



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

**Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de
Guadalajara.**

CNC (Control Numérico Computarizado).

Integrantes:

Arias Ramos José Antonio Rey.

Hernández Castillo Ana Yuritzi.

Nolasco Casillas Héctor Alejandro.

Osorio Cruz Rosalía.

Rodríguez Rodríguez José Luis.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco

Abril 2019



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

Índice:	No. página
1. Introducción.....	8
1.1. Fabricación de PCB's.....	8
1.2. Control Numérico.....	9
1.3. Fabricación de PCB utilizando CNC.....	9
1.4. Robot Cartesiano.....	10
2. Planeación.....	12
3. Justificación.....	13
4. Objetivo General.....	15
4.1. Objetivos Específicos.....	15
5. Marco Teórico.....	16
5.1. Robots Industriales.....	16
5.2. Clasificación del Robot Industrial.....	16
5.3. Configuración Cinemática Cartesiana de un Robot (PPP).....	17
5.4. Sistema CNC (Control Numérico Computarizado).....	17
5.5. Sistemas CAM y CNC.....	18
5.6. Historia y Evolución del CNC.....	20
5.6.1. Desarrollo Histórico del CNC.....	20
5.6.2. Evolución del Control Computarizado.....	21
5.6.3. Máquinas de Control Numérico.....	22
6. Diseño mecánico.....	24
6.1. Base eje "Y".....	24
6.2. Puente eje "X".....	25
6.3. Cabeza eje "Z".....	26
6.4. Ensamble Completo.....	27
6.5. Calculo de Traslación.....	27
6.6. Resistencia de la Rodadura.....	28
6.7. Potencia Continua en el Eje del Motor.....	28
7. Diseño electrónico.....	30
7.1. Cableado.....	30
7.2. Alimentación.....	30
7.3. Motores.....	31
7.4. Drivers.....	33
8. Programación.....	35
8.1. Controlador.....	35
8.2. Programador.....	38

9. Conclusiones.....	41
9.1. Arias Ramos José Antonio Rey.....	41
9.2. Hernández Castillo Ana Yuritzi.....	43
9.3. Nolasco Casillas Héctor Alejandro.....	44
9.4. Osorio Cruz Rosalía.....	45
9.5. Rodríguez Rodríguez José Luis.....	45
10. Bibliografía.....	47



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

Índice de imágenes:

Imagen 1. PCB Casera.....	8
Imagen 2. Configuración del Robot Cartesiano.....	10
Imagen 3. Flujo Grafico de Trabajo CAD/CAM.....	19
Imagen 4. Estructura de Control Numérico.....	19
Imagen 5. Base Eje “Y”.....	24
Imagen 6. Eje circular.....	24
Imagen 7. Placas laterales.....	25
Imagen 8. Rodamientos.....	26
Imagen 9. Ensamble XYZ.....	27
Imagen 10. Prototipo CNC.....	30
Imagen 11. Partes de un Motor a Pasos.....	32
Imagen 12. Conexiones Driver.....	34
Imagen 13. Pines Arduino.....	37
Imagen 14. Programa Arduino.....	38
Imagen 15. Objetos Inkscape.....	39
Imagen 16. Programador grbl.....	40

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

Índice de tablas:

Tabla 1. Características de Fuente de Alimentación.....	31
Tabla 2. Salidas de la Fuente.....	31
Tabla 3. Comparación de Drivers.....	33
Tabla 4. Características CNC Shield.....	35
Tabla 5. Características Arduino.....	37



The logo features a large, stylized 'UP' in a light gray color, set against a faint outline of the state of Jalisco. A thick, curved pink line arches over the 'UP' text. Below the 'UP', the letters 'al' are written in a white, lowercase, sans-serif font with a pink outline. The entire logo is centered on the page.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

1. Introducción:

1.1. Fabricación de PCB's.

Hacer un tablero de circuito impreso (PCB) consiste en colocar un diseño sobre un tablero fino cubierto con una capa delgada de cobre. El diseño contiene la disposición de los cables eléctricos impresos utilizado en ordenadores y otros dispositivos. (Ingeniería, 2010)

Existen diversos métodos caseros para hacer una PCB utilizados por los estudiantes, pero sin duda el método más utilizado, barato y sencillo es el planchado, es un método casero eficaz para hacer placas de circuito impreso, pero como todo en esta vida, tiene algunas desventajas y complicaciones.

Las principales desventajas son que solo se pueden realizar placas a simple cara, es importante utilizar una impresora de tipo laser, no es válida una impresora de chorro de tinta normal ya que no se despegaría la tinta del papel para adherirla al cobre, si el proceso se realiza con prisas, es probable que se terminen levantando las pistas a la hora de desprender el papel del cobre, por lo que es un proceso que necesita paciencia, si se excede el tiempo o temperatura en el planchado, aunque el tóner se adhiriera al cobre debido a la acción del calor, las pistas se ensancharán llegando incluso a tener el doble de tamaño del que deberían.

Antiguamente era habitual la fabricación de circuitos impresos para el diseño de sistemas mediante técnicas caseras, sin embargo, esta práctica ha ido disminuyendo con el tiempo. En los últimos años el tamaño de las componentes electrónicas se ha reducido en un 50%, lo que implica menor separación entre pines para circuitos integrados de alta densidad. (Ingeniería, 2010)

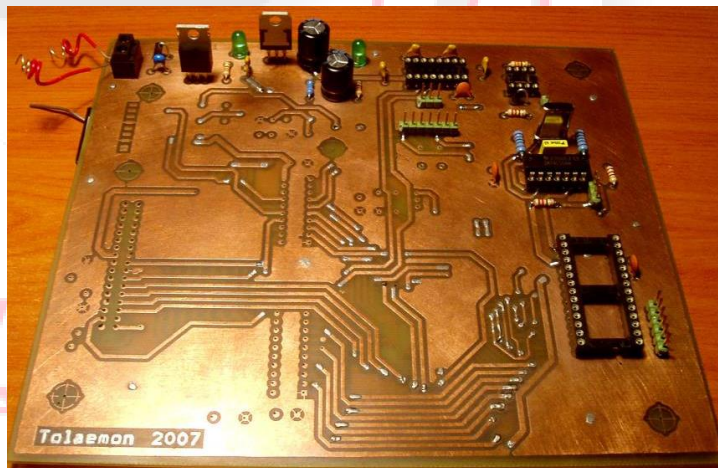


Imagen 1. PCB Casera

Teniendo también en consideración las actuales frecuencias de operación de los dispositivos, es necesaria una muy buena precisión en el proceso de impresión de la placa con la finalidad de garantizar tolerancias mínimas.

Este nivel de precisión y miniaturización, acompañados de una feroz demanda, así como un aumento en estándares de calidad, ha exigido a la industria desarrollar métodos fiables y muy avanzados para cumplir las necesidades.

1.2. Control Numérico.

Se trata de una máquina capaz de realizar multitud de tareas y que ha sido el fundamento de los sistemas robóticos más avanzados de la actualidad.

La máquina herramienta ha jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto de afirmar que la tasa del desarrollo de máquinas herramientas gobierna directamente la tasa del desarrollo industrial.

Inicialmente, el factor predominante que condicionó todo automatismo fue el aumento de la productividad. Posteriormente, debido a las nuevas necesidades de la industria aparecieron otros factores no menos importantes como la precisión, la rapidez y la flexibilidad.

Las siglas CNC hacen referencia a Control Numérico Computarizado. Básicamente se trata del control automatizado de una máquina herramienta para la realización de determinados trabajos mecánicos.

El origen del CNC se encuentra sobre los años 50. El primer CNC real se desarrolló por la industria aeronáutica para la realización de mecanizados complejos que requerían de interpolación entre ejes para conseguir superficies complejas tridimensionales.

El funcionamiento básico de una maquinaria de control numérico incluye los siguientes aspectos:

- En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan varios ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales o figuras complejas tridimensionales.
- Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias multidimensionales como las que se requieren para el mecanizado de moldes complejos y troqueles.
- En una máquina CNC una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola.

1.3 Fabricación de PCB utilizando CNC.

El CNC es capaz de realizar múltiples operaciones en una pieza, utilizando herramientas rotativas de múltiples filos de corte y con la mínima intervención del hombre durante el proceso de mecanizado, incrementando así la producción, flexibilidad y precisión. (Ingeniería, 2010)

En la industria de circuitos impresos la precisión es un requisito fundamental, por esta razón debe existir un control de tolerancias muy exigente, tanto en el equipo CNC como en las herramientas que se utilizan.

La Fabricación Asistida por Ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos más tradicionales al controlar equipos de fabricación con ordenadores en lugar de hacerlo con operadores humanos.

En los inicios del CNC hacer un programa de mecanizado era muy difícil y tedioso, pues había que planear e indicarle manualmente a la máquina cada uno de los movimientos que tenía que hacer. Era un proceso que podía durar horas, días, semanas. Aun así, era un ahorro de tiempo comparado con los métodos convencionales.

Ahora es posible programar un CNC sin saber a detalle su lenguaje, normalmente un CNC se encuentra previamente programado en cuestiones generales, como velocidad de motores, alcance, etc., podemos a partir de una imagen marcar las zonas que queremos grabar, perforar, etc., por medio de vectores y al guardar el programa lo convertirá en código g, que posteriormente es abierto desde el programador, ambos están disponibles en plataformas libres y de fácil acceso para cualquier público, sin necesidad de someter las placas a procedimientos largos y tediosos.

1.4. Robot Cartesiano.

Dentro de las aplicaciones de las maquinas automatizadas, se encuentra el robot cartesiano XYZ, es una maquina utilizada en ingeniería para tareas de soldadura, mecanizado pintura y la fabricación de diversos elementos mediante el desprendimiento de material generado por una herramienta de corte o por el aporte de material en estado pastoso mediante capas para formar un elemento completo. (RODRÍGUEZ, 2017)

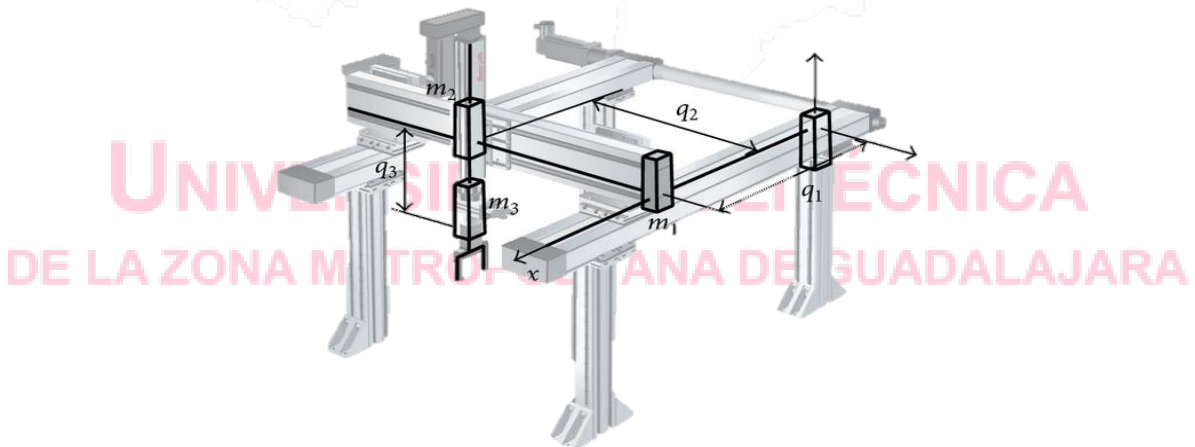


Imagen 2. Configuración del Robot Cartesiano

El robot cartesiano consiste en la combinación de movimientos lineales independientes que generan trayectorias complejas en un espacio tridimensional.

