



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

PROTOTIPO ELECTROMECÁNICO PARA DIBUJAR CIRCUITOS  
IMPRESOS SOBRE UNA PLACA DE COBRE

Tesis para obtener el título de:  
**Ingeniero en electrónica**

Presenta:

**Muñoz Cruz Miguel**

Director de tesis:

**M. C. Vásquez Sanjuan Jacob J.**

Huajuapán de León, Oaxaca, febrero de 2010

Prototipo electromecánico para dibujar circuitos impresos sobre una placa de cobre

Tesis presentada el 5 febrero de 2010  
ante los siguiente sinodales:

M.C. Espinosa Justo Enrique  
M.C. Juárez López Salvador  
M.C. Sandoval García Arturo Pablo

Director de tesis:

M.C. Vázquez Sanjuan Jacob J.

Prototipo electromecánico para dibujar circuitos impresos sobre una placa de cobre

## **Dedicatoria**

El presente trabajo esta dedicado con todo amor y cariño a mis padres: Angel Miguel Muñoz Altamirano y Yolanda Cruz Martínez que siempre me han dado todo su apoyo en los momentos más difíciles de mi vida, los amo, sin ustedes no hubiera logrado esto.

A mi abuelita Inés por ser como una madre, un ejemplo excelso, como la quiero abue y hay su catorce.

Daniel y Perla, mis hermanos, mis dos orgullos.

A mis tíos Jaime, Gil, Hortencia, Cheli (como mi hermana).

A los dos tesoros más hermosos en mi vida, mi pareja de toda la vida Liliana y mi hijo Leonardo.

Prototipo electromecánico para dibujar circuitos impresos sobre una placa de cobre

## **Agradecimientos**

Muy especialmente a mi amigo y director de tesis M.C. Jacob Vásquez Sanjuan por brindarme todo su apoyo, su conocimiento y paciencia para finalizar este trabajo de tesis, gracias por su excelente amistad.

A mi madre por hacer un gran esfuerzo para que culminara mis estudios, además de darme la vida y quererme mucho, te adoro madre.

A mi padre por haber cambiado en los últimos años, gracias por todo el apoyo y preocupaciones que tenías conmigo, gracias apá.

A mi abuelita Inés por quererme mucho y darme siempre un buen ejemplo, la quiero abue.

A la profesora Maribel Tello Bello por apoyarme en la revisión de este documento de tesis.

A los sinodales M.C. Espinosa Justo Enrique, M.C. Juárez López Salvador y M.C. Sandoval García Arturo Pablo, por todas las aportaciones necesarias para la finalización de este documento.

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca por abrirme las puertas para estudiar la licenciatura en electrónica.

A todos mis profesores que contribuyeron en mi formación profesional, gracias por todos los conocimientos transmitidos.

A mis hermanos que a pesar de no estar cerca siempre serán mis orgullos.

A todos mis tíos sin excepciones por ser grandes ejemplos en mi lucha por la vida.

A todos mis compañeros de generación 2000 – 2005 en electrónica.

A la familia Castañeda Álvarez por brindarme toda su calurosa amistad.

A mis compañeros y amigos de trabajo que algunos ya no estan trabajando en la universidad pero seguimos conservando una gran amistad: Jose Manuel (vince) , Juan Carlos (carlangas), Héctor (compadre de todos) y will (wallas).

A Palma (responsable del taller de electromecánica) y demás muchachos de esa área por apoyarme en la construcción del prototipo.

A la profesora Alma Lidia por brindarme su valiosa amistad.

A Liliana por ser mi amiga y compañera de mi vida, gracias por darme ese tesoro por quien vivir, TE AMO.

Y a ti Leonardo por venir a darme más fuerzas para seguir adelante te prometo ser un buen ejemplo para ti.

A todos, muchas gracias.

Miguel

Prototipo electromecánico para dibujar circuitos impresos sobre una placa de cobre

# Índice

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vii
Índice.....	ix
Índice de figuras.....	x
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción.....	xiv
Planteamiento y objetivo de la tesis.....	xvi
Estructura de la Tesis.....	xvi
1. Estado del arte.....	1
2. Fundamentos Teóricos para el desarrollo del sistema.....	4
2.1. Control numérico por computadora.....	4
2.1.1 Ventajas y desventajas.....	7
2.2 Circuito Impreso.....	8
2.3 Equipo de Galil Motion Control.....	9
2.3.1 Tarjeta de Control DMC 1842.....	10
2.3.1.1 Tipo de archivos para la tarjeta de control DMC 1842.....	10
2.3.1.2. DMC Terminal.....	11
2.3.1.3 CadToDMC.....	12
2.3.1.4. Conjunto de comandos.....	13
2.3.2. Decodificador ICM 2900.....	17
2.3.3. Amplificador MSA 12-80.....	18
2.3.4. Servomotor N23-53-1000.....	19
2.4. Mesa de coordenadas.....	20
3. Implementación del sistema.....	21
3.1. Sistemas electrónico y mecánico.....	22
3.2. Software y formato de archivo.....	23
3.3. Solución propuesta.....	25
3.4. Sistema electrónico.....	25
3.4.1. Descripción de las conexiones.....	26
3.4.2. Terminal DMC 1842.....	27
3.4.3. CadToDMC.....	28
3.4.4. Archivos DXF.....	28
3.4.5. Características del archivo DXF.....	29
3.4.6. Edición de un Archivo DXF.....	31
3.4.7. Macros.....	32
3.4.7.1. FIRST_MACRO.....	33
3.4.7.2. LAST_MACRO.....	33
3.4.7.3. LINETYPE.....	33
3.4.7.4. STOPPING_MACRO.....	34
3.4.8. Asociaciones para el dibujo.....	34

3.4.9. Conversión del archivo DXF.....	35
3.5. Mesa de coordenadas XYZ.....	36
3.5.1. Características del bastidor.....	36
3.5.2. Construcción del eje X.....	37
3.5.3. Construcción del eje Y y Z.....	38
3.5.4. Precisión del sistema.....	39
3.5.5. Estructura mecánica completa.....	40
4. Pruebas y resultados.....	42
4.1. Pruebas.....	42
4.2. Resultados.....	43
5. Conclusiones y trabajos futuros.....	49
Bibliografía.....	51

## Índice de figuras

Figura 1. LPKF S42.....	1
Figura 2. Desplazamientos del CNC.....	5
Figura 3. Placa monocapa.....	8
Figura 4. Placa bicapa.....	9
Figura 5. DMC Terminal.....	11
Figura 6. Línea de comandos del software DMC Terminal.....	12
Figura 7. CadToDMC, software para convertir un archivo DXF a DMC.....	13
Figura 8. Conjunto de comandos que utiliza la tarjeta de control.....	14
Figura 9. Módulo de interconexión ICM 2900.....	18
Figura 10. Amplificador MSA-12-80.....	18
Figura 11. Motor N23_53_1000.....	19
Figura 12. Diagrama de flujo para la fabricación de placas.....	21
Figura 13. Diagrama a bloques del proceso de fabricación.....	22
Figura 14. Sistema general del prototipo electromecánico.....	23
Figura 15. Diagrama a bloques para generar el dibujo de circuito impreso.....	24
Figura 16. Componentes de Galil.....	26
Figura 17. Intérprete de comandos para la tarjeta DMC 1842.....	27
Figura 18. Conversión de un archivo DXF a tipo de archivo DMC.....	28
Figura 19. Ejemplo con las características en los dibujos DXF.....	29
Figura 20. Circuito eléctrico RC realizado en Orcad.....	30
Figura 21. Circuito impreso generado por Orcad.....	30
Figura 22. Circuito impreso generado por Orcad y guardado como tipo DXF.....	30
Figura 23. Circuito impreso de la figura 24, editado por el A9cad.....	32
Figura 24. Abriendo desde el CadToDMC un archivo DXF.....	35
Figura 25. Bastidor del sistema mecánico.....	36
Figura 26. Canal en donde se desplazará el eje X.....	37
Figura 27. Canales para el eje X soldados en el bastidor.....	37
Figura 28. Chumacera y espárrago.....	38
Figura 29. Base del Motor.....	38
Figura 30. Eje XYZ.....	39
Figura 31. Servomotor N23-53-1000.....	39
Figura 32. Herramienta que sujetará el plumón.....	39

Figura 33. Sistema mecánico completo.....	41
Figura 34. Sistema mecánico con los 6 interruptores en los ejes XYZ.....	41
Figura 35. Diagrama de flujo para pintar una placa de cobre.....	42
Figura 36. Diseño en serie RC.....	43
Figura 37. Circuito impreso del circuito RC.....	43
Figura 38. Circuito impreso editado por A9cad.....	44
Figura 39. El programa CadToDMC generó el archivo DMC.....	44
Figura 40. Configuración inicial del sistema electromecánico.....	45
Figura 41. Circuito impreso del circuito RC dibujado por el sistema electromecánico.....	45
Figura 42. Diseño electrónico de una fuente DC.....	46
Figura 43. Circuito impreso de la fuente DC.....	46
Figura 44. Circuito impreso modificado por A9cad.....	47
Figura 45. CadToDMC generando el archivo DMC.....	47
Figura 46. Circuito impreso sobre la placa de cobre.....	48

## Índice de tablas

Tabla 1. Sistema LPKF S42.....	2
Tabla 2. Sistema de código G para la fresadora Dyna 4M.....	6
Tabla 3. Identificación de los cables del servomotor N23-53-1000.....	19
Tabla 4. Conexión de los cables del servomotor al decodificador ICM-2900.....	27

## Resumen

Este trabajo plantea la construcción de un sistema semiautomático que traslada el dibujo de las pistas de un circuito impreso generado por Orcad y Layout v9.2, a una placa de cobre. El prototipo electromecánico consta de dos partes principales: la de control y la mecánica (máquina herramienta).

La parte de control está compuesta por diferentes subsistemas como el de control, de interfaz, de potencia, programas CAD (Orcad-Layout v9.2 y A9CAD), que relacionados entre si forman el sistema electrónico del prototipo electromecánico.

La parte mecánica consiste en una mesa construida de metal-aluminio con tres grados de libertad XYZ, cuenta con interruptores de paro de emergencia en los extremos de los ejes y que delimitan el área máxima de dibujo.

Los dibujos de circuitos impresos se modifican para cumplir con ciertas especificaciones técnicas y una vez que los dibujos son validados, son interpretados por el sistema electromecánico para ser trazados en la placa de cobre.

De esta manera el prototipo electromecánico tiene como objetivo principal ser una herramienta en el dibujo de los circuitos impresos. Los resultados obtenidos en este proyecto fueron satisfactorios y surgen nuevas ideas para continuar con el mejoramiento del mismo, cabe mencionar que los sistemas actuales para el dibujo de circuitos impresos son muy costosos y este proyecto es un hito para desarrollar una herramienta con mejores resultados y aplicarlos a la enseñanza e investigación de la universidad.

## **Abstract**

This thesis describes the building of a semi automatic system which prints a diagram of a circuit board, which was previously generated in Orcad and layout v9.2, to a copper sheet. The electromechanical prototype has two main parts: control and mechanical.

The control part is built with different subsystems such as interface, power and programs such as CAD, which are related to one another and make up the electrical system of an electromechanical prototype.

The mechanical parts are built with a table made of aluminium in three axes XYZ and has a switch in each extremity and these delimit the drawings area.

The printed circuit boards are modified to comply with technical specifications, once the diagrams are validated they are decoded by the electromechanical system and then they are drawn on the copper sheet.

The goal of this electromechanical prototype is to be a tool for drawing circuit boards. The results derived from the research are acceptable and at the same time new ideas arise to improve this prototype.

## Introducción

La alta tecnología está siendo demandada por las industrias para su desarrollo, crecimiento y fortalecimiento y en cuanto a la fabricación de placas de circuitos impresos PCB's (*printed circuit board*) no es la excepción. Un circuito impreso o placa de circuito impreso, es una base para sostener un circuito electrónico, la cual esta formada por un aislante y pistas conductoras las cuales forman el sistema de conexiones entre los dispositivos electrónicos.

La fabricación de placas de circuitos impresos es muy importante para las industrias ya que influye en la competitividad de éstas, en cuanto más rápido y bien hechas es mejor, también en la calidad, portabilidad y duración que puedan tener los dispositivos electrónicos. Y no sólo para la industria son de gran importancia también lo son para proyectos académicos, como concursos, exámenes finales, prototipos, etc.

Las estadísticas de producción que tienen las empresas fabricantes de PCB's, es difícil conocerlas, sin embargo existen diferentes equipos electrónicos en los que podemos encontrar una placa de circuito impreso, equipos como; celulares, palm's, laptops, teclados, equipos de audio y muchos más. Tal es el caso de equipos Marshall fabricantes de amplificadores para guitarras eléctricas, que vende 11,000 amplificadores por semana en países como Inglaterra, India, Corea, China y Vietnam [3]. Otra empresa es Solter Solder que se creó en el año de 1989 dedicada a la fabricación de equipos electrónicos para soldadura en acero inoxidable y aluminio, la cual facturó en el año 2003, 6 millones de euros [11], con esta cifra se nota la importancia que tiene la fabricación de los circuitos impresos, pues estos una vez terminados son ensamblados con otros componentes para formar un equipo electrónico, el cual ya esta listo para salir al mercado.

Debido a la importancia que tienen las placas de circuito impreso es necesario mencionar la elaboración de éstas: inicialmente se tiene que hacer el diseño de las pistas, que puede ser de forma manual o por software. En la forma manual se analizan todas las conexiones de cada dispositivo y por medio de una regla o a mano, se trazan las pistas. Por software, se crea el esquema eléctrico del circuito y después se obtiene un dibujo en un plano que contempla la colocación y posición de los componentes, así como los puntos de interconexión, contactos, entradas y salidas del circuito.

## Introducción

Una vez que se han diseñado las pistas y la forma en la que quedarían, se procede a trasladar el dibujo a la placa. En la universidad la forma más utilizada para trasladar el dibujo a la placa, es mediante el calcado del impreso original hacia la placa. En este proceso se realiza el diseño del dibujo de las pistas, que comúnmente se le llama *layout* (dibujo de circuito impreso), regularmente los alumnos manejan el Orcad para realizarlo. Una vez que se obtiene este dibujo se imprime en una hoja blanca papel bond para fotografía o PNP blue, cualquiera que sea la elección se hace en una impresora láser, si no se cuenta con ésta, se imprime y se obtiene una copia en una fotocopidora, después sobre una de las caras de la placa de cobre se coloca el esquemático, a esta colocación se le debe mantener fijo por medio de un adhesivo temporal o algunas pinzas, mientras se le incide calor con una plancha hasta que el dibujo queda marcado sobre la placa, de esta manera es como el alumno concluye la transferencia de su dibujo sobre la placa.

