

# Máquina a tres ejes para la fabricación de circuitos impresos (pcb o printed circuit boards)

Ismelda C. Guerra R.

Academia Técnica Militar Núcleo Aviación

Luis E. Ramos G.

Universidad Nacional Abierta (UNA)

Julio C. Pérez L.

Electricista Industrial, Santa Cruz de Aragua

lramos@una.edu.ve

Fecha de recepción: 09- 04- 2016 Fecha de aceptación: 18- 05- 2016

## Resumen

Es un hecho reconocido, el alto nivel de dependencia tecnológica de nuestro país y se considera que una de las variables fundamentales que conllevan a esta dependencia es la baja capacidad para el desarrollo y fabricación de máquinas y prototipos de máquinas para procesos de producción industrial. Siendo el desarrollo del sistema de control electrónico una actividad crucial en el proceso de diseño de una máquina, hemos decidido desarrollar una maquinaria para la fabricación de circuitos impresos.

En esta primera parte del proyecto identificamos el flujo de trabajo que lleva al prototipo de circuito impreso en formato digital, desde una aplicación de software en la que el ingeniero en electrónica edita un circuito electrónico (CAD), a otro formato (CAM) que le permite a la máquina la fabricación del circuito impreso. En esta última etapa la máquina es controlada por otra aplicación de software. El flujo de trabajo fue reproducido con versiones de software propietario y software libre, encontrando que por ambos métodos podrían obtenerse resultados similares.

Estos primeros resultados nos permiten afirmar que efectivamente el proceso de fabricación de circuitos impresos puede realizarse mediante el uso de software libre especializado, logrando resultados similares a los obtenidos utilizando software propietario. En una segunda parte del proyecto, procederemos a fabricar y ensamblar la máquina para realizar las pruebas empíricas correspondientes.

**Palabras claves:** Fabricación de circuitos; diagrama circuital

## Three-axis machine for the production of printed circuit boards (pcb)

### Abstract

It is a recognized fact, the high level of technological dependence of our country and it is considered that one of the fundamental variables that lead to this dependence is the low capacity for the development and manufacture of machines and prototypes of machines for industrial production processes. Being the development of the electronic control system a crucial activity in the process of designing a machine, we have decided to develop machinery for the

manufacture of printed circuits. In this first part of the project we identified the workflow that leads to the printed circuit prototype in digital format, from a software application in which the electronics engineer edits an electronic circuit (CAD), to another format (CAM) that allows the machine to manufacture the printed circuit. In this last stage the machine is controlled by another software application. The workflow was reproduced with both proprietary and free software versions, finding that by both methods similar results could be

obtained. These first results allow us to state that indeed the process of manufacturing printed circuits can be done by using specialized free software, achieving similar results to those obtained by using proprietary software. In a second part of the project, we will proceed to manufacture and assemble the machine to perform the corresponding empirical tests.

**Key words:** Circuit manufacturing; circuit diagram

## Introducción

Detrás de todo equipo o máquina de uso industrial hay una tarjeta electrónica, la cual da soporte, mediante la fijación por soldadura, a una serie de componentes electrónicos que se van a encontrar interconectados entre sí mediante caminos o pistas de cobre demarcados sobre una lámina no conductora. A esta última se le denomina tarjeta de circuito impreso o PCB por sus siglas en Inglés (Printed Circuit Board). Estos componentes electrónicos en conjunto son responsables de que ese equipo o máquina funcione de acuerdo a las especificaciones para la cual fue diseñada. Es por ello que inmerso como se está en el desarrollo de tecnología “hecha en

Venezuela”, siempre va a estar presente la necesidad de elaborar tarjetas de circuito impreso o PCB en el desarrollo de prototipos de maquinarias.

A pesar de la necesidad planteada de la elaboración de PCB, se ha conseguido que empresas extranjeras ofrecen el servicio a un precio más bajo del que ofrecen las empresas venezolanas, por lo que muchos seleccionan esta posibilidad, lo cual además de la demora en los tiempos de entrega de los PCB también ocasiona una fuga de divisas para la nación. En consecuencia, esto representa una limitante para el desarrollo de prototipos.

