



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICAS



DISEÑO DE UNA MÁQUINA CNC PARA LA ELABORACIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS.

GILBER AQUINO C.I.: 17.851.502

SAMUEL PLACID C.I.: 17.695.626

NAGUANAGUA, JULIO DE 201



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICAS



DISEÑO DE UNA MÁQUINA CNC PARA LA ELABORACIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS.

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRICISTA**

Tutor:

Académico: Prof. Wilmer Sanz.

Autores:

Gilber Aquino.

Samuel Placid.

NAGUANAGUA, JULIO DE 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICAS



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado " **DISEÑO DE UNA MÁQUINA CNC PARA LA ELABORACIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS**", realizado por los bachilleres: Aquino Guevara, Gilber Eduardo, C.I: 17.851.502, y Placid, Samuel Roberto, C.I: 17.695.626, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof. Wilmer Sanz

TUTOR

Prof. Norma Vargas

JURADO

Prof. Ángel Villegas

JURADO

NAGUANAGUA, JULIO DE 2012



DISEÑO DE UNA MÁQUINA CNC PARA LA ELABORACIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS.

Autores: Gilber Eduardo Aquino Guevara

Samuel Roberto Placid

Tutor: Prof. Wilmer Sanz

Año: 2012

RESUMEN

El presente proyecto de grado trata del diseño de una máquina CNC para la elaboración de circuitos impresos, proponiendo un sistema de control lazo abierto por medio de una interfaz y Drivers en una estructura modular para así en caso de fallas e inconvenientes sean fáciles de detectar. Todo este sistema de control de movimiento se fundamenta en el software MACH 3 el cual descodifica los códigos G y M proveniente de la imagen PCB realizada en EAGLE. La comunicación se realiza por medio de un puerto paralelo. Las señales de control tanto entradas como las salidas son distribuidas y separadas por la interfaz.

La investigación procura servir de base para futuros diseños, que pudieran implementar un eje más. Resultando así una máquina con 4 grados de libertad, la cual pudiera trabajar como un torno y a su vez como fresadora combinando lo mejor de ambas máquinas, es decir realizar piezas con ciertos acabados que superen los que pueden obtenerse con 3 ejes.

Cabe destacar la gran diferencia que existe entre los métodos convencionales y los métodos automatizados. El más representativo de los métodos convencionales es el método de transferencia térmica, ya mencionado en capítulos anteriores que consiste en manipular productos corrosivos, como el cloruro férrico, el cual es tóxico para la salud y altamente contaminante para el medio ambiente. Por lo que esta preocupación fue una de las motivaciones del proyecto, ya



que lo que se busca es un método inocuo, es decir que no genere riesgos a las personas y al ambiente.

Para realizar los movimientos de la herramienta de fresado, se acoplaron 3 motores paso a paso con un paso de $1,8^\circ$; estos se acoplaron a un tornillo sin fin y la herramienta sobre una base del eje Z para poder moverse en los 3 ejes (X, Y, Z). Los motores Paso a Paso usados fueron unipolares, además de implementar estos motores se usó como herramienta de corte un Router o Ruteador de alta revoluciones, todos ellos apoyados en una estructura de aluminio y barras de acero inoxidable.

En este proyecto se presentan: las especificaciones del sistema implementado, las ventajas y debilidades que presenta, finalmente se cuenta con una gran herramienta de trabajo y un gran material bibliográfico.

CONCLUSIONES

- El comportamiento presentado por el prototipo es el adecuado al realizar el fresado de la baquelita ya que no se observan desfases, en el desplazamiento de la fresa.
- La resolución obtenida con los motores de paso se ve afectada por el diámetro de la fresa ya que un movimiento de un paso físicamente no se observa, por esta razón se ve la necesidad de cambiar la fresa por una de menor diámetro; consiguiendo también que el corte sea de menor espesor logrando así circuitos impresos de mayor resolución.
- Con este prototipo la elaboración de circuitos impresos en baquelita es menos dispendiosa ya que solamente basta con crear el layout (imagen PCB) del circuito, crear el archivo G y posteriormente cargarlo en el software del prototipo.



RESUMEN



- Se mejora la calidad de los circuitos impresos ya que el cobre de la baquelita no se ve afectado por el cloruro férrico, dando óptimas líneas de interconexión entre los dispositivos y duración al mismo.
- La máquina construida brinda una alternativa factible de reemplazo al uso de otras técnicas de fabricación más dañinas para la salud y el medio ambiente.
- La repetitividad en la realización de múltiples impresos, es mejorada ya que el prototipo realiza en cada uno, un proceso exactamente igual al anterior, exceptuando únicamente el desgaste de la herramienta.
- En términos generales la utilización de un sistema automatizado como el implementado aumenta sin duda la seguridad por lo previamente mencionado, además en cuanto a producción se refiere resulta ventajoso, ya que al usar una placa de gran tamaño se pueden realizar numerosas tarjetas según sus dimensiones, solo con cambiar el origen de trabajo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la casa ELÉCTRICOS VENEZOLANO C.A realizar el fresado de las piezas a la velocidad preestablecida, ya que puede ser que ocurra una pérdida de paso en los motores debido a que la velocidad de los pulsos es mayor a la que pueden interpretar los integrados.
- Se recomienda realizar un curso de manipulación de máquinas CNC para comprender el código con el que trabajan estas máquinas; y así realizar otros mecanizados más ambiciosos y fresar en otros materiales.



RESUMEN



- Se recomienda a futuras implementaciones el diseño de un software que convierta la comunicación de puerto paralelo a USB, ya que la paralela está desapareciendo del mercado.
- Es recomendable que el panel de control sólo tenga acceso a personal autorizado, y manejarlo con la mayor precaución, ya que una mala manipulación pudiera dar la aparición de fisuras a las soldaduras o desconectar algunos terminales y presentar fallas o finalmente un daño grave a las tarjetas de control.
- Se recomienda no manipular mucho la estructura ya que tiende a descalibrarse y desajustarse, y como los tornillos están apoyados en aluminio que es un material blando y maleable, pueden dañarse la roscas.
- Se recomienda, antes de ubicar la baquelita para desbastar, desacoplar la fresa del husillo por seguridad, ya que pudiera ocasionar un incidente.
- Se recomienda el uso de mascarilla mientras se esté realizando el desbaste de la lámina de cobre PCB, debido a que el polvillo que se genera por el fresado pudiese ocasionar problemas respiratorios.
- Se recomienda trabajar en un ambiente fresco y libre de polvo.



DEDICATORIAS



Dedico este trabajo primeramente a Dios y este fruto de mi esfuerzo a mis Padres, mi familia, amigos tanto allegados como eso que se convierten como hermanos de uno esos que me acompañaron durante esta importante etapa de mi vida y me impulsaron a alcanzar esta meta, en especial a nuestro tutor de tesis Ing. Wilmer Sanz por su confianza en el proyecto y paciencia, estuvieron allí, que me aconsejaron, confiaron en mí y me guiaron. Aquí está el aporte de cada uno de ellos.

Gilber Aquino.

Dedicado primordialmente a dios porque en el deposito toda la fe y esperanza en la realización de este proyecto de grado . A mis padres, porque creyeron en mi y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí. A mis hermanos, tíos, primos, abuelos y amigos a nuestro tutor Wilmer Sanz por su apoyo y confianza brindada en la elaboración de este trabajo. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Samuel Placid.



AGRADECIMIENTOS



A Dios por darme el entendimiento, salud, y todo lo que en lo espiritual se refiere.

A mis padres Gilber Aquino y Ana de Aquino, por darme la estabilidad emocional y económica para poder llegar a este momento. Mi triunfo es el de ustedes, ¡los amo!

A mi hermanos, tías que me apoyarme incondicionalmente en todos los aspectos y por tenerme paciencia por mi carácter cambiante, mi tío DOTA del cual contribuyo de cierta manera mi curiosidad por las herramientas y equipos cuando niño, a mi primos y primas, a todo a mi familia Aquino-Guevara quienes me brindan cariño, comprensión y apoyo, dándome con ello momentos muy gratos.

A mi novia, quien me brindó su amor, su cariño, su estímulo y su apoyo constante; su comprensión y paciente espera son evidencia de su gran amor. ¡Gracias!

A mis amigos, por ayudarme a crecer y madurar como persona en cada etapa de mi vida, por apoyarme en todas las circunstancias posibles, también son parte de esta alegría, a pesar de la distancia los recuerdo.

A la familia Rodríguez Bocaney, gracias por su apoyo y colaboración, aquí esta ese granito de arena, gracias de verdad.

Gilber Aquino.



AGRADECIMIENTOS



A mis Padres por siempre apoyarme incondicionalmente en todos los aspectos.

A mi familia por todo su amor y cariño.

A los panas en la Universidad, que verdaderos panas son muy pocos, por estar siempre disponible y hacerme la estadía en Valencia más amena.

A aquellas personas que no puedo nombrar, por hacerme sentir feliz en un tiempo de mi vida.

A la Familia Rodríguez Bocaney por toda su colaboración y amistad.

Samuel Placid.



ÍNDICE GENERAL

	Página
Resumen	iv
Dedicatorias	v
Agradecimientos	vi
Índice general	viii
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xiv
Introducción	xvi
Capítulo I. El problema	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Alcance de la investigación	4
1.5 Limitaciones	5
Capítulo II. Marco Teórico	6
II.1 Antecedentes	7
II.2 Bases Teóricas	10
2.1 Control Numérico Computacional	11
2.1.1 Introducción	11
2.1.2. La evolución de la tecnología NC	11
2.1.3. Aplicaciones NC	12
2.1.4. Motores en Máquinas CNC	13
2.2.0 Código G y M (acción y movimiento)	15
2.0.1 Sintaxis de la programación del código G y M	15
2.2 Herramientas modernas de corte	17



ÍNDICES



2.2.1 Programa de manufactura para corte por medio de fresadora	18
2.2.2 Fundamentos básicos de manufactura con control numérico	21
2.3 Driver Unipolar 4 A 35V	22
2.3.1 Esquema del Driver Unipolar 4A	23
2.3.2 Control de Corriente	25
2.4 Interfaz CNC v 1.2	28
2.4.1 Mach 3.	29
2.4.2. Control Manual	38
2.4.3 Nociones básicas para el uso del Mach 3	39
2.4.4 Mach3: Limit & Home:	42
2.5 Eagle3D	44
Capítulo III. Marco Metodológico	48
3.0 Introducción	49
3.1 Fases metodológicas.	49
3.1.1 1er ETAPA: Estudio y documentación del Sistema de control numérico. □	49
3.1.2 2da ETAPA: Clasificación y análisis de los elementos a utilizar.	50
3.1.3 3era ETAPA: Diseño y elaboración del plano de los sistemas de control de los motores (drivers)	50
3.1.4 4ta ETAPA: Verificación del funcionamiento de cada uno de los drivers.	51
3.1.5 5ta ETAPA: Inventario de los materiales para el diseño de la estructura.	51
3.1.6 6ta ETAPA: Especificaciones técnicas de los elementos utilizados.	51
3.1.7 7ma ETAPA: Construcción de la maquina.	51
3.1.7 8va ETAPA: Puesta en marcha y elaboración de la primera tarjeta impresa.	52
3.1.9 9na ETAPA: Recopilación, análisis e interpretación de los resultados.	52
Capítulo IV. Presentación y análisis de los resultados	53
4.1 Estudio y documentación del sistema de control numérico.	54
4.1.1 Sistema de control a implementar	54



ÍNDICES



4.3 Sistema eléctrico, el sistema electrónico de control y el sistema mecánico.	59
4.3.0 Sistema eléctrico	59
4.3.1.1 Router:	59
4.3.1.2 Fuente de poder	60
4.3.1.3 Fuente de poder CNC	61
4.3.1.4 Cableado	61
4.3.1.4 Motores paso a paso (PAP)	62
4.4 Principios para el control de los motores paso a paso	62
4.5 Driver unipolar	63
4.6 Interfaz PC-Divers	66
4.7 Verificación del funcionamiento de cada uno de los drivers.	69
4.8 Inventario de los materiales para el diseño de la estructura.	70
4.9 Sistema Mecánico	71
4.10 Puesta en marcha la máquina CNC y elaboración de la primeras pruebas	78
4.11 Recopilación, análisis e interpretación de los resultados	79
4.12 Elaboración de la primera tarjeta	83
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones	84
5.1 Conclusiones	85
5.2 Recomendaciones	86
 Anexos	 87
Anexo A. Especificaciones de los motores PaP	88
Anexo B. Integrado 74HC244	90
Anexo C. Integrado l297	91
Anexo D. Integrado SN74LS245	93
Anexo E. Integrado UL2803A	94
Anexo F. Perfil de aluminio usado en los bujes	95
Anexo G. Perfil de aluminio usado en la estructura	96



ÍNDICES



Apéndices	91
Apéndice A. ángulo de soporte de la mesa de trabajo	98
Apéndice B. Medidas de los componentes en Z	99
Apéndice C. Componente del eje X	100
Apéndice D. Barras de guía y de movimiento del eje X	101
Apéndice E. Componente del eje Y	102
Apéndice F. Mesa de trabajo	103
Apéndice G. Proyecciones ortogonales e isometría de los bujes	104
Apéndice H. Medidas para el soporte del router	105
Apéndice G. Diagrama del driver de los motores PaP	106
Apéndice H. Diagrama de la interfaz Pc-Driver	107
Apéndice K. Perfil de aluminio usado en la mesa	108
Apéndice L. Acople de los tornillos sin fin y los motores PaP	109
Apéndice M. Imagen PCb de los drivers	110
Apéndice M. Imagen PCb de la Interfaz	111
Referencias bibliográficas y electrónicas	112

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
2.14 Motor Stepper Bipolar	14
2.15 Motor Stepper Bipolar	14
2.2.0 Componentes del código G y M	15
2.2.1 Estructura de la palabra del código G	15
2.2.2 Estructura de la sintaxis de la palabra del código G	16
2.2.3 Dimensiones de la pieza	19
2.3.1 Esquema del driver	23
2.3.2 Representación visual de la conexión	24



ÍNDICES



2.3.3 Representación visual de la tarjeta terminada de referencia	26
2.3.4 Representación visual de la tarjeta de referencia	28
2.4.0 Pantalla principal del Mach 3 selección de unidades	30
2.4.1 Pantalla principal del Mach 3	31
2.4.2 Sub-pantalla de configuración de los motores	32
2.4.3 Sub-pantalla de configuración de los home & limit	33
2.4.4 Sub-pantalla de configuración de los enables y salidas a relé	34
2.4.5 Configuración de las salidas a relé	35
2.4.6 Configuración del Backslash	36
2.4.7 Configuración del Backslash	37
2.4.8 Guardar configuración	38
2.4.2.0 Configuración de los controles manuales	39
2.4.3.1 Pantalla principal Mach3	40
2.4.3.2 Menú del motor tuning	41
2.4.4.1 Final de carrera	42
2.4.4.2 Configuración de los finales de carrera	43
2.4.4.3 Configuración de los pines del puerto paralelo	44
2.5.1 Ejemplo de una representación 3d de una tarjeta	45
2.5.2 Activación y desactivación de la opción Circuito impreso en el menú	46
2.5.3 Representación visual de los agujeros	47
4.1 Esquema de código	55
4.2 Esquema de control	57
4.2.1 Esquema del sistema modular	58
4.2.2 Imagen PCB	58
4.3.1 Router	60
4.3.2 Imagen de referencia de la fuente de poder	60
4.3.3 Fuente de poder CNC	61
4.3.4 Motores Paso a Paso (PaP)	62



ÍNDICES



4.5.2 Driver unipolar 4 Amperios	64
4.5.3 Conexionado unipolar	64
4.5.4 Tarjeta ya terminada	65
4.6 Interfaz PC-driver	67
4.7 Interfaz	70
4.7.2 Driver	70
4.8.1 Maquina CNC de referencia	71
4.9.1 Eje X	73
4.9.1.1 Detalles del marco de la mesa de apoyo	74
4.9.1.2 Mesa ya ensamblada	74
4.9.2 Eje Y	75
4.9.2.1 Base de la rolinera del eje Z	76
4.9.3 Eje Z	76
4.9.4 Estructura ya terminada	77
4.9.5 Maquina ensamblada totalmente	77
4.10.1 Componentes del sistema de control	78
4.10.2 Imagen PCB	78
4.10.3 Pruebas de pistas en la lámina PCB	79
4.11 Detalles de la broca en V	82
4.12 Imagen PCB realizada en Eagle	83
4.13 Primer circuito impreso	84



ÍNDICE DE TABLAS

	Página
2.1 Funciones preparatorias G	17
2.2 Funciones preparatorias M	17
2.3 Código G y M de la figura 2.2.3	20
2.4.1 Configuración secuencia normal de encendido de las bobinas del motor PaP	26
2.4.2 Secuencia tipo wave drive de encendido de las bobinas PaP	27
2.4.3 Secuencia de tipo medio paso de encendido de las bobinas del motor PaP	27
2.5.1 Configuración de los ejes	32
2.5.2 Configuración de los Enabled	34
2.5.3 Configuración de salidas a relé	34
4.1 programas especializados para el manejo del código G	56
4.5 Lista de componentes del Driver	63
4.6 Lista de componentes de la Interfaz	66
4.7 Configuración del puerto paralelo	68
4.10 Características de los sistemas tomados como referencia para el diseño de la estructura	72
4.11 Mediciones en la baquelita	80
4.12 Valores medios de las pistas	80
4.13 Error absoluto	81



INTRODUCCIÓN



Cada vez más se hace necesario que la presentación de los circuitos impresos, tanto para la educación como para la comercialización, estén a la vanguardia de las grandes industrias nacionales e internacionales, teniendo en cuenta que sean funcionales y acordes a los parámetros del diseño. Además en la gran mayoría de los casos se busca la producción en masa de manera económica, eficiente, segura y rápida, y es por esto que se piensa en la fabricación de un prototipo de máquina para la fabricación de circuitos impresos en lamina de cobre en baquelita por fresado, empleando un sistema de control numérico, con la ayuda de un software que permita importar el diseño del circuito desde un programa CAD (Computer-Aided Design), que mejore los procesos de producción en el entorno.

El primer desarrollo en el área del CNC lo realizó el inventor norteamericano John T. Parsons junto con su empleado Frank L. Stulen, en la década de 1940 [17], la primera máquina de fresar se construyó en 1818 y fue diseñada por el estadounidense Eli Whitney, con el fin de agilizar la construcción de fusiles en el estado de Connecticut, y desde ahí en adelante todos los esfuerzos se han encaminado a incrementar la productividad, precisión, rapidez y flexibilidad de las máquinas herramienta.

En el área de la electrónica es indispensable el ahorro de tiempo para mayor eficiencia en el trabajo que se requiere para la fabricación de PCBs. Este procedimiento es dispendioso ya que se precisa la utilización de ácido, marcadores especiales o impresora laser y papel; esto en el caso de la técnica denominada papel transfer o técnica de transferencia térmica. Además de una disponibilidad total de la persona que realiza el procedimiento, debido a que este es meramente manual. El tiempo de fabricación es incierto dependiendo de la experiencia del fabricante, del cuidado al realizarlo, de los materiales y es algo peligroso debido a estos. Este es el método más económico para la fabricación de PCBs, sin embargo, cuando es necesario un error cercano a cero y además producir una serie de circuitos iguales el objetivo se complica, convirtiéndose en un verdadero problema, teniendo que realizar el mismo procedimiento para cada circuito.



INTRODUCCIÓN



Para mostrar el logro de los objetivos el desarrollo de este proyecto de grado se ha conformado de cinco capítulos, dispuestos de la siguiente manera:

- En el capítulo I se plantea la problemática existente, su justificación, limitaciones y los objetivos que se persiguen para su solución.
- En el capítulo II se muestran antecedentes del tema y se realiza un estudio de los conceptos principales que se deben conocer y tener en cuenta al momento de diseñar una máquina con un sistema de control numérico.
- En el capítulo III se describe el tipo de investigación a realizar y las fases que conforman el proyecto.
- En el capítulo IV se presentan la descripción de cada una de las fases hasta llegar a la construcción del prototipo y los resultados obtenidos.
- En el capítulo V se exponen las conclusiones obtenidas a la culminación del proyecto y las recomendaciones.

CAPÍTULO I

El problema



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del problema

Innovación y visión son palabras que tienen un gran rol protagónico en la modernización, ellas engloban muchos cambios favorables para la humanidad a finales del siglo XX. Actualmente la escasez de productos de consumo inmediato, la falta de capacidad de las industrias para producir equipos o elementos que posteriormente sean utilizados para obtener materias primas básicas; y así, un sin número de razones, motivaron al hombre a realizar nuevos diseños y nuevas tecnologías dando empleo al uso de nuevos materiales, maquinarias, normas y reglas.

En virtud de ello, la industria manufacturera no fue la excepción y por lo tanto la tecnología desarrollada ha sufrido muchos cambios en cortos períodos de tiempo. Provocando esto, la necesidad de implementar la capacitación del recurso humano en periodos de tiempos muy cortos, ya que en el tiempo que necesitan para actualizarse en algún proceso o equipo, surge uno completamente nuevo que lo hace obsoleto. Por lo tanto es urgente que el empresario venezolano conozca nuevos métodos de producción con los cuales obtenga mejores resultados y utilidades.

Considerando lo anteriormente expuesto, existe un mercado que necesita tarjetas electrónicas para la elaboración de circuitos, los cuales son demandados en diversas industrias como la petroquímica, la metalúrgica, la automotriz y la electrónica, entre otras, satisfacer las necesidades de elaboración de partes en menor tiempo y a menor costo, con mejor aprovechamiento del factor humano y en aras de la automatización.

El deseo de incorporar innovaciones en la industria manufacturera, dio razón a plantear este proyecto: el diseño de una máquina CNC (control numérico por computadora) para la elaboración de circuitos impresos, en el que se introduce un patrón que describe las



características del diseño, a través de un código usado en estas máquina conocido como código G y M (movimiento y acción) , el cual es decodificado por unos drivers que traducen estos códigos en movimiento y acción de la fresa y así realizar el proceso de desbaste en la lamina de cobre para PCB hasta describir las pistas de los circuitos impresos, obteniéndose numerosas ventajas respecto a métodos artesanales tales como: mayor precisión, menor pérdida en el espesor de la capa de cobre y mayor estética en el acabado de la pieza.

Esta preocupación motivó a la empresa ELÉCTRICOS VENEZOLANOS C.A en conjunto con los autores de este proyecto a proponer el diseño e implementación de un prototipo de máquina fresadora CNC para la elaboración de circuitos impresos. En este caso se propuso desarrollar una idea, con la cual se aspira facilitar la realización de una tarea y de esta forma satisfacer una necesidad de la empresa. Siendo el propósito de este trabajo investigar y desarrollar todos los aspectos técnicos de la máquina fresadora CNC; y establecer una visión emprendedora de forma tal que el resultado conduzca a la fabricación en serie de circuitos impresos de una manera ventajosa.

Justificación

Disponer de un sistema de control numérico el cual trabaje eficientemente en la realización de piezas en serie aprovechando al máximo el factor humano y el ahorro del tiempo. Permitiendo aumentar en un porcentaje significativo la producción y el proceso de elaboración de circuitos impresos de forma más eficiente y disminuyendo el error humano. Ya que al fresar la lamina de cobre para PCB erróneamente se pierde material el cual no es reparable, lo que es común en los métodos artesanales (método de transferencia térmica, por mencionar uno de ellos).

Empleando el sistema de control numérico en la máquina fresadora CNC se busca reducir las pérdidas de material, disminuir el tiempo de elaboración y mejorar el acabado, pues la materia prima sin tratar, a veces posee desperfectos en la superficie y esto ocasiona un aumento en el tiempo de elaboración ya que estos desperfectos tienen que ser mejorados. Por lo tanto es



fundamental un sistema de control preciso, a fin de mantener el acabado impecable y la calidad de la pieza. Motivando esto, a realizar el diseño e implementación de un prototipo de máquina CNC para la elaboración de circuitos impresos.

Objetivos

Objetivo general

Construir un prototipo de máquina CNC para la elaboración de circuitos impresos.

Objetivos específicos

- Realizar la planificación y diseño de la estructura física y mecánica de la máquina CNC.
- Seleccionar los elementos a utilizar con el fin de adquirir los componentes electrónicos y equipos requeridos, haciendo uso de las fichas técnicas o data sheet de cada uno de ellos.
- Diseñar y elaborar el plano de los sistemas electrónicos de control de los motores (drivers) para identificar las entradas y salidas de dichos equipos.
- Elaborar un circuito impreso con la máquina diseñada para probar el funcionamiento de la misma y evaluar el error cometido en el trazado de las pistas.
- Evaluar los resultados de la elaboración de los circuitos impresos verificando la continuidad eléctrica en todas sus pistas y mediante comparación milimétrica del ancho de las mismas con relación al diseño en software de PCB (Printed Circuit Board).



Alcance y limitaciones de la investigación

El presente proyecto se desarrollo con la finalidad de permitir la elaboración de piezas para troquelar las láminas usadas en la elaboración de circuitos impresos, los cuales son fundamentales en la industria basada en controles electrónicos. Ahora bien, el desarrollo del proyecto fue financiado con recursos propios de la empresa.

En este sentido, se trabajó con baquelitas fabricadas con resinas plásticas y similares, que son más comunes para este tipo de implementos. Se busco en los circuitos eléctricos, características de diseño tales como la precisión de la pieza. Todo esto mediante la precisión de los motores. Asimismo, se busco que el diseño de la maquina facilitara el trabajar con piezas de otros materiales como madera, vidrio, aluminio.

Entre las limitaciones pueden contarse las características físico químicas que tienen las resinas plásticas, pues son diversos los residuos o partículas que pueden contaminarlas, también se deben incluir los desniveles en cuanto a su estructura y superficie, debido a que en algunas oportunidades estas presentan dobleces, que al fresar las piezas es posible que no se obtengan los resultados deseados. Otra limitación relevante es la poca disponibilidad de las fresas adecuadas en el mercado nacional.

CAPÍTULO II

Marco teórico



II.1 Antecedentes

Un primer antecedente a considerar es el elaborado en el año 2007, por Sebastián Alejandro Valerio Guerrero quien presentó en la Universidad de Chile en Santiago de Chile en el departamento de Ingeniería Eléctrica, un trabajo en el área de control automático, titulado **“Diseño e Implementación de una plataforma de desarrollo aplicada a un prototipo de maquina fresadora CNC”** El objetivo del presente trabajo fue el de diseñar e implementar una Plataforma de Desarrollo orientada al área de control automático. Esta plataforma será aplicada a un prototipo de una máquina fresadora CNC, diseñada y construida para el propósito de este trabajo, cumpliendo el rol de controlador de la misma. La plataforma en sí podrá ser utilizada en el diseño y construcción de prototipos y como base para futuras aplicaciones específicas. Esto gracias a las distintas funciones con que cuenta y la documentación entregada en este trabajo.

La etapa de diseño está compuesta por una investigación sobre la tecnología a utilizar y los requerimientos que deberá cumplir. Este proceso entrega como resultado las especificaciones eléctricas y mecánicas de la plataforma y la matriz de la placa de circuito impreso para la construcción de la misma. En esta etapa se detallan los criterios y consideraciones realizadas de cada parte de la plataforma, de tal manera de dar cumplimiento a cada objetivo trazado.

En la etapa de implementación de la plataforma, la fase de construcción y armado de la placa de circuito impreso fue realizado por una empresa externa especializada en este tipo de trabajos. Para comprobar el funcionamiento de la plataforma se construyó un prototipo de fresadora CNC, el cual forma parte del entorno de prueba creado especialmente para el presente trabajo. Se realizaron diferentes experimentos para poder observar el comportamiento de la plataforma como controlador. De esta manera, se obtuvieron resultados reales de la operación de la plataforma dentro de una aplicación y con ello se validó el diseño realizado.

Como conclusión al trabajo desarrollado se obtuvo la plataforma de desarrollo diseñada e implementada de acuerdo a los requerimientos planteados, los cuales fueron cuidadosamente



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO



verificados utilizando el entorno de prueba construido para tal propósito. De esta manera, se cuenta con una plataforma de desarrollo diseñada y construida en Chile, completamente funcional y lista para ser utilizada, siendo de gran ayuda en el diseño y construcción de aplicaciones en el área de: control automático; electrónica de potencia; electrónica de consumo; y, queda abierta a futuros usos. Siendo considerado este trabajo de antecedente para el presente estudio ya que proporciona información en cuanto al diseño, construcción y estructura de las maquinas CNC y sus diversos usos y funciones.

