

MESA DE POSICIONAMIENTO X & Y, PARA MÚLTIPLES PROPÓSITOS

DARÍO JOSÉ HERNÁNDEZ BOLÍVAR



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2009

MESA DE POSICIONAMIENTO X & Y, PARA MÚLTIPLES PROPÓSITOS

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

DIRECTOR

INGENIERO ELECTRICISTA, JUAN CARLOS VILLAMIZAR

AUTOR

DARÍO JOSÉ HERNÁNDEZ BOLÍVAR

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2009

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 16 de diciembre de 2009

*Quiero dedicar este trabajo a toda mi familia; en especial a mis padres y mis hermanos que, aunque algunos de ellos se encuentran lejos, los llevo siempre en mi corazón.
A Mònica, que me ha dado su apoyo y cariño.*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Pedro José Hernández y Sixta Tulia Bolívar, que me han motivado a nunca darme por vencido, seguir adelante y superarme para así lograr las metas trazadas. Con su amor incondicional, ternura, firmeza y esfuerzo en cada uno de los pasos de mi vida han hecho de mí una persona capaz y honrada. A ellos debo todas y cada una de las cualidades que haya logrado obtener, así como el buen término de este proyecto.

A Juan Carlos Villamizar, que más que un director de proyecto lo considero mi amigo; a pesar de todas las adversidades que se presentaron siempre ha creído en mí. Ha sido un apoyo fundamental para llevar a buen término mi tesis; apoyo que no tiene precio y que nunca olvidaré.

A Jorge Eliecer Vergara López y Ludwig Cazas Mena, trabajadores de la zona de mantenimiento de la Universidad, que muy amablemente me acogieron en su taller, me enseñaron a usar los equipos de la mejor manera y me ayudaron cuanto pudieron. También aportaron valiosas críticas constructivas en lo referente al hardware del proyecto.

Deseo agradecer por último pero no menos importante, a mis compañeros de universidad que de una u otra manera aportaron conceptos que me ayudaron a ir avanzando en mi tesis; quiero resaltar el nombre de Holger Andrés Becerra Daza quien me dio valiosos aportes en instrucción sobre el software que maneja este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. TIPOS DE MESA POSICIONADORA.	20
2.1.1. Trazo.	20
2.1.2. Corte.	22
2.1. SOFTWARE DE PC.	29
2.1.1. Corel Draw X3.	30
2.1.2. Visual Basic 6.0.	30
2.2. INTERFAZ ELECTRÓNICA.	31
2.2.1. Cable conversor USB-a-Serial.	31
2.2.2. PIC 16F877A.	32
2.2.3. TTL 74LS125.	36
2.2.4. TIP 41.	36
2.2.5. Sensores Ópticos.	38
2.2.6. Sensores de final de carrera.	38
2.3. PARTE ELÉCTRICA.	39
2.3.1. Motores Paso A Paso.	39
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO	47
3.1. SOFTWARE DE PC.	49
3.1.1. Uso de Corel Draw X3.	49

Continuación Tabla de contenido	Pág.
3.1.2. Desarrollo del programa en Visual Basic 6.0.	57
3.2. SOFTWARE DE LA TARJETA PRINCIPAL.	68
3.3. SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL.	74
3.3.1. Tarjeta principal (o motherboard).	75
3.3.2. Tarjeta de control de motores Paso a Paso.	78
3.3.3. Tarjeta de codificación que recibe la información de los sensores.	85
3.3.4. Tarjeta para aislar el actuador final.	86
3.3.5. Tarjeta reguladora y divisora de tensión.	87
3.3.6. Tarjetas de sensores de luz.	89
3.3.7. Tarjeta de control del actuador.	89
3.4. SISTEMA MECÁNICO.	91
3.4.1. Piezas del sistema mecánico.	93
3.4.2. Análisis mecánico del sistema.	101
4. PRUEBAS REALIZADAS A LA MAQUINA	107
4.1. DESEMPEÑO DE LA MESA DE POSICIONAMIENTO “X” & “Y”.	108
4.2. RESTRICCIONES DE LA MÁQUINA.	108
4.3. FUTUROS DESARROLLOS.	109
4.4. EJEMPLOS DESARROLLADOS POR LA MÁQUINA.	110
5. CONCLUSIONES.	111
BIBLIOGRAFÍA	112

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01. Valores máximos del TIP 41.	37
Tabla 02. Características eléctricas del TIP 41.	37
Tabla 03. Instrucciones del formato HPGL.	56
Tabla 04. Protocolo de control y transmisión de los motores paso a paso.	84
Tabla 05. Extracto de la tabla de propiedades de correas Optibelt.	103

LISTA DE GRÀFICAS

	Pág.
Gráfica 01. Máquina de trazo y corte.	21
Gráfica 02. Comparación entre imagen de pantalla e impresión.	21
Gráfica 03. Corte por cuchilla.	22
Gráfica 04. Corte por plasma.	24
Gráfica 05. Mesa de corte por chorro de agua.	25
Gráfica 06. Mesa de corte láser.	26
Gráfica 07. Mesa de pirograbado plano.	28
Gráfica 08. Mesa de pirograbado de 3D.	28
Gráfica 09. Cable conversor USB-Serial.	32
Gráfica 10. Encapsulado y pines del PIC 16F877.	33
Gráfica 11. Diagrama de bloques del PIC 16F877.	35
Gráfica 12. Diagrama de conexiones y tabla de funciones del 74LS125.	36
Gráfica 13. Sensor óptico.	38
Gráfica 14. Final de carrera.	39
Gráfica 15. Rotor de motor Paso A Paso.	40
Gráfica 16. Estator del Motor Paso A Paso.	40
Gráfica 17. Motores Paso A Paso.	41
Gráfica 18. Tipos de paso.	42
Gráfica 19. Esquema interno motor PAP bipolar.	43
Gráfica 20. Funcionamiento de un PAP con un 74LS194.	44
Gráfica 21. Curva torque vs frecuencia de un motor paso a paso.	45
Gráfica 22. Elementos del proyecto.	46
Gráfica 23. Diagrama de bloques 01, Etapas del proyecto.	47

Continuación Gráficas	Pág.
Gráfica 24. Diagrama de bloques 02, Diseño en PLT y software de control.	47
Gráfica 25. Diagrama de bloques 03, comunicación, interfaz y control.	48
Gráfica 26. Diagrama de bloques 04, Hardware eléctrico y mecánico.	48
Gráfica 27. Dibujo correspondiente a las instrucciones anteriores en PLT.	50
Gráfica 28. Smile predeterminado de Corel Draw.	51
Gráfica 29. Imágenes predeterminadas de Corel Draw no reconocibles.	52
Gráfica 30. Tipo de archivo que debe guardar Corel Draw.	53
Gráfica 31. Parámetros de pluma de formato HPGL.	54
Gráfica 32. Parámetros de avanzado de formato HPGL.	54
Gráfica 33. Controles principales para el desarrollo del programa.	57
Gráfica 34. Como visualiza el llamado de un archivo.	58
Gráfica 35. Propiedades del MSComm.	59
Gráfica 36. Recta de tiempo Vs posición.	60
Gráfica 37. Controles intrínsecos.	60
Gráfica 38. Rectas en $f(x)$ y en $f(y)$.	63
Gráfica 39. Diagrama de flujo 1.	64
Gráfica 40. Pantallazo inicial del programa.	66
Gráfica 41. Pantallazo de transmisión.	68
Gráfica 42. Diagrama de Flujo 2.	70
Gráfica 43. Diagrama de flujo 3.	72
Gráfica 44. Diagrama de flujo 4.	73
Gráfica 45. Ejemplo de PCB.	75
Gráfica 46. Simulación de la etapa de transmisión de la motherboard.	76
Gráfica 47. Tarjeta principal. Diseño PCB.	77

Continuación Gráficas	Pág.
Gráfica 48. Tarjeta Principal. Foto.	78
Gráfica 49. Circuito de prueba de control del motor PAP con el 74LS125.	79
Gráfica 50. Resultado de simulación del circuito anterior.	80
Gráfica 51. Cálculos para resistencia de base.	81
Gráfica 52. Cálculo corriente que pasa por el TTL.	82
Gráfica 53. Tarjeta de control, motor PAP. Diseño PCB.	83
Gráfica 54. Tarjeta de control, motor PAP. Foto.	83
Gráfica 55. Esquemático de recepción de datos de sensores.	85
Gráfica 56. Tarjeta de control de sensores. PCB.	86
Gráfica 57. Tarjeta de control de sensores. Foto.	86
Gráfica 58. Tarjeta de control de actuador. PCB.	87
Gráfica 59. Tarjeta de control de actuador. Foto.	87
Gráfica 60. Tarjeta reguladora/ estabilizadora de tensión. PCB.	88
Gráfica 61. Tarjeta reguladora/ estabilizadora de tensión. foto.	88
Gráfica 62. Tarjeta de sensor infrarrojo. PCB.	89
Gráfica 63. Tarjeta de sensor infrarrojo. Foto.	89
Gráfica 64. Engranajes que obtienen desplazamiento lineal.	90
Gráfica 65. Base de la mesa de posicionamiento.	93
Gráfica 66. Soporte de bases y de desplazamiento.	94
Gráfica 67. Piñón grande de 36 dientes.	95
Gráfica 68. Piñón pequeño de 12 dientes.	95
Gráfica 69. Soporte para motores paso a paso.	96
Gráfica 70. Soporte para motor eje "X".	97
Gráfica 71. Soporte de eje "X".	98
Gráfica 72. Varillas de acero inoxidable.	99
Gráfica 73. Soporte con rodamiento empotrado.	100

Continuación Gráficas	Pág.
Gráfica 74. Tensor de correa de tiempos.	100
Gráfica 75. Molde para acoplar dentadura de correa de tiempos.	104
Gráfica 76. Vista del molde sin la correa.	104
Gráfica 77. Pieza retirada del molde.	105
Gráfica 78. Pieza final, recortada y perforada.	105
Gráfica 79. Pieza montada en uno de los ejes de desplazamiento.	106

GLOSARIO

Interfaz. Dispositivo capaz de convertir las señales emitidas por un aparato, en señales comprensibles por otro.

C.N.C. (Control Numérico Computarizado, por sus siglas en español). Es un sistema capaz de controlar un proceso de máquina por medio de un software desarrollado para tal fin.

Láser (L.A.S.E.R. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, por sus siglas en inglés). Dispositivo electrónico que, basado en la emisión estimulada de radiación de las moléculas de gas que contiene, genera o amplifica un haz de luz monocromática y coherente de extraordinaria intensidad.

Plasma. El plasma es el cuarto estado de la materia y consiste en materiales a temperaturas elevadas al extremo; para el corte con plasma esto significa elevar la temperatura a más de 30.000°C.

PIC. (Peripheral Interface Controller, por sus siglas en inglés) Son una familia de microcontroladores con instrucciones reducidas (RISC).

Cuchilla. Es un método de corte utilizado por las máquinas de C.N.C. normalmente es larga y posee un mínimo posible de grosor.

PLT. (Plotter Line Trace, por sus siglas en inglés). La extensión *.plt es usada en Corel Draw u otros programas para definir la trayectoria de el contorno de un gráfico.

Mecanizado. Someter cualquier proceso a una elaboración mecánica.

Encoder. Es un sensor usado para ubicar la posición en la que se encuentra un elemento giratorio (mayormente motores) existen encoder relativos y absolutos, siendo los absolutos los que dan una lectura exacta por cada posición de giro y los relativos los que cuentan desde un punto de origen de giro que puede no ser el mismo siempre.

Protocolo. Es un estándar que se establece para que se pueda establecer una guía, en este caso, de transmisión y recepción de datos. Con el fin de que no haya confusiones y sean correctamente interpretados.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

- TÍTULO:** MESA DE POSICIONAMIENTO X & Y, PARA MÚLTIPLES PROPÓSITOS.
- AUTOR:** DARÍO JOSÉ HERNÁNDEZ BOLÍVAR.
- FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Electrónica y Administración, Escuela de Ingenierías.
- DIRECTOR:** JUAN CARLOS VILLAMIZAR.

RESUMEN

Este documento muestra los resultados del desarrollo de una mesa de posicionamiento X & Y; el diseño del software necesario para su funcionamiento, las simulaciones de sus procesos, análisis electrónico y mecánico para lograr el diseño más apropiado de la máquina. Para desarrollar el equipo que se va a montar en este proyecto se parte de un dibujo realizado en un programa de amplia aceptación y divulgación como lo es Corel Draw. Los dibujos se envían a través de un proceso que se llama ploteo, el cual toma los dibujos hechos en Corel y produce unos puntos significativos de este para que una máquina sea capaz de reproducir estos gráficos. Una vez los datos estén en formato PLT se debe realizar un programa en lenguaje de alto nivel para que sea capaz de interpretarlos, produzca una interpolación de los datos y se los envía a un PIC para que este mueva los motores muevan la cabeza de corte y se disparen los efectores finales para que se produzca el corte.

Con este propósito se puede reducir el costo de una máquina de este tipo para que sea accesible a pequeños y medianos empresarios.

Palabras clave— Interfaz, CNC, cuchilla, LASER, PLASMA, PLT, mecanizado, protocolo, mesa de posicionamiento.

OVERVIEW OF WORK DEGREE

- TITLE:** X & Y POSITIONING TABLE FOR MULTIPLE PURPOSES.
- AUTHOR:** DARÍO JOSÉ HERNÁNDEZ BOLÍVAR.
- FACULTY:** Faculty of Electronic Engineering and Administration,
Engineering School.
- DIRECTOR:** JUAN CARLOS VILLAMIZAR.

ABSTRACT

This document shows the results of developing a positioning table X & Y, the design of the software necessary for its operation, simulations of processes, electronic and mechanical analysis to achieve the most appropriate design of the machine. To develop the equipment to be mounted in this project part of a drawing made in a program of wide acceptance and dissemination as is Corel Draw. The drawings are sent through a process called plot, which takes the drawings in Corel and produces some significant points of this for a machine to be able to reproduce these graphs. Once the data is in PLT format has to make a program in high level language to be able to interpret them, produce an interpolation of the data and sends them to a PIC to move the engines that move the cutting head and skyrocketing end effectors to produce the cut.

With this purpose can reduce the cost of a machine of this type to be accessible to small and medium entrepreneurs.

Keywords— Interface, CNC, knife, laser, plasma, PLT, machining, protocol, positioning table.

INTRODUCCIÓN

Se crea una mesa de posicionamiento en los ejes “X” & “Y” capaz de recibir información de trazo, interpretarla y dibujarla sobre una superficie que permita el trazo de lapicero, tales como papel, cartón, cartulina, etc. La cabeza de la máquina está acondicionada para poderse modificar y colocar la herramienta que se necesite. Esto con el fin de entregar herramientas de trabajo que permitan la automatización de las empresas. La mesa de posicionamiento desarrollada en el proyecto se enfila a cumplir esta meta permitiendo su uso en diferentes ambientes tales como la industria textil, cueros, acrílicos, madera y vidrio entre otros. Lo que permite al empresario contar no solo con una herramienta que podrá pedir de acuerdo a sus requerimientos, sino con soporte técnico en el país que estará en disposición de asistir en cualquier tipo de necesidad que surja en torno a la máquina. Actualmente existen grandes expectativas e incertidumbre en cuanto a máquinas que sean capaces de graficar, plotear, imprimir, esculpir desde la comodidad de un computador y obtener el diseño de forma material. Lo anteriormente dicho, se logra gracias a los rápidos cambios de la tecnología actual, pues estos no permiten asimilarla en forma adecuada. También surgen cambios de orden económico y político los cuales en sociedades como la nuestra (países en desarrollo) inhiben el surgimiento de soluciones autóctonas o propias para nuestros problemas más fundamentales.

La capacidad de crear piezas o productos en línea, así como de trabajar con una interfaz amigable al usuario se hace cada vez más necesaria en las empresas, en miras a un mercado más competitivo; ya sea nacional o internacional. Debido a esto se debe buscar que estas empresas tengan una solución a la mano en el país.

Los equipos de manufactura en base a CNC (Control Numérico Computarizado) están a la vanguardia en tecnología para desarrollar de piezas precisas, pesadas y de gran producción. Sin embargo, no existe en Colombia una empresa que se dedique producir este tipo de equipos y suplir estas necesidades; las que existen en el mercado sólo realizan soporte técnico o ventas de las empresas de otros países.

Para poder producir este tipo de máquinas en Colombia es necesario dejar plenamente demostrado que se está en capacidad de hacer un equipo totalmente funcional. La mesa diseñada no está pensada para ser trabajada de inmediato en la industria, está pensada como prueba para la empresa que la desee adquirir, que el mecanismo se puede crear y adaptar a cualquier necesidad colocando en su actuador final desde un lapicero de trazo, hasta cabezas LASER, plasma, cuchillas de corte y chorro de agua.

Para desarrollar el equipo que se va a montar en este proyecto se parte de un dibujo realizado en un programa de amplia aceptación y divulgación como lo es Corel Draw. Los dibujos se envían a través de un proceso que se llama ploteo, el cual toma los dibujos hechos en Corel y produce unos puntos significativos de este para que una máquina sea capaz de reproducir estos gráficos.

Una vez los datos estén en formato PLT se debe realizar un programa en lenguaje de alto nivel para que sea capaz de interpretarlos, produzca una interpolación de los datos y se los envía a un PIC para que este mueva los motores muevan la cabeza de corte y se disparen los efectores finales para que se produzca el corte.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general.

Crear una máquina de control numérico para desplazamiento en el eje "X" & "Y" orientada a suplir las necesidades de equipos de automatización industrial en Colombia, que sea capaz de trazar o ejecutar corte con un archivo creado en formato PLT (Plotter Line Trace).

1.2. Objetivos específicos.

- a.** Crear un software capaz de identificar e interpretar archivos tipo *.PLT.
- b.** Encontrar una manera eficiente de transmitir los datos generados por el programa creado.
- c.** Incorporar partes mecánicas, electrónicas, de software y eléctricas necesarias en un mecanismo funcional que realice movimientos en un plano "X" & "Y".
- d.** Consolidar una empresa capaz de vender mesas de posicionamiento a un precio competitivo que pueda suministrar el respaldo en soporte técnico y consecución de piezas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. TIPOS DE MESA POSICIONADORA.

En general cualquier máquina que automatice el trabajo desarrollado por máquinas operadas de manera mecánica se puede llamar una máquina de C.N.C. (Control Numérico Computarizado).

Pero una mesa de posicionamiento se diferencia en el hecho de que no es un mecanismo móvil articulado, es decir, un brazo robot que se usa en la pintura automatizada de los automóviles en el punto de fábrica es una máquina C.N.C. pero no una mesa de posicionamiento. Las mesas de posicionamiento se usan en diferentes áreas, mas que todo en trazo, corte y pirograbado (engraving). Se va a hablar de cada una de estas tres y se profundizará un poco en cada una de ellas.

2.1.1. Trazo.

Las máquinas de trazo son muy usadas en la industria textil y en la de zapatería, también fueron usadas ampliamente para realizar impresión de planos arquitectónicos para Ingenieros civiles y arquitectos pero ha sido desplazado por plotter de desplazamiento lateral tipo impresora.

La máquina de trazo de la gráfica 01 tiene la capacidad de adaptar plumillas de corte para pasar de ser trazo a corte, además estaba en capacidad de realizar mapas. Hoy en día, pese a la antigüedad de la máquina es usada como una herramienta de muy alta precisión por su trazo.

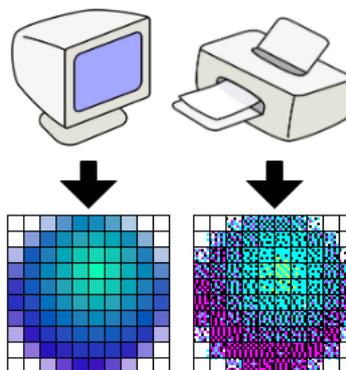
Gráfica 01. Máquina de trazo y corte.



Fuente: http://www.hablandodesigs.com/wordpress/wp-content/uploads/2007/02/fed3_1.JPG

La precisión de una impresora está dada en una medida llamada *PPP* que significa puntos por pulgada (*dpi* dots per inch por sus siglas en inglés). Una buena calidad de una impresora láser suele ser de 1200ppp lo que quiere decir pasándolo a la unidad métrica $1200p * 1\text{mm}/25,4\text{mm} = 47,24$ puntos por milímetro. Esto es necesario en los equipos de impresión a color, ya que necesitan imprimir una combinación de colores base para dar la apariencia del color visualizado en la pantalla del computador, por lo que necesitan muchos más puntos de impresión por píxel (gráfica 02).

Gráfica 02. Comparación entre imagen de pantalla e impresión.



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Ppp>. Figura 1

Una mesa de posicionamiento no necesita más de una línea. Las mesas planas están diseñadas para utilizar un componente en un área determinada para aplicaciones muy específicas. El trazo en la industria textil se usa para hacer los moldes de patronaje que se van a cortar sobre una capa de telas, normalmente, antes de introducir el *.PLT al software de trazo este pasó por el software que ubica el molde a cortar de la manera mas óptima posible respetando el trazo de la tela¹ y la orientación de desplazamiento.

2.1.2. Corte.

Las mesas posicionadoras utilizadas para corte son una de las aplicaciones mas comunes que existen en la actualidad. Estas se derivan en varios tipos entre los cuales se tienen: corte por LASER, plasma, chorro de agua y con cuchilla.

Corte por cuchilla.

Aunque el corte con cuchilla puede sonar como el más rudimentario de los anteriores, en realidad es el más complejo de los cuatro en cuanto a la mesa se refiere.

Gráfica 03. Corte por cuchilla.



Fuente: <http://www.interempresas.net/FotosArtProductos/P43395.jpg>

¹ Al hacer referencia al trazo de la tela se habla de la dirección de la hebra y/o del estampado; por optimizar el uso de un corte de tela no se puede trazar un corte de manera aleatoria, este debe seguir un trazo predeterminado por el software de optimización.

Cuando se realiza un corte con cuchilla hay que determinar la profundidad del corte, la velocidad con la que sube y baja la herramienta, utilizar sensores de presión muy rápidos para determinar la fuerza aplicada al componente para que no se mueva, el cabezal de la máquina debe tener un eje rotativo de 360 grados completamente libres y de muy alta precisión y altísima velocidad para que cuando el software detecte el sentido del corte y le indique los pasos a seguir la máquina esté en condiciones de hacerlo acorde a la velocidad esperada sin ningún tipo de desfase entre datos y ejecución más que el predeterminado, además es fundamental estar sacándole filo a la cuchilla y esto lo hace el cabezal con unas bandas utilizadas para tal fin, entonces entra a jugar otro factor, el grosor de la cuchilla que va quedando, el grosor del objeto cortado así como de la maleabilidad del compuesto a cortar, forma de soportarlo y velocidad de corte.

Si todo lo anterior no se tiene en cuenta o cualquiera de estos factores no están acordes a lo detectado por los sensores, o inducido en los parámetros del corte obtendremos una cuchilla partida y una pieza de tela averiada la mayoría de los casos. Lo más delicado de esto es que puede parar una producción y como esta no solo se determina por la máquina sino por la línea de proceso desde la introducción de materia prima hasta ensamblaje y revisión final, cada hora se pueden perder millones de pesos por una equivocación en estos parámetros.

Corte con plasma.

Por el contrario el plasma es uno de los métodos más sencillos en cuanto a la mesa, ya que solo debe tenerse en cuenta un muy buen soporte para el cabezal donde está instalada la pistola de salida para que soporte la reacción causada por el encendido de la misma; además de la importancia de que una pieza tan peligrosa no vaya a desprenderse del equipo, ya que estos no están cubiertos la mayoría de las veces.

Gráfica 04. Corte por plasma.



Fuente: <http://www.reymanpress.com/img/plasma%20panoramica.jpg>

El plasma debe utilizarse en campo abierto o con un extractor (vacuum como lo describen en inglés) que se dirija a espacio abierto donde no haya personal que se pueda intoxicar. La razón de esto es que el plasma trabaja desprendiendo un vapor tóxico. El funcionamiento del plasma es básicamente pasar de estado sólido a gaseoso, mejor conocido como sublimación; para lograr esto debe elevar la temperatura a unos 50.000 grados centígrados y localizarla de manera puntual en el material a cortar; esta mesa es usada mayormente en el corte de metales.