El objetivo de este trabajo es mostrar

el avance que se ha tenido en el desarrollo de una máquina de tres ejes para la fabricación de PCB controlada por software libre. Con ella no solo se demarcan las pistas de interconexión de los componentes, también se hacen las perforaciones para fijar dichos componentes, de allí que se defina como una máquina de tres ejes.

## Procesos de Fabricación de PCB

Existen dos procesos comunes para la elaboración de tarjetas de circuito impreso, a saber: un proceso manual y un proceso automatizado. En la Figura 1 se pueden observar las diversas etapas comunes y no comunes a ambos procesos.



Figura 1. Etapas comunes y no comunes de los Procesos

Cualquiera que sea el procedimiento a seguir, el primer paso para la fabricación de PCB es común, se trata de la elaboración del diagrama circuital, es decir, la ubicación de los diversos componentes que van a formar la tarjeta

electrónica y sus interconexiones. Para ello, es necesario el uso de un software de diseño electrónico.

La Figura 2 muestra el diagrama circuital de la tarjeta electrónica diseñada

para el control de la máquina de tres ejes. Se usó el software libre llamado KiCad (KiCad EDA Software Suite, 2012) para definir el PCB.

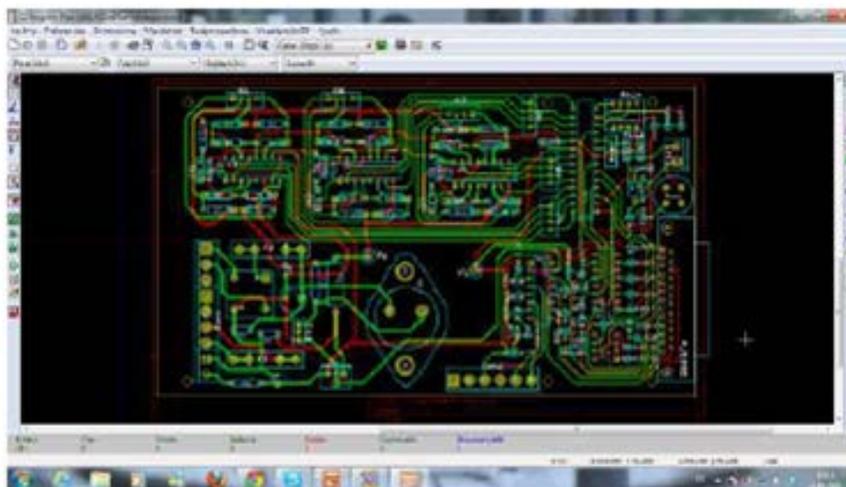


Figura 2. Diagrama Circuital

Una vez que se tiene el diagrama circuital, la siguiente etapa puede ser tanto en forma manual como en forma automática, dichos pasos se explican en forma detallada en las siguientes subsecciones.

#### 1. Proceso Manual

En el proceso manual hay dos formas comúnmente utilizadas para obtener la

impresión del diagrama circuital sobre la lámina, estas son:

##### 1.1. Uso de papel transfer:

Se debe imprimir o fotocopiar el diagrama circuital en el papel transfer, posteriormente se plancha dicha hoja sobre la lámina con superficie de cobre (Figura 3a), de esta forma se transferirá el circuito a esta. Finalmente usando agua se retira el papel de la lámina (Figura

3b). El circuito debe haberse marcado completamente sobre la lámina para que el procedimiento sea exitoso, en caso de que no se haya marcado bien una pista, se debe utilizar un marcador de tinta indeleble para completar y corregir el diagrama transferido antes de que se avance al siguiente paso, el baño de ácido.

