.0285	0.7239	0.41	12.8	41.984	1.2	33 kHz
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	0.92	42 kHz
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	0.729	53 kHz
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.577	68 kHz
25	0.0179	0.45466	0.162	32.37	106.1736	0.457	85 kHz
26	0.0159	0.40386	0.129	40.81	133.8568	0.361	107 kHz
27	0.0142	0.36068	0.102	51.47	168.8216	0.288	130 kHz

**Figura 36.** Tabla de valores normalizados para cables según el estándar AWG

[Fuente: <https://www.solaris-shop.com/content/American%20Wire%20Gauge%20Conductor%20Size%20Table.pdf>]

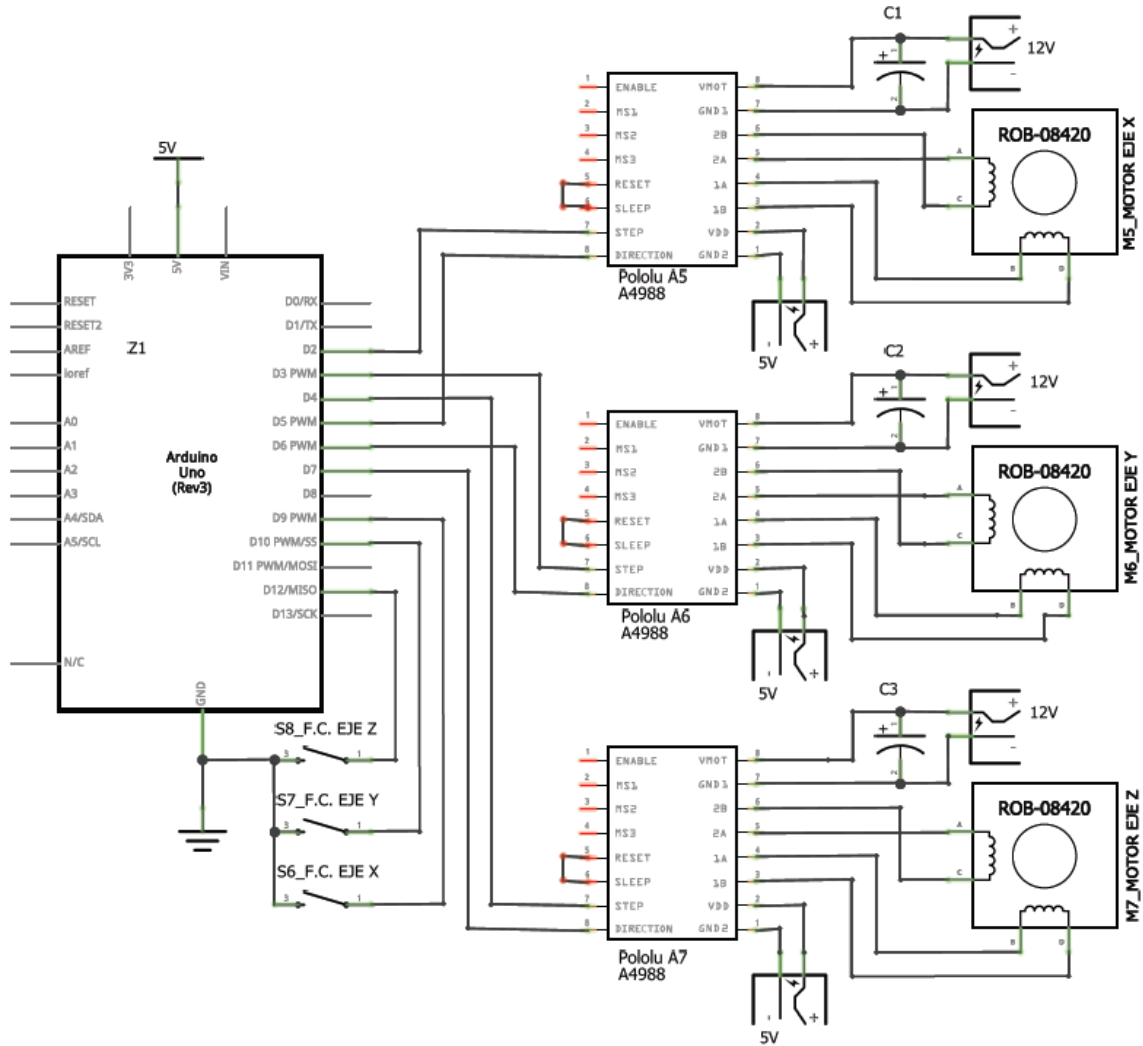
### 3.1.7 Sistema de conexiones eléctricas

A continuación, se presentan el esquema gráfico (Figura 37) y el diagrama esquemático de conexiones eléctricas (Figura 38), diseñado para poder controlar cada uno de los motores PaP a través de la interfaz de hardware de Arduino UNO:



**Figura 37.** Esquema gráfico de conexiones eléctricas


[Fuente: Autores]



**Figura 38.** Diagrama esquemático de conexiones eléctricas

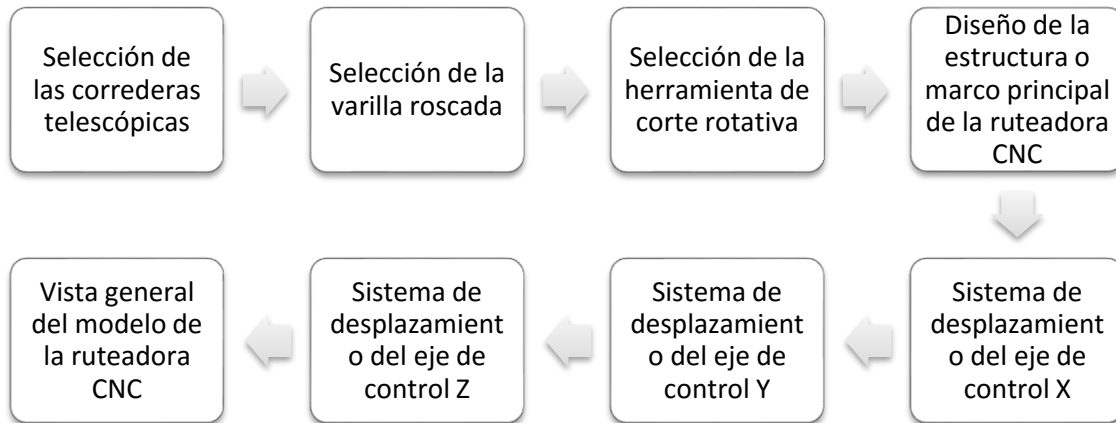
[Fuente: Autores]



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.2 Desarrollo del sistema mecánico de la ruteadora CNC

El desarrollo del sistema mecánico para la ruteadora CNC, se realizó siguiendo el orden planteado en el diagrama de flujo presentado en la Figura 39.



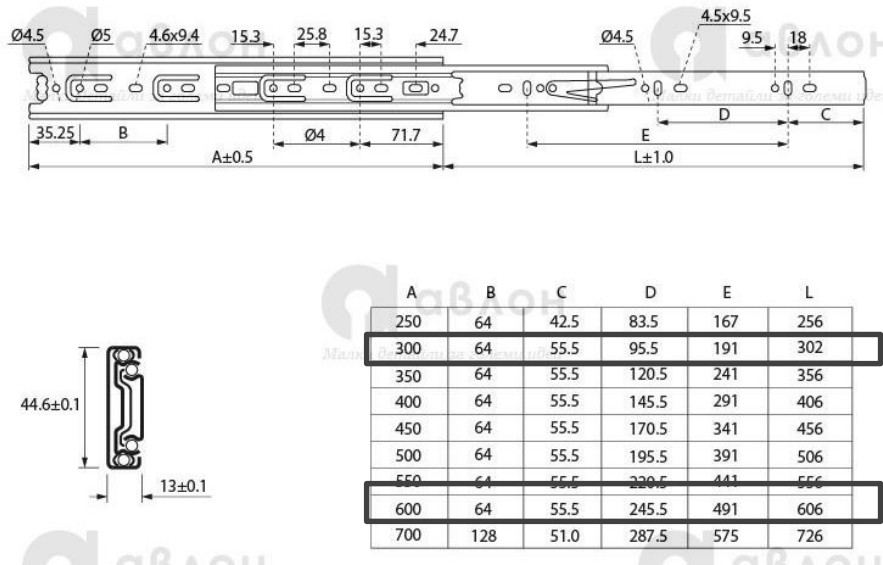
**Figura 39.** Diagrama de flujo que describe el desarrollo del sistema mecánico de la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]

#### 3.2.1 Selección de las correderas telescópicas

Las correderas telescópicas seleccionadas (Figura 40) para ser implementadas como sistemas de desplazamiento lineal para cada uno de los ejes de control de la ruteadora CNC son las siguientes:

- **Para los ejes de control X, Y:** 4 Correderas telescópicas de 600mm de longitud.
- **Para el eje de control Z:** 2 Correderas telescópicas de 300mm de longitud.




**Figura 40.** Correderas telescópicas seleccionadas

[Fuente: <http://www.avlonbg.com/en/drawer-slides/298-db-450-telescopic-ball-bearing-drawer-slides.html>]

<b>Material</b>	Acero galvanizado
<b>Carga máxima (por par)</b>	45 kg
<b>Altura</b>	44.6mm
<b>Ancho</b>	13mm

**Tabla 5.** Ficha técnica de las correderas telescópicas seleccionadas

[Fuente: <http://www.avlonbg.com/en/drawer-slides/298-db-450-telescopic-ball-bearing-drawer-slides.html>]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.2.2 Selección de la varilla roscada

La varilla roscada seleccionada es la referencia M10X1.5, que tal como se calculó en el ítem 3.1.2 Selección de los Motores PaP, brinda una resolución de desplazamiento lineal para cada uno de los ejes de control X, Y, Z de hasta 0.0075mm.


<b>Referencia</b>	Varilla roscada M10 Din 976
<b>Paso</b>	1.5mm
<b>Longitud</b>	1000mm
<b>Paso</b>	1.5mm
<b>Angulo de rosca</b>	60°
<b>Material</b>	Acero cincado
<b>Tratamiento</b>	Brillante Superficial Galvanizado

**Tabla 6.** Ficha técnica de la varilla roscada seleccionada  
[Fuente: <http://www.wurth.es/varilla-roscada-m10-cincado-l-1m-1>]

### 3.2.3 Selección de la herramienta de corte rotativa

Para realizar la selección de la herramienta de corte rotativa, se deben calcular los valores de velocidad de giro y de potencia de corte requeridos para la fabricación de PCB's, una vez se hallan estos valores, se puede proceder a escoger la herramienta de corte de acuerdo a los datos obtenidos.

Para comenzar, se procederá a calcular el valor de velocidad de giro requerido, partiendo de la ecuación de velocidad de corte, tomada del libro "*Ejercicios y problemas de mecanizado*" (Rubio & Sebastián, 2011), de la cual se podrá despejar dicha velocidad de giro, además se realiza la demostración de cómo surge dicha ecuación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

$\omega$ : Velocidad angular  $\left[ \frac{rad}{min} \right]$

$n$ : Velocidad de giro  $\left[ \frac{rev}{min} \right]$ ; [rpm]

$V$ : Velocidad lineal  $\left[ \frac{mm}{min} \right]$

$r$ : radio[mm]

$$1[rev] = 2\pi[rad]$$


$$\omega \left[ \frac{rad}{min} \right] = n \left[ \frac{rev}{min} \right] \times 2\pi \left[ \frac{rad}{rev} \right]$$

$$V \left[ \frac{mm}{min} \right] = \omega \left[ \frac{rad}{min} \right] \times r[mm]$$

$$V_c \left[ \frac{mm}{min} \right] = n \left[ \frac{rev}{min} \right] \times 2\pi \left[ \frac{rad}{rev} \right] \times r[mm]$$

$$V_c \left[ \frac{m}{min} \right] = n \left[ \frac{rev}{min} \right] \times 2\pi \left[ \frac{rad}{rev} \right] \times \frac{D}{2}[mm] \times \frac{1}{1000} \left[ \frac{m}{mm} \right]$$

$$V_c \left[ \frac{m}{min} \right] = \frac{n \left[ \frac{rev}{min} \right] \times \pi \left[ \frac{rad}{rev} \right] \times D[mm]}{1000 \left[ \frac{mm}{m} \right]}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


<b>Velocidad de corte (<math>V_c</math>)</b> $\left[ \frac{m}{min} \right]$	<p>También conocida como velocidad lineal, es la velocidad a la que se desplaza un filo de la fresa u otro tipo de herramienta de corte al mecanizar un material</p> <p>La velocidad de corte es un dato que generalmente brindan algunos fabricantes de máquinas y herramientas para mecanizado, conocer este dato es muy importante ya que ofrece un guía para aumentar el tiempo de vida útil de una herramienta. Un valor de velocidad de corte elevado puede reducir el tiempo de mecanizado, pero a la vez puede producir un desgaste mayor en la herramienta de corte, por tal razón es importante conocer este valor</p>
<b>Diámetro de fresa (<math>D</math>)</b> $[mm]$	<p>Corresponde al diámetro de la fresa o de la herramienta de corte a utilizar</p>
<b>Velocidad de giro (<math>n</math>)</b> $[rpm]$	<p>Es el número de revoluciones por minuto que realiza el cabezal de la herramienta de corte, y está asociado a la velocidad de giro del motor</p>

De la formula anterior se debe despejar la velocidad de giro, ya que este valor servirá como primer criterio de selección de la herramienta de corte giratoria

$$n = \frac{V_c \times 1000}{D \times \pi}$$

Los datos de los parámetros a reemplazar en la ecuación de velocidad de giro son los siguientes:

- Diámetro de fresa ( $D$ ): 0.2mm. Corresponde al diámetro de punta de la fresa en V a utilizar
- Velocidad de corte ( $V_c$ ): 16m/min. Este es el valor recomendado para procesos de desbaste en materiales de cobre, tomado de la tabla de velocidades de corte para trabajar diversos materiales del libro “*Máquinas cálculos de taller*”, (Casillas, 1963).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Reemplazando los valores en la ecuación de velocidad de giro se tiene que:

$$n = \frac{\frac{16m}{min} \times \frac{1000mm}{m}}{0.2mm \times \frac{\pi rad}{rev}}$$


$$n = 25464,79 \text{ rpm}$$

Según esto, la velocidad de giro requerida para realizar los cortes en la PCB será de 25500rpm.

Como segundo criterio de selección para la herramienta de corte rotativa, se debe calcular el valor de potencia de corte requerido para realizar los cortes en la PCB. Para ello se hace uso de las ecuaciones presentadas en el libro “Máquinas cálculos de taller”, (Casillas, 1963).

$$P_c [KW] = \frac{a [mm] \times l [mm] \times V_f \left[ \frac{mm}{min} \right]}{1000 \left[ \frac{mm^3}{cm^3} \right] \times C \left[ \frac{cm^3}{KW.min} \right]}$$

<b>Potencia de corte (<math>P_c</math>)</b> [KW]	También conocida como potencia de mecanizado, es la potencia requerida para poder realizar un corte sobre algún tipo de material
<b>Volumen de viruta (<math>C</math>)</b> $\left[ \frac{cm^3}{KW.min} \right]$	Es el volumen de viruta que remueve una fresa al realizar un corte sobre algún material en una fracción de kilowatt por minuto
<b>Ancho de la fresa (<math>l</math>)</b> [mm]	Corresponde a la distancia real de trabajo de la fresa
<b>Profundidad del corte (<math>a</math>)</b> [mm]	Corresponde a la distancia que penetrara la fresa al realizar el corte sobre un material
<b>Velocidad de avance (<math>V_f</math>)</b> $\left[ \frac{mm}{min} \right]$	También conocida como avance lineal de la mesa, corresponde a la velocidad de desplazamiento de la herramienta de corte con respecto a la pieza o material a cortar

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


Los datos de los parámetros a reemplazar en la ecuación de potencia de corte son los siguientes:

- Volumen de viruta ( $C$ ):  $40\text{cm}^3$ . Este es el valor recomendado de volumen de viruta que puede cortar la fresa por kilowatt minuto, tomado de la tabla de cálculos para trabajos de fresado del libro “*Máquinas cálculos de taller*”, (Casillas, 1963).
- Ancho de la fresa ( $l$ ): 0.2mm. Ya que para este caso la distancia real de trabajo de la fresa corresponde al diámetro de la misma.
- Profundidad del corte ( $a$ ): 1.6mm. Valor que corresponde al espesor de la placa virgen sobre la cual se tallara el diseño de la PCB.
- Velocidad de avance ( $V_f$ ): este valor se calcula siguiendo las ecuaciones que se presentan a continuación.

Para hallar el valor de velocidad de avance se utilizará la siguiente ecuación:

$$V_f \left[ \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] = n \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] \times Z \left[ \frac{\text{filo}}{\text{rev}} \right] \times f_z \left[ \frac{\text{mm}}{\text{filo}} \right]$$

<b>Avance por filo de fresa (<math>f_z</math>)</b> $\left[ \frac{\text{mm}}{\text{filo}} \right]$	También conocido como avance por diente de fresa, es el resultado de la división entre el avance por giro y el número de dientes o filos de la fresa a utilizar. Generalmente es un dato que brindan algunos fabricantes de herramientas y su valor depende del material a mecanizar y de la geometría de la fresa a utilizar
<b>Numero de filos de fresa (<math>Z</math>)</b> $\left[ \frac{\text{filo}}{\text{rev}} \right]$	Corresponde al número de filos o dientes que tiene la fresa a utilizar

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Los datos de los parámetros a reemplazar en la ecuación de velocidad de avance son los siguientes:

- Velocidad de giro ( $n$ ): 25500rpm.
- Avance por filo de fresa ( $f_z$ ): 0.15mm/filo. Valor recomendado en (Casillas, 1963), tomado de la tabla de avances para trabajar diferentes materiales en las máquinas.
- Numero de filos de fresa ( $Z$ ): 2filo/rev. Ya que la fresa en V a utilizar tiene esta cantidad de filos.

Ahora se reemplazan estos valores en la ecuación de velocidad de avance:

$$V_f = \frac{25500rev}{min} \times \frac{2filo}{rev} \times \frac{0.15mm}{filo}$$

$$V_f = 7650mm/min$$

Por último, se procede a reemplazar los valores de los parámetros de la ecuación de potencia de corte:

$$P_c [KW] = \frac{a[mm] \times l[mm] \times V_f \left[ \frac{mm}{min} \right]}{1000 \left[ \frac{mm^3}{cm^3} \right] \times C \left[ \frac{cm^3}{KW.min} \right]}$$


$$P_c = \frac{1.6mm \times 0.2mm \times \frac{7650mm}{min}}{\frac{40cm^3}{KW min} \times \frac{1000mm^3}{cm^3}}$$

$$P_c = \frac{1.6mm \times 0.2mm \times \frac{7650mm}{min}}{\frac{40cm^3}{KW min} \times \frac{1000mm^3}{cm^3}}$$

$$P_c = 0.0612KW$$

Se tiene entonces que el valor de potencia de corte requerido es de 61.2KW. Este valor se multiplica por un factor de seguridad de 2, dando como resultado un valor de 122.4 W. Ahora para seleccionar la herramienta de corte giratoria, esta debe cumplir con los



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

requerimientos de potencia mínima de 123Watts y velocidad de giro mínima de 25500rpm. Según estos requerimientos, se selecciona entonces el motortool de la marca Hi-tronic (Figura 41), que cuenta con una potencia de 170 Watts, y con un variador de velocidad que permite ajustar la velocidad de giro en un rango de 8000 a 35000 rpm.




**Figura 41.** Motortool seleccionado; marca Hi-Tronic

[Fuente: <http://importronic.com/catalogo/pedidos/ver-producto/1911#herramientas>]

<b>Frecuencia</b>	60Hz
<b>Velocidad variable</b>	8,000rpm a 35,000rpm
<b>Voltaje de operación</b>	110V AC
<b>Potencia</b>	170W
<b>Capacidad del Mandril</b>	0.8mm a 3.2mm

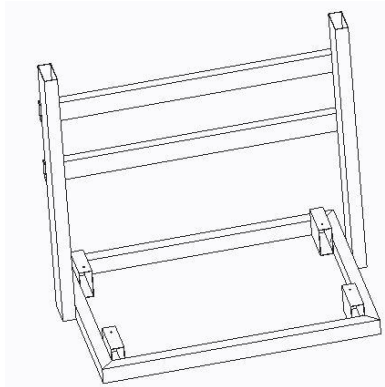
**Tabla 7.** Ficha técnica de la herramienta de corte seleccionada

[Fuente: <http://importronic.com/catalogo/pedidos/ver-producto/1911#herramientas>]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.2.4 Diseño de la estructura o marco principal de la ruteadora CNC


La estructura o marco principal de la ruteadora CNC (Figura 42), tiene la función de soportar todos los elementos conformados por los sistemas de desplazamiento de los ejes de control X, Y, Z. Esta estructura se diseñó a partir de piezas de perfilería estructural de aluminio que utilizadas comúnmente en aplicaciones de construcción. Esta perfilería es fácil de mecanizar, lo cual presenta una gran ventaja al momento de realizar las perforaciones necesarias para ensamblar con el uso de tornillería y tuercas, el conjunto de elementos que conforman el marco principal.



**Figura 42.** Diseño de la estructura principal de la ruteadora CNC

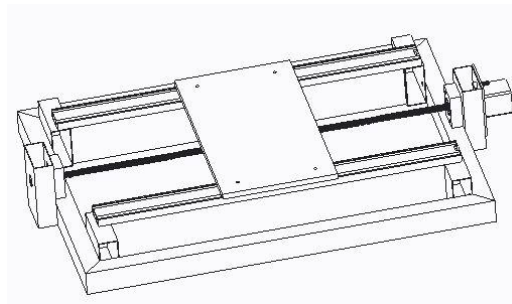
[Fuente: Autores]

La estructura cuenta con un marco inferior conformado por 4 perfiles estructurales, unidos mediante tornillería en sus 4 esquinas con la ayuda de perfilería en forma de L. Unido a este marco, se encuentra la estructura que se levanta por medio de 2 perfiles estructurales, ubicados lateralmente y que a la vez están unidos entre sí por otros 2 elementos de perfilería estructural, conformando así, la estructura que soporta el sistema de desplazamiento del eje Z. Por último, se encuentran 4 elementos de perfilería ubicados en las 4 esquinas internas del marco inferior, estos tendrán la función de soportar el sistema de desplazamiento del eje de control X. La perfilería utilizada en el desarrollo de este proyecto fue reciclada en su mayoría, esto con el fin de reducir costos en la estructura y además realizar un aporte al cuidado del medio ambiente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.2.5 Sistema de desplazamiento del eje de control X


El sistema de desplazamiento del eje de control X (Figura 43) se encuentra acoplado al marco inferior de la estructura principal, por medio del uso de tornillería y tuercas de la siguiente manera:



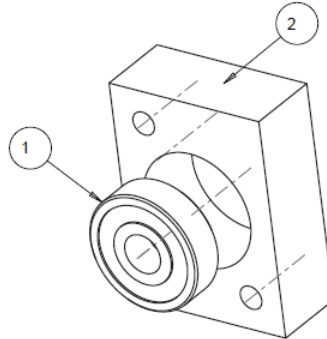
**Figura 43.** Diseño del sistema de desplazamiento del eje de control X

[Fuente: Autores]

- En ambos extremos laterales del marco inferior, se encuentran ubicados 2 elementos de perfilería estructural, que cumplen la función de soportar tanto el motor, como 2 carcasas que contienen los rodamientos (Figura 44) en los que se encuentra acoplado la varilla roscada M10X1.5 que genera el movimiento del eje de control X.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ITEM	PART NUMBER	QTY
1	1_BALINERA_DINT10MM_DEXT30MM	1
2	1_CARCASA_RODAMIENTO_EJE_X	1




**Figura 44.** Vista en explosión de la carcasa y el rodamiento de diámetro interno 10mm

[Fuente: Autores]

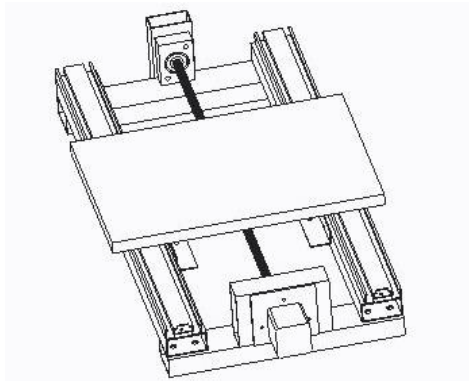
- En la parte interior del marco se encuentran ubicados 2 elementos de perfilería estructural, que cumplen la función de soportar cada uno, su respectiva corredera telescópica; ambas correderas telescópicas, se encuentran fijadas a una base de madera que lleva acoplada en su cara inferior, una tuerca que va acoplada a la varilla roscada M10X1.5, para conformar el sistema que transforma el movimiento angular de la varilla roscada, en un desplazamiento lineal de la mesa de trabajo en el eje X.