Siguiendo este orden de ideas, se presenta el estudio realizado en el año 2009 por Josué Arriaga Gordillo y Ernesto Merino titulado: **“Aplicación del Control Numérico Computarizado a las Máquinas Fresadoras”**. Presentado en el Instituto Politécnico Nacional. México Distrito Federal. Dicho estudio tuvo como objetivo conocer el origen y evolución del control numérico y diferencio los sistemas de control de la máquina-herramienta. Donde exponen que hasta ahora la automatización de maquinas y procesos a permitido mejorar la productividad, la disminución de costos y la mejora de localidad de los productos. Por tal motivo, la revolución de la información a propiciado un nuevo enfoque por el que la producción se contempla como un flujo de material atreves del sistema productivo que interacciona con todas las áreas de la empresa. Ahora bien, el control numérico computarizado es un equipo de control inteligente considerado una máquina-herramienta automatizada que debe integrarse como un único sistema de control dentro de las operaciones de manufactura, este tipo de control es recomendado en el uso de operaciones con herramientas tales como tornos fresadoras y prensas las cuales carecen de flexibilidad y requieren de un considerable personal especializado. El presente estudio se considera como antecedente para esta investigación dado que aporta información concreta en cuanto al uso y manejo del Control Numérico computarizado directamente sobre las Maquinas Fresadoras, estableciendo las ventajas de la implementación de estos equipos.



Por otro lado se presenta la investigación realizada en el 2010 por Alfredo Rossini titulada: **“Construcción de una máquina CNC para hacer circuitos impresos”** donde señala que el CNC de este proyecto está pensado fundamentalmente para construir prototipos de circuitos impresos, con el cual también se pueden hacer trazados en madera y otros materiales livianos. El proyecto CNC consta de la máquina propiamente dicha, que tiene tres ejes de movimientos: el plano de trabajo con direcciones X e Y, y el eje vertical Z. Para cada eje de movimiento, tiene un motor paso a paso con un tornillo de paso 1 mm. El motor requiere 96 pasos para girar una vuelta, de manera que un paso del motor, equivale a un desplazamiento cercano a la centésima de mm, lo que es una precisión muy interesante. Puede realizar tallados en bajo o alto relieve.

Asimismo, este CNC (máquina) no tiene un origen fijo, como por ejemplo el scanner, de manera que el origen se elige a voluntad, primero en el AutoCad y luego en el CNC, mediante el posicionador manual. Lo otro importante, es que el CNC sigue la secuencia del dibujo, de manera que conviene hacerlo ordenado, si se puede, para que el CNC no se la pase viajando con la herramienta levantada, de un lado para otro, sin hacer nada. El mismo procedimiento, sin las perforaciones, se puede usar para cualquier diseño de tallado en madera u otros materiales. Brindando esta investigación un aporte significativo en cuanto a soporte y estructura en el diseño de la maquina, siendo considerado como modelo de referencia.

Seguidamente en el año 2011, Chevez Sergio y Medina Andrés presentaron en la Universidad de Carabobo en la escuela de ingeniería eléctrica un trabajo especial de grado titulado **“Sistema de control automatizado de bajo costo, para un torno paralelo”**. El principal objetivo planteado en este trabajo fue el de implementar un sistema de control automatizado de bajo costo para un torno paralelo el cual se logró bajo el enfoque planteado. Para ello se elaboró una interfaz gráfica con el software Visual Basic (para la simulación del mecanizado de piezas en el torno), se observó satisfactoriamente la coherencia entre los datos obtenidos con las simulaciones y los resultados obtenidos en los ensayos, por medio de la adquisición de datos en las diversas pruebas realizadas.



El proyecto de grado se realizó con el fin de reducir la brecha en términos de costos, para el desarrollo de un sistema de control numérico en un torno paralelo. En función a esto, se implementó un sistema de control muy simple y una estructura de programación funcional. Este proyecto de grado ha sido de base por la metodología empleada para la elaboración del Trabajo de Grado al que se intenta realizar, debido a su gran similitud.

Como último antecedente a considerar se presenta el estudio realizado por Aranda (2011) titulado: “ Consideraciones para el diseño adecuado de una maquina CNC” a través del cual expone que el diseño adecuado de las estructuras de las maquinas y herramientas requieren el análisis de factores como la forma, materiales de las estructuras, esfuerzos, peso, consideraciones de fabricación y rendimiento. El mejor enfoque para obtener lo último en exactitud de las maquinas y herramientas es el empleo de las mejoras en la rigidez estructural y la compensación de las deflexiones con el uso de controles especiales. Así mismo, la estructura del bastidor se ha utilizado desde hace mucho tiempo porque permite fácil acceso a la zona de trabajo de la máquina. Con la aparición del control numérico, se volvió práctico el bastidor del tipo caja, que tiene una rigidez estática mucho mejor, por que se reduce mucho la necesidad de tener acceso manual de la zona de trabajo. el empleo de una estructura del tipo caja con paredes delgadas puede proporcionar bajo peso para una rigidez dada. Brindando este el aporte en cuanto a las características necesarias que se han de considerar en el momento de realizar el diseño y ensamblaje de la estructura

II.2 BASES TEÓRICAS

En la presente sección se muestran los conceptos que resumen los aspectos primordiales para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.



2.1 CONTROL NUMÉRICO COMPUTACIONAL

2.1.1. Introducción

Según Guerrero (2007) El Control Numérico Computacional o *Computer Numerical Control* (CNC) es el proceso de fabricación de piezas mecanizadas. Esto es realizado y supervisado mediante un controlador computarizado. Este controlador usa motores para mover cada eje de la herramienta de la máquina y actualmente regula la dirección, velocidad y longitud para el movimiento realizado por cada motor.

Por tal motivo, un programa es cargado, por un operador, dentro del computador o controlador de la máquina CNC para ser ejecutado. El programa consiste de datos de puntos numéricos en conjunto con comandos de control y funciones específicas para el controlador. Control Numérico o *Numerical Control* (NC) es el término original de esta tecnología y continúa utilizándose indistintamente con el término CNC. La tecnología NC ha sido uno de los desarrollos más grandes en la industria de la manufactura en los últimos 50 años. (Guerrero ob. cit.)

2.1.2. La evolución de la tecnología NC

Los principios de la fabricación NC se encuentran en la revolución industrial. En los inicios se usó para automatizar la producción en correas transportadoras, poleas y levas. Pero la mayor parte del proceso todavía se hacía de manera manual. Los maquinistas de esos días producían piezas de mayor calidad pero no a grandes volúmenes. No fue hasta la Segunda Guerra Mundial que la industria se dio cuenta de que se necesitaban ambos requerimientos al mismo tiempo, es decir, calidad y cantidad. (Guerrero 2007)

Ahora bien, en 1952, la primera máquina de 3 ejes numéricamente controlada fue creada. El controlador de esta máquina fue el computador Whirlwind desarrollado por el MIT⁶. En 1954,



el control numérico fue anunciado al público. En las primeras generaciones máquinas NC requerían cintas de papel perforadas con el código a ejecutar. Avanzadas investigaciones y desarrollos más complejos trajeron nuevas generaciones de máquinas NC. La consecuente introducción del Control Numérico Computarizado, donde un computador es usado para controlar la máquina, eliminó la dependencia de las abultadas y frágiles cintas de papel. (Guerrero ob. cit)

Es por ello, que el control numérico directo y el distribuido (DNC) son términos que describen la comunicación hacia la máquina desde un computador remoto. En el NC directo, bloques de instrucciones del programa son enviados a la máquina tan rápido como ella los pueda ejecutar. En el NC distribuido el programa completo o múltiples programas son comunicados a la máquina CNC o varias máquinas CNC, usualmente vía una comunicación serial RS-232. Este proceso fue posible incrementando la capacidad de memoria de los controladores CNC.

2.1.3. Aplicaciones NC

De acuerdo con Guerrero (2007), desde los días de la primera fresadora NC, las aplicaciones de esta tecnología han variado bastante. Algunos ejemplos de éstas se describen a continuación.

- Máquinas Fresadoras. Las máquinas CNC fresadoras usan un cortador rotatorio para el movimiento de corte y un movimiento lineal para la alimentación. El material es empujado en el cortador, o el cortador es empujado al material, en caminos rectos o curvos tridimensionales, para producir los elementos deseados de una pieza. La pieza terminada es creada mediante la remoción de todo el material innecesario desde la pieza de trabajo.



- Tornos. Los Tornos CNC rotan la pieza de trabajo en contra de un único punto de una herramienta para producir movimiento de corte. La herramienta se alimenta a lo largo o en la pieza de trabajo para producir el movimiento de alimentación.
- Centros de Mecanizado. Los centros de mecanizado son máquinas CNC más sofisticadas que frecuentemente combinan las tecnologías de fresado y torneado.
- Máquinas EDM. Una máquina de descarga eléctrica o *electrical discharge machine* (EDM) usa chispas eléctricas para hacer una cavidad en una pieza de metal.

2.1.4. Motores en Máquinas CNC

Dentro de las aplicaciones NC y en la robótica en general, es bastante común encontrar motores del tipo paso a paso (PaP) o *Stepper* como se les conoce comúnmente. Estos motores son ideales en la construcción de mecanismos donde se necesiten movimientos de precisión. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°.

Existen dos tipos básicos de motores de paso: de imán permanente; y, de reluctancia variable. En el presente trabajo sólo se analizará el primer caso. Además, los motores de paso de Imán permanente se dividen en dos tipos: unipolar y bipolar.

Un motor bipolar consiste en un imán permanente rotatorio rodeado por polos en el estator que contienen bobinas. Estas bobinas son energizadas en una cierta secuencia para permitir el movimiento del rotor. Una manera de realizar esto es energizar las bobinas en la secuencia AB/CD/BA/DC (BA significa que se alimenta la bobina AB pero en el sentido opuesto). Esta secuencia es conocida como *one phase on* o una fase encendida en paso completo. Solo una fase es energizada a la vez. Otra forma es energizar ambas fases y se le conoce como

two phase on y es el modo normal de operación de un motor bipolar, ya que entrega el torque más alto. (ver figura 2.1.4.)

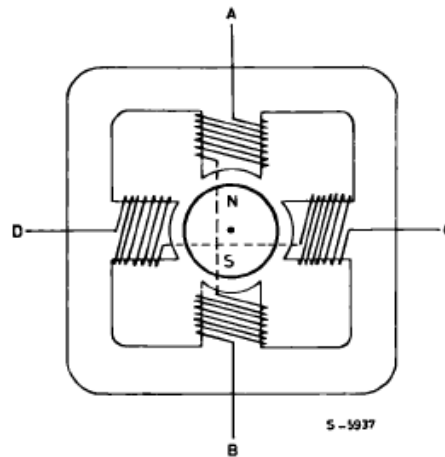


Figura 2.1.4 Motor Stepper Bipolar.

Fuente: Guerrero (2007)

El motor mostrado en la Figura 2.1.4 puede realizar un avance de 90° por paso. Motores reales poseen múltiples polos para reducir el ángulo de paso a unos pocos grados. El motor unipolar es idéntico a la máquina bipolar descrita anteriormente exceptuando las bobinas bifilares que se utilizan para invertir el flujo del estator. Este tipo de motores son más fáciles de controlar ya que las bobinas no se deben energizar en un sentido y luego en otro, como en el caso del motor bipolar. (ver figura 2.1.5)

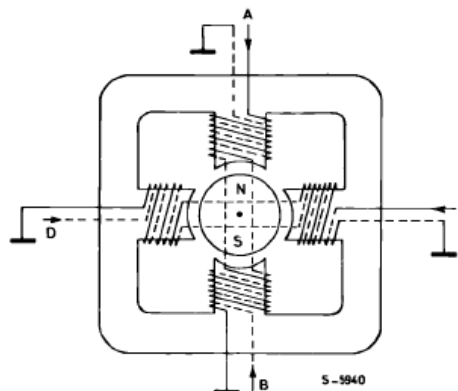


Figura 2.1.5 Motor Stepper Unipolar.

Fuente: Guerrero (2007)

2.2.0 CÓDIGO G y M (ACCIÓN Y MOVIMIENTO)

Pereira (2011), describe que un programa es una lista secuencial de instrucciones de maquinado que serán ejecutadas por la maquina CNC, a las instrucciones se les conoce como código CNC, las cuales deben tener toda la información requerida para lograr el maquinado de la pieza

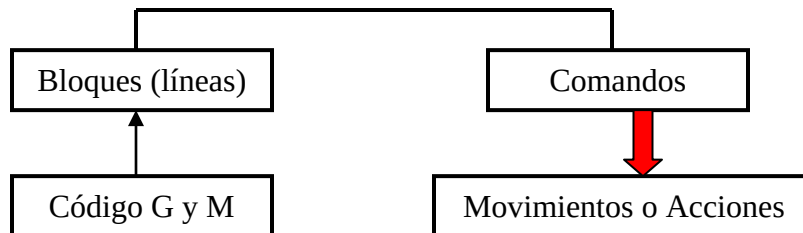


Figura 2.2.0. Componentes del código G y M

2.2.0.1 SINTAXIS DE LA PROGRAMACIÓN DEL CÓDIGO G Y M

➤ LOS REGISTROS NC

Un registro representa una “línea” del programa (o subprograma) y se identifica mediante la letra N seguida de un número que sirve para diferenciar ese registro de los demás que componen un programa (o subprograma). Una vez introducido el numero del registro, que se procede a insertar las “palabras” que correspondan. (Pereira 2011)

➤ LA PALABRA

Según Pereira (2011) un registro consta de varias palabras. Una palabra consta a su vez de una letra (dirección) y una combinación de cifras. Cada palabra tiene un determinado significado, según el cual se ajusta también el valor numérico asignado ver figura 2.2.1.

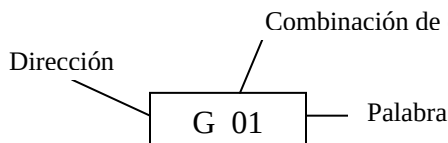


Figura 2.2.1 Estructura de la palabra del código G. [3]

En el ejemplo las cifras están separadas de la dirección para una mejor comprensión, pero en la realidad tienen que ir juntas. Las palabras se separan entre sí por espacios, y cada una de ellas representa una acción a tomar por la máquina. La longitud máxima de registro puede valer entre 3 y 4 líneas para este torno CNC. En caso de rebasar este límite.

➤ LAS PALABRAS EN EL CONTROL NUMÉRICO (NORMA ISO)

Las palabras usadas en CNC para fresado requieren de un orden en su sintaxis, la cual se debe respetar, ya que de lo contrario el programa no correrá.

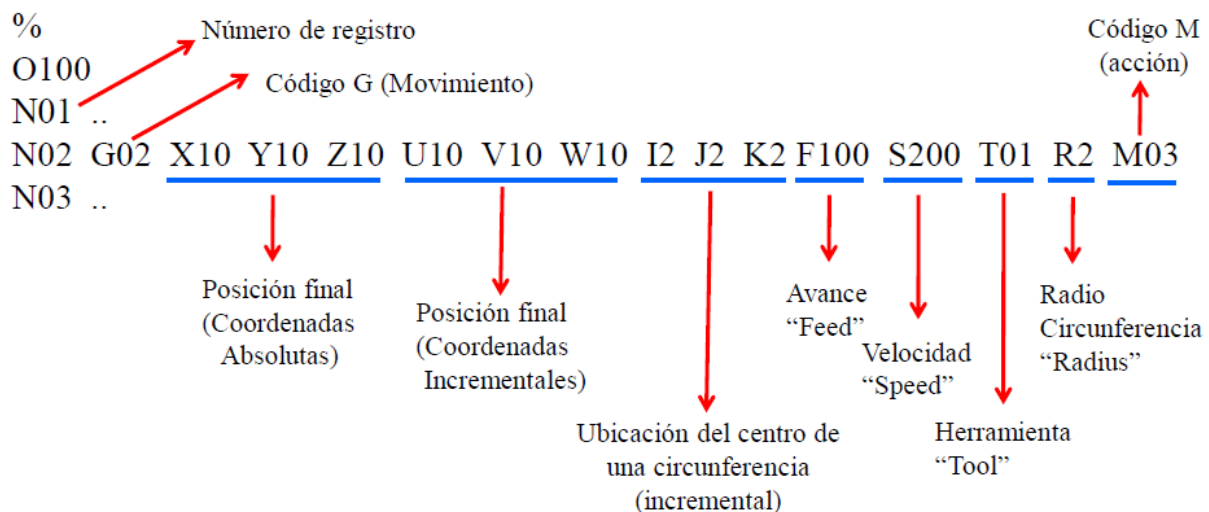


Figura 2.2.2 Estructura de la sintaxis de las palabras del código G. [3]

➤ CODIGO PARA CNC- FUNCIONES PREPARATORIAS G

Las funciones preparatorias son las más importantes, en la programación de las máquinas CNC debido a que estas describen mediante estos códigos la superficie en que va a desplazarse en la pieza que está trabajando. En la tabla II.1 y en la tabla II.2 se presentan algunos de estos códigos.



Tabla.2.1 FUNCIONES PREPARATORIAS G

Comando	Descripción
G00	Interpolación Lineal Rápida.
G01	Interpolación lineal a la velocidad programada en el registro F.
G02	Movimiento Circular en el sentido horario Feedrate.
G03	Movimiento Circular en el sentido anti-horario Feedrate.
G04	Es una demora o una pausa con un tiempo específico.
G17	Selección del Plano X-Y
G18	Selección del Plano X-Z
G19	Selección del Plano Y-Z

Fuente: r-luis.xbot.es/cnc/codes03.html

Tabla.2.2 CODIGO PARA CNC- FUNCIONES PREPARATORIAS M

Comando	Descripción
M00	Parada opcional
M01	Parada opcional
M02	Reset del programa
M03	Hacer girar el husillo en sentido horario
M04	Hacer girar el husillo en sentido antihorario
M05	Frenar el husillo
M06	Cambiar de herramienta
M07	Abrir el paso del refrigerante B

Fuente: r-luis.xbot.es/cnc/codes03.html

2.2 HERRAMIENTAS MODERNAS DE CORTE

Según González (2004) estas herramientas de corte modernas son aquellas que toman los principios básicos de una herramienta de corte convencional, y son modificadas, es decir, están hechas de materiales más resistentes a la abrasión y al desgaste, tienen una geometría ligeramente diferente, son más pequeñas, dejan un mejor acabado superficial, trabajan a altos regímenes, entre otros beneficios. A la hora de pensar en la manufactura de una pieza, se deben tomar en cuenta 6



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO



parámetros que definen una herramienta de corte y su posterior implementación. Desde un punto de vista general, estos 6 parámetros pueden ser:

- *Tamaño:* A partir del tamaño de la pieza y de la precisión necesaria, se determina el tamaño de la herramienta.
- *Material:* Este aspecto está relacionado con la capacidad máxima de corte en el sentido que si el material tiene mejores propiedades tales como resistencia a la abrasión y al desgaste, la herramienta puede soportar altas cargas de trabajo.
- *Geometría:* A partir de la complejidad, la precisión y material de la pieza a fabricar, se establecen las propiedades geométricas de la herramienta. Tales son diámetro, longitud, diferentes tipos de ángulos, forma, etc.
- *Capacidad máxima de trabajo:* Estas son las propias de un proceso de manufactura tales como el avance, la profundidad y la velocidad de corte. Están restringidas por las propiedades mecánicas del material de la herramienta y además determinan en gran medida la vida útil de la misma.
- *Costos:* Esto incluye todo lo concerniente al reafilado de la herramienta y costos de reemplazo de la misma.
- *Flexibilidad:* Esto se refiere a la facilidad de utilizar esta misma herramienta en diferentes tipos de máquinas-herramientas sin aumentar los costos, ni variar las propiedades de la herramienta, como por ejemplo usar un inserto en fresadora y un torno.

2.2.1 PROGRAMA DE MANUFACTURA PARA CORTE POR MEDIO DE FRESADORA

A continuación se muestra el programa ver (tablaII.3) para fabricar la siguiente pieza (ver figura 2.2.3) utilizando una fresadora que funciona por control numérico:

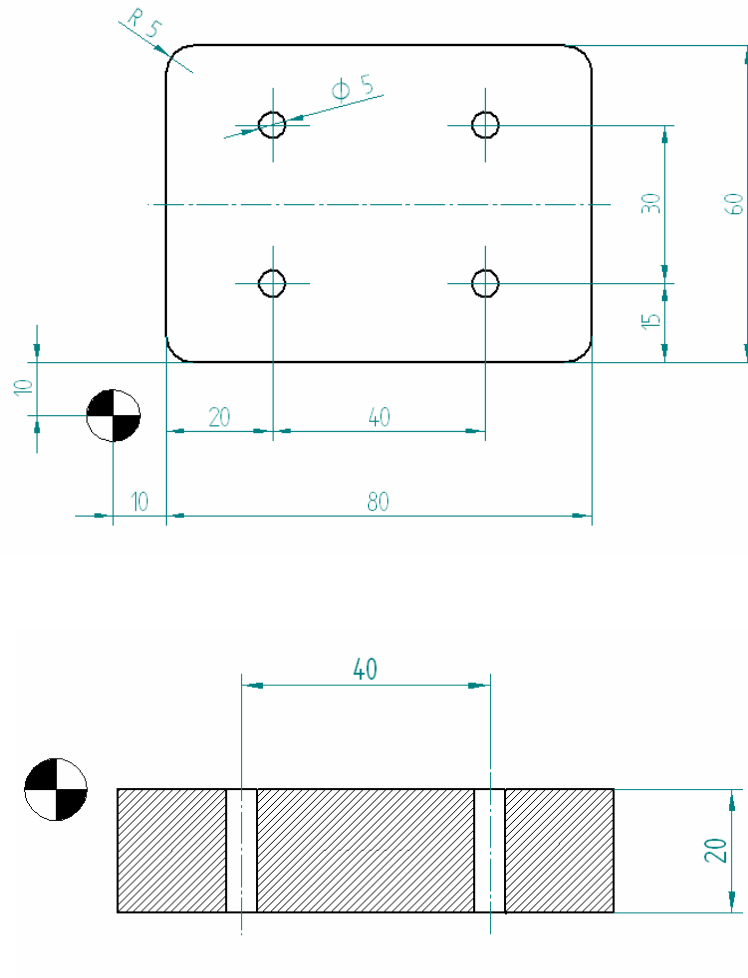


Figura 2.2.3 dimensiones de la pieza
Fuente: González (2004)

Tabla 2.3 Código G y M de la figura

G	X	Y	Z	F	M
M06	D 500	S 300	90.0	T01	
17					
90					
54					
28	0	0	0		
43	0	0	5.0	H01	M03
72	95.0	75.0	0	200	
41	10.0	0	0	200	D 01
01	10.0	0	-20.0	200	M08
01	10.0	65.0	-20.0	200	
02	15.0	70.0	-20.0	200	R 5
01	85.0	70.0	-20.0	200	
02	90.0	65.0	-20.0	200	R5

02	85.0	10.0	-20.0	200	R5
01	15.0	10.0	-20.0	200	
02	10.0	15.0	-20.0	200	R5
40					M09
49					
28					
M06	D 250	S300	90.0	T02	
90					
54					
43	0	0	5.0	H02	M03
99					M08
83	30.0	25.0	-25.0	200	R 5.0 Q 5.0
83	30.0	55.0		200	
83	70.0	55.0		200	
98					
83	70.0	25.0		200	
80	0	0			M09
91					M05
28	0	0	0		
49					
M30					

Fuente: González (2004)



De acuerdo con González (2004), el procedimiento básico que se utilizó, fue primero instalar un escariador de Ø10 mm, después se bajo el escariador y se le hizo un planeado, seguidamente se le hizo un desbaste a todo el borde de la pieza, incluyendo las partes redondeadas. Para este desbaste se requirió hacer una compensación de la herramienta hacia la izquierda. Hecho esto, se cancelaron las compensaciones y se llevó el husillo al punto (0, 0,0) de la maquina y se hizo un cambio de herramienta a un escariador de Ø5mm, para hacer los agujeros utilizando ciclos con retrocesos y así desalojar la viruta. Finalmente se vuelve a llevar al punto (0, 0,0) y se cancelan las compensaciones de altura.

2.2.2 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE MANUFACTURA CON CONTROL NUMÉRICO

Acorde con los fundamentos básicos de manufactura con control numérico, estos trabajan con ayuda de los computadores abriendo paso a que se generara lo que se conoce como manufactura integrada por computador (CIM). Por medio de esta ayuda se pueden mejorar en gran medida muchos de los aspectos que se manejan en manufactura tales como calidad, productividad y diseño. También se pueden disminuir los costos y los sobrantes de maquinado. Existen dos herramientas computacionales que se han integrado a la manufactura integrada por computador y son el CAD (Diseño asistido por computador) y el CAM (manufactura asistida por computador). Existe otra herramienta computación, que surge de estas dos anteriores, y es la planeación de procesos de manufactura asistida por computador (CAPP). Siendo el objetivo determinar y preparar los procesos y parámetros necesarios para transformar una pieza en bruto en una funcional con excelente calidad. Sin embargo, este tema abarca muchos aspectos tales como:

- Interpretación del modelo del producto.
- Selección de la máquina-herramienta.
- Selección del juego de herramientas.
- Determinación de los alistamientos.



- Determinación del método de maquinado.
- Selección de la herramienta de corte.
- Determinación de las secuencias y trayectoria de maquinado.
- Generación del programa para el control numérico.

Sin embargo, este método no se ha podido automatizar debido a la dificultad de acoplar completamente el CAD y el CAM. Sin embargo, existen programas (software) CAPP que hacen las planeaciones necesarias para un proceso disminuyendo considerablemente el tiempo de producción. Para esta planeación de procesos existen varias técnicas como la tecnología de grupos, aproximación por arriba (bottom-up), aproximación por debajo (Top-down) y aproximación con inteligencia artificial.

También existe otro aspecto relacionado con el diseño y la manufactura y son los rasgos. Básicamente es la distribución geométrica específica sobre una superficie, esquina o borde que existe a través de una pieza. Esto es una base de donde se parte el diseño para luego encaminarlo hacia la manufactura. Es importante en la fase de diseño tener muy claro el concepto de rasgos, ya que no solo determinan las características físicas de la pieza, sino que deben encaminarse hacia la ensamblabilidad y funcionabilidad.

2.3 Driver Unipolar 4 A 35V

Este es un Driver Unipolar el cual posee un control de corriente de hasta 4A 35V, ese driver permite controlar motores de 5, 6 u 8 cables en configuración unipolar. Al igual que en el driver bipolar de 2A se utiliza el integrado L297 el cual interpreta las señales provenientes de la Interfaz, este integrado está encargado de controlar las corrientes de los Mosfet IRLZ24N que se han utilizado en la etapa de potencia. Para poder utilizar el control de corriente que integra el L297 es necesario agregar unas compuertas NAND entre las señales que salen del L297 y los

terminales Gates de los Mosfet, de esta manera se realiza una modulación de ancho de pulso en los Gates generando así el chopping en las bobinas del motor (ver figura 2.3.1).

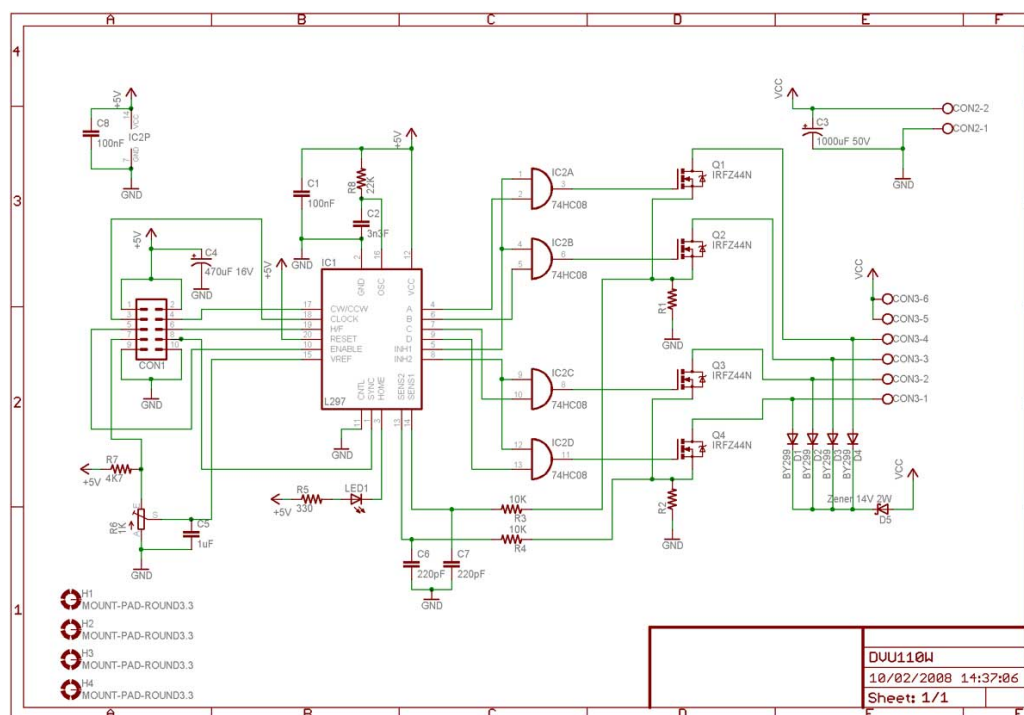


Figura 2.3.1 Esquema del driver [4]

Los Mosfet deben ir montados sobre el disipador con mica aislante y el aislante del tornillo de sujeción, sino se pondrán en corto las salidas del driver. Es importante colocar el disipador sino no podrá trabajar a 4^a.