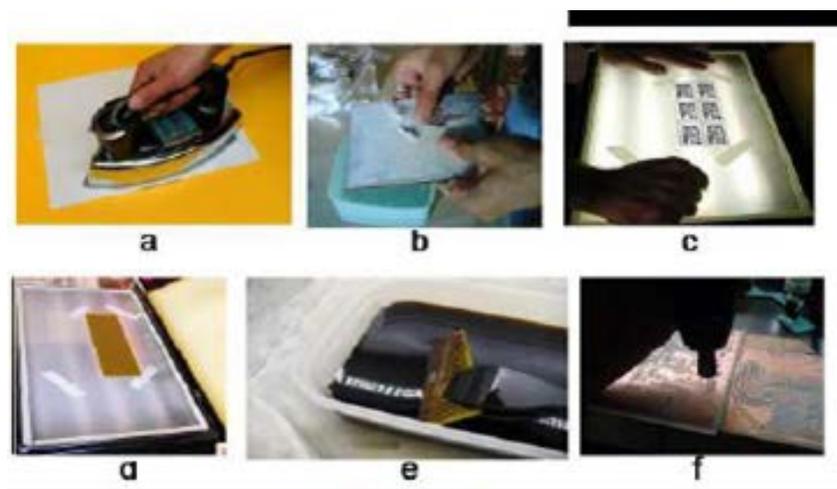


Figura 3 Proceso Manual

### 1.2. Uso de lámina Fotosensible:

Para este proceso se necesita una lámina de baquelita o fibra de vidrio con su superficie cubierta por una película sensible a la luz. El diagrama circuital se imprime en una hoja de acetato transparente y con ayuda de una insoladora, la cual es una caja que contiene tubos fluorescentes con una cubierta de vidrio, el circuito se transferirá a la lámina (Figuras 3c y 3d). El tiempo de insolación puede ser variado, depende por ejemplo, de las características de la placa fotosensible. Posteriormente, es necesario el revelado, el cual consiste en sumergir la lámina en una solución de soda cáustica y agua. De esta forma se logra pasar el diagrama circuital a la lámina.

Una vez que se logra transferir el circuito a la lámina de cualquiera de las dos formas antes expuestas, se inicia el

baño de ácido, el cual requiere tomar en consideración una serie de medidas de seguridad ante la manipulación que debe hacerse del ácido de cloruro o percloruro férrico. En esta etapa el ácido va a atacar la superficie de cobre que no está marcada como una pista o camino (Figura 3e). Este proceso puede tomar algunos minutos dependiendo de la complejidad del circuito y dimensiones de la lámina.

Finalmente se tendrá la tarjeta lista para la última etapa que se trata del perforado o apertura de los huecos (pads) donde se van a fijar los componentes electrónicos que forman el circuito (Figura 3f).

### 2.-Proceso Automatizado

Este procedimiento consiste en el desbaste de la capa de cobre que no corres-

ponde a una pista de interconexión ni a un pad. Se puede resumir el proceso, de acuerdo a la Figura 1, en 2 etapas, la primera definida por un software capaz de traducir el código generado por el software de diseño electrónico, de acuerdo al circuito a elaborar, en una secuencia de instrucciones de movimientos y comandos, mejor conocido como gCode (ISO, 1982). Dichas secuencias de instrucciones deben ser comunicadas al software encargado de manejar la máquina para la elaboración del PCB. Este software (de control CNC), le corresponderá interpretar dichos comandos y transformar en comandos de movimiento, siendo esta la última etapa de este proceso automatizado (Figura 4).



Figura 4. Esquema Máquina 3 Ejes

Una vez obtenido el PCB por cualquiera de los dos procesos descritos en los puntos 2.1 o 2.2, la etapa siguiente es la de perforación de los huecos donde van a fijarse los componentes electrónicos. Asimismo, como se observa en la Figura 1, hay etapas subsiguientes y también comunes a ambos procesos, estas corresponden a la unión de capas cuando el circuito es multicapa y el metalizado de los huecos o pads para que haya conducción eléctrica entre todas las capas y los componentes soldados.

El proceso en el que está basado el proyecto es en el proceso automatizado, es decir la máquina de tres ejes fabricará el PCB por el proceso de desbaste

del cobre.