Ahora se describen las principales características de una placa de circuito impreso:

- Asegurar los componentes para su fácil manipulación.
- Colocación estructurada de los dispositivos.
- Mejora la identificación de los componentes por los usuarios [13].

El proceso para obtener un circuito impreso, considerando que se ha perforado la placa, además de soldar los componentes, requiere de al menos cuatro horas-hombre. Con este trabajo se pretende hacer menos tediosa y lenta, la fabricación de circuitos impresos.

Otra forma de realizar el PCB es utilizando máquinas por control numérico, sin embargo presenta ventajas y desventajas. La ventaja principal de este método es que ya no se necesita imprimir un modelo para después ser transferido a la placa de cobre, pues el fresado lo hace directamente sobre la placa, tomando la información del archivo obtenido por el software para hacer circuitos impresos; además también presenta ahorro de tiempo y precisión en los trazos, el sistema es automático. La desventaja principal consiste en los precios elevados y que por esta razón no sea posible su adquisición.

## Planteamiento y objetivo de la tesis

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar y construir un sistema que automatice el traslado del dibujo de las pistas del circuito impreso a la placa de cobre. El sistema está formado por dos partes principales; una mecánica y otra electrónica.

Para cumplir con el objetivo principal se plantean los siguientes objetivos secundarios:

- Construir una mesa con tres grados de libertad, XYZ.
- Conectar y probar la conexión de los dispositivos de control de la compañía de *Galil Motion Control*, según los manuales de operación indicados por esta compañía.
- Adaptar tres motores y sus respectivos interruptores de paro, al sistema mecánico.
- Realizar pruebas con diferentes programas de dibujo para obtener archivos DXF adecuados.
- Probar por completo el sistema electromecánico para dibujar el circuito impreso de una cara sobre la placa de cobre.

## Estructura de la Tesis

Este documento de tesis está estructurado en cinco capítulos y la bibliografía consultada para la realización del sistema.

El capítulo uno describe el estado del arte de los sistemas CAD/CAM aplicados a la ingeniería electrónica para la fabricación de circuitos impresos.

Los fundamentos que se estudiarán para el desarrollo de la tesis, así como también el conjunto de comandos de la tarjeta de control DMC 1842 y demás dispositivos de Galil Motion Control, se encuentran en el capítulo dos.

El proceso general para la fabricación de un circuito impreso, la implementación del sistema electrónico, mecánico y las características de un archivo DXF para que sea pintado sobre la placa de cobre se presentará en el capítulo tres.

Las pruebas y resultados obtenidos, se muestran en el capítulo cuatro.

El capítulo cinco describe las conclusiones obtenidas, las recomendaciones para el uso del

## *Introducción*

sistema y los trabajos a futuro.

Por último se presenta las referencias bibliográficas consultadas para el desarrollo de esta tesis.

Prototipo electromecánico para dibujar circuitos impresos sobre una placa de cobre

# 1. Estado del arte

Con la introducción de nuevos sistemas como el control numérico por computadora se han ido formando grandes compañías dedicadas al diseño, fabricación y venta de equipos para la elaboración de PCB's. LPKF LASER & ELECTRONICS y ORBOTECH BE SURE son algunas de estas empresas que manejan alta tecnología con la finalidad de hacer equipos capaces de producir PCB's en minutos.

La alta tecnología que manejan como por ejemplo la verificación de errores en las placas por medio de procesamiento de imágenes, aun no llega al límite. De tal manera que la electrónica juega un papel muy importante en estos avances tecnológicos no en la forma de descubrir nuevas tecnologías sino en la innovación de estos sistemas, haciéndolos más productivos. Como ejemplo de esto se describe el sistema LPKF ProtoMat® S42:

Este sistema proporciona precisión en el dibujo de las pistas, se puede tener 0.1mm de grosor de la pista y 90 huecos por minuto. Elimina retardos, comparado con el trabajo manual en los laboratorios y altos costos de producción, reduciendo el tiempo de desarrollo de la placa. El equipo ProtoMat S42 está cuidadosamente calibrado de tal manera que este equipo puede trazar y perforar cualquier tipo de PCB que incluya pistas delgadas. El protoMat S42 es de fácil operación pues no se requiere de una compresora de aire u otros productos solo una interfaz RS-232 y cualquier computadora compatible con Windows. La figura 1 muestra el sistema LPKF S42 y la tabla 1 las características del sistema LPKF S42 [10]



*Figura 1. LPKF S42.*

Tabla 1. Características del sistema LPKF S42

Datos Técnicos LPKF ProtoMat S42	
Ancho mínimo de Pista	0.1mm
Ancho mínimo de aislamiento	0.2mm
Diámetro mínimo de perforación	0.3mm
Área de trabajo	229mm x 305mm
Resolución	7.5 $\mu$ m
Velocidad de trazado del motor (rpm)	42, 000
Cambio de herramientas	Manual
Velocidad de perforación (huecos por minuto)	90
Velocidad de desplazamiento (máxima distancia por segundo)	50mm
Sistema de posicionamiento X/Y	motores de paso
Manejador de Z	Solenoide
Dimensiones	580mm x 480mm x 620mm
Peso	43Kg
Fuente de alimentación	120/240V, 50-60 Hz/200VA
Especificaciones de hardware y software	Microsoft windows 2000 o superior.

Sin embargo los equipos de control numérico requieren de un gasto inicial muy costoso que sólo empresas consolidadas o bien, que se dedican a la construcción y maquinado de dispositivos, pueden adquirir. En cuanto a las universidades pocas pueden adquirir estos equipos.

Actualmente la universidad tecnológica de la mixteca cuenta con equipos de control numérico sin embargo existen diferentes factores por los cuales éstos no son ocupados para la fabricación de circuitos impresos, estos factores son los siguientes:

1. El tiempo: factor importante y que no se cuenta con lo suficiente para poder abarcar nuevos temas para la fabricación de circuitos impresos.
2. Los planes de estudio sólo se enfocan a materias teóricas por lo que no permite abarcar nuevas materias que involucren el diseño en sistemas de control numérico, muchas universidades cuentan con equipos de este calibre sin embargo alumnos y profesores no se dan el tiempo para poder investigar en que consisten o en el caso de los profesores de enseñar a ocupar estos equipos.
3. La falta de compañerismos entre los estudiantes y profesores, debido a que los equipos de control numérico con los que cuenta la universidad pertenecen a la licenciatura en

ingeniería en diseño, esto provoca exclusividades para el uso de éstos.

Todo esto mencionado es una manera de justificar la investigación de este proyecto de tesis. Pues comparado con sistemas que existen en el mercado aún nos queda mucho por desarrollar e implementar, sin embargo es un paso para poder introducir a los alumnos a que implemente nuevas ideas a este sistema, paso para entender el funcionamiento de los sistemas reales en el mercado.

También este prototipo puede despertar inquietudes sobre el uso de los sistemas de control numérico que existen dentro de la universidad, de esta manera se pueden acercar a estos equipos y desarrollar sus proyectos escolares.

Las aportaciones mas importantes en este trabajo de tesis son:

1. La construcción del prototipo con dispositivos adquiridos a la compañía galil.
2. Realizar una serie de pasos a seguir para dibujar un circuito impreso con el prototipo creado en este trabajo de tesis.
3. Dejar el sistema en la universidad para alumnos interesados para la innovación de este prototipo, y llegar a buscar una patente.

En el siguiente capítulo se describirán algunos conceptos teóricos que debemos tomar en cuenta y que se tuvieron que estudiar para llevar a cabo este proyecto de tesis. Circuito impreso, equipos CNC, dispositivos de *Galil Motion Control* y mesa de coordenadas XYZ son las nociones que se mencionarán a detalle para poder partir posteriormente con la implementación del sistema en el capítulo tres.

## 2. Fundamentos Teóricos para el desarrollo del sistema

En este capítulo se mencionan las nociones teóricas, las cuales son empleadas durante el desarrollo de este trabajo de tesis.

### 2.1. Control numérico por computadora

Un sistema de control numérico (NC) es aquel en el cual las instrucciones para realizar un trabajo (fresado, taladrado, etc) se codifican con caracteres alfanuméricos y éste interpreta estos códigos en forma automática y precisa. La información necesaria para la realización de un trabajo se genera desde un programa CAD [14].

Con equipos de control numérico se automatizan tareas como: el torneado, fresado, taladrado, esmerilado, doblado, etc.

Los elementos que conforman principalmente el control numérico por computadora son:

- Entrada NC: Las instrucciones a un sistema NC para realizar un trabajo, las cuales constan de una serie de códigos o números en un programa. Estos programas contienen las trayectorias de cada uno de los ejes en el sistema mecánico.
- Control numérico: Realiza ciertas funciones para convertir las instrucciones o números en señales eléctricas y así generar las acciones requeridas [1].

Algunas características de estos sistemas son:

1. Dispone de una posición fija denominado punto de referencia:
2. Tienen desplazamientos de la herramienta a lo largo de una línea recta:
  - a) En línea recta.
  - b) Desplazamiento mecánico cónico.
  - c) Desplazamiento en forma de arco. Estos desplazamientos se muestran en la figura 2.

2. Fundamentos teóricos para el desarrollo del sistema

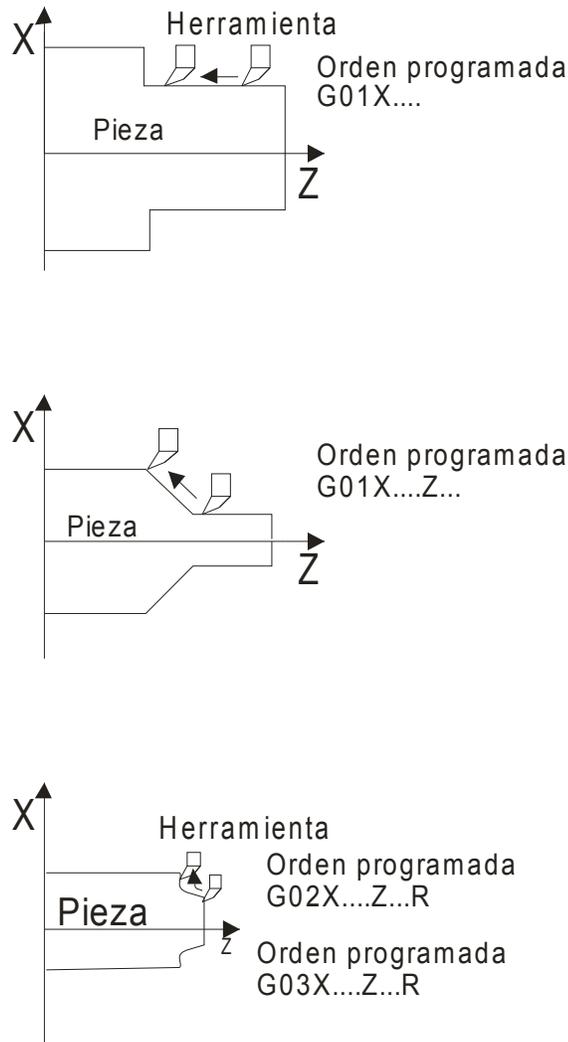


Figura 2. Desplazamientos del CNC.

3. Avance: es el desplazamiento de la herramienta a una velocidad específica para cortar o mecanizar una pieza. Por ejemplo para el sistema de control numérico Dyna 4M, para que la herramienta avance a una velocidad de 150mm/min se especifica lo siguiente: F2.0
4. Plano de la pieza y desplazamiento de la herramienta.
5. Velocidad en mecanizado que es la velocidad de la herramienta respecto a la pieza

cuando esta se está mecanizando.

6. Selección de la herramienta empleada para distintas operaciones de mecanizado.
7. Orden para operaciones.
8. Configurar el programa.
9. Márgenes de desplazamiento de la herramienta.

Otra característica más de los equipos CNC es el uso de códigos G. Éstos se subdividen en dos tipos: el código G simple y el G modal.

El código G simple sólo tiene efecto en el bloque en el que se está especificando y el G modal tiene efecto hasta que se especifique otro código G del mismo grupo. Ejemplo:

G01 y G00 son códigos G modales del grupo 01.

G01X -----;

Z -----;

X -----;

G00Z -----;

A continuación la tabla 2 muestra algunos códigos G y sus funciones [2]

Tabla 2. Sistema de código G para la fresadora Dyna 4M.

Sistema de código G	Función
G00	Posicionamiento (avance rápido)
G01	Interpolación lineal
G02	Interpolación circular horaria
G03	Interpolación circular antihoraria
G04	Temporización
G10	Introducción datos
G17	Selección plano XpYp
G18	Selección plano ZpZp
G19	Selección plano YpYp
G20	Entrada de datos en pulgada
G21	Entrada de datos en valores métricos
G22	Función límite de recorrido Activada

G23	Función límite de recorrido Desactivada
G27	Comprobación vuelta al punto de referencia
G28	Vuelta al punto de referencia
G31	Mecanizado intermitente
G32	Tallado de rosca
G34	Tallado de rosca de paso variable
G50	Fijación sistema de coordenadas
G65	Llamado de macro
G98	Avance por minuto
G99	Avance por revolución

El código G puede introducirse manualmente a los equipos CNC o se pueden generar archivos que se realizan por un software especializado como por ejemplo: Autocad, Corel draw, Orcad, VisiCad, etc., estos programas permiten crear diseños no sólo para aplicaciones de ingeniería mecánica, también para diseñar circuitos impresos. Los archivos generados contiene un formato especial que puede ser interpretados por el CNC y que contienen los datos más importantes del diseño como es la inicialización, las coordenadas, la escala, y la finalización, por mencionar algunos parámetros importantes.

### 2.1.1 Ventajas y desventajas

Las ventajas de utilizar el control numérico son:

- Mayor precisión y calidad en los diseños.
- Mayor uniformidad en los diseños.
- Flexibilidad para realizar cambios en el diseño.
- Es posible simular algunos procesos de manufactura.
- Reducción de mano de obra.
- Menor espacio ocupado.
- Reducción de la duración del ciclo operacional.

Entre las desventajas se pueden citar las siguientes:

- Alta inversión inicial.
- Costo de mantenimiento [14].

A continuación se definen algunos términos relacionados con un circuito impreso, ya que el objetivo de este documento de tesis será crear el dibujo de éste sobre la placa de cobre.

## 2.2 Circuito Impreso

Es un soporte para un circuito electrónico. Consta de un material base, aislante, sobre el que se disponen pistas conductoras, generalmente de cobre, que permiten la interconexión eléctrica entre los distintos componentes.

El PCB (en inglés: *Printed Circuit Board*) consta de dos caras; en una de ellas la llamada cara de componentes (*component side*), se colocan los elementos mediante la inserción de sus terminales en agujeros pasantes, llamados huecos o *drill*; la otra cara llamada cara de soldadura (*solder side*), incorpora las pistas de cobre (*track*) que unen las distintas terminales de los dispositivos y se soldan éstas a la pista de cobre. Cuando existe soldadura sólo en una cara son llamadas monocapa y cuando existe soldadura en ambas caras son conocidas como bicapa. Este proyecto de tesis se realizó para placas de una sola capa. La figura 3 muestra los elementos que forman una placa monocapa.