2.3.1 Esquema del Driver Unipolar 4A:

El Driver cuenta con 3 conectores, uno conector IDC10M donde se conecta el cable plano de 10 hilos que viene de la interfaz (señales de control y 5V para la lógica del driver), una bornera

para conectar la fuente de los motores, y una bornera de 6 conductores donde se conecta el motor como se puede ver en la figura 2.3.2 :

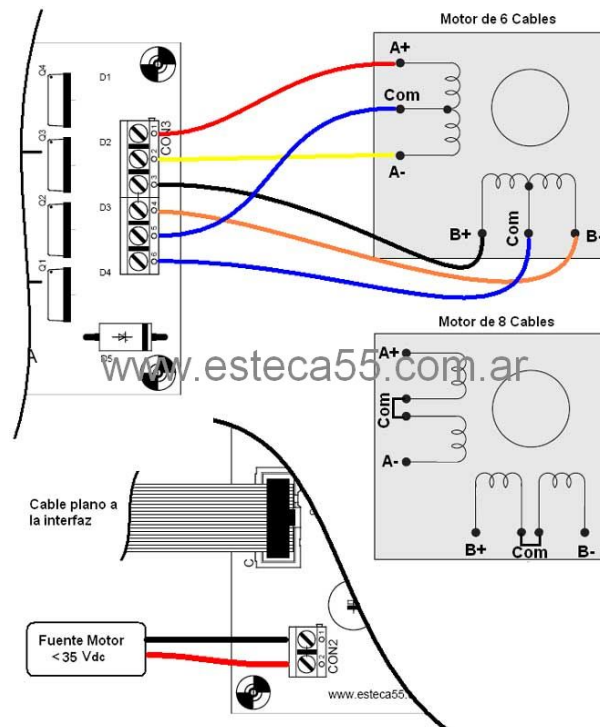


Figura 2.3.2 Representación visual de la conexión ^[4]

Se pueden utilizar motores de 6 y de 8 cables como se ve en la Figura 2.3.3, y también se pueden conectar motores unipolares de 5 cables, en este caso los dos comunes a las bobinas ya están unidos en el motor y se conecta al driver en uno de los dos terminales comunes del driver, no importa cuál de los dos es. [4]

Es importante respetar la polaridad de la fuente de motor, se puede producir daños al driver si se conecta mal, la tensión de motor es la tensión que se aplicara al motor, puede manejar una tensión de hasta 35VDC, se recomienda utilizar una tensión elevada cercana a este valor ya que este driver cuenta con control de corriente y utilizando una fuente de estas características mejora muchísimo el rendimiento. [4]



2.3.2 Control de Corriente:

Como se dijo anteriormente este driver cuenta con control de corriente, el L297 es quien se encarga de esta tarea, por medio de las resistencias shunt (R1 y R2) se censa la corriente y según la tensión de referencia señalada por el usuario el L297 genera el chopping que aplica sobre los Mosfet a través de las compuertas AND, de esta manera la señal de chopping va interrumpiendo las señales de excitación de cada Mosfet.

Para regular la corriente a la que se quiere que trabaje el driver es muy simple, simplemente hay que calcular la tensión de referencia según la siguiente forma:

$$V_{ref} = 0.1 \text{ Ohm} \times \text{Corriente del motor}$$

Luego de eso, debemos regular la V_{ref} según el valor calculado, para ello, con un Tester medimos la tensión de referencia y ajustamos el reóstato hasta obtener el valor deseado, para medir dicha tensión con el Tester debemos medir entre el pin marcado como V_{ref} en la serigrafía de la placa y GND, es necesario que el driver este energizado con 5V desde la interfaz, no así es importante que esté conectada la fuente que alimenta los motores. Se muestran algunas imágenes de los drivers. [4]

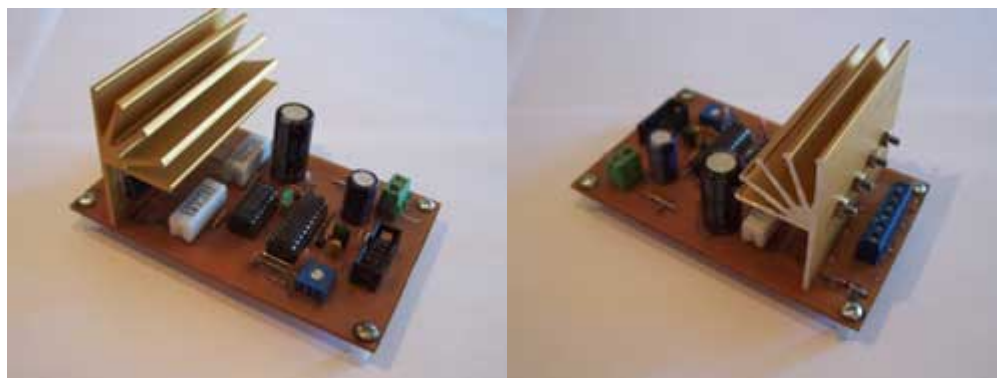


Figura 2.3.3 Representación visual de la tarjeta terminada de referencia [4]

Secuencia Normal

Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención. [10]

Tabla. 2.4.1 Secuencia Normal de encendido de las bobinas del motor paso a paso [10]

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	ON	ON	OFF	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON
4	ON	OFF	OFF	ON

Secuencia del tipo wave drive

En esta secuencia se activa sólo una bobina a la vez. El funcionamiento del motor es más suave, al estar sólo una bobina activada. [10]

Tabla. 2.4.2 Secuencia del tipo wave drive de encendido de las bobinas del motor paso a paso [10]

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON

Secuencia del tipo medio paso

En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos en la tabla la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4. [10]

Tabla 2.4.3 Secuencia del tipo medio paso de encendido de las bobinas del motor paso a paso [10]

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON

2.4 Interfaz CNC v 1.2

En la Web se encuentra muchas opciones para armar un sistema de drivers CNC, la opción más recomendable es la de formato modular, donde se tiene por un lado los drivers que controlan los motores según las señales que recibe desde la PC y la interfaz, que en realidad no hace más que comunicar la PC con los drivers, hay quienes arman todo en una sola placa, incluso omitiendo la interfaz sin problemas, es una cuestión de gustos y practicidad.

En este caso se tiene por un lado la interfaz y por el otro los drivers, siendo el verdadero objetivo de la interfaz aislar el puerto paralelo de la PC de los drivers, en este caso usando compuertas de tipo buffers (74HC244), seguramente muchos dirán que sería mejor hacerlo con optoacopladores, pero usando estos ocuparían más espacio en la tarjeta, además teniendo mínimos cuidados utilizando los buffers es mas suficiente y estos son muy rápidos.

A continuación se muestran unas imágenes de la interfaz:



Figura 2.3.4 Representación visual de la tarjeta de referencia [5]



Como se puede observar la Interfaz cuenta con 4 conectores para drivers, pudiendo manejar entonces hasta 4 ejes, borneras para las 5 entradas del puerto paralelo donde se conectan los finales de carrera parada de emergencia y demás, 3 relés para el encendido del husillo, bomba de agua y aspiradora por ejemplo, ya que a los drivers hay que alimentarlos con 5V DC.

2.4.1 MACH3

El mach3 es un sistema de control computarizado que permite la comunicación por medio de puerto paralelo con los elementos finales de control que son los servomotores o los motores PaP. Este programa es capaz de interpretar una lista de comando los cuales describen una secuencia de movimiento en la superficie a mecanizar a continuación se describe un pequeño tutorial:

Configuración de los pines del Mach 3.

Para efecto de configurar los parámetros se realiza los siguientes pasos como se muestran en las figuras:

1. – Configuración de unidades

Config > Select Native Units

Aquí se selecciona las unidades en que se realizó el dibujo PCB tanto en pulgadas o milímetros ver figura 2.4.0.

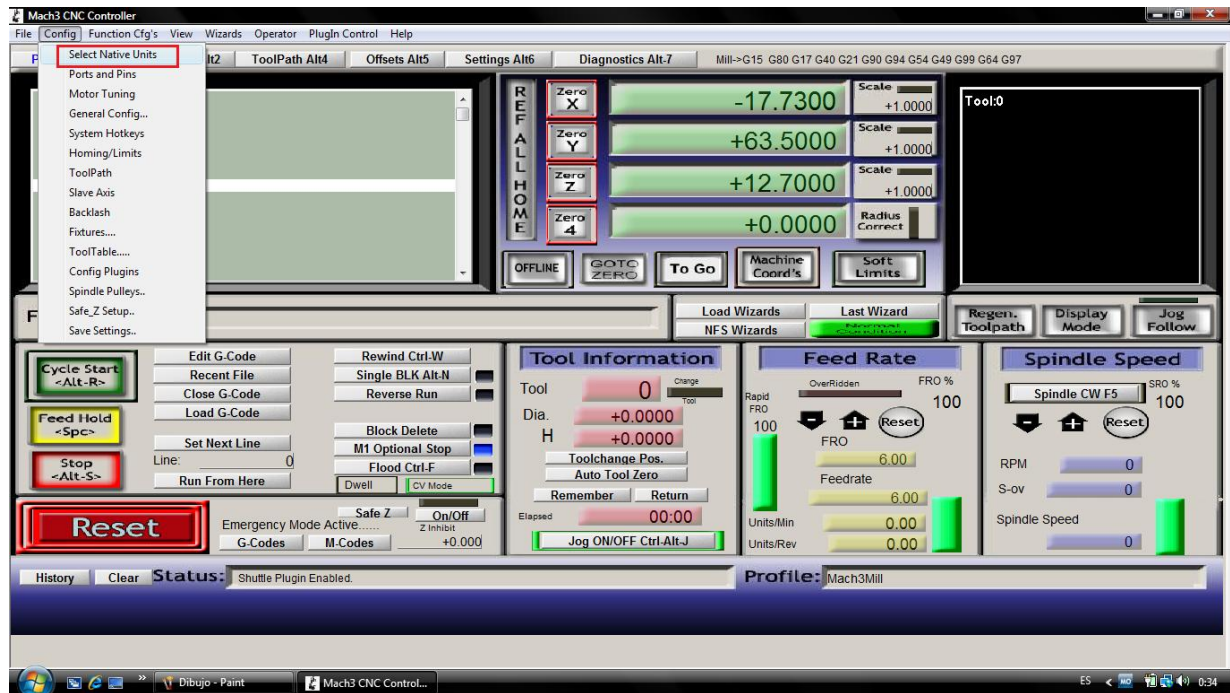


Figura 2.4.0. Pantalla principal del Mach 3 selección de unidades

2. - Setup de Pines

Config > Ports and Pins

Aquí se configuran todos los parámetros para que exista la comunicación PC-Interfaz.

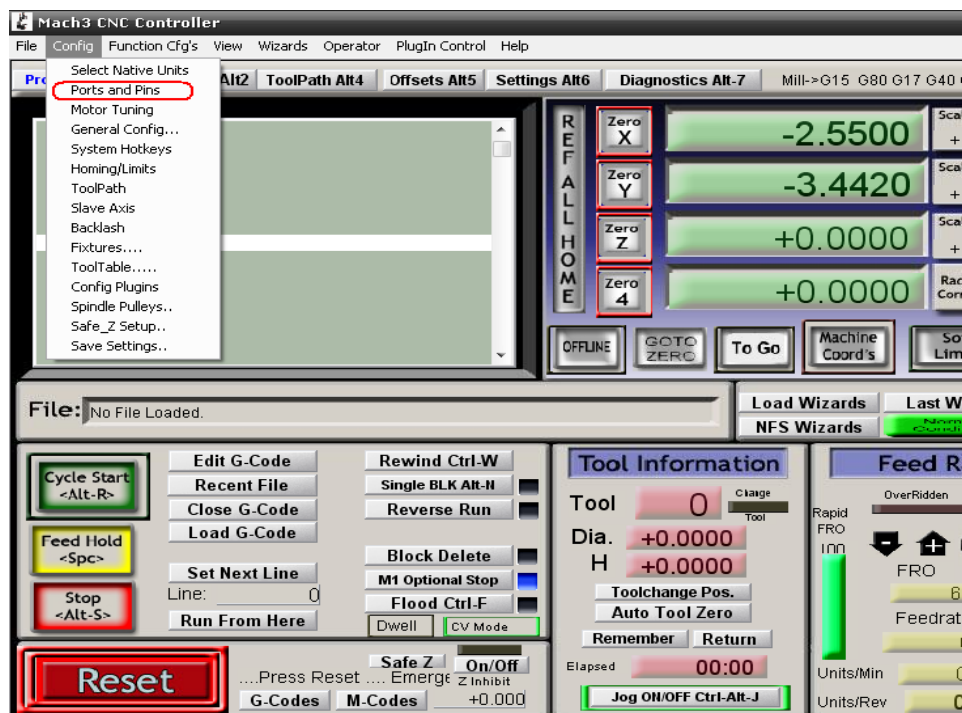


Figura 2.4.1 pantalla principal del Mach 3 [8]

3.-Control de los motores

Pestaña > “Motor Outputs”

La casilla de Step# Pin se colocara el numero del pin correspondiente a la señal del CLOCK de cada eje, y la casilla Dir # Pin, se colocara el numero del pin correspondiente a la señal de dirección que es CW y CCw de cada uno de los ejes.

Engine Configuration... Ports & Pins

Port Setup and Axis Selection | Motor Outputs | Input Signals | Output Signals | Encoder/MPG's | Spindle Setup | Mill Options

Signal	Enabled	Step Pin#	Dir Pin#	Dir LowActive	Step Low Ac...	Step Port	Dir Port
X Axis		2	4			1	1
Y Axis		8	9			1	1
Z Axis		5	3			1	1
A Axis		0	0			1	1
B Axis		0	0			0	0
C Axis		0	0			0	0
Spindle		0	0			0	0

Pin de direccion
Pin de pasos

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 2.4.2 sub-pantalla de configuración de los motores [8]

Ejemplo de una configuración de pines:

Tabla 2.5.1 configuración de los eje [8]

Pin	EJE X	Pin	EJE Y	Pin	EJE Z
2	Paso en "X"	8	Paso en "Y"	5	Paso en "Z"
4	Dirección en "X"	9	Dirección en "Y"	3	Dirección en "Z"
6	Enabled en "X"	7	Enabled en "Y"	14	Enabled en "Z"

4.- Finales de carrera y parada de emergencia: Limits y Home

Pestaña > “Inputs signals”

En “Inputs signals” se recomienda colocar la conexión eléctrica en serie de los finales e inicios de carreras del mismo eje en serie y si se desea el home también, para así ahorrar los pines y poder usarlos para otra aplicación.

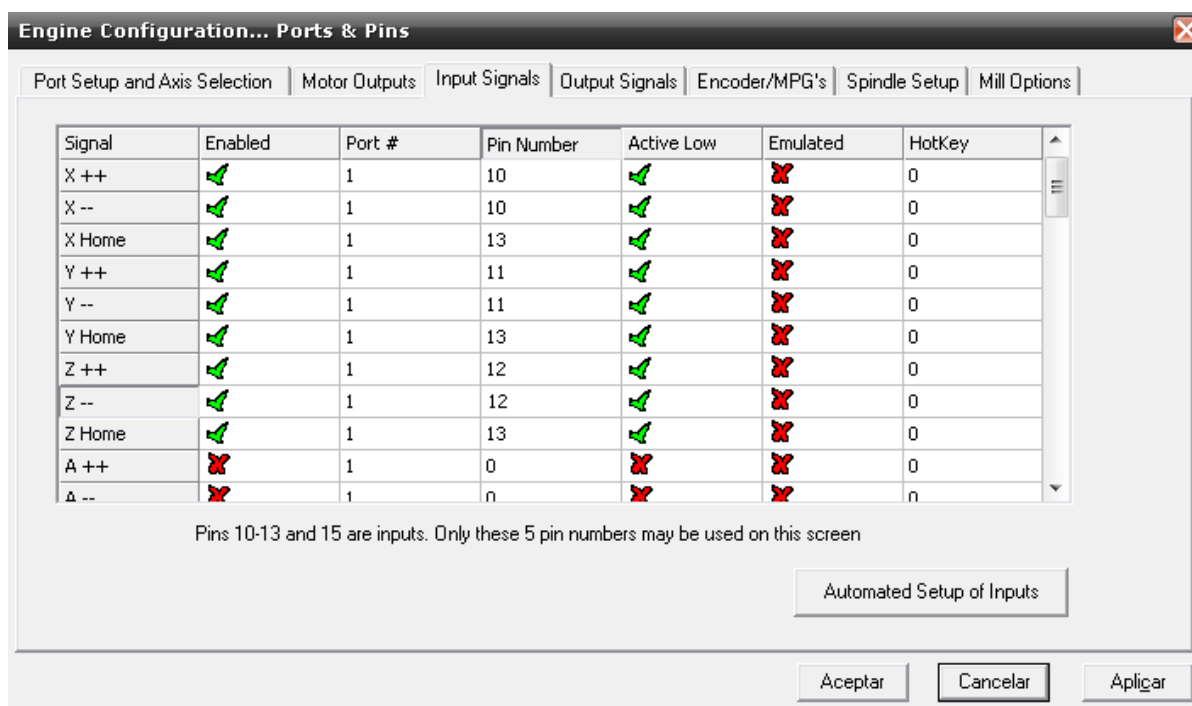


Figura 2.4.3 sub-pantalla de configuración de los home & limit [8]

5.- Configuración de Salidas a Relé y Enables

Pestaña > “Output Signals”

Aquí en “Output Signals” se selecciona las salidas de los enable de cada uno de los drivers, esta configuración al igual que las salidas Output # dependen del diseño de su interfaz.

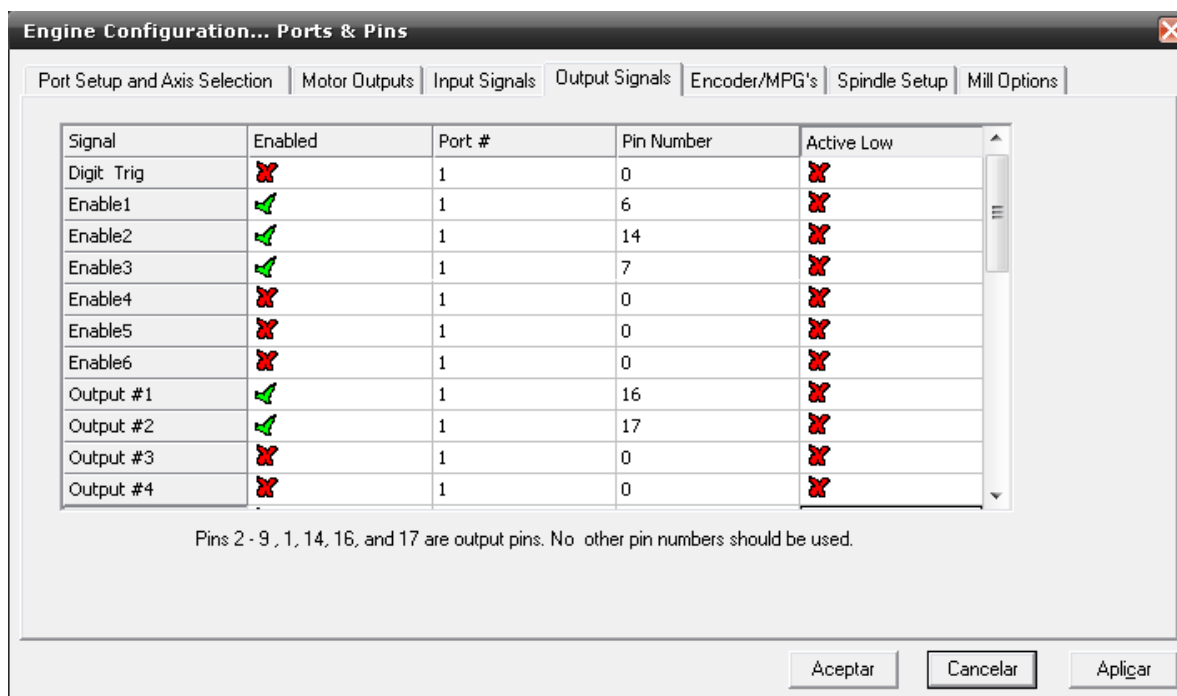


Figura 2.4.4 sub-pantalla de configuración de los enables y salidas a relé [8]

Configuración de los “Enables” de los ejes.

Tabla 2.5.2 configuración de los enabled [8]

Pin	Salida
6	Enabled en “X”
7	Enabled en “Y”
14	Enabled en “Z”

Configuración de las salidas a relé “Outputs”

Tabla 2.5.3 configuración de las salidas a relé [8]

Pin	Salida
16	Salida 2 (RLY2)
17	Salida 1(RLY1)

6.- Asignación de las salidas a Relé

Pestaña > “Spindle Setup”

Estas salidas dependen del diseño de su interfaz y los accesorios a implementar.

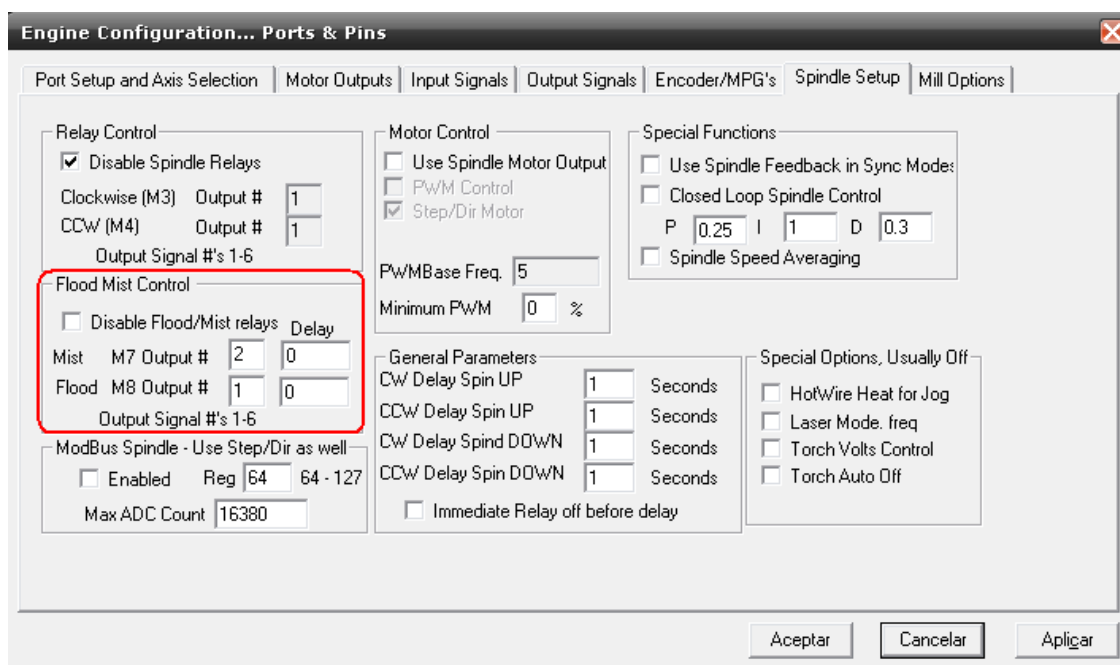


Figura 2.4.5 configuración de las salidas a relé [8]

7.- Backlash

Config > Backlash

Esta función nos permite compensar las pérdidas en el cambio de giro debido a los juegos mecánicos en los acoples de los motores.

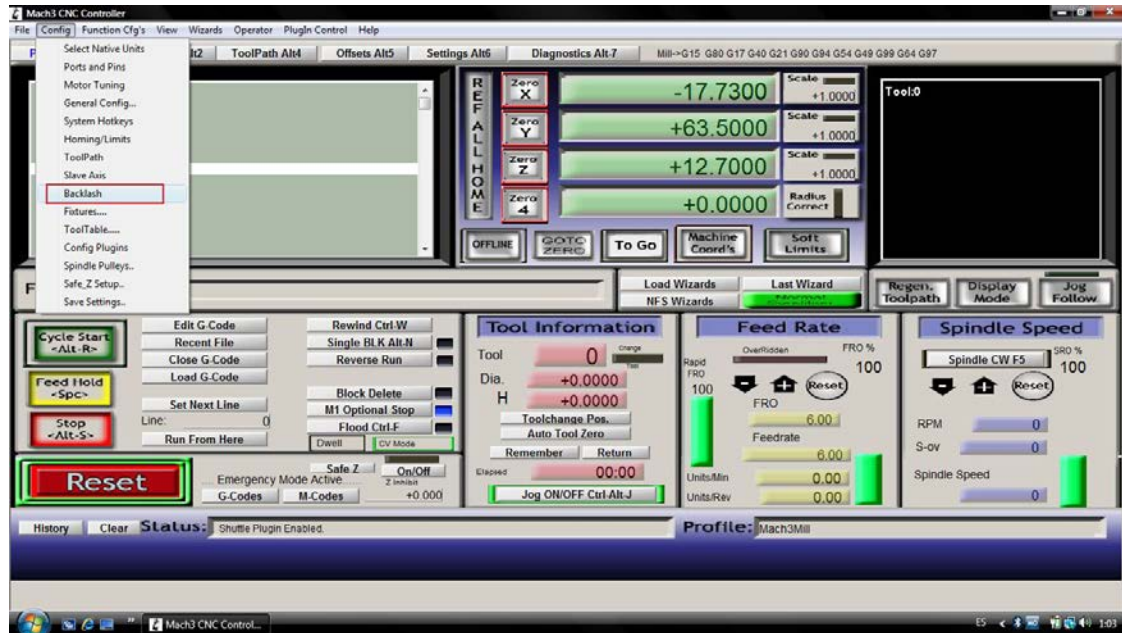


Figura 2.4.6 configuración del backlash

Por ejemplo si se escribe el siguiente código G01 X10 desplazarse 10 unidades en el eje X partiendo del origen X=0, y luego G01 X0 para que regrese al origen, si existe una pérdida de por ejemplo 1milimetro, esta función es capaz de compensar solo hay que colocar las perdidas en el respectivo eje en este ejemplo es el X, donde la pérdida fue de 1mm luego se habilita ver figura 2.4.7

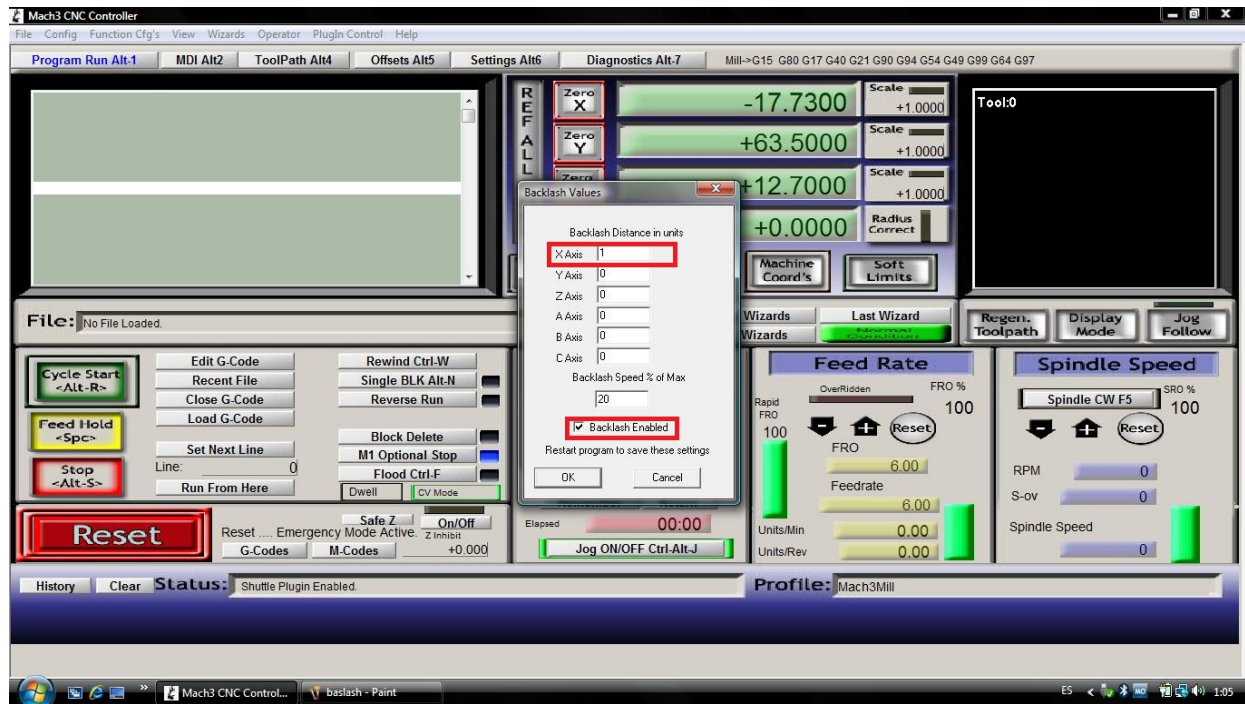


Figura 2.4.7 configuración del backlash

8.- Save Settings

Config > Save Settings

Para guardar la configuración de todos los parámetros, y poder cerrar el programa sin perder la configuración