Ya detalladas las diferentes etapas de los procesos de fabricación de PCB, a continuación, se realiza una comparación de algunos software de diseño electrónico, necesario para elaborar el diagrama circuital que se desea como PCB.

Comparación de Software de Diseño Electrónico Para realizar la comparación de los software de diseño electrónico se seleccionaron dos software libre, kiCad y gEDA (gEDA, 2011), y dos software propietarios, Eagle (Eagle - PCB, 2011) y Proteus (Proteus, 2011), con la finalidad de evaluar sus capaci-

dades para la elaboración del diseño y además su capacidad de generar el código de salida gCode del diagrama circuital elaborado, necesario para la comunicación con el software que controla los movimientos de la máquina, la cual finalmente manufactura el PCB.

Los aspectos evaluados fueron: la plataforma bajo la cual funciona el software, el costo, las prestaciones para elaborar esquemáticos y el layout o distribución de componentes y conexiones en la tarjeta y por último el simulador. En la Tabla 1 se resumen los aspectos usados para la comparación.

Tabla 1. Comparación de software de diseño electrónico

	Plataforma		Costo	Esquemático				Layout - PCB					Simulador	
	Windows, Mac	Linux		\$	Esq. a PCB	ERC	Lista de Comp.	Librerías	Netlist	Gráfico 3D	DRC	Capas de Trab.		Visualiz. Gerber
KiCad	Y	Y	0	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	16	Y	gerber	X
gEDA	X	Y	0	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	16	Y	gerber gCode*	Y
Eagle	Y	Y	1640	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	16	Y	gerber gCode	Y
Proteus	Y	X	982	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	16	Y	gerber gCode	Y

A continuación, se detalla cada categoría:

### Plataforma

Se refiere al sistema operativo que debe poseer el computador para que funcione el software de diseño electrónico. En el caso del software libre kiCad, tiene la capacidad de ejecutarse tanto bajo ambiente windows como en linux, al igual que el software propietario Eagle. Mientras que gEDA solo se ejecuta en linux y, finalmente Proteus solo se ejecuta bajo ambiente Windows.

### Costo

En el caso del software libre no existe ningún costo asociado para su descarga e instalación. Mientras que, para Eagle, por ejemplo, el costo de la versión profesional para un usuario que tiene la capacidad de manejar hasta 999 hojas de esquemático, 16 capas de señal y

un área de trabajo de 4x4m es de 1640 USD («Prices- Eagle», 2011). Por su parte, con características similares, Proteus tiene un costo de 982 USD («Prices-Proteus», s. f.).

### Esquemático

Representa de manera sencilla y resumida el diagrama o plano de conexión del circuito, necesario para formar una idea de las partes que constituyen la tarjeta electrónica. Las características primordiales consideradas en la comparación para la elaboración de un esquemático fueron:

- **Esquemático a PCB:** una vez realizado el esquemático, se tiene un ícono encargado de llevarlo a PCB, es decir, de ubicar los componentes sobre una tarjeta y de establecer las pistas de conexión, tomando en consideración algunas reglas.

**Electrical Rules Check tool (ERC):** es

una herramienta que detecta errores de conexión como pines de entrada abiertos, conflicto de salidas, nodos sin pines, entre otros.

- **Lista de componentes:** capacidad del software de generar una lista de los componentes utilizados.

- **Librerías:** volumen de componentes definidos y la posibilidad de crear nuevos. Tal y como se observa en la Tabla 1 todos los softwares seleccionados cumplen con cada una de las características de esquemático antes descritas.

- **Layout – PCB:** Corresponde a la distribución de los componentes y sus conexiones. Las características consideradas en la comparación fueron:

- **Netlist:** se refiere a la descripción de las partes o dispositivos usados y la forma como se encuentran conectados.

- **Gráfico 3D:** es la visualización de la tarjeta electrónica en una vista 3D. Esto permite corregir la distribución de los componentes o su espaciado respecto a otros.

•**Design Rule Check (DRC):** herramienta que permite chequear errores como superposiciones, violación de distancias mínimas, del tamaño del hueco, del ancho mínimo posible, entre otros. Estos errores son mostrados gráficamente.