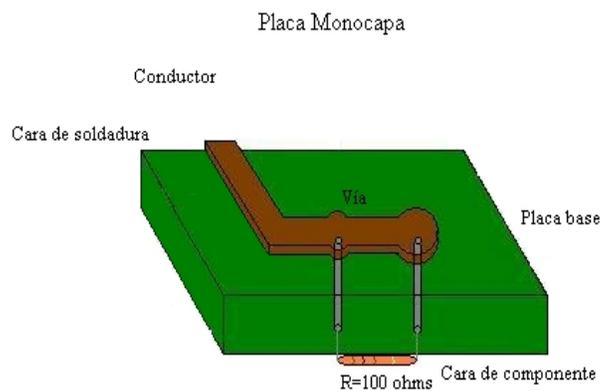


Figura 3. Placa monocapa.

En algunas situaciones es necesario emplear pistas tanto en la cara del componente como

en la de soldadura. En este caso los agujeros pasantes deben ser metalizados, es decir recubiertos de un material conductor para permitir la unión eléctrica entre las pistas de la cara de soldadura y la de componentes como se muestra en la figura 4.

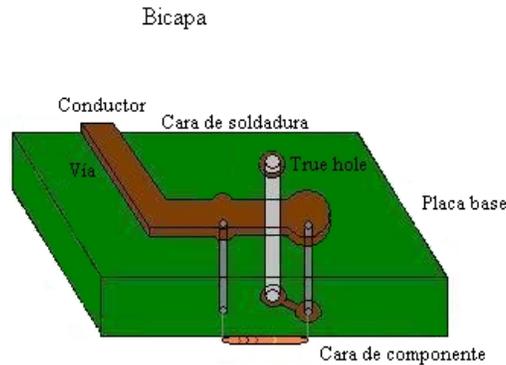


Figura 4. Placa bicapa.

Con la incorporación de la tecnología de montaje superficial (SMT: *superficial Mount Technology*) la colocación de componentes no solo se hace por la cara de componentes, también por la cara de soldadura, aumentando así el número de componentes sobre la placa.

Conforme aumenta el número de componentes a colocar, también aumenta el número de pistas a realizar, siendo insuficientes las dos caras de la placa. Para evitar aumentar el área de la placa se desarrolla la tecnología multicapa en la cual se generan partes de caras de placas que se van superponiendo en forma de “sandwich” y que se conectan mediante vías [12].

Una vez que se tienen en cuenta los elementos que conforman una placa de circuito impreso, en el siguiente tema se explicarán los elementos que forman el equipo de Galil y que son de gran importancia para el desarrollo de esta tesis.

### 2.3 Equipo de Galil Motion Control

Como se mencionó en el punto anterior el equipo de Galil es de gran importancia en este proyecto, éste formará la parte electrónica del sistema, es por eso que en este apartado se

explicarán las características de cada uno de los elementos que conforman este equipo como: Tarjeta de control DMC 1842, Decodificador ICM 2900, Amplificadores MSA 12-80, Servomotor N23-53-1000 y una fuente de alimentación de 80V de DC.

A continuación se explicarán brevemente cada uno de los elementos que conforman el sistema en general, se empezará con la tarjeta de control DMC 1842 seguido del decodificador ICM 2900, los amplificadores MSA-12-80 y los motores N23-53-1000.

### **2.3.1 Tarjeta de Control DMC 1842**

Es una tarjeta para el control de cuatro ejes, es decir para controlar cuatro motores de tipo servo o motores a pasos y se instala en el puerto PCI de la computadora, se puede controlar la velocidad, aceleración y desaceleración de los motores por medio de un controlador PID; tiene una memoria no volátil para programas que realice el usuario, en los cuales se pueden construir arreglos y tiene la capacidad de ejecutar hasta 8 programas; además cuenta con un conjunto de 200 instrucciones entre símbolos y constantes que son propios del controlador. Existen programas especializados para el uso de esta tarjeta, el *DMC Terminal*, permite enviar comandos desde una terminal (shell); el *CadToDMC* es un programa de conversión de archivos, con extensión DXF a DMC y el *Servo Design kit* permite probar diferentes parámetros del controlador [4].

#### **2.3.1.1 Tipo de archivos para la tarjeta de control DMC 1842**

Los archivos DXF son generados por herramientas de cómputo para dibujo (CAD), como: Autocad, Orcad, CorelDraw, A9cad, etc. La extensión DXF, que significa “**D**rawing **E**xchange **F**ormat” (Formato de intercambio de dibujo), es un estándar que permite el intercambio de archivos de dibujos entre diferentes programas.

Los archivos con extensión DMC contienen líneas de comandos que la tarjeta de control DMC 1842 puede interpretar [5].

### 2.3.1.2. DMC Terminal

Es el programa principal que interpreta los comandos del repertorio de instrucciones de la tarjeta de control, por medio de éste se activa o desactiva la tarjeta. En la figura 5 se muestra la interfaz de usuario para seleccionar la tarjeta de control a emplear.

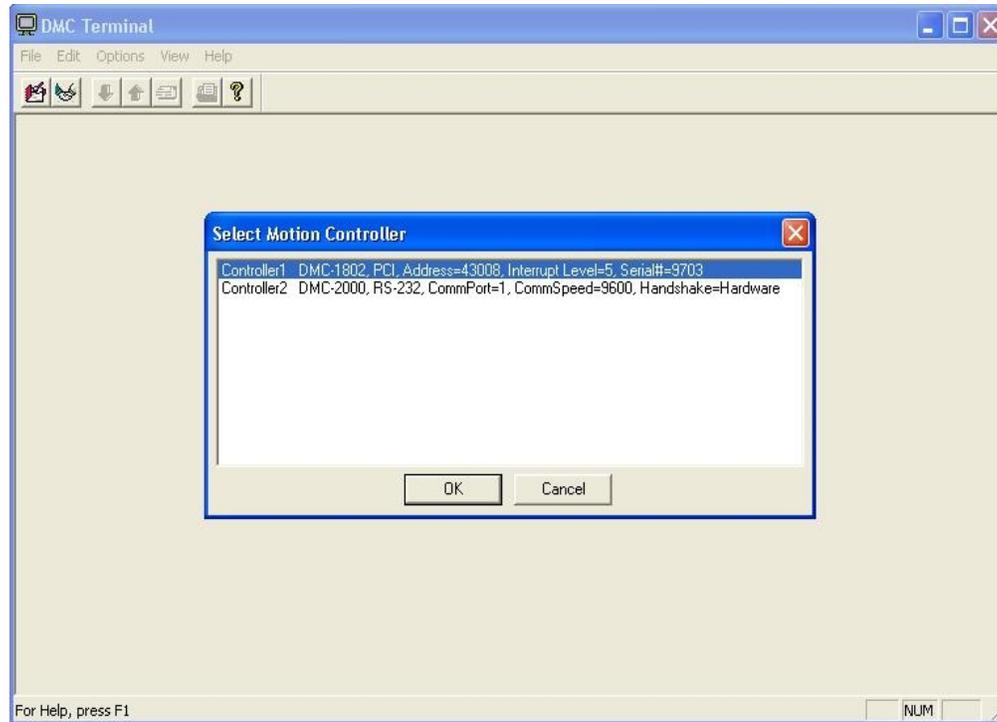


Figura 5. DMC Terminal.

Como puede observarse en la figura 6, existe una línea para introducir los comandos y en la parte final de ésta se encuentra la opción de enviar. Otra característica importante de este programa es que se pueden descargar programas hechos *a priori* en un editor de texto, para su posterior ejecución.

Seleccionando del menú principal la opción *edit*, es posible crear y modificar los archivos. Sin embargo, se pueden crearlos con cualquier editor.

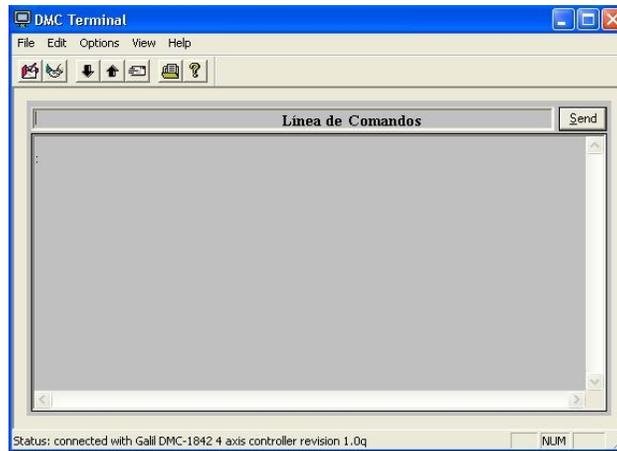


Figura 6. Línea de comandos del software DMC Terminal.

### 2.3.1.3 CadToDMC

CadToDMC es un programa especializado para la conversión de archivos DXF a DMC. Éste genera un archivo con extensión DMC, el cual se envía mediante la terminal (shell) a la tarjeta de control la cual interpreta las instrucciones para que el sistema mecánico realice los movimientos correspondientes. La figura 7 muestra la ventana del programa y adjunta a ésta se muestra el archivo DMC que se genera al abrir un archivo con extensión DXF, esta figura es el ejemplo de un dibujo que es una “E” y que se incluye en la instalación.

De los comandos mostrados en el archivo DMC se explica como sigue:

- CS: Limpia la memoria de la tarjeta DMC 1842.
- VMXY: Establece un plano de coordenadas XY.
- REM: Es utilizado para comentarios.
- SP: Establece la velocidad para el eje X y para el eje Y
- AC: La aceleración inicial para el eje X y eje Y.
- PA: Al iniciar se posicionan los ejes X e Y en 2000 pulsos.
- BGXY: Inicia el posicionamiento establecido por PA.
- AM: Una vez que terminó el posicionamiento continua con la siguiente

instrucción.

- CR: Establece que será pintado un segmento de círculo, con radio de 8388 pulsos, inicia en el grado 93346 y solo pintará un segmento de arco de 94.91 counts.
- VE: Establece el fin de la secuencia del comando CR [5].

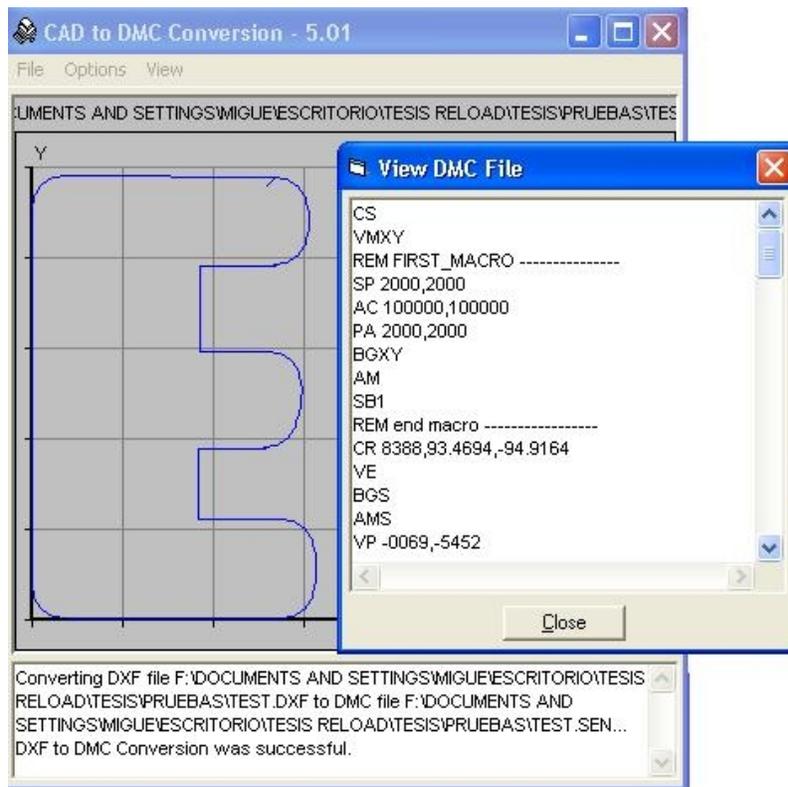


Figura 7. CadToDMC, software para convertir un archivo DXF a DMC.

#### 2.3.1.4. Conjunto de comandos

Los comandos, símbolos, constantes y operadores lógicos y matemáticos, con los que cuenta la tarjeta de control, se pueden dividir según el tipo de función que se requiera (figura 8). Por ejemplo existen comandos que sólo pueden ser usados en un programa como: los comandos

2. Fundamentos teóricos para el desarrollo del sistema

condicionales; IF, ELSE, CASE. Si no se requiere de un programa para ejecutar movimiento en los motores se usan comandos directamente sobre la terminal como por ejemplo: PR, PA, IP, BGX, SHX, etc.