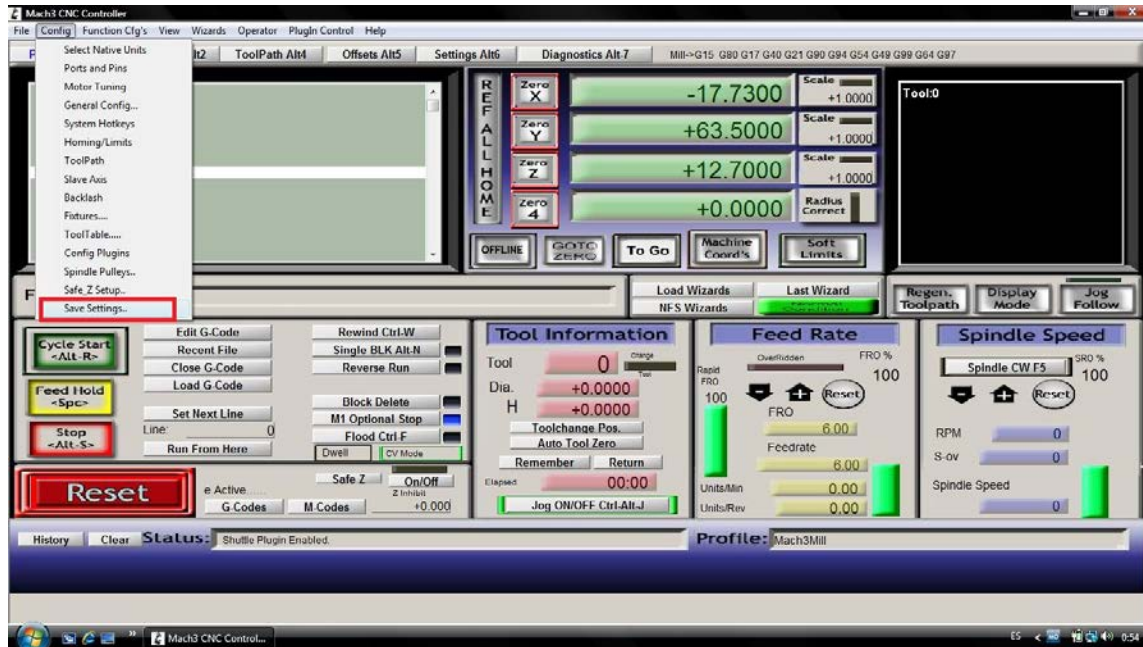


Figura 2.4.8 guardar configuración

2.4.2. Control Manual

Para probar manualmente los ejes presionar la tecla "TAB" y aparecerá a la derecha el control manual de los motores, con esta herramienta usted puede mover independientemente tanto por la interfaz de control manual, como por teclado las teclas de desplazamiento (izquierda, derecha, arriba, abajo, Re Pag y Av Pag)

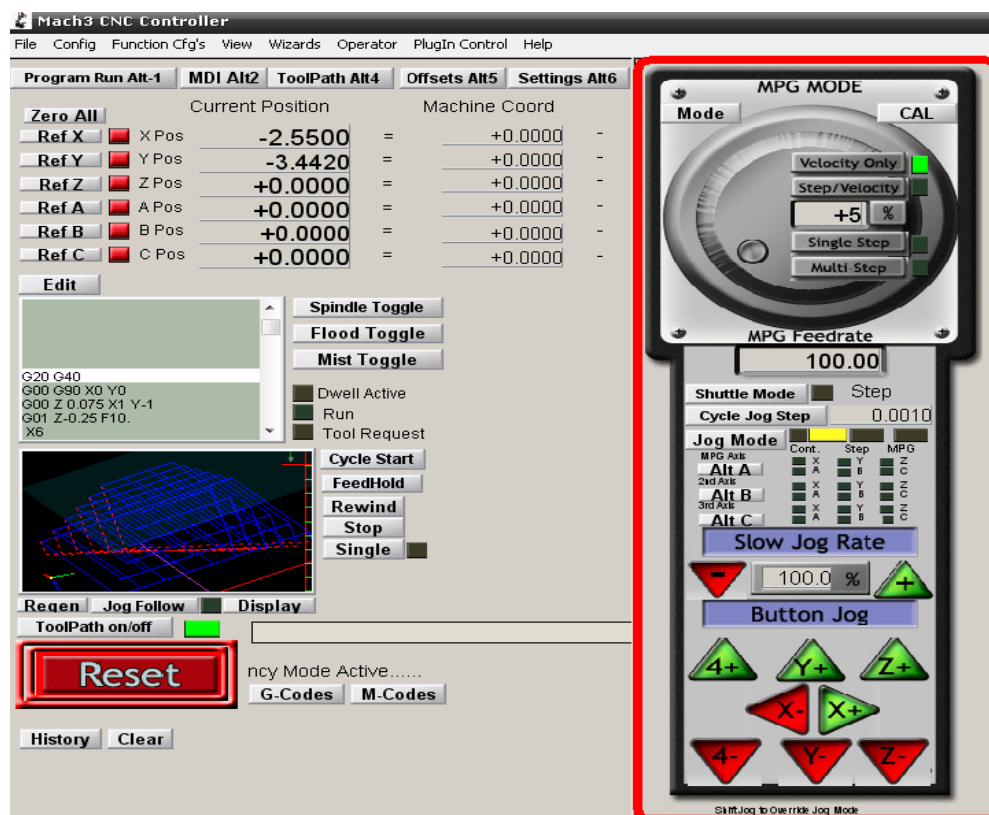


Figura 2.4.2.0 configuraciones de los controles manuales [8]

Nota:

Los valores de los pines varían de acuerdo a la interfaz utilizada. estos valores corresponden a la interfaz de 3 ejes de muestra.

2.4.3 Nociones básicas para el uso del Mach 3

Configurar el sistema de medidas:

Menu: Config > Select Native Units

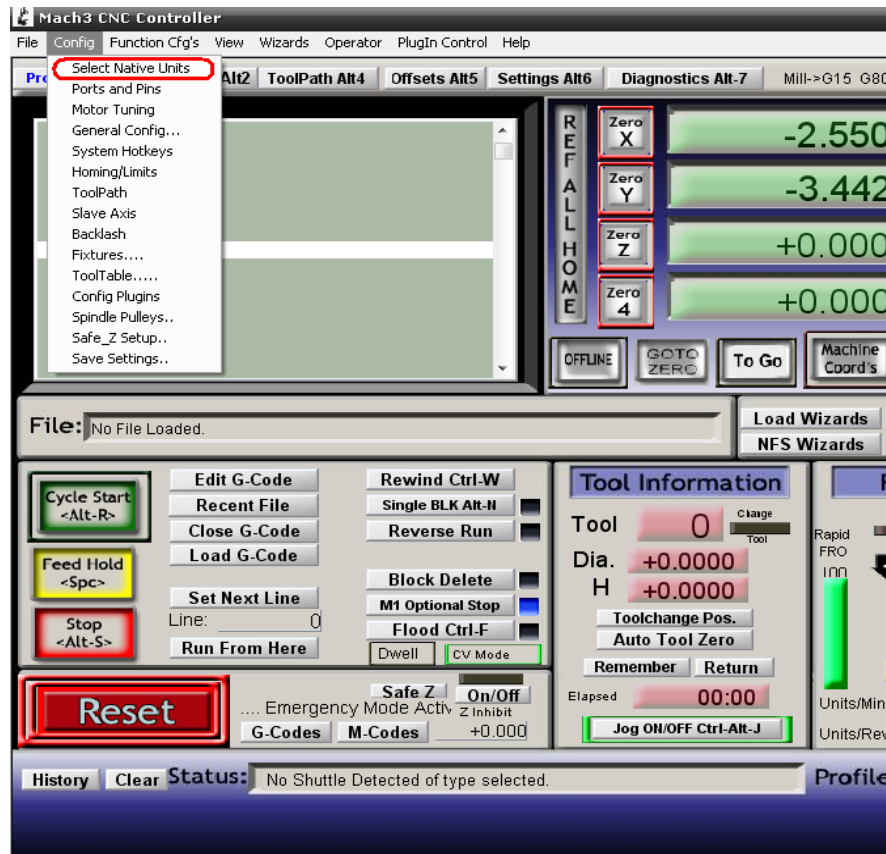


Figura 2.4.3.1 pantalla principal Mach3 [8]

Selección de la curva y resolución del motor:

Este es uno de los pasos más importante ya que de él depende la precisión de la maquina

Menu: Config > Motor Tuning

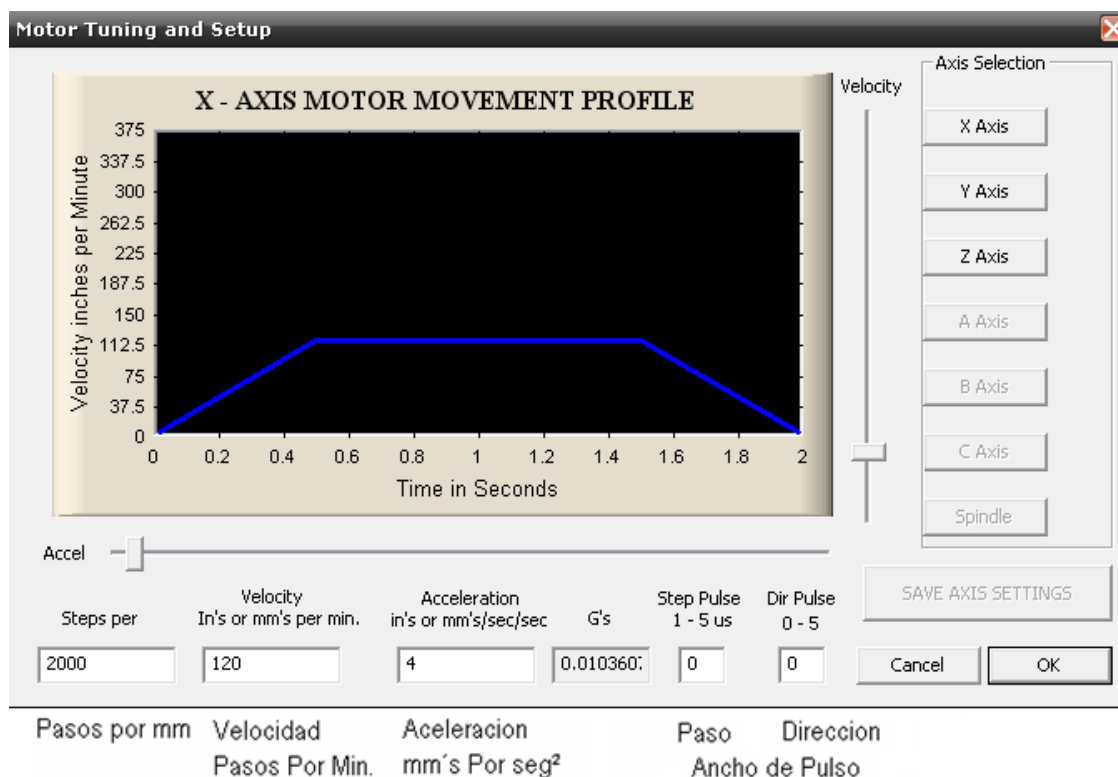


Figura 2.4.3.2 Menú del motor tuning [8]

Pasos Por Milímetros:

Si el Motor es de 200 pasos y trabajamos en paso entero con una varilla roscada de 2mm de paso, una vuelta de motor / varilla, el avance será de 2mm.

El valor en ese ítem será: 100, ya que cada 100 pasos el avance es de 1mm.

Velocidad: este valor será definido en el funcionamiento y será la velocidad máxima a desempeñar, esta variara dependiendo varias condiciones:

1. Voltaje y corriente suministrados
2. Tipo y torque del motor

3. Calidad en las partes móviles Mecánicas
4. Tipos de trabajos a realizar

Anchos de pulso:

El ancho del pulso de Dirección y paso lo dejaremos en

Pulso de paso: 1

Pulso de dirección: 3

2.4.4 Mach 3: Home & Limit

Los finales de carrera o límites y los Home son importante en este tipo de maquinas, ya que por medio de ellos puede auto-protegerse de movimiento que pudiesen llegar a hacerle daño a la máquina y destruirse así misma, los Home son usados para cuando la herramienta se desea llevarla a Home, los Home son los inicios de los ejes es decir ellos posicionan la herramienta a $X=0$, $Y=0$, $Z=0$. Los finales de carrera o límites debe ser conectados al igual que los Home en serie y todos conectados al mismo pin del puerto, esta conexión se puede apreciar en la siguiente figura (ver Figura 2.44.1):

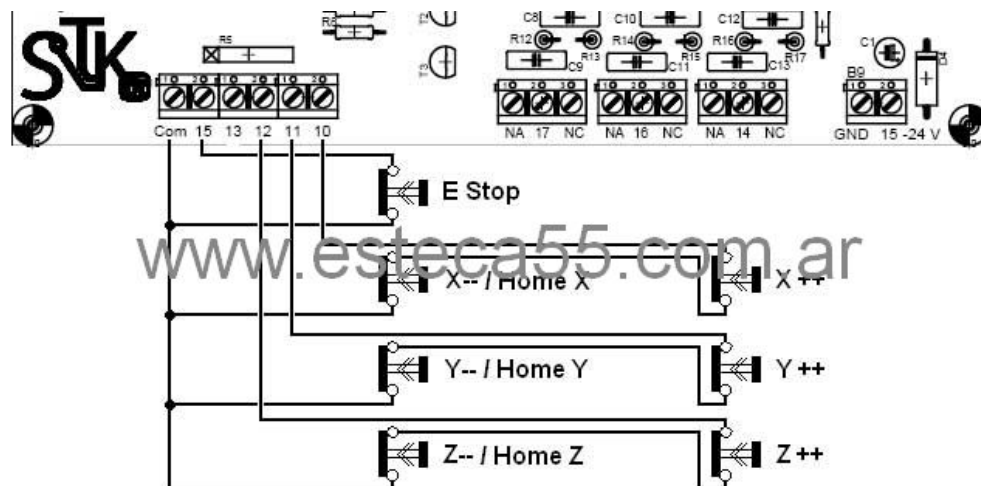


Figura 2.44.1 final de carrera [17]

Como se puede ver van dos finales de careras por eje, uno ubicado en cada extremo, y en serie ya que están conectados como Normal Cerrados. Además es muy recomendable usar cable apantallado por el tema de las interferencias. Nótese que también los límites son usados como Home. [17]

Se podrían poner todos independientes, el tema es que no dan la cantidad de pines de entradas en el puerto si es que se usa un solo puerto en el Mach. [17]

Por ende uso solo 3 pines, uno para cada eje, y configuro cada pin en el Mach como límite máximo, límite mínimo y Home del eje en cuestión, además de la parada de emergencia, la configuración del Mach sería la siguiente: [17]

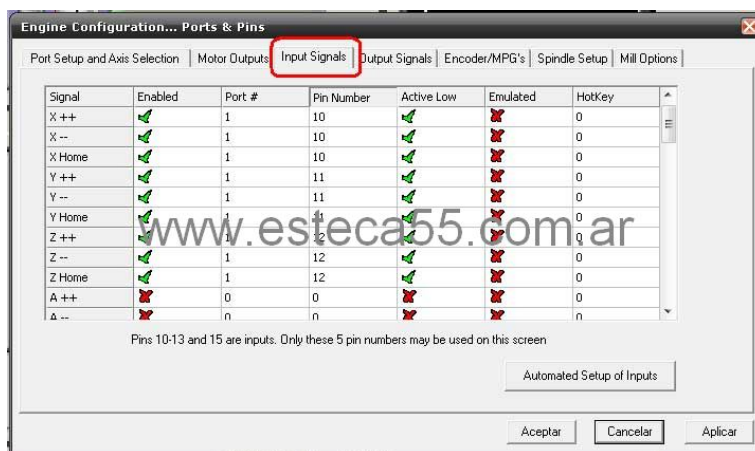


Figura 2.44.2 Configuración de los finales de carrera . [17]

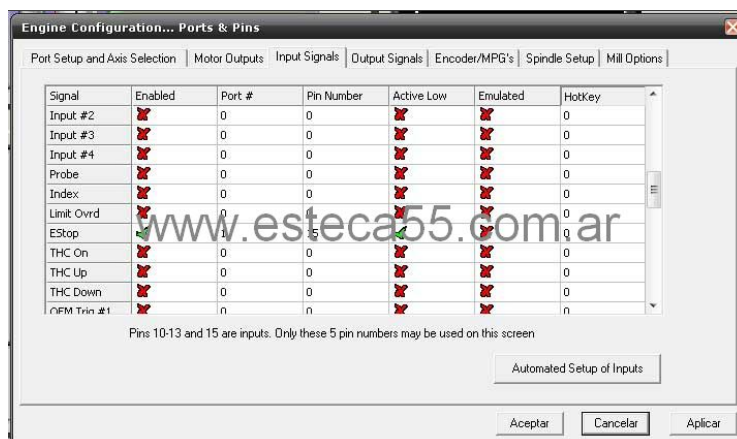


Figura 2.44.3 Configuración de los pines del puerto paralelo . [17]

Están tildadas las casillas de Activo por Bajo ya que los pulsadores están conectados como Normal cerrado para este ejemplo.

2.5 Eagle3D

Eagle3D es una poderosa herramienta que combinada con Eagle permite que veamos el aspecto final de nuestros circuitos antes de fabricarlos.

Con este manual no tendrá secretos para ti. Descúbrelo y disfruta.

El amigo Xocas ha escrito un estupendo manual sobre el uso de la herramienta Eagle3D con la que podrás obtener imágenes de tus circuitos:

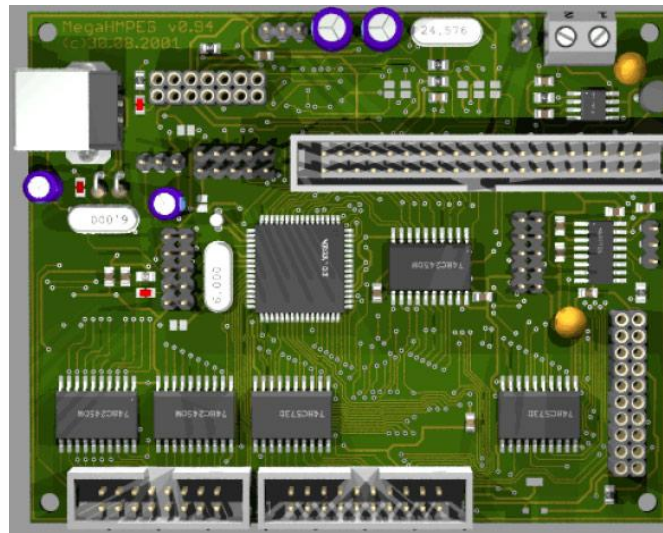
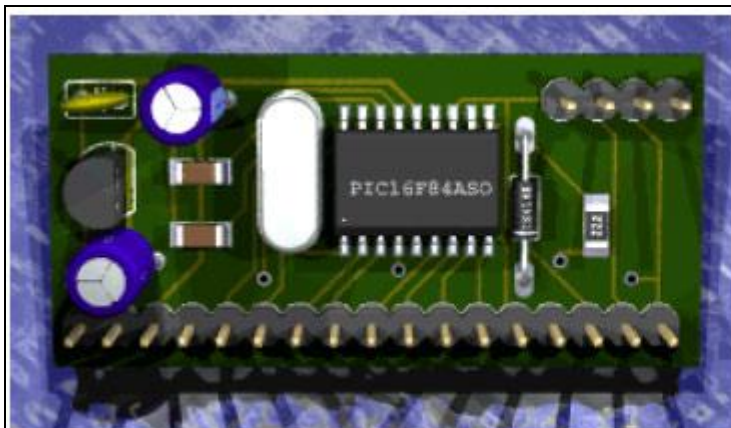
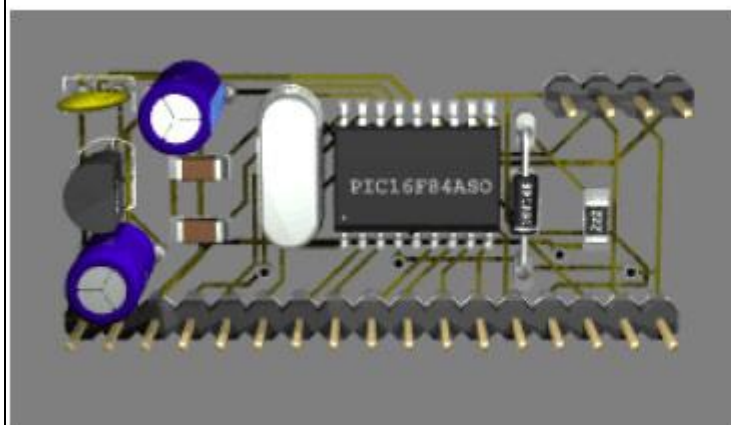


Figura 2.5.1 ejemplo de una representación 3d de una tarjeta [6]

El manual tiene una calidad magnífica gracias a la labor incomparable de documentación y redacción de su autor, con ejemplos de todo tipo para que aprender a utilizarlo sea coser y cantar. Mira estos ejemplos:



Usamos esa misma PCB para mostrar la pantalla de 'adorno' (Área de alrededor), que es una imagen a modo de plano simulando un mar, y sobre la que se eleva nuestra PCB. Tener esta opción activada supone un mayor tiempo de renderizado.



Y ahora desactivamos la opción Circuito Impreso para que éste no se muestre.

Figura 2.5.2 Activación y desactivación de la opción Circuito impreso en el menú

Fuente: manual de EAGLE 3D

Los Agujeros (Holes) tienen tres opciones de representación:



Figura 2.5.3 Representación visual de los agujeros

Fuente: manual de EAGLE 3D

CAPÍTULO III

Marco metodológico



INTRODUCCIÓN

El capítulo que se va a tratar a continuación permite mencionar todos y cada uno de los elementos metodológicos de utilidad para el buen desarrollo de este trabajo especial de grado, así como también los medios (Internet, revistas, textos, etc.) de investigación utilizados para la obtención del marco teórico el cual es el fundamento o pilar principal en cualquier investigación y es el que permitirá cumplir con los objetivos establecidos.

Este proyecto se basa en una investigación de tipo documental, de campo y experimental, las cuales forman parte del desarrollo del mismo, en este capítulo se dictan un conjunto de fases o pasos a seguir en forma secuencial, lo que permitirá la extracción, clasificación y la organización de la información necesaria para obtener la solución al proyecto planteado.

El fin primordial de este trabajo especial de grado es “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINACNC PARA LA ELABORACIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS”. El control del sistema está conformado por un conjunto de drivers (controladores de corriente) para el cumplimiento en forma ordenada y secuencial de las funciones de la máquina.

3.1 FASES METODOLÓGICAS.

3.1.1 1er ETAPA: Estudio y documentación del sistema de control numérico.

- Realizar una investigación de tipo documental descriptiva del sistema de control a implementar.
- Elaborar un estudio de la viabilidad de la aplicación, el cual consistió en una inspección en cuanto a costos de diferentes prototipos.



- Obtener una recopilación de documentos relacionados con el sistema de control numérico través de los diferentes medios de información (Internet, textos, antecedentes, revistas, etc.)

3.1.2 2da ETAPA: Clasificación y análisis de los elementos a utilizar.

- Elaborar un inventario de los componentes electrónicos y equipos a utilizar disponibles en el mercado.
- Clasificar y seleccionar los componentes que se requieren para la construcción de la máquina CNC.
- Realizar una ficha técnica con las dimensiones y los datos del fabricante.
- Desarrollar un análisis del funcionamiento de cada uno de los componentes electrónicos y equipos. (ver tabla N° 4.5 y 4.6)

3.1.3 3era ETAPA: Diseño y elaboración del plano de los sistemas de control de los motores (drivers).

- Diseñar el primer bosquejo de los drivers sin tomar en cuenta la capacidad de los motores encontrados en el mercado.
- Reestructuración del primer plano realizado empleando las características de los motores ya seleccionados.
- Levantamiento de planos y elaboración de las tarjetas o drivers a implementar.



3.1.4 4ta ETAPA: Verificación del funcionamiento de cada uno de los drivers.

- Realizar pruebas con los motores paso a paso en cuanto a velocidad y secuencia, para verificar el funcionamiento de los drivers. Dichos ensayos no han sido fundamentados en cálculos técnicos sino a través de la observación y pruebas de ensayo y error.

3.1.5 5ta ETAPA: Inventario de los materiales para el diseño de la estructura.

- Realizar un listado de las piezas y materiales que son necesarias para el diseño de la estructura.

3.1.6 6ta ETAPA: Especificaciones técnicas de los elementos utilizados.

- Realizar una búsqueda de los catálogos que contengan las especificaciones técnicas o data sheet de todos los componentes electrónicos, motores y del trompo o Router. (ver anexos A, A-1, B, C, C-1, D, E)

3.1.7 7ma ETAPA: Construcción de la maquina.

- Ensamblaje de cada una de las piezas de la estructuras (vigas, barras, tornillos, guías), de las estructuras de soporte e instalación del centro de control de la movilidad de la herramienta
- Montaje e identificación de las entradas y salidas de los drivers y motores paso a paso.
- Cableado de todo el sistema eléctrico.
- Ubicación del botón de parada de emergencia.



3.1.8 8va ETAPA: Puesta en marcha y elaboración de la primera tarjeta impresa.

- Elaboración de la primera tarjeta impresa verificando de esta manera el óptimo funcionamiento de la máquina. Realizando comparaciones del error cometido de las pistas en relación a la imagen PCB

3.1.9 9na ETAPA: Recopilación, análisis e interpretación de los resultados.

- Después de haber realizado los ensayos (elaboración de los circuitos impresos), siguió la evaluación de los resultados verificando la continuidad eléctrica de las `pistas de las tarjetas.

CAPÍTULO IV

Presentación y análisis de los resultados



4.1 ESTUDIO Y DOCUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO.

4.1.1 SISTEMA DE CONTROL A IMPLEMENTAR

Existen muchas opciones para desarrollar un sistema de control (drivers) CNC, en este proyecto se usará formato modular por las ventajas y comodidad de detectar futuras fallas, donde tenemos por un lado los drivers, que controlan los motores según las señales que recibe desde la PC, y la interfaz, que en realidad no hace más que comunicar la PC con los drivers. la principal ventaja del formato modular es: si hay una falla en la etapa de control, corregirlo bastaría solo con sustituirla por otra.

Programas CNC

El auge del CNC ha traído para el aficionado la disponibilidad de descargar programas gratuitamente desde la red, sin necesidad de pagar aplicaciones costosas para control de CNC y así producir circuitos impresos económicos y/o tallados de piezas en caso que la máquina sea una fresadora CNC, además con el surgimiento del control numérico y la globalización del Internet ha permitido que los desarrolladores de máquina-herramienta ofrezcan sus trabajos al colectivo común y/o cualquier persona interesada en la elaboración o funcionamiento de estos proyectos con el simple hecho de la búsqueda de blogs, páginas web, foros y redes sociales. En consecuencia, el tener fácil acceso a la información de proyectos CNC hace que sea un tema atractivo a quienes se desenvuelven en el campo de la ingeniería.

El esquema de la figura 4.1 ilustra de una forma genérica los pasos que debe llevar el operador para realizar el control numérico computarizado, mediante la utilización de 3 programas o aplicación, a continuación se muestra:

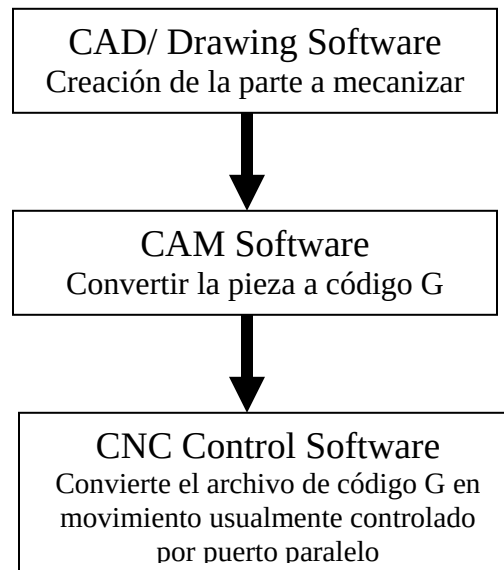


Figura 4.1 Esquema de códigos [9]

- El CAD (Computer Aided Design): es donde se diseñan las piezas para ser transferidas, torneadas, fresadas o cortadas. Un ejemplo de esto son los programas Solid Work, Autocad y Eagle
- CAM (Computer Aided Manufacturing): convierte sus dibujos CAD en código G, que es el lenguaje de programación que el programas de control de CNC entiende.
- El programas de control de CNC a continuación, lee el código G y lo convierte en el movimiento para impulsar su máquina. Esto se hace generalmente por la lectura y la escritura de pines en el puerto paralelo, pero hay algunos controladores de motores que pueden funcionar mediante el puerto serial o USB.