•**Capas de trabajo:** representa la cantidad de capas que pueden contener pistas.

•**Visualizador Gerber:** los archivos gerber son formatos que contienen la información necesaria para la fabricación del PCB. A través del visualizador uno puede observar las capas de trabajo individualmente, capa superior, capa inferior, componentes, etc.

**Salida para manufactura:** corresponde al tipo de formato de salida del circuito diseñado. El formato de salida estándar es el GERBER. Sin embargo, el formato de salida gCode representa una lista secuencial de instrucciones para ser ejecutadas por la máquina para el mecanizado de una pieza.

De acuerdo con la Tabla 1, todos los softwares seleccionados tienen salida en formato GERBER (Ucamco, 2012), y solo el software propietario incluyen salida gCode. En el caso de gEDA, un exportador de salida gCode está disponible desde 2010 («gEDA-gCode», 2010). Esto será probado una vez la máquina esté ensamblada y cableada.

•**Simulador:** Cuando se busca elaborar prototipos de máquinas o equipos, muchas veces se hace necesario la simulación o chequeo del comportamiento del circuito diseñado antes de pasarlo a una lámina de baquelita o fibra de vidrio. De allí la utilidad de los simuladores de

circuitos que están incluidos en algunos softwares de diseño electrónico. En la comparación es posible notar que del software seleccionado, solo el kiCad no incluye un simulador. No obstante, en kiCad se puede crear un netlist para funcionar con spice, el cual es un programa que permite la simulación de una gama de componentes.

### Comparación de Software para el Control CNC

El software para el control CNC está encargado de recibir el código gCode, acorde con el diseño del PCB en el software electrónico, y de generar las señales necesarias relacionadas con los movimientos que debe hacer cada uno de los ejes de la máquina para lograr el desbaste del cobre que no formará las pistas ni pads requeridos.

Existen en el mercado diversos software capaces de cumplir lo anterior. Por ejemplo, el *Mach3* (*Mach3*, 2012) y el *BobCAD/CAM* (*Bob CAD-CAM*, 2012), ambos software propietarios. Por el lado de software libre, se tiene a *Linux EMC - CNC* (*Enhance Machine Controller - EMC*, 2011).

En referencia a los costos de software propietarios, el costo del Mach3 es 175 USD («Price-Mach3», s. f.), mientras que el BobCAD-CAM tiene un costo que oscila entre US \$ 1.295,00 y US \$ 3.495,00 («Price BobCAD-CAM», s. f.).

Por su parte, el Linux CNC no tiene ningún costo asociado a su descarga. Asimismo, entre sus características se cuenta con la recepción de gCode

para generar la salida de control CNC a través del puerto paralelo DB-25 del computador; posee una interfaz gráfica sencilla, con trazado del recorrido y además, puede ser adaptado a sistemas de interfaz hombre-máquina (HMI) compactos y portátiles. Este es el software seleccionado para el control CNC, por ser software libre.

Una vez definido el software de diseño electrónico y el software para el control CNC, nos corresponde detallar el proceso seguido para el diseño del sistema de control. La comparación de software para el diseño mecánico y el proceso de diseño de las partes mecánicas se dejan fuera de este trabajo por razones de espacio y será publicado posteriormente.

### Desarrollo del Sistema de Control Electrónico

La tarjeta de control electrónico se encarga de recibir las señales provenientes del software de control CNC a través del puerto DB-25, y acondicionarlas para el funcionamiento de cada uno de los motores paso a paso que mueven los ejes de la máquina.

La tarjeta electrónica consta de las siguientes etapas:

#### Fuente de Alimentación

Suministra 18V regulados con una corriente máxima de 5A, para alimentar los motores de paso. A partir de este voltaje regulado se obtienen 5V para alimentar el circuito de control. El diagrama esquemático de la fuente de alimentación DC se puede observar en la Figura 5.