<p><b>ARRAYS</b></p> <p>QU Print/Upload RA Record DA Deallocate RC Begin _DA Arrays Left _RC Recording? DM Define RD Data _DM Space Left _RD Address LA List [] Index QD Download</p>	<p><b>GEAR</b></p> <p>GA Axes GD Distance GM GantryMode _GP Phase GR Ratio</p>	<p><b>MATH</b></p> <p>Subtract * Multiply / Divide @ABS[n]  n  (/) @ACOS[n] Arccos ( ) @ASIN[n] Arcsin &amp; @ATAN[n] Arctan   @COM[n] Bit Not \$ @COS[n] Cosine &lt; @FRAC[n] Fraction &gt; @INT[n] Integer = @RND[n] Round &lt;= @SIN[n] Sine &gt;= @SQR[n] x^0.5 &lt;&gt; @TAN[n] tangent + Add - Subtract</p>	<p><b>FEEDBACK</b></p> <p>_OC first Pulse? RL Read Latch _RL Latch Position AF Analog Feedback AL Arm Latch TD Tell Dual _AL Latch occurred? TP Tell Position CE Configure TV Tell Velocity OC Output Compare</p>		
<p><b>COMMUNICATE</b></p> <p>LZ Leading Zeros CW Unsolicited bit MG Message DR Data Record PF Position Format DU Dual Port RAM QR Query record EI Axis Interrupt QZ Record info EO Echo UI User Interrupt IN User Input VF Variable Format</p>	<p><b>PROGRAM</b></p> <p>NO Comment RE Return Error REM Fast Comment BK Breakpoint RI Return Interrupt DL Download SL Single Step _DL Labels Left TB Tell Status Byte ED Edit TR Debug Trace ELSE If else UL Upload EN End _UL Variables Left ENDIF if endif XQ Execute HX Halt Thread _XQ Current Line # IF Conditional ZS Zero stack JP For/while Loop _ZS Stack Level JS Jump Subroutine #Auto; EN LL List Label ; Command Delimiter LS List # Sobroutine LV List Variable</p>	<p><b>I/O</b></p> <p>CO Extended I/O II Input Interrupt @AN[x] Analog In OB Output bit @IN[x] Digital In OP Output Port @OUT[x] Digital Out SB Set Dig. Out AI Wait For In TI Tell Input Byte CB Clear Dig Out TS Tell Switches CN Configure #ININT;R11</p>	<p><b>CONTROL</b></p> <p>NZ Notch Zero OF Offset PL Low Pass DV Dual Loop SH Servo Here FA Accel Feedfwd TE Tell Error FV Speed Feedfwd TK Peak Torque IL Integrator Limit TL Torque Limit KD Derivative Gain TM Sample Time KI Integrak Gain TT Tell Torque KP Proportional Gain MO Motor Off _MO Motor Off? NB Notch Width NF Notch Frequency</p>	<p><b>VECTOR</b></p> <p>TN Tangent Scale _TN 1st Position AV WaitArc Leght VA Acceleration _AVS Arc Leght VD Deceleration CA 2nd Vector VE VectorEnd CR Circle VM VectorAxes CS Clear sequence _VM Velocity _CS Segment VP Vector Point ES Elliptical Scale _VP Last Point LE Linear End VR VS Multiplier _LE TotalArc Leght VS Speed LI Linear Point VT S Curve LM Linear axes _LM Buffer Space</p>	<p><b>STEPPER</b></p> <p>KS Smoothing LC Low Current MT MotorType QS Query Error YA D r i v e Pulses/Step YB Motor Steps YC Encoder cts/rev YR Correction</p>
<p><b>HOME</b></p> <p>DE Define Dual DP Define Position FE Find Home Only FI Find index Only HM Home _HM Home Input</p>	<p><b>MOTION</b></p> <p>PA Last Target AC Acceleration PR Position Relative BG Begin _PR Relative Target _BG Motion? PT Position Tracking DC Deceleration RP Desired Position IP Increment Position SP Speed IT S Curve ST Stop JG Jog ~A Axis Variable PA Position Absolute</p>				

Figura 8. Conjunto de comandos que utiliza la tarjeta de control.

De los comandos mostrados en la figura 8, los más utilizados en este proyecto de tesis son

los destinados al uso de Movimiento (AC, BG, DC, IP, PA, PR, PT, SP), Control (MO, SH), comunicación (MG), I/O (CN) y Posición inicial (*Home*) (DP, HM). La descripción de cada comando se menciona a continuación:

**AC:** Es el comando que establece la aceleración a los motores de forma independiente. Las unidades de este comando son pulsos por segundo al cuadrado. La forma de usar este comando es la siguiente:

*AC 15000,1000,1000,1000* ;establece la aceleración en el eje X, en el eje Y y en el eje Z.

Este comando se puede establecer mientras los motores están en movimiento, mediante un programa o bien sobre la línea de comandos *DMC Terminal*.

➤**BG:** es el comando para iniciar el movimiento de los motores. El argumento para utilizarlo es la siguiente:

*BGXYZ ó BG YZ* ;Inicia el movimiento para los ejes indicados.  
Se puede ejecutar mientras los ejes estén en movimiento, en un programa y en la línea de comandos.

➤**CN:** es el comando para configurar la polaridad de los interruptores en normalmente abierto o cerrado. Su sintaxis es la siguiente:

*CN 1* ;los interruptores son activados en normalmente cerrado.

Este comando se ejecuta antes de enviar un archivo DXF a la tarjeta DMC o antes de cualquier movimiento de los motores.

➤**DC:** Comando para establecer el frenado o desaceleración de los motores de manera independiente. La sintaxis para ejecutar el comando es la siguiente:

*DC 10000,1000* ; Indica que el eje X tendrá una desaceleración de 10000 pulsos por segundo y que el eje Y tendrá una desaceleración de 1000 pulsos por segundo.

Este comando puede ser utilizado mientras exista movimiento en los ejes o en un programa y en la línea de comandos.

**PR:** Indica a los motores la siguiente posición a la que deberán moverse. La forma para ejecutar el comando es:

*PR 1000,1000,1000* ; Moverá los motores X, Y y Z 1000 puntos a partir de la posición en la que se encuentran.

*BGXYZ* ; inicia el movimiento de posicionamiento indicado por *PR*.

Este comando no puede ejecutarse mientras los motores estén en movimiento, se puede utilizar dentro de un programa y utilizarlo sobre la línea de comandos.

➤**IP:** Comando parecido al comando *PR*, con la diferencia que este no necesita del comando *BG* para iniciar el cambio de posición. Su sintaxis es la siguiente:

*IP 100, 1000* ;Cambia la posición de el eje X, y el eje Y.

Puede utilizarse mientras los motores estén en movimiento, en un programa y sobre la línea de comandos.

➤**DP:** Comando que se ejecuta para definir una posición inicial o establecer un punto de referencia. La sintaxis es la siguiente:

*DP 0,0,0* ; Define la posición 0 (posición inicial) para los ejes X, Y y Z.

Este comando debe ejecutarse antes de cualquier movimiento de los servomotores, para que puedan regresar a la posición inicial una vez que hayan ejecutado el movimiento indicado *a priori*.

➤**PA:** Una vez que se definió la posición se puede utilizar este comando, debido a que los movimientos indicados a los motores es con respecto a la posición definida. Su sintaxis es:

*PA 5000*  
*BGX* ; Inicia el movimiento del X para establecerse en la posición 5000.

**SP:** Establece la velocidad de los ejes de manera independiente. No se puede establecer un valor negativo para este comando, las unidades especificadas están dadas por cuentas o puntos por segundo, su sintaxis tiene la forma:

*SP 5000, 3000, 1000* ;Especifica la velocidad del eje X, el eje Y y el eje Z.

Este comando puede ser ejecutado mientras los motores estén en movimiento para establecer un cambio de velocidad, en un programa y en la línea de comandos, *DMC Terminal*.

➤**MO:** Apaga los amplificadores para el control de los motores. Si se requiere volver a encenderlos se realiza por el comando *SH*. La sintaxis de este comando es:

*MO* ;Apaga todos los motores

*MO XY* ;Apaga los motores X y el motor Y.

Este comando no puede ser utilizado mientras los motores estén en movimiento solo en programas o sobre la línea de comandos.

➤**SH:** Activa los servomotores. Éste puede ser utilizado solo en programas y líneas de comandos. Puede ser utilizado de la siguiente manera [6]:

*SH* ; Activa todos los motores.

*SHX* ; Activa solo el eje X.

### 2.3.2. Decodificador ICM 2900

Es un modelo fabricado por Galil motion control y puede utilizarse con la tarjeta DMC 1842. Cuenta con varias terminales para la conexión entre los dispositivos como: amplificadores, codificadores de los servomotores N23-53-1000 e interruptores de límite. Este decodificador permite un máximo de conexiones de cuatro motores. La figura 9 muestra las terminales con la que cuenta el dispositivo [7].

## 2. Fundamentos teóricos para el desarrollo del sistema

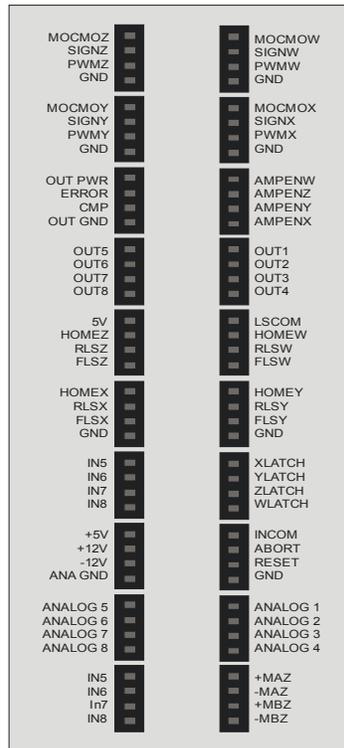


Figura 9. Módulo de interconexión ICM 2900.

### 2.3.3. Amplificador MSA 12-80

Este dispositivo mostrado en la figura 10, es la etapa de potencia del sistema de control de Galil, se encarga de suministrar la corriente necesaria a los motores y para su funcionamiento se requiere de una fuente de alimentación de 80V en DC. Las características más importantes de este dispositivo son: 200W pico y 25A pico, modulación por ancho de pulso a 36KHz, ganancia ajustable y límites de corriente y cuenta con protección de sobre-voltaje/corriente y corto circuitos [8].

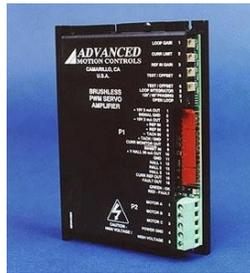


Figura 10. Amplificador MSA-12-80.

### 2.3.4. Servomotor N23-53-1000

Las características más importantes de este servomotor, mostrados en la figura 11, son: torque de 53 oz-in, temperaturas de operación entre  $-10^{\circ}$  y  $80^{\circ}\text{C}$ , 300 oz-in pico, 600 revoluciones por minuto, y 1000 pulsos de posicionamiento según su codificador, que es un dispositivo que genera pulsos con los cuales es posible conocer la posición lineal o angular en la que se encuentra el servomotor, el sentido de giro y la velocidad. La tabla 3 muestra la configuración de los cables de los canales A, B e índice (index) para que sean conectados con el dispositivo ICM 2900 [9].



Figura 11. Motor N23\_53\_1000.

Tabla 3. Identificación de los cables del motor N23-53-1000.

<b>Función</b>	<b>Color del cable</b>
5V	Rojo
GND	Negro
CHA-	Amarillo
CHA+	Blanco
CHB-	Verde
CHB+	Azul
INDEX-	Café
INDEX+	Naranja

## 2.4. Mesa de coordenadas

Para este proyecto de tesis se requiere de una mesa de coordenadas, que es una estructura metálica constituida por tres ejes: X, Y y Z. Ésta estructura permite el movimiento en cualquier posición dentro del área permitida, la cual puede ser indicada por el usuario o bien por el programa.

Las características más importantes de esta mesa son:

- Adecuarse para soportar los tres motores XYZ.
- Consta de un sistema de referencia, es decir el origen donde comenzará a realizar movimiento.
- Área máxima de dibujo.
- Área mínima de dibujo.
- Interruptores de paro de emergencia.

Una vez que se tienen claros los conceptos para realizar este proyecto de tesis en el siguiente capítulo se mencionará la implementación del prototipo electromecánico partiendo de un diagrama de flujo que muestra el proceso de fabricación de una placa de circuito impreso.

### 3. Implementación del sistema

En este capítulo se presenta la implementación del prototipo electromecánico, por lo cual es necesario recordar el objetivo principal de esta tesis que es pintar un diagrama de circuito impreso sobre una placa de cobre y para esto es necesario la realización de un diseño hecho *a priori* por medio de un programa (CAD) para la generación de diagramas de circuito impreso. La figura 12 muestra un diagrama a bloques del proceso general para la fabricación de una placa de circuito impreso.

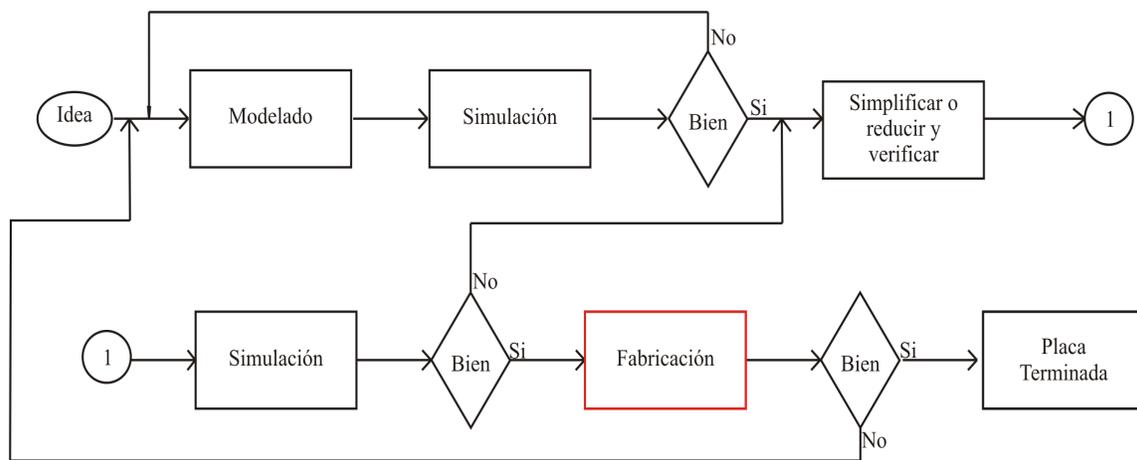


Figura 12. Diagrama de flujo para la fabricación de placas.

De la figura 12 el proceso debe iniciar con la idea, es decir el esquema eléctrico (modelado), se continúa con la simulación para la comprobación del circuito, se pueden sustituir algunos elementos electrónicos para simplificar el diagrama y así hasta llegar a la fabricación de la placa de circuito impreso. La figura anterior muestra en color rojo el cuadro de fabricación, que es un proceso que se puede dividir en dos partes: manual y automática como se muestra en la figura 13.

### 3. Implementación del sistema

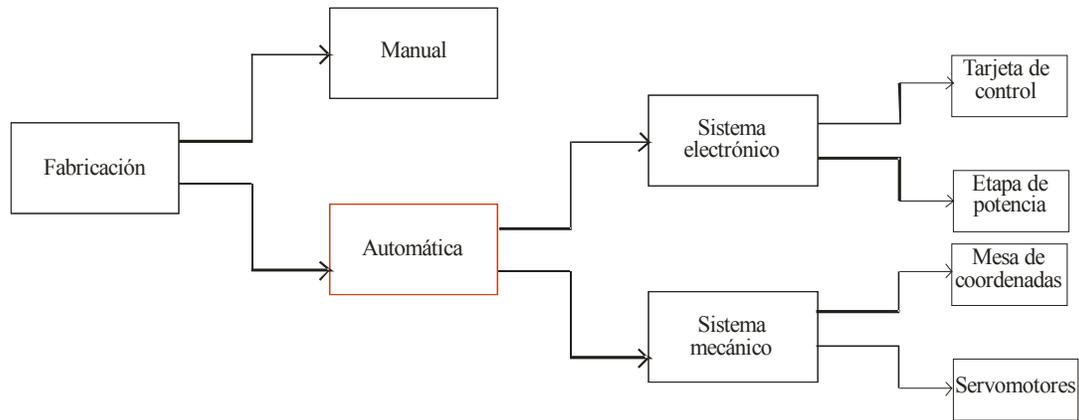


Figura 13. Diagrama a bloques del proceso de fabricación.