Comunicación por puerto paralelo entre la interfaz y drivers de los motores de paso.

La interfaz divide estas señales de manera que las señales llegan a los drivers de cada eje X, Y, Z. Estos comandos de paso contienen la información de la imagen CAD, y permiten que de cada eje se dirija a cada punto o posición programada. A continuación se presenta en la tabla IV.1 algunos programas interesantes:



Tabla 4.1 Programas especializados para manejo de código G

CAD Software:	CNC Control Software (Machining/Milling/Lathe):	CAM Software:	CNC Utilities:	CNC Foam Cutting Software:
<u>Google Sketchup</u> - FREE <u>Blender</u> - FREE <u>Caligari TrueSpace</u> - FREE <u>GraphiteOne CAD</u> - FREE <u>Wings 3D</u> - FREE <u>Moi3D</u> <u>Vizion</u> (ArtCam) <u>SolidWorks</u> <u>RhinoCAD</u> <u>SolidEdge</u> <u>AutoCAD</u> <u>CadKey</u> <u>TurboCAD</u> <u>Alibre</u>	<u>EMC2</u> - Linux <u>AXIS</u> - GUI for EMC2 <u>KCAM</u> - Windows 98 <u>TurboCNC</u> - DOS <u>Mach2/3</u> - Windows 2000/XP <u>DeskCNC</u> - Windows <u>CNCZeus</u> - DOS <u>Master5</u> - Windows 95/98 <u>DesKAM</u> - Windows/DOS <u>CNCPro</u> - DOS (recently opened sourced) <u>USBCNC</u> - USB controlled CNC <u>CNCDudez</u> - Another USB controlled CNC	<u>Heeks CAD/CAM</u> - FREE <u>G-Simple</u> - FREE <u>FreeMill</u> - FREE <u>Dolphin CAD/CAM</u> <u>CamBam</u> <u>Vizion</u> (ArtCam) <u>OneCNC</u> <u>VirtualGibbs</u> <u>MasterCAM</u> <u>BOBCAD-CAM</u> <u>RAM</u> <u>MeshCAM</u> <u>VisualMill</u> <u>TurboCADCAM</u> <u>DeskCNC</u> <u>SheetCAM</u> <u>OneCNC</u> <u>SprutCam</u> <u>EdgeCAM</u> <u>ArtCAM</u>	<u>SimpleCNC</u> <u>Machinists Tool</u> <u>Box</u> <u>Ace Converter</u> - DXF to G-code converter <u>CNC Toolkit</u> <u>ImageToGcode</u> <u>NCPlot</u> - G-code Viewer and Backplotter <u>DXF2GCODE</u> <u>CNCWrapper</u> - Rotary table g	<u>FoamWorks</u> <u>JediCut</u> <u>GMFC</u>

Componentes del Sistema de Control

A través del programa CAD se elabora la imagen, para posteriormente mediante el programa CAM se convierta en código G, el cual es el lenguaje de la máquina CNC. Dado que en este estudio no se cuenta con un programa CAM, el mismo fue sustituido por el programa EAGLE cumpliendo este con esta función. Finalmente una vez obtenido el archivo de código G este se transfiere al programa de control CNC que en este caso está representado por el programa MACH3. (ver figura 4.2)

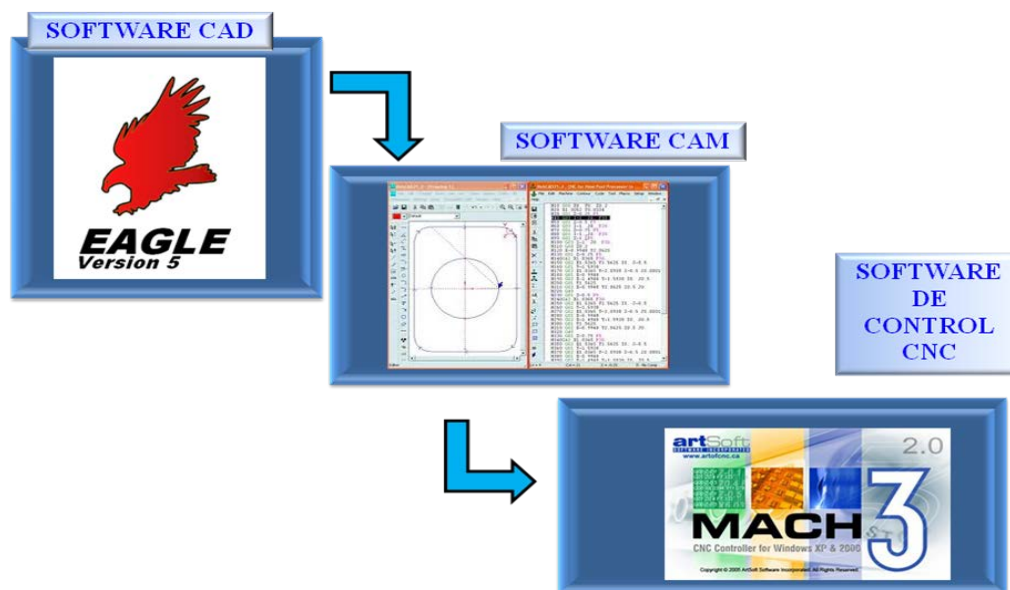


Figura 4.2 Esquema de Control.

Sistema Modular de control

El sistema modular está constituido por una interfaz y drivers unipolares. Para la selección de los componentes y elaboración de las tarjetas (interfaz y drivers unipolares) así como el funcionamiento de las mismas se ha tomado como referencia principal la página web de Esteca55 siguiendo las recomendaciones y metodología de trabajo [5].

Por consiguiente, el esquema del sistema modular del presente proyecto está estructurado de la siguiente manera: comunicación de la PC con la interfaz a través del puerto paralelo, a su vez la interfaz se encarga de recibir y dividir las señales de entrada y salida provenientes del programa MACH3 (ver figura 4.2.1)



Figura 4.2.1 Esquema de Sistema Modular

Se procede a la elaboración de las tarjetas usando el método de transferencia térmica el cual consiste en:

1er paso: Ya teniendo la imagen PCB proveniente de un programa CAD (Computer Aided Design) se imprime luego, se realiza una copia en tóner sobre un papel especial llamado transfer (ver figura4.2.2).

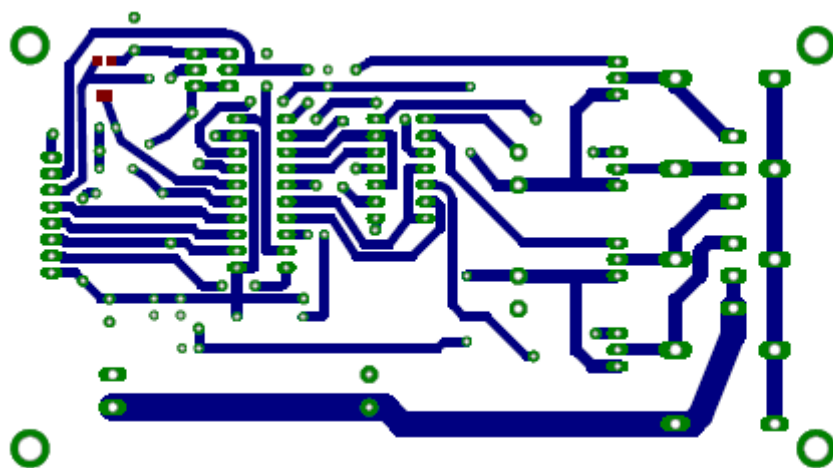


Figura 4.2.2 imagen PCB.

2do paso: Se coloca sobre la baquelita dicho papel y seguidamente se le pasa la plancha casera por unos minutos hasta que el tóner se derrita y se adhiera a la superficie fina de bronce de la baquelita, quedando así las pistas del circuito impreso allí.



3er paso: Se sumerge la baquelita (la imagen del circuito) en un ácido, cloruro férrico, se deja entre 5 a 10 min hasta que en la baquelita esté lista la imagen del circuito.

Finalmente ya teniendo lista y perforada la tarjeta se asignan los componentes electrónicos para soldarlos.

4.3 SISTEMA ELÉCTRICO, EL SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL Y EL SISTEMA MECÁNICO.

En este capítulo se expone cómo están ubicados y conjugados los diferentes elementos mecánicos y electrónicos; determinándose así la funcionalidad de cada elemento en la máquina CNC.

4.3.0 SISTEMA ELÉCTRICO

Se procedió a realizar una búsqueda de los Data sheets de los componentes electrónicos, motores paso a paso, fuente de 450W (tomándose como referencia la utilizada en la investigación de Chevez Medina), trompo o Router; y obtener la disponibilidad de los mismos, preferiblemente los usados en proyectos de otras máquinas o el equivalente en caso de escasez y costo muy elevado. Los equipos requeridos en el proyecto son:

4.3.1 Especificaciones técnicas de los elementos utilizados

4.3.1.1 Router:

Fabricante: PORTER CABLE

Características:



- 120V 60Hz 5.6 Amperios.
- 30,000 RPM.
- Collet o portafresa de 1/4".
- Bloqueo de eje.
- Base de aluminio fundido de alta precisión.
- Botón de ajuste de profundidad de corte Micro-set.
- Rodamientos de bola, sellados al 100%.
- Construcción de cojinetes de bolas con doble sello
- Sub-base ajustable exclusiva para centrar la broca
- Cierre del husillo para cambio de broca fácil



Figura 4.3.1 Router. Fuente: Amazon.com

4.3.1.2 Fuente de poder

Fuente de poder de 450W genérica, con salidas de 12 V y 5V, para la alimentación de la interfaz, el driver unipolar. Esta se dispuso por fines prácticos no por diseño ya que se contaba con la misma.



Fig. 4.3.2 Imagen de Referencia de la fuente de poder

4.3.1.3 Fuente de poder CNC

7.5V 40A 300W Dc Regulated Switching Power Supply CNC [ver figura A.1 del anexo A]

- Fabricante: 4isP
- Características:
 - Alta eficiencia, alta confiabilidad, entrada AC universal / amplia gama.
 - Protecciones: sobrecarga, sobretensión, y cortocircuito.
 - Control PWM y regulación.
 - Control ON – OFF de ventilación.
 - Frecuencia de conmutación fija a 25khz.
 - Dimensiones: 215x115x50 mm.



Fig. 4.3.3 Fuente de poder CNC

4.3.1.4 Cableado

- A. Cable de comunicación paralela, conector DB25
- B. Cable de alimentación TF calibre #18 AWG 600V 60°

4.3.1.5 Motores paso a paso

Motor Unipolar de cuatro fases y 6 cables, con una precisión del 5% por paso. Alimentación de 3,6V por fases y una corriente nominal de 2.3 A por fase. Paso de 1,8 grado, torque 16kg*cm ,300 pasos por segundo.

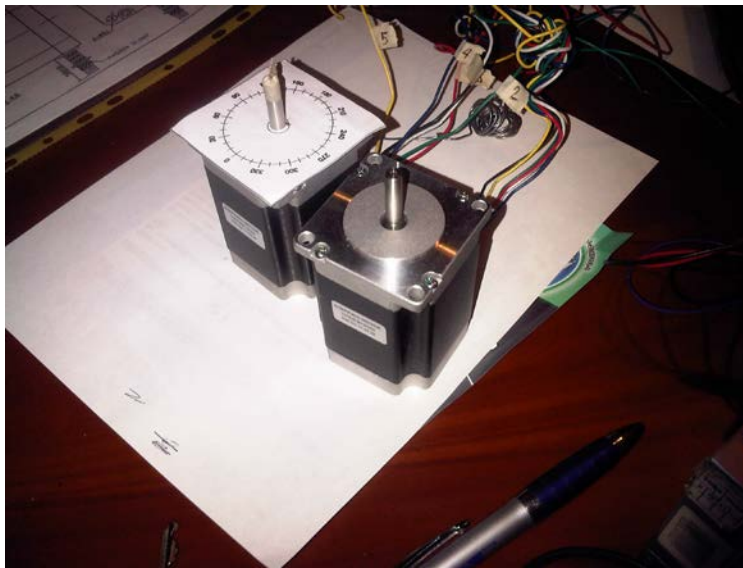


Figura 4.3.4 Motores paso a paso

4.4 PRINCIPIOS PARA EL CONTROL DE LOS MOTORES PASO A PASO

Básicamente estos motores están constituidos por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras en su estator. Para mover el rotor se debe energizar las bobinas adecuadas, es decir, se excita el estator, creando los polos N-S. Al variar dicha excitación energizando las bobinas en orden, el campo magnético formado efectúa un movimiento giratorio, el motor seguirá el movimiento, produciéndose de este modo el giro del rotor. Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores. Para revertir el sentido de giro simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso. Para aumentar la



velocidad de giro del motor paso a paso se debe aumentar la frecuencia, es decir se debe disminuir el tiempo que demora un paso. [10]

4.5 Driver unipolar: estará encargado del control tanto de corriente como el de movimiento del motor paso a paso. Cabe resaltar que el driver a utilizar en el diseño es replicado y adaptado en base a otro diseño referencial tomado de las fuentes electrónicas consultadas. [5]

Driver unipolar lista de componentes:

Tabla 4.5 Lista de componentes driver [4]

C1 100nF	D3 BY299	R1 0.1 ohm 5w
C2 3n3F	D4 BY299	R2 0.1 ohm 5w
C3 1000uF 50V	D5 Zener 14V 2W	R3 10K
C4 470uF 16V	IC1 L297	R4 10K
C5 100nF	IC2 74HC08	R5 330
C6 220pF	LED1 Led 3mm	R6 1K
C7 220pF	Q1 IRLZ24N *	R7 4K7
C8 100nF	Q2 IRLZ24N *	R8 22K
CON1 IDC10 Macho	Q3 IRLZ24N *	
CON2 Bornera	Q4 IRLZ24N *	
CON3 Bornera		
D1 BY299		
D2 BY299		

***NOTA:** En el mercado el IRLZ24N no se consigue se uso IRFZ44N, que es una compuerta AND de alta velocidad.

El esquema del driver unipolar 4 Amperios, se encuentra expuesto en el apéndice I.

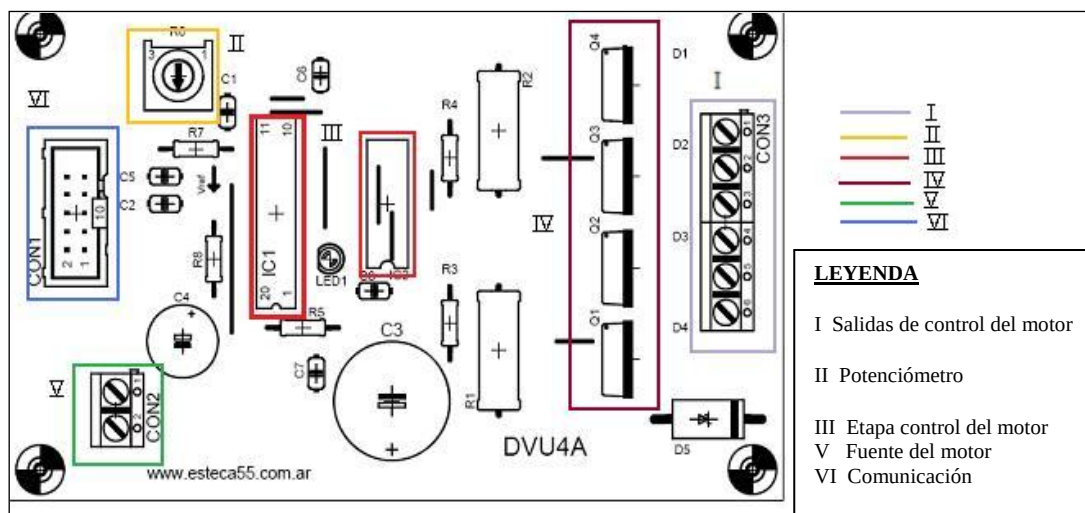


Figura 4.2 Driver unipolar 4 Amperios.

I Salidas de control del motor:

Como los motores son unipolares 6 cables el diagrama de conexión de las salidas de control es el siguiente (ver Figura 4.3):

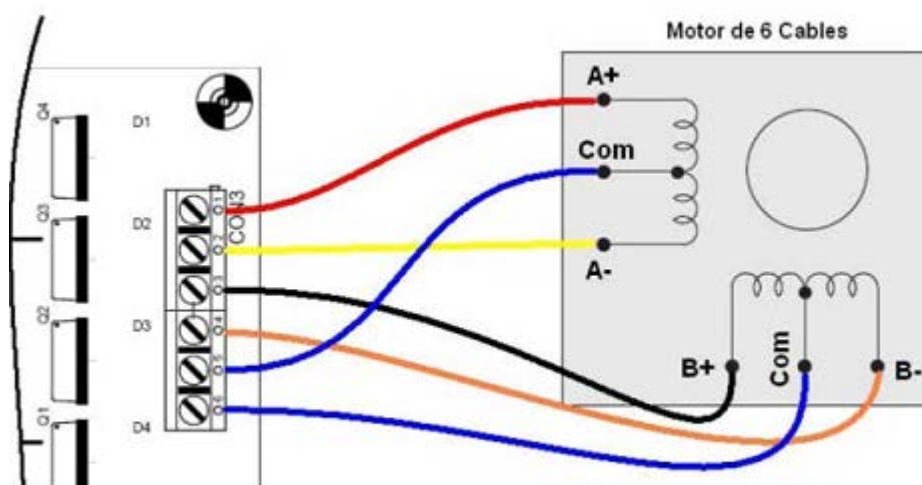


Figura 4.3 Conexionado unipolar

II potenciómetro:

Va a graduar que la tensión de $V_{ref} = \text{corriente del motor} \cdot r_1$, para que pueda entregar la corriente nominal 2.3A por fase.

III etapa control del motor:

Está compuesto por un integrado L297 (Stepper Motor Controller IC) el cual dependiendo de la conexión puede manejar 2 fases (bipolar) o 4 fases (unipolar) en motores paso a paso. El motor puede ser manejado en paso completo o medio paso, posee un control de corriente. Y un integrado 74HC08 (AND) de alta velocidad.

IV Etapa de Potencia: compuesto por unos MOSFET, los cuales proporcionan la potencia de los motores.

V Fuente del motor: alimentación independiente de 7V al motor.

VI Comunicación: conexión entre la interfaz y la tarjeta de control o driver.



Figura 4.4 Tarjeta ya terminada



4.6 Interfaz PC-Drivers: estará encargada de recibir y dividir tanto las señales de entrada como las salidas provenientes del Programas mach3. Se presentan la lista de componentes en la tabla 4.6 y la simulación de la tarjeta hecha en Eagle en la figura 4.6. (ver esquema en apéndice J)

Interfaz PC-Drivers lista de componentes:

Tabla 4.6 Lista de componentes

C1 100uF 25V	IC2 74HC244N *	R7 4K7
C2 100nF	IC3 PIC12F629 *	R8 22K
C3 100uF 16V	IC4 7805T *	R11 1K
C4 100nF	IC5 LM317T *	R12 100 / 1W
C5 100nF	J1	R13 100 / 1W
C6 100nF	J2	R14 100 / 1W
C7 100nF	J3	R15 100 / 1W
C8 10nF / 400V	J4	R16 100 / 1W
C9 10nF / 400V	J5	R17 100 / 1W
C10 10nF / 400V	LED1	R18 10K
C11 10nF / 400V	LED2	R19 4K7
C12 10nF / 400V	LED3	RELAY1 Rele 12v
C13 10nF / 400V	LED4	RELAY2 Rele 12v
CON1 IDC10M	R1 2K2	RELAY3 Rele 12v
CON2 IDC10M	R2 220	T1 2N3904
CON3 IDC10M	R3 1K	T2 2N3904
CON4 IDC10M	R4 Array de 4k7 8+1	T3 2N3904
CON5 IDC10M	R5 Array de 4k7 5+1	X1 Bornera Doble
CON6 Molex 3conductores	R6 2K2	X2 DB25 Macho
D1 1N4007	R7 2K2	X3 Bornera Doble
D2 1N4007	R8 2K2	X4 Bornera Doble
D3 1N4007	R9 1K	X5 Bornera Doble
D4 1N4007	R10 1K	X6 Bornera Triple
IC1 74HC244N	R6 1K	X7 Bornera Triple
		X8 Bornera Triple

NOTA: * por 74HC244N se uso SN74LS245, IC3 no fue usado en la tarjeta de la interfaz, en esta adaptación se descarto del circuito original, debido a que este componente, monitorea las señales de CLOCK provenientes del puerto paralelo hacia los driver de control de los motores, si en un

transcurso de 30 segundos no se recibe ninguna señal deshabilita 10 segundos el enable. Esta etapa se descarto usando como criterio de exclusión que como la maquina va estar encendida su interfaz y drivers sólo cuando se esté mecanizando o en la elaboración de circuitos impresos siempre habrá movimiento continuo de los 3 ejes, por lo tanto es innecesario este control de los enables, ahorrándose así espacio en la lamina para la elaboración de PCB

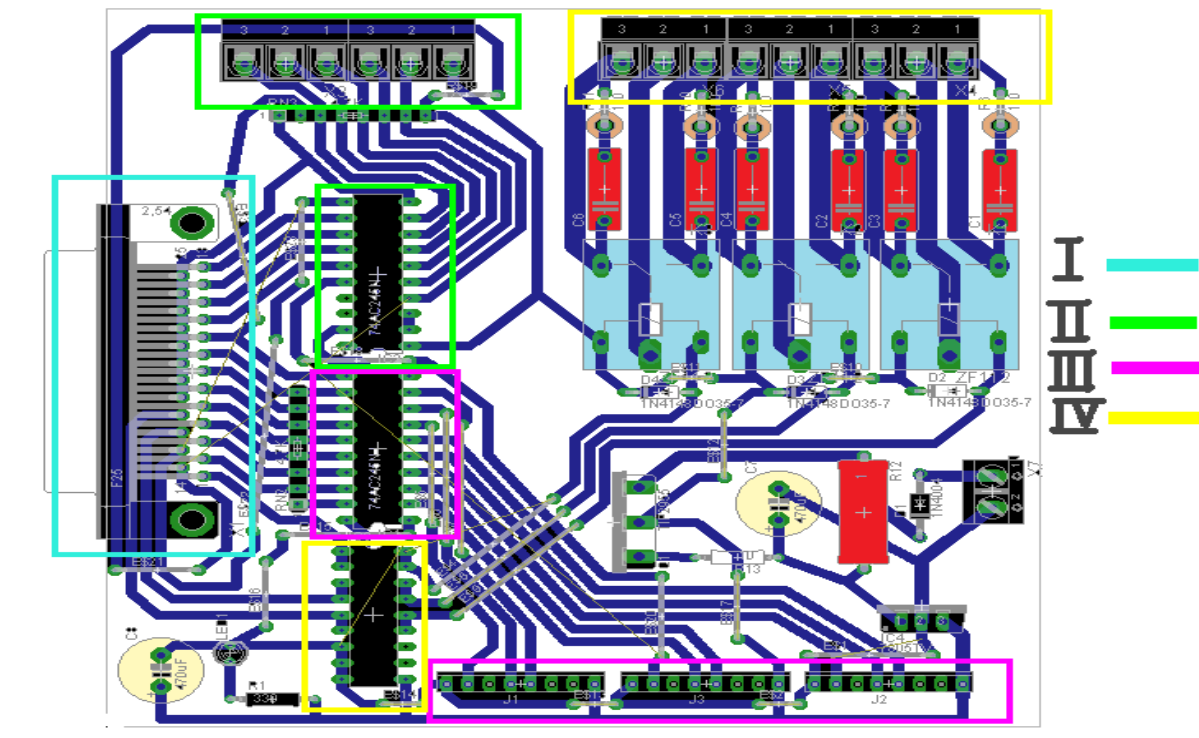


Figura 4.6 interfaz PC-Driver

I comunicación PC-Interfaz: es la etapa donde ocurre la interacción entre el programa mach3 y la interfaz, los puertos paralelos están configurados como se señala en la siguiente tabla:

Tabla 4.7 Configuración del puerto paralelo

PIN	ENTRADA / SALIDA	FUNCION
1	SALIDA	Relé 3
2	SALIDA	CW/CCW J3
3	SALIDA	CLOCK J3
4	SALIDA	ENABLED J2
5	SALIDA	CW/CCW J2
6	SALIDA	CLOCK J2
7	SALIDA	ENABLED J1
8	SALIDA	CW/CCW J1
9	SALIDA	CLOCK J1
10	ENTRADA	FINAL DE CARRERA 5
11	ENTRADA	FINAL DE CARRERA 4
12	ENTRADA	FINAL DE CARRERA 3
13	ENTRADA	FINAL DE CARRERA 2
14	SALIDA	ENABLED J3
15	ENTRADA	FINAL DE CARRERA 1
16	SALIDA	Relé 2
17	SALIDA	Relé 1
18-25	TIERRA	TIERRA

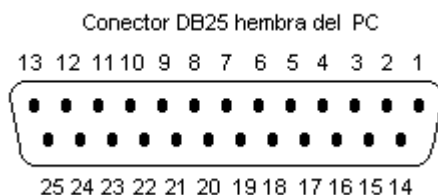


Figura 4.6.1 puerto paralelo [11]



II Señales de entrada: por medio de un SN74LS245 (bus transceiver) se habilita para que las señales de los finales de carrera envíen su señal a los pines de entrada al programas mach3.

III Señales de salidas; por medio de un SN74LS245 (bus transceiver) se habilita para que las señales de control provenientes del programas mach3 son direccionadas a los drivers de cada eje X, Y, Z.

IV Señal de encendido: proveniente del programas mach3 por medio del puerto paralelo estas salidas llegan a un amplificador de corriente (integrado Uln2803A), el cual activa un relé que seguidamente cierra el circuito que activa el Router, sopladores, o una bomba de lubricación (si se amerita).

4.7 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE CADA UNO DE LOS DRIVERS.

Para la verificación del funcionamiento de las tarjetas es necesario realizar pruebas con los motores unipolares, donde se puso en práctica la velocidad y secuencia de los motores. Para dichas pruebas la necesidad de un programas es fundamental y en lo que respecta a este proyecto, se hizo uso del Mach3, en el cual, se configuraron las entradas y salidas del puerto paralelo tal y como se describió en la tabla 4.7, para realizar el sistema de control y de esta manera verificar el funcionamiento de los drivers. Para la configuración de los drivers, interfaz, puerto paralelo se ha tomado como referencia el manual de usuarios del Mach3 [7] y recomendaciones de Esteca55 [5].

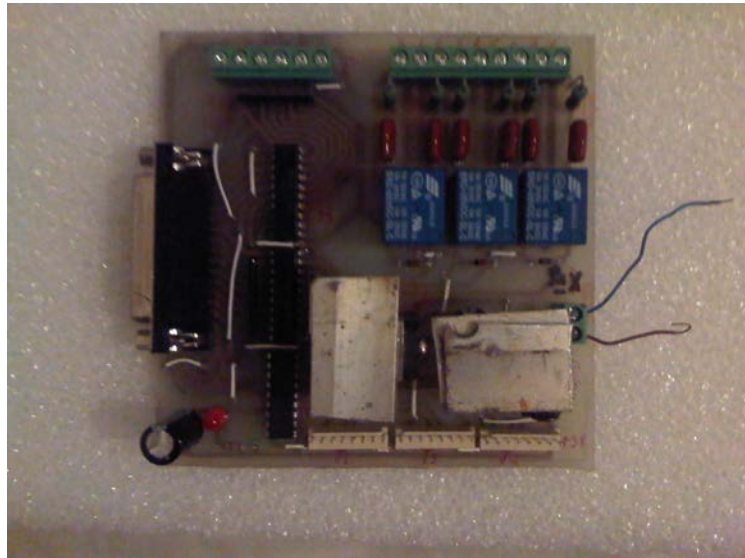


Figura 4.7.1 Interfaz

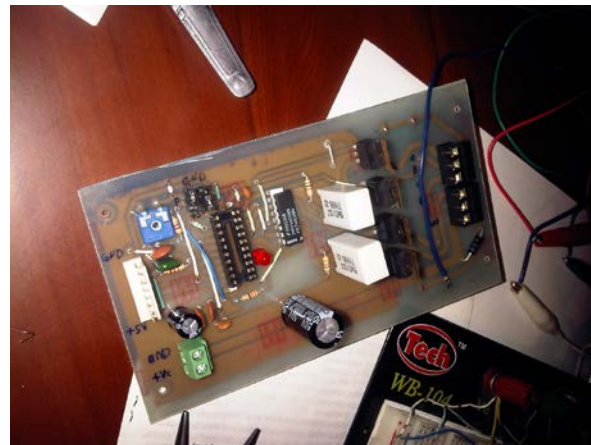


Figura 4.7.2 Driver

4.8 Inventario de los materiales para el diseño de la estructura.

Ya teniendo una investigación de tipo cualitativa en relación a las citadas en los antecedentes de este proyecto, de la que derivan ciertos prototipos de estructuras, se procede a realizar un bosquejo o diseño de la máquina obteniendo así una lista de los posibles perfiles de aluminio que se usaron en la construcción (ver Anexo F,G). De acuerdo con las listas de perfiles posibles se

utilizó el que se muestra en el Apéndice K, por razones de calidad, tamaño y por ser el más similar a los prototipos de referencias que usan aluminio en su construcción.