Un robot cartesiano es una configuración de tres articulaciones prismáticas, cuyas variables son las coordenadas cartesianas de la herramienta utilizada como efector con respecto a la base del mismo, es una configuración simple y sus aplicaciones principalmente se enfocan en campos de ensamble, almacenaje de productos y conformación de objetos mediante la aportación o eliminación de material.

Algunos investigadores han propuesto métodos de configuración de los tres ejes, del mismo modo la forma en que estos se mueven por ejemplo se puede tener el eje Z quieto y que la mesa de trabajo se mueva en X o Y, la decisión de cómo establecer esta configuración depende netamente de las aplicaciones y requerimientos de funcionalidad de la máquina, adicionalmente se pueden implementar distintos tipos de elementos activos para el control y funcionamiento de cada eslabón del robot, como lo son los motores a paso y los sensores tipo encoders.

Este tipo de máquinas son costosas comercialmente, su infraestructura es cerrada y no permite modificaciones para el desarrollo de prácticas con fines académicos e investigativos. Es por esto que en el presente proyecto se realiza el diseño y construcción de un robot cartesiano que permita estudiar los problemas de diseño, mecanizado y control; de modo que se pueda manipular materiales y herramientas de trabajo liviano, imitando lo que pasaría en un equipo industrial, además de ser un equipo de bajo costo.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

2. Planeación.

Investigación teórica. El planteamiento del proyecto no solo es comenzar con un quiero hacerlo, lo necesito, me gusta, etc., se trata de investigar todo lo que se requiere y determinar si el proyecto es factible o no por los miembros del equipo.

Diseño mecánico. Se diseñará un brazo cartesiano de 3GDL, se comenzará por medio de simulaciones, también se diseñará el sistema de transmisión, soporte y deslizamiento, una vez que el análisis estructural este resuelto satisfactoriamente procederemos a maquinar las piezas de acero.

Diseño electrónico. Posteriormente al análisis estructural se comenzará a trabajar en todas las conexiones que esta requiera, una vez ensamblado comenzaremos a integrar la instalación de drivers, conexión de motores, disipación de calor, etapa de potencia, además de la programación con las tarjetas seleccionadas.

Programación. Una vez terminado el ensamble mecánico y eléctrico, instalaremos los programadores necesarios para llevar a cabo el control de los motores desde la computadora y de esta forma comenzar a mecanizar piezas.

3. Justificación.

La elaboración de circuitos impresos por métodos manuales es una tarea muy arriesgada y contaminante.

La parte más difícil del proceso de fabricación de este producto es el diseño y elaboración de las pistas del PCB. Además de tediosa puede llegar a convertirse en una labor molesta debido a que la fabricación a pequeña escala se realiza por métodos manuales en una serie de pasos, y puede tardarse hasta un día cuando se utiliza un método de fabricación con reacción química.

Este prototipo es una herramienta útil para realizar PCB's de calidad, pero además abre la oportunidad de realizar prácticas de CNC y apoyos a todos los proyectos elaborados, debido a que tiene la capacidad de cortar distintos materiales como aluminio, acrílico, MDF, madera y plásticos.

Las baquelitas deben ser perforadas para poder ensamblar componentes electrónicos, dichas perforaciones se realizan en casa, si se tiene la herramienta manual adecuada, de lo contrario es complicado y tardado conseguirla, por tal motivo, este prototipo representa una excelente opción para desarrollar y aplicar nuestros conocimientos.

Actualmente la creación de circuitos impresos y en particular el prototipado a baja escala, es una actividad del área de la electrónica y electricidad es indispensable para trabajos de investigación y desarrollo. Se podría decir que los circuitos impresos son la base de cualquier desarrollo, modificación y/o actualización de una maquina o equipo.

Los circuitos impresos son comúnmente empleados en centros educativos con fines netamente académicos. Igualmente, pero con mayor importancia, son utilizados en la industria para la fabricación, reparación de máquinas y equipos. Los circuitos impresos en una producción a pequeña escala son hechos con métodos manuales, de esta manera se observa la importancia y la necesidad del prototipo para la fácil utilización de cualquier individuo que busque proyecto a pequeña escala y con la mejor optimización posible de recursos.

Si se analizan los elementos de cualquier CNC, todos radican en una estructura muy similar. La principal diferencia entre ellos son el número de ejes, la capacidad o no de cambio de herramienta y la sonorización.

La automatización nos permite tener una visión más amplia de lo que puede ayudar en el mecanizado de piezas, la automatización se compone de todas las teorías y tecnologías en caminadas a sustituir el trabajo del hombre por una máquina.

Este flujo de trabajo resulta inevitable en la actualidad, ya que los proyectos de ingeniería han alcanzado una complejidad tal que es inconcebible realizarlos sin

antes disponer de la seguridad de un diseño en ordenador, junto con simulaciones y todos los parámetros que aseguren su correcto funcionamiento. Actualmente, la tecnología de CNC está ampliamente extendida, dejando cada fuera de lugar a los métodos artesanos.

Inicialmente, el factor predominante que condicionó todo automatismo fue el aumento de la productividad. Posteriormente, debido a las nuevas necesidades de la industria aparecieron otros factores no menos importantes como la precisión, la rapidez y la flexibilidad.

La automatización industrial surge y se desarrolla a lo largo del tiempo por la exigencia de cubrir ciertas necesidades: como la de fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y calidad suficientes sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación, los escasos de productos difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano, la necesidad de fabricar productos con unos costes de producción bajos, etc.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

4. Objetivo General:

- Construir un prototipo industrial CNC cartesiano de 3GDL.

4.1. Objetivos Específicos:

- Diseñar estructura mecánica para el Robot Cartesiano.
- Diseñar Sistema de Transmisión.
- Diseñar Sistema de Soporte y Deslizamiento.
- Desarrollar cálculos estructurales, de funcionamiento de la propuesta seleccionada.
- Acondicionar Cableado y Alimentación.
- Seleccionar Interfaz motor-tarjeta.
- Programar motores.
- Elaborar un prototipo de bajo coste.
- Utilizar plataformas de libre acceso y fáciles de manejar.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

5. Marco Teórico.

5.1. Robótica Industrial.

En la actualidad los robots industriales o manipuladores son considerados como los robots más útiles. Para lograr una definición clara y concisa de lo que significa es necesario entender cada una de las ideas que cada Asociación impone.

La definición comúnmente aceptada es la de la Asociación de Industrias de Robótica (RIA, Robotic Industry Asociación) la cual lo define como: "Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas".

También se incluye la definición establecida por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR), la cual ve necesario definir primero que es un manipulador y en base a esta la del robot, definiendo entonces un manipulador como un mecanismo formado por una sucesión de elementos en serie, articulados entre si y destinados a la sujeción y traslado de objetos.

Un robot industrial puede ser manipulado directamente por un operador humano o mediante un control lógico computacional y un robot definido como un manipulador automático controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar elementos siguiendo una trayectoria fija o programable.

El robot se compone de uno o varios eslabones que terminan en una muñeca. Poseen en su unidad de control un banco de memoria y puede también ser perceptor del entorno en el que trabaja mediante el uso de elementos sensoriales, cumplen funciones de manera cíclica y se adaptan a otras sin cambios en su diseño físico ni de material. (ROBOTS INDUSTRIALES, 2015)

5.2. Clasificación del Robot Industrial.

Gracias al surgimiento del desarrollo de microcontroladores y a la implementación de motores a pasos en lazos cerrados, que permiten conocer con exactitud la posición real de los componentes de un robot y en el establecimiento del error con la posición deseada, se dio origen a una serie de tipos de robots, uno de estos son los robots de repetición o aprendizajes los cuales mediante el uso de controladores manuales o dispositivos auxiliares, repiten una secuencia de movimientos previamente realizados.

Otros son conocidos como robots inteligentes que son controlados mediante el uso de microcontroladores, además son capaces de relacionar y tomar decisiones dependiendo del medio que los rodea mediante la utilización de sensores, además existen los robots controlados por computador cuando además de ser controlados por un microcontrolador se dispone de un lenguaje compuesto por instrucciones adaptadas para el tipo de robot, con las que se puede ejecutar un programa

secuencial para la elaboración de un proceso. A este tipo de programación se le llama textual y no depende para su creación del manipulador. (ROBOTS INDUSTRIALES, 2015)

5.3. Configuración Cinemática Cartesiana de un Robot (PPP)

Es una configuración compuesta por tres articulaciones (3D o PPP). La posición de cada una de las articulaciones es controlada mediante coordenadas cartesianas (x, y, z) si es de dos ejes o x, y, z si es de tres).

Gracias a que los movimientos pueden iniciarse o detenerse simultáneamente en sus tres ejes el movimiento de la herramienta es mucho más suave, de igual forma permite que el robot se mueva directamente a una referencia, en lugar de seguir trayectorias paralelas a cada eje, una de las ventajas de un robot cartesiano es que sus movimientos son totalmente lineales permitiendo así la implementación de controles más simples, de igual manera tienen un alto grado de rigidez mecánica, precisión y repetibilidad, pueden llevar cargas pesadas a lo largo de su campo de trabajo.

En cuanto a sus desventajas los robots cartesianos son generalmente limitados en sus movimientos a su espacio de trabajo. La aplicación para la que se va a utilizar robot cartesiano en este proyecto consiste en la instalación de una herramienta de corte en la muñeca del robot con el fin de lograr mecanizados didácticos en materiales de bajos esfuerzos cortantes. Basado en el control numérico computarizado y en el funcionamiento de las fresadoras CNC. (CAZAR, 2008) (GALARZA & DAVILA, 2010)

5.4. Sistema CNC (Control Numérico Computarizado).

Es una herramienta tecnológica que sirve para gobernar el funcionamiento mediante una serie de códigos alfanuméricos, básicamente el funcionamiento de una máquina herramienta es guiar, mediante un sistema de coordenadas (x, y, z), con este método se consigue una mayor precisión y menor desgaste de material comparado con los métodos y herramientas artesanales conocidas.

El CNC ha aportado mejor control en el diseño y fabricación de activos y pueden ser usadas en procesos sencillos como llevar una herramienta a una posición lineal, como también el fresado de una pieza en tres dimensiones que por métodos convencionales resultaría demasiado costoso y de suma dificultad su realización. (ALEJANDRO, 2014)

Los programas de control numérico pueden automatizar procesos en una máquina herramienta como los son:

- Movimientos en los ejes.
- Velocidades de posición, traslación y de mecanizado.

- Cambios manuales o automáticos.
- Las grandes ventajas de la utilización de sistemas gobernados por CNC como, por ejemplo:
- Precisión y calidad en los productos.
- Uniformidad en las geometrías de las piezas fabricadas.
- Seguridad en el proceso de producción.