La fabricación manual es un proceso muy utilizado dentro de las instalaciones de la universidad por estudiantes de electrónica, mecatrónica y en ocasiones por alumnos de computación e industrial, es por eso que debido a su importancia se desea diseñar y construir un sistema electromecánico que tiene como objetivo pintar el diagrama de circuito impreso sobre una placa de cobre de manera automática, este sistema lo formarán dos partes, la electrónica y la mecánica.

#### 3.1. Sistemas electrónico y mecánico

Como se muestra en la figura 13 la tarjeta de control la formará el dispositivo DMC 1842 de *Galil motion control*, la justificación es la siguiente: Este se adquirió con la finalidad de usarlo en esta aplicación y se encuentra en los laboratorios de electrónica de esta universidad, sin embargo es posible ocupar otros dispositivos como microcontroladores, plc, etc., para este trabajo con la desventaja que el tiempo de desarrollo se incrementará notablemente.

Para la comunicación que existe entre la tarjeta de control DMC 1842 y los amplificadores se requiere un decodificador modelo ICM 2900. El fabricante del equipo

### 3. Implementación del sistema

recomienda la conexión de la figura 14, donde se puede apreciar otros elementos adquiridos como el decodificador, los amplificadores y los servomotores.

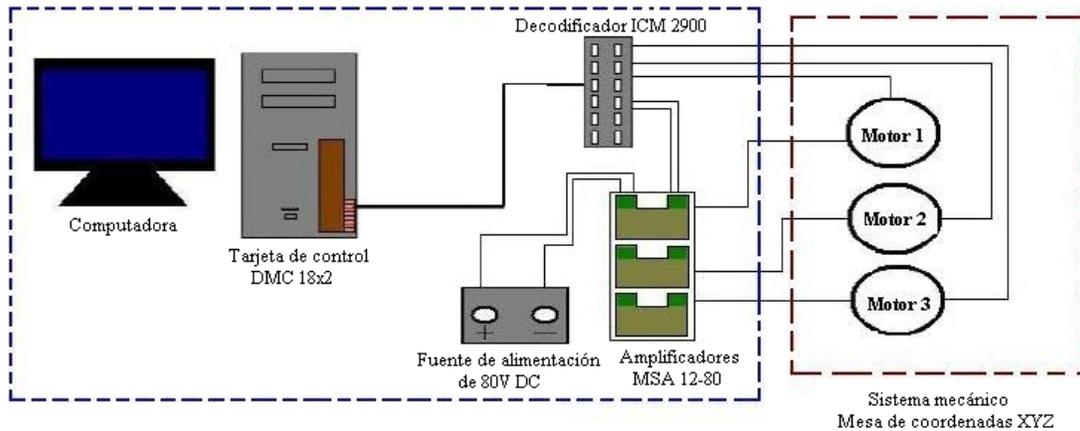


Figura 14. Sistema general del prototipo electromecánico.

La mesa de coordenadas será construida en el taller de electromecánica instalado en esta casa de estudios y bajo asesoría del responsable de esa área. El sistema mecánico se formará de distintos metales como hierro y aluminio y se montarán las bases para sostener los servomotores que corresponden a cada uno de los ejes XYZ.

Los servomotores (modelo N23-53-1000) serán adaptados a la mesa de coordenadas una vez que sea fabricada.

### 3.2. Software y formato de archivo

La obtención del diagrama de circuito impreso se logra con el *Layout* de *Orcad v9.2*, este programa se eligió debido a que es uno de los más utilizados dentro de la universidad, para obtener el esquemático del circuito electrónico y el dibujo del circuito impreso.

La generación del dibujo de circuito impreso se divide en los bloques de la figura 15 que se muestra en seguida.

### 3. Implementación del sistema

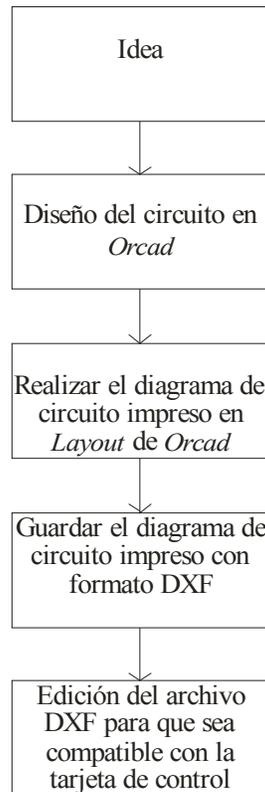


Figura 15. Diagrama a bloques para generar el dibujo de circuito impreso.

Se diseñarán los circuitos electrónicos en *Orcad v9.2* y una vez que se tienen los diseños, con la herramienta de *layout*, que se incluye en esta versión, se realiza el diagrama de circuito impreso, éste a su vez tiene que ser guardado en formato DXF, que reconoce el programa de conversión *CadToDMC*, que se adquirió junto con la tarjeta de control *DMC 1842* y que se explicará con más detalle en el capítulo 4.

Obteniendo el diagrama de circuito impreso en formato DXF, se procede a editar dicho dibujo con las indicaciones que el programa *CadToDMC* requiere y que éste sea válido para la conversión.

En el siguiente capítulo se describirá con más detalle: la implementación del sistema electrónico y mecánico; la conexión de los dispositivos de *Galil*; los programas que se compraron junto con la tarjeta de control; el tipo de formato que en que debe ser guardado el diagrama de

circuito impreso; los elementos con los cuales se construirá la mesa de coordenadas XYZ y por último la precisión del sistema es decir el error que tiene en cada uno de los ejes.

### 3.3. Solución propuesta

El proyecto se dividirá en dos partes y de la misma manera este capítulo. Como se muestra en la figura 14, el bloque encerrado por líneas punteadas a la izquierda representa la parte electrónica del sistema en general y el bloque de la derecha representa el sistema mecánico.

El sistema electrónico estará formado por dispositivos de *Galil Motion Control*: Una tarjeta de control DMC 18x2, un decodificador ICM 2900, tres amplificadores MSA 12-80, una fuente de alimentación de 80VDC y un equipo de cómputo. La parte mecánica consiste en el diseño y construcción de una mesa con tres grados de libertad en la cual se colocan tres servomotores de *Galil Motion Control* y así poder desplazarlos en cada uno de los ejes, X,Y o Z.

También se emplearán principalmente cuatro programas:

1. **Orcad**: Usado para obtener el esquemático del circuito eléctrico.
2. **Layout**: Con éste se crea el circuito impreso y permite guardarlo en formato DXF.
3. **CadToDMC**: Empleado para la transformación de archivos DXF a formato DMC.
4. **A9cad**: Utilizado para dibujo vectorial, que es de licencia libre.

A continuación se describen con más detalle los bloques de la figura 14.

### 3.4. Sistema electrónico

En la figura 16 se muestran las conexiones electrónicas a realizar en cada uno de los ejes XYZ, conectados al equipo de *galil*. Cada motor debe estar conectado a un amplificador MSA-1280 y sus respectivas conexiones al decodificador ICM 2900. Los amplificadores deben alimentarse con un voltaje de corriente directa de 80V, y por último el decodificador es conectado a la tarjeta de control DMC 1842, la cual se instala en el puerto PCI de la computadora. Las conexiones se realizan de forma similar para cada uno de los ejes, sólo se muestran las conexiones para el eje X.

### 3. Implementación del sistema

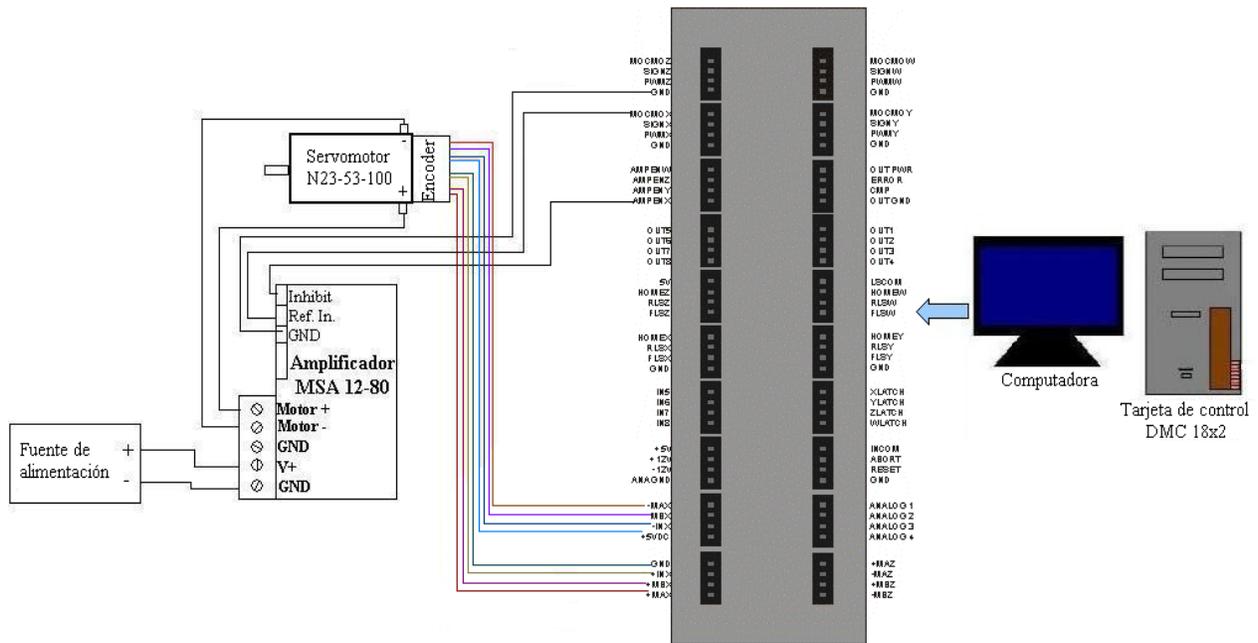


Figura 16. Componentes de Galil.

#### 3.4.1. Descripción de las conexiones

Las fuentes de 80V DC proporcionan el voltaje a los amplificadores MSA 12-80 los cuales aplican el voltaje de armadura al servomotor. El cable que conecta la terminal INHIBIT del amplificador se conecta a la terminal AMPENX del decodificador ICM 2900, el cual permite la desactivación del amplificador cuando se requiera; la terminal MOCMDX del decodificador se conecta a la entrada REF IN del amplificador MSA-1280. Los cables del codificador (*encoder*) del motor, se conectan al decodificador como se muestra en la tabla 4.

### 3. Implementación del sistema

Tabla 4. Conexión de los cables del motor al decodificador.

Función	Color del cable
5V	+5VCD
GND	GND
CHA-	Amarillo
CHA+	Blanco
CHB-	Verde
CHB+	Azul
INDEX-	Café
INDEX+	Naranja

#### 3.4.2. Terminal DMC 1842

El programa DMC es un programa en el cual el usuario introduce ordenes que son interpretadas y enviadas a la tarjeta de control. En la figura 17 se muestra la ventana donde se observa la línea para introducir comandos, según el repertorio de instrucciones de la tarjeta de control. Desde este programa también se pueden enviar archivos con extensión DMC, los cuales pueden ser creados por el usuario, o generados por el programa CadToDMC.

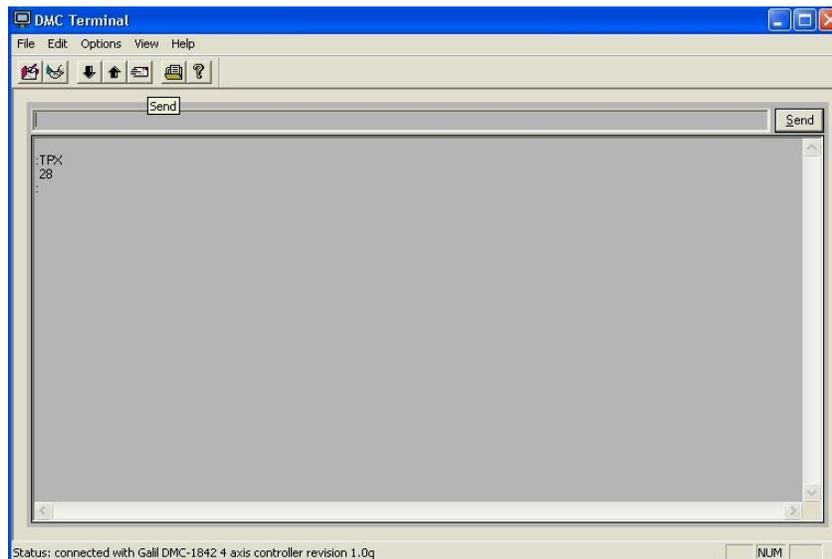


Figura 17. Intérprete de comandos para la tarjeta DMC 1842.

También la tarjeta de control DMC 1842 cuenta con controladores (drivers) para diferentes sistemas operativos.

### 3.4.3. CadToDMC

El software CadToDMC realiza la conversión de archivos tipo DXF a tipo DMC, estos últimos están formados por líneas de comandos que puede interpretar la tarjeta de control para después generar el movimiento en los servomotores. En otras palabras, el programa convierte los dibujos a un archivo, el cual contiene las instrucciones para dibujar sobre el sistema de tres ejes como se muestra en la figura 18.

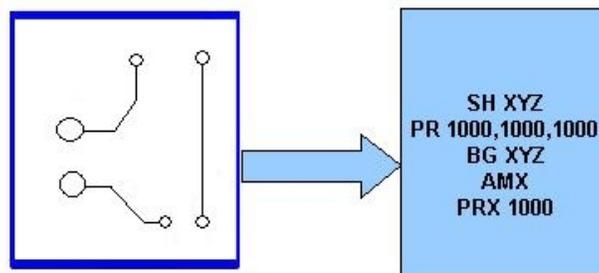


Figura 18. Conversión de un archivo DXF a tipo de archivo DMC.

### 3.4.4. Archivos DXF

Los archivos .DXF pueden ser generados por herramientas de software CAD, como: Autocad, Orcad, CorelDraw, A9cad, etc. La extensión DXF, que significa Formato de intercambio de dibujo (**D**rawing **E**xchange **F**ormat), es un estándar ocupado por programas CAD que permite el intercambio de dibujos entre diferentes programas.

Para la creación de archivos DXF se emplearon dos programas: Orcad 9.2 y Layout . El primero es un software para simular y esquematizar circuitos electrónicos. Orcad cuenta con un programa especializado para la creación de circuitos impresos LAYOUT PLUS el cual permite guardar un circuito impreso con formato DXF, es por eso que se eligió utilizarlo, a diferencia de otros que no tienen esta opción.

### 3. Implementación del sistema

El software libre de licencia A9cad será útil para editar el impreso una vez generado en LAYOUT, debido a que el programa CadToDMC exige ciertas características del archivo DXF para poder convertirlo a un archivo DMC. El archivo DMC esta formado por comandos que son reconocidos por la tarjeta DMC 1842.