Figura 4.8.1: Máquina CNC de referencia

En la figura 4.8.1 se visualiza una máquina CNC de referencia construida con perfiles de aluminio de características similares a la que se usó en este proyecto.

4.9 Sistema Mecánico

4.9.1 Construcción de la estructura de la Máquina.

Para la construcción de la máquina se ha llevado a cabo unas listas de actividades y/o tareas que han concluido en la elaboración de la misma, tales como:



- Realización de un boceto a mano alzada de la estructura representando la forma en que se ensamblarían sus 3 ejes principales (X,Y,Z) y las piezas de acoples.
- Elaboración de los planos de las piezas en autocad (ver apéndices), partiendo de los bocetos hechos a mano alzada, donde se muestra de manera técnica el diseño de cada uno de los ejes y las piezas que los unen.
- El diseño de este prototipo de máquina se ha basado en diferentes modelos ya construidos, como los citados en los antecedentes de la investigación, así como los tomados en las referencias electrónicas consultadas, seleccionando de ellos aportes importantes en cuanto a desplazamiento y acoplamiento de sus ejes.
- Diseño de acoples de los motores paso a paso el cual es el encargado de hacer girar el eje para que se ejecuten los movimientos del brazo mecánico en todas las direcciones X,Y, Z (ver apéndice L)

Tabla 4.10 Características de los sistemas tomados como referencia para el diseño de la estructura

Autores de las Maquinas consideradas como referencias	Rubén Argentina.,	Jorge F. Argentina.	William R Argentina.	Sergio del Patto Argentina.	ProtoMat E33 PLFK USA	Router CNC 122x244x20cm MECATROBOTIC México
Número de ejes	3	3	3	4	3	3
Sistema de unión motor-ejes	acoples	Acoples	acoples	manguera	Poleas y correas	ACOPLES
Comunicación PC-interfaz	Puerto paralelo	Puerto paralelo	Puerto paralelo	Puerto paralelo	USB	Puerto paralelo
Materiales del acople	aluminio	Aluminio	aluminio	N/A	N/A	Aluminio
Materiales de la estructura	Aluminio acero	Madera Aluminio Acero	Aluminio acero	Aluminio acero	Aluminio Acero	Aluminio Acero
Herramienta principal de corte	router	Dremel	dremel	Cortadora de anime	dremel	router
Aplicación	Madera Resinas plasticas	Madera	Madera Resinas plásticas	anime	PCB	madera
Tipo de motor para los ejes	PaP	PaP	PaP	PaP	PaP	PaP
Sistema de control	modular	Modular	modular	modular	integrado	modular

Fuente: Aquino y Placid (2012)

A través de la tabla 4.10 se puede observar las diversas características que presentan las máquinas que se tomaron como referencia para la construcción de la máquina CNC planteada en esta investigación. Todo esto con el objeto de hacer factible y viable la elaboración de la misma, debido a que de forma operativa a través de ellas se logró determinar las diversas fases de diseños y ensamblaje así como las diversas estructuras que pueden componer a esta. Por otro lado mediante las máquinas tomadas como referencia se pudo obtener una factibilidad técnica en cuanto al proceso de construcción de la máquina, ya que se pudieron adquirir y diferenciar una serie de pasos que hacen accesible la manufactura de esta. Por último se obtuvieron referencias en cuanto al tipo de materiales en base a los que se puede realizar la máquina, siendo muchos de ellos de fácil adquisición debido a la disponibilidad tanto económica como de existencia en el mercado.

A continuación se describe lo que en cuanto a ejes coordenados (X, Y, Z) se ha hecho énfasis reiteradamente en este proyecto de grado:

- Eje X: en este eje se posicionará la pieza a trabajar ya que en este se colocará la mesa o base de tallado de la máquina, en este pilar será acoplado las barras que conforman el eje Y por medio de unos tacos metálicos. (ver diseño en apéndice C y D)



Figura 4.9.1: EJE X

Teniendo ya listo el eje x se procede a ensamblar la mesa la cual está apoyada por un marco construido con ángulos de 1/2 pulgada, sus de talles se pueden apreciar en la figura 4.9.1.1 y Apéndice A.

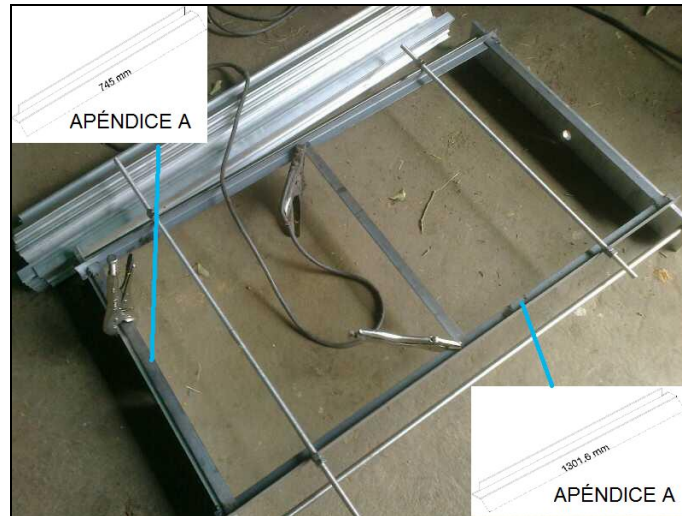


Figura 4.9.1.1 detalles del marco de la mesa de apoyo



Figura 4.9.1.2 mesa ya ensamblada

- Eje Y: consta de 2 barras metálicas paralelas dispuestas de manera vertical que se acoplarán al eje X y unidas por 2 guías paralelas dispuestas de manera horizontal. Este eje estará unido al eje Z de la máquina. (ver diseño en apéndice E)



Figura 4.9.2: EJE Y

- Eje z: es la parte mecánica más compleja e importante de la máquina, ya que en este recae la responsabilidad del tallado y/o desbaste de la pieza a trabajar por ser el eje donde se estará fijado el router. (ver diseño en apéndice B y H)

Este eje al igual que el eje X y el eje Y poseen en sus extremos, unas bases donde estará los rodamientos los cuales serán apoyados los tornillos sin fin de cada eje, disminuyendo el roce angular debido a que el tornillo sin fin al estar en contacto con el aro inferior de rodamiento, permitiendo así girar fácilmente (ver Figura 4.9.2.1 y Apéndice O).

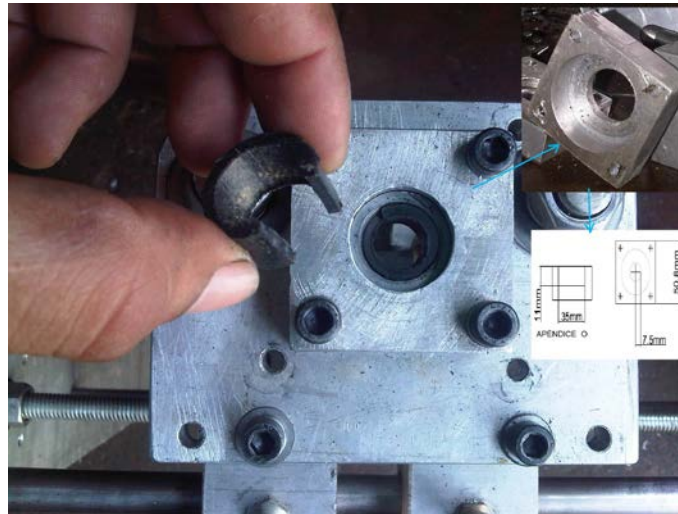


Figura 4.9.2.1 Base de la rolinera del eje Z



Figura 4.9.3 EJE Z

Por último se acoplan los 3 ejes, por lo que la parte mecánica quedaría finalizada, quedando a posterior la instalación del sistema eléctrico y sistema de control para el funcionamiento de la máquina (ver figura 4.9.4).

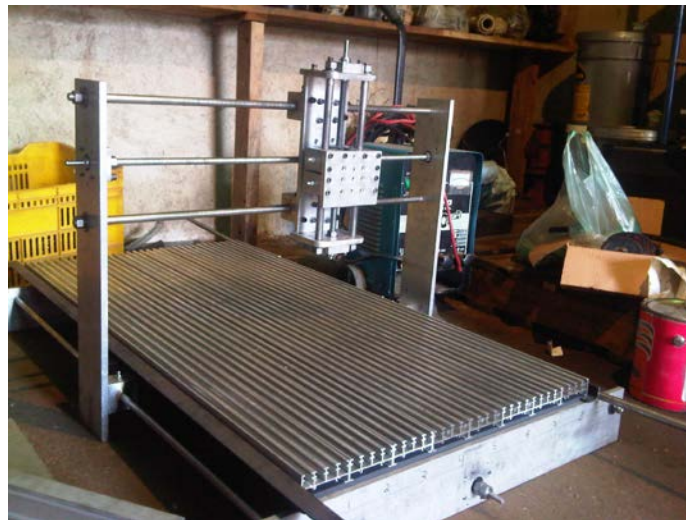


Figura 4.9.4 Estructura terminada

Finalmente terminada la estructura, se prosiguió a realizar el cableado, instalación de los motores de pasos con sus acoples respectivos y herramienta de corte (router), para así quedar la máquina completamente ensamblada (ver figura 4.9.5)

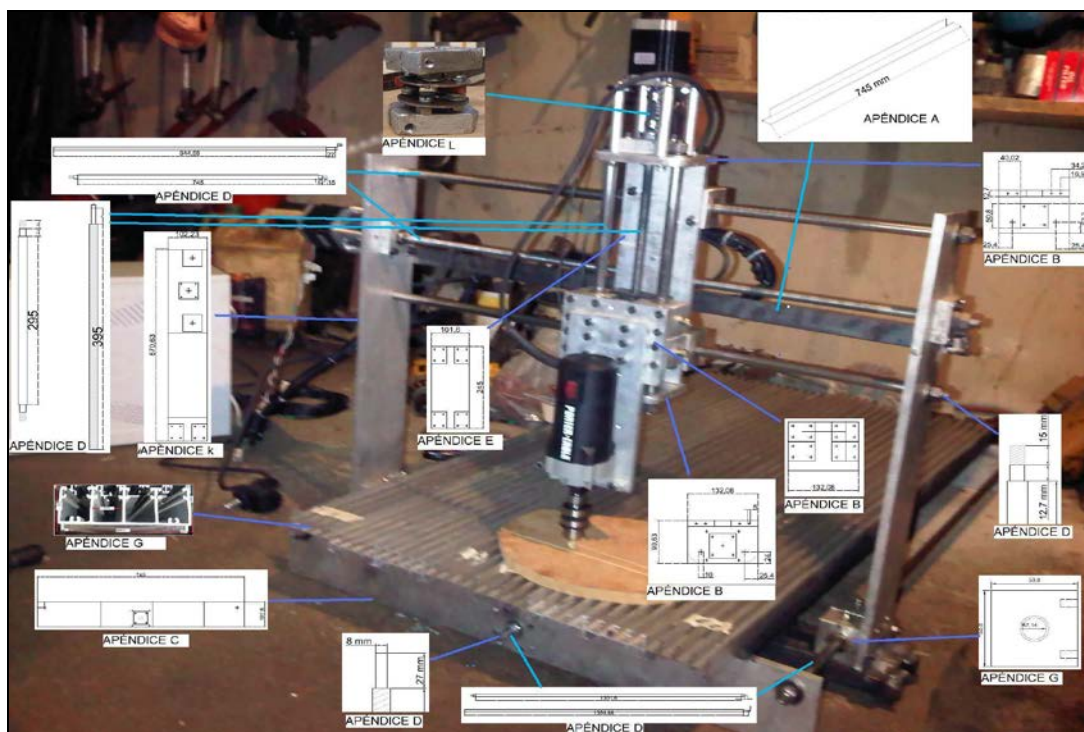


Figura 4.9.5 Máquina ensamblada totalmente.

4.10 Puesta en marcha de la máquina CNC y elaboración de las primeras pruebas.

En esta etapa se realizó las primeras pruebas con el fin de verificar el óptimo funcionamiento de la máquina. Realizando comparaciones del error cometido de las pistas en relación a la imagen PCB.



Figura 4.10.1 Componentes del sistema de control

En la figura 4.10.1 se muestra los pasos a seguir para realizar un circuito impreso, cuyo procedimiento consiste en crear la imagen PCB, a través de un programa CAD que para efecto de este proyecto es el Eagle, luego esta imagen se convierte al lenguaje que interpreta la máquina CNC (código G y M) que de igual forma fue mediante el uso del Eagle. El código G y M es cargado al programa de control de CNC (Mach3) para que finalmente este sea transferido a los controladores de los motores (drivers) y realice el proceso de desbaste en la lámina de cobre PCB. Los primeros ensayos realizados fueron:



Figura 4.10.2 Imagen PCB

Se realizó 4 pruebas con diferentes grosores en la pistas con el fin de estimar el trazado mínimo que este prototipo de máquina CNC puede realizar. El instrumento utilizado en las mediciones de las pistas tanto en la imagen PCB, como en la pieza de lámina de cobre PCB fue un vernier digital, el cual tiene una precisión de 0.01mm y se muestran en la sección de resultados.



Figura 4.10.3 Pruebas de pistas en la lámina PCB

4.11 Recopilación, análisis e interpretación de los resultados.

De la construcción del prototipo de Máquina CNC para la elaboración de circuitos impresos, se obtuvieron los siguientes resultados, luego de haberse realizado pruebas con diferentes dimensiones en el ancho de las pistas, para así estimar el error arrojado en el desbaste en comparación a la imagen PCB, obtenida en el Eagle.

El fin de realizar las pruebas es determinar el alcance de la máquina en cuanto a precisión, ventajas y defectos detectados. En la tablas 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 que se muestran a continuación estarán representados los valores teóricos (esperados), valores experimentales que se obtienen con la pieza tallada y la imagen PCB y los errores de las diferentes pruebas que se ha realizado.



Tabla de mediciones en la baquelita.

Tabla 4.11 mediciones en la baquelita.

Pistas	Patrón (mm)	Prueba 1 (mm)	Prueba 2 (mm)	Prueba 3 (mm)	Prueba 4 (mm)
Pista 1	1.13	1.42	1.48	1.8	1.8
Pista 2	1.90	2.14	2.12	2.2	2.18
Pista 3	2.60	2.2	2.38	2.38	2.48
Pista 4	3.84	3.44	3.48	3.6	3.48
Pista 5	6.20	6.14	6.4	6.14	6.2

Tabla de los valores medios de las pistas

Tabla 4.12 valores medios de las pistas

Pistas	Valores promedios (mm)
Pista 1	1.625
Pista 2	2.16
Pista 3	2.36
Pista 4	3.5
Pista 5	6.22

Cálculo del error absoluto:

$$Error = \left| \frac{valor.teorico - valor.real}{valor.teorico} \right| 100\% \quad (1)$$



Tabla 4.13 Error Absoluto

Pistas	Valor Teórico (mm)	Valor Promedio (mm)	Error absoluto (%)
Pista 1	1.13	1.625	43.8
Pista 2	1.90	2.16	13.68
Pista 3	2.60	2.36	9.23
Pista 4	3.84	3.5	8.8
Pista 5	6.20	6.22	0.3

De los cálculos es de notar que, a medida que el ancho de las pistas supera los 2.5 mm, el valor real o experimental es próximo al valor esperado, por lo tanto el error es pequeño con una tendencia menor del 15% como se puede observar en tabla 4.12; además la precisión se puede mejorar mediante ajustes adecuados en la velocidad de los motores y seleccionando la secuencia de medio paso, se obtendría de 200 a 400 pasos por revolución lográndose así más precisión. Para el cálculo de estos errores se usó la secuencia de paso completo. Es de resaltar que la precisión de esta máquina también se ve afectada por el hecho de que la broca que fue usada tiene un ángulo de corte de 30° y el diámetro de la punta es 0.5mm, limitando así realizar pistas con un espesor menor de 1mm debido a que por la profundidad de corte la pista pudiera presentar fisuras (ver figura 4.11).

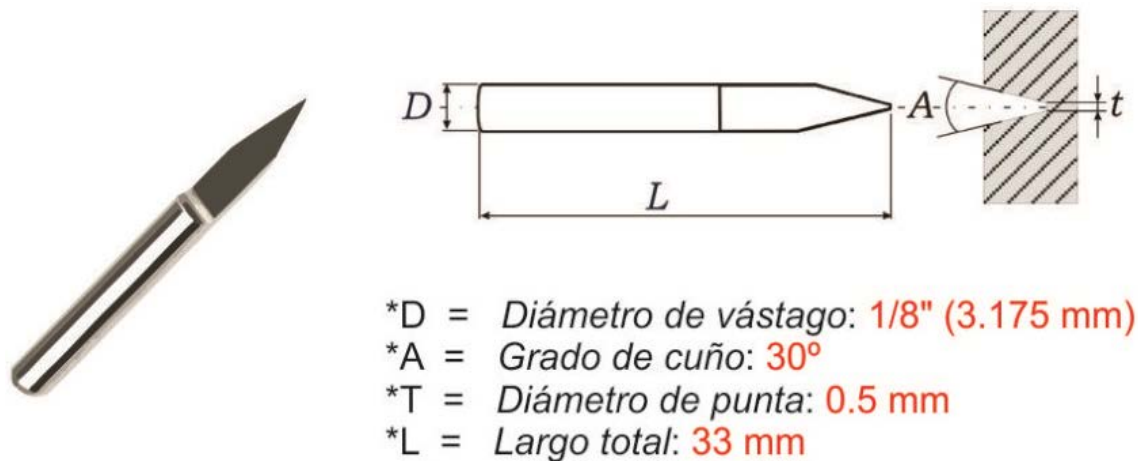


Figura 4.11 Detalles de la broca en V [13].

Por otro lado, en cuanto a defectos detectados en el funcionamiento destacan las vibraciones que produce el eje X a lo largo de su recorrido (evitando que la pieza se realice de manera más precisa), las cuales son originadas por razones de ajustes mecánicos (, aunando a esto, la inexperiencia en el uso de herramientas o maquinarias que hicieron posible la elaboración de la estructura. Adicionalmente, fallos en la energía eléctrica podrían ocasionar la pérdida en el trabajo en cuanto a la elaboración del tallado de piezas, pues el sistema no conserva memoria acerca del punto en el cual se suspende su accionar.

En cuanto a la elaboración de la máquina resalta el hecho que los materiales usados son de alta calidad y resistencia, ya que su inventario se hizo con el mayor detalle en lo que a calidad, resistencia y durabilidad se refiere. Las guías (tubos metálicos) donde se desplazan cada unos de los ejes son de acero inoxidable, de alta rigidez y soportan más de 2 veces la masa de la máquina sin pandear. Los bujes son de material de bronce lo que hace que haya menos roces por tratarse de materiales distintos, es decir produce mayor deslizamiento y asentamiento en las guías. El uso de aluminio en casi en la totalidad de la máquina es de gran ventaja por el fácil manejo en el uso de herramientas de trabajo y disminución en el peso. La máquina ha sido diseñada para que su durabilidad en el tiempo sea prolongada a unos 10 años de vida útil o pleno funcionamiento.

4.12 Elaboración de la primera tarjeta

Inicialmente se realizaron pruebas para observar: el error cometido en las pistas por el proceso de desbaste de la fresa, estableciendo una velocidad fija en el desplazamiento de sus 3 ejes igual a 600rpm y selección de la secuencia normal (paso completo) de los motores de paso, la velocidad de corte porcada uno de los ejes es de 1200 mm x min. Se determino que para la elaboración de un circuito con una dimensión de 67x47mm aproximadamente, un ancho de 2.5mm de separación de las pistas, 400 líneas de instrucciones de código G se logro desbaster la lamina con una duración menor a 5min. El ancho de las pistas en comparación con la imagen PCB (ver figura 4.12) arrojo los valores de error esperado según la sección anterior cuando el valor esperado es cercano a 2.5mm es decir un 9%, siendo este considerablemente pequeño, por lo tanto no presenta desperfecto como la falta de continuidad, el desgaste y la porosidad en las líneas de interconexión (ver figura 4.13), que se presentan en el PCB fabricado con el método artesanal.

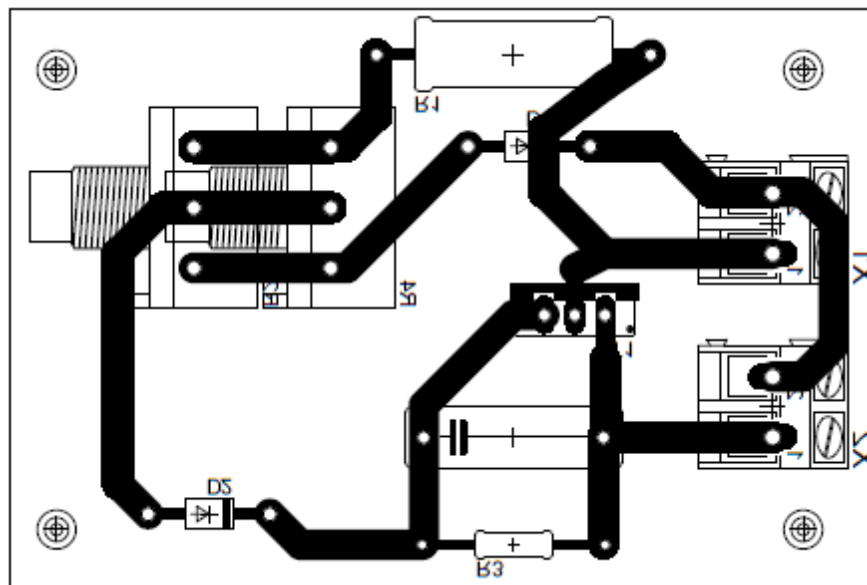


Figura 4.12 Imagen PCB realizada en Eagle

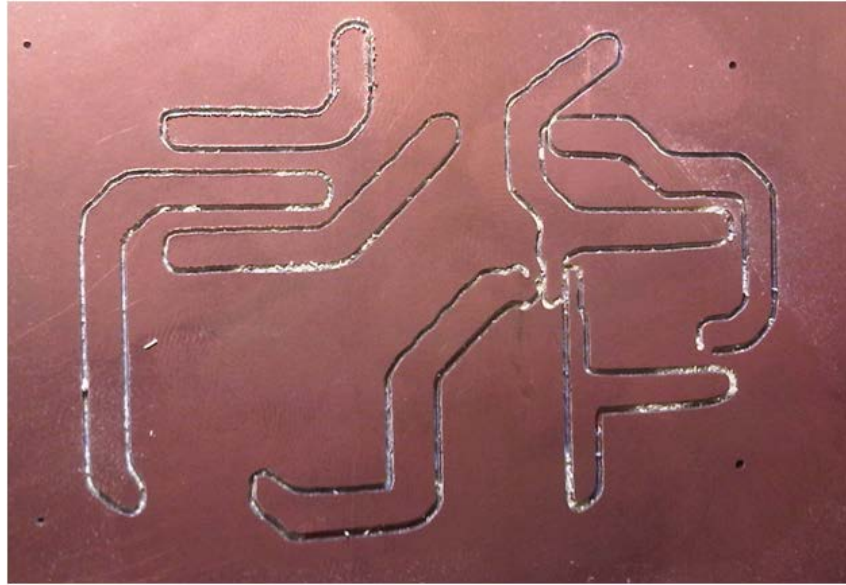


Figura 4.13 Primer circuito impreso

CAPÍTULO V

Conclusiones y recomendaciones



5.1 CONCLUSIONES

- El comportamiento presentado por el prototipo es el adecuado al realizar el fresado de la baquelita ya que no se observan desfases, en el desplazamiento de la fresa.
- La resolución obtenida con los motores de paso se ve afectada por el diámetro de la fresa ya que un movimiento de un paso físicamente no se observa, por esta razón se ve la necesidad de cambiar la fresa por una de menor diámetro; consiguiendo también que el corte sea de menor espesor logrando así circuitos impresos de mayor resolución.
- Con este prototipo la elaboración de circuitos impresos en baquelita es menos dispendiosa ya que solamente basta con crear el layout (imagen PCB) del circuito, crear el archivo G y posteriormente cargarlo en el software del prototipo.
- Se mejora la calidad de los circuitos impresos ya que el cobre de la baquelita no se ve afectado por el cloruro férrico, dando óptimas líneas de interconexión entre los dispositivos y duración al mismo.
- La máquina construida brinda una alternativa factible de reemplazo al uso de otras técnicas de fabricación más dañinas para la salud y el medio ambiente.
- La repetibilidad en la realización de múltiples impresos, es mejorada ya que el prototipo realiza en cada uno, un proceso exactamente igual al anterior, exceptuando únicamente el desgaste de la herramienta.
- En términos generales la utilización de un sistema automatizado como el implementado aumenta sin duda la seguridad por lo previamente mencionado, además en cuanto a producción se refiere resulta ventajoso, ya que al usar una placa de gran tamaño se



pueden realizar numerosas tarjetas según sus dimensiones, solo con cambiar el origen de trabajo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la casa ELÉCTRICOS VENEZOLANO C.A realizar el fresado de las piezas a la velocidad preestablecida, ya que puede ser que ocurra una pérdida de paso en los motores debido a que la velocidad de los pulsos es mayor a la que pueden interpretar los integrados.
- Se recomienda realizar un curso de manipulación de máquinas CNC para comprender el código con el que trabajan estas máquinas; y así realizar otros mecanizados más ambiciosos y fresar en otros materiales.
- Se recomienda a futuras implementaciones el diseño de un software que convierta la comunicación de puerto paralelo a USB, ya que la paralela está desapareciendo del mercado.
- Es recomendable que el panel de control sólo tenga acceso a personal autorizado, y manejarlo con la mayor precaución, ya que una mala manipulación pudiera dar la aparición de fisuras a las soldaduras o desconectar algunos terminales y presentar fallas o finalmente un daño grave a las tarjetas de control.
- Se recomienda no manipular mucho la estructura ya que tiende a descalibrarse y desajustarse, y como los tornillos están apoyados en aluminio que es un material blando y maleable, pueden dañarse la roscas.
- Se recomienda, antes de ubicar la baquelita para desbastar, desacoplar la fresa del husillo por seguridad, ya que pudiera ocasionar un incidente.



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- Se recomienda el uso de mascarilla mientras se esté realizando el desbaste de la lámina de cobre PCB, debido a que el polvillo que se genera por el fresado pudiese ocasionar problemas respiratorios.
- Se recomienda trabajar en un ambiente fresco y libre de polvo.



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

[1] VALERIO GUERRERO ALEJANDRO (2007) “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA DE DESARROLLO APLICADA A UN PROTOTIPO DE MÁQUINA FRESADORA CNC” UNIVERSIDAD DE CHILE EN SANTIAGO DE CHILE

[2] ARRIAGA GORDILLO JOSUÉ Y MERINO GODINEZ ERNESTO (2009)
“APLICACIÓN DEL CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO A LAS MÁQUINAS FRESADORAS” INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL MÉXICO. DISPONIBLE:
[HTTP://HDL.HANDLE.NET/123456789/3175](http://hdl.handle.net/123456789/3175)

[3] MSc. ING. JUAN CARLOS PEREIRA (2011), CURSO DE 16 HORAS
“PROGRAMACIÓN CNC EN FRESADO NIVEL I” UNIVERSIDAD DE CARABOBO,
VALENCIA.

[4] ESTECA55 (2010)“DRIVER UNIPOLAR 4 A 35V”. [HTTP://WWW.ESTECA55.AR](http://www.esteca55.ar)

[5] ESTECA55 (2008) “INTERFAZ”. [HTTP://WWW.ESTECA55.AR](http://www.esteca55.ar)

[6] WEIBER MATTHIAS (2006)“MANUAL DE USO DE EAGLE 3D”.
[HTTP://WWW.MICROPIC.ES/INDEX.PHP?OPTION=COM_CONTENT&VIEW=ARTICLE
&ID=66:EAGLE-3D-PASO-A-PASO-MANUAL-
BASICO&CATID=37:TUTORIALES&ITEMID=64](http://www.micropic.es/index.php?option=com_content&view=article&id=66:EAGLE-3D-PASO-A-PASO-MANUAL-BASICO&catid=37:TUTORIALES&Itemid=64)

[7] “MANUAL DE USO DEL MACH3 EN ESPAÑOL”.
[HTTP://WWW.ESTECA55.COM.AR/TUTORIALES.HTML](http://www.esteca55.com.ar/tutoriales.html) VIDEO TUTORIAL,



DESCARGA DEL MANUAL

[HTTP://WWW.MACHSUPPORT.COM/FORUM/INDEX.PHP?TOPIC=17507.0](http://www.machsupport.com/forum/index.php?topic=17507.0)

[8] “PASO EN LA CONFIGURACIÓN DE LOS PINES”.