Existen diferentes tipos de plasma, pero para hacer una recopilación corta están los que son capaces de efectuar un corte de precisión sin crear bordes derretidos y los que porque no alcanzan las temperaturas deseadas o simplemente no son capaces de lograr una concentración adecuada derriten las piezas por donde hacen el corte. Los equipos de corte que dejan bordes derretidos se han ido quedando atrás porque cada día es más asequible un puntero de plasma de buena calidad.

Mesa de corte por chorro de agua.

Tienen una característica muy importante a tener en cuenta, necesitan de un área de trabajo muy grande y no por la mesa en sí, sino por el carrotanque que contiene el agua. Estos equipos exigen de la mesa, más que un trabajo mecánico muy complejo, un sistema de seguridad de muy alto nivel. Normalmente se usan unas tiras plásticas como puerta por donde se introduce el material que se va a cortar, la razón de estas tiras plásticas es ubicar sensores de presión y movimiento en las mismas que detecten contacto con la intención de proteger al operario que esté manipulando la máquina e introduciendo el material a cortar. Estos sensores no son configurables en nivel de sensibilidad ni se pueden desactivar por el usuario.

Es uno de los métodos de corte mas eficiente y con mejores características al no dejar residuos en la pieza cortada, ser de fácil limpieza y de tener una gran variedad de materiales que puede trabajar sin necesidad de variar en nada los componentes internos utilizados.

Gráfica 05. Mesa de corte por chorro de agua.



Fuente: <http://www.interempresas.net/FotosArtProductos/P42946.jpg>

También utilizan un sistema de decantado especial, ya que un simple recipiente donde fuese acumulando el agua y los residuos para luego eliminarlos no es suficiente. Hay que tener en cuenta que el chorro de agua alcanza velocidades de hasta 3 veces la velocidad del sonido, si este material se une a un abrasivo es capaz de perforar los materiales mas fuertes y de alta densidad tales como vidrios blindados.

Mesa de corte láser.

Esta mesa es muy exigente en la calibración, sobretodo cuando el láser no se encuentra ubicado en el cabezal de la máquina. Existen principalmente dos tipos de láser usado en una mesa láser comercial, uno es el láser que viene sellado con refrigeración por medio de varios cooler (ventiladores como los de las fuentes para computador) y el otro es un de CO₂ que usa un líquido refrigerante en climas cálidos y en climas fríos (y cuando no se usa por tiempo prolongado) usa agua normal para mantener una temperatura adecuada.

Gráfica 06. Mesa de corte láser.



Fuente: http://images01.olx.com.mx/ui/2/61/11/24326011_10.jpg

Ahora se verán las ventajas y desventajas de cada uno:

El equipo de corte que viene sellado tiene gran precisión y no necesita lentes de alta capacidad de concentración, también puede hacer cortes profundos sin desviarse, por último no necesita refrigeración externa, ya que los cooler incorporados lo hacen independiente. La desventaja fundamental radica en que normalmente se usa colocándose en el cabezal directamente, lo que hace que el equipo necesite un motor de un torque muy alto y una base de desplazamiento igualmente robusta; estas dos cosas incrementan considerablemente los costos, al igual que el láser mismo que es 20 o 30 veces más costoso.

El equipo láser de corte que no viene sellado viene en un tubo de vidrio que contiene otro tubo por dentro y un espiral igualmente de vidrio entre ambos tubos. Por este espiral se conduce el refrigerante y/o agua. Este tubo tiene dependencia de una bomba de agua inmersa en un recipiente que esté lleno del líquido usado así como tiene el defecto de tener una concentración puntual mucho menor y por lo tanto una desviación mucho mayor en objetos con profundidad.

Por esta razón es usado casi exclusivamente en la industria textil por lo que una tela no ofrece una gran profundidad y puede ser cortada rápidamente sin que se deteriore, además posee una cualidad para esta industria, su coste es muy bajo, un tubo láser de 60Watts puede costar alrededor de un millón y medio de pesos y puede otorgarnos un promedio de 1200 a 1500 horas de uso efectivo.

Pirograbado láser. Este tipo de máquina requiere de un proceso mucho más concienzudo tanto por el programa como de parte de la mesa. Existen básicamente dos tipos de pirograbado, una de ellos es la de pirograbado en alto relieve y otro el de superficie plana.

Gráfica 07. Mesa de pirograbado plano.



Fuente: http://www.goldenlaser.cc/Product/zjgxl_618_88.html

Para realizar una mesa en alto relieve se necesita tener una instalación adecuada, ya que el cabezal debe estar dispuesto con sensores de superficie y de presión si se quiere un trabajo exacto, y la base debe estar armada de sujetadores articulados que ayuden a fijar la pieza a trabajar. Una máquina de estas puede trabajar sin sensores, pero dependerá de que el operario mida y cuadre las cosas de manera manual, lo que quitaría parte del control de la máquina al C.N.C.

Gráfica 08. Mesa de pirograbado de 3D.



Fuente: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/cnc-milling-and-engraving-machine-362720.jpg

El de alto relieve tiene un eje adicional en la configuración, es decir, hasta ahora se ha hablado de ejes X, Y. para realizar un alto relieve debe tener ejes X, Y & Z. Esto hace más compleja aún la máquina, ya que mientras se va desplazando en el plano debe ir variando su altura y teniendo en cuenta el grosor de la broca o punta de pirograbado que esté usando para no afectar de manera indeseada el efecto final.

2.1. SOFTWARE DE PC.

El proyecto de la mesa de posicionamiento cuenta con varios software. En el computador se encuentran dos de ellos; el primero es con el cual se van a desarrollar las imágenes a trazar en la mesa y el segundo es el programa desarrollado para interpretar dicha imagen y enviarla a la máquina para que esta lo dibuje.

El programa elegido para desarrollar las imágenes es Corel Draw V.13, ya que es un programa ampliamente manejado y puede generar los archivos *.PLT¹. El formato PLT es el único tipo de formato que recibe el software desarrollado para el control de la máquina de CNC.

El otro software es uno desarrollado en Visual Basic 6.0. Diseñado especialmente para tomar un archivo *.PLT visualizarlo, desglosarlo, procesarlo, encriptarlo y enviarlo a la interfaz electrónica entre el computador y la parte electro-mecánica.

¹ Un archivo PLT (Plotter Line Trace por sus siglas en inglés) es usado por equipos C.N.C. para reconocer la trayectoria de la imagen a trazar por el cabezal de la máquina.

2.1.1. Corel Draw X3.

Corel Draw es una herramienta de diseño gráfico con un uso muy extendido en el mundo. Tiene la capacidad de crear, entre otros, archivos *.PLT que son los que se usan en este proyecto; a continuación se muestran los pasos a seguir para lograr un trazo que permita el código del software creado para controlar la máquina.

- 1) Al iniciar el programa se debe seleccionar nuevo para crear un nuevo diseño.
- 2) Se debe tener muy presente que el área máxima de trabajo de la máquina es de 35cm x 30cm, así que es aconsejable que el tamaño de la hoja guía se modifique a esta dimensión.
- 3) Siempre que se esté diseñando un archivo *.PLT se debe tener en cuenta que este consta de trazos, lo que quiere decir que una figura con relleno, colores y/o textura no va a pasar a este formato de manera adecuada.
- 4) Se deben emplear las herramientas de trazo, figuras de formas básicas y de símbolos como rectángulo, óvalo, pentágono, etc.

Al decir que manejan más de un trazo continuo en las mismas no solamente se hace referencia a los trazos continuos visibles, también a los que se generan en el código del formato *.PLT pero que no se ven en la imagen de trazo.

2.1.2. Visual Basic 6.0.

Visual Basic 6.0¹ es un lenguaje de programación sencillo de trabajar para el programador, es interactivo y fácil de usar para el usuario final. El digitador cuenta con herramientas que le permiten desarrollar un programa completo con menos

¹ Existe en la actualidad una nueva versión llamada Visual Basic .Net, sin embargo esta se puede aplicar mas bien en una futura versión de este programa en que se maneje el control de máquina por medio del Internet.

líneas de código y que puede dividir fácilmente cada etapa del programa con comandos creados para tal fin[1].

El usuario final tiene ante sí un programa que, si bien no necesita gran desarrollo en código para la interfaz gráfica (lo que evita que el peso del mismo sea mayor y su instalación se realice con menos problemas), puede llegar a ser muy transparente en su manejo por parte del usuario, con lo que la capacitación para operarlo puede llegar a ser hasta cierto punto, intuitiva.

2.2. INTERFAZ ELECTRÓNICA.

2.2.1. Cable conversor USB-a-Serial.

La primera etapa de la interfaz consta de un cable que transmita la información desde el PC; este dispositivo es el conversor USB a serial. El conversor usado es un Prolific PL-2303, Viene con un CD de instalación con los drivers necesarios para su funcionamiento. En el momento de que se instale este dispositivo comenzará a reconocer el periférico cada vez que se conecte como un puerto serial.

Es importante saber que su manejo será igual en cuanto a configuración y control por medio del programa que lo esté usando, pero hay algo muy importante a tener en cuenta; este dispositivo no utiliza niveles de voltaje RS-232, es decir, voltajes de +/-12v, este componente está diseñado para que su salida compatible con integrados desarrollados bajo el estándar TTL (Transistor Transistor Logic, por sus siglas en inglés) +5v.

Esto crea una gran ventaja a la hora de conectarlo a un PIC o cualquier otro componente electrónico que use estos niveles y maneje transmisión serial, ya que tendrá una conexión directa desde el TX del cable al RX del microcontrolador e igualmente del RX del cable al TX del PIC.

Gráfica 09. Cable conversor USB-Serial.



http://www.gns.shawbiz.ca/usb_rs232/1.jpg

2.2.2. PIC 16F877A.

Según Enrique mandado Pérez¹:

“Un microcontrolador es un circuito integrado digital monolítico que contiene todos los elementos de un procesador digital secuencial síncrono programable de arquitectura Harvard o Princeton (Von Neumann). Está especialmente orientado a tareas de control y comunicaciones, es toda la aplicación que se le da al microcontrolador en la mesa de posicionamiento; controlar motores, sensores e interrupciones y utiliza la propiedad que posee el PIC usado para transmitir y recibir información.

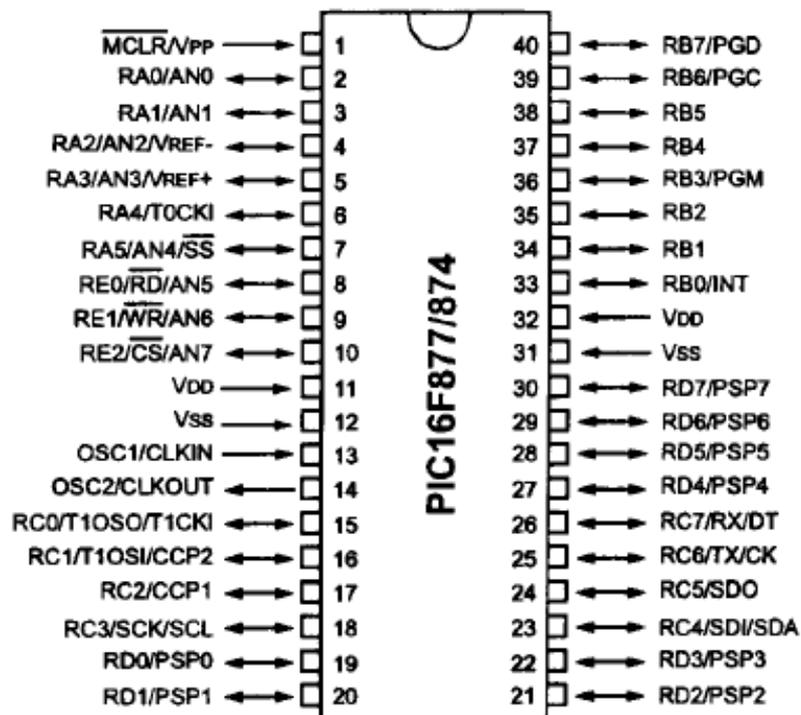
Este versátil componente de la empresa MicroChip technology Inc. Se selecciona para este proyecto por varias razones.

¹ PEREZ, Enrique Mandado. Microcontroladores PIC: sistema integrado para el auto aprendizaje. Madrid: Marcombo, 2007. P. 11.

- 1) Tiene una gran cantidad de puertos y dado que se calcularon en un principio, por lo menos 10 pines de salida, 8 de entrada y dos de comunicaciones, un componente que maneje varios puertos era lo primero a buscar.
- 2) Es un componente con el que el desarrollador del código se encuentra familiarizado.
- 3) Tiene un bajo costo.
- 4) Se tiene acceso a un programa diseñado para programar en C lo hace mucho mas cómodo de trabajar.

En la gráfica 10 podemos ver el empaquetado del PIC 16F877.

Gráfica 10. Encapsulado y pines del PIC 16F877.



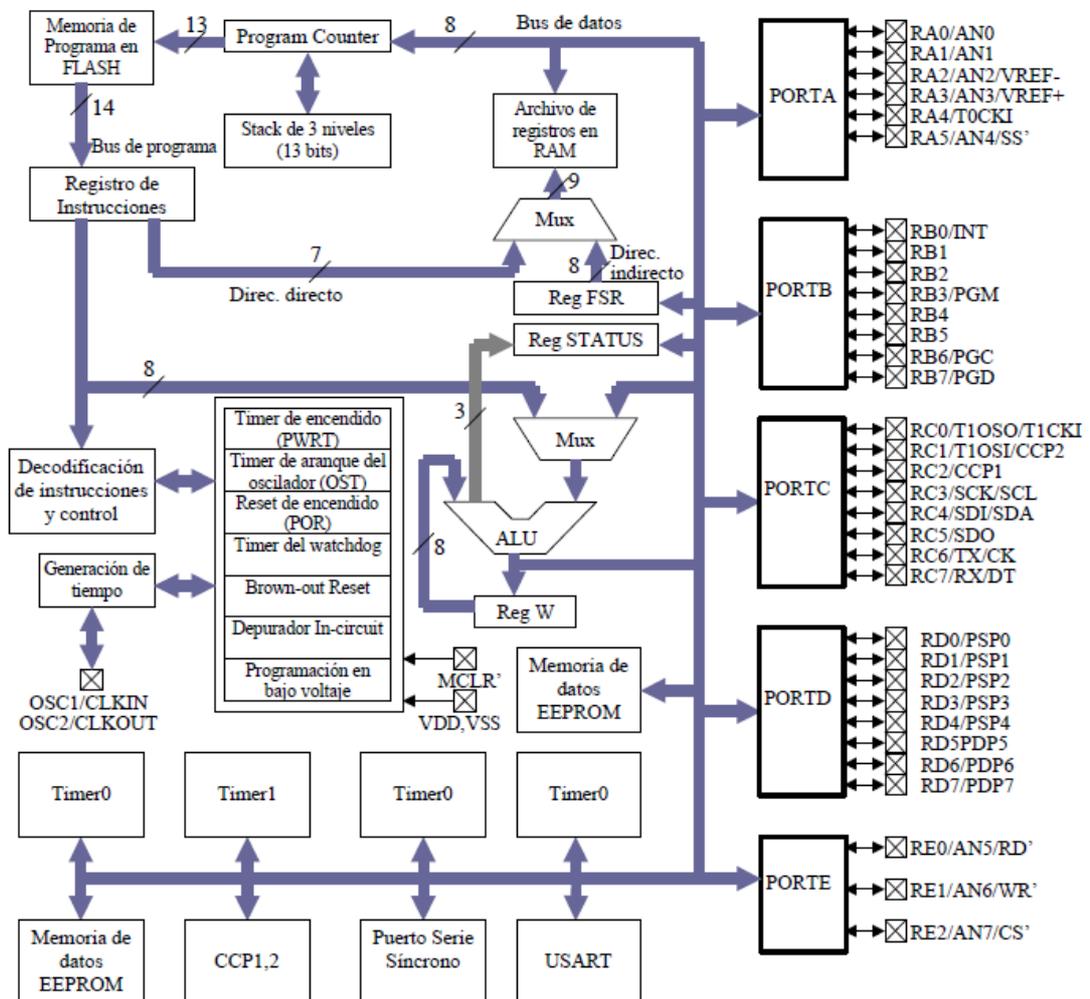
Fuente: PIC16F877.pdf

A continuación se presentan los datos más relevantes de este microcontrolador.

- CPU RISC
- Sólo 35 instrucciones que aprender cuando se programa en Assembler.
- Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo de reloj, excepto los saltos que requieren dos.
- Frecuencia de operación de 0 a 20 MHz (DC a 200 nseg de ciclo de instrucción).
- Hasta 8k x 14 bits de memoria Flash de programa.
- Hasta 368 bytes de memoria de datos (RAM).
- Hasta 256 bytes de memoria de datos EEPROM.
- Hasta 4 fuentes de interrupción.
- Stack de hardware de 8 niveles.
- Reset de encendido (POR).
- Timer de encendido (PWRT).
- Timer de arranque del oscilador (OST).
- Sistema de vigilancia Watchdog timer.
- Protección programable de código.
- Modo SEP de bajo consumo de energía.
- Opciones de selección del oscilador.
- Programación y depuración serie "In-Circuit" (ICSP) a través de dos pines.
- Lectura/escritura de la CPU a la memoria flash de programa.
- Rango de voltaje de operación de 2.0 a 5.5 volts.
- Alta disipación de corriente de la fuente: 25mA.

La gráfica 11 nos muestra el diagrama de bloque interno y la característica de los puertos.

Gráfica 11. Diagrama de bloques del PIC 16F877.



Fuente: PIC16F877.pdf

Descripción General del PIC16F877.

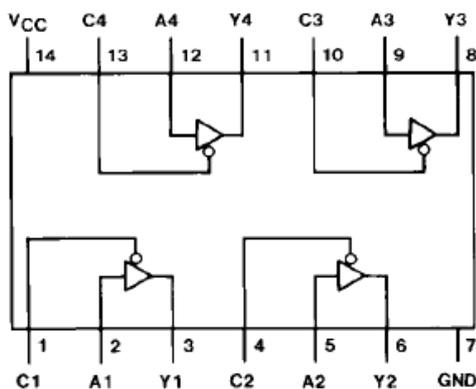
- Rangos de temperatura: Comercial, Industrial y Extendido.
- Bajo consumo de potencia:
- Menos de 0.6mA a 3V, 4 Mhz
- 20 μ A a 3V, 32 Khz
- Menos de 1 μ A corriente de standby.

2.2.3. TTL 74LS125.

Este componente contiene cuatro compuertas "YES" tres estados con el control negado, con lo que se manejan las cuatro bobinas de los motores. A continuación se muestra el empaquetado con diagrama esquemático explicado internamente y su tabla de funciones ó, lógica entrada-salida (Function Table):

Gráfica 12. Diagrama de conexiones y tabla de funciones del 74LS125.

Connection Diagram



Function Table

Y = A

Inputs		Output
A	C	Y
L	L	L
H	L	H
X	H	Hi-Z

H = HIGH Logic Level
 L = LOW Logic Level
 X = Either LOW or HIGH Logic Level
 Hi-Z = 3-STATE (Outputs are disabled)

Fuente: ¿???????

2.2.4. TIP 41.

El transistor NPN TIP41 es el componente que se va a utilizar para controlar los motores paso a paso debido a su bajo coste y a la corriente que pueden manejar. La fácil consecución de este componente es otro factor importante a la hora de elegirlo. Existen otros controladores muy buenos, integrados en un solo encapsulado, pero elevan el costo y en caso de daño pueden ser difíciles de encontrar.

La tabla 01 nos muestra los parámetros máximos del TIP41.

Tabla 01. Valores máximos del TIP 41.

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage: TIP41	40	V
	: TIP41A	60	V
	: TIP41B	80	V
	: TIP41C	100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage: TIP41	40	V
	: TIP41A	60	V
	: TIP41B	80	V
	: TIP41C	100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	6	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	10	A
I_B	Base Current	2	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	65	W
P_C	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	2	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

hgbfsg

Los valores máximos de trabajo así como las características eléctricas son fundamentales a la hora de utilizar los valores críticos de un componente.

Tabla 02. Características eléctricas del TIP 41.

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CEO(sus)}$	* Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 30\text{mA}, I_B = 0$	40		V
	: TIP41				
	: TIP41A				
	: TIP41B				
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = 60\text{V}, I_B = 0$		0.7	mA
	: TIP41/41A				
	: TIP41B/41C				
I_{CES}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 40\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = 60\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = 80\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = 100\text{V}, V_{EB} = 0$		400	μA
	: TIP41				
	: TIP41A				
	: TIP41B				
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$		1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 0.3\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 3\text{A}$	30	75	
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 6\text{A}, I_B = 600\text{mA}$		1.5	V
$V_{BE(sat)}$	* Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 6\text{A}$		2.0	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 10\text{V}, I_C = 500\text{mA}$	3.0		MHz

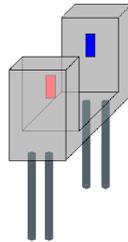
* Pulse Test: $PW \leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$

rgfdsgvdfbvrsf

2.2.5. Sensores Ópticos.

El sensor utilizado es un sensor óptico infrarrojo que tiene el emisor frente al receptor. El principio de funcionamiento de este sensor es básico; el emisor infrarrojo transmite un haz de luz y el receptor, al recibirla, activa el fototransistor lo que hace que permita el paso de corriente. Mientras el haz de luz no sea bloqueado estará activado el opto transistor, en el momento en que el haz se bloquee el opto transistor se desactivará y abrirá el circuito que controla.

Gráfica 13. Sensor óptico.



Fuente: autor.

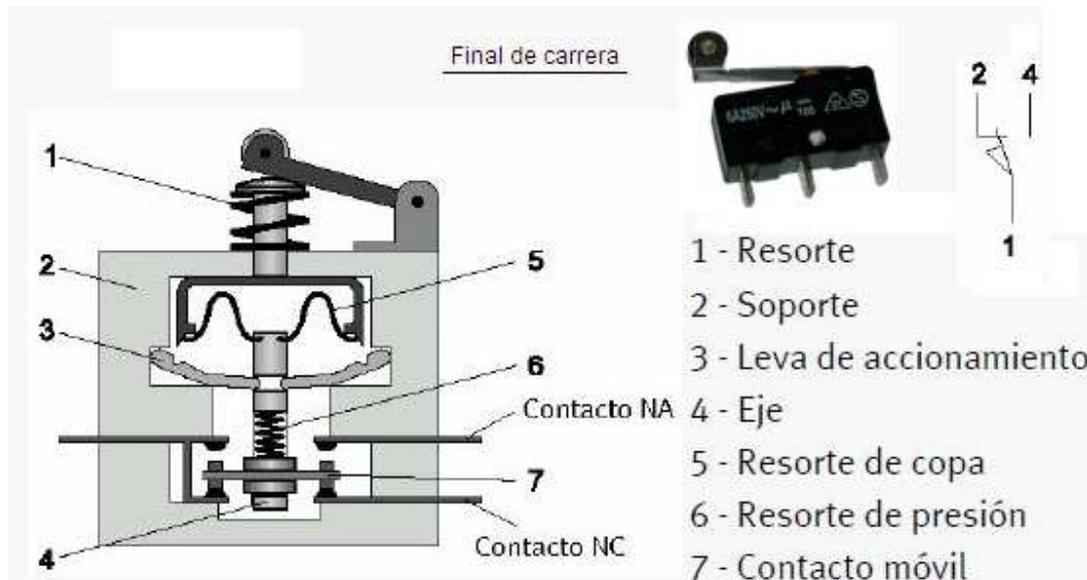
2.2.6. Sensores de final de carrera.

Los sensores de final de carrera tienen un comportamiento puramente mecánico. Reaccionan ante el contacto físico de la pieza o superficie que choca contra la extensión móvil del mismo. La respuesta interna a este evento es un cambio de contacto entre los pines que van a la salida del mismo. Normalmente tienen un conector común, uno normalmente cerrado (N/C normally close) y uno normalmente abierto (N/O normally open).