#### 3.4.5. Características del archivo DXF

Las características que deben tener los dibujos de los circuitos impresos en formato DXF antes de ser procesados por el software CadToDMC son las siguientes:

- Deben existir etiquetas que indiquen el principio y el final de cada dibujo.
- Se debe indicar la escala a la cual será trazado el dibujo. Estas características se muestran en la figura 19.
- Es necesario incluir macros dentro del dibujo. Las macros se emplean para el posicionamiento inicial (home) y movimiento del eje Z, la inicialización de los ejes en *home* y la activación de los interruptores de paro.

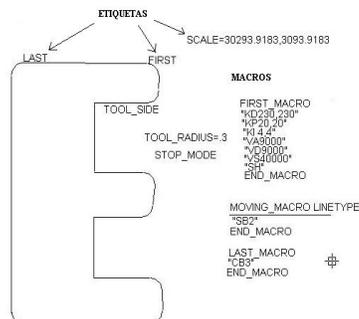


Figura 19. Ejemplo con las características en los dibujos DXF.

A continuación se muestra la forma de obtener un archivo DXF de un sencillo circuito eléctrico, un resistor y un capacitor, Los resultados obtenidos de Orcad Layout, se muestran en las figuras 20 y 21.

### 3. Implementación del sistema

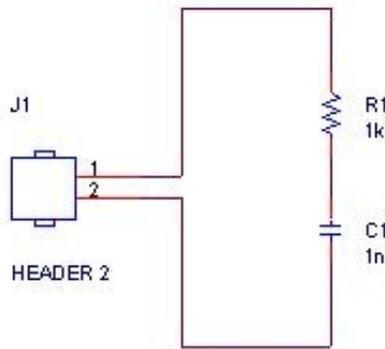


Figura 20. Circuito eléctrico RC realizado en Orcad.

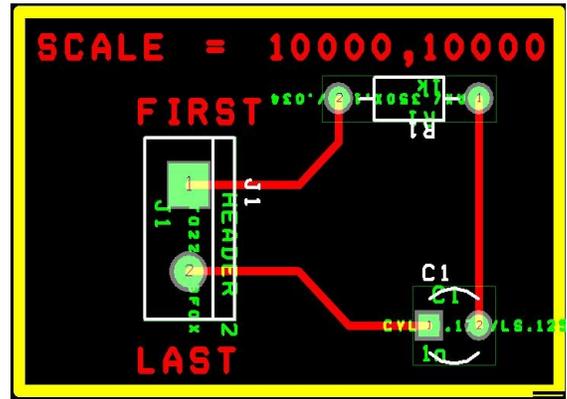


Figura 21. Circuito impreso generado por Orcad.

Sin embargo el circuito impreso obtenido de Layout se guarda como se muestran en la figura 21, por lo que necesita ser editado por el software A9cad para eliminar partes de ese dibujo que no son necesarias, como por ejemplo los indicadores de componentes que se utilizarán como C1, R1, etc. y demás texto que el software de conversión a archivo tipo DMC no pueda reconocer, pues éste solo reconoce texto de macros y las etiquetas de inicio, fin y escala.

El archivo obtenido de Layout en formato DXF se muestra en la figura 22. Este dibujo necesita ser editado por el programa A9cad debido a que los elementos que forman el dibujo (líneas, círculos y puntos) son remarcados una serie de veces y no pueden ser interpretados por el programa CadToDMC.

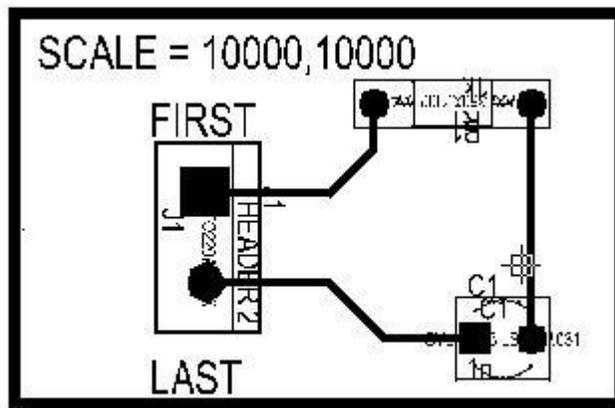


Figura 22. Circuito impreso generado por Orcad y guardado como tipo DXF.

### 3.4.6. Edición de un Archivo DXF

Ya que se tiene el archivo generado por Orcad con extensión DXF, es necesario editar las partes que lo forman con el programa A9CAD, a continuación se numeran los pasos para la edición de un archivo:

1. Abrir el archivo DXF, generado por Layout con el programa A9cad.
2. Eliminar los elementos que no se necesitan como, texto y líneas.
3. Se selecciona todo el dibujo y seleccionamos la herramienta de *explode* del menú *Modify* para cambiar las líneas tipo *Polyline* a tipo *line* y también esta herramienta cambia las propiedades del texto, lo anterior se hace debido a que el programa CadToDMC no puede interpretar el dibujo.
4. Para indicar el levantamiento del eje Z es necesario dibujar líneas punteadas que unan los extremos del origen y fin del alzamiento.
5. Numerar cada línea punteada y la línea continua consecuente.
6. Indicar el inicio, final, escala del dibujo y agregar la macro que indique el posicionamiento inicial XY y distancia de levantamiento del eje Z.
7. Verificar el archivo obtenido empleando el programa *CadToDMC* de *Galil*. Un ejemplo del dibujo final se muestra en la figura 23.

### 3. Implementación del sistema

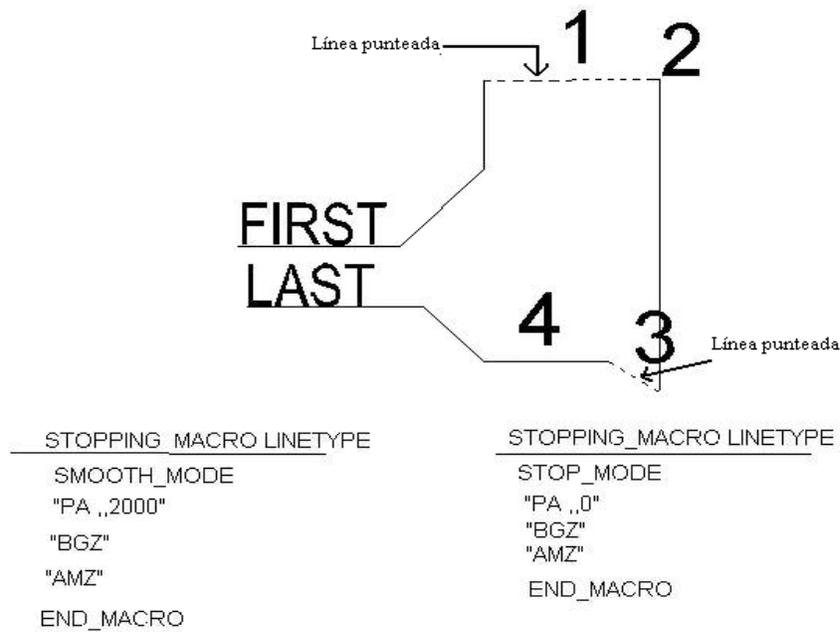


Figura 23. Circuito impreso de la figura 24, editado por el A9cad.

La macro mostrada en la parte inferior izquierda del dibujo ordenan al sistema que el eje Z se levante de su posición inicial (cero) 2000 cuentas cuando detecta una línea punteada y la macro en la parte inferior derecha regresa el eje Z a su posición original cuando detecta que termina una línea punteada. La numeración indica la secuencia de trayectoria que seguirán los ejes XY.

#### 3.4.7. Macros

Una macro es una forma de colocar diferentes comandos dentro de un dibujo. Cuando una macro es ejecutada todos los comandos asociados a ella se ejecutan. El cuerpo de una macro podrían ser comandos del repertorio de instrucciones de la tarjeta de control DMC 1842, cada macro debe finalizarse con la palabra END\_MACRO.

El software de conversión CadToDMC no detecta errores en las macros, estos errores se detectarán una vez ejecutada la rutina de movimiento, por lo que el usar macros es responsabilidad del usuario. Algunos ejemplos de macros se describen a continuación.

### 3.4.7.1. FIRST\_MACRO

Esta macro es utilizada para realizar operaciones antes de cualquier movimiento. Se emplea para ubicar al sistema en la posición inicial (*home*). Su estructura es la siguiente:

```
FIRST_MACRO  
<comando>  
<comando>  
.....  
<comando>  
END_MACRO
```

### 3.4.7.2. LAST\_MACRO

Esta macro es usada para regresar al sistema a la posición *home*. La forma que tiene para colocarlo en el dibujo es la siguiente:

```
LAST_MACRO  
<comando>  
<comando>  
.....  
<comando>  
END_MACRO
```

### 3.4.7.3. LINETYPE

Ésta se usa para asociar una macro con un particular tipo de línea, por ejemplo se podría crear una macro para incrementar la velocidad donde se encuentre una discontinuidad de línea a lo largo de la trayectoria del movimiento. LINETYPE puede ser utilizada con cualquiera de las dos siguientes macros: MOVING\_MACRO o STOPPING\_MACRO. Su estructura es la siguiente:

```
MOVING_MACRO (o STOPPING_MACRO) LINETYPE  
<comando>
```

```
<comando>  
.....  
<comando>  
END_MACRO
```

#### 3.4.7.4. STOPPING\_MACRO

Si la trayectoria se esta ejecutando en el modo SMOOTH\_MODE, este se detendrá cada que encuentre un fin de punto, entonces se ejecuta la macro STOPPING\_MACRO, después el movimiento continua. La forma de poner la macro en el dibujo tiene la forma:

```
STOPPING_MACRO<nombre>  
<comando>  
<comando>  
.....  
<comando>  
END_MACRO
```

Un ejemplo de esta macro es usada en la figura 23, en donde se requiere que el eje Z sea levantado cierta distancia y una vez que terminó la trayectoria en XY según la línea punteada vuelve a ejecutar la macro para colocar el eje Z sobre la superficie.

#### 3.4.8. Asociaciones para el dibujo

Una vez que se editó el dibujo en el software A9cad tiene que abrirse con el programa de conversión CadToDMC, para que valide las etiquetas (*first*, *last* y *scale*) y las macros que se incluyen en él.

Este programa verifica las asociaciones (conexiones) de los elementos que están en el dibujo. Para que el programa establezca una asociación de proximidad entre dos elementos, la distancia debe ser menor a 0.5cm; los elementos pueden ser dos líneas, o una línea y un texto. En la figura 23 se presenta una relación entre el texto FIRST y la línea, o bien, entre el texto LAST y otra línea. Cuando dos elementos son líneas, la proximidad es importante por que si éstos no

### 3. Implementación del sistema

están a la distancia mínima el dibujo no puede ser convertido y no se genera el archivo DMC. Si un elemento es una línea y el otro texto pueden suceder dos cosas:

1. Si el texto no se encuentra a la distancia mínima se genera un error de proximidad y no se genera el archivo DMC.
2. El elemento texto si se encuentra a la distancia mínima pero no en el inicio o fin de la línea, entonces se obtiene la conversión pero el dibujo no es el deseado.

#### 3.4.9. Conversión del archivo DXF

Al tener el formato de dibujo DXF se abre con el programa CadToDMC desde el menú File como se muestra en la figura 24, después seleccionamos el nombre del archivo con el que fue guardado y con la extensión DXF.

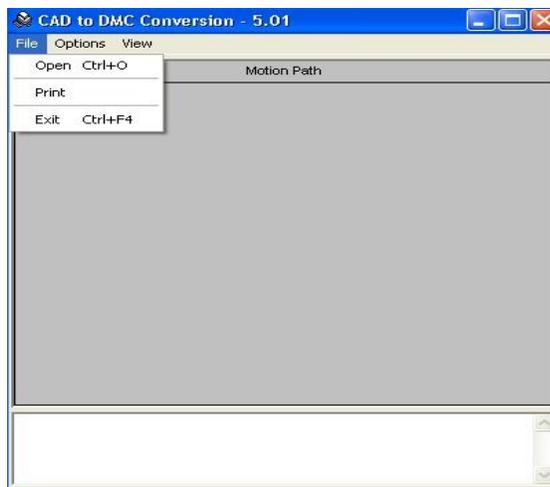


Figura 24. Abriendo desde el CadToDMC un archivo DXF.

Cuando una conversión de archivo no se puede realizar ya sea por algún error de asociación o por la forma del dibujo, el programa indica que hay una falla en el dibujo y por consecuencia se tiene que revisar el dibujo para determinar cual podría ser el error.

### 3.5. Mesa de coordenadas XYZ

Para la construcción de la mesa de coordenadas se utilizaron piezas metálicas como: ángulos, cajas, soleras, así como también partes de aluminio. Las partes metálicas servirán como bastidor y soporte de la mesa como se muestra en la figura 25.

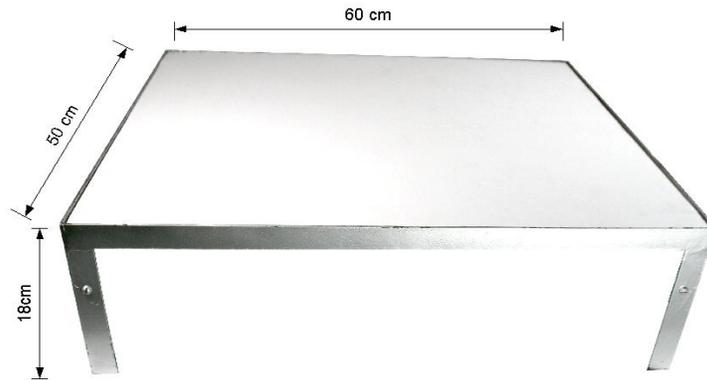


Figura 25. Bastidor del sistema mecánico.

#### 3.5.1. Características del bastidor

Como primer paso para la construcción de la base del sistema mecánico se realizan los cortes del ángulo para formar la base del prototipo, la pieza metálica con la que estará formado el bastidor es el ángulo que en la mayoría de las veces es ocupado para realizar marcos que forman el esqueleto de la estructura que se desea realizar.

Las dimensiones del bastidor son las siguientes: 60cm x 50cm x 18cm. Las piezas cortadas (ángulo, solera) son unidas por soldadura eléctrica, debido a que este bastidor será el esqueleto del sistema mecánico, y la soldadura permite que las uniones de cada una de las piezas estén bien sujetas, a diferencia de atornillar ya que con el uso continuo se aflojarán o desajustarán.

### 3.5.2. Construcción del eje X

Una vez que se tiene listo el bastidor se colocan dos rieles donde se deslizará el eje X, éstos son contruidos por dos cajas de aluminio sostenidas por dos piezas de ángulo como se muestra en la figura 26.



Figura 26. Canal en donde se deslizará el eje X.

El eje mostrado en la figura anterior se coloca por medio de soldadura eléctrica en la parte inferior del bastidor como se muestra en la figura 27.