Figura 5. Esquemático de la Fuente de Alimentación DC



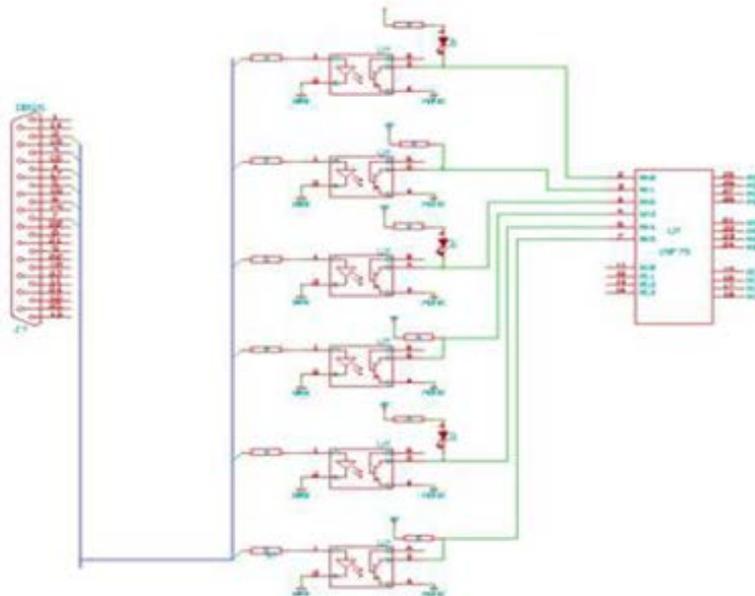
### A. Circuito de Control

Formado por un microcontrolador de la familia Microchip, el pic 16f76 que consta de 28 pines y tres puertos I/O. Este circuito recibe la señal de pulso y

dirección de movimiento de cada motor de paso. Estas señales son enviadas por el software de control CNC a través del puerto DB-25 y son acondicionadas mediante un conjunto de optoacoplado-

res transistorizados, que además sirven para aislar y proteger el computador del resto del circuito.

La Figura 6 muestra esta sección del diagrama esquemático de la tarjeta electrónica



Una vez que el microcontrolador ha recibido el pulso y dirección de movimiento de cada motor, genera la secuencia correspondiente según su posición actual y estas señales son enviadas a los circuitos manejadores de los motores de

paso, identificados como L293, los cuales consisten de un puente H.

Por otra parte, dentro del circuito de control se cuenta con suiches con los que es posible seleccionar la velocidad

de giro de los motores por separado y asimismo, se encuentra el circuito de seguridad formado por fines de carrera que limitan los desplazamientos máximos de cada eje de la máquina.

## Circuito Manejador de los Motores

Recibe la secuencia lógica y acondiciona en nivel y corriente las señales para lograr el movimiento de los motores. Cada fase de cada motor está protegida con un diodo de recuperación rápida para evitar daño al desenergizar

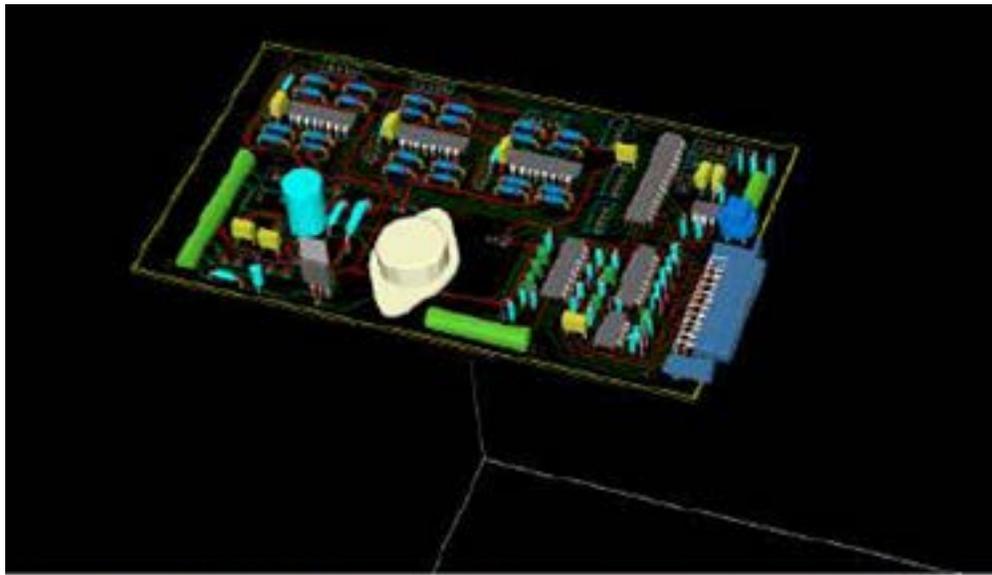
las bobinas.