Del mismo modo entre sus desventajas se encuentran:

- Se debe tener extremo cuidado en la programación del cambio de herramienta y en la secuencia de operaciones de la misma.
- Costos elevados de mantenimiento, por los sistemas electrónicos y mecánicos complejos.

5.5. Sistemas CAM y CNC.

Al mismo tiempo que se han desarrollado los sistemas CNC han evolucionado los sistemas de CAD/CAM. CAD/CAM es el proceso mediante el cual se utilizan las computadoras para mejorar la fabricación, y diseñar los productos. Éstos pueden fabricarse de forma más rápida, más precisa o con unos costes de fabricación menores, con la aplicación adecuada de tecnología informática.

Los sistemas CAD¹ son sistemas de Diseño Asistido por Ordenador, éstos pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto. Estas características podrían ser el tamaño, el contorno y la forma de cada componente, almacenados como dibujos bidimensionales y/o tridimensionales.

Una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar las ideas del diseño con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto. Además, pueden compartirse e integrarse las ideas combinadas de varios diseñadores, ya que es posible mover los datos dentro de redes informáticas, con lo que los diseñadores e ingenieros situados en lugares distantes entre sí pueden trabajar como un equipo.

Los sistemas CAD también permiten simular el funcionamiento de un producto. Hacen posible verificar si un circuito electrónico propuesto funcionará tal y como está previsto, si un puente será capaz de soportar las cargas pronosticadas sin peligros e incluso si una salsa de tomate fluirá adecuadamente desde un envase de nuevo diseño.

Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por ordenador conforman un sistema integrado CAD/CAM^{2,1}.

¹ CAD.- (Computer-Aided-Design) Diseño asistido por ordenador.

² CAM.- (Computer Aided Manufacturing) Fabricación asistida por ordenador.



Imagen 3. Flujo Grafico de Trabajo CAD/CAM.

La Fabricación Asistida por Ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos más tradicionales al controlar equipos de fabricación con ordenadores en lugar de hacerlo con operadores humanos.

En los inicios del CNC hacer un programa de mecanizado era muy difícil y tedioso, pues había que planear e indicarle manualmente a la máquina cada uno de los movimientos que tenía que hacer. Era un proceso que podía durar horas, días, semanas. Aun así, era un ahorro de tiempo comparado con los métodos convencionales.

También se emplean sistemas CAD/CAM para generar el programa de mecanizado de forma automática. En el sistema CAD la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado sólido.

Posteriormente el sistema CAM toma la información del diseño y genera la ruta de corte que tiene que seguir la herramienta para fabricar la pieza deseada; a partir de esta ruta de corte se crea automáticamente el programa de mecanizado, el cual puede ser introducido a la máquina mediante un disco o enviado electrónicamente.

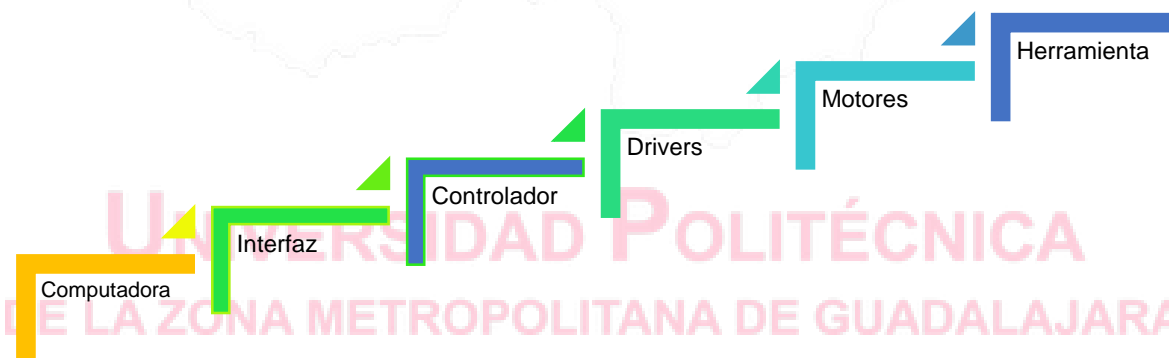


Imagen 4. Estructura de Control Numérico.

5.6. Historia y Evolución del CNC.

Su inicio fue en la revolución industrial en 1770, las máquinas eran operadas a mano, al fin se tiende más y más a la automatización, ayudo el vapor, electricidad y materiales avanzados. En 1945 al fin de la segunda guerra mundial se desarrolló la computadora electrónica. En los 50's se usó la computadora en una máquina herramienta. No paso mucho tiempo hasta que la computación fue incorporada masivamente a la producción.

En los 60's con los chips se reduce el costo de los controladores. Hacia 1942 surgió lo que se podría llamar el primer control numérico verdadero, debido a una necesidad impuesta por la industria aeronáutica para la realización de hélices de helicópteros de diferentes configuraciones.

5.6.1. Desarrollo Histórico del CNC.

Los primeros equipos de control numérico con electrónica de válvulas, relés y cableados, tenían un volumen mayor que las propias máquinas-herramientas, con una programación manual en lenguajes máquina muy complejo y muy lenta de programar. Puede hablarse de cuatro generaciones de máquinas de control numérico de acuerdo con la evolución de la electrónica utilizada.

1. Válvulas electrónicas y relés (1950).
2. Transistores (1960).
3. Circuitos integrados (1965).
4. Microprocesadores (1975).

A finales de los 60's nace el control numérico por ordenador. Las funciones de control se realizaban mediante programas en la memoria del ordenador, de forma que pueden adaptarse fácilmente con solo modificar el programa. En esta época los ordenadores eran todavía muy grandes y costosos, la única solución práctica para el CN era disponer de un ordenador central conectado a varias máquinas herramientas que desarrollaban a tiempo compartido todas las funciones de control de las mismas. Esta tecnología se conoce con las siglas DNC (Direct Numerical Control - Control Numérico Directo).

A principios de los 60's se empezó a aplicar más pequeño y económico apareciendo así el CNC, que permite que un mismo control numérico pueda aplicarse a varios tipos de máquinas distintas sin más que programar las funciones de control para cada máquina en particular.

Las tendencias actuales de automatización total y fabricación flexible se basan en máquinas de CNC conectadas a un ordenador central con funciones de programación y almacenamiento de programas y transmisión de los mismos a las máquinas para su ejecución. Los esfuerzos para eliminar la intervención humana en los procesos de producción son una meta gerencial con la introducción de los conceptos de partes intercambiables y producción en masa. El control numérico puede proveer:

1.- Flexibilidad para incrementar la producción de bajo nivel.

2.- Instrucciones almacenadas para disminuir la mano de obra directa.

La tecnología de control numérico fue la primera aplicación del auxilio de manufactura computarizada (CAM), la aplicación de tecnología de proceso de información a la tecnología de automatización industrial.

La máquina herramienta de control numérico original fue desarrollada por contrato de la Fuerza Aérea por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) en el laboratorio de servomecanismos militar para producir frecuentes y muy complejas partes modificadas en base a emergencias.

La primera instalación comercial de equipo de control numérico fue en 1957. Las máquinas originales de control numérico fueron estándar como las fresadoras y taladros. Tecnología de control fue desarrollada en paralelo con computadoras digitales, desde tubos de vacío pasando por transistores y circuitos integrados para los más capaces y confiables minicomputadoras, miniprosesores, basados en control de unidades los cuales son referidos como computadora de control numérico (CNC).

En los CNC el alambrado lógico es reemplazado por software ejecutador, el da al controlador su identidad. En adición provee parte del almacén del programa, ahora muchos controladores aceptan operaciones de cómputo. El programa de la parte y nuestro programador es de la nueva creación de trabajadores de información en la nueva revolución industrial de la información.

Como desarrollo del progreso de la tecnología de maquinado y control, se reconoció una necesidad para un método de programación para manipular y traducir información de tecnología y manufactura para crear un medio de control para partes complicadas de 3 dimensiones. La Fuerza Aérea inició este proyecto (MIT), el resultado fue el sistema de asistencia por computadora llamado APT para herramientas programables completamente automáticas.

Mientras más intervención humana fue quitada del equipo de operación, controles humanos, la accesibilidad del operador al proceso se ha minimizado. Estos procesos son tales como corte con alambre eléctrico, corte con láser y maquinado a alta velocidad que pueden ser imposibles sin el control numérico.

5.6.2. Evolución del Control Computarizado.

Se usó el primer aditamento con información secuenciada en los cilindros con pernos en los relojes de las iglesias.

1808.- Joseph M. Jacquard usó una hoja de metas perforadas para controlar agujas en las tejedoras.

1863.- M. Fourneaux patentó el primer piano automático, usando el principio de pasar aire a través de un rollo de papel perforado; llamándola pianola.

1842.- Pascal construyó una calculadora mecánica.

1834.- Babbage construyó una calculadora capaz de dar seis decimales.

1940.- Aiken en E.U.A. y Zuse en Alemania usando relevadores construyeron la primera máquina electrónica computable.

1943.- Mauchly and Eckert construyeron la primera computadora electrónica ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), contenía 18000 bulbos, 500,000 conexiones soldadas a mano, pesaba 30 toneladas, ocupaba 160 mts , su carga electrónica era de 174 kw.

1948.- Se desarrolló el transistor.

1959.- Se empezaron a construir circuitos integrados.

1960.- Se empezaron a construir computadoras en forma comercial.

1965.- Se construyeron circuitos integrados en gran escala.

1979.-Microprocesadores.

1980.- Componentes de superficie.

5.6.3. Máquinas de Control Numérico.

El principal objetivo en el desarrollo de las máquinas de control numérico fue la precisión. Para 1949 la idea ya tenía 500 años en la mente del hombre.

1952.- John C. Parsons y el Instituto Tecnológico de Massachusetts desarrollaron la primera máquina fresadora de control numérico, construida con bulbos, usando un código binario y cinta perforadora.

1954.- Se desarrolló un lenguaje simbólico llamado APT Automatically Programmed Tool, Programación automática de la herramienta.

1957.- La Bendix Co. comenzó a construir máquinas en forma comercial, usadas primeramente por la fuerza aérea de E.U.

1971.- Hasta este año la AIA (Aerospace Industry Association) el MIT y el ITRI (Illinois of Technology Research Institute) trabajaron en el desarrollo del lenguaje APT. El lenguaje APT inicial era suficiente para operaciones de taladrado, torneado

o fresado recto, sin embargo, estas no son suficientes para las operaciones de maquinado. Cuando en 1976 se aplicó el microprocesador a las computadoras, se dio un enorme salto en el desarrollo del CNC, haciéndose posible las interpolaciones rectas y curvas entre ejes.

1982.- Se desarrollaron los primeros sistemas flexibles de manufactura FMS

1986.- Se desarrollaron los primeros sistemas de manufactura integrada.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

6. Diseño Mecánico.

6.1. Base eje "Y".

El movimiento en el eje "Y" implica básicamente el uso de dos sistemas de deslizamiento en conjunto con un tercero que proporciona el movimiento a lo largo de la dirección lineal. Para poder realizar la tarea de deslizamiento, los sistemas que se seleccionaron tienen solo la función de proporcionar el libre traslado del mecanismo en dicha dirección, a través de unas guías conocidas como ejes de rodamientos lineales.