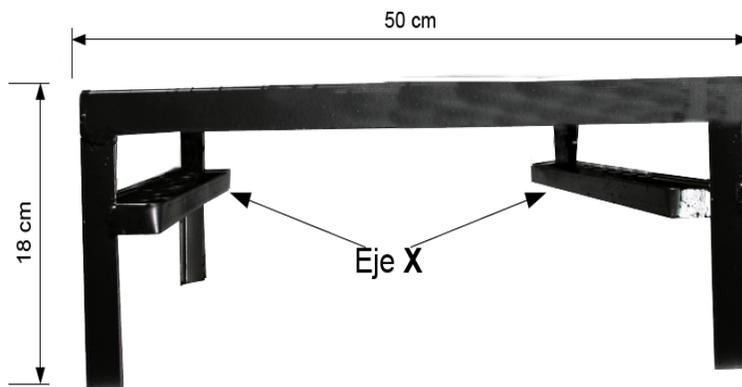


Figura 27. Canales para el eje X soldados en el bastidor.

Las estructuras de aluminio serán el canal que permitirán el deslizamiento del eje X, este deslizamiento se explica de la siguiente manera: El servomotor del eje X es colocado en un extremo del bastidor por medio de 4 tornillos. El rotor del motor se atornilla a un lado de un espárrago que atraviesa de lado a lado el bastidor y el otro lado del espárrago (tornillo sinfín) se sostiene de una chumacera permitiendo que cuando el tornillo sinfín gire se mantenga en su eje.

### 3. Implementación del sistema

Las figuras 28 y 29 muestran los componentes que conformarán el eje “x” del sistema mecánico.



Figura 28. Chumacera y espárrago.



Figura 29. Base del Motor.

#### 3.5.3. Construcción del eje Y y Z

El eje Y se coloca sobre las dos superficies que se desplazan en los canales que conforman al eje “x” y de la misma manera sobre el eje “y” se coloca el eje “z” como se muestra en la figura 30. Tanto para el eje X y Y se adaptaron las chumaceras al grosor de los espárragos para cada eje correspondiente. Para el eje Z no fue necesario adaptar una chumacera debido a que el desplazamiento que realizará el eje será menor a 1cm, pues solo bajará o levantará el plumón que pintará el circuito impreso.

Los grosores de los espárragos para los ejes X, Y y Z son: 1.80cm, 1.1cm, 0.7cm respectivamente. Éstos no están fabricados de manera calibrada y fueron elegidos según el peso que sostendría cada eje y debido a que el eje X es el que sostiene a los ejes Y y Z se colocó un espárrago con mayor grosor para que este no se flexionara. Para el eje Y se ocupó un espárrago de menor grosor al del eje X debido a que el peso que sostendrá es menor, lo mismo aplica para el eje Z. Cabe mencionar que el grosor del espárrago debe ser mayor al grueso del rotor (motor) de 0.61 cm , para que pueda ser perforado con una profundidad de 1.8cm, que es la longitud del rotor, como se muestra en la figura 31.

### 3. Implementación del sistema

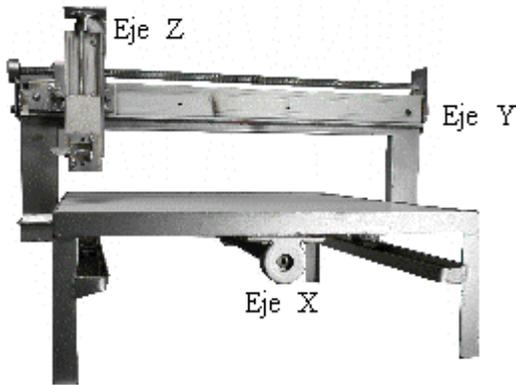


Figura 30. Eje XYZ.

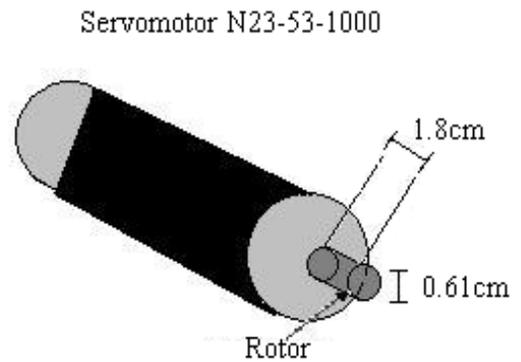


Figura 31. Servomotor N23-53-1000.

El en eje Z se coloca un ajustador de plumón y que puede sostener a un plumón con un diámetro máximo de 2.35cm, este se muestra en la figura 32.



Figura 32. Herramienta que sujetará el plumón.

Si en un futuro se requieren ajustes para los ejes, el eje YZ se desmonta del eje X. La pinza que sujeta el plumón también puede ser desmontada del eje Z y colocar otra pinza o herramienta como por ejemplo un taladro, una cuchilla, etc.

#### 3.5.4. Precisión del sistema

Los servomotores tienen un codificador (*encoder*) de la marca *Rencor Encoder Inc.*, éste

### 3. Implementación del sistema

entrega una serie de pulsos en cuadratura a través de dos canales A y B, y un tercer canal llamado *index* que indica mediante un pulso un giro de 360 grados. El número de ranuras que poseen los servomotores N-23-53-1000 es de 4000 por lo que obtendremos 4000 pulsos de voltaje por cada giro de rotación del eje (360°), es decir  $\frac{360^\circ}{4000} = N$   $N = 0.09^\circ$ , donde N es el ángulo de rotación para el cual obtendremos un pulso de voltaje en los fototransistores del codificador. A cada una de estas señales cuadradas se nombraran como pulsos. Al girar los motores 1000 pulsos se hace con los comandos PR o PA en la línea de comandos, *DMC Terminal*. La forma de hacerlo es la siguiente:

***PR 1000,1000,1000***

***BG XYZ***

Lo que significa que los ejes XYZ girarán  $1/4$  de vuelta.

Cuando se hace girar una vuelta completa al servomotor (4000 *pulsos*) del eje X obtendremos una línea pintada de 2.5mm y haciendo girar de igual manera al servomotor del eje Y se obtiene una línea pintada de 1.9mm; la diferencia entre estos ejes es debido al diámetro del espárrago. La mínima resolución que se puede obtener al pintar una línea es de 0.5mm y 0.3mm con 1000 *pulsos* para los ejes X y Y respectivamente.

En cuanto al eje Z no es necesario hacerlo girar una vuelta completa, basta indicarle que gire 1000 *pulsos* para que levante el plumón de la superficie o de la placa de cobre sobre la cual estará pintando una distancia de 0.2 mm.

#### **3.5.5. Estructura mecánica completa**

La figura 33 muestra el sistema mecánico completo.

### 3. Implementación del sistema



Figura 33. Sistema mecánico completo.

Con el sistema mecánico concluido, se colocan los interruptores de paro sobre los extremos de cada eje, éstos son de tipo *microswitch* y son de importancia ya que previenen que los motores continúen girando si se presenta alguna falla. Los interruptores son colocados como se muestra en la figura 34.

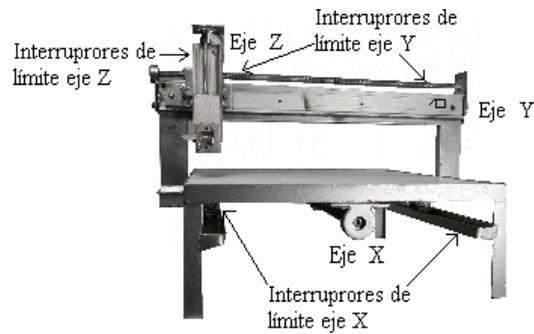


Figura 34. Sistema mecánico con los 6 interruptores en los ejes XYZ.

## 4. Pruebas y resultados

En el siguiente capítulo se presentan los resultados experimentales como resultado del trabajo realizado.

### 4.1. Pruebas

Para que el sistema electromecánico dibuje sobre la placa de cobre es necesario seguir una serie de pasos como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 35.

Una vez que se tuvieron listos algunos diseños de circuitos impresos se procedió a realizar las pruebas correspondientes, que consistieron en comprobar el comportamiento del sistema mecánico al dibujar los circuitos impresos, determinar cual es el error y comparar la similitud del dibujo pintado con el circuito impreso original.

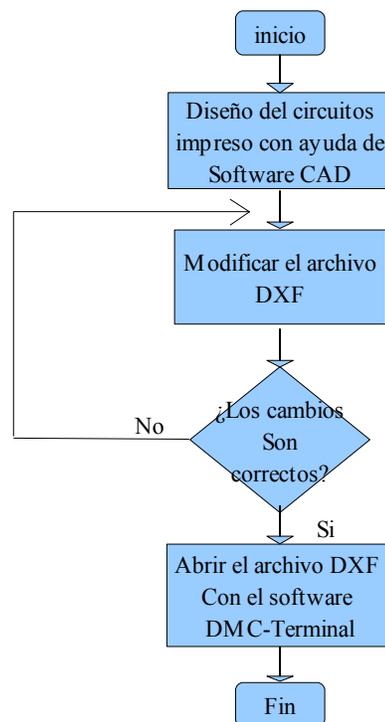


Figura 35. Diagrama de flujo para pintar una placa de cobre.

## 4.2. Resultados

La figura 36 muestra un circuito de dos componentes (RC) en serie, del cual se obtiene su circuito impreso empleando Layout de Orcad 9.2, el resultado se muestra en la figura 37.

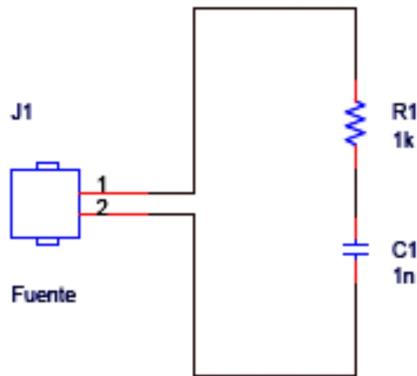


Figura 36. Diseño en serie RC.

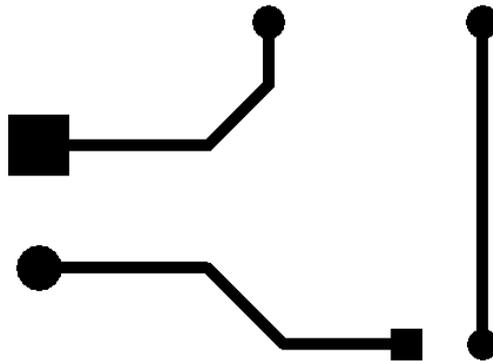


Figura 37. Circuito impreso del circuito RC.

La figura 38 muestra el diseño editado con el programa A9cad preparado para que sea abierto con el programa CadToDMC y pueda ser convertido a un archivo de línea de comandos como se muestra en la figura 39.

#### 4. Pruebas y resultados

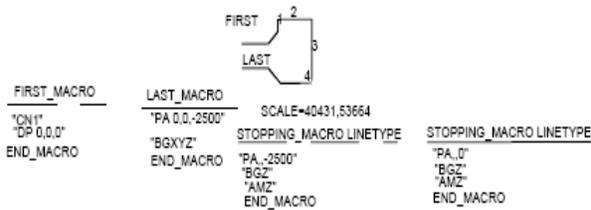


Figura 38. Circuito impreso editado por A9cad.

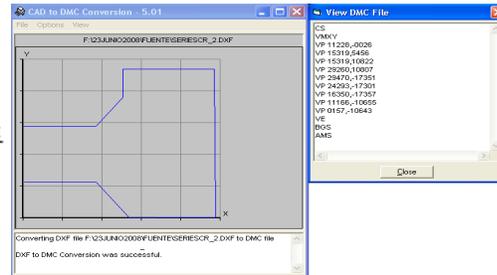


Figura 39. El programa CadToDMC generó el archivo DMC.

La primera macro del lado izquierdo con el nombre de FIRST\_MACRO de la figura 38 indica la activación de los interruptores y la posición inicial de los ejes en 0, la segunda macro LAST\_MACRO indica que al finalizar la última línea del dibujo los ejes XY deberán tomar la posición inicial igual a cero mientras que el eje Z se levanta 2500 para que en el regreso de los ejes XY no pinte sobre la superficie. Las macro STOPPING\_MACRO\_LINETYPE junto a la macro LAST indica cuantos pulsos debe moverse o levantarse el eje Z cuando finalicen las líneas que son continuas, que son las líneas que queremos pintar y la última macro con el mismo nombre a la anterior señala al eje Z volver a su posición inicial una vez que terminen las líneas punteadas en el dibujo.

La figura 40 muestra la activación de los interruptores de paro y la posición inicial de los ejes XYZ en cero pero también se puede hacer en el programa de línea de comandos antes de enviar el archivo DMC a la tarjeta de control. Para definir la posición inicial se realiza con el comando *DP* de la siguiente manera:

*DP 0,0,0* ;define la posición de XYZ en 0,0,0

Para activar los interruptores se realiza con el comando *CN* de la siguiente manera:

*CN 1* ;activa los interruptores de paro.

#### 4. Pruebas y resultados

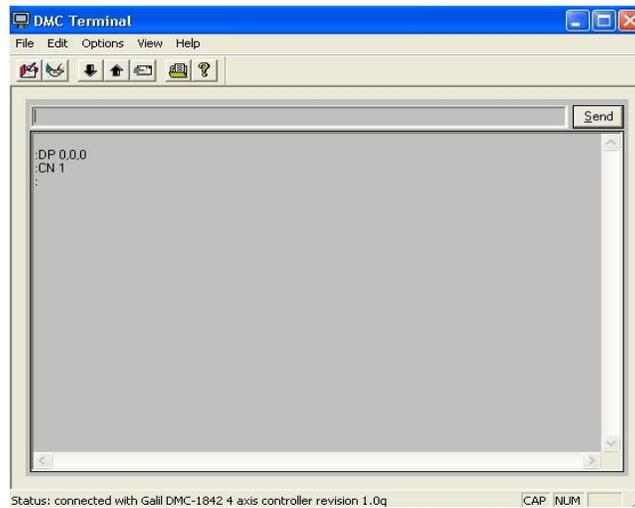


Figura 40. Configuración inicial del sistema electromecánico.

La figura 40 muestra la introducción de los comandos *DP* y *CN* que es lo primero que se tiene que realizar antes de enviar el archivo DMC generado por el programa CadToDMC. El resultado de enviar el archivo DMC, generado anteriormente, a la tarjeta de control para que esta mande las ordenes correspondientes al sistema electromecánico, se muestra en la figura 41.



Figura 41. Circuito impreso del circuito RC dibujado por el sistema electromecánico.

Otra prueba más se realiza con el circuito electrónico mostrado en la figura 42, realizado en Orcad 9.2, del cual se obtiene el circuito impreso empleando Layout, el resultado se muestra en la figura 43.