Este sistema de desplazamiento del eje de control X, sostiene el sistema de desplazamiento del eje de control Y, por tal razón, debe realizar un esfuerzo mayor para mover la mesa de trabajo donde se colocarán las baquelitas vírgenes o PCB's vírgenes a mecanizar.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.2.6 Sistema de desplazamiento del eje de control Y

El sistema de desplazamiento del eje de control Y (Figura 45), se encuentra acoplado sobre la base de madera del sistema de desplazamiento del eje de control X, este acople se realiza por medio de tornillería y el uso de 2 elementos de “perfilería en L” que unen ambos sistemas.




**Figura 45.** Diseño del sistema de desplazamiento del eje de control Y

[Fuente: Autores]

Este sistema de desplazamiento del eje de control Y, se compone de un marco inferior conformado por 4 elementos de perfilera estructural, en el cual 2 de estos elementos poseen una longitud de 60 centímetros y están acoplados con el uso de tornillería y tuercas, sobre los 2 elementos de perfilera restantes. Sobre este marco, se encuentran soportados 2 recortes de perfilera estructural, que similar al sistema de desplazamiento del eje de control X, cumplen la función de soportar tanto el motor, como los 2 rodamientos en los que se encuentra acoplado el eje que genera el movimiento del eje de control Y, eje para el cual se seleccionó una varilla roscada M10X1.5.

ambas correderas telescópicas, se encuentran fijas a una base de madera que lleva acoplada en su cara inferior, una tuerca que va acoplada a la varilla roscada M10X1.5, para

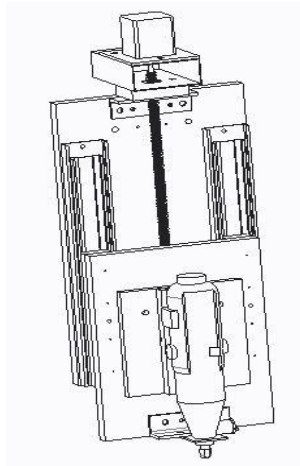
	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

conformar el sistema que transforma el movimiento angular de la varilla roscada, en un desplazamiento lineal de la mesa de trabajo en el eje de control X.

Nuevamente similar al eje de control X, los 2 perfiles de mayor longitud, tienen la función de soportar cada uno, su respectiva corredera telescópica, y dichas correderas, a su vez se encuentran fijas a una base de madera que lleva acoplada en su cara inferior, una tuerca que va acoplada a la varilla roscada M10X1.5 para lograr el desplazamiento lineal de la mesa de trabajo en el eje Y. Esta base de madera, es la mesa de trabajo sobre la cual se ubican las baquelitas vírgenes para ser mecanizadas.


### 3.2.7 Sistema de desplazamiento del eje de control Z

El sistema de desplazamiento del eje de control Z (Figura 46), se encuentra soportado por los 2 perfiles estructurales que se levantan en el diseño de la estructura principal. Este eje cuenta con una base de madera principal fija, en la que se desarrolla todo ese sistema de desplazamiento. En la parte posterior de esta base, se encuentra ensamblado por medio de tornillería y tuercas, un elemento de “perfilería en L” el cual sirve de apoyo para acoplarse al perfil ubicado en la parte más alta de la estructura principal.




**Figura 46.** Diseño del sistema de desplazamiento del eje de control Y

[Fuente: Autores]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

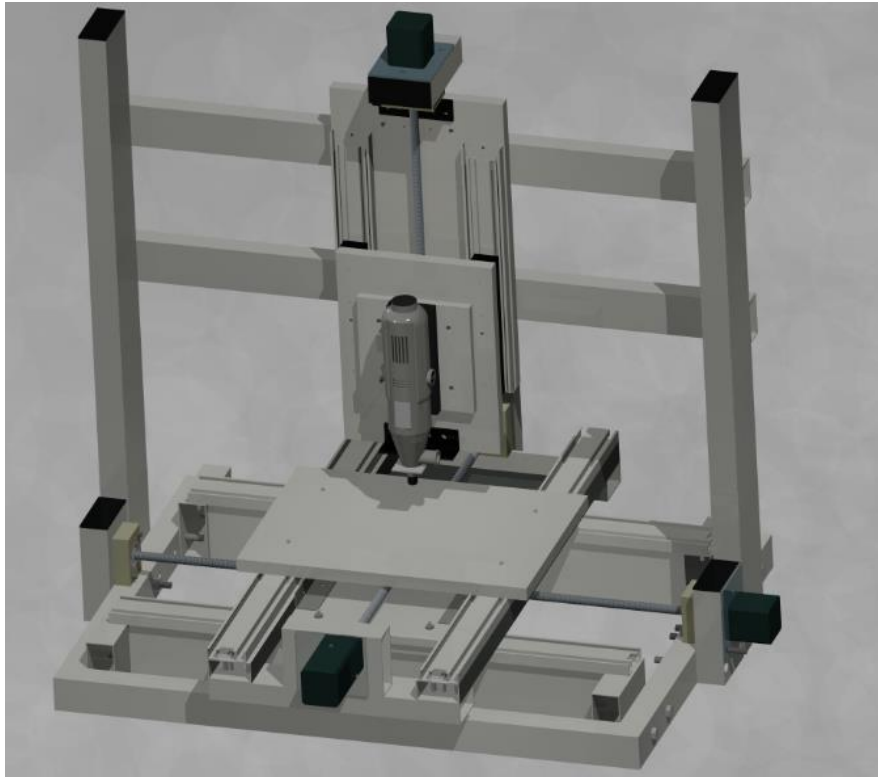
En la parte frontal de la base de madera, se encuentran acopladas 2 correderas telescópicas de 30cm de largo cada una, las cuales a su vez, soportan en su parte móvil, una base de madera que tiene acoplada en su cara interna, una tuerca M10 correspondiente a la varilla roscada M10X1.5 que se utiliza como eje de desplazamiento del eje de control Z. Dicha varilla roscada, se encuentra acoplada al eje del motor que controla el desplazamiento en este sistema, y el motor se encuentra soportado sobre un elemento de perfilería, que a su vez se encuentra ensamblado sobre la parte superior de la base de madera fija, con el uso un “perfil en L” que está unido a dicha base y a la carcasa que contiene el rodamiento que soporta la varilla roscada del eje de control Z y a la vez al recorte de perfilería estructural en el cual se encuentra ensamblado el motor.

La base de madera móvil, cuenta a su vez con un sistema de acople necesario para sostener fijamente la herramienta de corte encargada de remover el material de las baquelitas de cobre, este sistema de acople está conformado por un perfil tipo “L” en la parte inferior, unido con una lámina que tiene una perforación con el diámetro de la herramienta de corte para ser insertado en ella y acoplado por medio de una tuerca con la que cuenta la herramienta de corte, y en la parte central de la base móvil, se encuentra un elemento de perfilería mecanizado de tal forma que permite pasar a través de el, una brida metálica que se ajusta con un destornillador a la medida de la herramienta de corte, conformando así el sistema de desplazamiento del eje de control Z.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.2.8 Vista general del modelo de la ruteadora CNC


A continuación, se presenta un renderizado de la vista general del diseño de la ruteadora CNC (Figura 47) elaborado desde el software de modelación CAD Creo Parametric.



**Figura 47.** Vista general del diseño de la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]



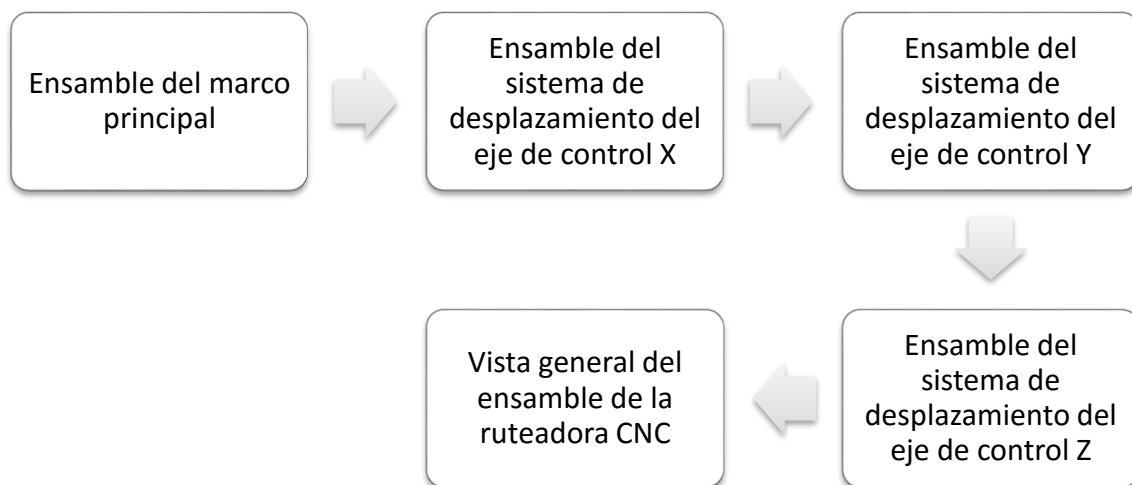
	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.3 Ensamble mecánico de las partes que conforman la ruteadora CNC

El ensamble mecánico de las partes que conforman la ruteadora CNC, requiere el uso de los planos generales y el modelo inicial, elaborados desde el software CAD utilizado, denominado “Creo Parametric”.


Para situar en un contexto apropiado, se inicia con una descripción muy general, del ensamble de cada uno de los sistemas desarrollados, comenzando por el marco principal de la ruteadora CNC, hasta llegar a los sistemas encargados de generar los desplazamientos en los ejes de control X, Y, Z.

El itinerario a seguir se presenta en el diagrama de flujo que se observa en la Figura 48.



**Figura 48.** Diagrama de flujo con el orden a seguir para realizar el ensamble mecánico de la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


### 3.3.1 Ensamble del marco principal

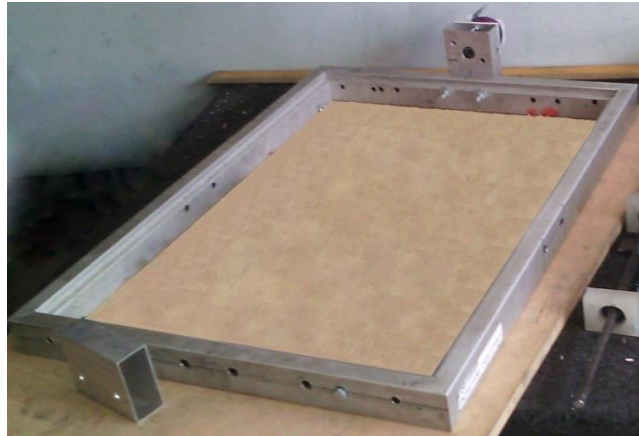
Los materiales utilizados para realizar la fabricación, el corte y el ensamble del marco principal fueron los siguientes:

- 2 Perfiles de sección transversal 40X30X2mm y longitud de 675mm cortados con ángulos de 45° en los 2 extremos
- 2 Perfiles de sección transversal 40X30X2mm y longitud de 500mm cortados con ángulos de 45° en los 2 extremos
- 4 Perfiles en L de sección transversal 40X40X3mm y longitud de 36mm cortados a escuadra en los 2 extremos
- 4 Perfiles de sección transversal 72X32X1mm y longitud de 95mm cortados a escuadra en los 2 extremos
- 2 Perfiles de sección transversal 72X32X1mm y longitud de 680mm cortados a escuadra en los 2 extremos
- 2 Perfiles de sección transversal 25X50X1mm y longitud de 739mm cortados a escuadra en los 2 extremos
- 20 Tornillos de cabeza Hexagonal 5/16X2"
- 20 Tuercas 5/16"
- 16 Tornillos de punta cónica M4X0,7X6

Para el ensamble de la estructura principal, primero se unieron los perfiles de 675mm con los de 500mm, de tal forma que los cortes de 45 grados coincidieran entre ellos, conformando un marco inferior (Figura 49).

La unión completa de este marco, se logra al colocar en el interior de las esquinas del marco los 4 perfiles en L de 36mm, unidos mediante 16 tornillos de punta cónica M4 X 0,7 X 6 con las caras laterales de los perfiles que conforman el marco inferior.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27




**Figura 49.** Ensamble del marco inferior de la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]

Después, se deben fijar verticalmente los 2 perfiles de 680mm a las caras externas del marco inferior que mide 500mm, y una vez se han fijado con el uso de tuercas y tornillos, se deben unir horizontalmente los 2 perfiles de 739mm (separados a una distancia de 117mm entre ellos) a las caras externas de los perfiles de 680mm, para conformar así, la estructura que soportara el sistema de desplazamiento del eje de control Z.

Finalmente, se deben fijar horizontalmente los 4 perfiles de 95mm a las caras internas de los perfiles de 500mm, los cuales tendrán la función de soportar las correderas telescópicas que conformarán luego el sistema de desplazamiento del eje de control X.


Todas estas uniones se realizaron utilizando en total 20 tornillos hexagonales de 5/16X2" cada uno con su respectiva tuerca.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.3.2 Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control X

Los materiales utilizados para realizar el ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control X fueron los siguientes:

- 2 Perfiles de sección transversal 72X32X1mm y longitud de 551mm cortados a escuadra en los 2 extremos
- 2 Perfiles de sección transversal 72X32X1mm y longitud de 115mm cortados a escuadra en los 2 extremos
- 2 Carcasas de 57X42X19mm con una perforación en el centro de diámetro 30mm
- 2 Rodamientos de diámetro externo 30mm y diámetro interno 10mm
- 1 Varilla roscada M10X1.5 de longitud 700mm
- 1 Tuerca M10
- 1 Placa de hierro 60X25X2mm para soldar la tuerca de bronce
- 1 Base de madera de 350X190X9.5mm
- 2 Correderas telescópicas de longitud 600mm
- 4 Tornillos de cabeza Hexagonal 5/16X2" para los perfiles de 115 motores
- 4 Tuercas 5/16"
- 4 Tornillos ranurados 5/32X3/4"
- 4 Tuercas 5/32"
- 4 Tornillos ranurados 3/16X1" para fijar las correderas telescópicas
- 4 Tuercas 3/16"
- 4 Tornillos de cabeza Hexagonal M6X0.75X25 para fijar las carcasas
- 4 Tuercas M6X0.75
- 2 Tornillos de cabeza Hexagonal 1/4X3/4"
- 2 Tuercas 1/4"
- 6 Tornillos de punta cónica M4X0,7X6

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Para el ensamble de este sistema de control, se realizan las siguientes uniones entre el sistema de soporte y el marco inferior: primero se fijaron verticalmente (utilizando los 4 tornillos hexagonales de 5/16X2", con sus respectivas tuercas) los 2 perfiles de 115mm en el centro de las caras externas del marco inferior que miden 500mm, y a la vez, sobre las caras internas de los perfiles de 115, se fijan las carcasas que contienen los rodamientos (utilizando los 4 tornillos hexagonales M6X0.75X25 con sus respectivas tuercas) sobre los cuales irá acoplada la varilla roscada M10X1.5, tal como se aprecia en la Figura 50.




**Figura 50.** Detalle del conjunto que sostiene la varilla roscada en el eje de control X

[Fuente: Autores]

El siguiente paso fue la instalación de las correderas telescópicas, para lo cual se utilizaron los perfiles de 551mm los cuales soportaran dichas correderas en conjunto con los 4 perfiles de 95mm que hacen parte del marco inferior. Para realizar estas uniones, se usaron 4 tornillos ranurados de 3/16X1" con sus respectivas tuercas, para fijar los extremos de las correderas a los perfiles de 95mm, y los 6 tornillos de punta cónica M4X0,7X6 que se encuentran distribuidos a lo largo de las correderas telescópicas y que se unen a los perfiles de 551mm por medio de perforaciones autoroscadas.

Sobre ambas correderas telescópicas, se fija la base de madera de 350X190X9.5mm centrada con respecto a dichas correderas y se une con los 4 tornillos ranurados 5/32X3/4" y sus respectivas tuercas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Luego se realizó la unión entre la placa de hierro de dimensiones 60X25X2mm con la tuerca M10 que irá acoplada a la varilla roscada M10, para ello se utilizó soldadura eléctrica, mediante el método de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido.



**Figura 51.** Unión por soldadura con electrodo revestido, entre una placa de hierro y tuerca M10


[Fuente: Autores]

Por último, se fijó el conjunto de la placa de hierro con la tuerca a la base de madera, utilizando para ellos los 2 tornillos hexagonales de 1/4X3/4" con sus respectivas tuercas. Finalizados todos los pasos anteriores se obtiene el sistema de desplazamiento del eje de control X, tal como se observa en la Figura 52.



**Figura 52.** Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control X


[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.3.3 Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Y

Los materiales utilizados para realizar el ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Y fueron los siguientes:

- 2 Perfiles de sección transversal 25X50X1mm y longitud de 600mm cortados a escuadra en los 2 extremos
- 2 Perfiles de sección transversal 25X50X1mm y longitud de 290mm cortados a escuadra en los 2 extremos
- 8 Tornillos de cabeza Hexagonal 5/16X1/2" unen los perfiles de 25x50 entre ellos
- 8 Tuercas 5/16"
- 1 Perfil de sección transversal 72X32X1mm y longitud de 115mm cortado a escuadra en los 2 extremos
- 1 Perfil de sección transversal 25X50X1mm y longitud de 96mm cortado a escuadra en los 2 extremos
- 4 Tornillos de cabeza Hexagonal 5/16X1/2"
- 4 Tuercas 5/16"
- 2 Correderas telescópicas de longitud 600mm
- 4 Tornillos ranurados 3/16X1" para fijar las correderas telescópicas
- 4 Tuercas 3/16"
- 1 Varilla roscada M10X1.5 de longitud 700mm
- 1 Tuerca M10
- 1 Placa de hierro 60X25X2mm
- 2 Tornillos de cabeza Hexagonal 1/4X1"
- 2 Tuercas 1/4"
- 1 Base de madera de 230X335X15mm
- 4 Tornillos ranurados 5/32X1"
- 4 Tuercas 5/32"
- 2 Carcasas de 57X42X19mm con una perforación en el centro de diámetro 30mm
- 2 Rodamientos de diámetro externo 30mm y diámetro interno 10mm

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- 4 Tornillos de cabeza Hexagonal M6X0.75X25
- 4 Tuercas M6X0.75
- 2 Perfiles en L de sección transversal 20X20X2mm y longitud de 270mm
- 4 Tornillos de cabeza Hexagonal 1/4X3/4"
- 4 Tuercas 1/4"
- 6 Tornillos ranurados 5/32X1/2"
- 6 Tuercas 5/32"

Para realizar el ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Y, muy similar al eje anterior, lo primero que se hizo fue conformar un marco uniendo los 2 perfiles de 600mm con los 2 perfiles de 290mm, de tal forma que los perfiles de 600mm queden apoyados sobre los de 290mm.

Estas uniones se realizan en las esquinas del marco conformado utilizando para ello de a 2 tornillos hexagonales de 5/16X1/2" con sus respectivas tuercas por cada esquina (Figura 53), conformando así el marco general que soportará todos los elementos de este sistema.




**Figura 53.** Detalle de la unión del marco del eje de control Y

[Fuente: Autores]

Después se fijaron los 2 perfiles de 115mm y 96 mm a los perfiles del marco de 290mm, utilizando los 4 tornillos hexagonales de 5/16X1/2" con sus respectivas tuercas. Luego sobre



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

las caras internas de los 2 perfiles de 115 y 96mm, se fijaron las carcasas con los rodamientos (utilizando los 4 tornillos hexagonales M6X0.75X25 y sus tuercas) sobre los cuales se acopla la varilla roscada M10.

Posteriormente, se fijaron los 2 perfiles en L de 270mm a las caras internas de los 2 perfiles del marco de 600mm, para ello se utilizaron 6 tornillos ranurados de 5/32X1/2" con sus respectivas tuercas, distribuidos a lo largo del perfil, tomando como referencia el centro del perfil.


Después se procedió a realizar la instalación de las correderas telescópicas, las cuales se fijaron sobre los perfiles de 600mm (Figura 54) que conforman el marco de este sistema, utilizando para ello 4 tornillos ranurados de 3/16X1" con sus respectivas tuercas, los cuales fijan los extremos de las correderas a dichos perfiles.



**Figura 54.** Vista general de las correderas telescópicas del eje de control Y

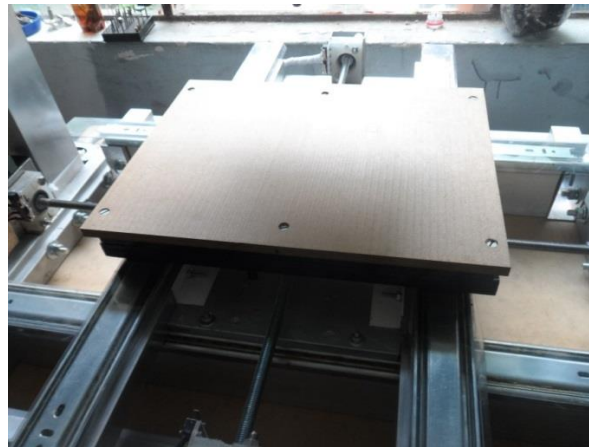
[Fuente: Autores]

Luego, sobre ambas correderas telescópicas, se fija la base de madera de 230X335X15mm centrada con respecto al centro de dichas correderas y se une con los 4 tornillos ranurados de 5/32X1" con sus respectivas tuercas. Después se realizó la unión por soldadura entre la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


placa de hierro y la tuerca M10, tal como menciona en el ítem anterior, para después fijar dicha placa de hierro a la base de madera utilizando para ellos los 2 tornillos hexagonales de 1/4X1" con sus respectivas tuercas.

De esta forma se obtiene todo el conjunto que conforma el sistema de desplazamiento del eje de control Y (Figura 55), el cual se fija al sistema de desplazamiento del eje de control X, uniendo para ello, los 2 perfiles en L de 270mm, con la base de madera del eje de control X, utilizando 4 tornillos hexagonales de 1/4X3/4" con sus respectivas tuercas.