El primer sistema se encuentra constituido por un rodamiento particular, conocido como rodamiento de transmisión lineal, en conjunto con sus ejes circulares, mientras que el segundo sistema está formado por un rodamiento lineal de bolas que se desplazan a lo largo de perfiles de acero inoxidable conocidos como guías deslizables (Imagen 5).

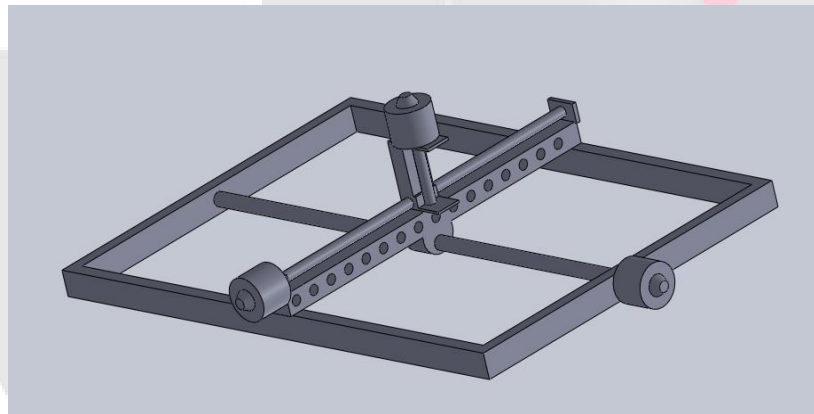


Imagen 5. Base eje "Y"

Los ejes circulares (Imagen 6) están ubicados a los costados de la mesa y están fijados a las mismas placas de acero inoxidable que sirven para unir la mesa, el rodamiento lineal de bola está alojado en pequeños cubos de acero maquinados de tal forma que se acoplen a los mismos, permitiendo a los rodamientos trasladarse a lo largo de los ejes circulares.

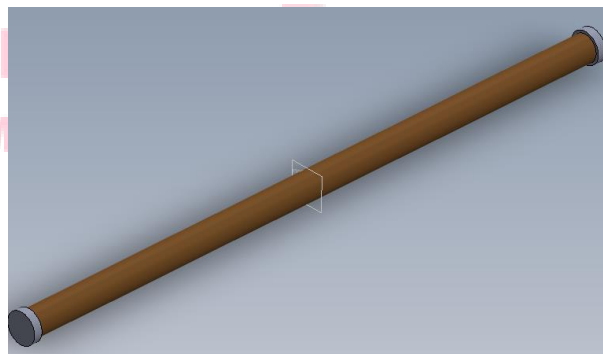


Imagen 6. Eje circular.

Para poder proporcionar el movimiento lineal a través de un motor, en el centro del sistema se encuentra colocado un husillo de potencia de rosca trapezoidal de aplicaciones especiales para máquinas de control numérico, el cual es sujetado en sus extremos a las piezas conocidas como extremos de la cama por medio de rodamientos de contacto angular.

6.2. Puente eje "X".

El desplazamiento en la dirección "X" es similar al desplazamiento en la dirección "Y". El sistema cuenta con una serie de acoplamiento lineales con los que se garantiza el libre estado en esta dirección, así como también una estabilidad al momento de realizar el maquinado, ya que sobre este mecanismo actúan indirectamente los esfuerzos de corte que son aplicados a la herramienta al encontrarse posicionado de forma perpendicular al corte.

El sistema de movimiento en "X" se encuentra unido al sistema de movimiento en "Y" por medio de dos placas de acero maquinadas llamadas "piezas laterales", estas placas están ensambladas en los rodamientos de transmisión lineal del sistema "Y", de tal forma que puedan conectar entre sí con ayuda del puente que une cada uno de los extremos del mecanismo y así realizar un traslado en conjunto (Imagen 7).

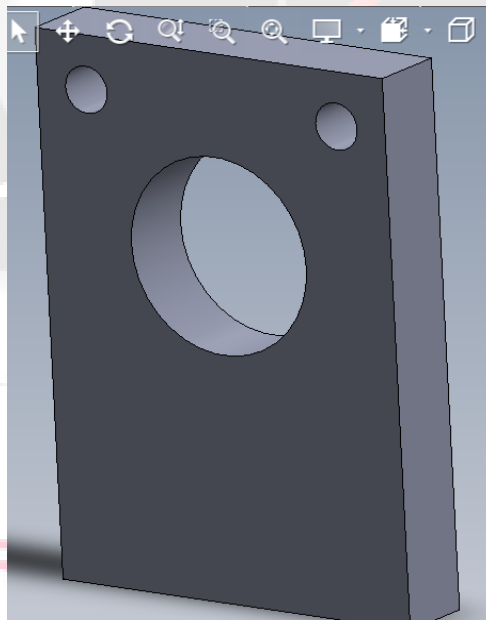


Imagen 7. Placas laterales.

A cierta altura de estas placas se encuentran ensamblados 2 ejes de acero inoxidable, su función es servir de guías para cada uno de los juegos de rodamientos lineales (dos rodamientos en cada eje), los cuales se deslizan a lo largo de los mismos para poder realizar el traslado del carro. Los rodamientos lineales se encuentran alojados en cubos maquinados de aluminio similares a las cajas de los

rodamientos en el sistema en “Y”, estos cubos se encuentran unidos entre sí por una placa maquinada en acero llamada “placa soporte de rodamientos en X”.

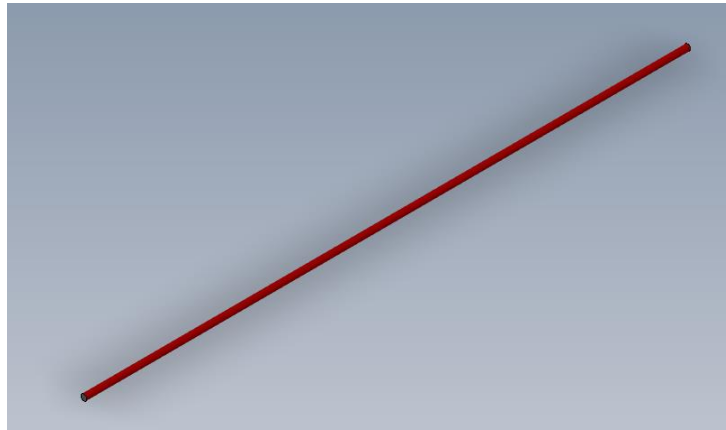


Imagen 8. Rodamientos.

6.3. Cabezal eje “Z”.

El sistema de movimiento en dirección “Z” se encuentra ensamblado directamente al router manual, este le proporciona un desplazamiento vertical y es el responsable de llevar a cabo la profundidad de corte en la pieza de trabajo, sin embargo, este sistema no cambia demasiado a comparación de los sistemas anteriores, ya que el principio de funcionamiento es prácticamente el mismo.

El sistema de movimiento en “Z” se une con el sistema de movimiento en “X” por medio de la placa de acero conocida como placa soporte de rodamientos en “X”, ya mencionados en la sección 6.2, une a todos los componentes del sistema de dicha dirección.

En la placa soporte de rodamientos en “X” se ensamblan dos placas de acero, una en la parte superior y una en la parte inferior, las cuales se les dio el nombre de “base superior de movimiento en Z” y “base inferior de movimiento en Z”. Estas uniones se encuentran fijadas con tornillos de tipo allen en los extremos inferior y superior.

Entre las placas base inferior y superior se encuentran colocados dos ejes de acero inoxidable separados a cierta distancia, los cuales funcionan como guías para los rodamientos de transmisión lineal, estos rodamientos lineales se encuentran alojados en cubos maquinados de aluminio que sirven como caja, similares a los que se utilizaron para los sistemas anteriores.

En medio de los dos ejes guías se localiza el tornillo sinfín, el cual se sujeta a las placas superior e inferior por medio de los rodamientos axiales, este ensamble permite que el tornillo sinfín gire de forma libre.

Para que el tornillo sinfín transforme el movimiento giratorio en movimiento línea hacia el router, se incorpora un ángulo de aluminio, el cual es atornillado a la

placa soporte del router, en este pequeño ángulo se encuentra fijado el rodamiento de bolas tipo husillo, el cual realiza el trabajo de desplazar al sistema de forma vertical.

6.4. Ensamble completo.

Una de las características que tiene el diseño de esta estructura es el poder armar y desarmar intuitivamente cada uno de los componentes de la misma, para poder realizar esa tarea se seleccionaron herramientas comunes, que encontramos normalmente en nuestras casas, sin dejar a un lado la seguridad en las uniones, es por esto que toda la estructura se encuentra ensamblada con tonillos estándar y allen así como también tuercas de seguridad para fijarlos y asegurar el ajuste adecuado para cada pieza.

Dentro de las piezas que conforman la estructura existen piezas maquinadas, las cuales no tienen mayor complicación en su manufactura, sin embargo, estas piezas requieren ser hechas por personal capacitado. Otras piezas son proporcionadas por distribuidores con las características necesarias para ser ensambladas directamente en la máquina, como lo son: los diferentes tipos de rodamientos y los ejes para cada rodamiento.

Finalmente, en la Imagen 9 se muestra el ensamble completo de los tres sistemas.

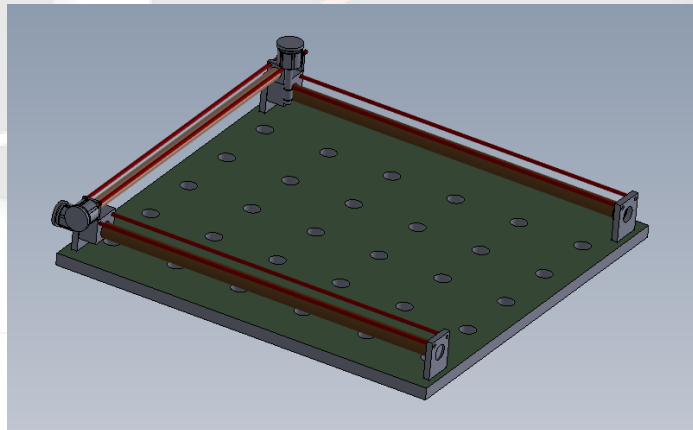


Imagen 9. Ensamble completo.

6.5. Cálculo del motor de traslación.

La velocidad angular de giro en el de la rueda de traslación se calcula conociendo la velocidad máxima del traslado y el diámetro de la rueda.

$$Velocidad_{m\acute{a}x} = 3 \text{ m/s } (180 \text{ m/min})$$

$$D_{rueda} = 500 \text{ mm}$$

La velocidad angular deseada en el eje del motor será la siguiente conociendo la relación del reductor y la velocidad deseada del eje de salida (de traslación).

$$n_{motor} = n_{s\ reductor} \quad i = 114.59 * 19.74 = 2262 \text{ rev}/\text{min}$$

Esta es la velocidad angular deseada del motor, pero como se regulara mediante un variador de frecuencia, se deberá seleccionar una frecuencia determinada para obtenerla.