#### 4. Pruebas y resultados

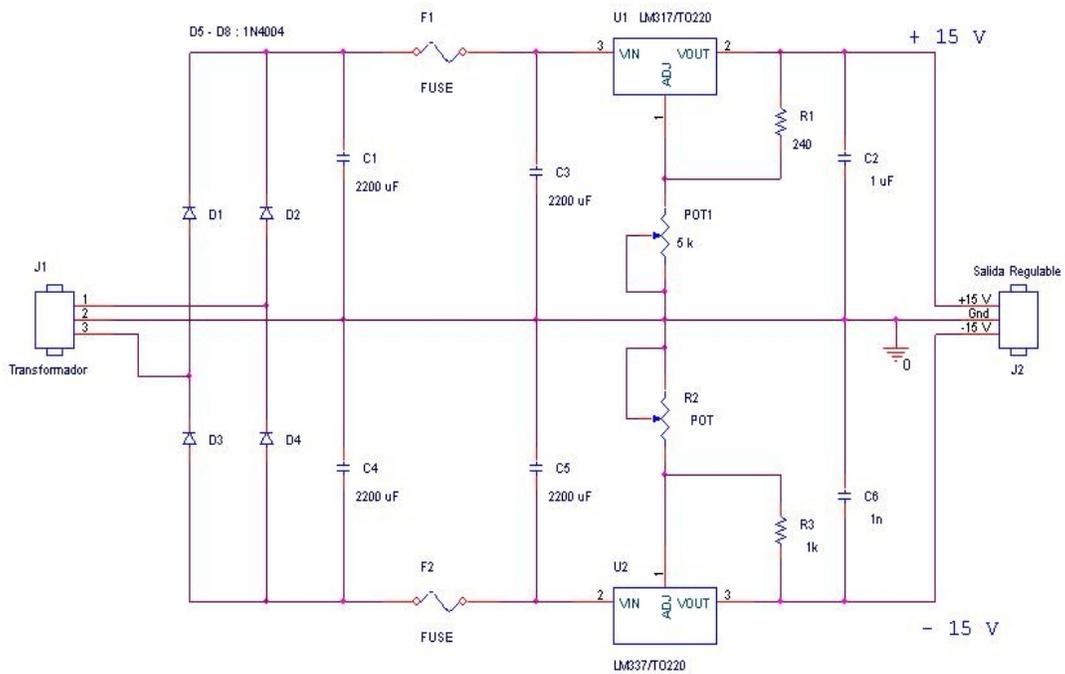


Figura 42. Diseño electrónico de una fuente DC

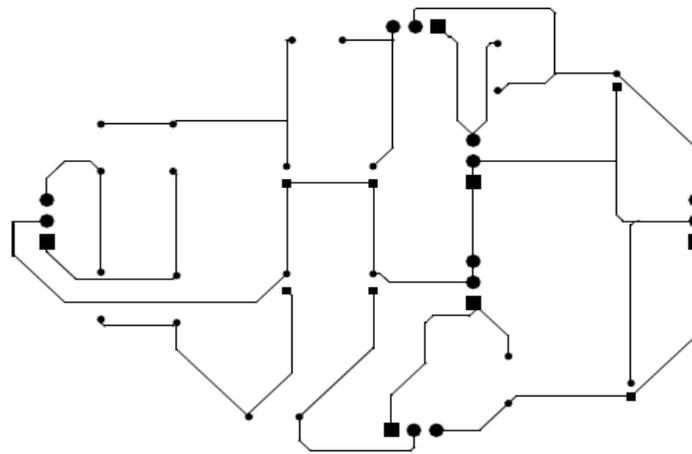


Figura 43. Circuito impreso de la fuente DC.

La figura 44 muestra el diseño editado con el programa A9cad preparado para que sea abierto con el programa CadToDMC y pueda ser convertido a un archivo de línea de comandos como se muestra en la figura 45.

#### 4. Pruebas y resultados

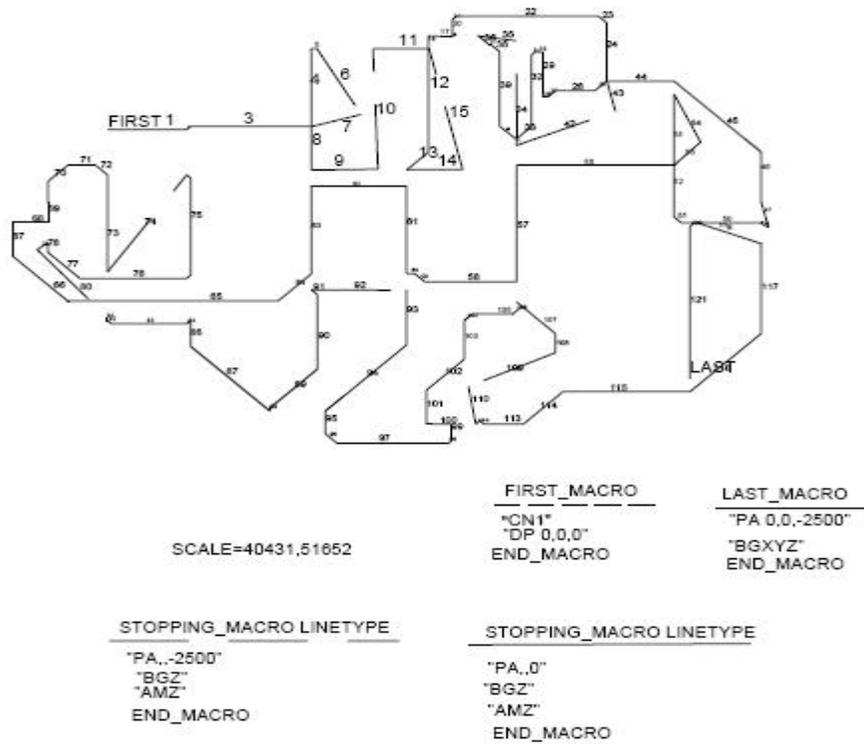


Figura 44. Circuito impreso modificado por A9cad.

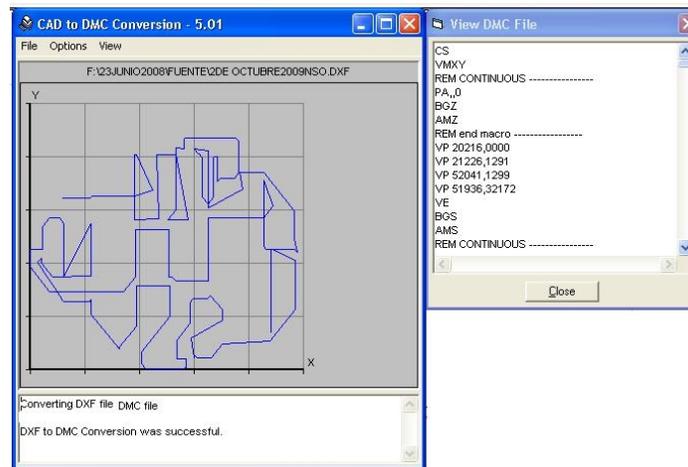
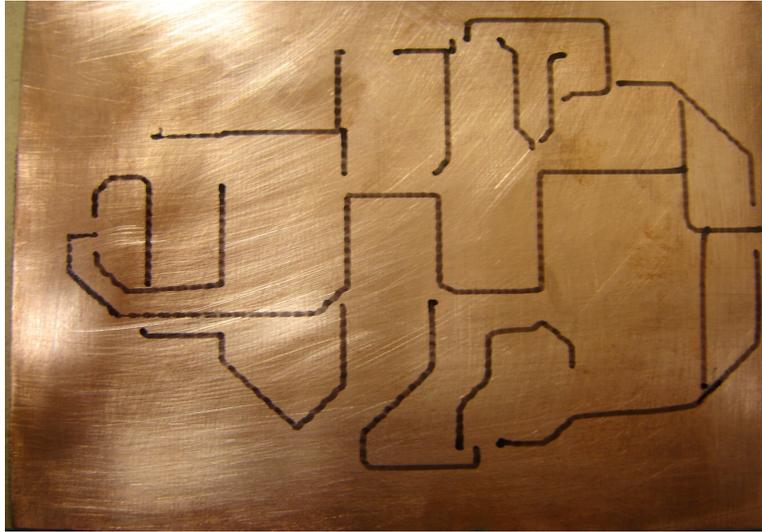


Figura 45. CadToDMC generando el archivo DMC.

El archivo DMC, generado anteriormente, se envía a la tarjeta de control para que esta mande las órdenes correspondientes al sistema electromecánico como se muestra en la figura 46.

#### 4. Pruebas y resultados



*Figura 46. Circuito impreso sobre la placa de cobre.*

Ya que los espárragos que se utilizaron para este trabajo de tesis no están contruidos de manera calibrada, en cada movimiento se genera una ligera vibración que afecta al eje Z, ocasionando que se pinte una línea que no es completamente continua o recta . Las medidas reales trazadas por el sistema son de 12 cm. x 8.1cm., en cuanto a las medidas obtenidas para el circuito impreso son de 12cm. x 8cm., por lo que hay un error de 1.23% para el eje Y.

## 5. Conclusiones y trabajos futuros

El sistema propuesto al inicio del trabajo fue diseñado, implementado y puesto en funcionamiento de manera satisfactoria, alcanzando de esta manera los objetivos trazados en un principio.

En este proceso se logra comprender el funcionamiento de los dispositivos de Galil Motion Control y como resultado se presenta el capítulo 2 del presente documento. Así mismo se puso en funcionamiento el prototipo electromecánico mencionado en el capítulo 4 arrojando satisfactoriamente los resultados experimentales esperados. Sin embargo los resultados pueden mejorar implementando un nuevo sistema mecánico con consideraciones de diseño para mejorarlo. De esta manera el trabajo presentado es pauta para iniciar nuevos proyectos de tesis no sólo para alumnos de electrónica sino también para alumnos de ingeniería en diseño, computación, industrial y mecatrónica.

Cabe destacar que el programa CadToDMC que se adquirió con la tarjeta de control DMC 1842 no es como se esperaba en el momento de las pruebas, por lo que fue necesario estudiar y comprender las características de los diseños DXF para adecuarlos como es requerido y que se menciona en el capítulo 3.

Los resultados obtenidos dan origen a otros trabajos a futuro:

- Realizar un programa que evite la necesidad de editar el archivo en formato DXF con lo cual la conversión sea automática .
- Diseñar e implementar un nuevo sistema mecánico que permita reducir o eliminar las vibraciones en cada uno de los ejes.
- Acondicionar el eje Z para emplear otras herramientas como: taladro, cuchilla, etc. Con esta acción se pueden dar otras aplicaciones al sistema.
- Agregar un sistema de supervisión del circuito impreso final para corregir errores.

Algunas recomendaciones para usar el sistema son las siguientes:

### *5. Conclusiones y trabajos futuros*

- Saber utilizar el Orcad y Layuot.
- La activación de los interruptores de paro e inicialización de la posición de los motores, se menciona en el capítulo 3 sección 3.4.
- Editar los archivos generados por Layout como lo requiere el programa de conversión CadToDMC, descrito en el capítulo 3, sección 3.4.5.

Por último el presente trabajo fue aceptado para su publicación en el 8° Congreso Nacional de Mecatrónica en Boca del Río, Ver., en Noviembre de 2009.

## Bibliografía

- [1] DOYLE, Lawrence, “Materiales y procesos de manufactura para ingenieros”, Tercera edición, México, Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A., S.F. 1024. Traducción: Fournier González Julio, Materiales y procesos de manufactura para ingenieros, México, Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A., S.F. 1024p.
- [2] DYNA 4m. Manual de usuario CNC.
- [3] El exportador digital, [en línea]. Fecha de consulta 25 de noviembre 2009, <[http://74.125.47.132/searchq=cache:http://www.elexportador.com/062004/imprimir/empresas\\_primerospasos.htm](http://74.125.47.132/searchq=cache:http://www.elexportador.com/062004/imprimir/empresas_primerospasos.htm)>.
- [4] Galil Motion Control, [en línea]. Rocklin California: “DMC-18x2”, Fecha de consulta 25 de noviembre 2009. <<http://www.galilmc.com/checkreg.php?location=manuals&target=man18x2.pdf>>.
- [5] \_\_\_\_\_, [en línea], Rocklin California: “CAD To DMC, User Manual”, Fecha de consulta 25 de noviembre 2009, Galil Motion Control, <[URL:http://www.galilmc.com/support/manuals/cadman.pdf](http://www.galilmc.com/support/manuals/cadman.pdf)>.
- [6] \_\_\_\_\_, [en línea], Rocklin California: “Command Reference”, Fecha de consulta 25 de noviembre 2009, Galil Motion Control, <<http://www.galilmc.com/support/manuals/optcom.pdf>>.
- [7] \_\_\_\_\_, [en línea], Rocklin California: “Description of the ICM-2900”, Fecha de consulta 25 de noviembre 2009, Galil Motion Control, <<http://www.galilmc.com/support/appnotes/optima/note1424.pdf>>.
- [8] \_\_\_\_\_, [en línea], Rocklin California: “MSA-12-80”, Fecha de consulta 25 de noviembre 2009, Galil Motion Control, <[http://prz-rzeszow.pl/~tomz/Teoria%20Sterowania/Laboratorium/SerwoSerialII/catmsa12\\_80.pdf](http://prz-rzeszow.pl/~tomz/Teoria%20Sterowania/Laboratorium/SerwoSerialII/catmsa12_80.pdf)>.
- [9] \_\_\_\_\_, [en línea], Rocklin California: “Brushless Servo Motor, BLM-N23-50-1000”, Fecha de consulta 25 de noviembre 2009, Galil Motion Control, <[http://www.galilmc.com/catalog/blm\\_n23.pdf](http://www.galilmc.com/catalog/blm_n23.pdf)>.
- [10] LPKF ProtoMat s42, [en línea], Tualatin, Oregon, USA: “LPKF Protomat S42”, Fecha de consulta 25 de noviembre de 2009, <<http://www.lpkfusa.com/protomat/s42.htm>>.
- [11] Marshall Amplification, [en línea]. Fecha de consulta 25 de noviembre de 2009, <<http://www.foro3k.com/sala-ensayo/117502-data-marshall-amplification.html>>.
- [12] RECASSENS Bellver, Maria Auxilio, “Diseño de circuitos impresos con orcad capture y layout v.9.2”, España, Thomson, 2002, 212p.
- [13] VÁSQUEZ Gallardo, Jorge L., “Sistema de apoyo para el desarrollo automatizado de circuitos impresos”, Trabajo de titulación (Ingeniería Electrónica), Huajuapán de León, Oaxaca Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2002, 86p.
- [14] VIZAN Idoipe, A., “Introducción a las máquinas herramientas con control numérico”, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 1988, 176p.