Cabe destacar que la tarjeta electrónica diseñada tiene la capacidad de manejar motores de paso de hasta 1A de consumo cada uno.

No obstante, la tarjeta está provista de tres conectores a través de los cuales es

posible tomar la señal que controlan los manejadores para ser suministradas a una tarjeta electrónica adicional de mayor capacidad de corriente para el manejo de motores de paso más grandes, esto en el caso de la fabricación de máquinas de tres ejes de mayores dimensiones. La Figura 7 muestra una vista 3D de la tarjeta electrónica diseñada.

Figura 7. Prototipo de tarjeta electrónica desarrollada



## Conclusiones

El desarrollo y control de la máquina de tres ejes para la fabricación de PCB está basado totalmente en el uso de software libre, los cuales tienen prestaciones similares respecto a los software propietarios, teniendo como ventaja los primeros, la descarga y uso sin costo alguno.

En estos momentos la máquina se encuentra en la etapa de fabricación de las diversas piezas mecánicas que la conforman. Por lo que, una vez ensamblada

y cableada se debe probar la generación de gCode de gEDA para ser acoplado con el software de control Linux CNC en runtime. El sistema de control desarrollado puede ser adaptado a otras maquinarias como fresadoras y tornos CNC.

## Referencias bibliográficas

Bob CAD-CAM. (2012). EUA: Bob-CAD-CAM. Recuperado a partir de [www.bobcad.com](http://www.bobcad.com)

Eagle - PCB. (2011). EUA: CADSOFT. Recuperado a partir de <http://www.cadsoft.de>

Enhance Machine Controller - EMC. (2011). Recuperado a partir de <http://www.linuxcnc.org/content/view/11/10/lang,english/gEDA>. (2011). Recuperado a partir de <http://www.geda-project.org> gEDA-gCode. (2010, septiembre 29). Recuperado a partir de <http://pcb.geda-project.org/news.html>

ISO. (1982). ISO 6983-1:1982 Nume-

rical control of machines --Program format and definition of address words -- Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems. Recuperado a partir de [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=13540](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=13540)

*KiCad EDA Software Suite.* (2012). Recuperado a partir de <http://www.kicad-pcb.org>

*Mach3.* (2012). EUA: Newfangled Solutions LLC. Recuperado a partir de <http://www.machsupport.com>

Price BobCAD-CAM. (s. f.). Recuperado a partir de <http://www.bobcad.com/products>

Price-Mach3. (s. f.). Recuperado a partir de <http://www.machsupport.com/purchase.php>

Prices- Eagle. (2011). Recuperado a partir de <http://www.cadsoftusa.com/shop/pricing/?language=en#usd>

Prices-Proteus. (s. f.). Recuperado a partir de <http://www.labcenter.com/ordering/cprices.cfm>

*Proteus PCB.* (2011). England: Labcenter Electronics Ltd. Recuperado a partir de <http://www.labcenter.com>

Ucamco. (2012, enero). Extended Gerber Format Specification. Recuperado a partir de [http://www.ucamco.com/Portals/0/Documents/Ucamco/RS-74X\\_Extended\\_Gerber\\_Format\\_Specification\\_201201.pdf](http://www.ucamco.com/Portals/0/Documents/Ucamco/RS-74X_Extended_Gerber_Format_Specification_201201.pdf).