**Figura 55.** Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Y


[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.3.4 Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Z

Los materiales utilizados para realizar el ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Z fueron los siguientes:

- 1 Perfil de sección transversal 72X32X1mm y longitud de 90mm cortado a escuadra en los 2 extremos
- 1 Perfil en L de sección transversal 25.5X25.5X3.4mm y longitud de 100mm cortado a escuadra en los 2 extremos
- 1 Perfil en L de sección transversal 25.5X25.5X3.4mm y longitud de 85mm
- 1 Perfil en L de sección transversal 25.5X25.5X3.4mm y longitud de 80mm
- 1 Base de madera de 350X200X15mm
- 1 Base de madera de 230X180X15mm
- 1 Base de madera de 130X130X9.5mm
- 2 Bloques de madera de 165x29x15.5mm
- 2 Correderas telescópicas de longitud 300mm
- 1 Carcasa de 60X45X16mm con una perforación en el centro de diámetro 30mm
- 1 Rodamiento de diámetro externo 30mm y diámetro interno 10mm
- 1 Varilla roscada M10X1.5 de longitud 700mm
- 1 Tuerca M10
- 1 Placa de hierro 60X25X2mm
- 1 Perfil en U 53x13x1.5mm de 130mm de longitud
- 1 Abrazadera de apriete de tornillo sin fin de diámetro externo 80mm
- 1 Perfil en U 60x50x1.5mm de 60mm de longitud
- 4 Tornillos ranurados 3/16X1-1/4"
- 4 Tuercas 3/16"
- 2 Tornillos ranurados 5/32X2"
- 2 Tuercas 5/32"
- 8 Tornillos Bristol 1/4X1-1/4"
- 6 Tornillos de cabeza Hexagonal 1/4X1"

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- 14 Tuercas 1/4"
- 2 Tornillos de cabeza Hexagonal 5/16X1/2"
- 2 Tuercas 5/16"
- 2 Tornillos de cabeza Hexagonal M6X0.75X25
- 2 Tuercas M6X0.75
- 8 Tornillos de ensamble 3/4"
- 18 Tornillos de punta cónica M4X0,7X6

Para realizar las uniones de este ensamble, se inicia por la cara frontal de la base de madera principal (de dimensiones 350X200X15mm), sobre la cual se fijan las 2 correderas telescópicas utilizando 4 tornillos ranurados de 3/16X1-1/4" con sus respectivas tuercas.


Después, se asegura sobre el extremo superior de la base principal, el perfil en L de 85mm (con el uso de 2 tuercas y tornillos bristol de 1/4X1-1/4") que tendrá la función de soportar el conjunto carcasa-rodamiento (que lleva acoplado la varilla roscada M10), junto con el perfil de 90mm que cumple la función de soportar el motor PaP del eje Z.

Para realizar esta unión se utilizan 2 tuercas y tornillos hexagonales M6 tal como se observa en la Figura 56.



**Figura 56.** Detalle del ensamble del perfil en L que soporta el conjunto carcasa-rodamiento en el eje de control Z

[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Luego, sobre cada uno de los rieles de las correderas telescópicas, se aseguran con 8 tornillos M4 de punta cónica, 2 bloques de madera (de dimensiones 165x29x15.5mm), y sobre estos 2 bloques, se fija la base rectangular de madera (de dimensiones 230X180X15mm) utilizando para ello 8 tornillos de ensamble de 3/8" (que se fijan desde la cara frontal de la base rectangular), y 2 tornillos ranurados de 5/32X2", que se aseguran desde la cara interna de cada riel y atraviesan los bloques de madera hasta llegar a la base rectangular donde finalmente se aseguran con tuercas, tal se observa en la Figura 57.




**Figura 57.** Detalle del ensamble de la base rectangular de madera en el eje de control Z

[Fuente: Autores]

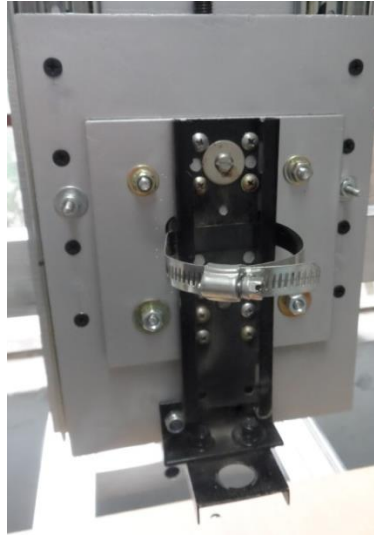
Luego sobre la base de madera rectangular, se coloca la base de madera cuadrada (de dimensiones 130X130X9.5mm) y se asegura utilizando 4 tuercas y 4 tornillos bristol de 1/4X1-1/4".

Después, sobre esta base cuadrada, se fija un perfil en U (de dimensiones 53x13x1.5mm) con el uso de 10 tornillos de punta cónica M4, el cual tiene 2 aberturas a los costados, por los cuales se atraviesa una abrazadera de apriete que tiene la función de mantener estable el cuerpo del motortool.

Para continuar, se fijó un perfil en L de 80mm en el extremo inferior de la base de madera rectangular (con el uso de 2 tornillos y tuercas hexagonales de 1/4X1"), y a este perfil en L,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

se acopló otro perfil en U (con 2 tornillos y tuercas hexagonales de 1/4X1") de 60mm que cuenta con una perforación del diámetro de la boquilla del motortool que tendrá la función de aprisionar el motortool en la base. Estas uniones se pueden observar en la Figura 58.

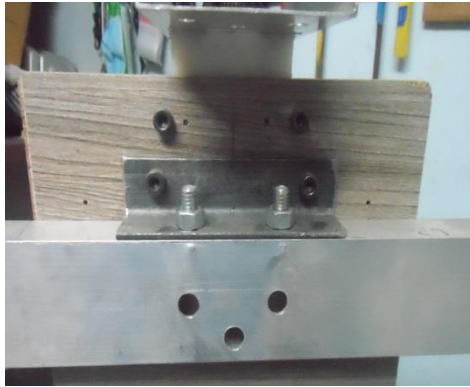


**Figura 58.** Detalle del conjunto encargado de soportar el motortool en el eje de control Z

[Fuente: Autores]

El siguiente paso, fue realizar la unión por soldadura entre la placa de hierro y la tuerca M10, tal como se mencionó en los ítems anteriores, y después se acopla la placa de hierro a la base de rectangular de madera utilizando para ello 2 tornillos con tuercas hexagonales de 1/4-1/4".

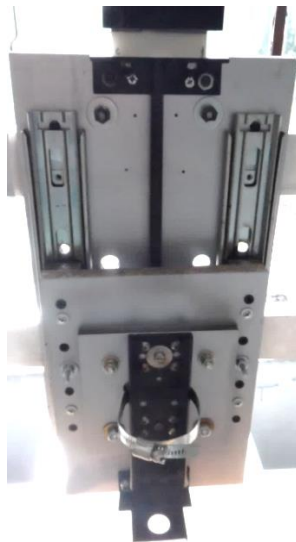
Por último, se aseguró el perfil en L de 100mm, sobre la cara posterior de la base de madera principal (utilizando 2 tornillos y tuercas bristol de 1/4X1-1/4"). Dicho perfil es el encargado de soportar todo el conjunto del eje de control Z, y para ello requiere apoyarse sobre el perfil que se encuentra ubicado en la parte superior de la estructura principal de la ruteadora CNC, y se asegura con 2 tonillos y tuercas hexagonales de 5/16X1/2in tal como se observa en la Figura 59.



**Figura 59.** Detalle del ensamble del eje de control Z con la estructura principal de la ruteadora CNC


[Fuente: Autores]

Realizados todos los pasos anteriormente descritos, se obtiene el ensamble completo del conjunto que conforma el sistema de desplazamiento del eje de control Z, tal como se observa en la Figura 60.



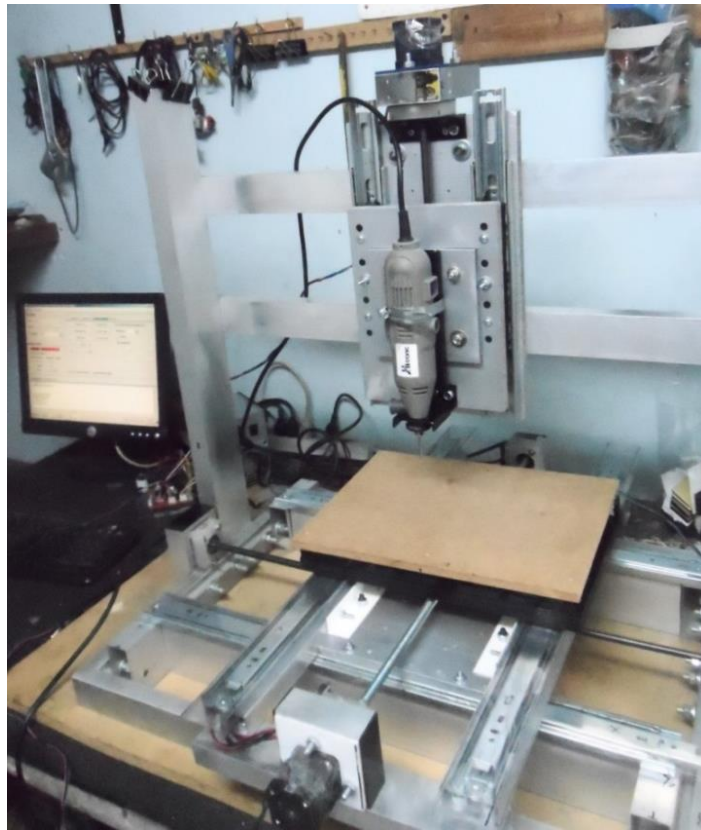
**Figura 60.** Ensamble del sistema de desplazamiento del eje de control Z

[Fuente: Autores]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.3.5 Vista general del ensamble de la ruteadora CNC


A continuación, se presenta una vista general de la ruteadora CNC (Figura 61) desarrollada en este proyecto, para ser implementada en la elaboración de prototipos de circuitos impresos de una capa.



**Figura 61.** Vista general del ensamble de la ruteadora CNC

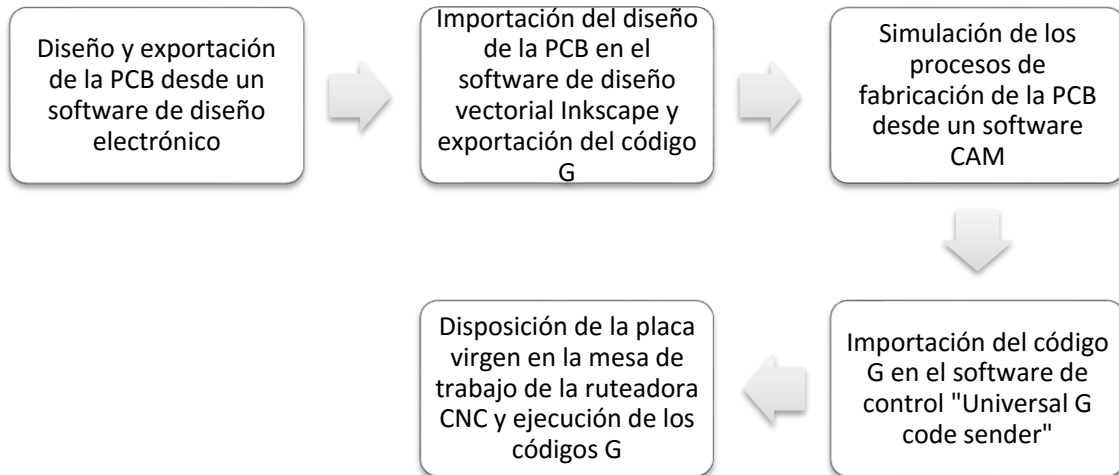
[Fuente: Autores]



	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.4 Prueba de validación de la ruteadora CNC en la fabricación de PCB's

A continuación, se presenta en la Figura 62, el diagrama de flujo que indica el orden a seguir con cada una de las etapas requeridas para llevar a cabo el proceso de fabricación de una PCB a través de la ruteadora CNC desarrollada en este proyecto.

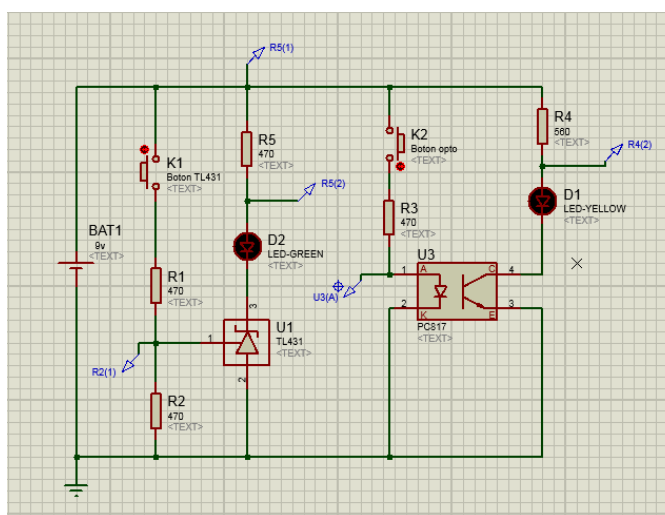


**Figura 62.** Diagrama de flujo con el orden y las etapas a seguir para fabricar una PCB a través de la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]

### 3.4.1 Diseño y exportación de la PCB desde un software de diseño electrónico


El Primer paso para llevar a cabo la fabricación de una PCB, es realizar el diseño de la misma desde un software de diseño de electrónico. En el mercado existen muchas opciones de software utilizados para dicho fin, algunos de estos muy profesionales como lo son Eagle, Altium, entre otros, sin embargo, existe uno de estos que se destaca por presentar una interfaz muy amigable, que cuenta con una gran cantidad de herramientas para facilitar el trabajo en el entorno de desarrollo y que además permite tanto diseñar como simular circuitos electrónicos, llamado Proteus Design Suite, desarrollado por Labcenter Electronics Ltd., el cual se escogió para llevar a cabo en el desarrollo de este proyecto, el diseño tanto del circuito esquemático (Figura 63), como del circuito impreso de la PCB con la que se verificara el correcto funcionamiento de la ruteadora CNC.



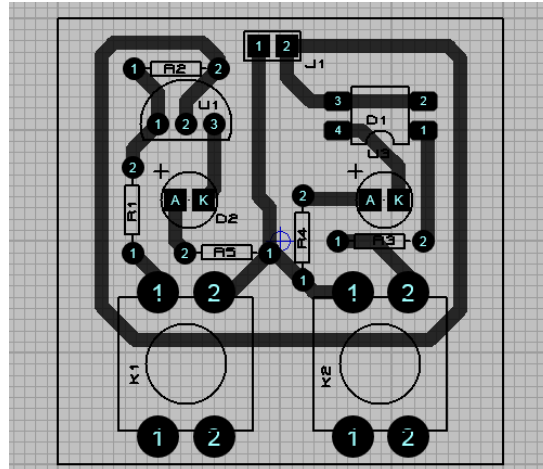
**Figura 63.** Diseño esquemático del circuito electrónico utilizando Proteus

[Fuente: Autores]

Una vez se tiene listo el diseño esquemático del circuito electrónico, lo siguiente es realizar el diseño del circuito impreso (Figura 64), para ello se debe pasar al entorno de desarrollo “PCB layout” incluido en Proteus, en el cual se deben realizar las conexiones pertinentes

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

entre cada uno de los componentes que conforman el circuito, de la misma forma en que fueron estipulados en el diseño esquemático.




**Figura 64.** Diseño del circuito impreso utilizando Proteus

[Fuente: Autores]

Completado el diseño del circuito impreso, se puede proceder entonces con la exportación de los archivos de imagen con extensión .bmp, tanto para las pistas como para las perforaciones y el marco que conforman el diseño del circuito electrónico. Se comenzará exportando la imagen de las pistas, para ello se debe seleccionar en Proteus la pestaña “Output” → “Export Graphics” → “Export Bitmap” y al abrirse la ventana de exportación (Figura 65), se deben tener en cuenta los siguientes parámetros y configuraciones:

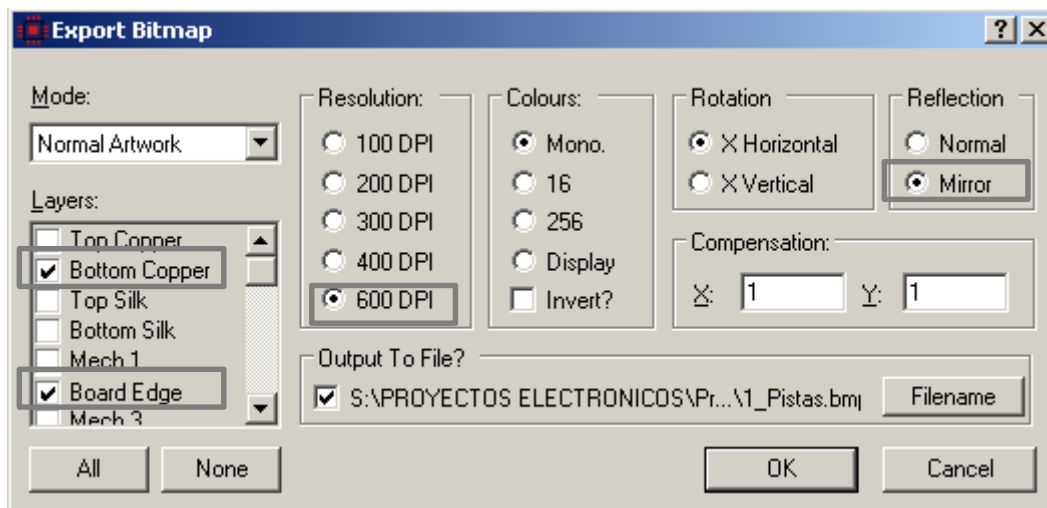
**Layers:** Traducido al español como capas, aquí se seleccionan las capas que se desean exportar. Para este caso se seleccionan las capas “Bottom Copper” y “Board Edge”, para que se exporten tanto las pistas, como el marco de la PCB.

**Reflection:** Traducido al español como reflejo, con esta opción se define si la imagen a exportar saldrá al revés (con vuelta de espejo, “Mirror”) o no. Al exportar las imágenes

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

siempre se debe activar la opción de “Mirror”, ya que si esto no se hace, la ruteadora CNC realizara el tallado del circuito al revés, quedando inservible la PCB.

**Resolution:** Traducido al español como resolución, en esta opción se definen la cantidad de puntos por pulgada o Dots Per Inch (DPI). A mayor valor de DPI, mejor será la calidad de exportación del archivo, por tal razón se selecciona la resolución de 600 DPI para exportar la imagen en la mejor calidad.




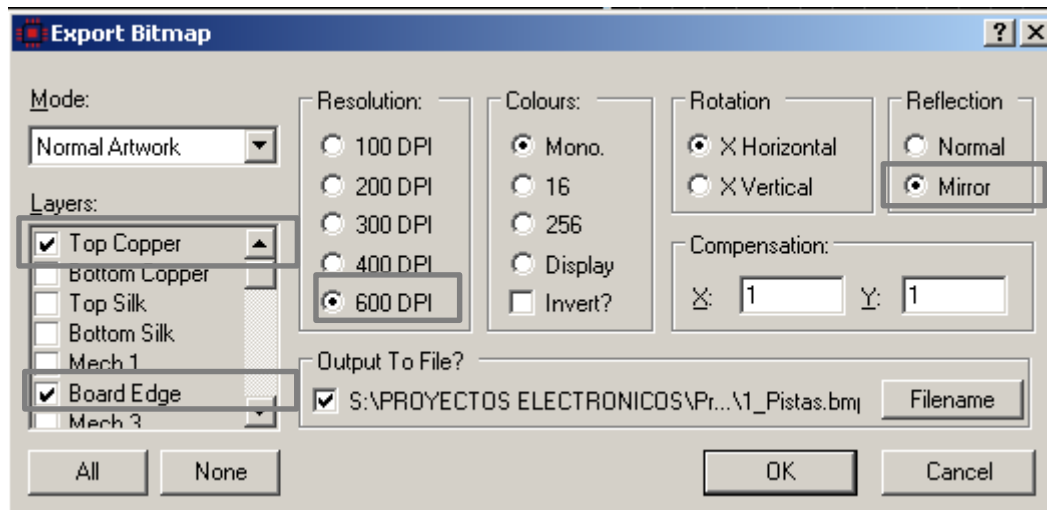
**Figura 65.** Configuración de parámetros al exportar las pistas del diseño de la PCB desde Proteus

[Fuente: Autores]

Una vez exportada la imagen de las pistas, se procede con la exportación de las perforaciones realizadas en el diseño de la PCB (Figura 66), para ello se debe abrir nuevamente la ventana de exportación de imagen “Export Bitmap” y se seleccionan las siguientes opciones:

- **Layers:** “Top Copper” y “Board Edge”, para que se exporten tanto las perforaciones, como el marco de la PCB.
- **Reflection:** Se activa la opción “Mirror”
- **Resolution:** Calidad de 600 DPI.

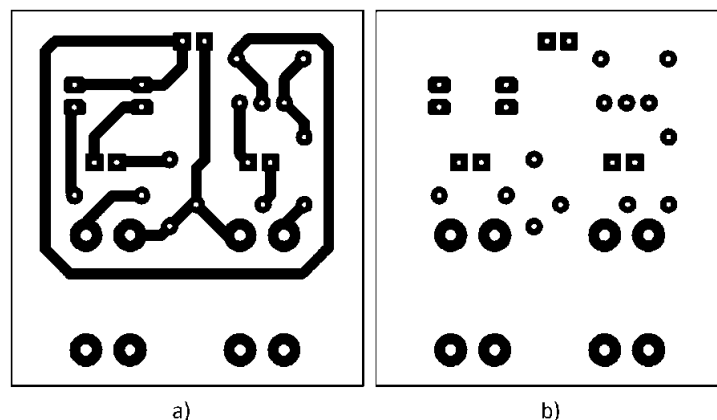
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



**Figura 66.** Configuración de parámetros al exportar las perforaciones del diseño de la PCB desde Proteus


[Fuente: Autores]

Finalizado el proceso de exportación de las pistas y las perforaciones de las PCB a fabricar, se obtienen las 2 imágenes presentadas en la Figura 67, que contienen el diseño de las pistas y las perforaciones de la PCB.



**Figura 67.** Imágenes exportadas con el diseño de la PCB. a) Pistas; b) Perforaciones

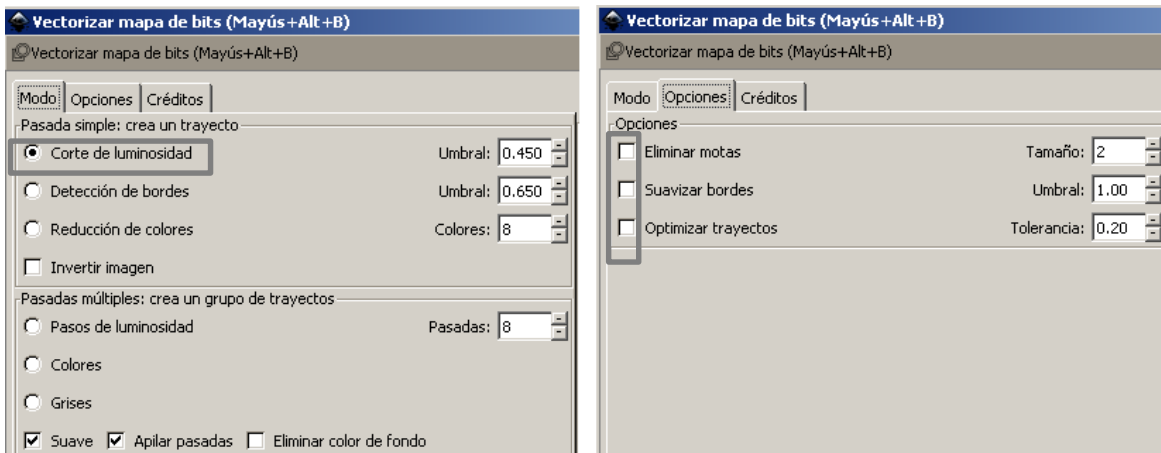
[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.4.2 Importación del diseño de la PCB en el software de diseño vectorial Inkscape y exportación del código G

Ahora que se tienen listas ambas imágenes, el siguiente paso es importarlas en el software de diseño vectorial Inkscape, en el cual se vectorizarán dichas imágenes para luego generar a partir de ellas las rutas de mecanizado, exportando el código G para cada uno de los procesos involucrados en la fabricación de una PCB.

Lo primero que se debe realizar al abrir el software Inkscape, es configurar las unidades de trabajo de todo el documento en milímetros, después se deben importar las 2 imágenes que contienen el diseño de la PCB a fabricar, una vez importadas, se procede a realizar la vectorización individual para cada imagen, comenzando primero con la imagen que contiene el diseño de las pistas de la PCB, para ello se selecciona dicha imagen, y después se da click en la pestaña del panel superior de Inkscape “Trayecto” → “Vectorizar mapa de bits”, una vez se abre la ventana de vectorizar mapa de bits, se selecciona la opción que dice “Corte de luminosidad”, después, pasando a la pestaña “Opciones” de la misma ventana, se verifica que ninguna de las opciones estén habilitadas, por último se debe dar click en el botón “Aceptar” y se debe cerrar la ventana. La configuración de estos parámetros se puede observar en la Figura 68.




**Figura 68.** Configuración de parámetros al vectorizar las pistas del diseño de la PCB desde Inkscape

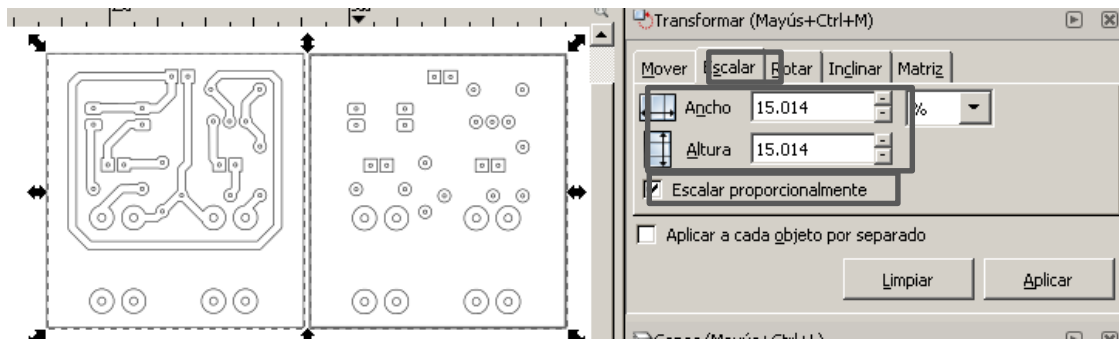
[Fuente: Autores]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Realizados los pasos anteriores, se crea una imagen vectorizada de las pistas de la PCB, y esta aparece ubicada por defecto sobre la imagen original que se había importado, es decir, la imagen no vectorizada de las pistas, por tal razón se debe seleccionar la imagen vectorizada y se debe arrastrar hacia un espacio vacío del área de trabajo, para después, proceder a eliminar la imagen original. Luego, de la misma manera en que se realizó el proceso para vectorizar la imagen de las pistas, se procede a realizar la vectorización de la imagen de las perforaciones, siguiendo el mismo orden mencionado.

Una vez completados los pasos anteriores, deben haber 2 imágenes vectorizadas en el espacio de trabajo de Inkscape, una imagen vectorizada con el diseño las pistas y otra con el diseño de las perforaciones de la PCB, estas 2 imágenes poseen un tamaño superior al tamaño real de la PCB diseñada, esto se debe a que cuando se realizó la exportación desde Proteus, se seleccionó una resolución de 600 DPI, que corresponde a una escala mayor del tamaño real de la PCB, por tal razón, se deben escalar nuevamente las 2 imágenes a un valor que corresponda con el tamaño real de la PCB. Para realizar dicha escalización, primero se deben seleccionar ambas imágenes con la ayuda del mouse en un recuadro de selección, después se selecciona en el panel superior de Inkscape, la pestaña “Objeto” → “Transformar”, se abre entonces un panel en el lado derecho de Inkscape, en el cual hay una opción llamada “Escalar”, esta contiene 2 recuadros llamados “Ancho” y “Altura” en los cuales se indica el valor al que se desea escalar la imagen seleccionada y que para este caso corresponde a un valor de 15.014 para cada recuadro, valor que fue hallado utilizando un método de prueba y error, en el cual se compararon varias medidas definidas y exportadas a 600 DPI desde el software de diseño electrónico, con las mismas medidas escalizadas en el software Inkscape, hasta obtener un valor exacto entre ambas comparaciones. Por último, se habilita la opción de “Escalar proporcionalmente”, para que se mantenga la proporción entre ancho y altura de la imagen, tal como se observa en la Figura 69.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27




**Figura 69.** Configuración de parámetros para escalar las imágenes del diseño PCB

[Fuente: Autores]

Completado el proceso anterior, se tendrán ambas imágenes en el tamaño real del diseño de la PCB, ahora lo siguiente es eliminar los objetos sobrantes de ambas imágenes, ya que en la imagen de las pistas se tiene el contorno de los agujeros donde van las perforaciones, y también un marco o borde de placa (en inglés Board edge) que se dividió en un marco externo y uno interno al realizar al proceso de vectorización, y en la imagen de las pistas, solo deben estar el contorno de las pistas y el marco externo; de igual manera, la imagen de las perforaciones, contiene el contorno de los pads (superficies de cobre para soldar componentes electrónicos) y de los agujeros de la PCB y un marco externo y uno interno, y esta imagen solo debe contener el contorno de los pads y el marco externo. Para solucionar esto se deben seguir los siguientes pasos, se seleccionan en un recuadro ambas imágenes, después se da click en la pestaña “Trayecto” → “Descombinar” (con esto se logra convertir el contenido de la imágenes seleccionadas, en objetos individuales), en este punto se debe cambiar el tipo de vista del software Inkscape para poder visualizar los objetos individuales, para ello dando click en la pestaña “Ver” → “Modo de visualización” → “Contorno”, luego se procede a eliminar de forma individual cada uno de los objetos sobrantes, comenzando primero con la imagen de las pistas y después con la imagen de las perforaciones tal como se describe a continuación.

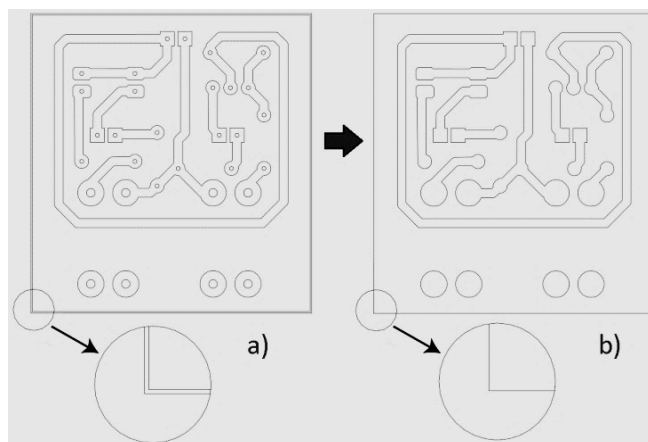


	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.4.2.1 Eliminación de objetos sobrantes en la imagen de las pistas de la PCB


En esta imagen se deben eliminar todos los contornos de los agujeros donde van las perforaciones de la PCB y el marco interno, para ello se seleccionan únicamente los objetos que se encuentran dentro del marco interno, creando un recuadro de selección con el mouse hasta seleccionar todo los objetos individuales, una vez seleccionados se debe dar click en la pestaña “Trayecto” → “Unión”, con esto se logra suprimir los contornos de los agujeros y quedan únicamente el contorno de las pistas de la PCB.

Ahora se debe eliminar el marco interno que se crea al vectorizar la imagen, para ello se debe realizar un acercamiento o Zoom + en una esquina del marco de la imagen para poder distinguir los 2 contornos, es decir, el marco interno y el externo, después se selecciona y se elimina el marco interno, ya que solo interesa tener el marco externo, una vez realizados los pasos anteriores se obtiene la imagen presentada en la Figura 70, por último, se deben volver a agrupar todos los objetos individuales en una misma imagen, para que al arrastrarla se mueva todo como un conjunto, para ello, se selecciona en un recuadro el marco externo y las pistas, y dando click en la pestaña “Trayecto” → “Combinar”, se agrupan nuevamente los objetos en la imagen de las pistas de la PCB.




**Figura 70.** Conversión final de la imagen de las pistas de la PCB. a) Imagen inicial; b) Imagen final.

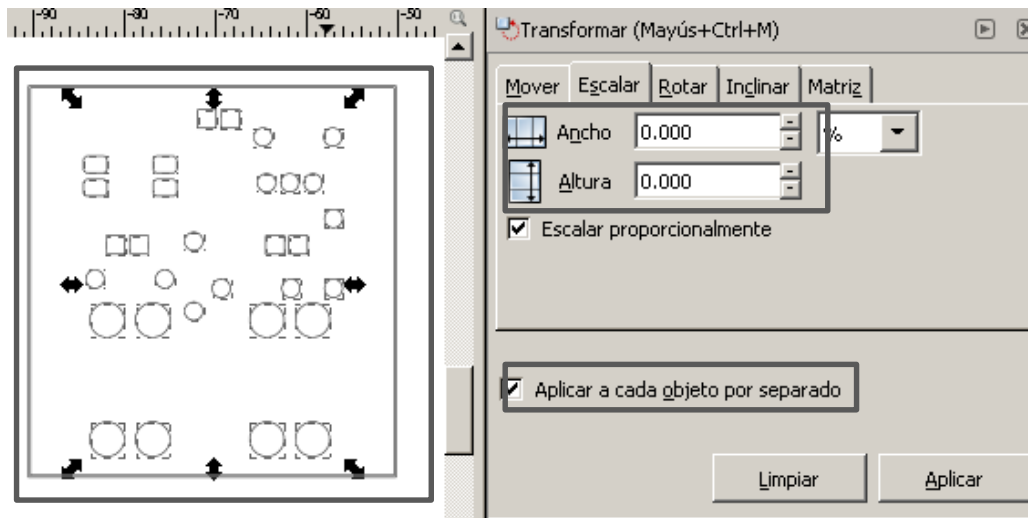
[Fuente: Autores]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.4.2.2 Eliminación de objetos sobrantes en la imagen de las perforaciones de la PCB

Esta imagen solo debe contener el contorno de los pads (que después se convertirán en puntos que representaran las perforaciones a realizar en la PCB), y el marco externo, por tal razón, se deben eliminar el contorno de los agujeros de las perforaciones y el marco interno. Primeramente se procede a eliminar el marco interno, para esto se sigue el mismo procedimiento de eliminación implementado en la imagen de las pistas, una vez completado, se procede eliminar el contorno de los agujeros, para ello se seleccionan en un recuadro los objetos que están dentro del marco interno, una vez seleccionados se da click en la pestaña “Trayecto” → “Unión”, con esto se logra que solo queden en la imagen el contorno de los pads, ahora estos contornos se deben convertir en puntos que indiquen las perforaciones de la PCB, para lograrlo, se deben tener seleccionado dichos contornos, después se debe dar click en la pestaña “Trayecto” → “Descombinar”, con esto se logra separar individualmente cada uno de los pads de la imagen, ahora con todos estos pads seleccionados, se da click en la pestaña “Objeto” → “Transformar” y en el panel que se abre, seleccionar la opción “Escalar”, y en los recuadros de “Ancho” y “Altura” se coloca un valor de “0.0” (esto con el fin de reducir el tamaño de cada uno de los pads convirtiéndolos en puntos), y antes de dar click en el botón de “Aplicar”, se activa la casilla de “Aplicar a cada objeto por separado”, para que una vez se realice la escalización, los pads conserven su posición de ubicación en el área de trabajo. Los parámetros mencionados se pueden observar en la Figura 71.


	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

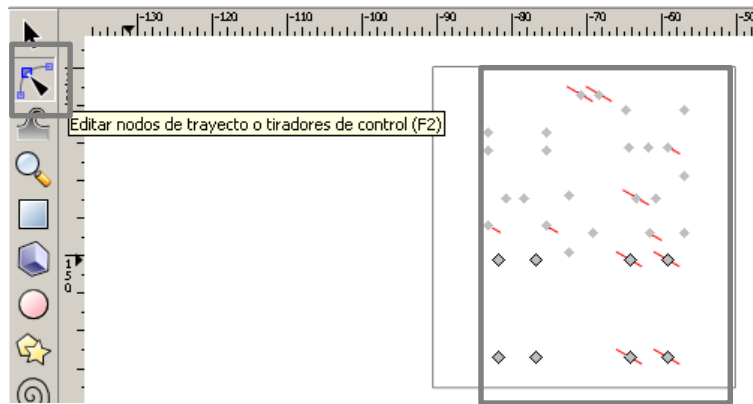


**Figura 71.** Configuración de parámetros para convertir los contornos de los Pads de la PCB en puntos

[Fuente: Autores]

Al dar click en aplicar, los pads se reducen a la medida de un punto, por tal razón no se alcanzan a observar en el área de trabajo, pero para confirmar que si están creados, se puede seleccionar la herramienta del panel izquierdo de Inkscape “Editar nodos de trayecto o tiradores de control” (tiene como símbolo una flecha con 3 vectores) y se crea un recuadro de selección dentro del marco externo de la imagen para poder visualizarlos (Figura 72), ahora solo queda faltando volver a combinar toda la imagen, similar a como se realizó con la imagen de las pistas, seleccionando la herramienta del panel izquierdo de Inkscape “Seleccionar y transformar objetos” (tiene como símbolo una flecha) y seleccionando en un recuadro el marco externo para que por defecto seleccione también los puntos creados, después se da click en la pestaña “Trayecto” → “Combinar”, y con esto se tendrán agrupados el marco externo y los puntos de la imagen de las perforaciones de la PCB.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27




**Figura 72.** Visualización de los puntos de las perforaciones de la PCB

[Fuente: Autores]

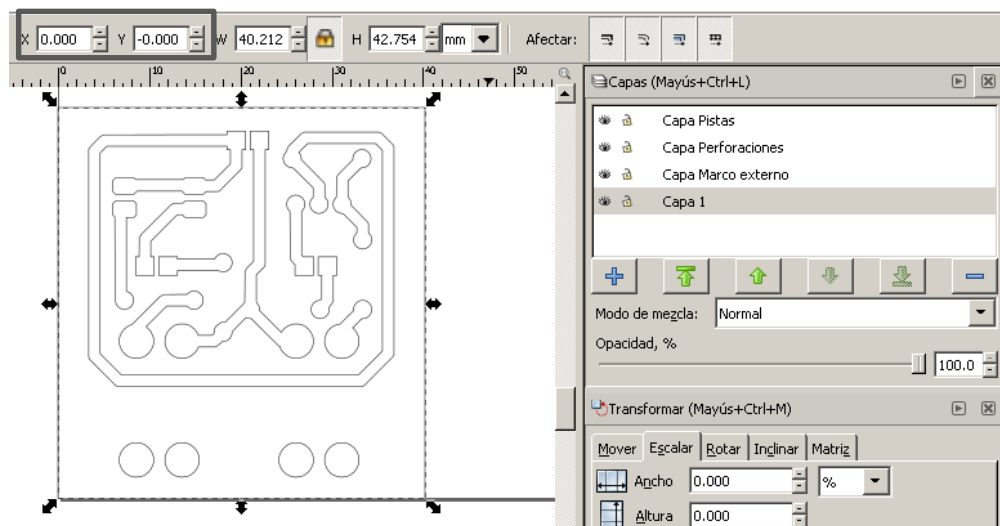
### 3.4.2.3 Creación de capas de contenido para cada proceso de fabricación de la PCB

Una vez se tienen listas las imágenes de las pistas y las perforaciones de la PCB, se deben separar por capas cada una de las operaciones a realizar en la fabricación de la PCB, para este caso se requieren realizar 3 procedimientos que son, primero el proceso de tallado de las pistas, segundo el proceso de perforación de la placa, y tercero el corte final del marco de la placa, por tal razón, se crearan 3 capas para contener cada una su respectivo proceso. Para crear las capas, se da click en la pestaña “Capa” → “Añadir capa” y se le asigna un nombre a la capa creada, primeramente se colocara el nombre de “Capa Perforaciones” y se da click en el botón “añadir”, después siguiendo el mismo procedimiento se crea otra capa con el nombre de “Capa Marco externo”, y por último se crea otra capa con el nombre de “Capa Pistas”, ahora para visualizar cada una de estas capas, haciendo click en la pestaña “Capa” → “Capas”, se visualizan cada una de las capas creadas. A cada una de estas capas se le añadirá su imagen correspondiente de acuerdo a los procesos de fabricación de la PCB, es decir, en la “Capa Pistas”, se añadirá la imagen que contenga con solo las pistas de la PCB, en la “Capa perforaciones”, solo se añadirán los puntos que corresponden a las

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

perforaciones de la PCB, y en la “Capa Marco externo”, únicamente se añadirá la imagen del marco externo para realizar el corte de la PCB.


Para realizar este proceso, se iniciara con la imagen que contiene tanto las pistas como el marco externo, seleccionando dicha imagen, lo primero que se debe hacer es ubicarla en las coordenadas de origen del área de trabajo del documento, esto se logra utilizando los 2 recuadros del panel superior de Inkscape (Figura 73) llamados “Coordenada horizontal de la selección” (X) y “Coordenada vertical de la selección” (Y), que definen las coordenadas de posición tanto horizontal como vertical para la imagen que se encuentre seleccionada. En ambos recuadros se colocará un valor de “0”, ubicando de esta manera la imagen en las coordenadas de origen del área de trabajo del documento.



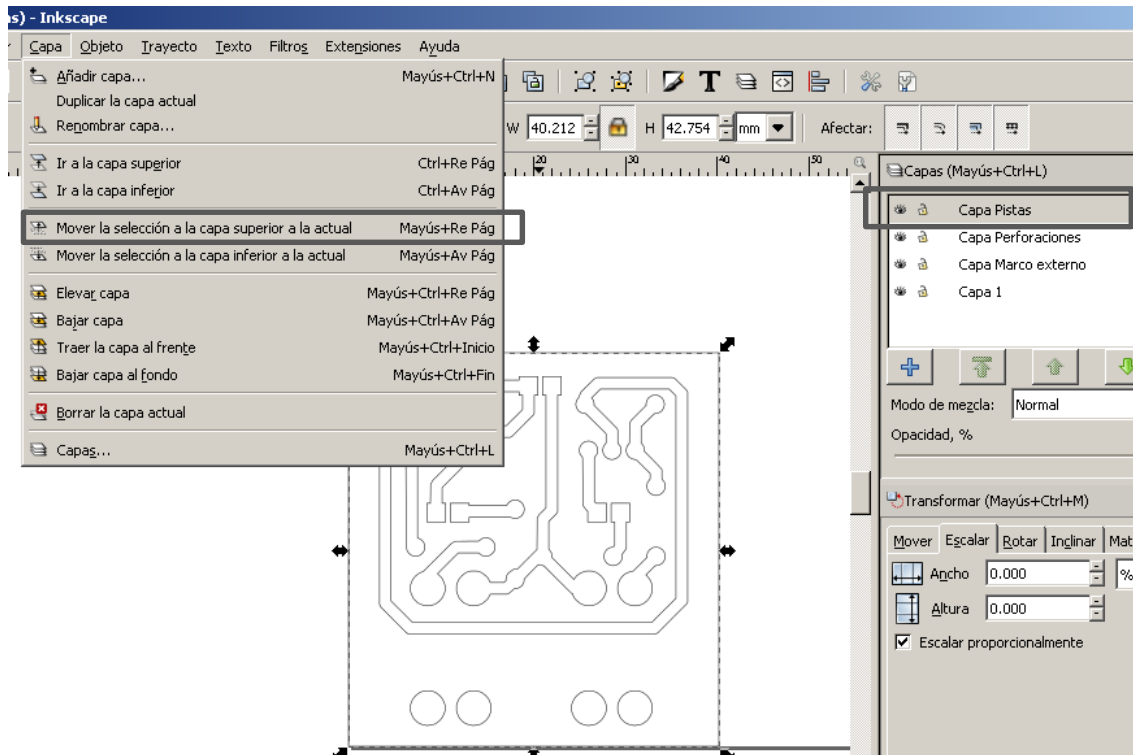
**Figura 73.** Recuadros para modificar las coordenadas de origen en el plano de trabajo X,  
Y

[Fuente: Autores]

Una vez ubicada la imagen de las pistas y el marco externo en las coordenadas de origen, se procede a llevarla hasta su capa correspondiente, para este caso se debe llevar a la “Capa Pistas”, ya que se encuentra ubicada por defecto en la “Capa 1”, para ello se selecciona la imagen y se da click en la pestaña “Capa” → “Mover la selección a la capa superior a la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


actual”, este procedimiento se realiza hasta que se observe que al seleccionar la imagen, se sombrea la “Capa Pistas” en panel derecho de Inkscape, tal como se muestra en la siguiente Figura 74.



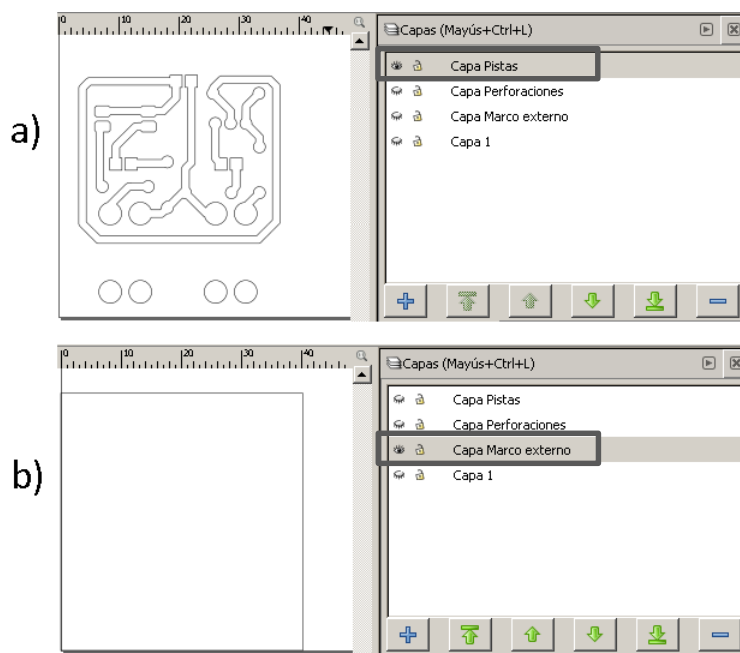
**Figura 74.** Proceso para desplazar las imágenes a su respectiva capa

[Fuente: Autores]

Una vez se tiene ubicada la imagen de las pistas y el marco externo en la “Capa Pistas”, se debe dejar únicamente el contorno de las pistas y se debe remover el marco externo. Se procede entonces a descombinar la imagen para separar de ella el marco externo y así poder mover este marco hasta su correspondiente capa llamada “Capa Marco externo”, para ello lo primero es seleccionar la imagen, después se da click en la pestaña “Trayecto” → “Descombinar”, luego se selecciona únicamente el marco externo haciendo click izquierdo sobre este, para proceder a moverlo hacia la “Capa Marco externo”, para esto se


	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

da click en la pestaña “Capa” → “Mover la selección a la capa inferior a la actual”, y este procedimiento se realiza hasta que se observe que al seleccionar la imagen del marco externo, se sombrea la “Capa Marco Externo” en el panel derecho. Realizados los pasos anteriores, y para comprobar que efectivamente las 2 imágenes están en su respectiva capa, se hace uso de la opción de visualización de cada capa (que tiene como símbolo un ojo, ubicado al lado izquierdo del nombre de cada capa), con la cual se pueden ocultar o mostrar todos los elementos que hay en cada capa. Para ello, primeramente se activará la opción de visualización solo para la “Capa Pistas” y se verifica que en su contenido solo se vean las pistas de la PCB, después se habilita la opción de visualización solo para la “Capa Marco externo” y se verifica que su contenido solo contenga el marco externo, tal como se observa en la Figura 75.



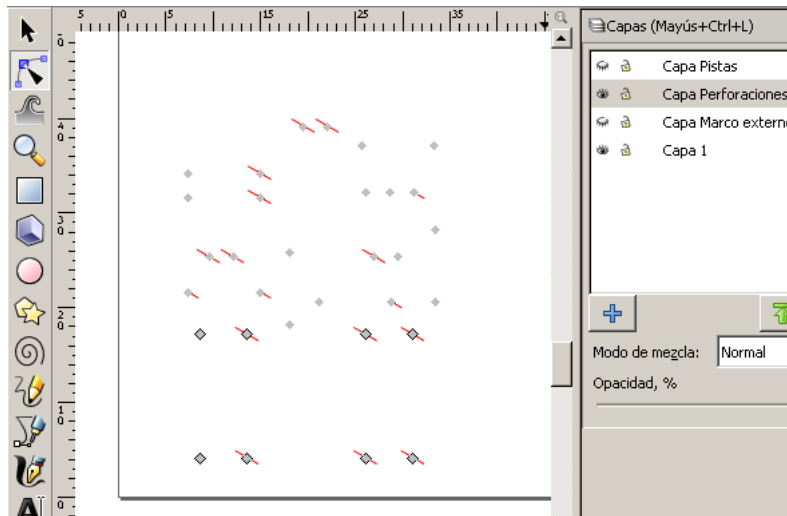
**Figura 75.** Visualización de objetos en las capas. a) Pistas de la PCB; b) Marco de la PCB

[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Una vez ubicadas las respectivas imágenes para la “Capa Pistas” y la “Capa Marco externo”, queda pendiente por ubicar la imagen con los puntos de las perforaciones de la PCB en la “Capa perforaciones”, para realizar esto, se deshabilita la visualización de las capas “Capa Pistas” y “Capa Marco externo”, y se habilita la visualización para la “Capa 1” y “Capa Perforaciones”, esto con el fin de ubicar más fácilmente los puntos de las perforaciones, ahora se selecciona la imagen de las perforaciones para llevarla a las coordenadas de origen del área de trabajo del documento, siguiendo el mismo procedimiento realizado al ubicar el origen en la imagen de las pistas, y copiando un valor de “0” en cada uno de los 2 recuadros de posición horizontal y vertical del documento, una vez se tenga la imagen ubicada en las coordenadas de origen, se procede a moverla a la “Capa Perforaciones”, dando click en la pestaña “Capa” → “Mover la selección a la capa superior a la actual”, y realizando este procedimiento hasta que se observe que al seleccionar la imagen, se sombree el nombre de la “Capa Perforaciones. Ahora, solo queda faltando por eliminar el marco externo de la imagen de las perforaciones, ya que en esta capa solo interesan los puntos que indican las perforaciones en la PCB, por tal razón, se tiene que descombinar la imagen y así poder eliminar el marco externo, entonces seleccionando la imagen de las perforaciones, se da click en la pestaña “Trayecto” → “Descombinar”, con esto el marco externo se separa de los puntos no visibles, y ahora para poder eliminarlo, como al realizar la operación “Descombinar”, quedaron seleccionados tanto el marco como los puntos no visibles, se debe hacer click en un espacio vacío del área de trabajo para que los puntos no queden seleccionados, y luego se selecciona con click izquierdo el marco externo para proceder a eliminarlo. En este punto solamente deben quedar los puntos de las perforaciones en la “Capa Perforaciones”, para verificar esto, se debe seleccionar todo lo que hay en esta capa, dando click en la pestaña “Edición” → “Seleccionar todo”, y luego se selecciona la herramienta del panel izquierdo de Inkscape “Editar nodos de trayecto o tiradores de control”, con lo cual se deben visualizar todos los puntos de las perforaciones de la PCB, tal como se muestra en la Figura 76.






**Figura 76.** Visualización de los puntos de la Capa Perforaciones

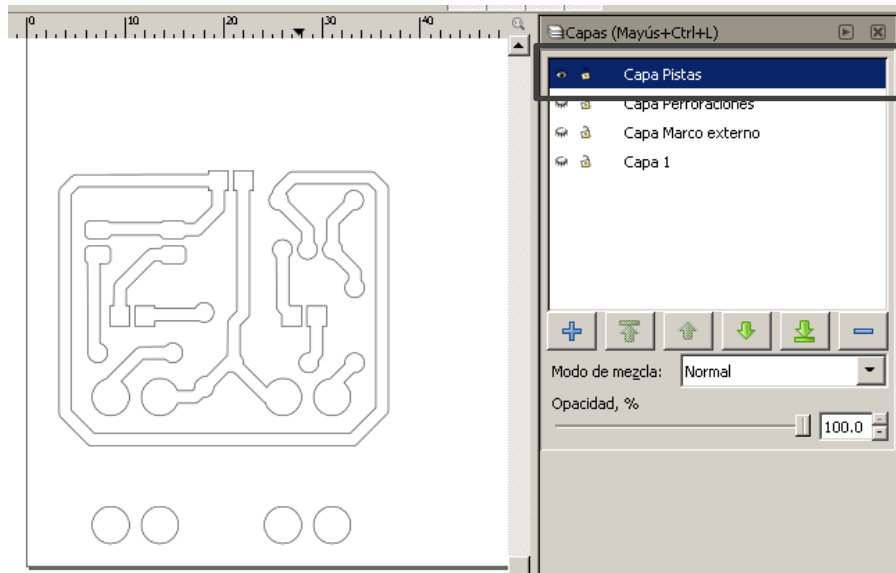
[Fuente: Autores]

En este punto, se tienen listas las 3 capas con sus respectivas imágenes para cada proceso de fabricación de la PCB, lo siguiente es seguir el procedimiento para generar el código G para cada una de las capas, comenzando con la “Capa Pistas”, después con la “Capa Perforaciones” y por último con la “Capa Marco externo”.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.4.2.4 Proceso de generación del código G para la “Capa Pistas”


Para comenzar a realizar el proceso de generación del código G desde la “Capa Pistas”, lo primero que se debe realizar es ocultar las demás capas y solamente dejar habilitada la visualización para la “Capa Pistas”, además dicha capa debe estar seleccionada en el panel lateral derecho de Inkscape, tal como se presenta en la Figura 77.



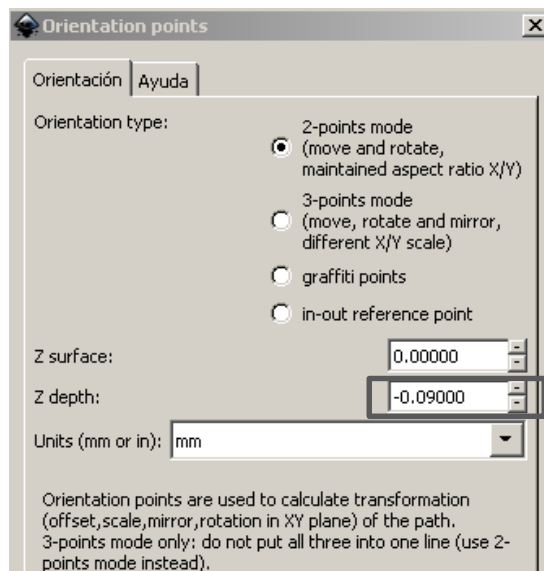
**Figura 77.** Selección de la “Capa Pistas” desde el panel lateral derecho

[Fuente: Autores]

Luego, el siguiente paso es definir el valor de profundidad de corte (Z Depth), que es la distancia que ingresara la herramienta de corte (al realizar el tallado de las pistas) sobre la cara de cobre de la placa en la que se fabricara la PCB. Esta distancia se define de acuerdo al espesor de la capa de cobre de la placa, que por lo general es de 35 micras, pero como la superficie de cobre es a veces muy irregular, lo ideal es definir un valor de profundidad de corte superior, que para tallados es recomendable que sea 90 o 80 micras (valor que se halló al realizar pruebas de corte, presentadas en la Tabla 13 al final de este proyecto), además este valor debe indicarse con signo negativo, ya que es una distancia que ingresa la herramienta de corte sobre el material, expresando entonces este valor en unidades milimétricas será “-0.09mm”. Ahora en el software Inkscape se debe realizar el siguiente

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


procedimiento para ingresar el valor de profundidad de corte definido, primero se debe dar click a la pestaña “Extensiones” → “Gcodetools” → “Orientation Points”, una vez se abre la ventana, se coloca en el recuadro “Z depth” un valor de “-0.09”, para indicar que este será el valor de profundidad de corte, en el recuadro “Z surface”, se coloca un valor de “0”, para no hacer uso de esta opción, ya que esta se utiliza en otras aplicaciones en las que se requiere definir unas coordenadas de origen distintas para el eje Z, por último se verifica que las unidades estén en milímetros, y se procede dando click en el botón aplicar y cerrando la ventana. Las configuraciones de los parámetros mencionados se pueden observar en la Figura 78.



**Figura 78.** Configuración de parámetros para definir profundidad de corte

[Fuente: Autores]


Se crean entonces unas coordenadas de origen en el área de trabajo para la imagen de las pistas, que indican que el origen o posición  $X(0)$ ,  $Y(0)$ ,  $Z(0)$ , de dicha imagen, está ubicado en la esquina inferior izquierda del área de trabajo. Ahora, se procede a definir el tipo de herramienta de corte que se utilizara para realizar el tallado de las pistas. Para ello se debe dar click en la pestaña “Extensiones” → “Gcodetools” → “Tools library”, en la ventana se escoge la opción “cone”, ya que es la geometría de herramienta que más se asemeja a la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

fresa en V que se utiliza para tallar la PCB, se da click en el botón “Aplicar” y se cierra la ventana. Se crea entonces una tabla que indica los parámetros configurables para la herramienta de corte seleccionada (Figura 79), esta tabla se puede seleccionar y mover a un espacio vacío del área de trabajo, en caso tal de que haya sido generada sobre las pistas de la PCB, para modificar los parámetros, se debe seleccionar la herramienta del panel izquierdo de Inkscape “Crear y editar objetos de texto” (símbolo de la letra A) y se debe hacer click sobre el valor numérico que se desee modificar. A continuación, se presenta una descripción de los parámetros configurables para una herramienta de corte tipo Fresa en V de 45º y diámetro de punta de 0.2mm.

Parámetro	Valor	Descripción
<b>Diameter</b>	0.2	Corresponde al valor de diámetro de punta en mm de la fresa en V.
<b>Feed</b>	130	Velocidad de avance en mm/min para los ejes de control X, Y. El valor de 130mm/min se halló realizando pruebas de corte, indicadas en la Tabla 13 de pruebas realizadas, y presentada al final de este proyecto.
<b>Penetration Feed</b>	70	Velocidad de avance en mm/min para el eje de control Z. Esta velocidad es inferior a la definida para los ejes de control X, Y, esto se debe a que la fresa que se utiliza para realizar el tallado, tiene una punta muy fina y afilada que puede despucarse fácilmente si se utiliza a una velocidad de avance superior a 75mm/min.
<b>Depth Step</b>	1	Se refiere a la máxima profundidad de corte en mm que ingresara la herramienta de corte en el material por cada paso o escalón hasta alcanzar la profundidad de corte definida en Z depth. Para este caso se colocó un valor superior al definido en Z depth, esto con el fin de que el proceso de tallado sea realizado en un solo escalón.

**Tabla 8.** Configuración de parámetros para la herramienta de corte que realiza el tallado de las pistas de la PCB  
[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

<b>name</b>	<b>Cone cutter</b>
id	Cone cutter 0001
diameter	0.2
feed	130
shape	w
penetration feed	70
depth step	1
tool change gcode	(None)

**Figura 79.** Configuración de parámetros de la herramienta de corte seleccionada para el proceso de tallado de las pistas de la PCB.


[Fuente: Autores]

Como procedimiento final para poder exportar el código G que contendrá el tallado de las pistas de la PCB, se deben seleccionar todos los elementos que hay en la “Capa pistas”, dando click en la pestaña “Edición” → “Seleccionar todo”, una vez este todo seleccionado, se da click en la pestaña “Extensiones” → “Gcodetools” → “Path to Gcode” y se realiza la siguiente configuración de parámetros (Figura 80), iniciando en la pestaña “Preferences” en la cual se tienen los siguientes recuadros:

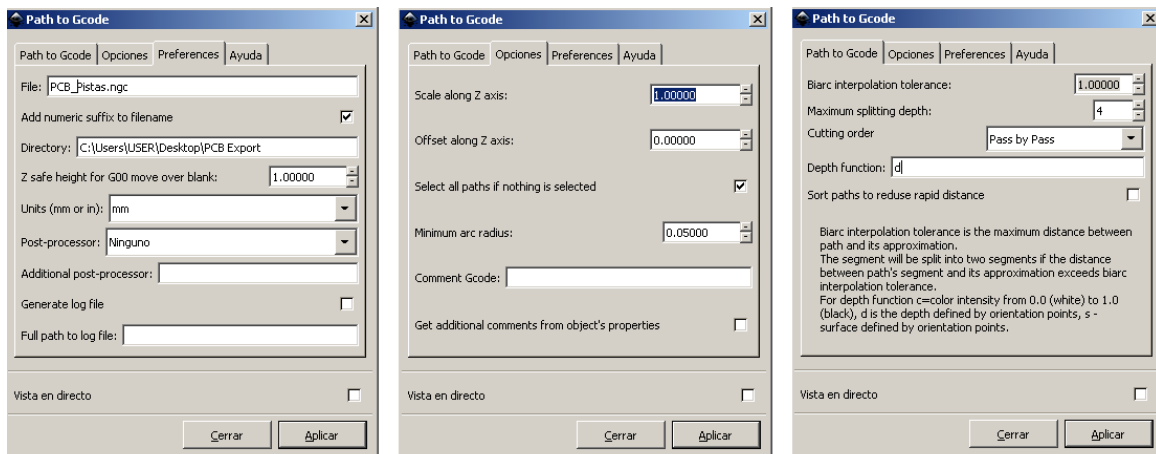
Parámetro	Valor	Descripción
<b>File</b>	PCB_Pistas.ngc	Se ingresa el nombre del archivo a exportar.
<b>Directory</b>	C:\Users\USER\Desktop\PCB\Export	Se define la ruta de salida del archivo a exportar.
<b>Z safe height for G00 move over:</b>	1.0	Se ingresa el valor de altura segura en mm para el eje de control Z. Esta será la altura a la cual subirá la herramienta de corte antes de realizar algún movimiento rápido o al desplazarse hacia alguna posición de corte.

**Tabla 9.** Configuración de parámetros en la pestaña “Preferences” de la ventana “Path to Gcode”

[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Después se pasa a la pestaña “Opciones” y se verifica que todos los valores estén en cero. Por último, se selecciona la pestaña “Path to Gcode” y aquí se da click en el botón “Aplicar”, con lo cual se generará el código G que contendrá las instrucciones necesarias para realizar el tallado de las pistas de la PCB.




**Figura 80.** Configuración final de parámetros para exportar el archivo con el código G

[Fuente: Autores]

### 3.4.2.5 Proceso de generación del código G para la “Capa Perforaciones”

El proceso para generar el código G para la “Capa Perforaciones”, es muy similar al procedimiento realizado para la “Capa Pistas”, lo primero es ocultar las demás capas y solamente habilitar la visualización de la “Capa Perforaciones”, después se debe verificar que dicha capa este seleccionada en el panel lateral de Inkscape para poder trabajar en ella, luego se debe definir la profundidad de corte (Z depth), teniendo en cuenta para esto el espesor de la placa que se va a perforar, además, el valor de Z depth debe ser un poco mayor al espesor de la placa, esto con el fin de que la broca utilizada para realizar la perforación, perfore totalmente ambas caras de la placa. El espesor de la placa a utilizar es de 1.6mm, por tal razón, se define un valor de Z depth de “-2mm”, el cual se halló al realizar pruebas de perforación, las cuales se presentan en la Tabla 13 al final de este proyecto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Para definir entonces el valor de Z depth, se da click en la pestaña “Extensiones” → “Gcodetools” → “Orientation Points”, en el recuadro “Z depth” se coloca un valor de “-2.0”, y en “Z surface” un valor de “0”, después se procede dando click en el botón “Aplicar” y se cierra la ventana.


El siguiente paso es definirle los parámetros a la herramienta de corte a implementar, que para este caso será una broca de 0.9mm de diámetro. Para ello se debe dar click en la pestaña “Extensiones” → “Gcodetools” → “Tools library”, y se escoge la opción “cylinder” (por ser la geometría utilizada para configurar brocas), y se da click en el botón “Aplicar”. Con esto se crea la tabla con los parámetros configurables para la herramienta de corte, la cual se rellena de la siguiente manera:

Parámetro	Valor	Descripción
<b>Diameter</b>	0.9	Corresponde al valor del diámetro en mm de la broca.
<b>Feed</b>	400	Se seleccionó este valor tan alto de 400mm/min ya que es una velocidad de avance para realizar únicamente desplazamientos rápidos, es decir, no se realizarán operaciones de cortes ni tallados, solo perforaciones.
<b>Penetration Feed</b>	90	Se seleccionó este valor para que la broca perfora la placa a una velocidad de avance de 90mm/min.
<b>Depth Step</b>	2.1	Se colocó un valor superior al definido en Z depth, con el fin de que la perforación se realice en un solo escalón.

**Tabla 10.** Configuración de parámetros para la herramienta de corte que realiza las perforaciones de la PCB

[Fuente: Autores]

Ahora como procedimiento final para exportar el código G que contiene las instrucciones para realizar las perforaciones de la PCB, se deben seleccionar todos los puntos que hay en la “Capa Perforaciones”, dando click en la pestaña “Edición” → “Seleccionar todo”, una vez este todo seleccionado (para verificar que estén seleccionados los puntos, se puede utilizar


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

la herramienta “Editar nodos de trayecto o tiradores de control” del panel lateral de Inkscape), se debe dar click en la pestaña “Extensiones” → “Gcodetools” → “Path to Gcode”, y en la pestaña “Preferences” se coloca el nombre del archivo en el recuadro “File”: “PCB\_Perforaciones.ngc”, el resto de parámetros se dejan igual a como se realizó con la “Capa Pistas”, y por último se da click en la pestaña “Path to Gcode” y click en el botón “Aplicar”, con lo cual se genera el código G para realizar las perforaciones de la PCB.

#### 3.4.2.6 Proceso de generación del código G para la “Capa Marco externo”

Tal como se realizó para los 2 procesos de generación de código G anteriores, se debe seguir el mismo procedimiento para generar el código G para la “Capa Marco externo”, primero se ocultan las demás capas, habilitando únicamente la visualización para la “Capa Marco externo”, y seleccionando esta capa en el panel lateral. Luego se debe definir el valor de profundidad de corte, y como la operación a realizar es el corte de la PCB, dicho valor de profundidad debe ser un poco mayor al espesor de la placa, para asegurar que el corte se realice correctamente, como el espesor de la placa es de 1.60mm, se coloca un valor de “Z depth” de “-1.65mm”, valor que fue hallado al realiza pruebas de corte, las cuales se presentan la Tabla 13 al final de este proyecto. Se selecciona entonces la pestaña “Extensiones” → “Gcodetools” → “Orientation Points”, en el recuadro “Z depth” se coloca “-1.65”, y se da click en el botón “Aplicar”. Ahora se debe definir el tipo de herramienta de corte que se utilizara para realizar el corte de la PCB, para ello se debe dar click en la pestaña “Extensiones” → “Gcodetools” → “Tools library”, aquí se escoge la opción “cone” que corresponde a la geometría de una fresa en V, y se da click en el botón “Aplicar”. Se crea entonces la tabla con los parámetros configurables para la herramienta de corte, la cual se rellena de la siguiente manera:




 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Parámetro	Valor	Descripción
<b>Diameter</b>	0.2	Corresponde al diámetro de punta de la fresa en V
<b>Feed</b>	100	Se seleccionó este valor de 100mm/min, ya que es una velocidad de avance para realizar cortes en la placa, y fue hallado de acuerdo a pruebas de corte realizadas y presentadas en la Tabla 13 al final de este proyecto.
<b>Penetration Feed</b>	70	Se seleccionó este valor de 70mm/min para evitar que la fresa se despique.
<b>Depth Step</b>	0.825	Se colocó este valor de 0.825mm, para que el corte de la PCB se realice en 2 pasadas y así completar el valor de "Z depth" de "-1.65mm".

**Tabla 11.** Configuración de parámetros para la herramienta de corte que realizara el corte de la PCB

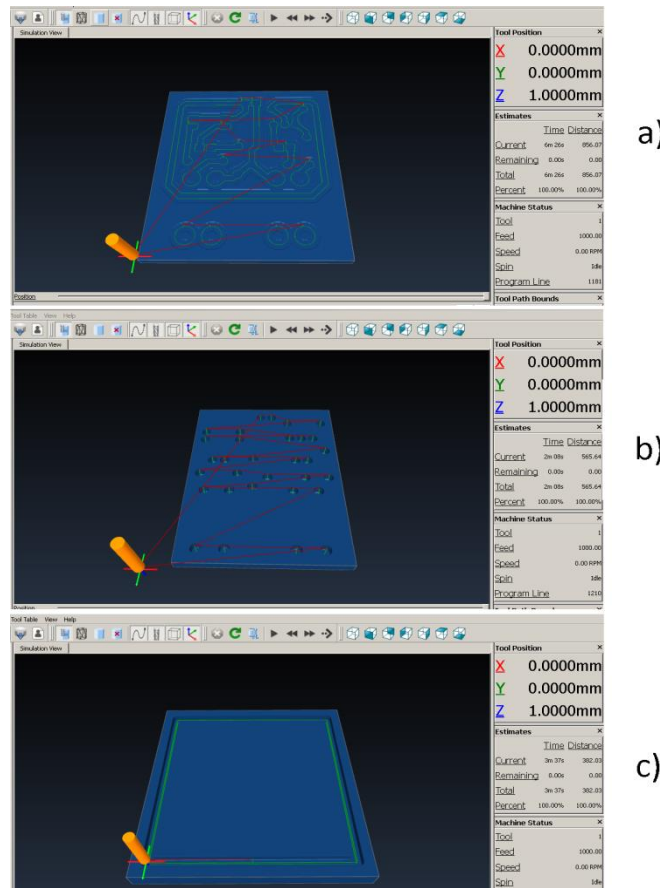
[Fuente: Autores]

Como procedimiento final para exportar el código G que contendrá las instrucciones para realizar el corte de la placa de la PCB, se debe seleccionar el marco externo de la "Capa Marco externo", para ello se hace click en la pestaña "Edición" → "Seleccionar todo", después se selecciona la pestaña "Extensiones" → "Gcodetools" → "Path to Gcode" y en la pestaña "Preferences", se coloca el nombre del archivo en el recuadro "File": "PCB\_Marco Externo.ngc", el resto de parámetros se dejan igual a como se realizó con la "Capa Pistas", por último se hace click en la pestaña "Path to Gcode" y aquí se hace click en el botón "Aplicar", generado así el código G para realizar el corte de la PCB.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.4.3 Simulación de los procesos de fabricación de la PCB desde un software CAM


Una vez generados los 3 archivos de extensión ngc, los cuales contienen cada uno sus respectivas instrucciones o códigos G que se implementaran para la fabricación de la PCB realizando los procesos de tallado, perforación y corte de la placa, se realizara la simulación de cada uno de estos procesos, importando cada uno de estos archivos en el software de simulación CAM “Camotics”. Esto se realiza con el fin de verificar que las rutas de mecanizado definidas en el código G, se ejecuten correctamente y en caso contrario, se puedan realizar las correcciones pertinentes antes de ser ejecutadas por la ruteadora CNC. Se abre entonces el software Camotics y se importan de forma individual cada uno de los archivos de extensión ngc, primero se importa el archivo generado para realizar el tallado de las Pistas, y se verifica su correcta ejecución, después se importa el archivo generado para realizar las perforaciones, y se verifica su correcto funcionamiento, por último se importa el archivo generado para realizar el corte del marco de la placa, y nuevamente se verifica su correcto funcionamiento. A continuación, se presenta la Figura 81, en la cual se pueden observar cada uno de las simulaciones realizadas para los procesos de tallado, perforado y corte de la PCB.



**Figura 81.** Simulación de los procesos de fabricación de la PCB. a) Tallado de las Pistas; b) Perforaciones; c) Corte de la placa

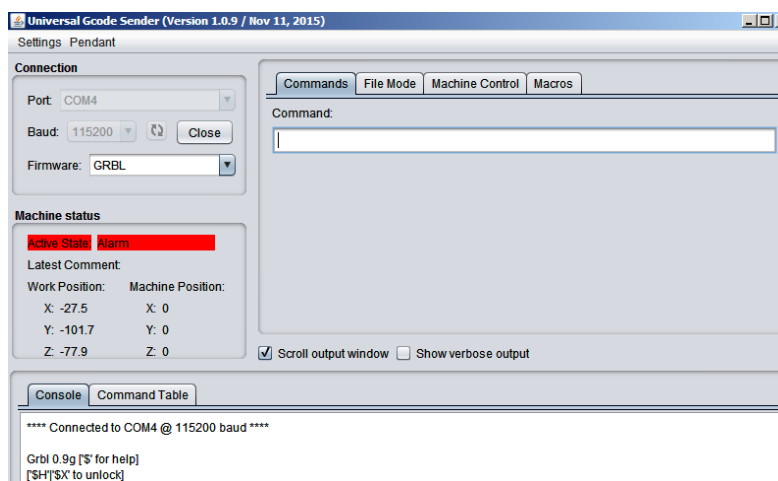
[Fuente: Autores]

Una vez se ha verificado en la simulación la correcta ejecución de cada uno de los archivos que contienen el código G para la fabricación de la PCB, se puede proceder a realizar la importación de cada uno de estos archivos en el software de control “Universal Gcode Sender”, para que la ruteadora CNC los ejecute y realice la fabricación de la PCB.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


### 3.4.4 Importación del código G en el software de control "Universal Gcode sender"

Para utilizar este software, primero se deben ingresar los datos correspondientes para cada uno de los parámetros visualizados en la ventana principal, con lo cual se logrará establecer una comunicación entre el software y el hardware de control para poder manipular la ruteadora CNC. Dichos parámetros deben configurarse de la siguiente manera, para el parámetro "Port", se debe seleccionar el puerto COM en el que está conectado el Arduino UNO, que por lo general suele ser el puerto "COM4". La velocidad de transmisión de datos o "Baud", se debe configurar a un valor de "115200", ya que el firmware utilizado en el Arduino viene configurado para trabajar a dicha velocidad. Por último, se debe seleccionar el firmware utilizado en el Arduino UNO, que es "GRBL". Una vez completada dicha configuración, se procede a establecer la comunicación entre el software y el hardware de control, para ello se da click en el botón "Open", con lo cual el software comienza a establecer la comunicación con el hardware de control y esto se va indicando en la consola de comandos del mismo software. Una vez se establece la comunicación, el software inicia en estado de "Alarma activada" tal como se muestra en la Figura 82, por lo que antes de poder manipular la CNC con este software, se debe resetear primero dicha alarma.

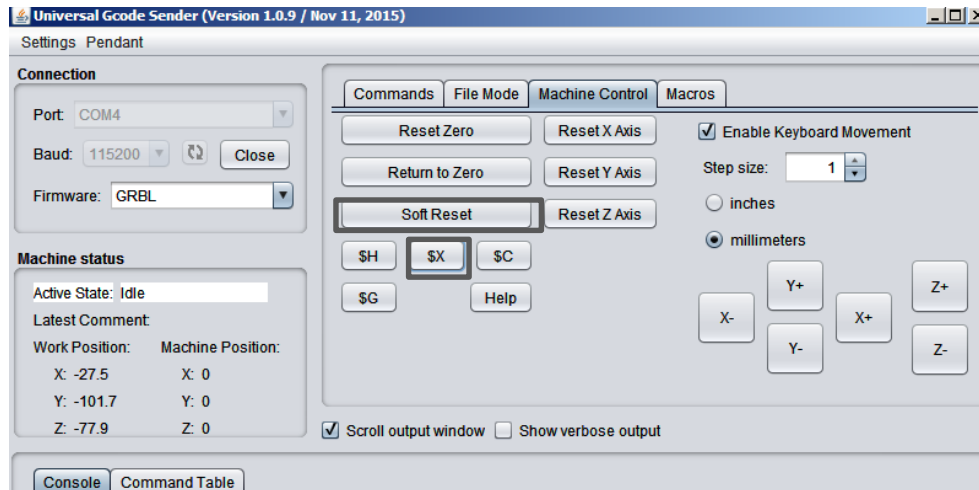


**Figura 82.** Comunicación establecida entre software y hardware de control

[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


Para resetear la alarma, se debe seleccionar la pestaña “Machine Control”, y aquí se hace click en el botón “Soft Reset”, con lo cual se ejecuta un reset general del software, y después se hace click en el botón con el símbolo “\$X”, el cual desactiva todas las alarmas que se presenten, estos botones se pueden visualizar a continuación en la Figura 83.



**Figura 83.** Botones que desactivan las alarmas en el software de control


[Fuente: Autores]

Una vez realizados los pasos anteriores, se puede manipular la ruteadora CNC tanto de forma manual como automática. Para el modo manual, se puede utilizar el panel de control del software y también el teclado del computador (siempre y cuando esté habilitada la opción “Enable Keyboard Movement”), con la siguiente configuración de teclas:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

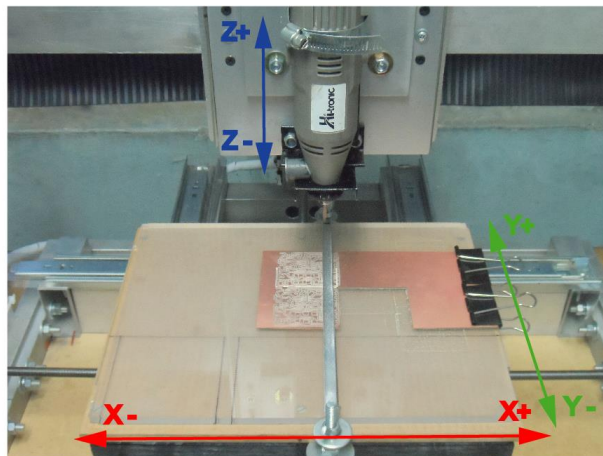
TECLADO	PANEL DEL SOFTWARE	DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO
↑: Flecha hacia arriba	Y+	Desplazamiento positivo en el eje de control Y
↓: Flecha hacia abajo	Y-	Desplazamiento negativo en el eje de control Y
→: Flecha hacia la derecha	X+	Desplazamiento positivo en el eje de control X
←: Flecha hacia la izquierda	X-	Desplazamiento negativo en el eje de control X
Re Pg	Z+	Desplazamiento positivo (Ascendente) en el eje de control Z
Av Pág	Z-	Desplazamiento negativo (Descendente) en el eje de control Z

**Tabla 12.** Configuración de las teclas para el control manual de la ruteadora CNC  
 [Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.4.5 Disposición de la placa virgen en la mesa de trabajo de la ruteadora CNC y ejecución de los códigos G


El siguiente paso a realizar, es ubicar la placa virgen de cobre sobre la mesa de trabajo de la ruteadora CNC, una vez se ha fijado la placa a la mesa con la ayuda de los elementos de sujeción, se procede a definir para cada uno de los ejes de control X, Y, Z, las coordenadas de origen a partir de las cuales se comenzaran a realizar los procesos de fabricación de la PCB, para ello se deben desplazar de forma manual e individual, cada uno de los ejes de control, llevando la herramienta de corte a la posición de origen de la placa virgen, desde la cual se comenzaran a realizar las operaciones. A continuación, se presenta la Figura 84, en la cual se pueden observar la disposición de cada uno de los ejes de control de la ruteadora CNC desarrollada en este proyecto.



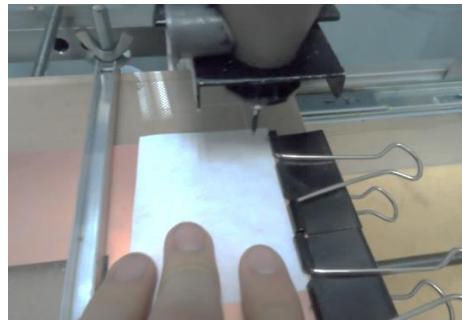
**Figura 84.** Ejes de control de la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]

Para ubicar las coordenadas de origen del eje de control Z, se puede utilizar una hoja de papel que se ubica sobre la cara de cobre de la placa virgen (Figura 85), dicha hoja se debe mover con la ayuda de los dedos de un lado al otro a medida que la herramienta de corte vaya descendiendo lentamente y de forma manual (con un desplazamiento negativo en el eje de control Z) hacia donde se encuentra la hoja, esto se realiza hasta que la punta de la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

herramienta de corte haga contacto con la hoja de papel (motivo por el cual el desplazamiento en Z debe ser lento, para evitar que la fresa o broca se despique) y detenga su movimiento, es en este punto que se debe definir la coordenada de origen o posición 0 para el eje de control Z.

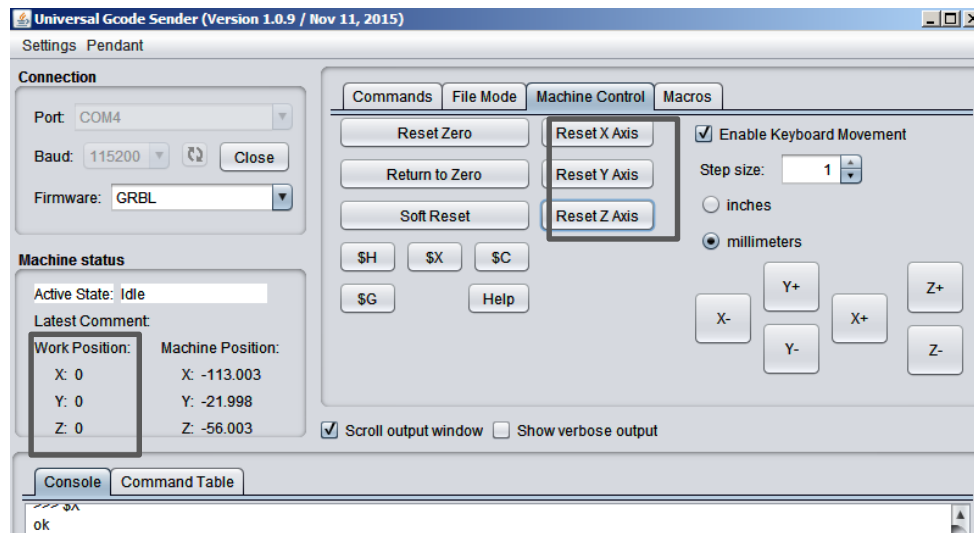


**Figura 85.** Uso de una hoja de papel para definir la coordenada de origen en el eje de control Z

[Fuente: Autores]

Una vez ubicada correctamente la herramienta de corte en las coordenadas de origen definidas, se debe resetear la posición o coordenada de trabajo para cada uno de los ejes de control a través del panel de operación del software, haciendo click sobre los botones “Reset X Axis”, “Reset Y Axis” y “Reset Z Axis” (Figura 86), con lo cual se establecen las coordenadas de origen de trabajo, desde las cuales parten los archivos con códigos G a realizar los movimientos requeridos para la fabricación de la PCB.




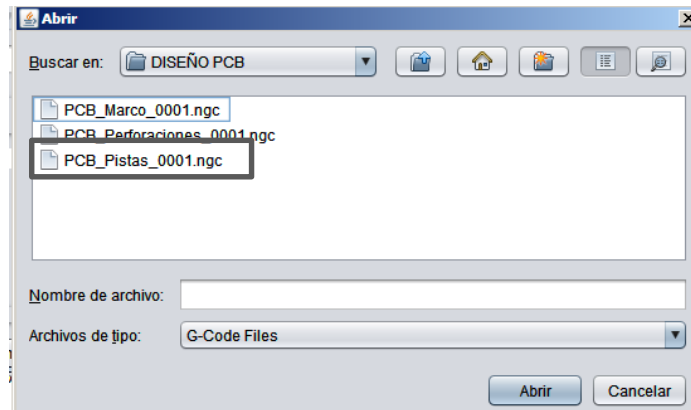


**Figura 86.** Reset de los ejes de control X, Y, Z para definir sus coordenadas de origen

[Fuente: Autores]

Después de haber definido correctamente las coordenadas de origen para cada uno de los ejes de control, el siguiente paso es realizar la importación del archivo que contiene el código G con el proceso que se desea realizar, que para este caso se iniciara con el proceso de tallado de las pistas de la PCB, para ello en el software de control se debe seleccionar la pestaña “File Mode” → “Browse”, y en la ventana que se abre, se debe buscar y seleccionar el archivo que contiene el código G con el proceso del tallado de las pistas de la PCB, que se nombró desde Inkscape como “PCB\_Pistas.ngc” tal como se observa en la Figura 87.

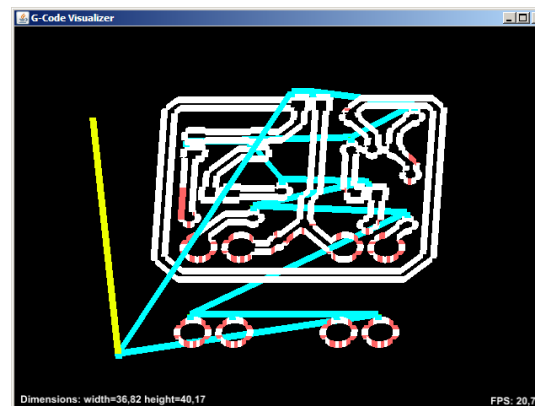
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



**Figura 87.** Importación del archivo con el código G para proceso de tallado de las pistas de la PCB


[Fuente: Autores]

Una vez se realiza la importación del archivo con el código G, se procede a encender de forma manual el motortool y se ajusta el variador de velocidad a una velocidad de giro de 25500rpm, luego en el panel del software se debe dar click en el botón “Send”, con lo cual iniciara el proceso de tallado de la PCB. Como dato adicional, si se da click en el botón “Visualize” se puede visualizar en tiempo real (Figura 88) el proceso que está ejecutando la ruteadora CNC.



**Figura 88.** Visualización desde UGS, el proceso de tallado de las pistas en la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Una vez finalizado el proceso de tallado de la PCB, se procede a apagar el motortool de forma manual y se realiza un cambio de herramienta para lo cual se coloca la broca de 0.9mm que corresponde al proceso de perforación de la PCB. Los pasos a seguir para realizar las perforaciones de la PCB, se realizan siguiendo los mismos lineamientos especificados para el proceso de tallado de la PCB, como se realizó un cambio de herramienta, esto significa que se debe volver a actualizar la coordenada de origen para el eje de control Z, ya que la altura de la broca es distinta a la de la fresa, esto se realiza de la misma forma a como se explicó con la fresa. Las coordenadas de los ejes de control X, Y, no se deben modificar ya que son las mismas para ambas herramientas. Una vez actualizada las coordenadas de origen del eje de control, se procede a importar el archivo que contiene el código G con el proceso de perforado de la PCB, se enciende nuevamente el motortool y se da click en el botón "Send" para iniciar el proceso de perforación de la placa. Finalizado este proceso, se realice nuevamente el cambio de herramienta, para colocar la fresa de corte que realizara en corte del marco de la PCB, y a partir de este punto, se deben seguir los mismos pasos mencionados para los procesos anteriores escogiendo el archivo correspondiente para realizar el proceso de corte de la placa, y una vez completado este proceso, se obtendrá la PCB diseñada y desarrollada para este proyecto con la cual se logra validar el correcto funcionamiento de la ruteadora CNC en la fabricación de tarjetas de circuito impreso de una capa.

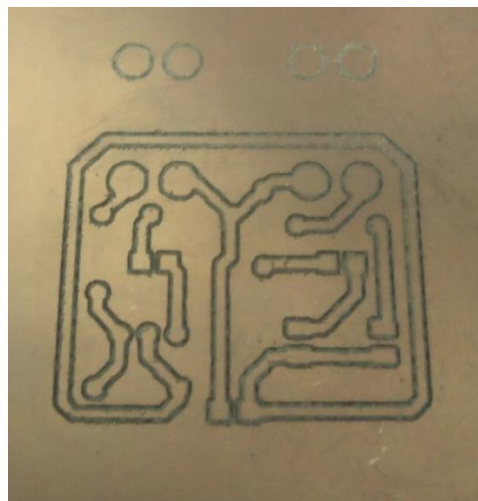
A continuación se pueden observar cada uno los procesos de tallado de pistas (Figura 89), perforaciones (Figura 91) y corte del marco (Figura 93), requeridos en la fabricación de PCB's, utilizando la ruteadora CNC desarrollada en este proyecto.

- Imágenes del proceso de tallado para la fabricación de las pistas (Figura 90):



**Figura 89.** Proceso de tallado de las pistas para la PCB a través de la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]



**Figura 90.** Pistas de la PCB

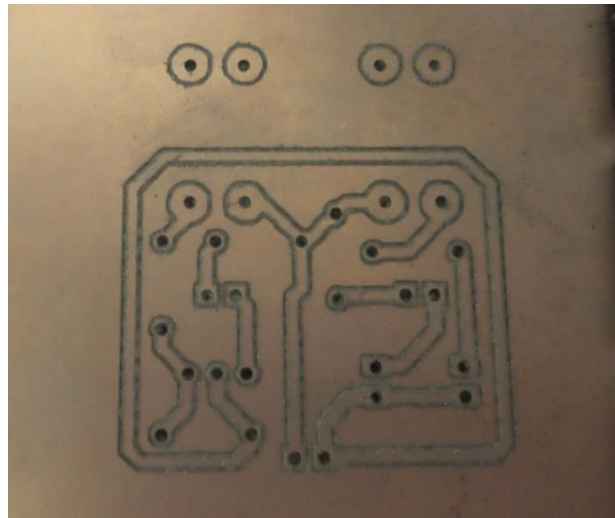
[Fuente: Autores]

- Imágenes del proceso de fabricación de las perforaciones (Figura 92):



**Figura 91.** Proceso de perforación para la PCB a través de la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]



**Figura 92.** Perforaciones de la PCB

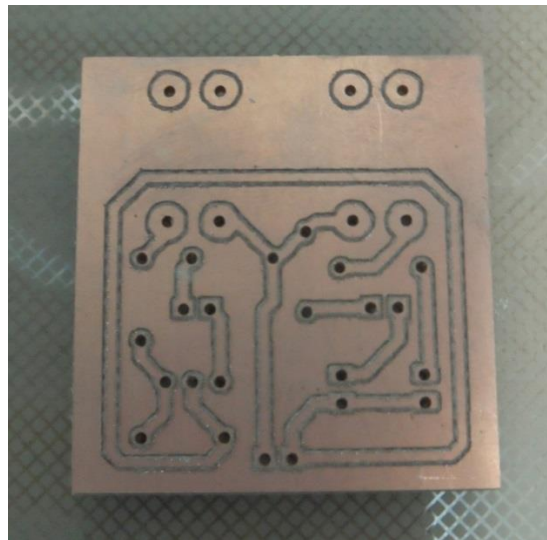
[Fuente: Autores]

- Imágenes del proceso final de corte de la PCB (Figura 94)




**Figura 93.** Proceso de corte para la PCB a través de la ruteadora CNC

[Fuente: Autores]



**Figura 94.** Corte de la PCB

[Fuente: Autores]

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

En el proceso de verificación de la ruteadora CNC en la elaboración de prototipos de circuitos impresos de una capa, se realizó una tabla de registros en excel, en la cual se incluyen cada uno de los procesos requeridos en la fabricación de las PCB's. Para cada proceso se realizaron diferentes pruebas, modificando los valores de los parámetros que influyen en el comportamiento de la CNC y que determinan una buena o mala calidad en el proceso fabricación de PCB's, esto se realizó con el fin de anexar una tabla de datos con los valores más óptimos para cada uno de los parámetros de los 3 procesos de tallado de pistas, perforado y corte de PCB.

El proceso para determinar cuáles fueron los valores más óptimos se realizó a partir de definir una escala de puntuación de 0 a 5 la cual define la calidad final de la PCB fabricada, para cada uno de los valores de este rango se especifica una descripción y posibles causas, la cual se presenta a continuación:

<b>CALIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>POSIBLES CAUSAS</b>
0	No realizo ningún corte o la máquina trabaja muy forzada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Despico la fresa en el proceso</li> <li>- Velocidad de avance muy lenta</li> <li>- Mala configuración de parámetros de avance y profundidad de corte</li> </ul>
1	Pésima calidad, cortes muy irregulares, poca precisión, mucha viruta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desnivel en la mesa de trabajo</li> <li>- Valor de Profundidad de corte muy bajo (si se obtienen cortes irregulares) o muy alto (si se obtienen cortes con mucha viruta).</li> <li>- Velocidad de avance muy alta</li> </ul>
2	Cortes muy irregulares, mucha viruta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de Profundidad de corte muy bajo (si se obtienen cortes irregulares) o muy alto (si se obtienen cortes con mucha viruta).</li> <li>- Velocidad de avance muy alta</li> </ul>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3	Se realizan la mayoría de los cortes, pero con algo de viruta	- Valor de Profundidad de corte muy alto.
4	Se realizan todos los cortes, pero queda con algo de viruta	- La Fresa esta nueva o esta despificada (las fresas amelladas o que llevan tiempo de uso, trabajan mucho mejor que las nuevas) - Valor de Profundidad de corte muy alto.
5	Se realiza el corte perfectamente y sin viruta	Los valores asignados a los parámetros son óptimos. Este será el punto de referencia para variar los parámetros de Feed y Penetration Feed y así aumentar la rapidez del corte
Parámetros utilizados: Feed (mm/min): Avance de los ejes X, Y Depth Step (mm): Profundidad para cada paso de corte Z Depth (-mm): Profundidad de corte Penetration Feed (mm/min): conocido también como plunge. es el avance en el eje Z		


A continuación, se presenta la Figura 95 en la cual se detallan los diferentes valores de prueba para los parámetros utilizados en el proceso de perforado de PCB's:

Nº	Tipo de operación	Herramienta de corte		Vel. Motortool (rpm)	Feed (mm/min)	Z Depth (-mm)	Depth Step (mm)	Penetration Feed (mm/min)	Calidad (0 a 5)
21	Perforado	Broca	0,9mm	26250	140	-2	x	140	3
24	Perforado	Broca	0,9mm	26250	100	-2	x	100	4
26	Perforado	Broca	0,7mm	26250	100	-1,8	x	100	1
30	Perforado	Broca	0,7mm	26250	100	-1,9	x	100	2
33	Perforado	Broca	0,7mm	26250	100	-2	x	100	4,9
37	Perforado	Broca	0,7mm	26250	300	-2	x	100	4,9
40	Perforado	Broca	0,8mm	26250	400	-2	x	90	5
43	Perforado	Broca	0,8mm	26250	400	-2	x	90	5
46	Perforado	Broca	0,8mm	26250	400	-2	x	90	5

**Figura 95.** Registro de pruebas realizando el proceso de perforado de PCB's

[Fuente: Autores]




 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Se presenta la Figura 96, en la cual se observan los diferentes valores de prueba para los parámetros utilizados en el proceso de tallado de pistas de las PCB's

Nº	Tipo de operación	Herramienta de corte		Vel. Motortool (rpm)	Feed (mm/min)	Z Depth (-mm)	Depth Step (mm)	Penetration Feed (mm/min)	Calidad (0 a 5)
1	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	180	-0,065	x	65	3
2	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	180	-0,065	x	65	3
3	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	170	-0,07	x	65	3
4	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	170	-0,075	x	65	3
5	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	170	-0,08	x	65	3
6	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	170	-0,085	x	65	3
7	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	160	-0,15	x	65	4
8	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	160	-0,125	x	65	4
9	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	150	-0,14	x	65	4,2
10	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	140	-0,135	x	65	4,8
11	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	135	-0,135	x	65	5
12	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	25000	135	-0,135	x	70	5
14	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,135	x	70	5
15	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,1	x	70	5
16	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,7	x	70	0
17	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,08	x	70	5
18	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,04	x	70	5
19	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,028	x	70	1
20	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,135	x	70	4,4
23	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,07	x	70	4,4
25	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,08	x	70	5
29	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,07	x	70	4,9
32	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26250	135	-0,07	x	70	3,5
36	Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	31250	130	-0,09	x	135	5
39	Tallado	Fresa V 30º	0,1mm	26250	130	-0,09	x	70	4,9
42	Tallado	Fresa V 30º	0,1mm	26250	130	-0,08	x	70	5
45	Tallado	Fresa V 30º	0,1mm	26250	130	-0,08	x	70	5

**Figura 96.** Registro de pruebas realizando el proceso de tallado de pistas de PCB's

[Fuente: Autores]

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Se presenta la Figura 97, en la cual se observan los diferentes valores de prueba para los parámetros utilizados en el proceso de corte de las PCB's.

Nº	Tipo de operación	Herramienta de corte		Vel. Motortool (rpm)	Feed (mm/min)	Z Depth (-mm)	Depth Step (mm)	Penetration Feed (mm/min)	Calidad (0 a 5)
13	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	70	-1,75	0,9	70	4,5
22	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	70	-1,65	0,9	70	5
27	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	90	-1,65	0,55	70	0
28	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	130	-1,65	0,55	70	5
31	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	130	-2	0,85	70	4,9
34	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	130	-1,9	0,95	160	0
35	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	105	-1,9	0,95	70	5
38	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	90	-1,65	0,825	70	5
41	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	100	-1,65	0,825	70	5
44	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	100	-1,65	0,825	70	5
47	Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	100	-1,65	0,825	70	5

**Figura 97.** Registro de pruebas realizando el proceso de corte de PCB's


[Fuente: Autores]

De acuerdo a las pruebas realizadas y basándose en la escala definida de calidad, se realiza la siguiente tabla que incluye los valores más óptimos para los parámetros de cada uno de los procesos requeridos en la fabricación de PCB's:

Tipo de operación	Herramienta de corte		Vel. Motortool (rpm)	Feed (mm/min)	Z Depth (-mm)	Depth Step (mm)	Penetration Feed (mm/min)
Tallado	Fresa V 45º	0,2mm	26650	135	-0,08	x	70
Tallado	Fresa V 30º	0,1mm	26650	130	-0,08	x	70
Perforado	Broca	0,7mm	26650	400	-2	x	90
Perforado	Broca	0,8mm	26650	400	-2	x	90
Perforado	Broca	0,9mm	26650	400	-2	x	90
Corte	Fresa V 20º	0,2mm	30000	100	-1,65	0,825	70


**Tabla 13.** Valores óptimos para los parámetros de los procesos de fabricación de PCB's

[Fuente: Autores]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Al finalizar la fabricación de la ruteadora CNC, fue necesario realizar un proceso de planeado a toda la mesa de trabajo con una fresa plana para tallar madera de 6.4mm de diámetro, esto se hizo ya que la mesa de trabajo de madera de la ruteadora CNC presentaba algunas superficies irregulares causando desniveles milimétricos y afectando los procesos de tallado de las PCB's.

Además, Se logró determinar que el ángulo ideal para las fresas de corte es de 45º, ya que cuando se utilizan de 20º y 30º se tienden a fracturar o despigar en la punta fácilmente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---


El desarrollo del proyecto entregó muy buenos resultados, logrando cumplir con todos los objetivos planteados de fabricar prototipos de tarjetas de circuito impreso de una capa, a través del ensamble de una ruteadora CNC, que permitiera realizar el movimiento de una herramienta de corte en tres ejes de control sobre una mesa trabajo.

Se destaca además que el sistema desarrollado tiene la capacidad de esculpir y mecanizar otro tipo de materiales de ingeniería tales como el nylon, también se realizaron pruebas tallando madera, pero para ello se debe utilizar un sistema de refrigeración a modo de evitar que las fresas utilizadas se quemem. Como posibles trabajos a futuro se plantea la implementación de un cuarto y hasta quinto eje para poder realizar mecanizados más complejos.

Se logró validar el correcto funcionamiento de la ruteadora CNC en la fabricación de PCB's de una capa, además si se logra realizar una buena alineación de la PCB con respecto el origen de trabajo de la máquina, podrían realizarse PCB's de hasta 2 capas.


Se destacó la gran importancia que han ido adquiriendo los desarrollos tanto de hardware como de software de código abierto en el desarrollo de proyectos tecnológicos, con muy buenos resultados.

Se demostró que es posible llevar a cabo el desarrollo de una ruteadora CNC a un bajo costo, si se implementan materiales reciclados junto con la utilización de software y hardware de código abierto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


Aunque se presentaron algunos inconvenientes con la adquisición de algunos elementos, se resalta el aprovechamiento de algunos residuos industriales para ser parte de este desarrollo, sin tener que exponer a riesgo alguno la estructura y el desempeño de la máquina en su funcionamiento.

Finalmente, y en agradecimiento al compromiso y acompañamiento brindado por la profesora Norma Guarnizo en el desarrollo del proyecto, sumado a todo lo que nuestra academia nos permitió indagar, conocer y aprender a través de nuestra formación como ingenieros, la ruteadora CNC fue donada al semillero de mecatrónica de la institución ITM, para contribuir así con el proceso de formación de los integrantes del semillero, a modo de incentivarlos a continuar con sus procesos formativos, permitiéndoles trabajar en el mejoramiento de la máquina y de su utilización para que puedan llevar a cabo de manera más efectiva la fabricación de prototipos de circuitos impresos.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## REFERENCIAS

- ARDUINO.CL. (s.f.). <http://arduino.cl/>. Recuperado el 26 de julio de 2016, de <http://arduino.cl/ques-arduino>
- Athani, V. V. (1997). *Stepper motors: fundamentals, applications and design*. Bombay: New Age International.
- Bossa, J. L., & Serra, F. M. (2006). *Banco didáctico dedicado a la electrónica de potencia*. Buenos Aires: AADECA - XXº Congreso Argentino de Control Automático - Sección Estudiantil.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8 ed.). Monterrey, México: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado el 8 de julio de 2016, de <https://rafaelramirezr.files.wordpress.com/2015/03/disenio-en-ingenieria-mecanica-de-shigley-8th-hd.pdf>
- Calabuig, J. G., & Bellver, M. A. (1997). *Circuitos impresos: teoría, diseño y montaje*. Madrid: Thomson-Paraninfo.
- Casillas, A. L. (1963). *Máquinas calculos de taller*. Máquinas. hispanoamericana. Recuperado el 5 de agosto de 2016, de <http://www.ucefer.es/Datos%20%C3%BAtiles/LIBRO%20DE%20TALLER.pdf>
- Chang P., R. (2015). *Diseño e implementación de una máquina fresadora CNC para la fabricación de placas de circuitos impresos*. Tesis (Licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Guatemala. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1117/>
- Cifuentes M., M. F., & Jaramillo B., J. S. (2015). *Diseño de un sistema de manufactura automático para circuitos impresos*. Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Recuperado el 20 de mayo de 2016, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/5716>
- Dávalos M., V. H. (2011). *Desarrollo de ciclos enlatados para torno CNC*. Tesis (Licenciatura), Universidad Autónoma de Querétaro, San Juan del Río. Recuperado el 12 de junio de 2016, de <http://ri.uaq.mx/xmlui/handle/123456789/2448>
- Gallardo V., S. (2015). *Sistemas de telecomunicaciones e informáticos: Electricidad y electrónica* (1 ed.). Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A. Recuperado el 22 de junio de 2016, de [https://books.google.com.co/books?id=Jz5ACQAAQBAJ&pg=PA126&source=gbs\\_selected\\_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=Jz5ACQAAQBAJ&pg=PA126&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Garavito, Julio. (2007). *Fresado y taladrado protocolo curso de procesos de manufactura*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá.

Giesecke, F. E. (2006). *Dibujo y comunicación gráfica*. (P. Educación, Ed.) Naucalpan de Juárez: Prentice Hall Mexico. Recuperado el 8 de marzo de 2016, de [https://books.google.com.co/books?id=qLh9gGOUi5IC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=qLh9gGOUi5IC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

INKSCAPE. (2016). *inkscape.org*. Recuperado el 13 de marzo de 2016, de <https://inkscape.org/es/acerca-de/de-un-vistazo/>

JUSTIA. (s.f.). *patents.justia*. Recuperado el 22 de abril de 2016, de <http://patents.justia.com/patent/9555487>

Koshkin, N. I., & Shirkévich, M. G. (1975). *Manual de física elemental*. Moscú: MIR.

Londoño O., N., León S., P., Alvarez D., J., & Marín Z., E. (2005). Descripción del diseño y construcción de un torno de control numérico. (U. EAFIT, Ed.) *Ingeniería y Ciencia*, 51. Recuperado el 5 de agosto de 2016, de <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/494>

Mandado P., E., Acevedo, J. M., & Fernández S., C. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. Barcelona: Marcombo. Recuperado el 1 de septiembre de 2016, de [https://books.google.com.co/books/about/Aut%C3%B3matas\\_programables\\_y\\_sistemas\\_de\\_au.html?id=5jp3bforBB8C&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Aut%C3%B3matas_programables_y_sistemas_de_au.html?id=5jp3bforBB8C&redir_esc=y)


Ocampo, J. R., & de Jesús Deras, I. (2015). Aplicación Integrada para Construcción de PCBs mediante Tecnología CNC y Ajuste Automático a la Superficie. *Innovare: Revista de ciencia y tecnología*, 41. Recuperado el 22 de julio de 2016, de <http://www.lamjol.info/index.php/INNOVARE/article/view/2311>

Pareja A., M. (2010). *Diseño y desarrollo de circuitos impresos con KICAD*. Madrid, España: RC Libros. Recuperado el 14 de abril de 2016, de [http://www.rclibros.es/pdf/cap\\_KiCad.pdf](http://www.rclibros.es/pdf/cap_KiCad.pdf)

Pololu Corporation. (s.f.). *Pololu*. Recuperado el 20 de marzo de 2016, de <https://www.pololu.com/product/1182/>

PTC Creo Parametric. (s.f.). *ptc*. Recuperado el 7 de junio de 2016, de <http://www.ptc.es/cad/creo/parametric>

Rubio, E. M., & Sebastián, M. Á. (2011). *Ejercicios y problemas de mecanizado*. Madrid, España: Pearson Educación S.A. Recuperado el 16 de mayo de 2016, de <https://es.slideshare.net/cvalenzuelagonzales/171352240-ejerciciosyproblemasdemecanizado>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

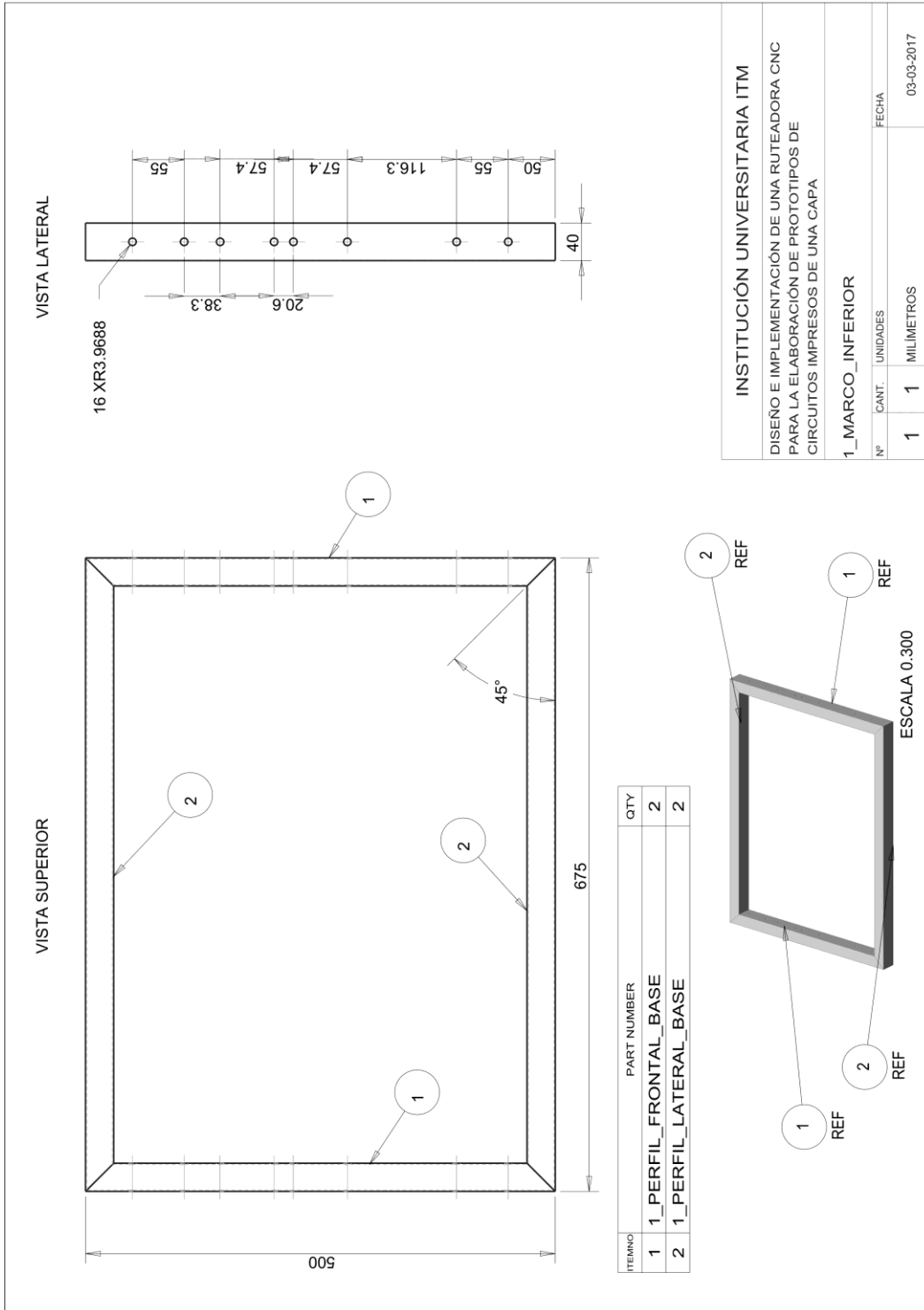
Salas P., R. A., Pérez A., J. F., & Ramírez, J. (2008). *Técnicas de diseño, desarrollo y montaje de circuitos impresos*. Artículo, Universidad de los Andes, Mérida. Recuperado el 16 de septiembre de 2016, de <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/26205>

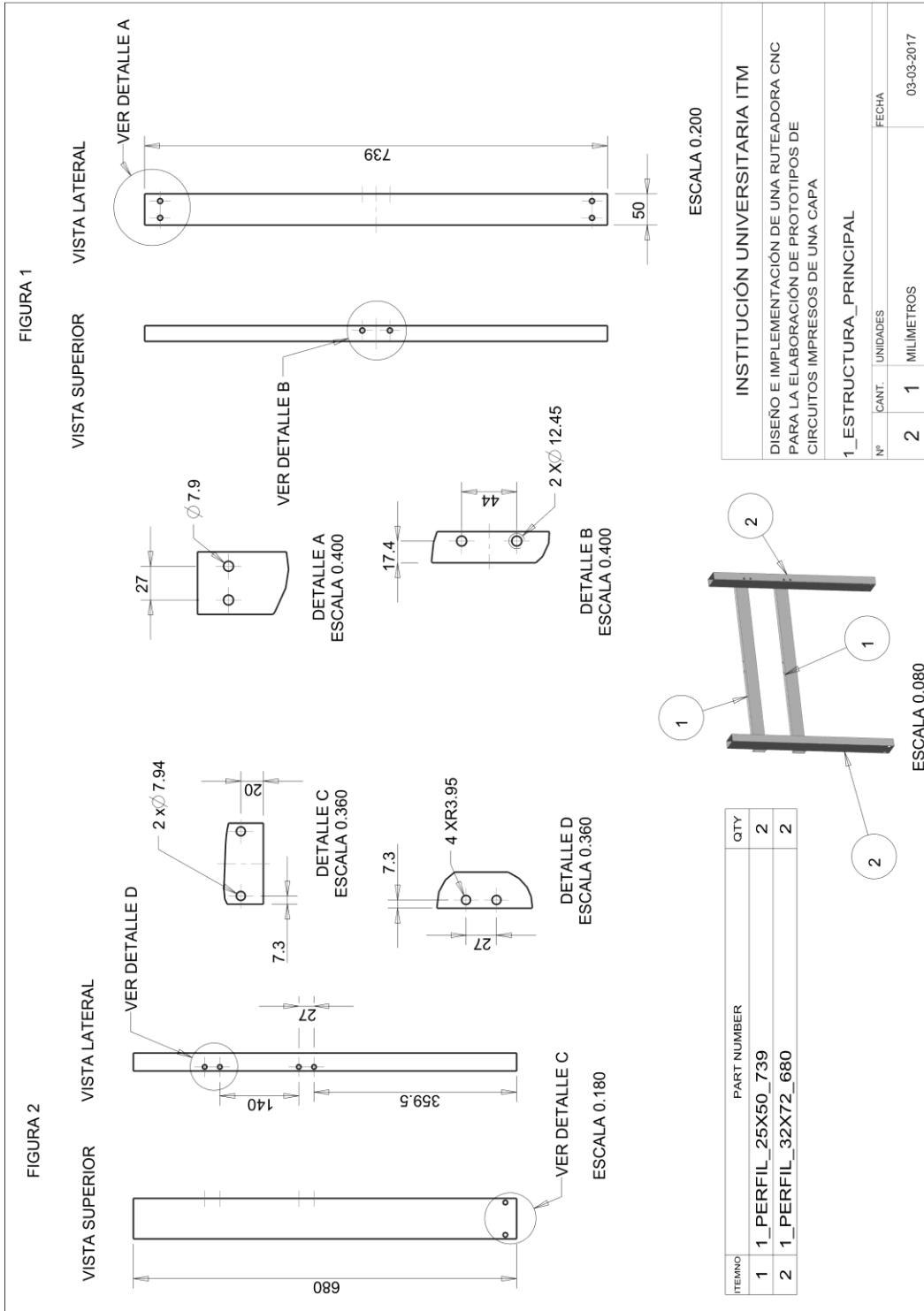
Wakerly, J. F. (2001). *Diseño digital: principios y prácticas*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación. Recuperado el 20 de mayo de 2016, de <http://www.apuntesdeelectronica.com/digital/disenio-digital-principios-y-practicas.htm>

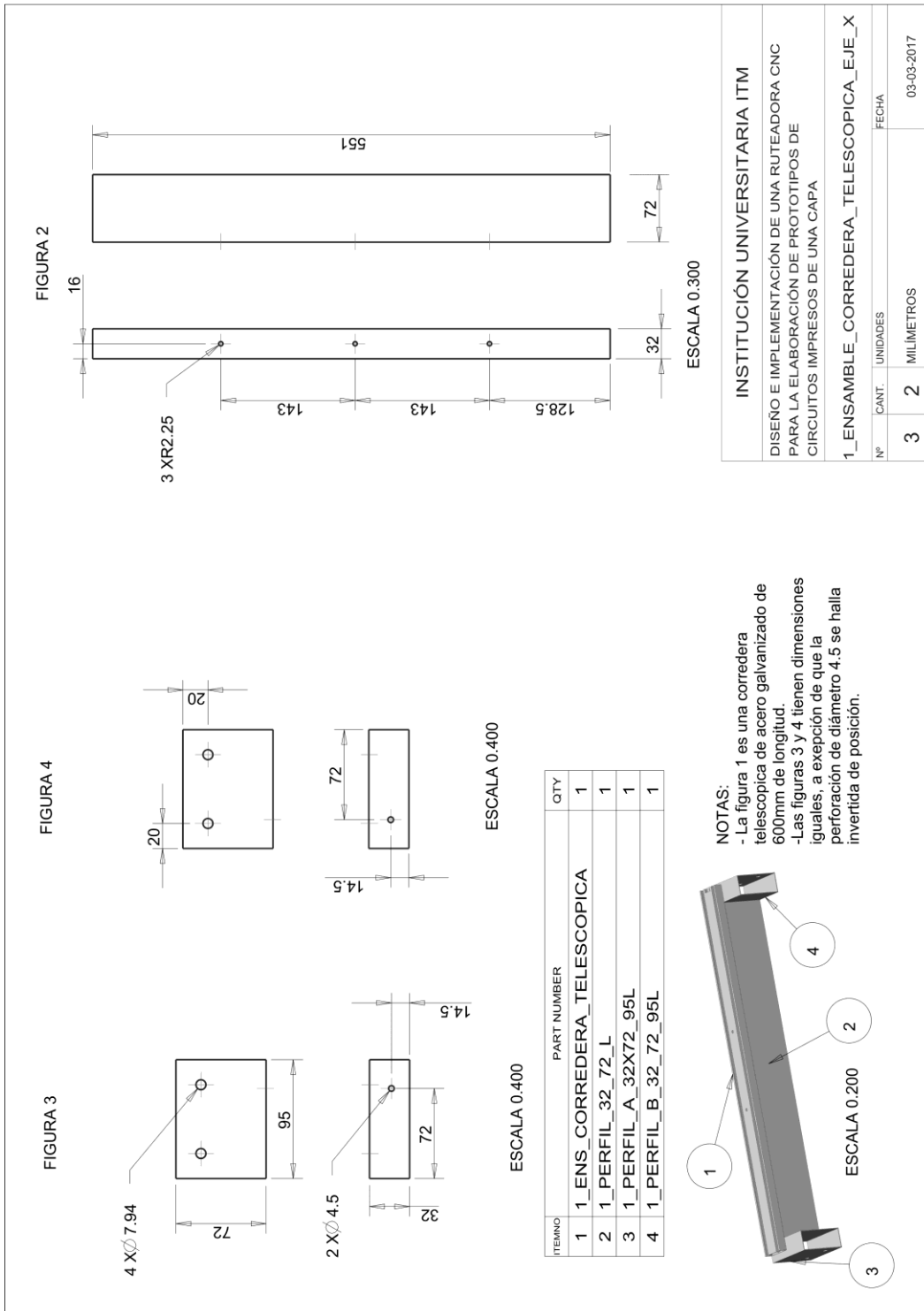
WINDER. (s.f.). *WINDER.GITHUB*. Recuperado el 16 de febero de 2016, de [http://winder.github.io/ugs\\_website/#universal-gcode-sender](http://winder.github.io/ugs_website/#universal-gcode-sender)

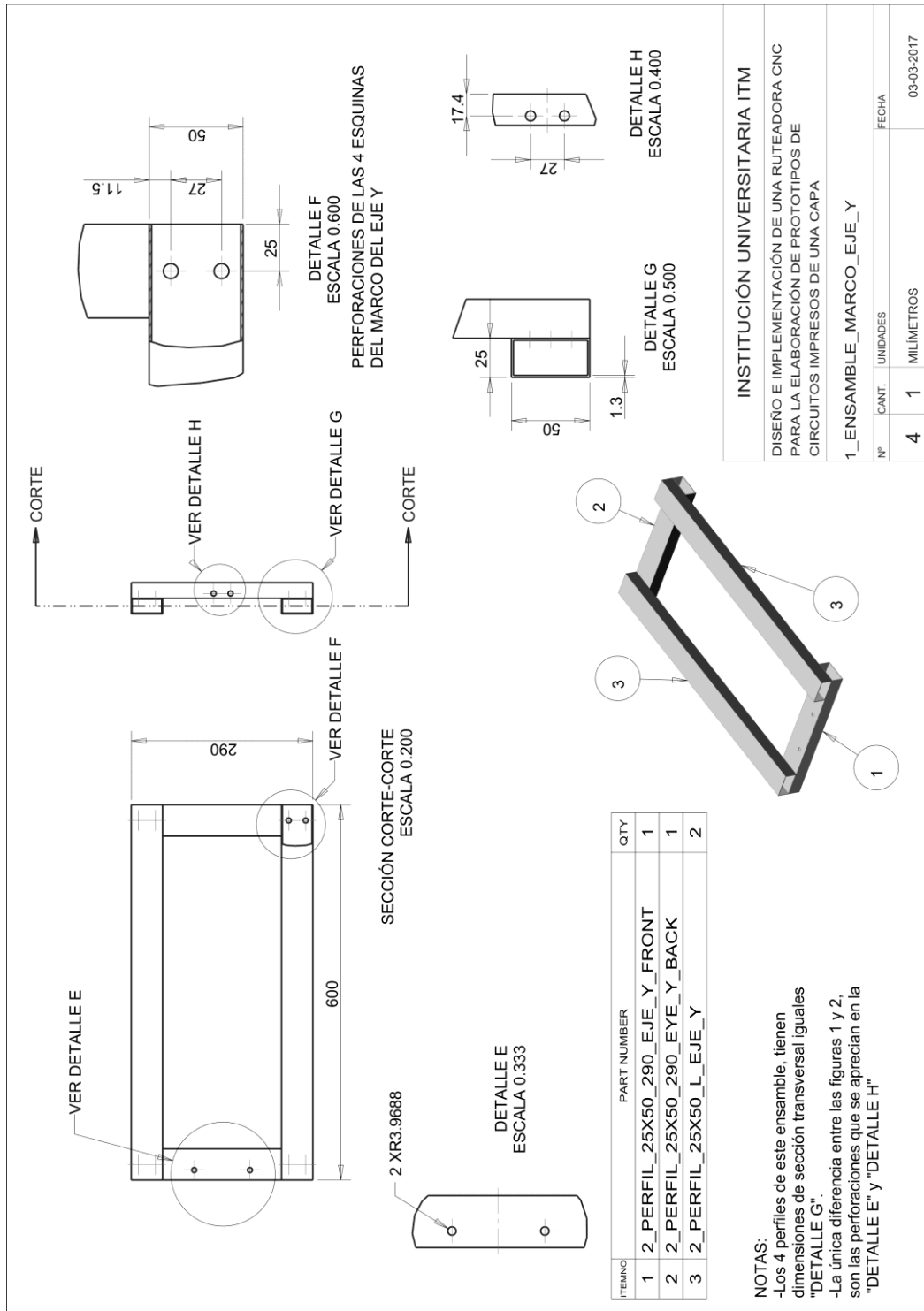


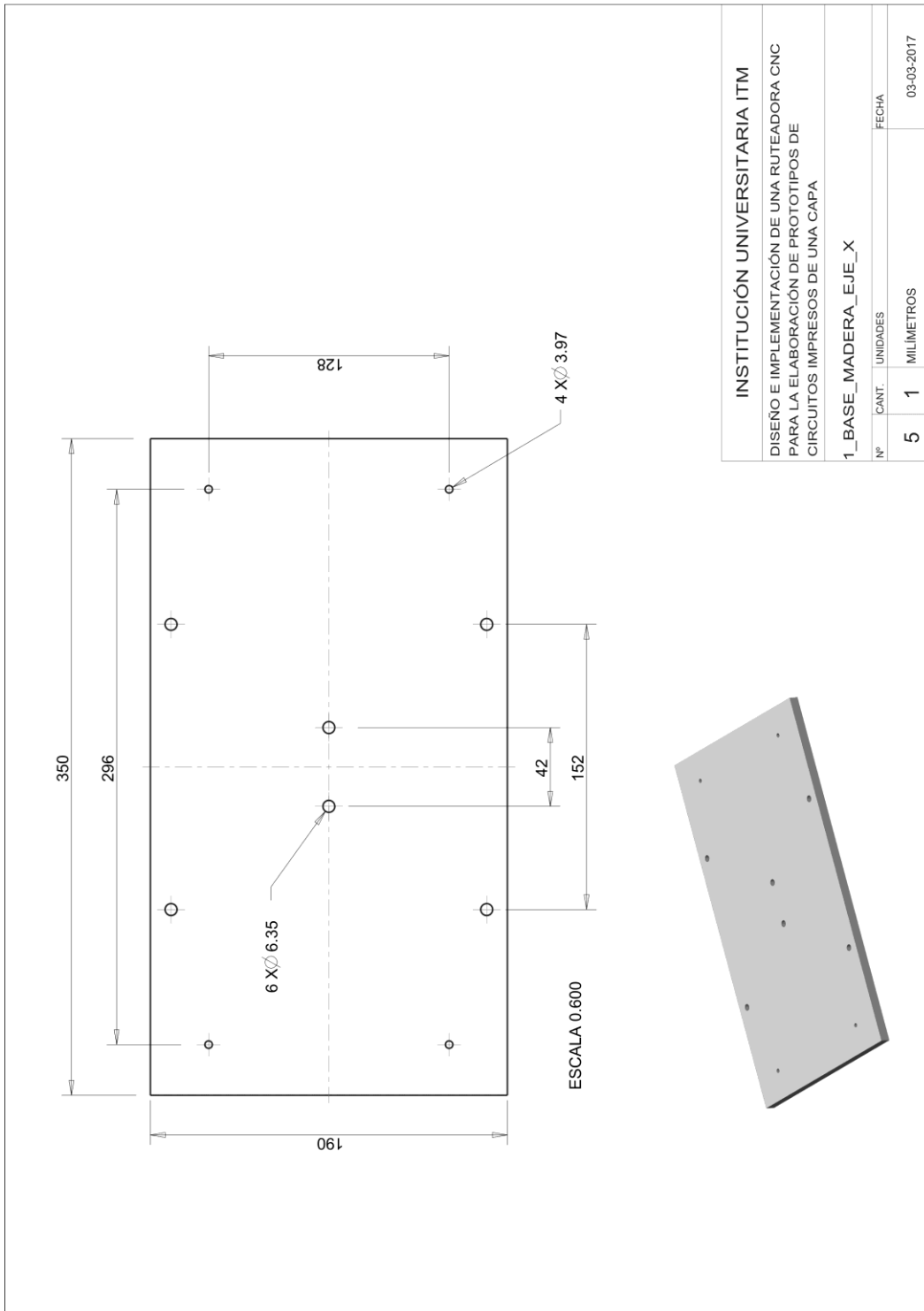
# ANEXOS



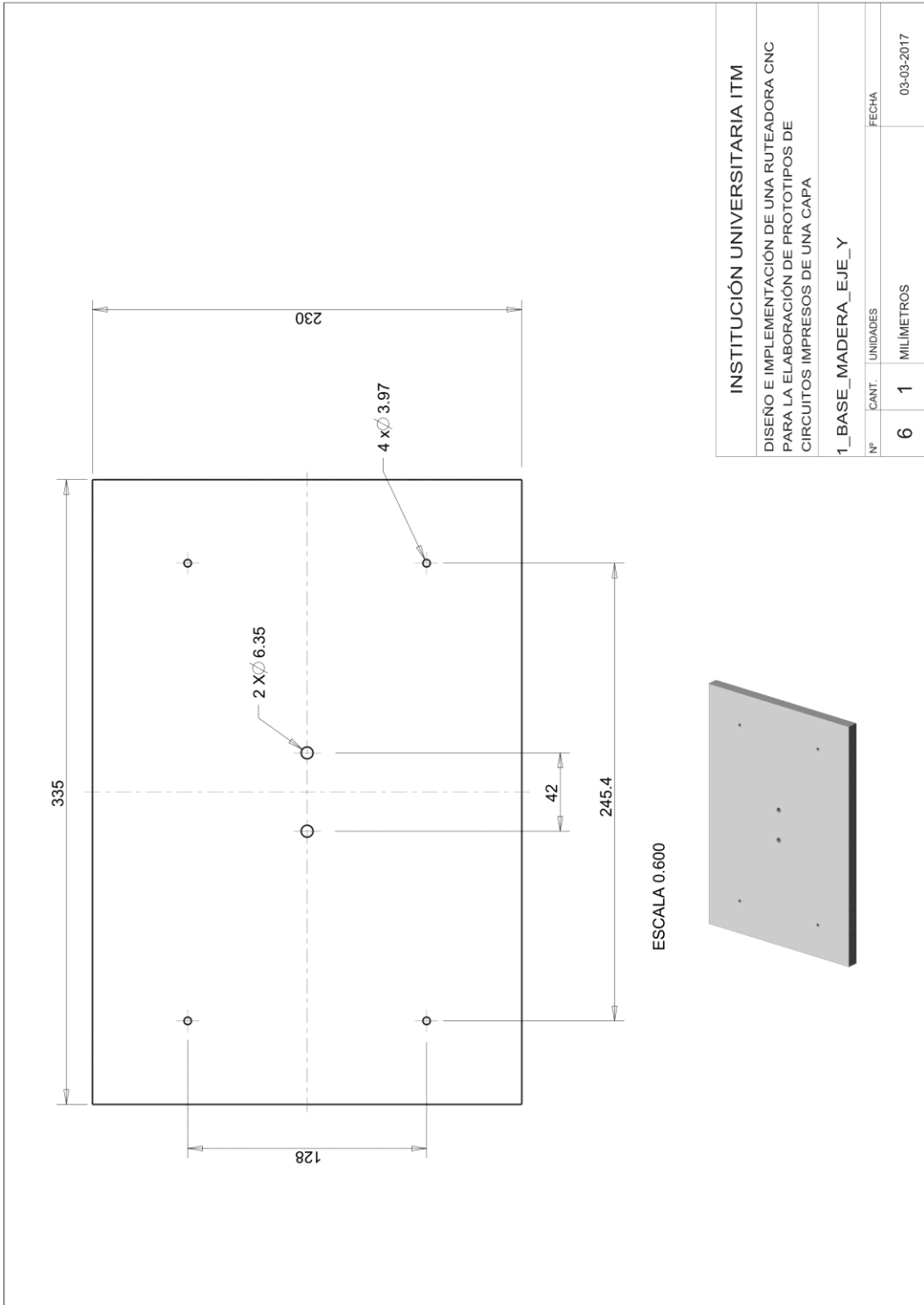


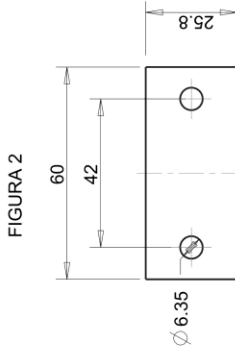




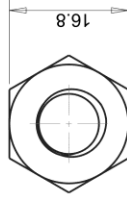


INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ITM	
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RUTEADORA CNC PARA LA ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS DE CIRCUITOS IMPRESOS DE UNA CAPA	
1_BASE_MADERA_EJE_X	
Nº	UNIDADES
5	1
MILÍMETROS	
FECHA	
03-03-2017	



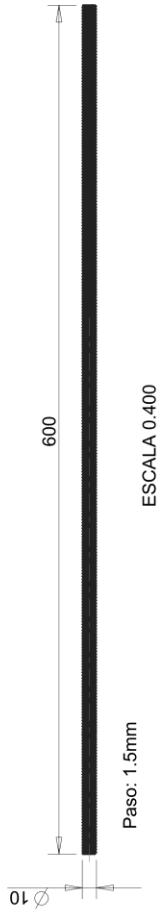


Espesor: 3mm



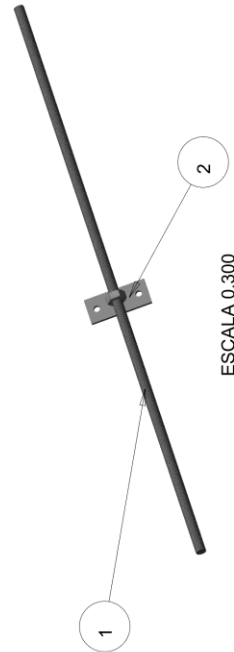
NOTA: La tuerca se debe soldar sobre todo el centro de la placa de hierro

FIGURA 1



La referencia de la tuerca y la varilla roscada es M10X1.5MM

ITEMNO	PART NUMBER	QTY
1	2_VARILLA_ROSCADA_D10_1P5_EJE_Y	1
2	3_ENS_PLACAHIERRO_TUERCA	1



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ITM	
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RUTEADORA CNC PARA LA ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS DE CIRCUITOS IMPRESOS DE UNA CAPA	
1_CONJUNTO_ACOPLE_VARILLA_ROSCADA	
Nº	UNIDADES
7	3
MILÍMETROS	
FECHA	
03-03-2017	

FIGURA 2

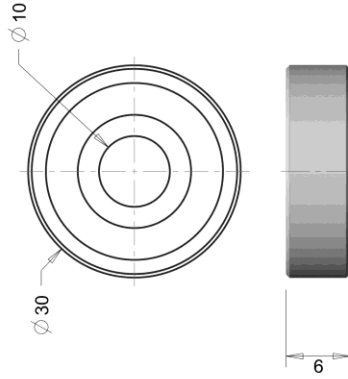
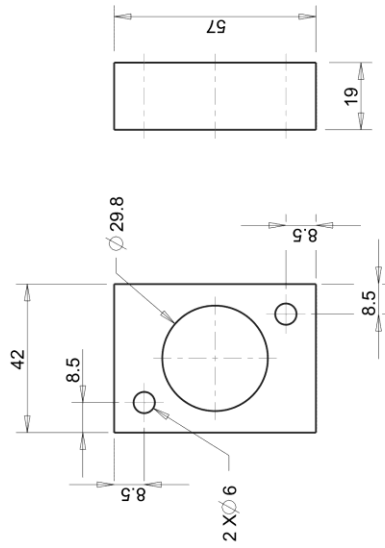
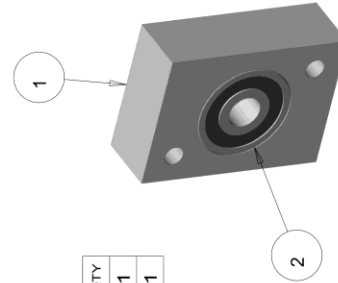


FIGURA 1



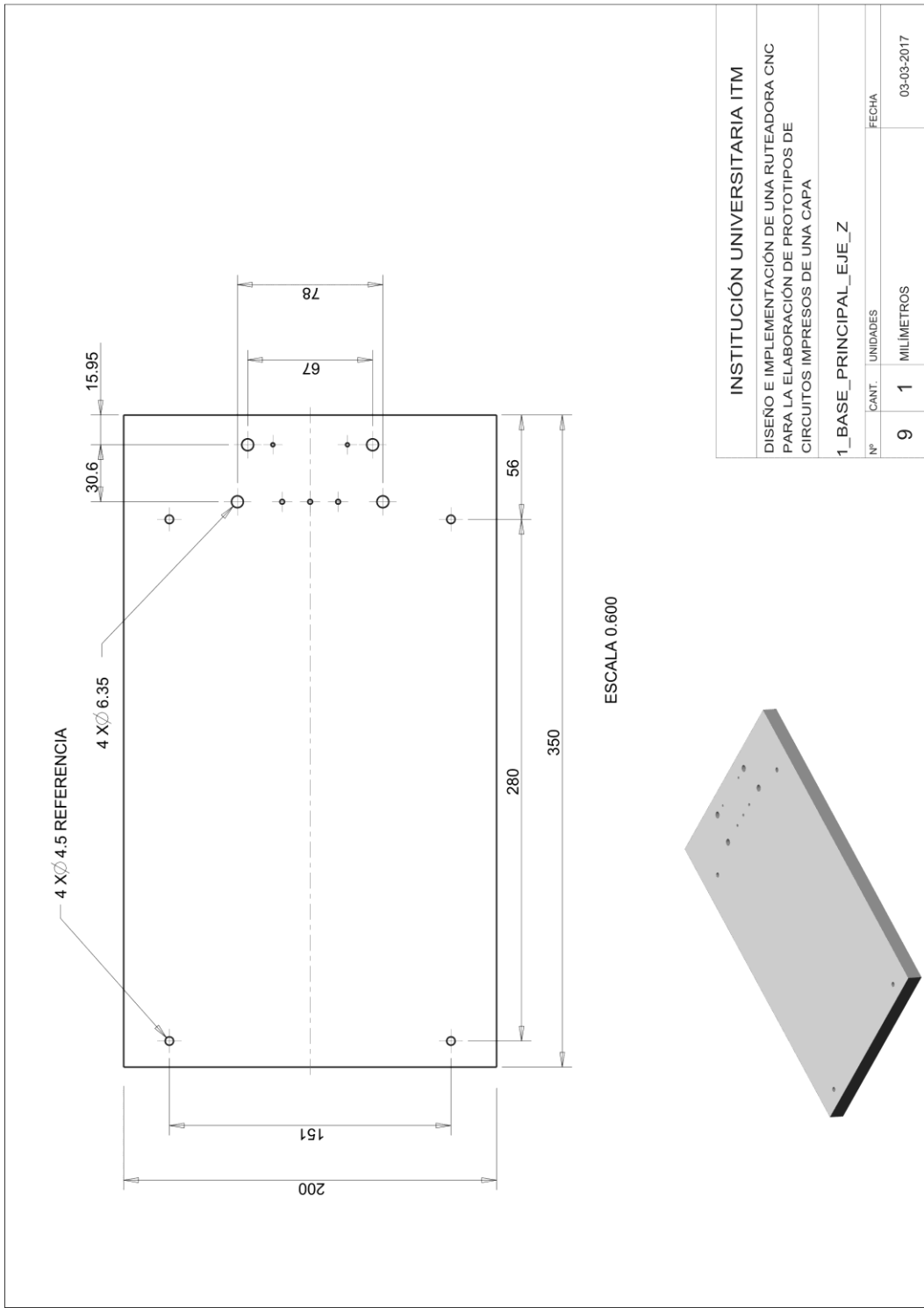
ESCALA 1,000



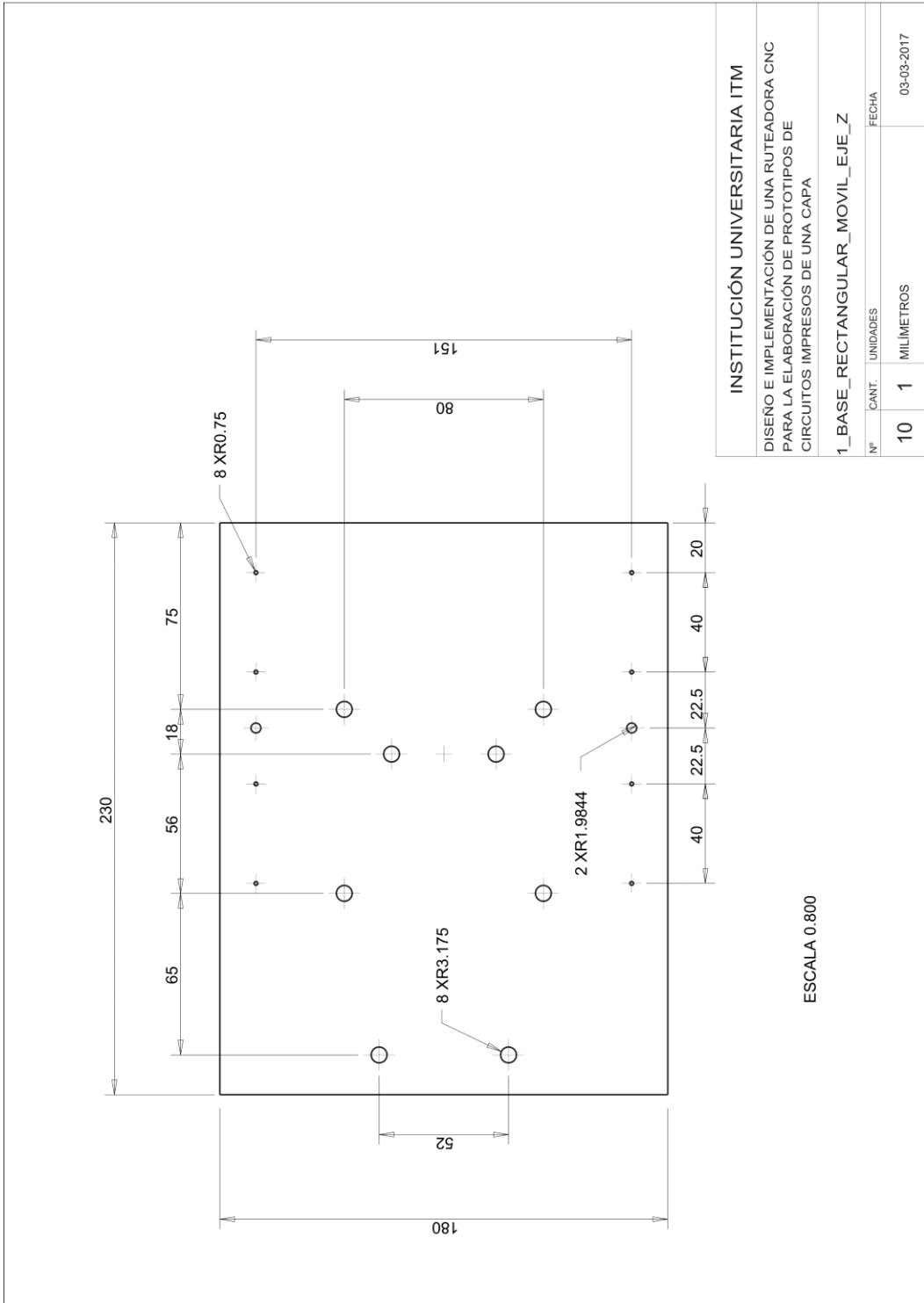
ITEMNO	PART NUMBER	QTY
1	1_CARCASA_RODAMIENTO_EJE_X	1
2	1_RODAMIENTO_DINT10MM_DEXT30MM	1


INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ITM	
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RUTEADORA CNC PARA LA ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS DE CIRCUITOS IMPRESOS DE UNA CAPA	
1_CONJUNTO_CARCASA_RODAMIENTO	
Nº	UNIDADES
8	4
MILIMETROS	
FECHA	03-03-2017





INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ITM	
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RUTEADORA CNC PARA LA ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS DE CIRCUITOS IMPRESOS DE UNA CAPA	
1_BASE_PRINCIPAL_EJE_Z	
Nº	UNIDADES
9	1
MILÍMETROS	
FECHA	
03-03-2017	



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

FIRMA ESTUDIANTES Ivan D.  
Yader Osorio

FIRMA ASESOR Patricia Quiróz C.

FECHA ENTREGA: abril 2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO \_\_\_      ACEPTADO \_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES \_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_