Si conocemos la velocidad del eje motor a 50 Hz, que es de 1460.76 rev/min, podemos conocer la frecuencia que se deberá escoger para obtener la velocidad necesitada, sabiendo que la velocidad del motor es proporcional a la de la frecuencia.

$$\frac{2262 \text{ rev}/\text{min}}{1460.76 \text{ rev}/\text{min}} = \frac{f(\text{Hz})}{50 \text{ Hz}}$$

$$f = \frac{2262}{1460.76} * 50 = 77 \text{ Hz}$$

6.6. Resistencia de la rodadura.

La fuerza de fricción (1) que se produce en la rodadura entre la rueda y el carril de acero se calcula como:

$$F_r = M g * \left[\frac{2}{D} * \left(M_r * \frac{d}{2} + f \right) * c \right] \quad (1)$$

Donde:

F_r = Fuerza de fricción por rodadura (N)

M = Masa total de la maquina (Kg)

D = Diámetro de la rueda (mm)

M_r, f, c = Valores para ruedas con rodamientos

$$\therefore F_r = 18800 (9.81) * \left[\frac{2}{500} * \left(0.005 * \frac{100}{2} + 0.5 \right) * 0.002 \right]$$

$$F_r = 887.8 \text{ N}$$

6.7. Potencia continua en el eje motor.

$$P_x = \frac{F_r V_{\text{máx}}}{100 * n} \quad (2)$$

$$\therefore P_x = \frac{887.805 * 3}{1000 * 0.95} = 2.80 \text{ kW}$$

De este modo el par resistente en el eje motor en funcionamiento a velocidad constante se calcula conociendo la velocidad del eje motor de 2262 rev/min.

$$M_x = \frac{P_x * 9550}{n_{mot}} \quad (3)$$

Donde:

$M_x = \text{Par resistente (Nm)}$

$P_x = \text{Potencia (kW)}$

$n_{mot} = \text{Velocidad de giro del motor (rev/min)}$

$$\therefore M_x = \frac{2.80 * 9550}{2262} = 11.82 \text{ Nm}$$

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

7. Diseño Eléctrico.

7.1. Cableado.

Un cable eléctrico es un elemento fabricado y pensado para conducir electricidad. El material principal con el que están fabricados es con cobre (por su alto grado de conductividad) aunque también se utiliza el aluminio que, aunque su grado de conductividad es menor también resulta más económico que el cobre.

El cable utilizado en el CNC fue de distintos calibres debido a diferentes factores, como amperaje y voltaje, así como del tipo de componente a conectar.

El cableado que se realizó no puede estar fijo debido al movimiento de los ejes, se cubrieron con manguera para proteger los cables, darle una vista más estética, no estuvieran sueltos y así no sufriera daños. Como en la imagen 10 podemos observar el prototipo del CNC.

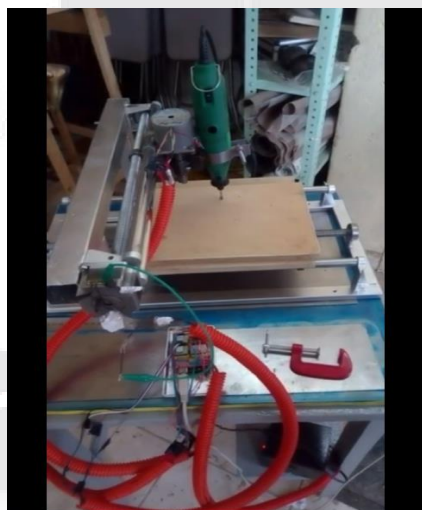


Imagen 10. Prototipo CNC.

7.2. Alimentación.

La alimentación del CNC se hace directamente a 120V y un switch cola de rata en la mesa del CNC (con la finalidad de controlar el encendido y apagado del mototool con facilidad).

Para alimentar todo el conjunto se implementó una fuente de alimentación de ordenador de tipo ATX. Esta solución es perfecta ya que tiene precio bajo, cuenta con una de multitud de salidas a diferente tensión y además se dispone de ventilador para contribuir a la refrigeración de los drivers.

En concreto, se ha empleado el modelo TMXPT0500 de TECNIMAX, que ofrece hasta una potencia de 500W, ofrece protección frente a sobrecarga y cortocircuito.

Sus principales características son:

Tensión de entrada	230 V AC
Frecuencia de entrada	50 Hz
Eficiencia	70%
Temperatura de Funcionamiento	0-40°C
Protecciones	OVP (Sobrevoltaje) OCP (Sobretensión) SCP (Cortocircuito)

Tabla 1. Características de Fuente de Alimentación

Como toda fuente de alimentación de estas características, ofrece las siguientes salidas:

Naranja	3.3 V
Rojo	5V
Amarillo	12 V
Azul	-12V
Violeta	5V
Negro	GND

Tabla 2. Salidas de la Fuente

7.3. Motores.

Los motores eléctricos más comunes empleados en este tipo de proyectos son:

- Motor de continua: se compone principalmente de dos partes. El estator da soporte mecánico al aparato y contiene los devanados principales de la máquina, conocidos también con el nombre de polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, alimentado con corriente directa mediante escobillas fijas (conocidas también como carbones). El principal inconveniente de estas máquinas es el mantenimiento, muy caro y laborioso, debido principalmente al desgaste que sufren las escobillas al entrar en contacto con las delgas.
- Motor sin escobillas (brushless): es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor. Esto aumenta enormemente su durabilidad.
- Motor paso a paso: es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control.

En las MHCN más simples con prestaciones basadas en la precisión del mecanizado se utilizan los motores paso a paso como actuadores primarios. Con motores de este tipo, el giro se subdivide en incrementos fijos que son controlados

mediante un número de pulsos dado. Sin embargo, cuando se desean trabajos pesados de mecanizado con pares resistentes elevados durante el frenado o aceleración, su fiabilidad y prestaciones disminuye. El uso de motores de este tipo está restringido a pares resistentes bajos.

Su principal característica es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se les aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de centésimas de grado. Un motor que gire 1.8° por cada pulso, necesitará de 200 pulsos para efectuar una vuelta completa. Otras características son:

- Posibilidad de estacionamiento en determinados puntos de su giro dependiendo de la amplitud del paso, es decir, su resolución.
- Aplicación de par en situación estacionaria.
- Alta precisión en el posicionamiento con un error que oscila entre un 3 y un 5% de la longitud del paso, no acumulable entre un paso y el siguiente.
- Posee numerosas ventajas sobre los motores convencionales: los únicos elementos de rozamiento son los rodamientos (no posee escobillas), el coste del control es menor, se le pueden aplicar muy bajas velocidades de giro sin pérdida del par, poseen una mayor amplitud de velocidades de giro efectivas y poseen una mejor respuesta a las señales que se le envían.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

Están compuestos por dos partes una fija, llamada estator y otra en movimiento, llamada rotor. El estator se encuentra en la periferia del motor y es el encargado de generar el flujo principal, mientras que el rotor se encuentra en el centro del motor, unido al eje, y su función es reaccionar a la excitación del estator produciendo el movimiento de rotación o una fuerza de enclavamiento.

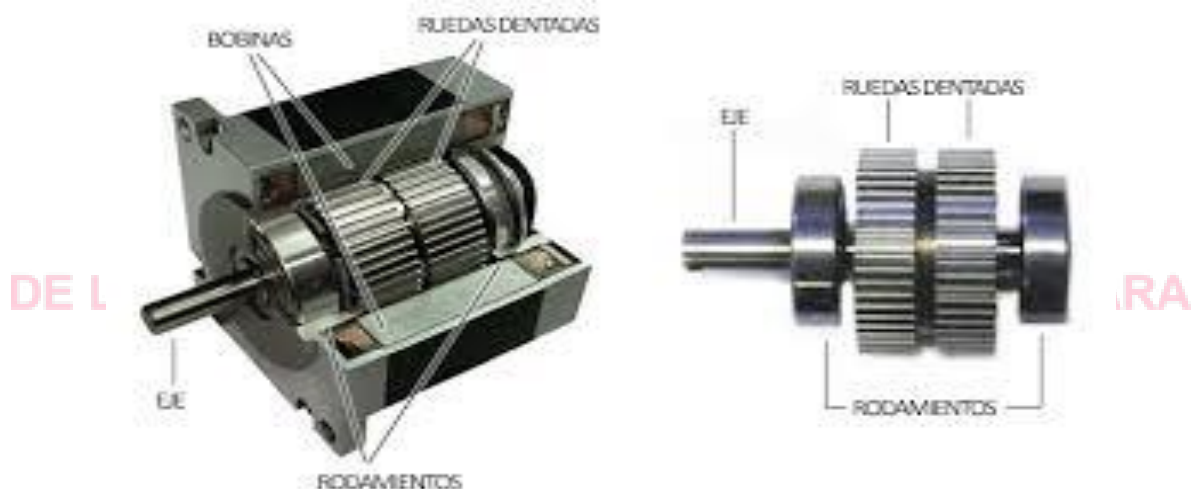


Imagen 11. Partes del Motor a Pasos.

7.4. Drivers.

El A4988 y el DRV8825 son controladores (drivers) que simplifican el manejo de motores paso a paso desde un autómata o procesador como Arduino. Estos controladores permiten manejar los altos voltajes e intensidades que requieren estos motores, limitar la corriente que circula por el motor, y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada.

Para su control únicamente requieren dos salidas digitales, una para indicar el sentido de giro y otra para comunicar que el motor avance un paso. Además, permiten realizar microstepping, una técnica para conseguir precisiones superiores al paso nominal del motor.

Modelo	A4988	DRV8825
Color	Verde o Rojo	Morado
Intensidad Máxima	2A	2.5A
Tensión Máxima	35V	45V
Microsteps	16	32
Rs típico	0.05, 0.1 o 0.2	0.1
Formulas	$I_{max} = V_{ref} / (8 * R_s)$ $V_{ref} = I_{max} * 8 * R_s$	$I_{max} = V_{ref} / (5 * R_s)$ $V_{ref} = I_{max} * 5 * R_s$

Tabla 3. Comparación de Drivers.

Disponen de protecciones contra sobreintensidad, cortocircuito, sobretensión y sobre temperatura. En general, son dispositivos robustos y fiables siempre que realice la conexión correctamente, e incorporar disipadores de calor si es necesario.

El A4988 y el DRV8825 son muy empleados en una gran variedad de proyectos que requieren el uso de motores paso a paso, como máquinas de CNC, plotters, robots que dibujan, impresoras 3D, y escáneres 3D. También son un componente frecuente en proyectos para controlar robots y vehículos, especialmente en aquellos que requieren variar de forma individual la velocidad de cada rueda.

Ambos controladores disponen de reguladores de intensidad incorporados. El motivo es que los motores paso a paso de cierto tamaño y potencia necesitan tensiones superiores a las que podrían soportar las bobinas por su corriente nominal. Por este motivo, los controladores incorporan un limitador de intensidad, que permiten alimentar el motor a tensiones nominales superiores a las que es posible por su resistencia e intensidad máxima admisible, en la imagen 12 se muestran las conexiones del Driver.

Para regular la intensidad que proporcionara el limitador y ajustarlo al valor del motor que vayamos a emplear ambas placas disponen de un potenciómetro que regula la intensidad del limitador.

Una forma de estimar la intensidad del regulador es medir la tensión (V_{ref}) entre el potenciómetro y GND y aplicar una fórmula que depende del modelo. Estas fórmulas dependen el valor R_s de las resistencias ubicadas en la placa.