[HTTP://MELCA.COM.AR/CONFIGURACION PINES MACH3.HTML](http://melca.com.ar/configuracion_pines_mach3.html)

[9] “Software CNC”. http://www.probotix.com/cnc_software/

[10] “Principio de control de motores”.

[HTTP://WWW.TODOROBOT.COM.AR/INFORMACION/TUTORIAL%20STEPPER/STEPPER-TUTORIAL.HTM](http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm)

[11] “Puerto paralelo”.

[HTTP://CFIEVALLADOLID2.NET/TECNO/CYR_01/CONTROL/PUERTO PARALELO.HTM](http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr_01/control/puerto_paralelo.htm)

[12] “CNC - Control Numérico Computacional”.

[HTTP://R-LUIS.XBOT.ES/CNC/INDEX.HTML](http://r-luis.xbot.es/cnc/index.html)

[13] “fresas en V”.

[HTTP://ARTICULO.MERCADOLIBRE.COM.AR/MLA-151286216-FRESAS-10-01MM-GRABADO-EN-V-PARA-ROUTER-O-FRESADORA-CNC- JM](http://articulo.mercadolibre.com.ar/mla-151286216-fresas-10-01mm-grabado-en-v-para-router-o-fresadora-cnc-jm)

[14] “MAQUINA LPKF PROTOMAT® E33”.

[HTTP://WWW.LPKFUSA.COM/PROTOMAT/E33.HTM](http://www.lpkfusa.com/protomat/e33.htm)

[15] “MECATROBOTIC ROUTER CNC 122x244x20cm”. [HTTP://CNC-MECATROBOTIC.COM/?P=11](http://cnc-mecatronic.com/?p=11)

[16] “PIONERO EN LA MAQUINA CNC”.

[HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/FRANK L. STULEN](http://en.wikipedia.org/wiki/Frank_L._Stulen)

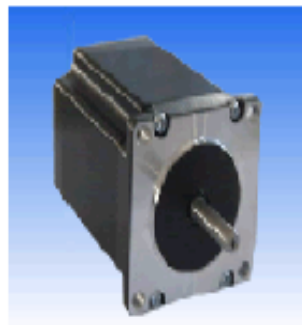
[17] “Home & Limit”.

[HTTP://WWW.ESTECA55.COM.AR/TUTO-HOME&LIMIT.HTML](http://www.esteca55.com.ar/tuto-home&limit.html)

Anexos

Dimensions (Unit: Millimeter)

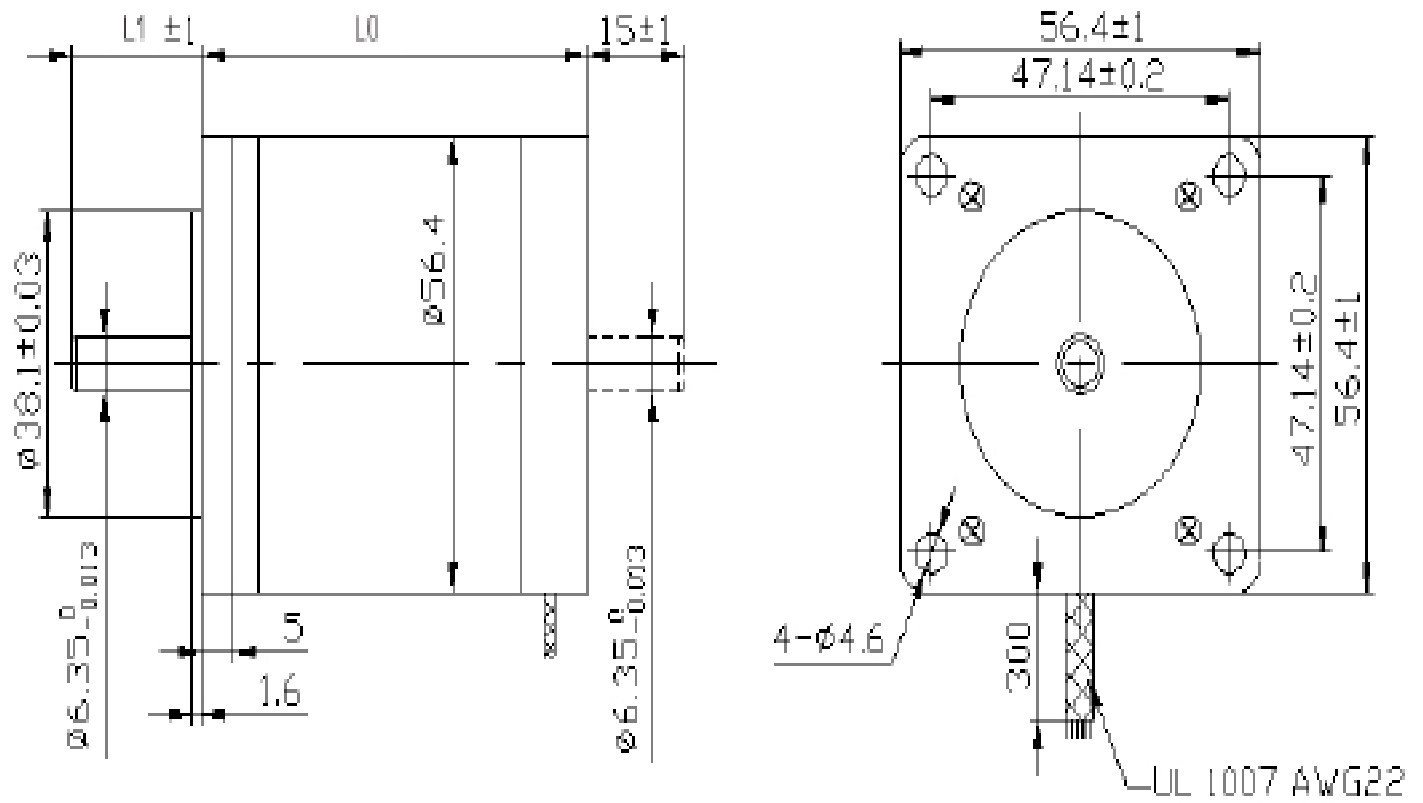
Step Angle	1.8°±5%
Insultion Resistant	500V DC 100MΩ Min
Insultion Strength	50Hz 1Minute 500V Min
Ambient Temperature	-20℃~+50℃
Temperature Rise	80℃ Max.
Radial Play	0.02mm Max.
End Play	0.1-0.3mm



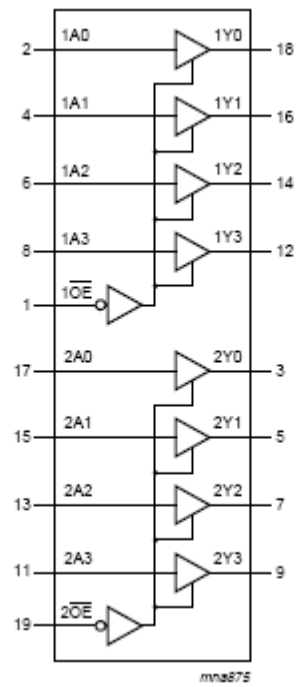
Electrical Specifications

Model	Phase Number	Current	Resistance	Inductance	Max.Static torque	Weight	Overall Dimension	
		(A)	(Ω)	(mH)	(kg.cm)	(kg)	L0(mm)	L1(mm)
57BYGH006	4	0.34	71	80	4.4	0.42	41	22
57BYGH007	2	0.4	35.5	52	5.6	0.42	41	22
57BYGH008	4	2	1.4	1.2	4.2	0.42	41	21
57BYGH103	4	0.38	32	38	6	0.65	50	21
57BYGH104	4	2.3	1.1	1.4	8.2	0.65	50	21
57BYGH201	2	2.5	1.1	3.6	9.8	0.65	54	21
57BYGH202	4	3	0.75	1.2	9	0.65	54	21
57BYGH207	4	0.4	30	60	8	0.7	56	21
57BYGH208	4	1.6	2.2	3.4	8	0.65	53	25.5
57BYGH211	4	1.6	2.6	5	9	0.65	54	21
57BYGH212	2	1	3.5	12.5	9	0.65	54	21
57BYGH213	4	1	6.2	10	9	0.65	54	21
57BYGH218	2	1	8.2	16.8	10	0.7	56	31.5
57BYGH291	4	2.5	1.3	4.5	8	0.7	54	21
57BYGH301	2	1.4	4.2	15	15	1.1	76	21
57BYGH302	4	3	1	2.1	13	0.65	76	21
57BYGH303	4	2.3	2.5	5.3	16	0.65	76	21
57BYGH310	2	2	4.3	16.2	24	1.1	76	21

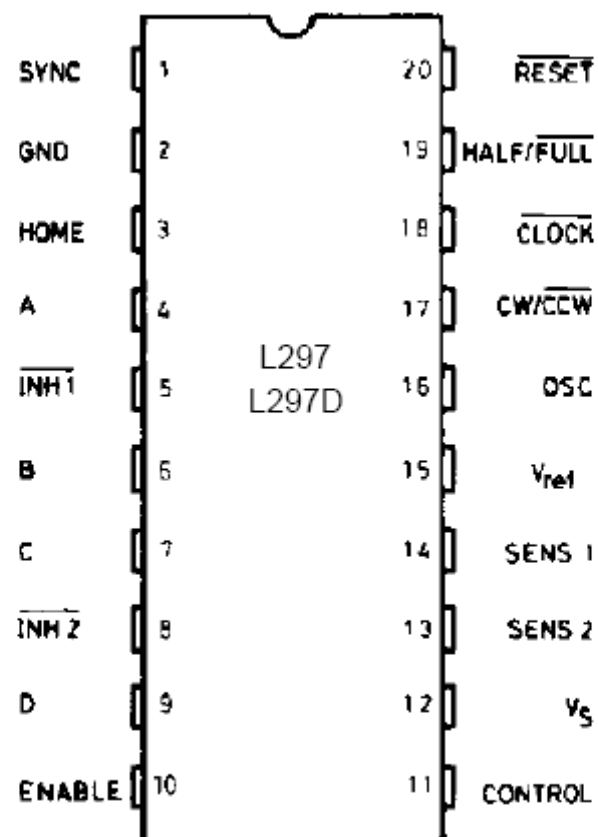
Anexo A: Especificaciones de los Motores 57BYGH303 PaP



Anexo A1: Especificaciones de los Motores 57BYGH303 PaP



Anexo B : Integrado 74HC244



S-5839

Anexo C: Integrado l297

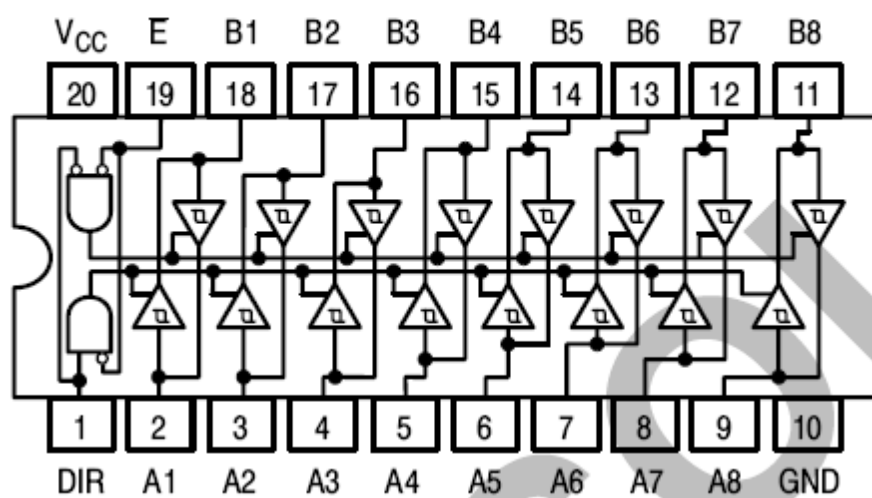
PIN FUNCTIONS - L297/L297D

N°	NAME	FUNCTION
1	SYNC	Output of the on-chip chopper oscillator. The SYNC connections of all L297s to be synchronized are connected together and the oscillator components are omitted on all but one. If an external clock source is used it is injected at this terminal.
2	GND	Ground connection.
3	HOME	Open collector output that indicates when the L297 is in its initial state (ABCD = 0101). The transistor is open when this signal is active.
4	A	Motor phase A drive signal for power stage.
5	INH1	Active low inhibit control for driver stage of A and B phases. When a bipolar bridge is used this signal can be used to ensure fast decay of load current when a winding is de-energized. Also used by chopper to regulate load current if CONTROL input is low.
6	B	Motor phase B drive signal for power stage.
7	C	Motor phase C drive signal for power stage.
8	INH2	Active low inhibit control for drive stages of C and D phases. Same functions as INH1.
9	D	Motor phase D drive signal for power stage.
10	ENABLE	Chip enable input. When low (inactive) INH1, INH2, A, B, C and D are brought low.
11	CONTROL	Control input that defines action of chopper. When low chopper acts on INH1 and INH2; when high chopper acts on phase lines ABCD.
12	V _s	5V supply input.
13	SENS ₂	Input for load current sense voltage from power stages of phases C and D.
14	SENS ₁	Input for load current sense voltage from power stages of phases A and B.
15	V _{ref}	Reference voltage for chopper circuit. A voltage applied to this pin determines the peak load current.
16	OSC	An RC network (R to V _{CC} , C to ground) connected to this terminal determines the chopper rate. This terminal is connected to ground on all but one device in synchronized multi - L297 configurations. $f = 1/0.69 RC$
17	CW/CCW	Clockwise/counterclockwise direction control input. Physical direction of motor rotation also depends on connection of windings. Synchronized internally therefore direction can be changed at any time.
18	CLOCK	Step clock. An active low pulse on this input advances the motor one increment. The step occurs on the rising edge of this signal.

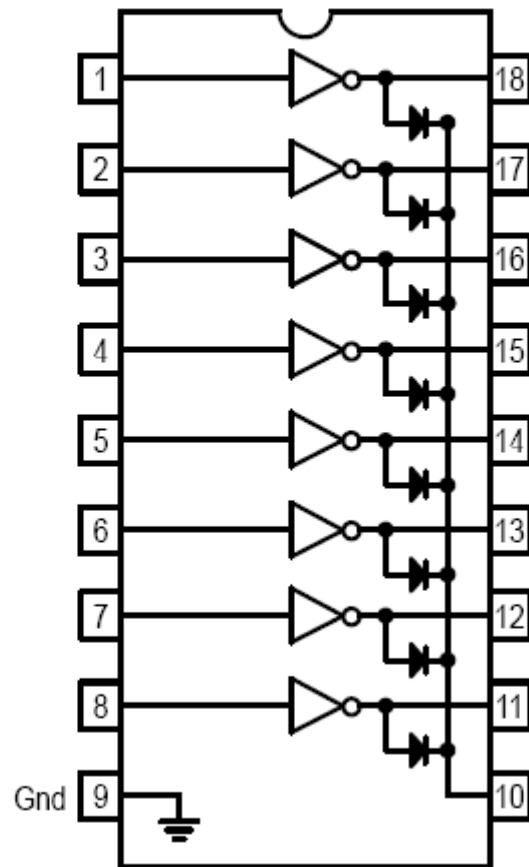
PIN FUNCTIONS - L297/L297D (continued)

N°	NAME	FUNCTION
19	HALF/FULL	Half/full step select input. When high selects half step operation, when low selects full step operation. One-phase-on full step mode is obtained by selecting FULL when the L297's translator is at an even-numbered state. Two-phase-on full step mode is set by selecting FULL when the translator is at an odd numbered position. (The home position is designate state 1).
20	RESET	Reset input. An active low pulse on this input restores the translator to the home position (state 1, ABCD = 0101).

Anexo C1: Integrado l297

LOGIC AND CONNECTION DIAGRAMS DIP (TOP VIEW)**Anexo D: Integrado SN74LS245**

PIN CONNECTIONS

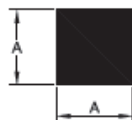


Anexo E: Integrado UL2803A

BARRAS CUADRADAS

ALEACION; 6063 TEMPLE; T5 LARGOS NORMALES; 6,10 Mts.

1511



MATRIZ N°	A	PESO Kg./m.	PESO Kg./Pza.
B 1003	1/4"	0,108	0,659
B 0005	3/8"	0,247	1,507
B 0006	1/2"	0,436	2,660
B 0229	3/4"	0,984	6,002
B 0311	1"	1,742	10,626
B 0312	1 1/2"	3,920	23,912
B 0958	2"	6,969	9,969

-
- LARGO: 1 mt

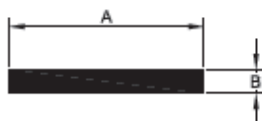
ALBARCA
Aluminios de Barquisimeto CA

Anexo F: PERFIL B0958 DE ALUMINIO USADO EN LOS BUJES

BARRAS RECTANGULARES

ALEACION: 6063 TEMPLE: T5 LARGOS NORMALES: 6,10 Mts.

1 5 4

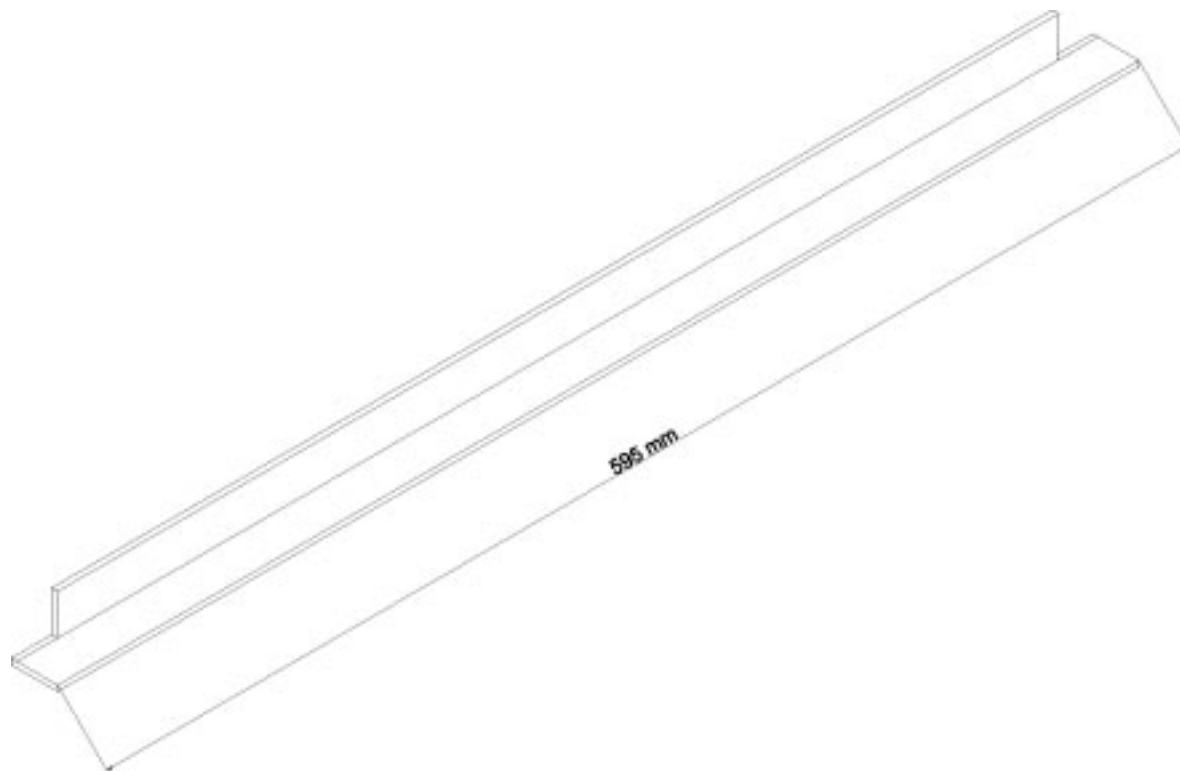


MATRIZ N°	A	B	PESO Kg./m.	PESO Kg./Pza.
B 0007	1/2"	1/8"	0,108	0,659
B 0573	15,0 mm.	10,0 mm.	0,407	2,483
B 0313	5/8"	1/8"	0,135	0,823
B 0951	5/8"	1/2"	0,544	3,318
B 0008	3/4"	1/8"	0,163	0,994
B 0574	22,3 mm.	1,8 mm.	0,108	0,659
B 0009	1"	1/8"	0,220	1,342
B 0314	1"	3/16"	0,327	1,995
B 0010	1"	1/4"	0,436	2,660
B 0748	26 mm.	13 mm.	0,913	5,569
B 0901	31,0 mm.	2,0 mm.	0,168	1,025
B 0011	1 1/4"	1/8"	0,274	1,671
B 0428	1 3/8"	3/8"	0,902	5,502
B 0284	37,08 mm.	2,51 mm.	0,251	1,531
B 0012	1 1/2"	1/8"	0,328	2,001
B 1002	1 1/2"	4,0 mm.	0,411	2,507
B 0213	1 1/2"	4,7 mm.	0,485	2,959
B 0214	1 1/2"	1/2"	1,312	8,003
B 0952	1 1/2"	3/8"	0,980	5,978
B 1127	48 mm.	1,6 mm.	0,201	1,226
B 0013	2"	1/8"	0,436	2,660
B 0953	2"	1/2"	1,741	10,620
B 0315	2"	1"	3,483	21,246
B 1001	2 1/2"	3,0 mm.	0,518	3,160
B 0954	3"	1/2"	2,613	15,939
B 0955	3"	1"	5,224	31,866
B 1325	4"	4,75 mm.	1,309	7,985
B 0219	4"	1/2"	3,495	21,320
B 1000	4 3/4"	3,96 mm.	1,295	7,900
B 0395	7 1/4"	1"	12,628	37,884

- ▲ CARACTERISTICAS ESPECIALES
 ■ LONGITUD 3 Mts.

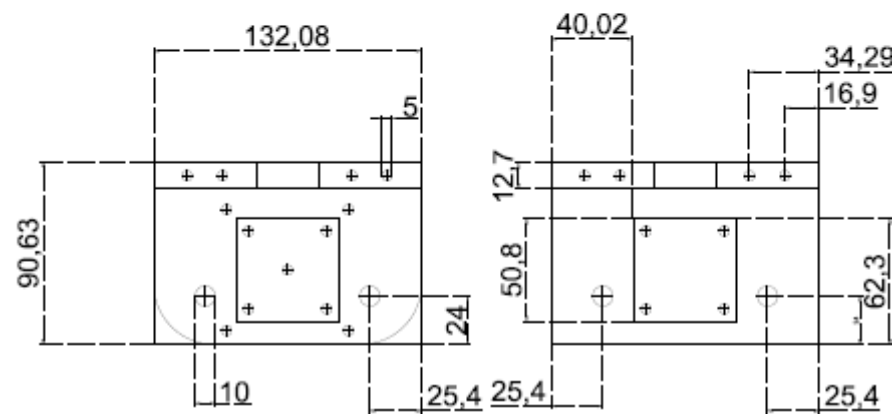
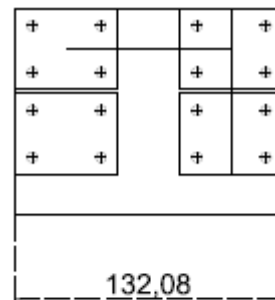
Anexo G: CODIGO E6053T5B0219610 PERFIL DE ALUMINIO USADO EN LA ESTRUCTURA

Apéndices

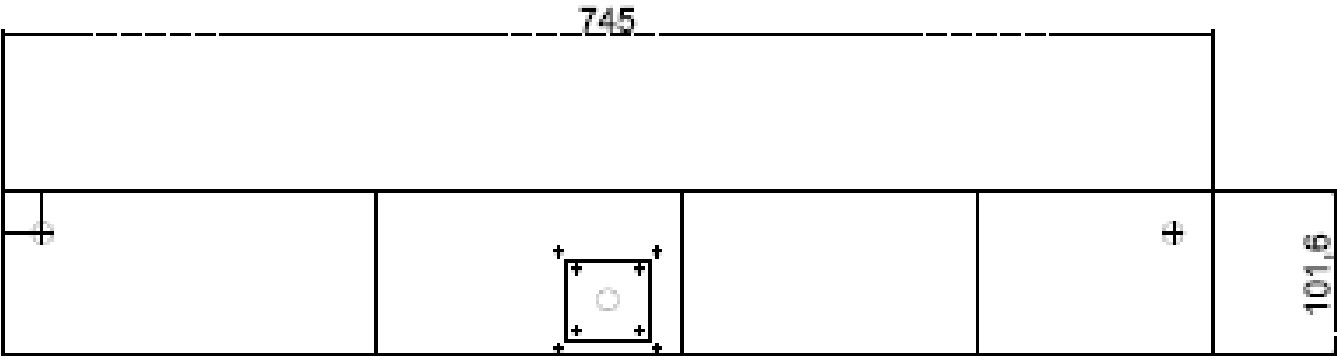


Apéndice A: Angulo de soporte de la mesa de trabajo

APÉNDICES

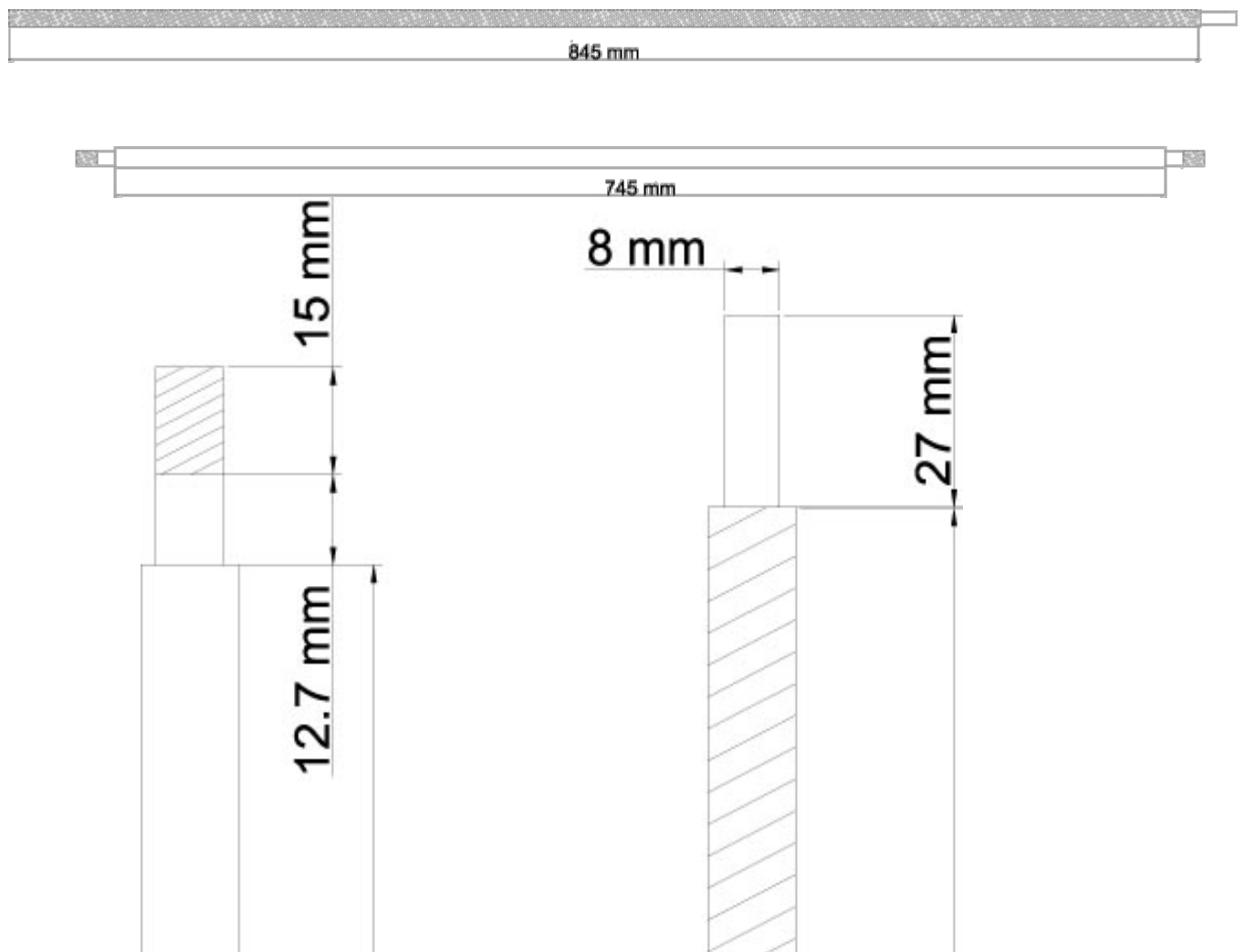


Apéndice B: Medidas en mm de los componentes del eje z



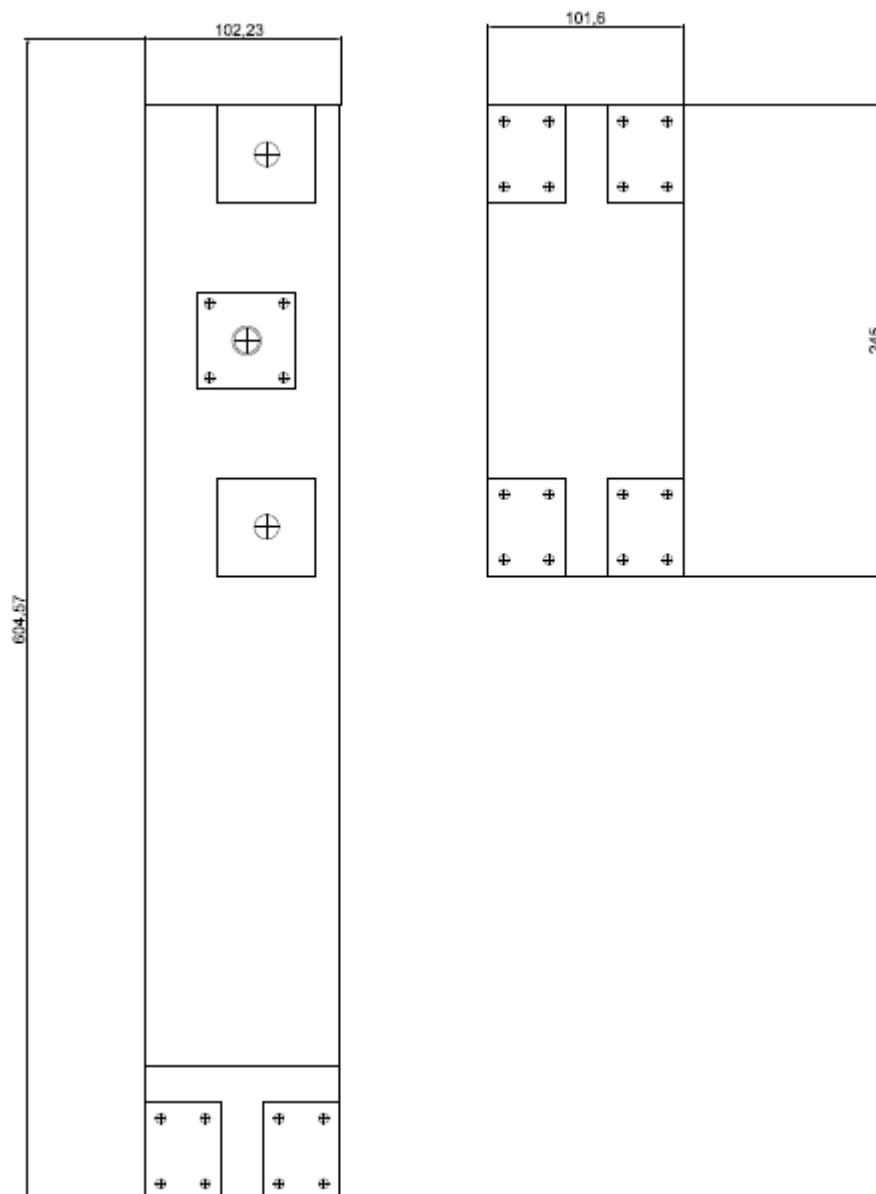
Apéndice C: Medidas en mm de los componentes del eje x