Cuando no se presiona la extensión móvil externa, el pin común está internamente conectado con el normalmente cerrado, cuando es presionado el sistema mecánico interno reacciona y lo conmuta al normalmente abierto. Dado que es un comportamiento completamente mecánico y el contacto está aislado de lo que

causó su respuesta, este puede llevar la corriente y voltaje en ambas direcciones así como voltajes alternos y continuos.

Gráfica 14. Final de carrera.



Fuente: <http://sensoresdeproximidad.galeon.com/#carrera>

2.3. PARTE ELÉCTRICA.

2.3.1. Motores Paso A Paso.

Un moto paso a paso es una maquina que sirve principalmente como motor y pocos son los usos como generador. Tiene la ventaja de que su movimiento se hace por pasos o saltos y no se mueve de forma constante como las maquinas de corriente continua o de inducción. Este tipo de motor se emplea principalmente en el posicionamiento de máquinas herramientas, impresoras o robots. Sus partes son:

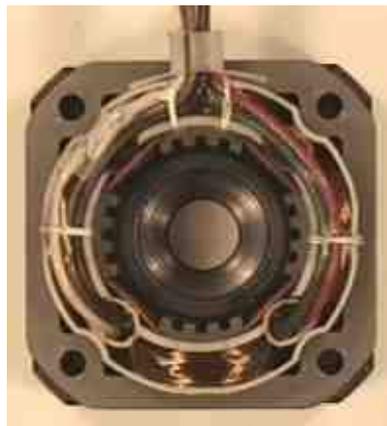
Gráfica 15. Rotor de motor Paso A Paso.



Fuente: <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

El rotor. Es la parte móvil o eje donde se conoce la carga, internamente está constituido de uno o varios imanes permanentes, o simplemente es un trozo de hierro o acero que se alinea de acuerdo en el campo producido en el estator.

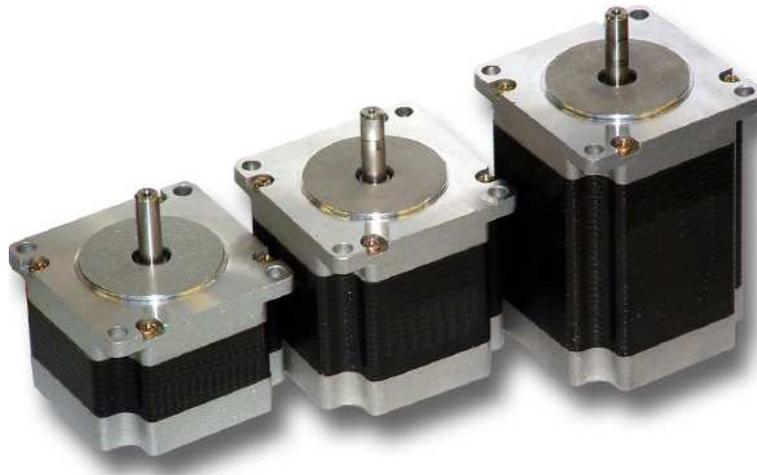
Gráfica 16. Estator del Motor Paso A Paso.



Fuente: <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

El estator. Es la parte fija del motor, normalmente está hecha en aluminio que sirve para sujetarlo y para servir de base al bobinado interno. Estos bobinados inducen campos encargados de generar los pasos del rotor.

Gráfica 17. Motores Paso A Paso.



Fuente: step motor PDF, Anaheim Automation

El motor paso a paso está compuesto de una carcasa de aluminio y en su interior se encuentra un círculo magnético como se ve en la gráfica 16. Cada una de los salientes se llama polo, y en cada uno de ellos se encuentra una bobina que se encarga de crear un flujo magnético y por la acción de los imanes repeler o acercar los del estator. El núcleo está construido de acero laminado para disminuir las pérdidas de Eddy e histéresis, su función principal es concentrar el flujo magnético.

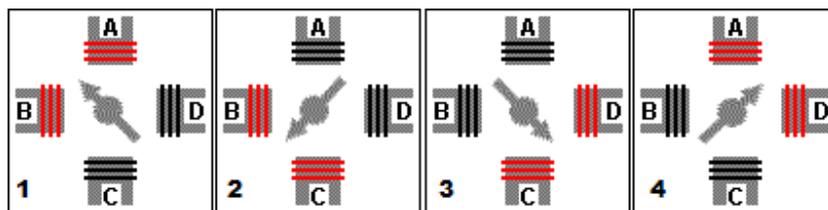
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

El motor paso a paso [2], es tal vez, el motor más sencillo de todas las máquinas eléctricas que se pueden construir y este ha revolucionado la industria electrónica, gracias a que es fácil de entender y los demás motores se pueden manejar con estos principios por medio de la electrónica en potencia. El principio de funcionamiento, se basa en la atracción y repulsión de imanes (los polos magnéticos de igual polaridad se repelen y los de diferente polaridad se atraen).

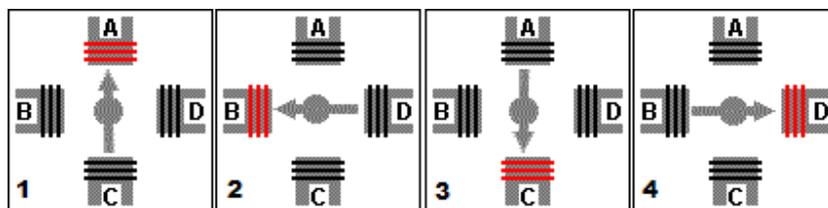
El rotor del motor está construido de imanes permanentes que tienen alternadas las polaridades N1, S2, N3, S4... como se muestra en la gráfica 15.

El estator (parte fija de la máquina) está construido de un material ferromagnético laminado y en él se encuentran enrollados unos conductores que al hacer pasar una corriente continua crean un campo magnético de polaridad constante N. Al haber esta polaridad la parte sur a del imán permanente es llevada hasta el polo energizado S1 (norte) y el eje del rotor se mueve un pequeño ángulo. Para hacer que gire otro paso se debe energizar la siguiente bobina por medio del interruptor S2, y si se desea que el motor gire en el sentido horario, se debe alimentar secuencialmente las bobinas S1, S2, S3, S4, S1... y en sentido antihorario se energizan las bobinas del estator de manera inversa, S4, S3, S2, S1, S4.

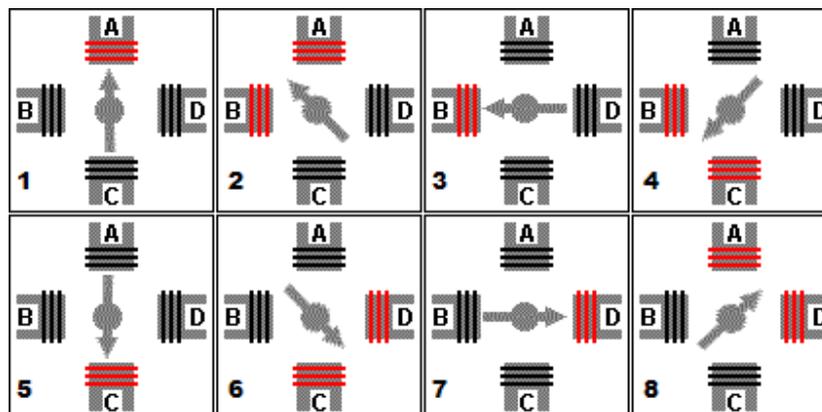
Gráfica 18. Tipos de paso.



Paso sencillo de alto torque.



Paso sencillo torque normal



Medio paso.

Fuente: <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

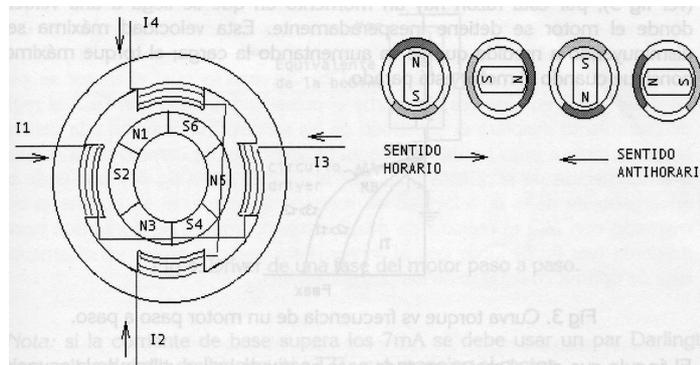
El número de pasos que debe hacer un motor para completar una vuelta completa depende del número de pasos que hay en el rotor y en el estator y se expresa por la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{(N_r * N_s)}{2}$$

Donde N_r son los polos en el rotor y N_s son los polos en es estator.

De acuerdo a la forma de energización de las bobinas se pueden tener motores paso a paso monopolares y bipolares (ver gráfica 19). En los motores monopolares se deben energizar las bobinas, de tal forma que solo se produzcan polos nortes en el estator, es decir, la corriente solo tiene un sentido de circulación y por tal razón se debe tener un terminal común puesto al terminal positivo de la fuente.

Gráfica 19. Esquema interno motor PAP bipolar.

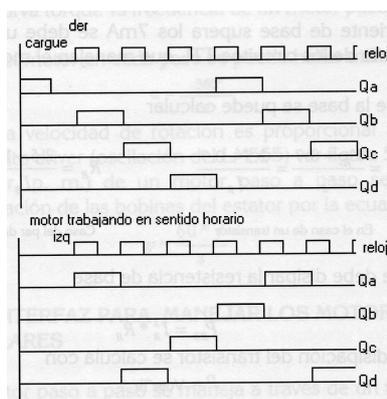


Fuente: Laboratorio de máquinas eléctricas, Juan Carlos Villamizar

En los motores bipolares la bobinas que están axialmente opuestas (en frente) se conectan entre si, de tal forma, que por donde entra la corriente se cree un polo norte y por donde sale se cree un su (Ver gráfica 19). El movimiento del motor en sentido horario se produce cuando se alimenta estator con la secuencia de corriente I1, I2, I3 y I4. Si se quiere invertir el sentido se debe alimentar el circuito con la secuencia de corriente I4, I3, I2 y I1. Como se puede deducir el motor

monopolar se puede manejar de forma sencilla con registros de corrimiento como lo es el 74LS194 y unos transistores como se ve en la gráfica 20.

Gráfica 20. Funcionamiento de un PAP con un 74LS194.



Fuente: Laboratorio de máquinas eléctricas, Juan Carlos Villamizar

En el comercio existen circuitos drivers para estos motores que tienen un desempeño mejor y no hay posibilidades de malos funcionamientos (no perder pasos por altos torques que necesitan la carga).

El motor paso a paso tiene un torque que es proporcional a la corriente que circula por las bobinas del estator y se puede expresar por la ecuación.

En el motor paso a paso es importante distinguir dos tipos de torque uno que se llama *torque de retención* que se debe básicamente al flujo remanente y la fuerza de los imanes permanentes del rotor que tienen el estator y el rotor. El *torque de detención* que es producido por la corriente que circula por el estator. Como se puede observar el torque de detención es más alto que el torque de retención. Estos torques son más altos en el motor bipolar que en el monopolar.

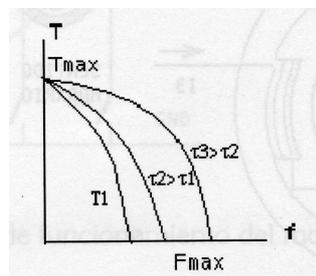
El ángulo que gira el motor en cada paso se puede hallar utilizando la ecuación:

$$\alpha = 360^\circ / z$$

donde z es el número de pasos del motor.

Los motores paso a paso tienen un gran problema, y es que, a medida que van aumentando la velocidad de rotación el torque disponible en la carga se reduce a (ver gráfica 21), por esta razón hay momentos que se llega a una velocidad donde el motor se detiene inesperadamente. Esta velocidad máxima se va disminuyendo a medida que se va aumentando la carga; el torque máximo se consigue cuando el motor está parado.

Gráfica 21. Curva torque vs frecuencia de un motor paso a paso.

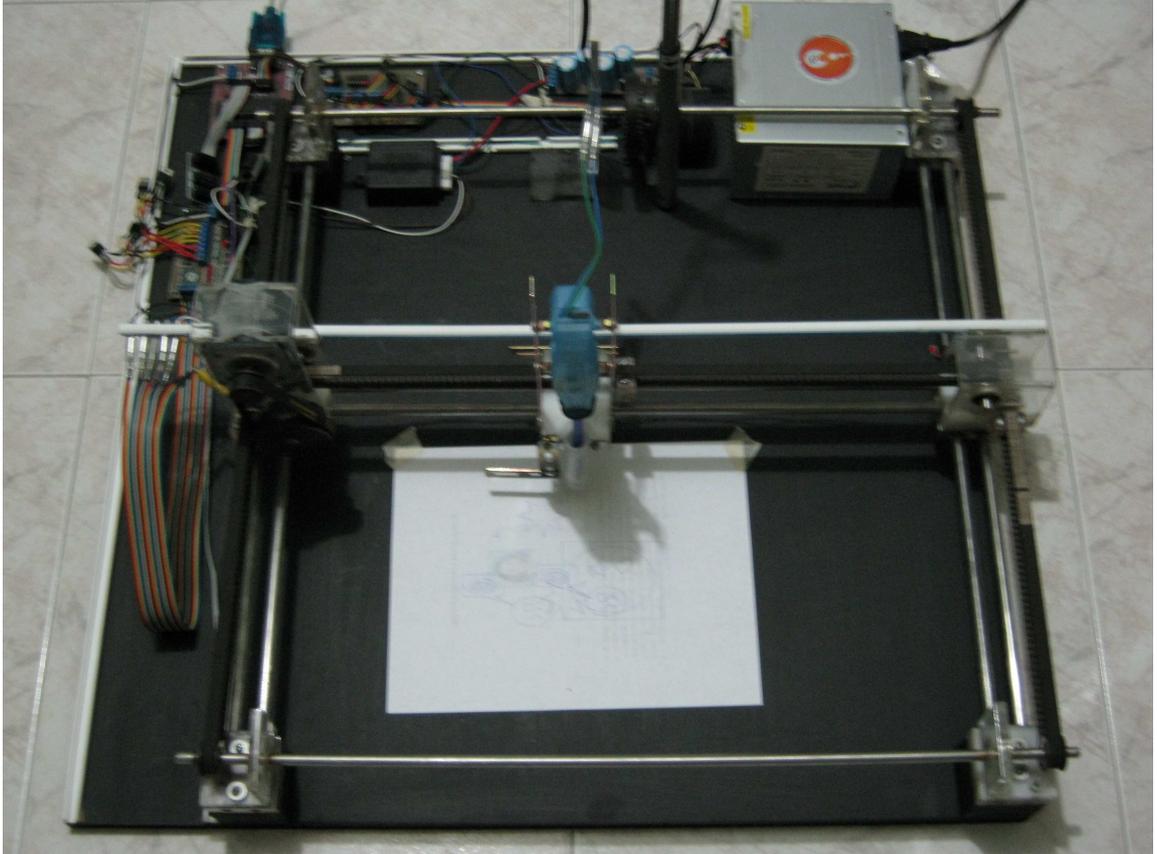


Fuente: Laboratorio de máquinas eléctricas, Juan Carlos Villamizar

Para todo motor la velocidad de rotación es proporcional a la frecuencia de oscilación del circuito driver. La velocidad (en r. p. m.) de un motor paso a paso se relaciona con la frecuencia de excitación de las bobinas del estator por la ecuación.

$$\eta = \frac{60 * f}{z}$$

Gráfica 22. Elementos del proyecto.



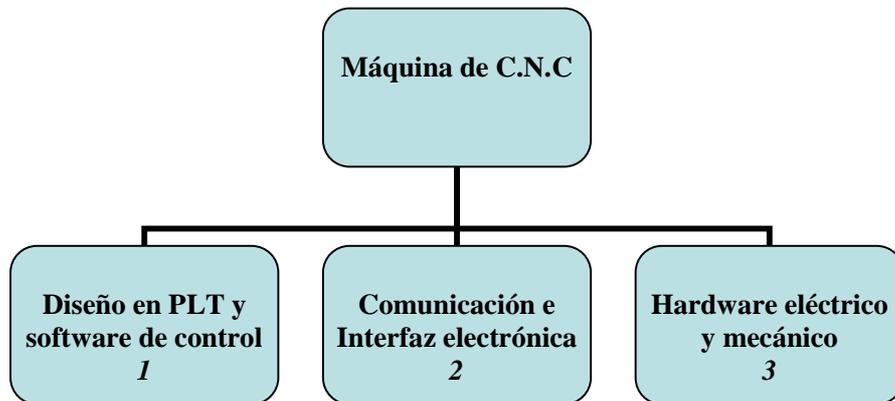
Fuente: autor.

La gráfica 22 nos muestra una foto de la máquina con todas las partes destapadas para que se pueda apreciar la parte del cableado e interconexiones de toda la parte electrónica de control que se ve en la parte superior izquierda de la misma. En la descripción del sistema de control y la de la parte mecánica se pueden ver todas las partes mas de cerca con su debida descripción.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

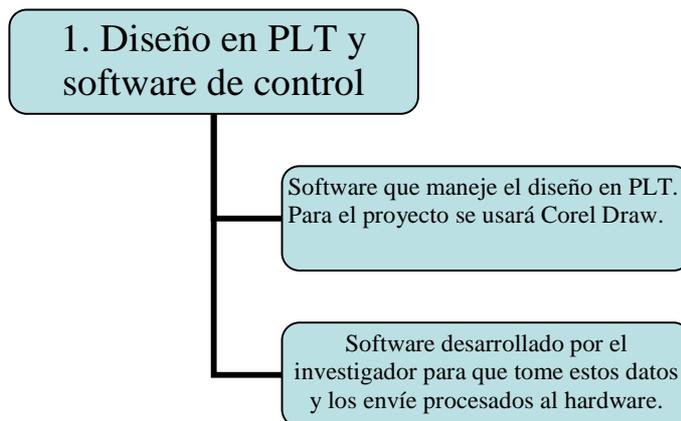
El diagrama de bloques 01 de la gráfica 23 muestra en cuantas partes está constituida la mesa de posicionamiento “X” & “Y”. los siguientes diagramas de bloques, 02, 03 y 04 muestran de manera desglosada como funciona cada parte.

Grafica 23. Diagrama de bloques 01, Etapas del proyecto.



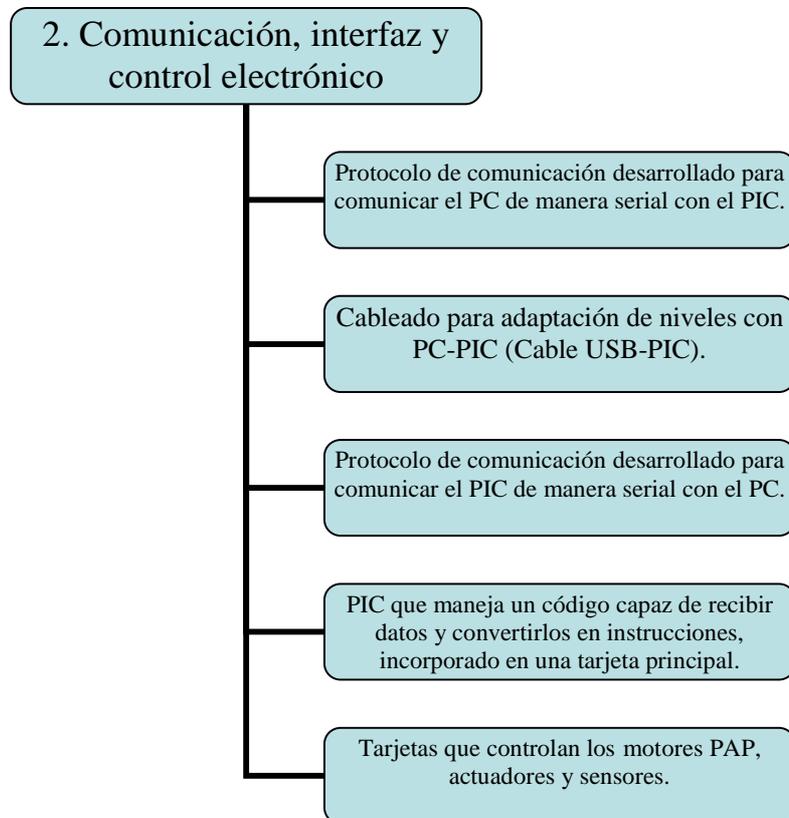
Fuente: autor.

Gráfica 24. Diagrama de bloques 02, Diseño en PLT y software de control.



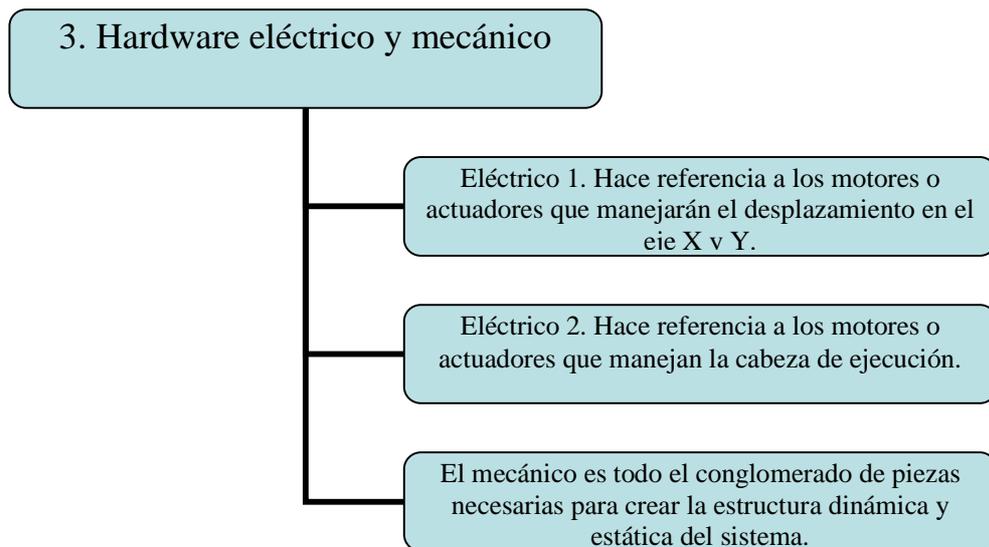
Fuente: autor del proyecto

Gráfica 25. Diagrama de bloques 03, comunicación, interfaz y control.



Fuente: autor del proyecto

Gráfica 26. Diagrama de bloques 04, Hardware eléctrico y mecánico.



Fuente: autor del proyecto

3.1. SOFTWARE DE PC.

3.1.1. Uso de Corel Draw X3.

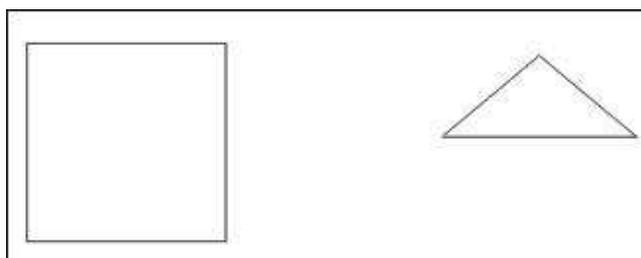
Se utiliza el programa Corel Draw X3, porque está en capacidad de generar archivos de extensión *.PLT. Este archivo posee la particularidad de ser, por lo general, el empleado en las máquinas de corte y trazo existentes en el mercado. Si dichas máquinas utilizan otras extensiones, rara vez lo hacen de manera exclusiva.

El archivo *.PLT puede ser leído en cualquier programa que lea un archivo tipo *.TXT tales como Notepad y como Wordpad. Al visualizarlos en un documento como este se ve de esta manera:

```
IN;  
VS32,1;  
VS32,2;  
VS32,3;  
VS32,4;  
VS32,5;  
VS32,6;  
VS32,7;  
VS32,8;  
WU0;  
PW0.100,1;  
PW0.349,2;  
PW0.349,3;  
PW0.349,4;  
PW0.349,5;  
PW0.349,6;
```

PW0.349,7;
PW0.349,8;
LT;
SP1;
PU-2187 4856;
PD-2036 4729;
PD-1885 4603;
PD-2489 4603;
PD-2338 4729;
PD-2187 4856;
LT;
SP1;
PU-3777 4277;
PD-3160 4277;
PD-3160 4894;
PD-3777 4894;
PD-3777 4277;
SP0;

Gráfica 27. Dibujo correspondiente a las instrucciones anteriores en PLT.



Fuente: autor.

Los valores de VS32,x; y PW0.349,x son valores estándar que tiene Corel Draw para iniciar la trama de datos cuando usamos plumilla fina y negra. LT; y SP1;

hacen referencia al inicio de uno de los gráficos del trazo (en el caso del ejemplo son dos gráficos por lo que se ven dos veces LT y SP1).

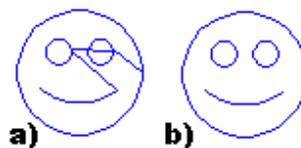
Una vez inicia tiene una instrucción junto a la coordenada inicial PU (Pencil Up, por sus siglas en inglés) que le indica al sistema que debe desactivar el actuador final. Cuando va a iniciar el trazo o mantenerse trazando la línea de instrucción empieza por PD (Pencil Down, por sus siglas en inglés) que indica que se debe activar el actuador final.

Cada línea de coordenada está precedida por PU ó PD, inmediatamente tiene una coordenada del eje "X", luego de un espacio tiene la coordenada del eje "Y" y finalmente un ";" (punto y coma)". Por último, en el archivo PLT generado se encuentra una línea, SP0; esta línea determina el final de la gráfica generada.

El programa está diseñado para realizar figuras básicas no complejas. Referente a estas figuras, existen algunas que son consideradas complejas, ya que manejan más de un trazo continuo en la misma. Dichas figuras no podrán ser incluidas en el trazo que se desea realizar, ya que el código que generan no es compatible con el que está preparado a leer el programa creado para interpretarlas.

Figura compleja: al observar el ejemplo de la gráfica 27 se puede ver que cada gráfico inicia con PU y luego todos son PD. Los gráficos llamados complejos tienen PU varias veces dentro de su trazo y el programa no está hecho para detectar dichos cambios de parámetro dentro de una misma figura.

Gráfica 28. Smile predeterminado de Corel Draw.

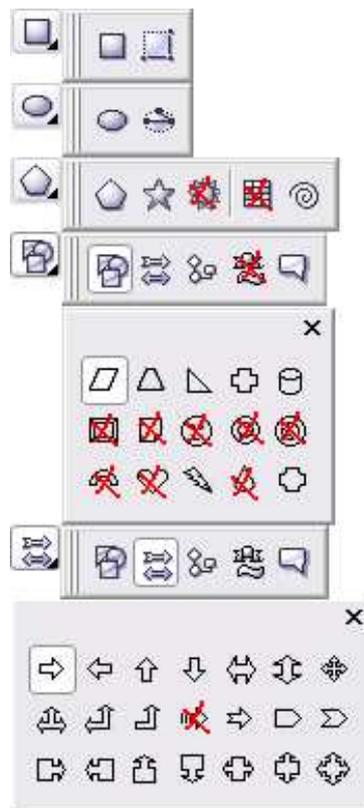


Fuente: autor.

Como se puede observar en la gráfica 28.a, la imagen obtenida en el trazo de la máquina no corresponde a la que se desea imprimir (gráfica 28.b) ya que los PU interiores del código no son reconocidos.

En la gráfica 29, se puede observar una serie de figuras que no trazará el programa. En algunos casos generará un error y en otros podrá trazar algo de la figura pero el resultado no será el deseado, dejando de trazar algunas líneas, o por el contrario, trazando más de las debidas. La gráfica 29 muestra una serie de imágenes complejas que el actual programa no está diseñado para leer.

Gráfica 29. Imágenes predeterminadas de Corel Draw no reconocibles.



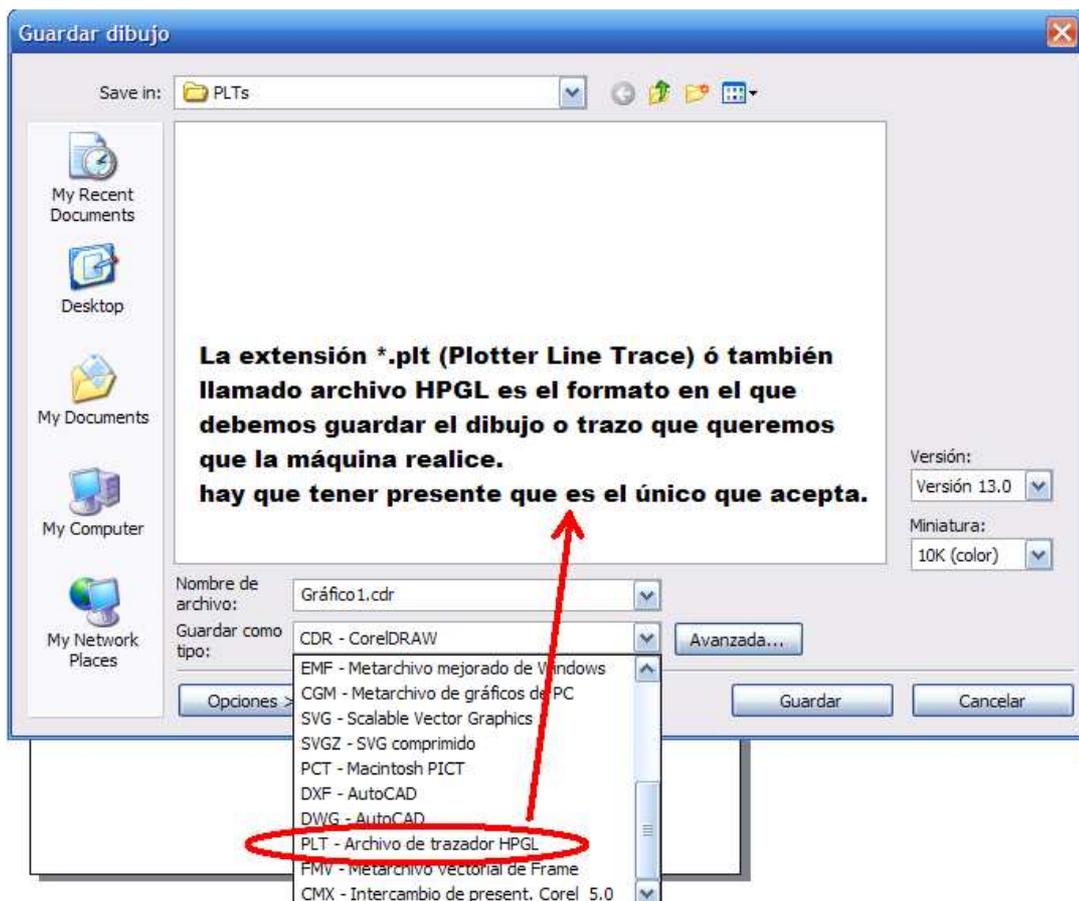
Fuente: autor.

Como guardar las imágenes después de realizadas?

Cuando se va a guardar la figura hay que tener en cuenta que una figura con relleno no forma parte de los tipos de imagen utilizados en un formato *.PLT por lo que esta no se almacenará y si lo hace no será un trazo definido, los colores, tramas y efectos tampoco forman parte de este estilo de formato utilizado para enviar imágenes a la mesa.

Al momento de guardar el archivo como un formato *.plt, el programa (Corel Draw) le va a preguntar unas características del mismo y se debe configurar como se muestra en la gráfica 31 y 32.

Gráfica 30. Tipo de archivo que debe guardar Corel Draw.

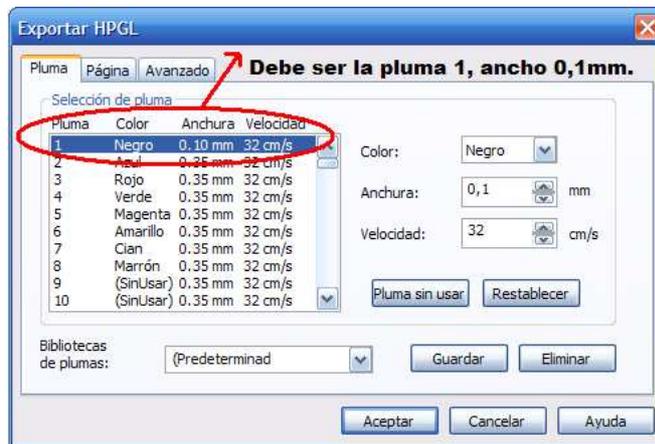


Fuente: autor.

Como se ve en la gráfico 30, la extensión predeterminada de Corel draw X3 es *.CDR (Corel DDraw), esta extensión debe ser modificada por una opción que da al guardar dibujo; en la parte inferior dice Guardar como tipo: en ese recuadro se abre el menú y se selecciona PLT - Archivo de trazador HPGL y se le da un nombre al trazo. Se le da guardar y nos mostrará otra pantalla.

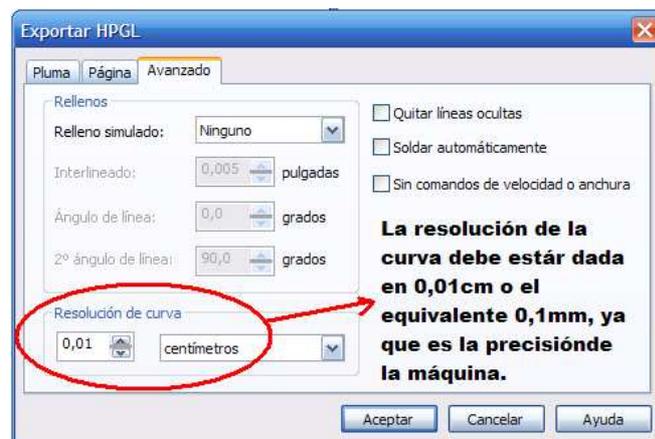
El segundo paso es el que garantiza la adecuada interpretación de la gráfica. En los pantallazos del gráfico 31 y del gráfico 32 se observan tres carpetas: Pluma, Página y Avanzado. Las carpetas que se deben configurar son Pluma y Avanzado.

Gráfica 31. Parámetros de pluma de formato HPGL.



Fuente: autor.

Gráfica 32. Parámetros de avanzado de formato HPGL.



Fuente: autor

Una vez se configure con estos parámetros el archivo está listo para guardarse. Cuando se tiene un archivo entregado por otra persona ajena a la que opera la máquina es importante revisar si estos parámetros se encuentran correctamente configurados, de lo contrario se podría observar errores en el trazo, sólo se necesita ubicar estos valores como corresponden y estará listo para trabajarse de manera adecuada.

El archivo PLT es un formato de impresión que se genera para que después lo procese el plotter. Los parámetros de plumillas, colores y otras configuraciones del trazo que se encuentran dentro del formato en que se guardó. Tiene desventajas como que normalmente no deja ver el trazo que se hizo, tampoco se deja modificar a menos claro que sea abierto en el programa en que se originó.

Los visores de PLT no son perfectos ya que algunas cosas del formato varían de un programa a otro, por lo que no mostrará exactamente lo que se realizó en algunos casos. En la tabla 03 se muestra la serie de de instrucciones estándar creadas para el formato PLT por el HPGL (Hewlett Packard Gfatic Language) es importante aclarar que no todos los programas capacitados para crear archivos en PLT usan todas las instrucciones.

Sin embargo existen constantes en estos archivos. Aparte de los ya mencionados que hablan del grosor del trazo y color, cada línea del código creado por el PLT debe terminar en punto y coma “;”.

Tabla 03. Instrucciones del formato HPGL.

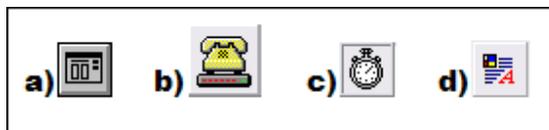
Instruction	Function
DF	Default Set Instruction
IN	Initialize Set Instruction
IP	Scaling point
SC	Scale
IW	Input window
RO	Rotate coordinate system
PG	Page output
PU	Pen Up
PD	Pen Down
PA	Plot Absolute
PR	Relative Coordinate Pen Move
AA	Absolute Arc Plot
AR	Relative Arc Plot
CI	Circle
EA	Edge Absolute Rectangle
ER	Edge Relative Rectangle
EW	Edge Wedge
RA	Fill Absolute Rectangle
RR	Fill Relative Rectangle
WG	Fill Wedge
FT	Fill Type
LT	Line Type
PW	Pen Width
SM	Symbol Mode
SP	Select Pen
TL	Tick Length
XT	X Tick
YT	Y Tick
PT	Pen Thickness
CS	Standard Set Definition
CA	Alternate Set Definition
SS	Select Standard Font
SA	Select Alternate Font
DT	Define Label Terminator
LB	Define Label
DI	Absolute Direction
DR	Relative Direction
CP	Character Plot
SI	Set Absolute Character Size
SR	Set Relative Character Size
SL	Set Character Slant
UC	User-defined Character
EscCRRO	Set HRC Off
EscCRRL	Set HRC to Light Level
EscCRRM	Set HRC to Medium Level
EscCRRD	Set HRC to Dark Level
EscCRI#R	Restore to User Settings
EscCRFD	Restore to Factory Settings

Fuente: HPGL.pdf

3.1.2. Desarrollo del programa en Visual Basic 6.0.

Uno de los pilares del proyecto se encuentra en el desarrollo de este programa. El lenguaje de programación Visual Basic 6.0 tiene, entre sus herramientas todo lo necesario para lograr pasar el archivo de trazo a un código y enviarlo por medio de transmisión serial. Los componentes más importantes utilizados en este programa son las siguientes:

Gráfica 33. Controles principales para el desarrollo del programa.



Fuente: autor.

Gráfica 33.a)  El **CommonDialog** está destinado para llamar un archivo desde cualquier parte del equipo. Abre un diálogo como el de la figura xxxx y se le configura para que ese archivo seleccionado de ese cuadro sea importado al programa realizado.

Gráfica 33.b)  El **MSComm** se usa para realizar la transmisión de datos por el puerto paralelo usando velocidades desde 50 hasta 28800 baudios¹. La configuración necesaria para el programa utilizado se puede ver en la figura xxx.

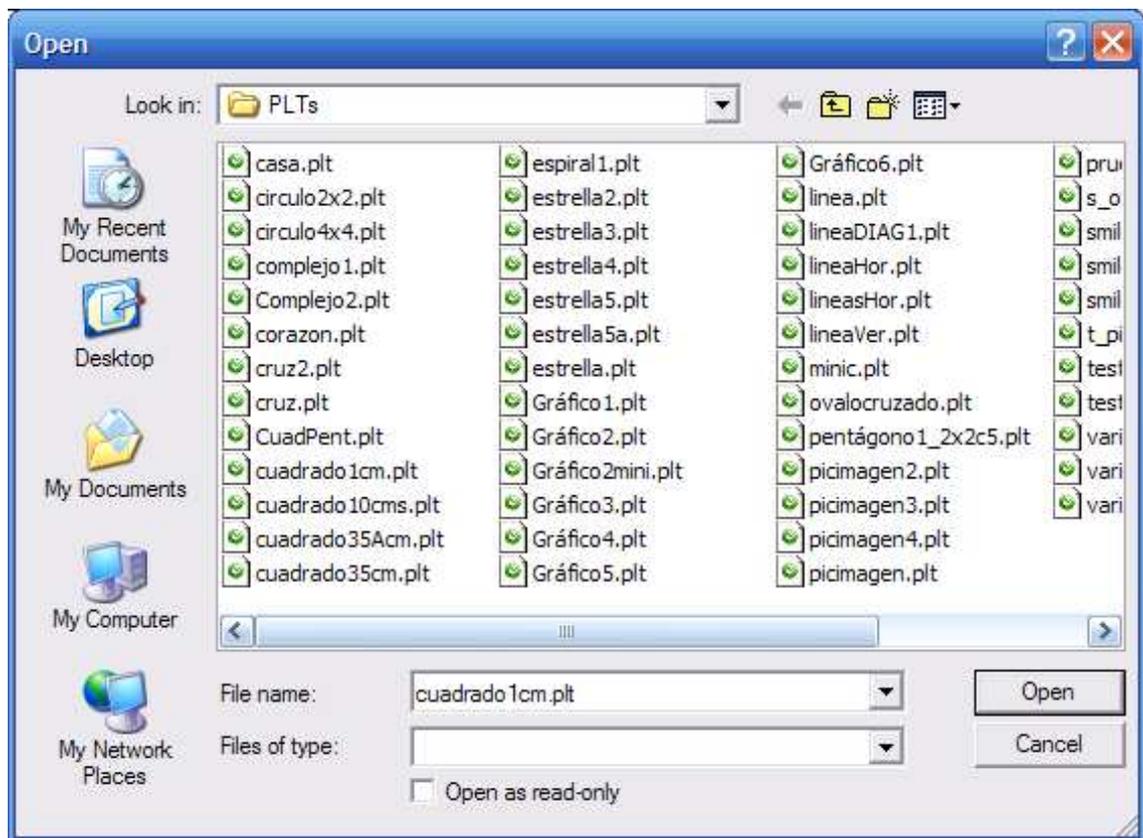
Existen dos parámetros que son configurables para el usuario final. Uno de ellos se encuentra en el MSComm y es el *CommPort*. Este contiene el puerto que se va a utilizar, la razón por la cual se deja para que el usuario final lo configure es que depende que puerto tenga disponible o previsto para tal fin. La transmisión

¹ Los baudios son una unidad de medida que hace referencia a la cantidad de bits por segundos que se transmiten por una línea de datos, el bit es un estado de voltaje en el que cero es 0Voltios y Uno corresponde a 5Voltios cuando se maneja con lógica ttl. Si son 9600baudios entonces quiere decir que se transmiten 9600 bits de datos en el transcurso de un segundo.

asíncrona es un tipo de comunicación que no necesita que el puerto que se esté usando esté habilitado como MODEM así que cualquier puerto USB del equipo nos puede servir.

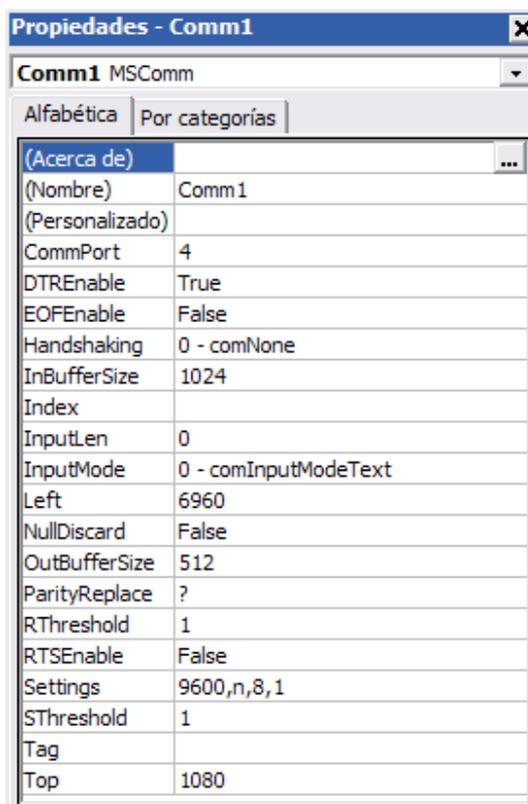
Es muy importante tener en cuenta que si el equipo posee un puerto serie, este no nos va a servir para la transmisión debido a que la tarjeta de control recibe datos Rx y transmite datos Tx en niveles lógicos TTL usados por el cable suministrado con la máquina. El driver del cable USB-SERIAL viene con el software del equipo.

Gráfica 34. Como visualiza el llamado de un archivo.



Fuente: autor.

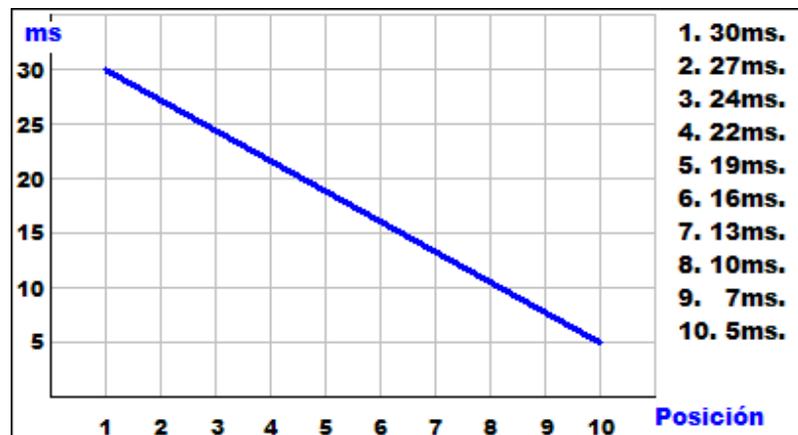
Gráfica 35. Propiedades del MScComm.



Fuente: autor.

Gráfica 33.c)  El **Timer** es el la subrutina que indica cada cuanto ejecutaremos el evento de envío de datos a la tarjeta principal. Este comando contiene el otro parámetro que será configurado de manera manual, el *Interval*. La diferencia con el anterior es que los valores no están dados de manera directa. Con esto se quiere decir que las velocidades a las que se puede graduar son de 1 a 10 siendo 1 la más lenta; además estas velocidades son representativas y adimensionales. El valor 1 representa un paso del motor cada 30ms, mientras que 10 representa un paso del motor cada 5ms. Los valores intermedios se sacan trazando la pendiente de la siguiente manera:

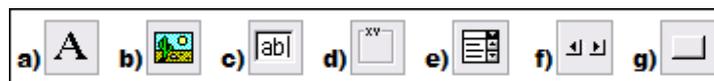
Gráfica 36. Recta de tiempo Vs posición.



Pasar de adimensional a un valor de distancia sobre tiempo se debe observar la parte mecánica que veremos mas adelante.

Gráfica 33.d)  El **RichTextBox** es un control que se usa en el programa por su facilidad para procesar los datos introducidos en el, direccionar los reglones, cuantificar el número de filas, dividirlos para trabajarlas de manera independiente. Todo lo anterior hace que sea el cuadro de texto ideal para abrir el archivo que se desea manipular.

Gráfica 37. Controles intrínsecos.



Fuente: autor

Gráfica 37.a)  El comando **Label** se usa cuando se quiere visualizar texto que no se puede modificar. Mas que todo es usado para indicadores y constantes del programa; en el programa de la mesa X & Y se usa para indicar si se encuentra abierto o cerrado el puerto de comunicaciones.

Gráfica 37.b)  Se usa el **PictureBox** cuando se va a manejar imágenes dentro de nuestro formulario. Es preferible usar el comando **Image** porque consume menos recursos¹. Sin embargo en el programa se usa PictureBox por futuras mejoras en el software, cada versión que se mejora podría incluir un cambio sustancial en el manejo de la imagen, llegando incluso a poder modificarla desde el mismo programa sin tener que salir a Corel y esto se puede trabajar en comandos como el usado. Es importante preveer esta posibilidad y dejar listo el sistema para hacer los cambios sin necesidad de cambiar el código de fondo del programa, sólo variar el de este comando.

Gráfica 37.c)  El comando **TextBox** se usa con fines únicamente de visualización, mostrándonos el índice de velocidad colocado.

Gráfica 37.d)  El objetivo principal de un **Frame** es utilizar controles de chequeo (o múltiple selección CheckBox) y de selección única (OptionButton), en este caso solo se utiliza para realzar lo que se está ejecutando en la transmisión, es decir, una casilla muestra lo enviado por el programa, otra lo recibido y un tercer control Frame muestra el puerto usado y si se encuentra abierto o cerrado.

Gráfica 37.e)  El ComboBox es manejado para introducir hasta cuatro puertos posibles a elegir en el programa, de manera que con solo dar click sobre uno de ellos al desplegarse el menú mostrado por el, no se tiene que hacer nada más dentro de los parámetros de configuración. Con esto se evita que al introducir el valor del puerto se haga de manera errónea y genere un error.

Gráfica 37.f)  El comando **HScrollBar** tiene una aplicación directa y sencilla en el programa, está programado para ir del número uno al diez de uno en uno y de no salirse de este intervalo. Esto se colocó de esta manera por la misma razón del

¹ Los controles que maneja Visual Basic 6.0. tienen diferentes aplicaciones, El PictureBox y el Image pueden ser, en principio el mismo, sin embargo, el control Image no puede contener otros controles y está sometido a otras limitaciones.

control anterior, entre más se evite introducir valores externos más pequeño será el factor de error por problemas ajenos al programa.

Gráfica 37.g)  El **CommandButton** es una herramienta usada en el programa para manejar todas las instrucciones y líneas de código necesarias para el procesamiento de la información que entra y también para el envío del código a la tarjeta principal.

También se usa para decidir si se desea salir del programa, enviar de nuevo la misma imagen y limpiar la pantalla de todos los datos para recibir una nueva imagen. El proceso necesario para llegar a los datos que se transmitirán se encuentra explicado en el diagrama de flujo 1. Como se procesa el archivo PLT se encuentra explicado en el mismo diagrama.

TRAZADO DE RECTAS

En el proceso se realiza una interpolación de cada recta dada por el vector obtenido. Para hallar como y cuanto se debían mover los motores se realizaron unas ecuaciones de la recta de la siguiente manera:

Ecuación de la recta en función de x:

$$f(x) = mx + b$$

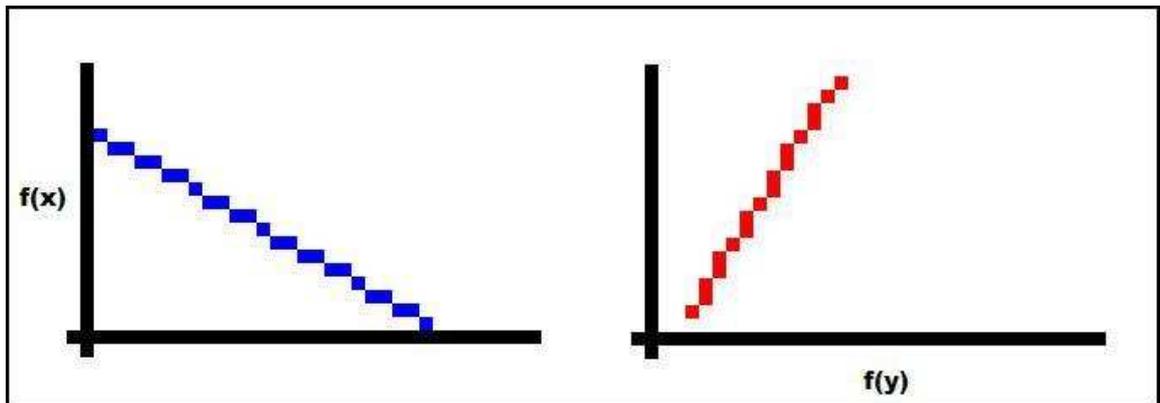
Ecuación de la recta en función de y:

$$F(y) = \frac{y - b}{m}$$

Como se recuerda de la materia en que se ve cálculo I [3], no puede haber dos valores de x en la ecuación de un trazo cuando estamos en función de x.

De tal manera que si ve que una de las rectas producidas tienen esta característica debemos trabajar en función de y.

Gráfica 38. Rectas en f(x) y en f(y).



Fuente: autor.

Como se ve en estas gráficas de ejemplo (gráfica 38) puede haber dos valores o mas de “y” iguales para una f(x), y dos valores o mas de “x” iguales para una f(y). Para detectar cual ecuación se usaría se hizo lo siguiente:

$$\Delta dX = \text{valor absoluto de } (X_{\text{final}} - X_{\text{inicial}})$$

$$\Delta dY = \text{valor absoluto de } (Y_{\text{final}} - Y_{\text{inicial}})$$

$$\text{Si } \Delta dX \geq \Delta dY$$

Entonces se usaba f(x)

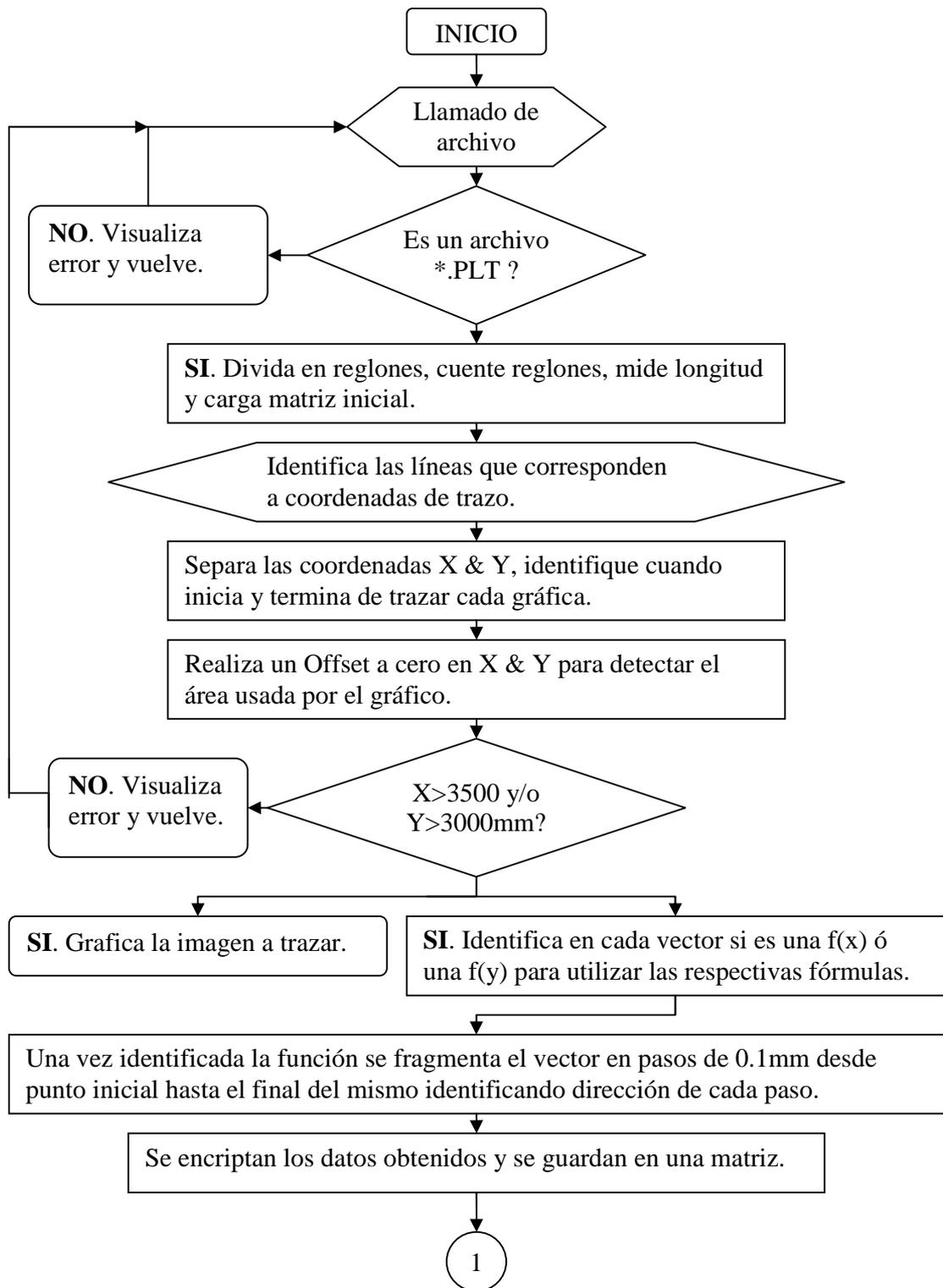
De lo contrario se usaba f(y)

Una vez se tiene esto claro se saca:

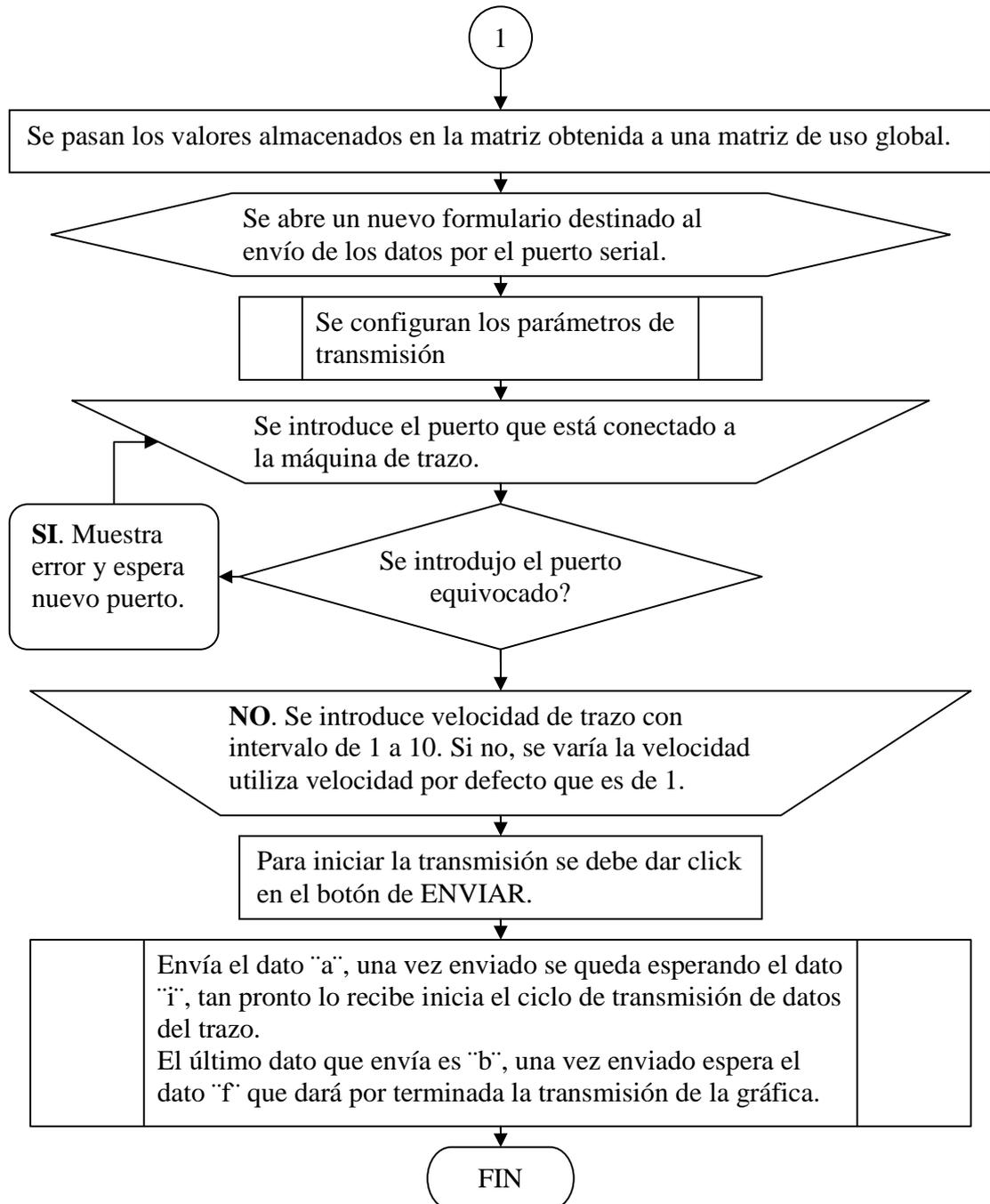
$$m = \Delta dY / \Delta dX$$

Se crea un bucle for con límites desde X_0 hasta X_F , se reemplaza cada uno de los valores de “X” en la ecuación y obtenemos el valor correspondiente de “Y”; el resultado de “Y” puede ser o no ser entero, por lo que lo acercamos al entero mas cercano.

Gráfica 39. Diagrama de flujo 1.



Continuación Diagrama de flujo 1.



Fuente: autor

Visualización del programa final.

El proceso descrito en el diagrama de flujo anterior conlleva a un programa que tiene una interacción con el usuario que se mostrará paso a paso a continuación.

Gráfica 40. Pantallazo inicial del programa.



Fuente: autor.

A continuación se hace una explicación detallada de cada uno de los componentes que tiene la imagen.

Manual de operación: aquí se podrá observar un manual que guiará al operario paso por paso en el manejo del software; explica para que sirve cada botón, que acción precede cada uno de ellos así como el efecto que tiene presionarlo. Acerca de: al dar click en este texto se despliega un cuadro que mostrará la información del diseñador, fecha de creación, una breve explicación de su nombre y los alcances y limitaciones del programa.

Ayuda: muestra un recuadro de las preguntas que puedan llegar a suscitarse durante el manejo del programa, solución a las mismas y muestra los diseños predefinidos que trae Corel Draw X3 que no se pueden manejar el programa.

Cargar archivo: este botón es utilizado para llamar los archivos de extensión *.PLT que se vayan a graficar. Si ya se ha cargado una imagen previamente se debe dar click en el botón de borrar archivo.

Iniciar la transmisión del trazo: Con este botón se llama la subrutina con la que se inicia la transmisión de los datos encriptados a la tarjeta principal; si no tiene ningún dato a transmitir el botón de transmisión estará deshabilitado, para prevenir un proceso erróneo.

Borrar archivo: este botón no se encuentra deshabilitado en ningún momento, ya que si hay un archivo presente lo deja todo elimina y vuelve todas las matrices a cero y si no tiene nada presente simplemente no ejecuta ninguna acción.

Salir: cuando se le da click a este botón mostrará una advertencia diciendo que vamos a salir del programa y pregunta si se desea salir, si se le hace click en no, simplemente no ejecuta ninguna acción, si se le hace click en si, saldrá completamente del programa.

El rectángulo en blanco: este contenedor de texto mostrará el código que despliega una figura en formato *.PLT cuando es abierta en formato *.PLT.

El cuadrado: este contenedor de imágenes visualizará la figura que abre el programa sólo si es un archivo tipo *.PLT y si está dentro del tamaño predefinido. Ahora viene la segunda parte del programa; ya se dijo que cuando se le da click en el botón de *enviar la transmisión del trazo*, este abre una subrutina, este es el aspecto que presenta (gráfica 41):

Gráfica 41. Pantallazo de transmisión.



Fuente: autor.

3.2. SOFTWARE DE LA TARJETA PRINCIPAL.

Este software fue desarrollado en el programa PIC C Compiler¹ para el PIC 16F877, este programa proporciona la comodidad del entorno en lenguaje C lo

¹ Este programa tiene un entorno muy parecido a Visual C con características tales como el cambio de color de texto dependiendo de su aplicación, por ejemplo, si es azul es una instrucción, si es negro es parámetros

que hace mucho mas fácil el trabajo del programador en comparación al lenguaje assembler¹, que es el normalmente usado.

El programa desarrollado es básicamente enfocado en la recepción y transmisión de datos, así como en la manipulación de los motores paso a paso que utiliza la mesa de posicionamiento y los sensores que determinan su puesta a cero en el origen de plano de coordenadas.

La interrupción generada por la transmisión está dada de igual manera en una transmisión asíncrona, ya que esta no envía una trama que indique el inicio de transmisión o cuantos caracteres se van a mandar u otro parámetro necesario para poder realizar una transmisión serial síncrono. El envío de la trama de datos solo posee un bit de inicio y uno de parada, con lo que el receptor, en este caso el Microcontrolador, debe estar previamente configurado para recibir la información sabiendo cuantos bits serán enviados por trama, así como si utiliza paridad y si la utiliza saber si es paridad par o impar, también debe saber la velocidad de transmisión que para el programa realizado es de 9600baudios.

El programa realizado en el microcontrolador no puede ser mostrado de manera continua debido a lo hablado sobre ejecución debido a interrupciones. Por esta razón se muestra un diagrama de flujo dividido en las siguientes partes:

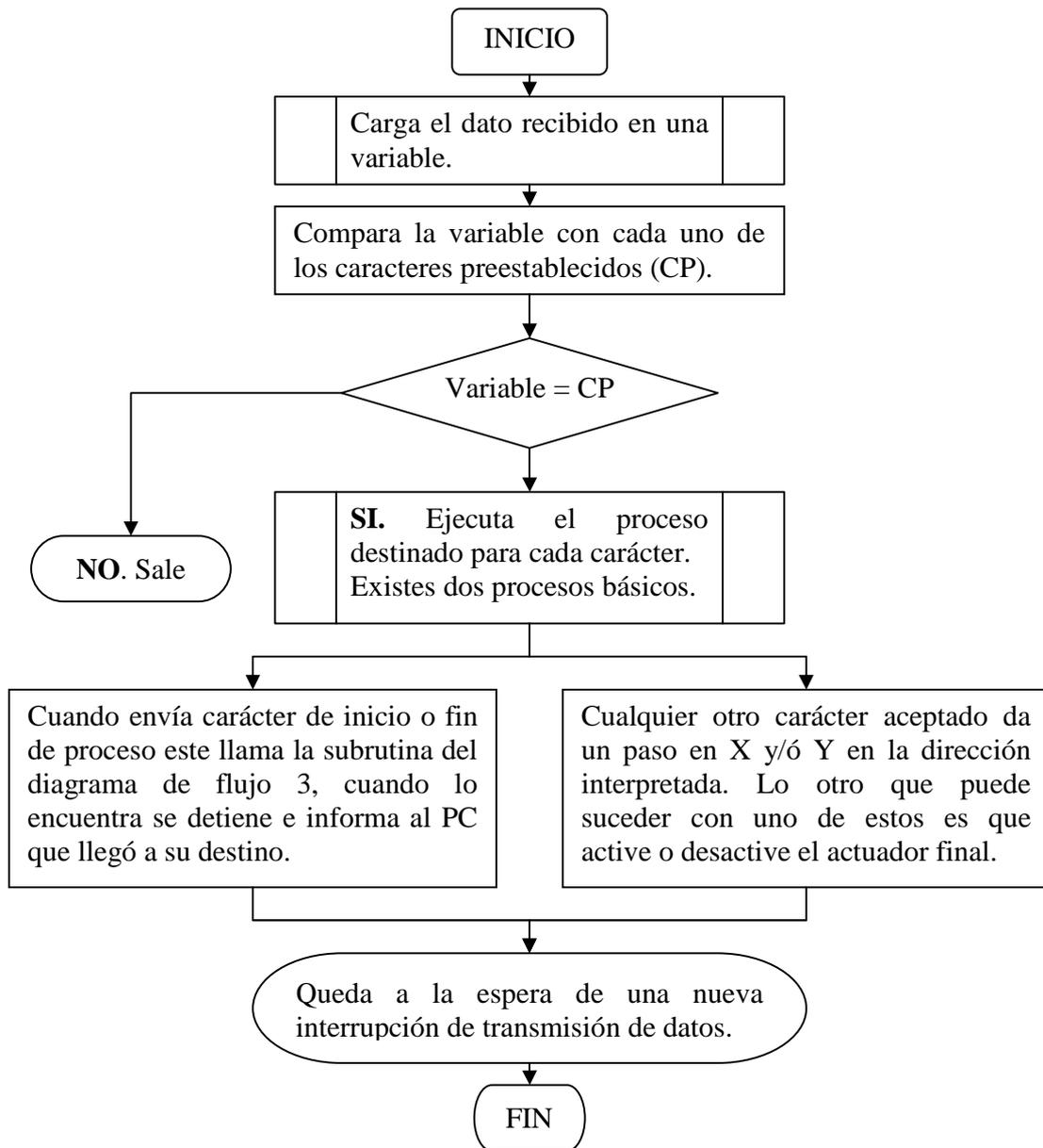
1. Programa ejecutado tras interrupción de transmisión (en la grafica diagrama de flujo 2).
2. Programa utilizado para llevar la máquina al origen X & Y con un Offset de 1cm en cada eje (diagrama de flujo 3).

introducidos por el digitador y si es verde son ayudas después de comilla que no influyen en código. También tiene una ayuda extensa sobre cada una de las instrucciones usadas que le permite al programador usarlas con solo leer un poco y aplicarla según los ejemplos mostrados.

¹ Assembler es un lenguaje de programación orientado a bits y en el caso de Microchip solo hace operaciones entre un archivo ".f" y ".w" que es el archivo global que maneja para sus operaciones. Estas dos características mencionadas hacen que el código digitado sea mucho más extenso.

3. Programa de inicio de proceso y reset del microcontrolador (diagrama de flujo 4).

Grafica 42. Diagrama de Flujo 2.



Fuente: autor.

La manera de programar en C para PIC la transmisión por el puerto serial es la siguiente:

Se incluye el PIC que se va a utilizar, el tiempo de reloj y para la transmisión y recepción se introduce la línea rs232 donde se configuran todos parámetros del protocolo, velocidad en baudios, pin de transmisión, pin de recepción, tipo de paridad, cuantos bit va a recibir y enviar y porque puerto va a ser enviado de parte del computador (este último sirve cuando la comunicación es síncrona).

```
#include <16f877A.h>
#use delay(clock=4000000)
#use standard_io(b)
#use rs232(baud=9600,xmit=Pin_C6,rcv=PIN_C7,Parity=N,Bits=8,Stream=COM_4)
```

Luego, se crea el sub-programa que se ejecuta tras la interrupción por recepción. Las líneas en C que se ven abajo colocan en el programa lo obtenido por el puerto R_x en el archivo dato luego se crea el código que se desea se ejecute.

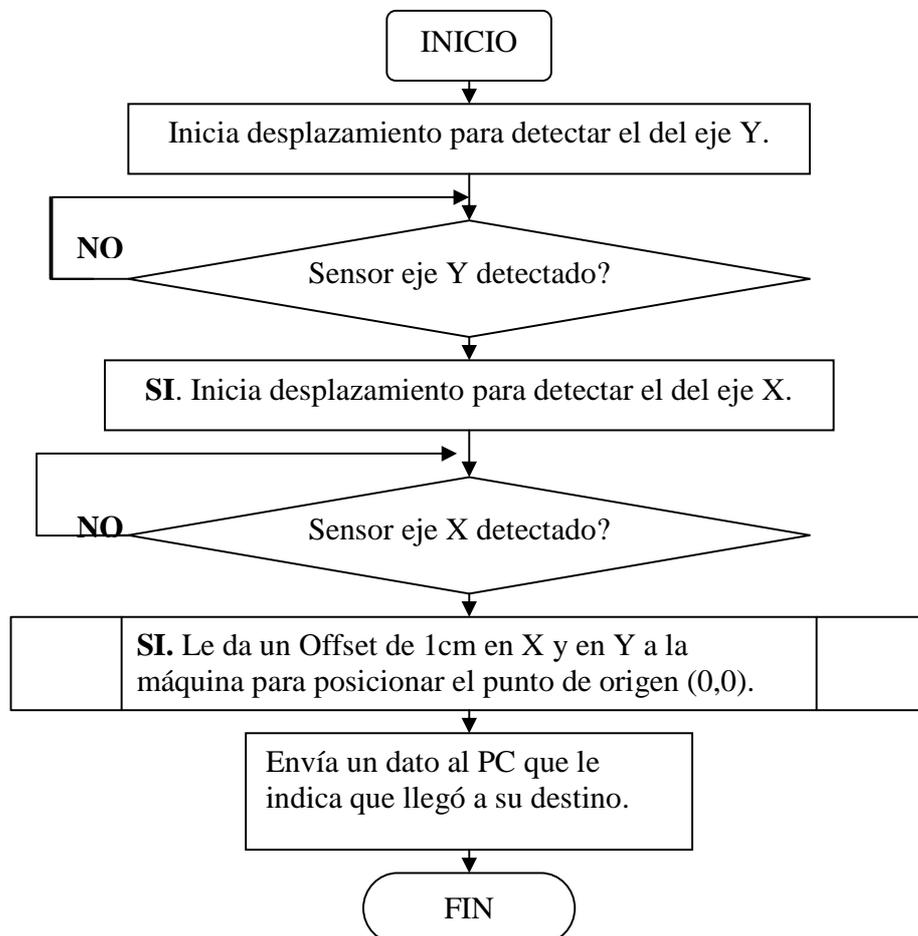
```
#int_rda
void rda_isr()
{
if(kbhit())
{
dato=getc();
⋮
}
}
```

El proceso mostrado en el *diagrama de flujo 2* inicialmente tenía una retroalimentación inmediata del carácter recibido para que **Valeria 1.0**¹ pudiese identificar si el dato había sido enviado y reconocido correctamente por la tarjeta principal. Sin embargo, durante el periodo de pruebas, en el que se enviaron más de cuatrocientas (400) imágenes a la mesa de posicionamiento nunca hubo una

¹ Valeria 1.0 es el nombre dado al programa que se creo para manejar la mesa desde un PC.

sola recepción errónea, por lo que se decidió eliminar este proceso que consume tiempo en la comunicación y nunca dio un aporte significativo que demostrara la necesidad de dejarlo. Se aclara que en la visualización de la transmisión se ve lo que está recibiendo el programa pero no realiza ningún proceso con la excepción de el primer dato; cuando se envía "a", Valeria 1.0 queda a la espera de la recepción de la letra "i" con la que se dará comienzo a la rata de transmisión de datos hasta que se envíe la letra "b".

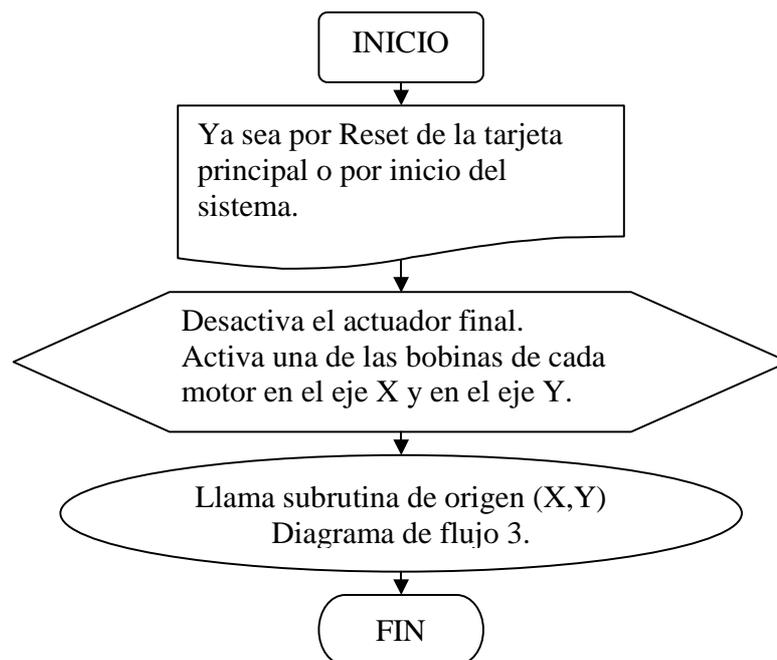
Grafica 43. Diagrama de flujo 3.



Fuente: autor.

En la máquina este proceso es bastante repetitivo, se quiere decir con esto que se solicita cuando va a iniciar la transmisión de una imagen, cuando termina una imagen y cuando se le da reset a la tarjeta principal o se inicia la máquina. Puede parecer que algunos de estos procesos parezcan superfluos, pero garantizan que no se va a incurrir en errores en cuanto al área de trabajo. Se puede realizar más adelante en una versión mejorada una adecuación al usuario final de la máquina si no se desean estos mecanismos de protección pero, por ser este un sistema prototipo es mejor prevenir cualquier eventual error para evitar un choque con los límites demarcados en la mesa.

Grafica 44. Diagrama de flujo 4.



Fuente: autor.

El programa mostrado en el *diagrama de flujo 4* se basa en preparar la máquina para iniciar el proceso de trazo de imágenes recibidas por el computador. Cuando se va a enviar un trazo este vuelve a buscar el origen, como ya se mencionó al inicio de esta página, puede ser repetitivo pero es mas seguro.

3.3. SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL.

El sistema de control creado se basa en:

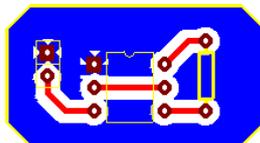
1. Tarjeta principal (ó motherboard).
2. Tarjetas para controlar los motores paso a paso, una para "X" y otra para "Y".
 1. Tarjeta de codificación que recibe la información de los sensores.
 1. Tarjeta que tiene como finalidad activar hasta tres líneas para actuador final.
 1. Tarjeta que divide tensión entregada por la fuente de +5 y +12 con tierra única.
 2. Tarjetas en la que están montados los sensores de luz.
 1. Tarjeta que controla el actuador final.

Antes de diseñar las tarjetas, estas fueron simuladas en Proteus y en Circuit Maker, una vez que se obtuvo una simulación exitosa se montaron en protoboard para probar en campo la simulación. Cuando el circuito funcionó correctamente se realizaron los diseños de las tarjetas.

Para proteger de ruido a la tarjeta principal y para obtener un buen sumidero de corriente en las de control de motores se realizó una jaula de Faraday. La jaula de Faraday aplicada a un impreso consiste en no eliminar el cobre del área no usada para trazos sino dejarlo a una distancia prudente de los trazos del circuito y conectar las tierras de todo el diseño al mismo. Si se posee una carcasa de acero o una tierra física se conecta a la jaula de Faraday lo que ayuda a disminuir los ruidos y capacitancias parásitas. La gráfica 45 muestra un ejemplo. Lo que está en azul es lo que se denomina la Jaula de Faraday, lo que se encuentra en color rojo son caminos (traks o vías) normales, el amarillo es lo que utiliza el que recibe el diseño de la tarjeta para realizar el screen¹.

¹ El screen es un método de transferencia que usa una malla fina que al ser tratada se hace una figura sobre ella tapando los orificios que no se desean usar y dejando los de la imagen a traspasar libres para que cuando se pase la pintura sobre ella sólo pase por los orificios libres, dejando impreso en la superficie trabajada el dibujo que se trabajó en el marco del screen.

Gráfica 45. Ejemplo de PCB.



Fuente: autor.

Las tarjetas fueron diseñadas en su totalidad en un programa llamado Circuit Maker 2000 en la aplicación del mismo llamada Trax Maker. El desarrollo del impreso buscó cumplir con los parámetros de diseño básicos estándar de la industria con el fin de que el equipo quedara construido de una manera sólida y perdurable.

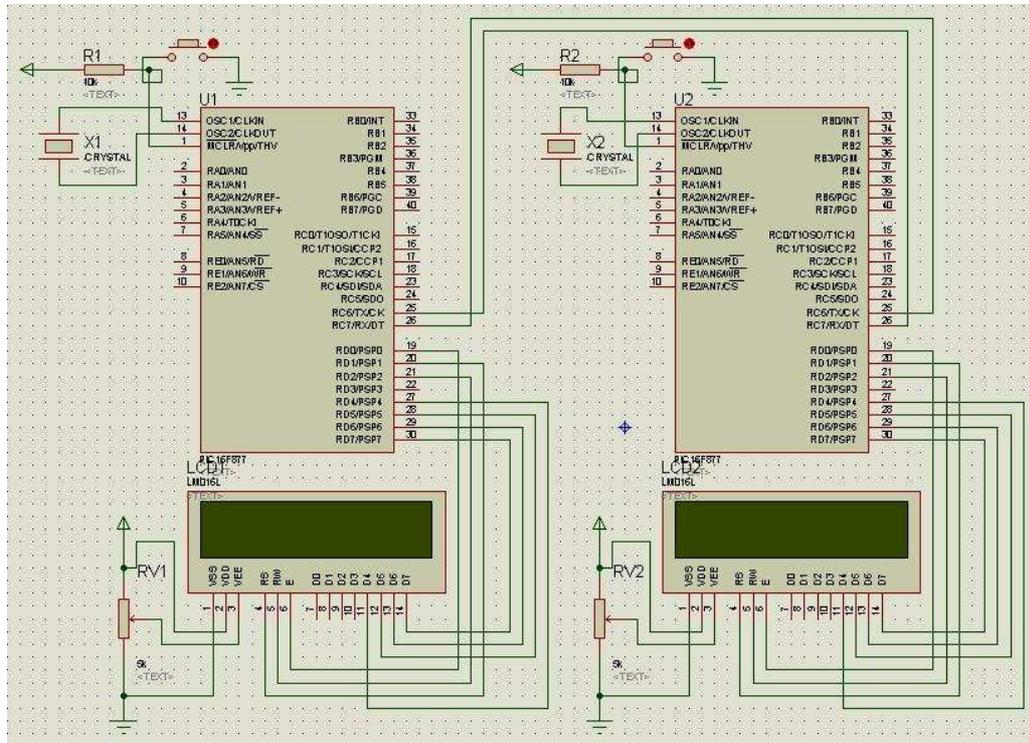
3.3.1. Tarjeta principal (o motherboard).

Esta tarjeta tiene la misión de controlar los motores "X", "Y" y actuador final, así como de recibir y transmitir información al PC de manera serial.

El esquemático de simulación de la tarjeta está dado en la gráfica 46.

La simulación no consta de las salidas del control paso a paso, actuador o sensores; la razón de esto es que la simulación se centró en el caso puntual de esta tarjeta, en la transmisión de datos, realizando la programación como si el PIC de la izquierda fuese el de la tarjeta principal y el de la derecha fuese el computador, con el fin de probar si los ajustes de parámetro y configuración estuviesen bien y de que estuviese leyendo y enviando apropiadamente los datos como se programó para hacerlo.

Gráfica 46. Simulación de la etapa de transmisión de la motherboard.



Fuente: autor.

Para mostrar este proceso llamaremos a la tarjeta principal PIC1 y al PC PIC2:
 Se envía desde PIC2 el caracter de inicio, este lo visualiza y espera dos segundos antes de simular una detección de sensor que a su vez enviará al PIC1 el dato que se encuentra preparado para recibir la información una vez sucede esto el PIC1 le envía una serie de datos que debe visualizar el PIC2, cuando el dato recibido es el de finalizar, este espera unos segundos, simula una interrupción por sensores y envía el dato de que ya se detuvo.

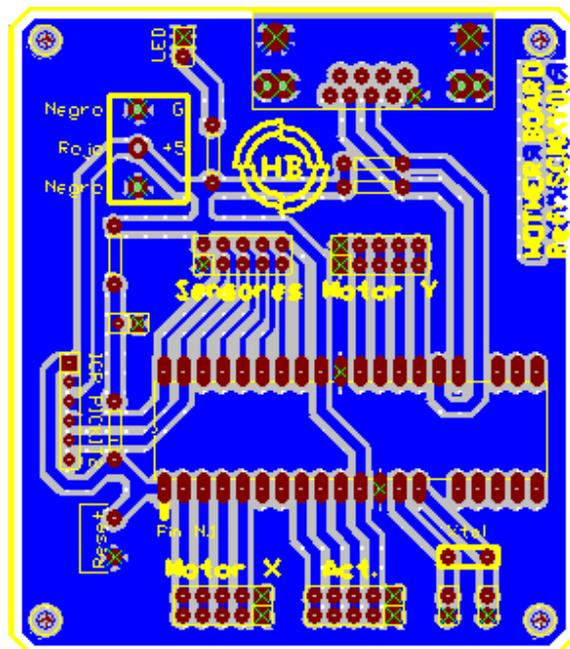
Este fue básicamente el proceso de simulación de la transmisión de datos. El montaje en protoboard completa todo lo demás, mostrando visualizadores LED en la salida de control de los motores paso a paso, DIP switch para simular sensores y la conexión real al PC con el que empiezan a recibir y transmitir datos. Como

podemos ver en la gráfica xx tiene salidas para el motor X, motor Y, actuador, sensores y líneas de transmisión serial Tx y Rx.

El centro de la tarjeta es un PIC, el 16F877 de la familia MICROCHIP encargado de controlar todo en base a la información recibida del computador y de los sensores de la máquina. La gráfica 47 muestra la captura de imagen del circuito diseñado en Trax Maker.

Otra característica importante de la tarjeta es su capacidad para programar el PIC de manera “in-circuit”, lo que quiere decir que no es necesario retirar el integrado para realizar una actualización al programa del PIC, ya que tiene la capacidad de reprogramarse en la misma tarjeta, lo que evita un posible daño del componente al sacarlo y meterlo una o mas veces en su socket. En la gráfica 48 se puede observar una foto de la tarjeta de control ya completamente terminada.

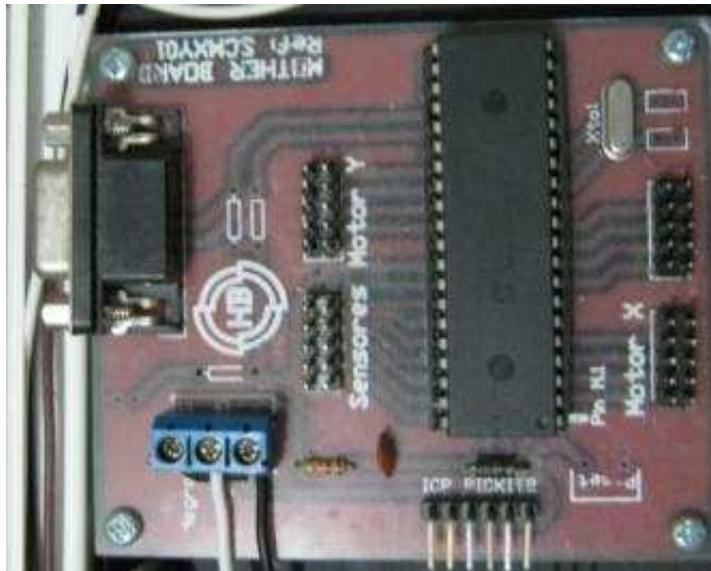
Gráfica 47. Tarjeta principal. Diseño PCB¹.



Fuente: autor.

¹ PCB: Printed Circuit Board. Esta extensión es la que genera el programa de diseño de impresos TraxMaker.

Gráfica 48. Tarjeta Principal. Foto.



Fuente: autor.

3.3.2. Tarjeta de control de motores Paso a Paso.

Normalmente cualquier motor es aislado del control, comúnmente mediante opto acopladores u otro medio que separe físicamente la alimentación desacoplando por completo los dos circuitos. Existen tres razones por las que esto no se hizo, primero. Se realizó un buen aislante en cuanto a la alimentación del PIC y la alimentación de los motores mediante la tarjeta divisora de tensión, segundo. Se buscaba no tener que alimentar la máquina con más de una fuente de poder,

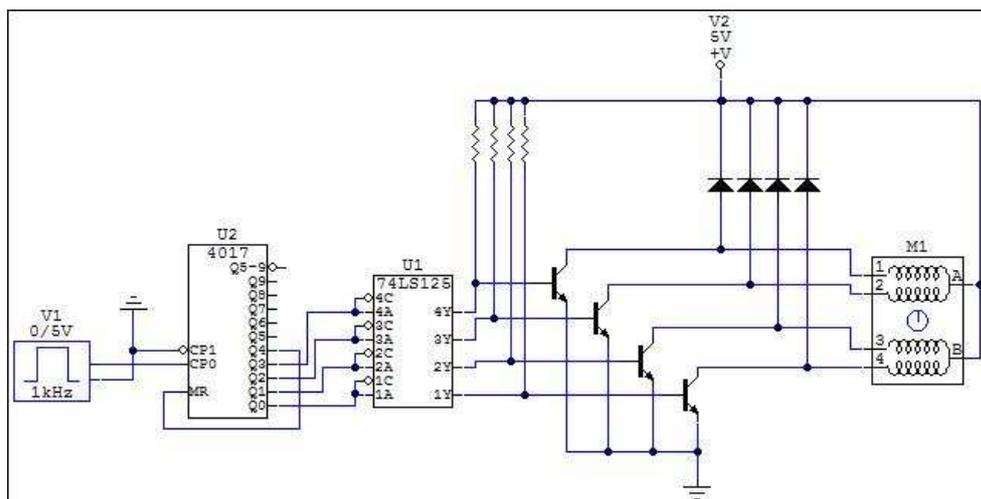
Tercero: el integrado de la familia TTL 74LS125 se ubicó en esta tarjeta con el fin de proteger al PIC de cualquier retroalimentación de corriente indeseada de manera que si hubiese algún daño severo el primer componente en deteriorarse sería este integrado y sólo debe reemplazarse con la ventaja de que es económico, fácil de conseguir, está montado en un socket por lo que no hay que desoldar y como es el mas susceptible a daño se dañaría primero que los demás

componentes evitando que partes mas importantes del circuito sufrieran una avería.

La simulación realizada para esta tarjeta se encuentra dividida en dos partes, una que muestra la parte digital de control y otra que nos muestra el funcionamiento de los TIP41 respondiendo a la señal enviada. En la gráfica 49 se pueden ver un generador de señal cuadrada, un integrado de la familia CMOS 4017 que es un contador decadal con salida descifrada, esto quiere decir que no sale el código binario de 0 a 9 sino que tiene 10 salidas y va pasando de la salida 0 a la 1 y así sucesivamente hasta llegar a la nueve, cuando cualquiera de estas salidas retroalmente el reset (MR master reset por sus siglas en inglés) vuelve a iniciar en cero sin necesidad de haber cumplido el ciclo completo.

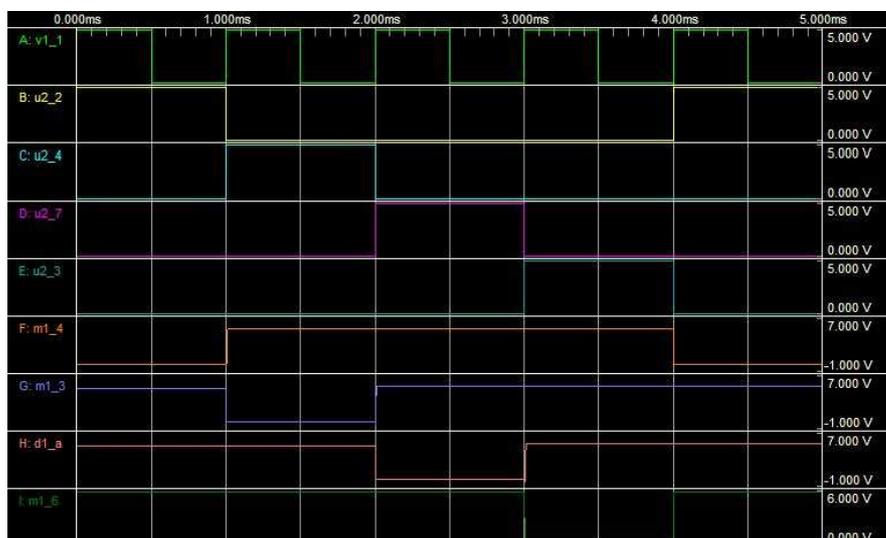
Para simular la instrucción del PIC se hizo que funcionaran cuatro de estas salidas, una para cada paso y como reinicia automáticamente genera una señal perfecta para probar el circuito, tal como se muestra en la gráfica 49.

Gráfica 49. Circuito de prueba de control del motor PAP con el 74LS125.



Fuente: autor.

Gráfica 50. Resultado de simulación del circuito anterior.



Fuente: autor.

La gráfica 50 muestra como funciona el circuito en la simulación, las características de las bobinas del motor se pasaron a las propiedades de la bobina simulada para que fuese lo mas acertada posible; como vemos en las puntas de prueba F, G, H e I la respuesta de las bobinas tiene una ligera reacción de pendiente al retomar los 5V después de que se desactiva; esto es debido a la corriente que queda en el bobinado, para suprimir lo mas posible se colocaron diodos polarizados inversamente que descargan la bobina tan pronto se desactiva, esto se hace porque el motor no podría dar una velocidad más alta que puede desarrollar, ya que dos bobinas energizadas al mismo tiempo de manera no controlada da como resultado un comportamiento erróneo del mismo y, en materia de potencia dos bobinas activas significan mas corriente y mas ruido, esto último se debe evitar en la medida de lo posible para no enfrentarnos a problemas de control e inexactitud en el sistema.

Ahora, se debe calcular la resistencia en la base que nos haga llegar al voltaje de saturación, de esta manera [5]:

Valores conocidos:

$$i_{Nmotor} = 1,2 \text{ Amperios}$$

$$\beta = 73 \dots\dots\dots$$

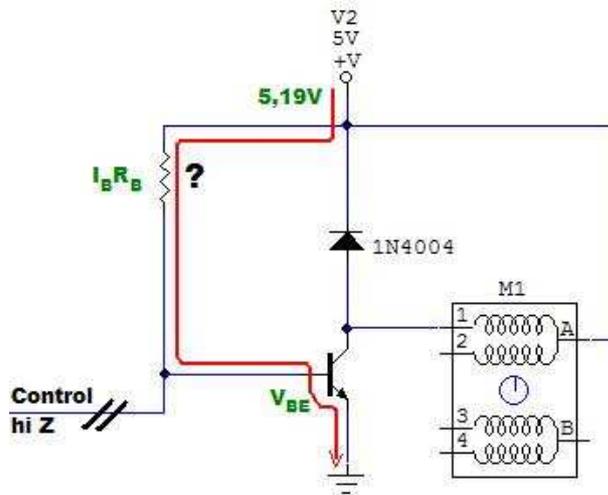
$$V_{BEsat} = 2 \text{ Voltios} \dots\dots$$

$$V_{source} = 5,19 \text{ Voltios} \dots$$

$$I_C = \beta * I_B \dots\dots\dots$$

Ahora se realiza la malla del circuito para encontrar el valor de la resistencia.

Gráfica 51. Cálculos para resistencia de base.



Fuente: autor.

$$5,19V - I_B R_B - V_{BEsat} = 0$$

$$R_B = \frac{5,19V - 2V}{I_B}$$

$$I_B$$

I_C = corriente que va a pasar por la Bobina (I_N)

$$R_B = \frac{5,19V - 2V}{1,2 \text{ Amp}}$$

$$73$$

$$73$$

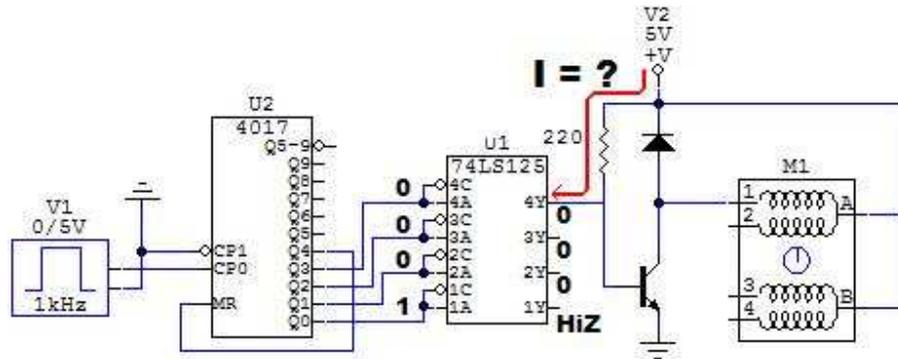
$$R_B = 194,06\Omega \dots$$

Se coloca un valor de resistencia comercial cercano.

$$R_B \approx 220\Omega \dots\dots\dots$$

Una vez encontrada esta resistencia se debe hacer otro cálculo, la corriente máxima de sumidero del TTL 74LS125 es de 24mA, así que la corriente de base no debe exceder este valor.

Gráfica 52. Cálculo corriente que pasa por el TTL.



Fuente: autor.

$$I_{\text{sumidero}} = V/R$$

$$I_{\text{sumidero}} = 5,19/220 \Omega$$

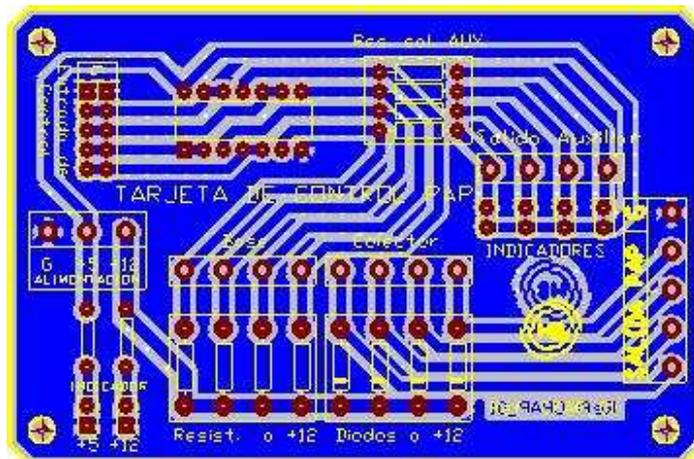
$$I_{\text{sumidero}} = 23\text{mA} \checkmark$$

Con los dos valores extraídos de las dos gráficas anteriores se encuentra el valor de la resistencia que se debe usar y si esta sirve con el componente que se colocó para proteger el PIC. La siguiente revisión es acerca de los TIP que se van a usar, se debe saber si el voltaje y la corriente están dentro de los parámetros permitidos.

La máxima corriente de colector permitida es de 6 amperios y se van a usar solo 1,2 amperios, la variación máxima dada en las pruebas es de 1,44Amperios. El máximo voltaje en la serie TIP41 de mas baja capacidad es de 40Voltios y se van a usar un tope de 5,19Voltios. Terminadas las pruebas de que el sistema funciona correctamente y de cómo funciona el siguiente paso es montar la tarjeta de circuito impreso.

Como se puede ver en la gráfica 53, esta tarjeta tiene una entrada de línea de control, la alimentación de +5V para la etapa digital, la alimentación para la etapa de potencia, el común, los pines de conexión para los TIP41 y el integrado 74LS125 que tiene como finalidad aislar el PIC de la parte de potencia.

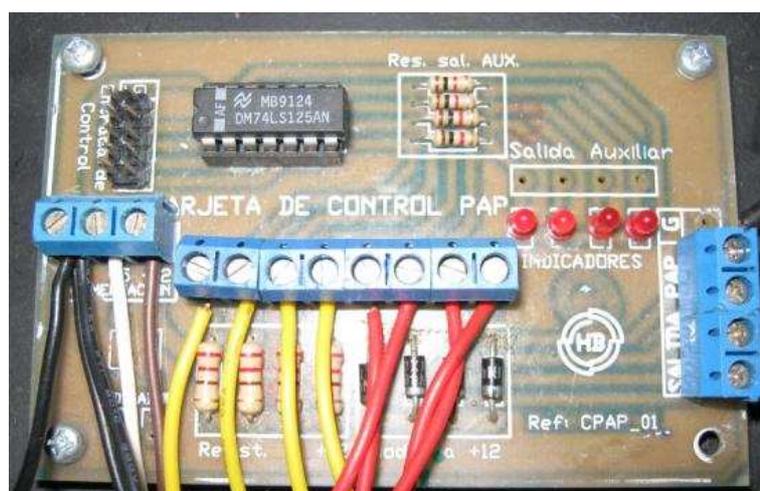
Gráfica 53. Tarjeta de control, motor PAP. Diseño PCB.



Fuente: autor.

La salida auxiliar se usa para pruebas y los indicadores para verificación.

Gráfica 54. Tarjeta de control, motor PAP. Foto.



Fuente: autor.

Tabla 04. Protocolo de control y transmisión de los motores paso a paso.

B5	B4	B3	B2	B1	B0	Dec.	
Orig.	Act.	Motor PaP ejeY	Motor PaP ejeX				
On-Off	On-Off	On-Off	Sentido	On-Off	Sentido		
0	0	0	0	0	1	1	
0	0	0	0	1	0	2	
0	0	0	0	1	1	3	
0	0	0	1	0	0	4	Funciona igual que el decimal 64
0	0	0	1	0	1	5	Funciona igual que el decimal 64
0	0	0	1	1	0	6	Funciona igual que el decimal 2
0	0	0	1	1	1	7	Funciona igual que el decimal 3
0	0	1	0	0	0	8	
0	0	1	0	0	1	9	Funciona igual que el decimal 8
0	0	1	0	1	0	10	
0	0	1	0	1	1	11	
0	0	1	1	0	0	12	
0	0	1	1	0	1	13	Funciona igual que el decimal 12
0	0	1	1	1	0	14	
0	0	1	1	1	1	15	
0	1	0	0	0	0	16	Activa el actuador o M3
0	1	0	0	0	1	17	Desactiva el actuador o M3
1	0	0	0	0	0	32	Envía al inicio de proceso, origen
1	0	0	0	0	1	33	Envía al final de proceso, origen

B5	B4	B3	B2	B1	B0	D	A
Orig.	Act.	Motor PaP ejeY	Motor PaP ejeX			e	S
On-Off	On-Off	On-Off	Sentido	On-Off	Sentido	c	c
0	0	0	0	1	0	2	C
0	0	0	0	1	1	3	D
0	0	1	0	0	0	8	I
0	0	1	0	1	0	10	K
0	0	1	0	1	1	11	L
0	0	1	1	0	0	12	M
0	0	1	1	1	0	14	O
0	0	1	1	1	1	15	P
0	1	0	0	0	0	16	Q
0	1	0	0	0	1	17	R
1	0	0	0	0	0	32	a
1	0	0	0	0	1	33	b

Estos valores de ASCII son el resultado de sumar lo que da en decimal + 65, esto pasado a ASCII da las letras que voy a enviar.

Activa el actuador o M3
Desactiva el actuador o M3
Envía al origen de proceso, inicio
Envía al origen de proceso, fin

*. El motor que va a activar el lapicero que va a trazar la figura cargada en el programa se activa cuando recibe el código "010000" y desactiva con "010001"

*. El proceso inicia con la instrucción 32 "100000" y finaliza con 33 "100001" que haría que los motores se muevan en sentido anti-horario; primero el de eje X & luego eje Y, hasta que los detecten los sensores del origen.

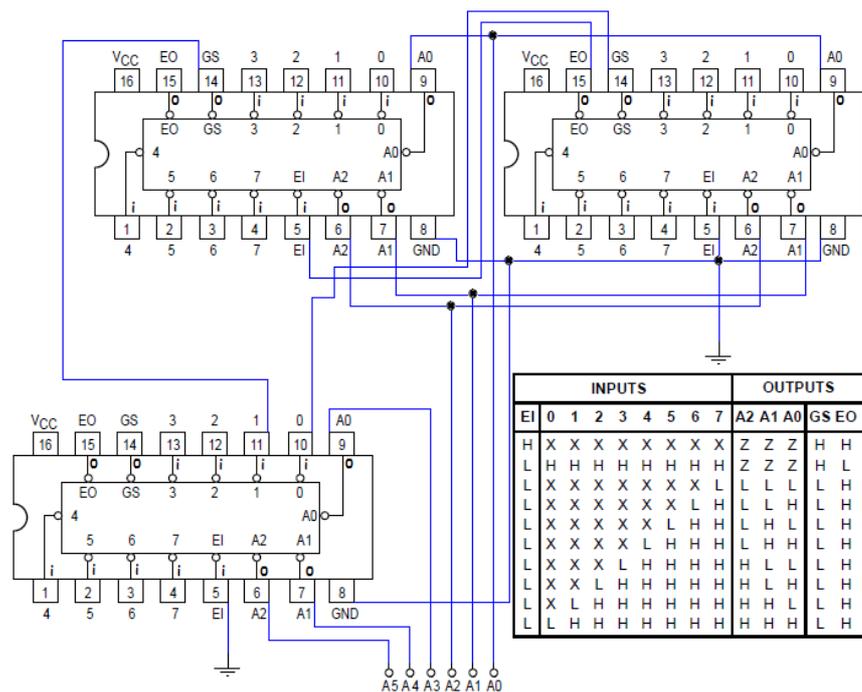
Fuente: autor.

La tabla 04 son Instrucciones de control que, enviadas desde el PC se procesan en la motherboard y realizan el control de los motores paso a paso.

3.3.3. Tarjeta de codificación que recibe la información de los sensores.

El componente principal de esta tarjeta es el 74LS348. Su funcionamiento básico es codificar señales que recibe por las entradas de I_0 a I_7 y codificarlas de manera binaria bajo prioridad de mayor a menor, esto quiere decir que si recibe una señal en la entrada I_4 y una por I_7 el código binario de salida será el de I_7 , también tiene la característica de general un cambio de estado en una salida que indica si una de las entradas ha sido activada, este pin de salida se conecta a uno de los 4 bits más altos de el puerto B del PIC activando una interrupción por cambio de estado, lo que permite poner como prioridad la ejecución de el programa activado por un sensor para que no se golpee la máquina.

Gráfica 55. Esquemático de recepción de datos de sensores.

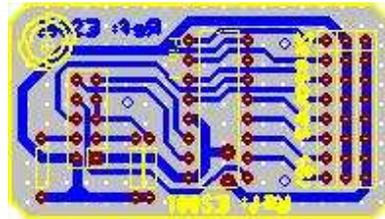


Fuente: autor.

En la gráfica 55 se ve la conexión del 74LS348 en cascada; la mesa usa sólo uno de estos integrados entonces solo maneja las salidas mostradas en la tabla, pero

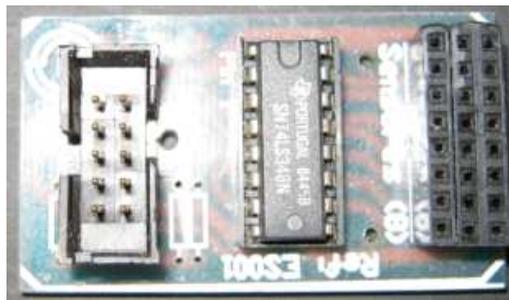
si al hacerle adecuaciones futuras necesita por alguna razón más de 8 sensores de entrada, con esta conexión puede lograr 16. La tarjeta de circuito impreso de este circuito la vemos en la gráfica 51.

Gráfica 56. Tarjeta de control de sensores. PCB.



Fuente: autor.

Gráfica 57. Tarjeta de control de sensores. Foto.



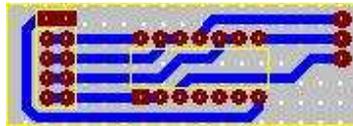
Fuente: autor.

3.3.4. Tarjeta para aislar el actuador final.

Esta tarjeta usa un integrado 74LS125 (el mismo que el de la tarjeta de los motores PAP) para aislar el PIC de la tarjeta de control del actuador. La tarjeta no necesita conexión a la alimentación puesto que por el bus de datos viene Vcc (+5Voltios) y Tierra (0Voltios). La razón por la cual se usan dos pines para cada una de las líneas, es que en caso que se dañe una línea la otra soporte la transmisión sin problemas, esto hace más seguro el sistema, la diferencia en precio es casi nula y el espacio que usa también aumenta muy poco.

El PIC tiene tres salidas para este fin, lo que quiere decir que si se usa esta tarjeta se logran 3 salidas no codificadas, de las cuales la tarjeta de control del actuador usa dos. Si se necesitara más, se puede construir otra tarjeta que con los mismos tres pines usando de manera codificada se podría usar hasta 7 controles, ya que siempre se mantendría en un estado si es de manera paralela, sin embargo, si se necesitan aún más se pueden configurar para transmisión serial aunque estos pines requerirían crear el código, ya que no son los predeterminados del PIC. La gráfica 58 muestra el diseño en TraxMaker de la tarjeta.

Gráfica 58. Tarjeta de control de actuador. PCB.



Fuente: autor.

Gráfica 59. Tarjeta de control de actuador. Foto.



Fuente: autor.

Se puede observar lo simplificada que es la tarjeta, esto es debido que tiene como único fin proteger el PIC y solo usa el 74LS125 para aislarlo.

3.3.5. Tarjeta reguladora y divisora de tensión.

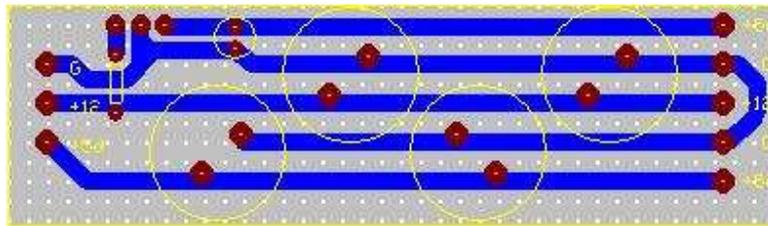
La fuente de un computador entrega +12V, -12V, +5V, -5V y +3.3V, además de la tierra (ground G_{ND}) de los cuales se van a utilizar +12V, +5V y G_{ND} .

La fuente de alimentación es del tipo switching diseñada para manejar circuitos digitales, por lo que para utilizarla para activar los motores se deben poner

capacitores que permitan el uso de las bobinas de los motores sin causar conflicto; a estos se le llaman “capacitores para filtro”.

Un condensador utiliza su propiedad física para almacenar energía y no permitir un cambio brusco de voltaje, como la fuente de suicheo maneja una frecuencia en la salida de voltaje se debe evitar para el manejo de motores sobre todo de operación no continua, al colocar condensadores en paralelo a la carga se evita la caída de tensión y los motores funcionarán de manera adecuada. La gráfica 60 muestra el diseño de la tarjeta de alimentación.

Gráfica 60. Tarjeta reguladora/ estabilizadora de tensión. PCB.



Fuente: autor.

Gráfica 61. Tarjeta reguladora/ estabilizadora de tensión. foto.



Fuente: autor.

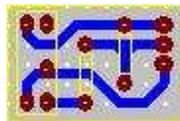
Los condensadores se colocaron de manera tentativa a un valor alto que garantizara una estabilidad en la alimentación de los motores, se realizó la prueba de funcionalidad y al conseguirse el objetivo de mantenerlos estables se dobló el

valor inicial de los condensadores colocando otros iguales en paralelo para asegurar el buen funcionamiento del circuito.

3.3.6. Tarjetas de sensores de luz.

La tarjeta del sensor óptico se usa en la mesa para detectar el origen (X_0, Y_0) dotada de una resistencia que alimenta al diodo emisor y otra que mantiene un pull down hasta que el fototransistor receptor es activado, se cortocircuita y queda enviando +5Voltios. En la gráfica 62 podemos observar el diseño de la tarjeta.

Gráfica 62. Tarjeta de sensor infrarrojo. PCB.



Fuente: autor.

Gráfica 63. Tarjeta de sensor infrarrojo. Foto.



Fuente: autor.

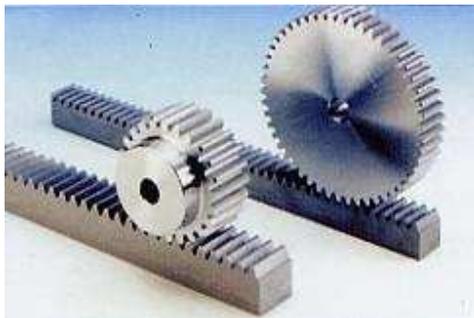
3.3.7. Tarjeta de control del actuador.

Esta tarjeta es la única que no fue diseñada específicamente para el proyecto, ya que viene junto con el actuador final que se compró, sin embargo, tras un estudio de reingeniería se puede ver como es el comportamiento de la misma. La tarjeta tiene dos pines de control, dos de alimentación y dos de salida para el actuador y funciona de la siguiente manera:

Al recibir cero voltios por uno de los pines de control mientras el otro se mantiene en alto o en alta impedancia, la tarjeta activa un pulso que hace que el motor gire en un sentido, al hacer lo mismo con el otro la tarjeta activa un pulso que hace que el motor gire en sentido contrario.

El análisis de la tarjeta muestra que el estado de control se puede mantener constante y no va a afectar la duración del pulso. La explicación mecánica de esto es que dentro del sistema del actuador se encuentra un motor conectado a un engranaje que desplaza una pieza de manera lineal como lo muestra la gráfica 64.

Gráfica 64. Engranajes que obtienen desplazamiento lineal.



Fuente: <http://www.industriasjb.net/catalogo/engranajes%20cilindricos%20y%20cremalleras.jpg>

Esto explica el porque de el pulso en la alimentación, si fuese un valor constante la pieza se dañaría, el motor se quemaría o dispararía la protección de la fuente, ya que al terminar la carrera lineal de la pieza el motor se bloquea al no permitirse más avances, si el motor supera este bloqueo parte el límite mecánico, si no es así se recalienta quemándose y si soporta una corriente más alta de la que puede entregar la fuente se dispara el fusible de seguridad de la misma y si no tiene se quema la fuente de alimentación.

Todo lo anterior sustenta el porqué del control usado para el actuador final. La tarjeta posee internamente 2 relés que funcionan como un puente H que orienta la corriente que le llega al motor en uno u otro sentido según haya sido el control

activado. Si se activan ambos controles al tiempo el resultado es que el motor no ejecuta ninguna acción.

3.4. SISTEMA MECÁNICO.

La parte mecánica de una mesa de control numérico, específicamente de una de desplazamiento en el eje "X" & "Y" como la desarrollada en este proyecto usa normalmente, tres tipos de sistemas para el desplazamiento.

1. tornillo sin fin.

Este sistema es mucho más robusto que el anterior (si se usa un tornillo sin fin de gran diámetro y en un material muy fuerte como acero inoxidable de alto calibre), necesita menos calibración, pero depende en gran medida de los motores usados, como del tipo de rosca del tornillo sin fin.

2. cadena.

La máquina que usa cadena es de las tres, la menos precisa y es usada en su mayoría para el desplazamiento de piezas en una planta y no para mesas posicionadores, sin embargo, en ocasiones este método también se usa pero en procesos que toleran un error mucho más amplio.

3. correa de tiempos.

La correa de tiempos se maneja con piñones, según los motores que se usen, la buena calidad de la correa y la relación de piñones se obtendrá una gran precisión en el desplazamiento de la máquina.

En el momento de la elección de este mecanismo de correa dentada se tuvieron en cuenta además de las características, ya establecidas otros factores.

Todos los materiales para trabajar con este sistema eran posibles de conseguir en Colombia y de muy buena calidad.

1. En la empresa donde se consiguieron los piñones enviaban las piezas con el diámetro interno necesario para el trabajo que necesitaba.
2. Daban una muy buena asesoría de cómo montar correctamente las piezas.
3. Entregaban más que los valores, las fórmulas para hallar todos los datos necesarios para el diseño.

Lo único que no se suple directamente por el proveedor se podía sacar por medio de un molde fabricado en la zona de mantenimiento de la universidad, ó mandando a hacer la pieza en una mesa de 3D. La opción de la mesa de 3D quedó rápidamente descartada por el hecho que costaba cada pieza 70.000 pesos y eran 6 piezas las que se necesitaban.

De modo que se pidió asesoría con el personal de mantenimiento de la UPB y ellos garantizaron la viabilidad de los moldes y ayudaron en su fabricación. La otra parte que correspondía a conseguir piezas que permitieran el desplazamiento sin fricción, quedó solucionado al encontrar una compañía en Bucaramanga que vende piezas de acero inoxidable de alta densidad y lugares donde prestaban el servicio de pulido, perforación y rimado de las mismas.

Por último, se encontraba el problema de entregar diseños a una empresa de acrílicos para que hicieran el trabajo, no por la entrega del diseño en sí, sino por el hecho de que no lo van a hacer preciso como se necesita, sin embargo se encontró una donde se permitía trabajar junto con los operarios y pulir las piezas hasta que se lograra el objetivo.

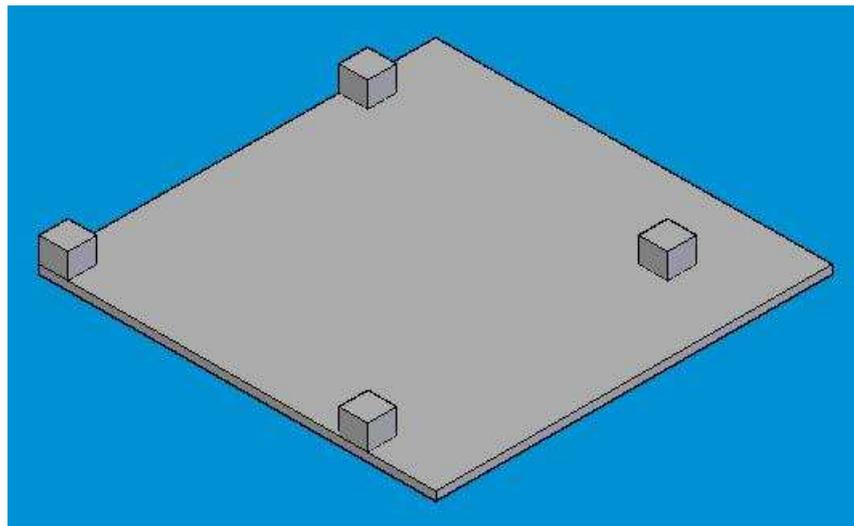
Teniendo todo cubierto en cuanto al desarrollo mecánico por el medio de las correas dentadas solo quedó el iniciar el cálculo de las piezas, su pedido y/o fabricación y el montaje de las mismas

3.4.1. Piezas del sistema mecánico.

1. mesa de 70cm x 70cm en MDF de 15 líneas.
2. soporte de base y desplazamiento.
3. piñón grande.
4. piñón pequeño.
5. soporte del motor de desplazamiento en eje "Y".
6. soporte del desplazamiento en eje "X".
7. pieza opuesta al soporte de desplazamiento en eje "X".
8. varilla de 3/8" y de 5/16".
9. soporte de actuador final.
10. ángulos de soporte de las varillas.
11. tensor de las correas de tiempos (ó correa dentada).
12. actuador.

Mesa de 70cm x 70cm en MDF de 15 líneas.

Gráfica 65. Base de la mesa de posicionamiento.

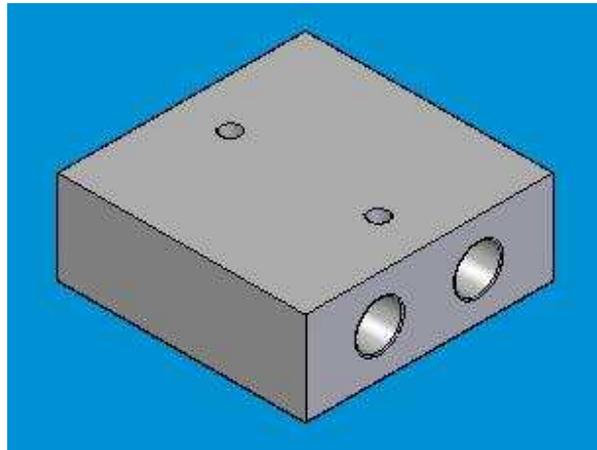


Fuente: autor.

Esta mesa es de MDF (Madera Del Futuro), los bloques que ve sobre la misma tienen una altura de 4,5cm y un área de 5cms x 5cms, se usan para soportar las piezas que manejan el desplazamiento de la máquina.

Soporte de base y desplazamiento.

Gráfica 66. Soporte de bases y de desplazamiento.



Fuente: autor.

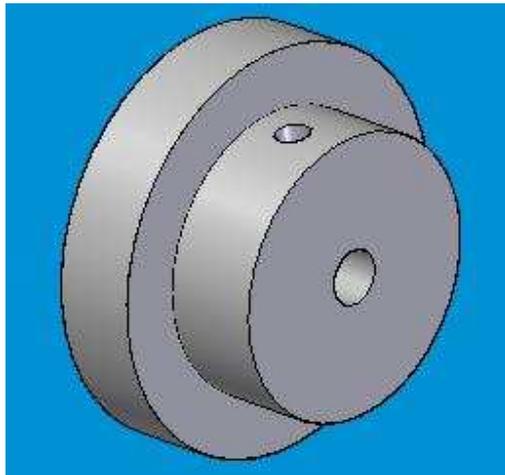
Esta pieza es realizada en acero inoxidable densidad 70. Las perforaciones superiores de 4mm de diámetro se usan para el paso de los tornillos de rosca fina, estas perforaciones se encuentran a una distancia equidistante de los bordes de ambos lados.

Para las piezas fijas la perforación de los agujeros laterales de 3/8" por donde van las varillas que no tienen rima, mientras los que se usan para el desplazamiento en "X" & "Y" se les realizó un proceso de rimado. Rima se le llama al proceso de pulir una perforación hecha con una broca para limar sus asperezas, la broca normal posee varios espirales desde su origen hasta la punta de perforación. La rima tiene un solo espiral y tres o cuatro muescas cortantes desde origen hasta el

fin y no tiene punta de perforación, básicamente es una lija para agujeros, pero con el diámetro exacto para no generar una ampliación o deformación de la pieza.

Piñón grande.

Gráfica 67. Piñón grande de 36 dientes.

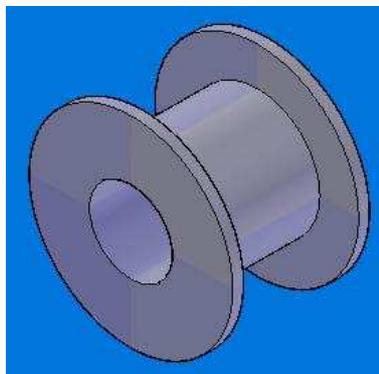


Fuente: autor.

Este piñón posee dientes que concuerdan con la correa de tiempos usada.

Piñón pequeño.

Gráfica 68. Piñón pequeño de 12 dientes.

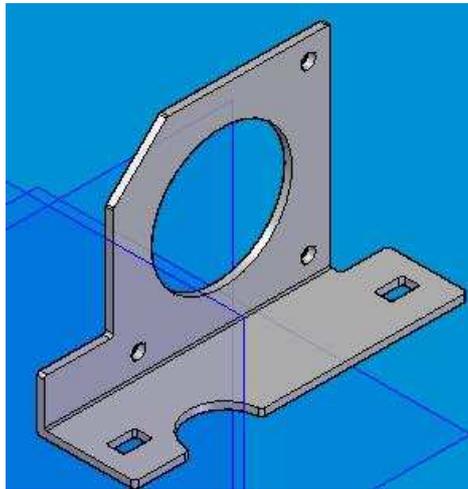


Fuente: autor.

Este piñón posee dientes que concuerdan con la correa de tiempos usada para la máquina en relación 3:1 con el piñón anterior.

Soporte de motor de desplazamiento en eje “Y”.

Gráfica 69. Soporte para motores paso a paso.

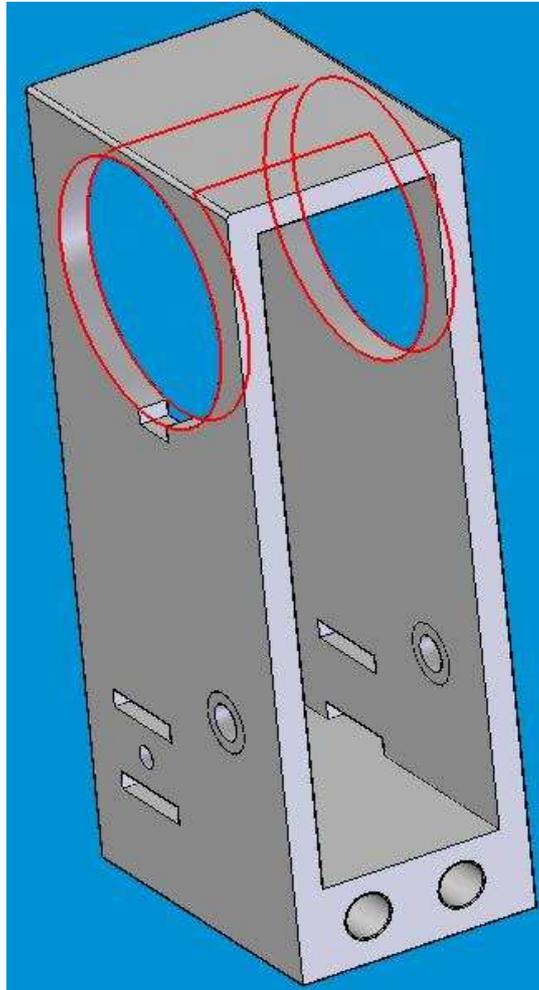


Fuente: autor.

Esta pieza no fue creada por el diseñador de la mesa, viene integrada al motor como base, pero si se generó en tercera dimensión para poder modelar el comportamiento de los materiales. Esta pieza tiene una ventaja para la calibración y puesta a punto de la correa. Los tornillos que la fijan a la base tienen libertad de desplazamiento gracias a los huecos rectangulares de la parte inferior dispuestos para tal fin, de modo que cuando se pone la correa, solo deben aflojarse los tornillos, colocar la correa con toda comodidad y luego templarla a una tensión conveniente para el trabajo. A pesar de su espesor tan limitado, es una pieza muy robusta y resistente.

Soporte de motor de desplazamiento en eje "X".

Gráfica 70. Soporte para motor eje "X".

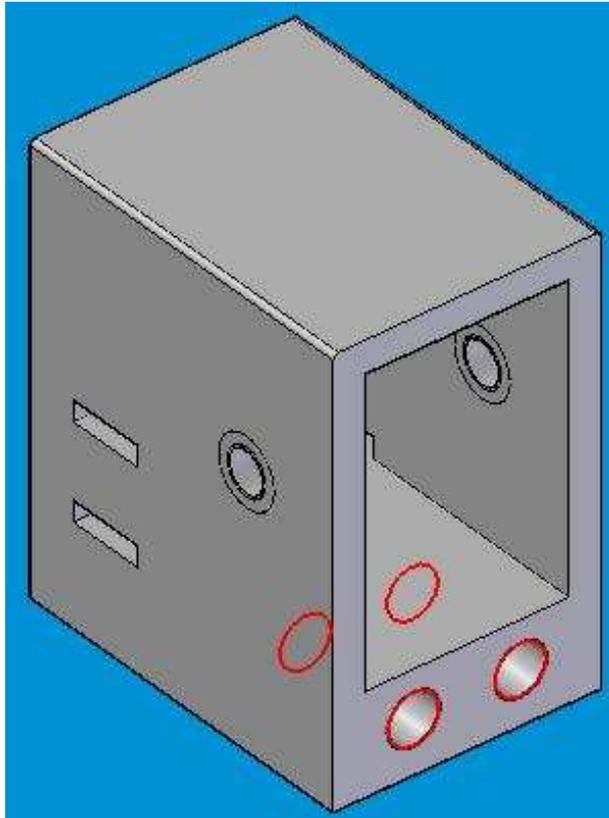


Fuente: autor.

Una de las piezas mas complicadas de realizar es en donde va montado el motor que desplaza el eje "X" (empotrado donde están las líneas rojas). Esta pieza exige mucha precisión en las perforaciones que fueron realizadas en un taladro de árbol sin control numérico, lo que hacía que dependiera enteramente del cuidado, firmeza y cálculos exactos para que no quedaran desviadas las perforaciones y causaran daños de alineación.

Pieza opuesta al soporte de desplazamiento en eje “X”.

Gráfica 71. Soporte de eje “X”.

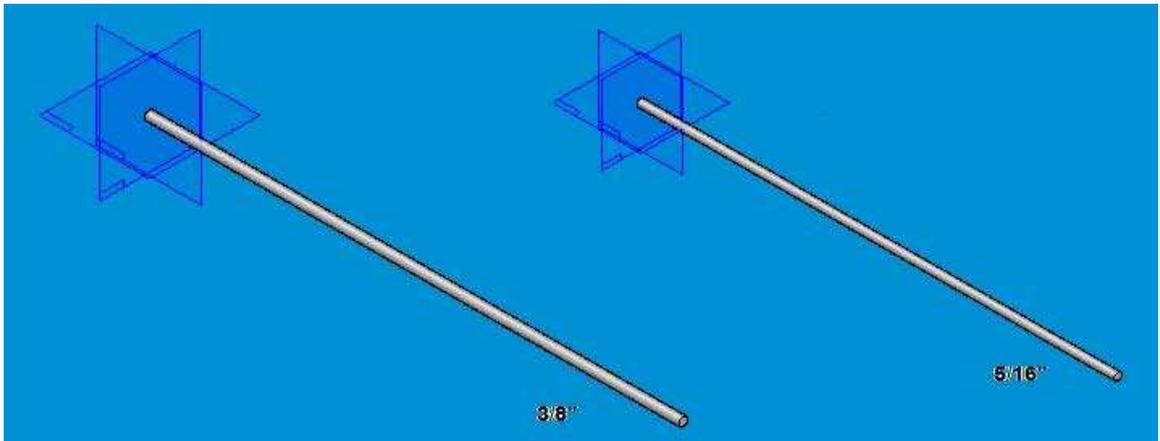


Fuente: autor.

Las diferencias entre esta pieza y la de la gráfica 70 es su altura y el hecho que no trae la perforación para el motor. El resto es completamente igual, estas piezas traen unas perforaciones ciegas para las varillas de 3/8" (visible en rojo en la gráfica 71) que son hechas con el propósito de que las líneas que soportan el eje "X" puedan moverse libremente y el rozamiento se minimice. Las piezas de la gráfica 70 y la gráfica 71 están hechas enteramente en acrílico.

Varilla de 3/8" y de 5/16".

Gráfica 72. Varillas de acero inoxidable.



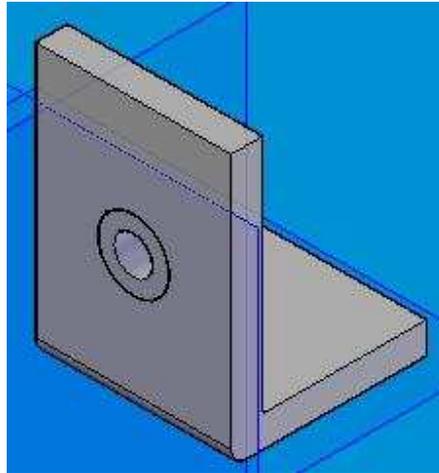
Fuente: autor.

Las diferencias entre una y otra varilla es sólo su grosor, ambas son de acero inoxidable de densidad 70 y ambas fueron sometidas a una nivelación para que trabajaran correctamente. Al decir esto se habla de que las varillas vienen en longitudes de más de 4 metros que son guardados de una manera inapropiada que las hace torcer, también las cortan con cizalla en el caso de la de 5/16" y con disco de corte pero sin soportes en el caso de la de 3/8", esto quiere decir que la varilla no queda recta en lo absoluto, lo que para una mesa que necesita precisión no es aceptable.

Cada una de estas piezas tuvo que colocarse en un torno de CNC con una punta no devastadora que se desplazaba de lado a lado lentamente y varias veces para lograr que la varilla quedara centrada y alineada nuevamente.

Ángulo de soporte de las varillas.

Gráfica 73. Soporte con rodamiento empotrado.

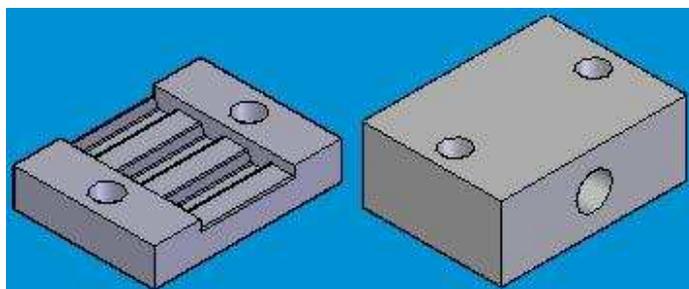


Fuente: autor.

Esta pieza es un ángulo de aluminio de 8 líneas (8mm) que tiene empotrado un rodamiento con guardapolvo para protegerlo de la suciedad y que permite un tiempo de vida útil del mismo mucho mas largo, ya que la grasa interna no se deteriora ni se contamina .El ángulo por sí solo no podría soportar la varilla, ya que causaría una fricción muy alta que alteraría el comportamiento de la mesa.

Tensor de las correas de tiempos (ó correa dentada).

Gráfica 74. Tensor de correa de tiempos.



Fuente: autor

Esta pieza se diseñó con el fin de prensar la correa y poder, después de colocarla, ir templando poco a poco para conseguir la tensión necesaria de trabajo.

3.4.2. Análisis mecánico del sistema.

Piñones.

La parte más importante del sistema mecánico en cuanto a cálculos es la relación de los piñones y el desplazamiento lineal alcanzado. Estos valores se consiguen de la siguiente manera:

$$N_D P_G = 36$$

$$N_D P_P = 12$$

$$36/12 : 3/1$$

Donde N_D es número de dientes y P_G , P_P corresponden a piñón grande, piñón pequeño. 3 a 1 es la relación que se logra al interconectar estos piñones, como el P_P se conecta al motor PAP y el P_G se conecta al eje que controla el desplazamiento lineal esto quiere decir que por cada 3 vueltas que de el motor PAP se logrará una vuelta del eje. Así que si el motor PAP es de 200pasos por vuelta, necesita 600pasos para darle una vuelta al eje.

Esto se hizo para aumentar precisión en el desplazamiento. Los otros efectos de este sistema es que reduce la velocidad en un tercio y aumenta el torque tres veces. Los piñones usados en el desplazamiento fueron los mismos de 12 dientes usados para crear la relación 3 a 1.

Ahora, para encontrar el desplazamiento lineal se debe saber el perímetro de este piñón, debido a que está sobre el mismo eje del grande, mantendrá los 600 pasos por vuelta.

$$P = 2 \cdot \pi \cdot r$$

Donde $r = 10,5\text{mm}$ (es el radio del piñón más lo que aporta el grosor de la correa)

$$P = 2 \cdot \pi \cdot 10,2\text{mm}$$

$$P = 64,0885\text{mm}$$

Como cada paso corresponde a un desplazamiento lineal, entonces:

$$P/600 = \text{desplazamiento por paso.}$$

$$D_{PP} = 0,1068\text{mm}$$

Como se puede observar en el resultado se tienen $6,8\mu\text{m}$ de desplazamiento no deseado por cada paso. Se busca saber cuantas veces cabe esta desviación en un paso.

$$\frac{0,1068\text{mm}}{6,8\mu\text{m}}$$

$$15,7$$

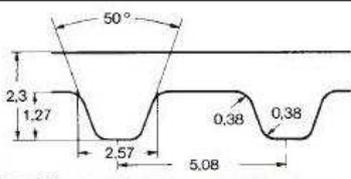
La desviación cabe: 15,7 veces. De tal manera que, si cada 15 pasos la siguiente instrucción en la misma dirección es omitida se realiza la corrección y la precisión queda mejorada.

Correas dentadas.

Las correas dentadas son unas correas de alta calidad con el fin de no permitir elongación que perjudique la precisión del sistema. Estas correas son unas Optibel que contienen filamentos de cobre internamente que no permiten que se estiren lo que evita que la pieza empiece a perder precisión debido a este componente.

Estas corresponden a las 108XL y 514XL. La tabla 04 muestra las características de la correa dentada así como una variedad de sus diferentes longitudes, entre las que se pueden ver las dos que se usan en el proyecto.

Tabla 05. Extracto de la tabla de propiedades de correas Optibelt.

optibelt ZR Zahnriemen Timing Belts				 Power Transmission			
 <p>Type XL (nur Mittelwerte nominal dimensions – mm)</p>							
Type XL – Teilung pitch 5,08 mm							
Artikel- Bezeichnung Designation	Wirklänge Pitch length		Anzahl der Zähne Number of teeth	Artikel- Bezeichnung Designation	Wirklänge Pitch length		Anzahl der Zähne Number of teeth
	(Zoll inch)	(mm)			(Zoll inch)	(mm)	
102 XL•	10,20	259,08	51	316 XL	31,60	802,64	158
106 XL	10,60	269,24	53	320 XL	32,00	812,80	160
108 XL•	10,80	274,32	54	322 XL	32,20	817,88	161
110 XL	11,00	279,40	55	330 XL	33,00	838,20	165
112 XL•	11,20	284,48	56	340 XL•	34,00	863,60	170
160 XL	16,00	406,40	80	506 XL•	50,60	1285,24	253
162 XL•	16,20	411,48	81	514 XL	51,40	1305,56	257
166 XL	16,60	421,40	83	580 XL•	58,00	1473,20	290
168 XL•	16,80	426,72	84	630 XL•	63,00	1600,20	315
170 XL	17,00	431,80	85				

Fuente: Optibelt, división: timing belts.

La correa dentada 514XL no usa esa longitud mostrada en el proyecto, ya que se corta para poder usar los tensores que mantendrán templada la correa acorde a la necesidad del proyecto.

Tensores.

Los tensores fueron creados por medio de un molde. Los pasos de creación de esta pieza se puede mostrar mediante una serie de imágenes; las gráficas... muestran paso a paso como se llegó a las piezas utilizadas para sujetar las correas.

Gráfica 75. Molde para acoplar dentadura de correa de tiempos.



Fuente: autor.

Gráfica 76. Vista del molde sin la correa.



Fuente: autor.

Gráfica 77. Pieza retirada del molde.



Fuente: autor.

Gráfica 78. Pieza final, recortada y perforada.



Fuente: autor.

Después de tener estas piezas se montan sobre los ejes de desplazamiento. Una se pone fija a la pieza y otra se pone al aire donde prensamos la otra parte de la

correa, la que se encuentra libre es la que lleva un tornillo que cuando se va ajustando poco a poco va tensando la correa hasta quedar como se necesita.

Gráfica 79. Pieza montada en uno de los ejes de desplazamiento.



Fuente: autor.

Actuador.

El actuador es un componente que se compra en base a la necesidad de una pieza que suba y baje un lapicero que trazará la figura.

Es de marca Bunker y se usa de manera idónea para subir y bajar el pistillo del seguro de la puerta de los carros.

El funcionamiento interno es una pieza que tiene piñones que al girar el motor esta consigue un desplazamiento lineal tal y como ya fue explicado en la gráfica 64 de la página 90.

4. PRUEBAS REALIZADAS A LA MAQUINA

Para verificar el correcto funcionamiento de la misma se hicieron pruebas de desplazamiento de un lado a otro tanto en el eje "X" como en el eje "y", realizando paso continuo y paso de pulso a pulso. Se calibraron varias veces los sensores de las correas hasta encontrar el funcionamiento óptimo de la máquina. Se hicieron pruebas de programación In-Circuit para verificar que se puede programar el PIC sin necesidad de retirarlo de la tarjeta principal.

Se probaron todos los sensores de final de carrera. Se probaron los sensores de origen (ópticos) [4]. Luego de probarlos por aparte se hicieron pruebas en la que eliminaba por software de PC las limitantes del diseño y probaba que la máquina respondiera de manera adecuada a un sobrepaso de los límites de trazo. Se hicieron pruebas de tensión en el resorte que ejerce presión sobre la punta del actuador para hallar la posición adecuada del mismo.

Se efectuó el disparo 100 veces continuas del actuador final, 50 de bajada y 50 de subida, la mitad con un intervalo de medio segundo y la segunda mitad con un intervalo de 1 segundos. Se realizaron pruebas de continuidad de todas las líneas, tanto de transmisión de alimentación como las de sensores. Se dejó prendida la máquina por espacio de media hora sin interrupción realizando una sucesión de gráficas repetitivas en toda el área de trabajo(círculo, estrella, cuadrado) obteniendo muy buenos resultados aunque si se nota una leve desviación sobretodo en el círculo.

4.1. DESEMPEÑO DE LA MESA DE POSICIONAMIENTO “X” & “Y”.

La mesa funciona de manera adecuada, las velocidades que se le introduzcan para el proceso influyen en el correcto empalme de un dibujo realizado en la misma. Tiene velocidades de 20ms por cada 0,1mm de desplazamiento, hasta 5ms por cada 0,1mm de desplazamiento.

Velocidad mínima: $0,1\text{mm}/30\text{ms} = 5\text{mm/s}$, 3,3 milímetros por segundo.

Velocidad máxima: $0,1\text{mm}/5\text{ms} = 20\text{mm/s}$, 20 milímetros por segundo.

Entre mas rápido trabaja menos exacta es en el empalme, esto se debe a que la siguiente instrucción de desplazamiento después de bajar la punta de trazo es más rápida y no alcanza por ende a iniciar en el punto adecuado, sino que se desplaza un poco hacia donde inicia desplazándose la figura. La figura realizada puede ser 100% repetitiva, es decir, siempre hará la figura exactamente igual. Debido a la pequeña diferencia de relación entre desplazamiento real y el desplazamiento calculado por la relación de los engranajes, grosor de correa y número de pasos por vuelta una figura no alcanza una relación de 1:1 perfecta, entre más grande se puede llegar a perder precisión. Sin embargo, esto podría solucionarse con correcciones por software sin tener que rediseñar la máquina, por lo que aún con esta particularidad, la máquina trabaja muy bien.

4.2. RESTRICCIONES DE LA MÁQUINA.

1. la velocidad máxima de operación es de 5ms por paso.
2. el área de trabajo se restringe a 35cms en “X” y a 30cms en “Y”.
3. no está programada para realizar figuras complejas.
4. tiene una capacidad de carga en el cabezal de máximo 1kg.
5. el motor del eje “X” es inmodificable en tamaño.
6. el actuador de la máquina no podrá ser en ningún momento algo que corte, ya que la mesa no tiene una rejilla o superficie adecuada para ello.

7. toda gráfica enviada origina en la coordenada (0,0) debido al Offset de programación para asegurar el tamaño máximo.

4.3. FUTUROS DESARROLLOS.

La mesa de posicionamiento "X" & "Y" fue concebida para poder trabajar en ella realizando múltiples modificaciones. La tarjeta principal tiene un sistema de programación In-Circuit, es decir, no necesita desmontar la tarjeta o el PIC para poder reprogramarlo y hacerlo funcionar de la manera que se desee.

Todas las tarjetas incluidas en el proyecto se pueden poner y quitar con solo remover unos tornillos y soltar cables, todo sin la necesidad de desoldar. Cada una de las tarjetas es controlada por la tarjeta principal mediante un bus de datos, lo que quiere decir que si se quiere hacer alguna modificación en cualquiera de ellas sólo se debe realizar una nueva, respetando la entrada de control configurada en el bus.

Existen motores paso a paso exactamente iguales en tamaño con una velocidad mucho mayor, si se desea aumentar la velocidad de desplazamiento sólo se debe conseguir y conectar los nuevos motores, así como reconfigurar la velocidad de transmisión que en el caso que desee seguir con el programa desarrollado en Visual Basic 6.0 y específicamente con la librería que se usó para la transmisión puede llegar a ser de 28800 baudios.

Dicho lo anterior, los futuros desarrollos son:

1. mejorar las velocidades de trabajo de los motores.
2. mejorar la velocidad de transmisión.
3. utilizar otro tipo de transmisión tal como la inalámbrica.
4. utilizar otro tipo de actuadores finales o realizarle adecuaciones y mejoras.
5. modificar la base de la mesa para que estos actuadores puedan ser mucho más avanzados, como el caso del láser.
6. cambiar las piezas de acrílico por acero inoxidable para hacer mucho mas robusta la mesa.

4.4. EJEMPLOS DESARROLLADOS POR LA MÁQUINA

5. CONCLUSIONES.

- Se logró obtener una máquina y software beta que demuestra la capacidad de realizar un equipo CNC aplicable a la rama de la industria que necesite de la herramienta colocando el actuador final que requiera cada empresa.
- Se consigue crear un software que controla la máquina utilizando el programa Visual Basic 6.0. Se obtiene un gran desempeño de la parte mecánica uniendo diseño previo, investigación de consecución de piezas y simulación a un trabajo fuerte en cuanto a la precisión de las partes. Los circuitos impresos son en su totalidad diseñados para controlar la máquina, circuitos simulados en Proteus y CircuitMaker y diseñados en TraxMaker.
- Los costos de producción de el equipo Beta no superan los dos millones y medio de pesos, con lo que, colocando las piezas necesarias para su labor industrial seguirá estando por debajo los costos de la importación de uno de estos equipos.
- Se evalúa la posibilidad de entrar en el mercado y ya se están realizando los papeles necesarios con ayuda del Centro de emprendimiento de la Universidad Pontificia Bolivariana para entrar a la convocatoria del fondo emprender del SENA (SErviceio Nacional de Aprendizaje) abierta hasta el 13 de enero de 2010.
- Se está evaluando con la facultad de Ingeniería Industrial la posibilidad de realizar una segunda versión de la máquina que tenga algunas mejoras tanto en el software como en la parte mecánica para crear (posiblemente) un laboratorio de prácticas y desarrollo en entorno a la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Francesco Balena. Programación avanzada con Microsoft Visual Basic 6.0 McGraw Hill (España, 2000).Cap. 1-3-4.
- [2] Juan Carlos Villamizar. Laboratorio de máquinas eléctricas, Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, (Bucaramanga, 2003). pp33-40.
- [3] Larson, Hostetler, Edwards. Cálculo y geometría analítica, quinta edición. Volumen 1. McGraw Hill (España, 1996). pp39-46.
- [4] Stanley Wolf. Guía para mediciones eléctricas y prácticas de laboratorio. Segunda edición. Editorial Prentice Hall (México, 1972). Cap. 2-3.
- [5] Robert L, Boylestad; Louis Nashelsky. Electrónica, teoría de circuitos. Sexta edición. Editorial Prentice Hall (México, 1972). Pp144-150.