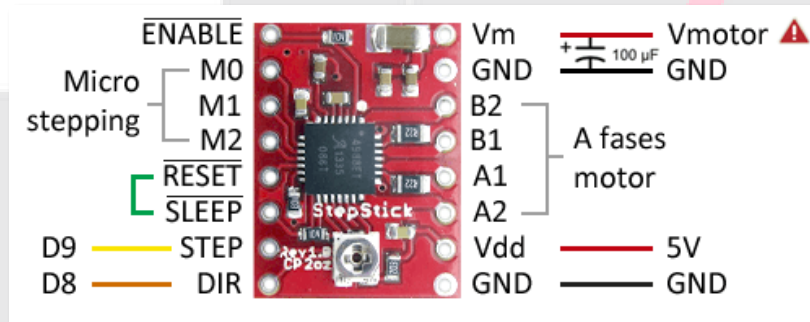


Imagen 12. Conexiones Driver.

Para no dañar ni el controlador ni el componente, debemos seguir siempre el proceso rigurosamente sin saltarnos ningún paso.

- Conectar el controlador a tensión, sin el motor y sin microstepping.
- Medir con un voltímetro la tensión entre GND y el potenciómetro.
- Ajustar el potenciómetro hasta que la tensión sea el valor proporcionado por la fórmula.
- Apagar el montaje.
- Conectar el motor, interponiendo en medio un amperímetro.
- Realizar con cuidado el ajuste fino del potenciómetro, hasta que la intensidad sea la nominal del motor.
- Apagar el montaje.
- Retirar el amperímetro, y conectar el motor definitivamente.
- Conectar Arduino al montaje.

8. Programación.

8.1. Controlador.

La CNC Shield es una pequeña placa que permite controlar hasta 4 motores paso a paso, soporta 4 controladores de potencia Driver A4988 o DRV8825, dispone de todas las conexiones necesarias para conectar interruptores de final de carrera, salidas de relé y diversos sensores. Es totalmente compatible con el firmware de control GRBL y se utiliza con Arduino Uno.

La CNC Shield cuenta con un diseño compacto, además cuenta con jumpers para control micro-stepping, en la tabla 3 podemos observar más características de la placa CNC Shield.

Alimentación:	12V-36V
GDL disponibles:	4
Conexiones de finales de carrera:	2 por eje (6 en total)
Salidas:	"Spindle enable", "Coolant enable", "directon"
Conexión de motores:	Bornes tipo Molex de 4 Pines.
Drivers compatibles:	A4988 y DRV8825
Dimensiones:	6.9 cm x 5.3 cm x 1.9 cm

Tabla 4. Características CNC Shield.

Arduino Uno es un microcontrolador basado en ATmega328P, tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICPS y un botón de reinicio, como se observa en la imagen 13.

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software.

Las placas pueden ser hechas a mano o compradas montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta.

Existen tres tipos de memoria en los microcontroladores utilizados por las placas Arduino (ATmega168, ATmega328, ATmega1280, etc.): memoria Flash, memoria SRAM y memoria EEPROM. A continuación, se indican las diferencias de cada una de ellas y el uso que Arduino puede darles.

La memoria Flash (espacio del programa) es donde Arduino almacena el sketch. Un sketch es el nombre que usa Arduino para un programa. Es la unidad de código que se sube y ejecuta en la placa Arduino. Esta memoria es no volátil, si Arduino deja de ser alimentado eléctricamente los datos que haya en esta memoria permanecerán.

El tamaño de la memoria Flash de Arduino puede variar dependiendo del microcontrolador, aunque no es muy grande. Por ejemplo, para el chip ATmega168 el tamaño de la memoria Flash es de 16 kilobytes, de los cuales 2 kilobytes son utilizados por el bootloader. Para el caso del microcontrolador ATmega328 (como el que incorpora Arduino UNO) el tamaño de la memoria Flash es de 32KB, de los cuales el bootloader usa 0,5KB. Por lo que se debe desarrollar los programas de forma muy optimizada.

La memoria SRAM (Static Random Access Memory ó memoria estática de acceso aleatorio) es de tipo volátil, es el espacio donde los sketches (programas) almacenan y manipulan variables al ejecutarse. La información guardada en esta memoria será eliminada cuando Arduino pierda la alimentación. Esta memoria es de uso exclusivo para el programa en ejecución.

La memoria SRAM de Arduino es muy pequeña, por lo que se debe optimizar los programas al máximo y no abusar de variables de tipo char muy grandes. Hay que tener en cuenta que cada carácter de una variable char utiliza un byte. En el microcontrolador ATmega 168 el tamaño de la memoria SRAM es de 1024 bytes, para el caso de un chip ATmega328 (como el que incorpora Arduino UNO) el tamaño es de 2KB (2048 bytes).

Características técnicas de Arduino Uno:
<ul style="list-style-type: none"> • Microcontrolador: ATmega328.
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje: 5V.
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje entrada (recomendado): 7-12V.
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje entrada (limites): 6-20V.
<ul style="list-style-type: none"> • Digital I/O Pines: 14 (de los cuales 6 son salida PWM).
<ul style="list-style-type: none"> • Entradas Analógicas: 6.
<ul style="list-style-type: none"> • Corriente DC per I/O Pin: 40 mA.
<ul style="list-style-type: none"> • Corriente DC parar 3.3V Pin: 50 mA.

- **Flash Memory: 32 KB (ATmega328)** de los cuales 0.5 KB son utilizados para el arranque.
- **SRAM: 2 KB (ATmega328).**
- **Clock Speed: 16 MHz.**
- **EEPROM: 1 KB (ATmega328).**

Tabla 5. Características Arduino.

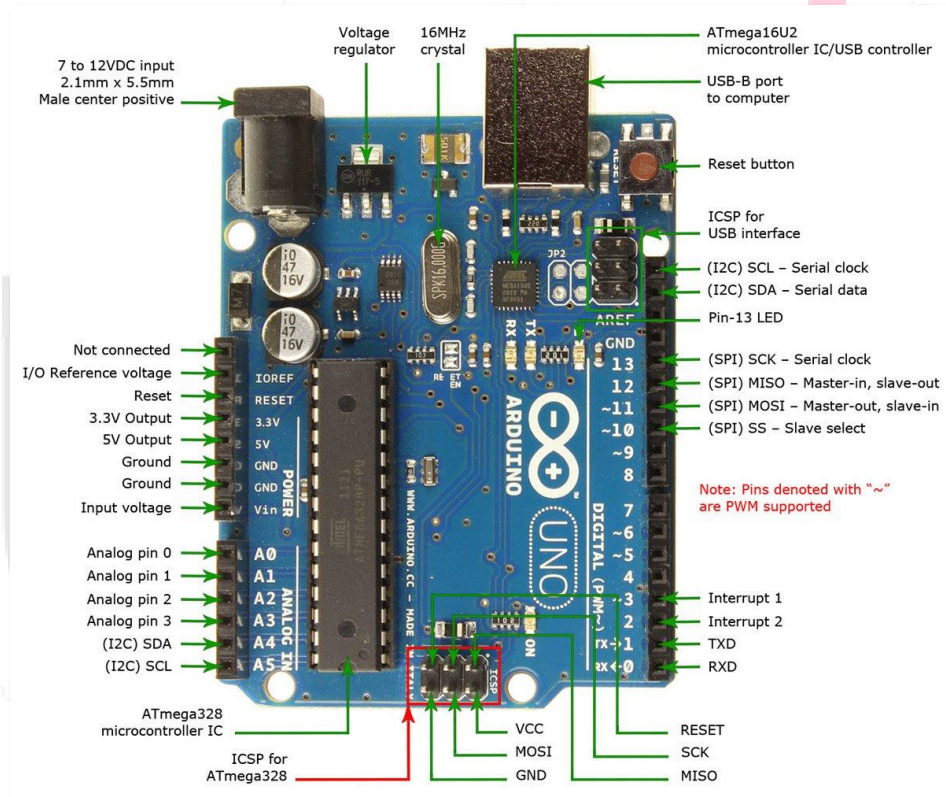


Imagen 13. Pines Arduino.

Como se puede apreciar, los drivers que soporta son los que disponen de señales STEP, DIR y ENABLE. Es importante destacar que los pines de ENABLE de todos los drivers son comunes y se conectan al pin 8 de Arduino.

Esta conexión abarca todos los pines de que dispone el Arduino UNO. Obviamente los pines 1 y 2 correspondientes a transmisión Tx y Rx no se pueden emplear ya que Arduino está en todo momento comunicándose por el puerto serial. (Véase Imagen 14)

Existen multitud de formas de conexión de los drivers. Una de ellas es conectar directamente los drivers de forma individual.


```

#define STEPPERS_DISABLE_DDR    DDRB
#define STEPPERS_DISABLE_PORT  PORTB
#define STEPPERS_DISABLE_BIT    0

#define STEPPERS_ENABLE_DDR     DDRB
#define STEPPERS_ENABLE_PORT    PORTB
#define STEPPERS_ENABLE_BIT     0
#define STEPPERS_ENABLE_VAL     0 // 0=low 1=high

#define STEPPING_DDR            DDRD
#define STEPPING_PORT           PORTD
#define X_STEP_BIT              2
#define Y_STEP_BIT              4
#define Z_STEP_BIT              6
#define X_DIRECTION_BIT         3
#define Y_DIRECTION_BIT         5
#define Z_DIRECTION_BIT         7

#define LIMIT_DDR               DDRB
#define LIMIT_PIN               PINB
#define X_LIMIT_BIT             1
#define Y_LIMIT_BIT             4
#define Z_LIMIT_BIT             5

#define SPINDLE_ENABLE_DDR      DDRB
#define SPINDLE_ENABLE_PORT     PORTB
#define SPINDLE_ENABLE_BIT     2

#define SPINDLE_DIRECTION_DDR   DDRB
#define SPINDLE_DIRECTION_PORT  PORTB
#define SPINDLE_DIRECTION_BIT  3

```

Imagen 14. Pines Arduino.

8.2. Programador.

Inkscape es un editor de gráficos vectoriales de código abierto, con capacidades similares a Illustrator, FreeHand, CorelDraw o Xara X, que usa el estándar de la W3C: el formato de archivo Scalable Vector Graphics (SVG).

Las características soportadas incluyen: formas, trazos, texto, marcadores, clones, mezclas de canales alfa, transformaciones, gradientes, patrones y agrupamientos. Inkscape también soporta metadatos Creative Commons, edición de nodos, capas, operaciones complejas con trazos, vectorización de archivos gráficos, texto en trazos, alineación de textos, edición de XML directo y mucho más. Puede importar formatos como PostScript, JPEG, PNG, y TIFF y exporta PNG, así como muchos formatos basados en vectores.

Inkscape tiene como objetivo proporcionar a los usuarios una herramienta libre de código abierto de elaboración de gráficos en formato vectorial escalable (SVG) que cumpla completamente con los estándares XML, SVG y CSS2. Inkscape se encuentra desarrollado principalmente para el sistema operativo GNU/LINUX, pero es una herramienta multiplataforma y funciona en Windows, Mac OS X, y otros sistemas derivados de Unix.