APÉNDICES



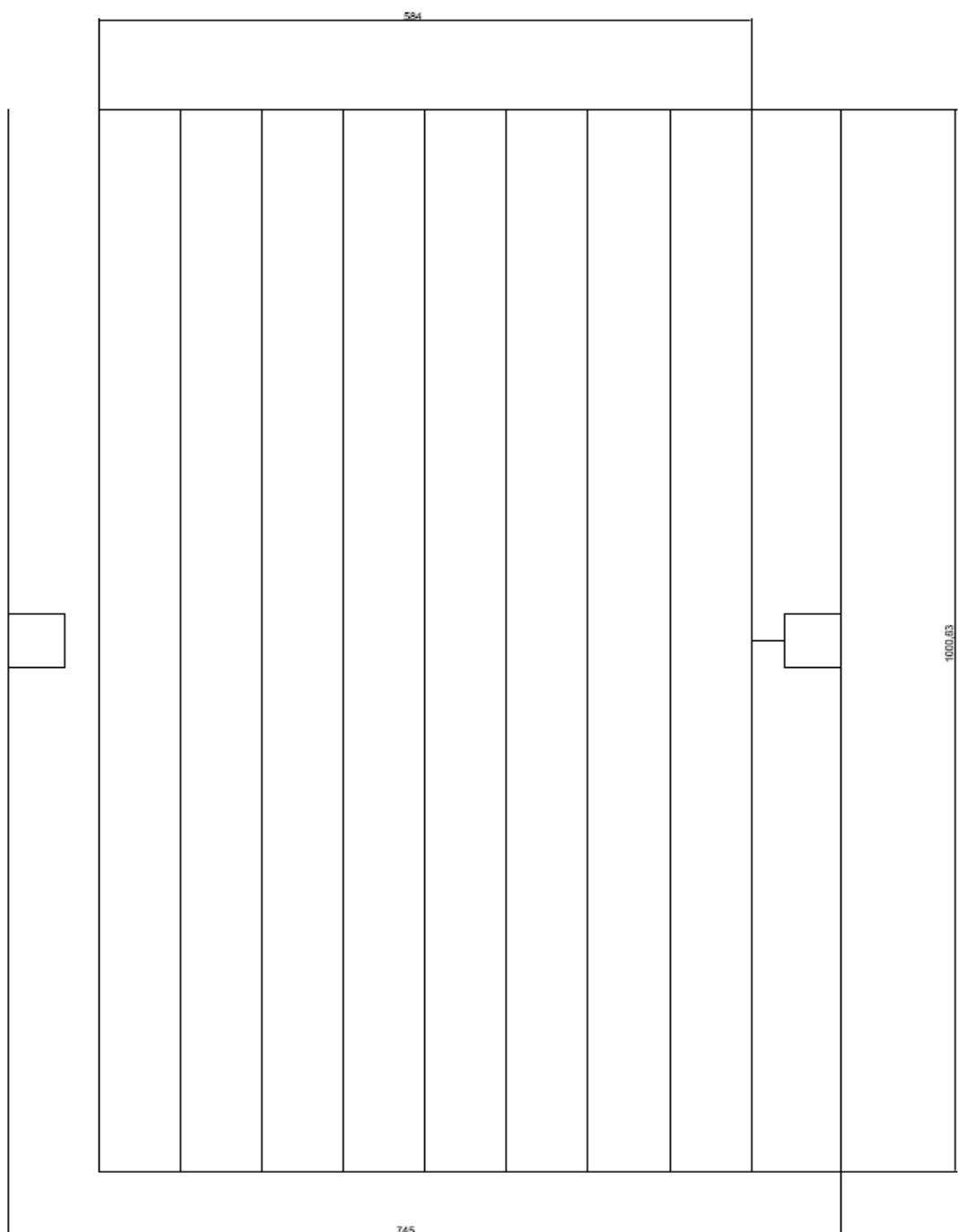
Apéndice D: Barras de guía y de movimiento del eje x

APÉNDICES



Apéndice E: Medidas en mm de los componentes del eje Y

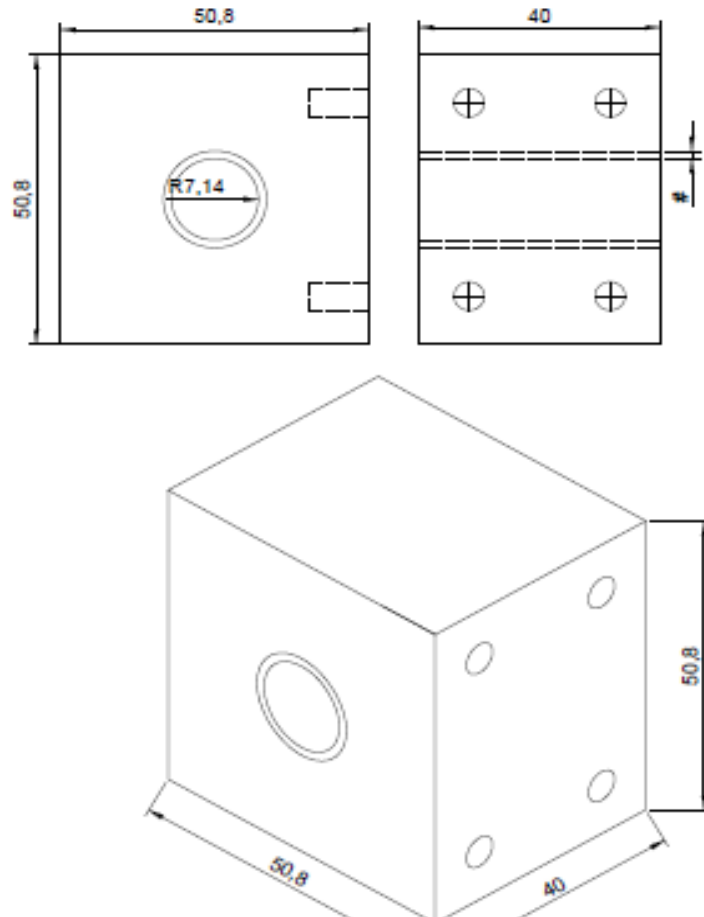
APÉNDICES



Apéndice F: Medidas en mm mesa de trabajo

APÉNDICES

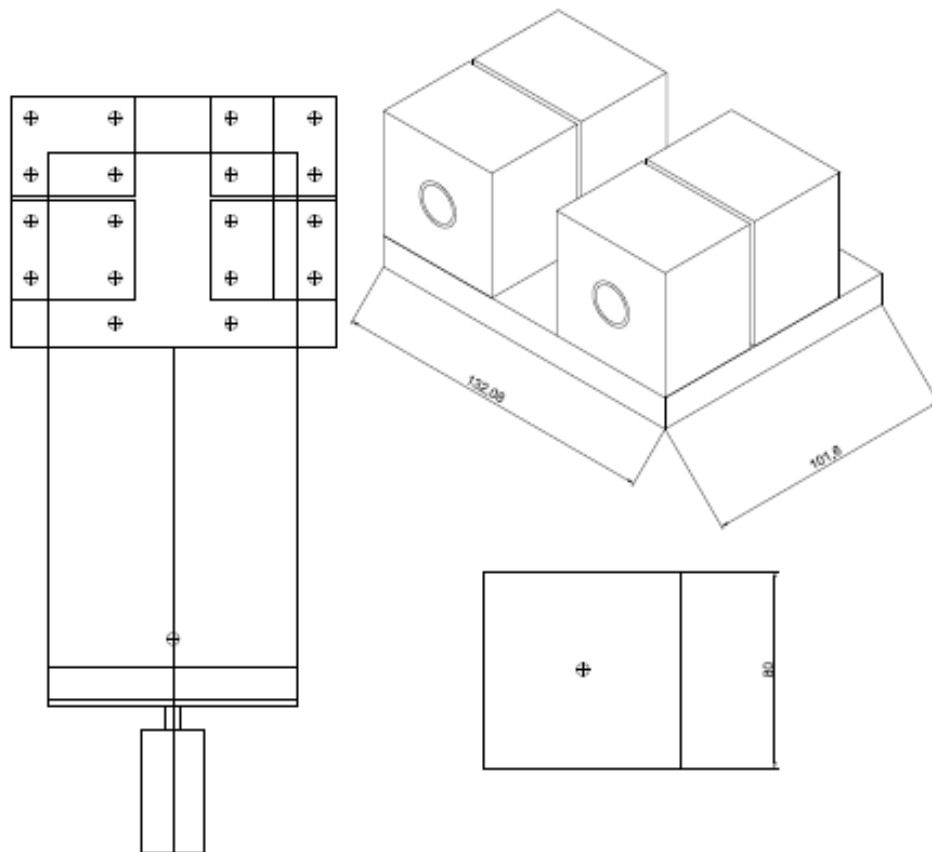
- ✓ Todas las medidas están en milímetros.
- ✓ El radio interno de 7.14mm es para que pase justo una barra de acero inoxidable de 9/16 in, este radio es el de la barra.
- ✓ La distancia que aparece con un # es el espesor que se crea conveniente para la pieza.
- ✓ De esta pieza se tornearon 8 piezas.



Apéndice G. Proyecciones ortogonales e isometrías de los bujes.

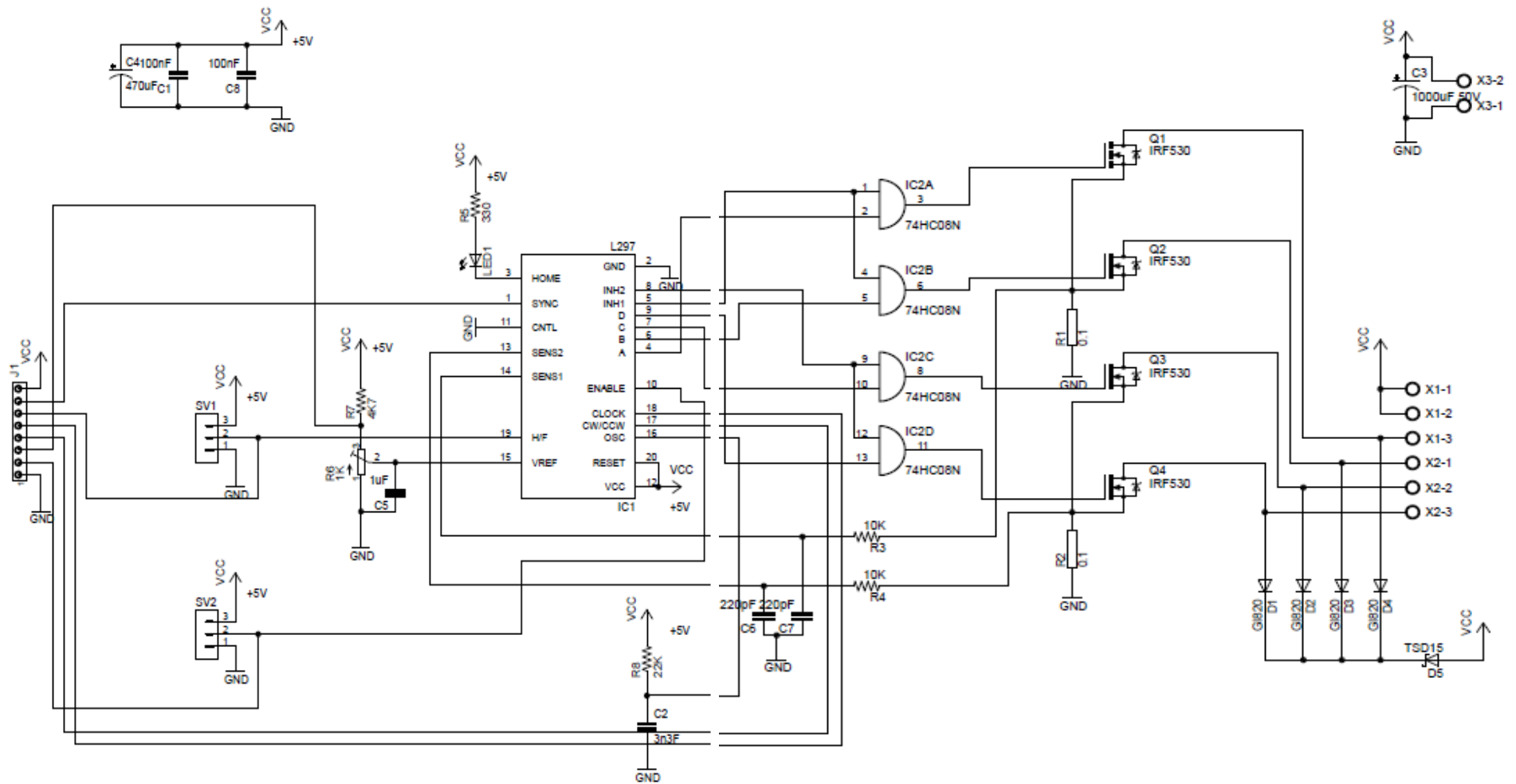
APÉNDICES

Bases y soportes del router.

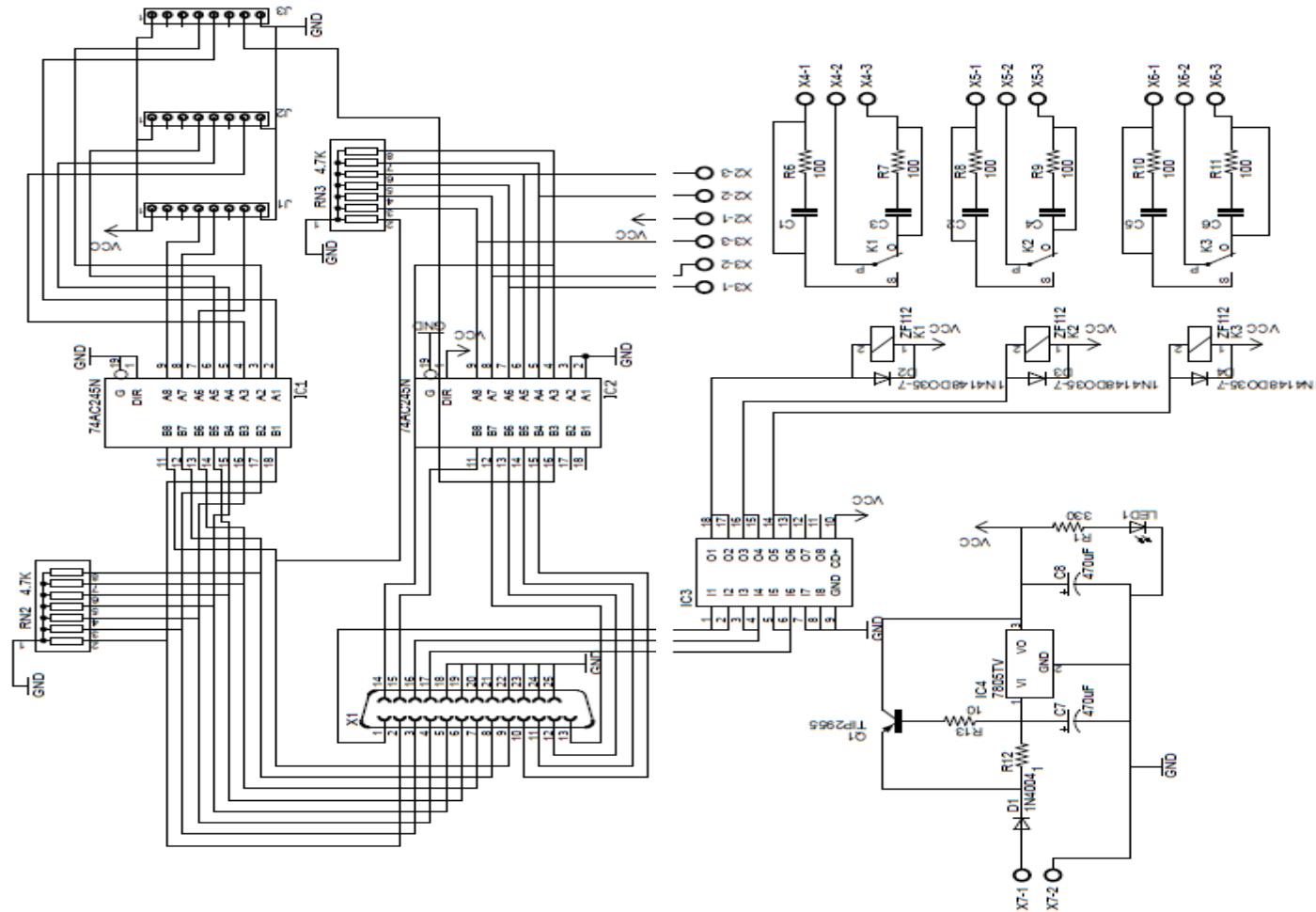


Apéndice H. Medidas para el soporte del router.

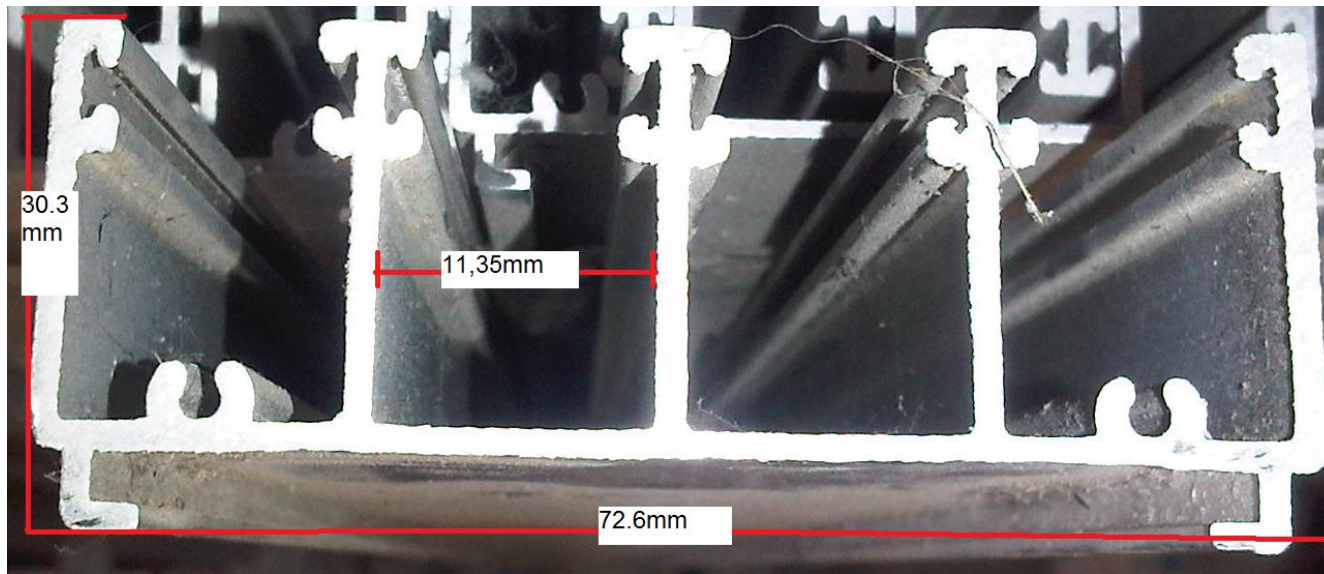
APÉNDICES



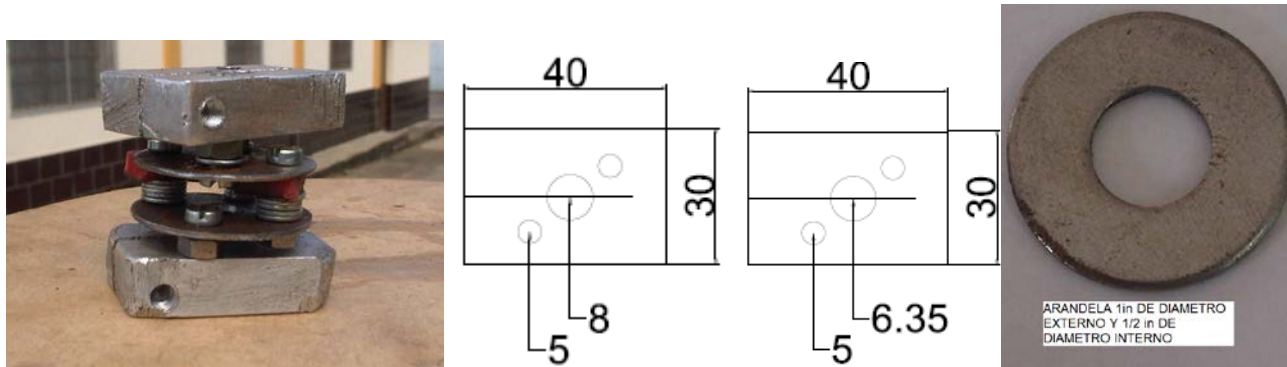
Apéndice I. Esquemático del driver de los Motores PaP, realizado en Eagle.



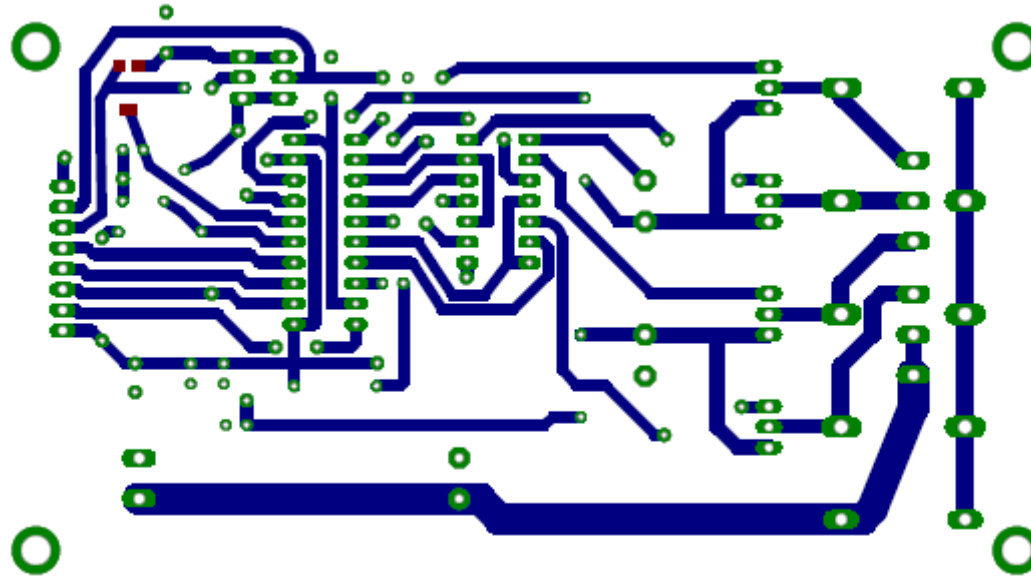
Apéndice J: Esquemático de la interfaz PC-Driver, realizado en Eagle.



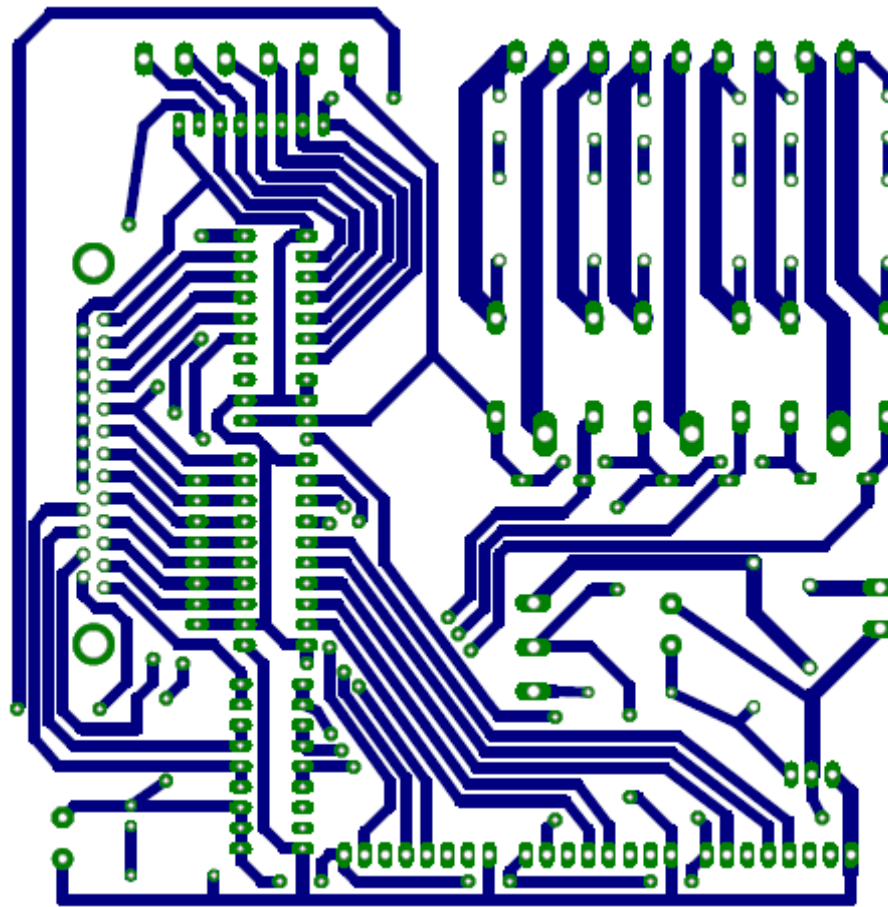
APÉNDICE K: PERFIL E6063T5B0438610 DE ALUMINIO USADO EN LA MESA 72.6mm X 30.3mm X 6.10 M



APÉNDICE L: ACOPLA DE LOS TORNILLOS SIN FIN Y LOS MOTORES PaP



APÉNDICE M: IMAGEN PCB DE LOS DRIVERS



APÉNDICE N: IMAGEN PCB DE LA INTERFAZ