El objetivo principal de Inkscape es crear una herramienta de dibujo potente y cómoda, totalmente compatible con los estándares XML, SVG y CSS. También quieren mantener una próspera comunidad de usuarios y desarrolladores usando un sistema de desarrollo abierto y orientado a las comunidades, y estando seguros de que Inkscape sea fácil de aprender, de usar y de mejorar.

Estilo de Objetos.

Inkscape es muy completo en cuanto a la posibilidad de adaptar objetos.

Dispone de las siguientes posibilidades para todos los objetos:

- Transparencias regionales, y transparencia maestra para todo el objeto.
- Múltiples colores para escoger.
- Es posible esculpir el objeto.
- Los objetos pueden agruparse (y desagruparse), de forma que varios objetos agrupados funcionen como uno solo.
- El objeto puede encerrarse en un borde de cualquier tamaño y color.
- Los objetos se pueden desenfocar a diferentes niveles.
- Cualquier objeto puede ser duplicado indefinidamente.
- Se pueden dibujar líneas de todo tipo, las cuales pueden ser personalizadas, a igual que cualquier otro objeto.
- Los objetos se pueden mover, invertir, borrar, etc.

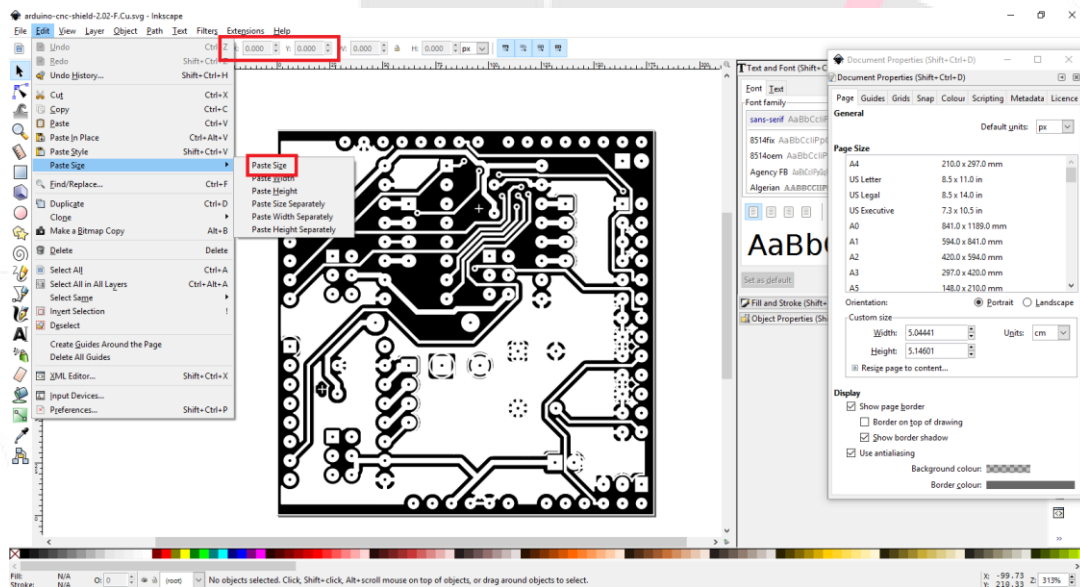


Imagen 15. Objetos Inkscape.

Se trata del programa encargado de mostrar información sobre el estado de la máquina en una pantalla, así como permitir una comunicación bidireccional entre ambos. El uso de GRBL implica directamente a Arduino Uno, Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar.

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (por ejemplo, Flash, Processing, MaxMSP).

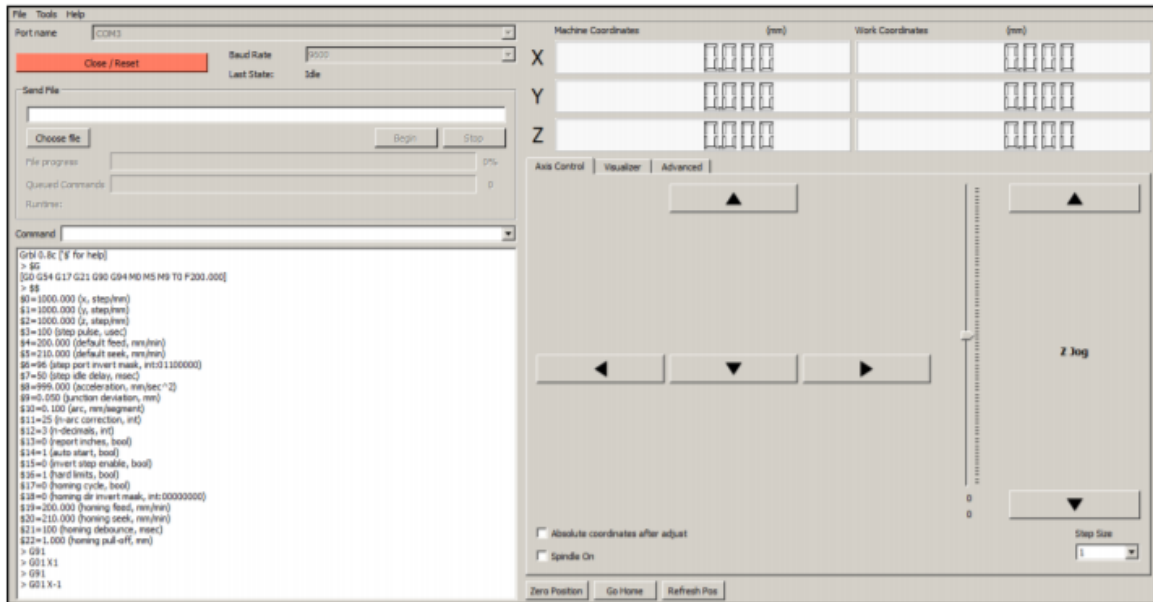


Imagen 16. Programador grbl

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

9 Conclusiones:

9.1. Arias Ramos José Antonio Rey.

Para la realización de este proyecto, principalmente se pensó que tuviera un beneficio para nuestra Universidad, y porque surge a lo largo del tiempo de nuestra carrera la necesidad de fabricar nuestros propios diseños de PCB's para nuestros circuitos electrónicos ya sean de algún proyecto o práctica, ya que cuando se nos era requerido la realización de un circuito impreso nos era algo complicado ya que no siempre quedaba a la primera o teníamos detalles en el grabado del circuito o también al hacer la perforación del mismo. He ahí por qué surgió esta idea de hacer un CNC para la fabricación de circuitos impresos o como se les es mejor conocidos PCB'S. Primero se investigó, ¿Cómo funciona un CNC?, ¿Para qué sirve?, ¿Cómo se controla un CNC?, etc.

Al hacer la previa investigación, fuimos obteniendo información, desde el año en que surgieron los CNC hasta la instalación de drivers. Conforme el paso del tiempo, comenzamos a realizar esquemas de como sería nuestro CNC, los materiales que íbamos a ocupar, componentes electrónicos, tipos de material, costos, programas, tarjetas, drivers, motores, herramientas, cálculos requeridos para cada componente que lo requiere para que no hubiera ninguna falla, o algún corto circuito y partiendo de ello ver cómo hacer el armado del CNC. Cada uno de nosotros realizamos un dibujo de como imaginábamos nuestro proyecto, y optar por el mejor diseño, al hacerlo comenzamos a trabajar con el diseño en 3D y para ello utilizamos un software (CAD) en nuestro caso SOLIDWORKS y ANSYS para obtener cálculos más precisos y ver cómo quedaría, también íbamos a la par con la obtención de más información, después comenzamos a buscar en cuales tiendas sería más barato comprar los materiales requeridos y por supuesto en la obtención de los recursos económicos para dichas compras.

Al tener las bases de lo investigado y el diseño se compró el material necesario para comenzar con su armado. Parte de una base rectangular de metal en la que será montado el CNC, después se agregaron unas guías por donde se desplazará el eje "Y" estas guías se conforman de la base de una cortadora de piso, luego se puso la base del eje "X" con ayuda de PTR y tubular y con otra guía igual a la del eje "Y", sobre ese mismo eje se puso una pequeña base para poner nuestro eje "Z".

Al realizar el montaje de lo mencionado, nos dimos a la tarea de investigar qué tipo de motores íbamos a necesitar, al hacerlo se optó por motores a pasos, el cual sabemos que este tipo de dispositivo electromecánico al ser actuado convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que este tipo de motores son capaces de girar una cierta cantidad de grados dependiendo de la entrada de control. Cabe mencionar que este tipo de motores sus incrementos en el movimiento permiten controlar de manera precisa la velocidad de rotación y otra de sus ventajas es que estos motores a pasos tienen el

máximo torque aun estando a bajas velocidades. Partiendo de ahí se tuvieron que realizar los cálculos necesarios para ver que estos no se quemaran o dañaran junto con algún otro componente.

Después de montar los motores con sus respectivos ejes, se colocaron dos espárragos en los ejes “X” y “Y” ensamblados a los motores y con tuercas especiales para una mejor rotación de los ejes. También se compró una fuente de poder de Corriente Alterna/Corriente Directa de 127V de CA a 60HZ y con una salida de 12V de Corriente Directa a 5 Amperes, para alimentar a los motores.

Después nos dimos a la búsqueda de ver qué tipo de tarjetas son compatibles con los motores a pasos, así que al estar investigando se decidió comprar la tarjeta Arduino Uno y la tarjeta SHIELD para CNC y comprar los drivers que nos ayudarían a mover a los motores a pasos, en este caso se compraron 3 drivers A4988 para los ejes “X”, “Y” y “Z”. Al hacer la investigación de estas tarjetas, sabemos que la CNC SHIELD es una placa que permite controlar hasta 4 motores a paso soportando también hasta los 4 drivers en nuestro caso los A4988, esta se dispone de todas las conexiones necesarias para conectar interruptores de final de carrera, salidas de relés y diversos sensores. Es totalmente compatible con Arduino Uno. Esta se alimenta de entre los 12v hasta los 36v dependiendo de los controladores a utilizar, soporta hasta 4 ejes, etc.

Con respecto a los drivers estos controladores permiten manejar los altos voltajes e intensidades que requieren estos motores, limitar la corriente que circula por el motor, y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada. Para su control únicamente requieren dos salidas digitales, una para indicar el sentido de giro y otra para comunicar que el motor avance un paso. Además, permiten realizar microstepping, una técnica para conseguir precisiones superiores al paso nominal del motor. Estos drivers disponen de protecciones contra sobreintensidad, cortocircuito, sobretensión y sobre temperatura. En general son dispositivos robustos y fiables.

Previo a lo anterior, nuestro proyecto ya iba dando forma, pero nos faltaban dos cosas importantes, buscar que tipo de softwares y/o programas son compatibles con la tarjeta SHIELD y con qué herramienta íbamos hacer el diseño y perforado de las tarjetas. La herramienta que se compró para la elaboración de las PCB'S fue de un Moto-tool que se implementó en el eje “Z” y para el diseño de los circuitos optamos por utilizar los programadores “Inkscape y G-code”, Inkscape es un editor de gráficos vectoriales libre y de código abierto. Inkscape puede crear y editar diagramas, líneas, gráficos, logotipos, e incluso hasta ilustraciones complejas. Inkscape tiene como objetivo proporcionar a los usuarios una herramienta libre de código abierto de elaboración de gráficos en formato vectorial escalable (SVG) que cumpla completamente con los estándares XML, SVG y CSS2. Inkscape se encuentra desarrollado principalmente para el sistema operativo GNU/LINUX, pero es una herramienta multiplataforma y funciona en Windows, Mac OS X, y otros sistemas derivados de Unix.

En tanto al software de G-code o mejor conocido como GRBL el programa es el encargado de mostrar información sobre el estado de la máquina en una pantalla, así como permitir una comunicación bidireccional entre ambos. El uso de GRBL implica directamente a Arduino Uno, Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar.

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (por ejemplo, Flash, Processing, MaxMSP).

Por último, ya que tuvimos nuestro brazo armado, comenzamos a realizar pruebas con cada eje, viendo cómo se desplazaban sin ningún problema, pero al llegar al eje “Y” y “Z” después de varias pruebas vimos que le costaba trabajo desplazarse, así que estuvimos dándole mano a esos ejes para poder ajustarlos pero no resultaba, ya que el problema eran las guías porque había demasiada tensión, así que decidimos por hacer otro diseño, por lo que volvimos a dibujar, diseñar en 3D y armar, después del armado, volvimos a realizar pruebas y vimos que ya no le costaba trabajo moverse en ninguno de los ejes, por lo que nuestro resultado fue satisfactorio.

En algunas de las pruebas, se comenzó por moverse a cierta distancia o coordenada en los tres ejes, después se programaron unas coordenadas para hacer una figura geométrica en este caso fue un cuadrado, y por último se hizo la prueba en una baquelita para hacer el diseño de un circuito impreso del encendido y apagado de un led.

Por lo que cabe mencionar que este proyecto le será de gran beneficio a la universidad ya que futuras generaciones necesitaran realizar el diseño de un circuito impreso, y que mejor que lo hagan con este prototipo que se dedica hacer ese tipo de diseños y también este quedará para la necesidad de cualquier otra persona que requiera de ella, ya sea de alguna tarea, práctica y/o proyecto.

9.2. Hernández Castillo Ana Yuritzi.

Este proyecto representa mi carrera, involucra todas mis materias cursadas a lo largo de mi estancia en la Universidad, reforzó principalmente las áreas de diseño mecánico y potencia.

La implementación de electrónica, mecánica y programación dan origen a la robótica, tal vez podríamos pensar que a simple vista es una tarea fácil, pero cuando entramos en detalle se vuelve una tarea ardua, cuando representa lo que te gusta se vuelve apasionante a cada momento. El uso de plataformas de libre acceso y fácil manejo hace de este proyecto una gran oportunidad a nosotros por todo lo aprendido y reforzado y a la comunidad estudiantil como apoyo a sus proyectos.

El desarrollo fue muy extenso, trabajamos tres diseños mecánicos diferentes, y algunos problemas más, aún quedan pendientes mejoras futuras como una aspiradora, controlarla con Ros y detalles estéticos que aun e faltan, la mayor complejidad del proyecto fue realizar la planeación, hacer un desglose cuando aún no se dominan todas las áreas, hizo un poco más interesante la materia se sistemas CAM y CNC puesto que la primera placa con nuestro CNC corresponde a nuestro proyecto.

9.3. Nolasco Casillas Héctor Alejandro.

En este proyecto aprendimos algunas funcionalidades sobre el CNC por ejemplo yo nunca había escuchado sobre los códigos G no sabía de ese lenguaje hasta apenas ahora que realizamos este proyecto este tipo de lenguaje si está un poco laborioso ya que si lo haces a mano si se lleva buena cantidad de líneas y el cálculo de las posiciones y rutas se vuelve más tardado en realizarse ya que con el tiempo que llevamos en la carrera con las distintas materias que hemos llevado a cabo hemos visto varios tipos de lenguaje como C, C++ que fueron de los primeros y más básicos enseñándonos a programar ya que ahorita estamos viendo mucho el lenguaje en Python así como también en Matlab ese solo lo utilizamos para graficar señales también llegamos a ver programación para PLC que se utilizaba el lenguaje de diagramas de escalera así como otros lenguajes con otros tipos de tarjeta para programar.

Se nos complicó un poco al realizar este CNC ya que unos de los ejes no funcionaban bien que era el eje Y no recorría muy bien y le hicimos unas modificaciones lo cambiamos de posición y quedo hasta mejor sin ningún problema le batallamos más con los motores ya que hicimos mucho cálculo para asegurarnos si los motores eran los correctos para esos ejes para que no se quemaran pero ya después nos percatamos que si eran los correctos y procedimos con la elaboración que nos hacía falta hasta realizar todo el trabajo ya que nos dividimos la tareas con las que somos más hábiles así para que nos facilitara un poco el trabajo cada quien tenía su trabajo a realizar así como también con el eje Z tuvimos dificultades ya que no estaba bien sujeto el motor y tuvimos que ajustarlo y meterle otro tipo de abrazadera para que quedara bien fijo y no tuviera juego con el motor y el material al trabajar.

Estos tipos de proyecto son poco complicados ya que se lleva acabo mucho tiempo, dinero, esfuerzo y sacrificio, pero al final de todo se sale aprendiendo cosas nuevas ya que con esta herramienta de trabajo aprenderemos más sobre lo que un CNC y cómo funciona ya que ahorita impartimos una materia de CNC y sistemas CAM que solo estamos trabajando con simuladores CNC y de vez en cuando haciendo visitas en distintas localidades donde son prácticos los CNC y muy trabajados y así ampliar nuestro conocimiento de la funcionalidad de las maquinas CNC ya que en la industria son muy bien pagados y muy útiles para el ambiente laboral.

9.4. Osorio Cruz Rosalía.

Durante la elaboración del Router se detectaron diferentes problemas tales como la elaboración dibujar el prototipo, me llevo más tiempo de lo previsto, también la viabilidad del material utilizado ya que se pensaba en hacer la estructura de madera pero deducimos que es un material que con el tiempo se desgasta por la fricción de la herramienta y vimos la posibilidad de invertir en hacerlo de metal con herramienta reciclada, así también se detectaron problemas con el microcontrolador por que se pensó que lo teníamos que hacer con el Raspberry pero el maestro autorizo que se podía utilizar Arduino, ya que teníamos el dibujo con el análisis simulado, se comenzó a cotizar el material, vimos precios y tiempos de entrega, y comenzamos a recaudar el efectivo y algunos proveedores tardaron en darnos los equipos y eso ocasiono retrasos en la planeación que ya se tenía, pensando ya tener todo prácticamente listo.

Nos piden utilizar la comunicación por medio de un Sistema Operativo Robótico llamado ROS (Robot Operating System) ¿pero que es este sistema? Es un sistema operativo de código abierto, que nos permite trabajar con robots con un conjunto estándar de configuraciones y herramientas para programas y trabajar con mayor velocidad y así que estamos por utilizar un sistema que empezó en el 2007.

9.5. Rodríguez Rodríguez José Luis.

1. Se incurrió en el diseño de este cnc siguiendo las recomendaciones dadas por profesores de carrera, garantizando así, que se ha optado por el uso de las tecnologías más apropiadas para nuestro medio, teniendo en cuenta un estudio técnico económico de las mismas y los productos en ingeniería que nos ofrece el mercado actual a poder aplicarse en nuestro proyecto.
2. Mediante el diseño se realizaron varios cambios de prototipos hasta él logró un diseño con resistencia mecánica, buscando el diseño sirva para la generación de circuitos eléctrico u otros diseños manuales, además los estándares aplicados nos aseguran continuidad en la producción, siempre y cuando se siga un régimen apropiado de operación, y se efectúe el apropiado mantenimiento.
3. Mediante el estudio dinámico aplicado al sistema, se logra asegurar que el mecanizado no presentará retemblado, o sea minimizado ya que los sistemas en sus bases fueron diseñados para un deslizamiento suave, ayudando a minimizar el esfuerzo de los motores actual mente se encuentra dentro de un régimen de trabajo estable. Teniendo de esta manera, acabados muy buenos en las piezas.
4. Mediante una evaluación de los costos de los componentes a fabricar y a adquirir para la implementación de la máquina herramienta propuesta en esta tesina, se logró determinar que con un monto de \$ 8500 se puede fabricar un sencillo cnc para circuitos eléctricos.

5. Durante el desarrollo, se contempló que el cnc seria donado para la universidad buscando dejar algo de lo aprendido durante nuestra estadía dentro de la universidad, así nuestros compañeros de las nuevas generaciones tendrán un cnc para realizar sus circuitos eléctricos en baquelita, aparte de que puede ser útil para la materia de cnc, para poder ejecutar las practicas solicitada en la materia, ya que en nuestra generación solo fueron simuladas las practicas. Teniendo muy poco aprendizaje, por el simple hecho de no contar con un cnc.



10. Bibliografía:

INGENIERÍA, E. (28 DE MAYO DE 2010). *CONCEPTOS Y TERMINOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO CIRCUITOS IMPRESOS PCB*. Recuperado el Marzo de 2019, de <http://www.pcb.electrosoft.cl/04-articulos-circuitos-impresos-desarrollo-sistemas/01-conceptos-circuitos-impresos/conceptos-circuitos-impresos-pcb.html>

ALEJANDRO, H. (2014). CONTROL DE UNA FRESADORA CNC DE USO DIDÁCTICO. Recuperado el MARZO de 2019

CAZAR, M. (2008). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA DE 3 EJES DE LINEAS RECTAS EN SUPERFICIES DE MADERA. *SOFTWARE DE CONTROL PARA EL MECANIZADO*. Recuperado el FEBRERO de 2019

GALARZA , J., & DAVILA, M. (2010). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TALADRO XYZ CONTROLADO POR MICROCONTROLADOR CON INTERFAZ GRÁFICA. *LABVIEW PARA FABRICACIÓN DE CIRCUITOS COMPUESTOS*. Recuperado el ENERO de 2019

Ingeniería, E. (28 de Mayo de 2010). *Conceptos y terminologías utilizadas en el diseño circuitos impresos PCB*. Recuperado el Marzo de 2019, de <http://www.pcb.electrosoft.cl/04-articulos-circuitos-impresos-desarrollo-sistemas/01-conceptos-circuitos-impresos/conceptos-circuitos-impresos-pcb.html>

ROBOTS INDUSTRIALES. (- de 2015). Recuperado el Enero de 2019, de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm

RODRÍGUEZ, C. L. (- de - de 2017). *PDF*. (D. Y. PUNTO, Productor) Obtenido de [file:///C:/Users/mi%20compu/Downloads/DISEÑO%20Y%20CONSTRUCCIÓN%20DE%20UN%20ROBOT%20CARTESIANO%20CON%20UN%20CONTROL%20DE%20POSICIÓN%20PUNTO%20A%20PUNTO%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/mi%20compu/Downloads/DISEÑO%20Y%20CONSTRUCCIÓN%20DE%20UN%20ROBOT%20CARTESIANO%20CON%20UN%20CONTROL%20DE%20POSICIÓN%20PUNTO%20A%20PUNTO%20(2).pdf)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA