



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE EQUIPO CNC APLICADO A
SISTEMAS DE HIDRÓGENO.**

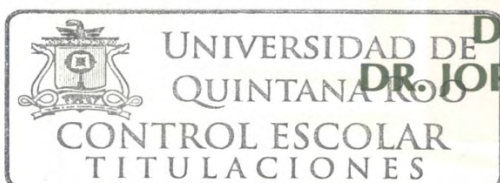
TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO EN REDES

PRESENTA
T. S. U. EDUARDO OMAR RÍOS ARREOLA

DIRECTOR
DR. FREDDY IGNACIO CHAN PUC

ASESORES
DRA. BEATRIZ ESCOBAR MORALES
DR. GLISERIO ROMELI BARBOSA POOL

DR. HOMERO TORAL CRUZ
DR. JORGE OVIDIO AGUILAR AGUILAR



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2019



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN REDES Y APROBADA COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:**

INGENIERO EN REDES

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:


DR. FREDDY IGNACIO CHAN PUC

ASESOR:


DRA. BEATRIZ ESCOBAR MORALES

ASESOR:


DR. GLISERIO ROMELI BARBOSA POOL

ASESOR:


DR. HOMERO TORAL CRUZ

ASESOR:


DR. JORGE OVIDIO AGUILAR AGUILAR



UNIVERSIDAD DE
QUINTANA ROO
CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2019.
CONTROL ESCOLAR
TITULACIONES



Contenido

1. Introducción	8
1.1. Historia CNC.....	8
1.2. Sistemas CAD.....	9
1.3. Sistemas CAM.....	10
1.4. Sistemas CNC.....	11
1.5. Código G.....	12
1.6.....	12
1.7. Las máquinas CNC.....	13
1.8. CNC En la universidad de Quintana Roo.....	13
2. CNC en el Laboratorio de Hidrógeno de la UQRo.	15
2.1. Componentes de la maquinaria CNC.....	15
2.2. Detalles de componentes.....	16
2.2.1. Módulo de control.....	16
2.2.2. Alimentación.....	18
2.2.3. Electrónica.....	20
2.3. Mecánica.....	24
2.4. Diagnóstico actual.....	28
2.4.1. Instalación eléctrica.....	28
2.4.2. Mecánica.....	30
2.5. Pruebas de funcionamiento.....	31
2.5.1. Procedimiento.....	31
2.5.2. Potencia RMS.....	31
2.5.3. Potencia Pico.....	31
2.5.4. Resultados.....	31
3. Correcciones realizadas al sistema CNC.....	39
3.1. Alineación de rieles de eje Y.....	39
3.2. Elevación de la estructura.....	40
3.3. Implementación de soporte para herramientas.....	41
3.4. Fijación de estructura directamente sobre la mesa.....	41
3.5. Creación de espacio para circuitos de prueba.....	42
3.6. Cambio de cableado de motores, sensores, drivers y conexión de energía.....	44
3.6.1. Motores y sensores.....	44
3.6.2. Fuentes de energía y drivers.....	45

3.6.3.	Fijación de fuentes de energía, drivers y Arduino NANO.....	46
3.7.	Calibración de voltaje de alimentación de drivers.	48
4.	Pruebas de funcionamiento.	49
4.1.	Pruebas de desplazamiento y consumo sobre cada eje.	49
4.1.1.	Consumo de motores de eje Y.	49
4.1.2.	Consumo a diferentes velocidades (eje X).	50
4.2.	Mediciones de temperatura.....	54
4.2.1.	Temperatura de operación de los motores.	54
4.3.	Interfaz de control con Arduino NANO y Raspberry Pi.....	61
4.3.1.	HotSpot Wifi.....	61
4.3.2.	Conexión a escritorio remoto por VNC.	61
5.	Conclusiones.	63
	Bibliografía	65

Índice de Figuras

Fig. 1.1	1959 Milwaukee-Matic-II, primera CNC con cambio de herramienta [1].	8
Fig. 1.2	Ejemplo de software de simulación CAD [2].	9
Fig. 1.3	Ejemplo de software CAM [3].	10
Fig. 1.4	Ejes de trabajo de un equipo CNC de 3 ejes [4].	11
Fig. 1.5	Código G en ejecución [5].	12
Fig. 1.6	Gabinete de control actual del equipo CNC en el Laboratorio de Hidrógeno.	14
Fig. 2.1	Máquina CNC del Laboratorio de Hidrógeno.	15
Fig. 2.2	Arduino MEGA.	16
Fig. 2.3	RAMPS 1.4.....	17
Fig. 2.4	Fuente ATX montada en el gabinete.	18
Fig. 2.5	Fuente de poder WANTAI S-350-36.	19
Fig. 2.6	Módulo láser de 15W.	20
Fig. 2.7	Sensor de límite de eje Y.	21
Fig. 2.8	Driver de Motor a pasos WANTAI DQ542MA.	22
Fig. 2.9	Motor WANTAI WT67STH116-4204A.	24
Fig. 2.10	Cople de aluminio.....	24
Fig. 2.11	Tornillo recirculante.	25
Fig. 2.12	Flechas X y Z.	26
Fig. 2.13	Chumacera lineal.	27
Fig. 2.14	Base de tornillo de bola recirculante.	27
Fig. 2.15	Conexión del módulo de control Arduino MEGA.....	28
Fig. 2.16	Conexión de motores y sensores en el armazón de PTR.....	29
Fig. 2.17	Problemas ante fallo en sensores de límite.	29
Fig. 2.18	Distancia entre extremos de rieles en Y.....	30
Fig. 2.19	Herramientas ajenas al equipo CNC montadas sobre su estructura.	30
Fig. 2.20	Muestra de captura realizada con osciloscopio.	31
Fig. 2.21	Acotación de rangos de energía.	32

Fig. 2.22 Modelo conceptual de motor a pasos bipolar en modo FullStep [6].	33
Fig. 2.23 Representación gráfica del comportamiento de un motor bipolar en modo FullStep [7].	33
Fig. 2.24 Modelo conceptual de motor a pasos bipolar en modo HalfStep [6].	33
Fig. 2.25 Representación gráfica del comportamiento de un motor bipolar en modo HalfStep [7].	33
Fig. 2.26 Gráfico del comportamiento real de los motores bipolares.	34
Fig. 2.27 Muestreo de corriente a 660 p/s.	35
Fig. 2.28 Gráfica sobre puesta del consumo de ambas bobinas de un motor a pasos.	35
Fig. 2.29 Comportamiento de corriente a 1320 p/s.	36
Fig. 2.30 Gráfico sobre puesto de corrientes a 1320 p/s.	36
Fig. 2.31 Corrientes a 2640 p/s.	37
Fig. 2.32 Gráfico sobre puesto de corrientes a 2640 p/s.	37
Fig. 2.33 Consumo de motores del eje Y durante desplazamiento.	38
Fig. 3.1 Prueba de desplazamiento realizada sin motores.	39
Fig. 3.2 Vista frontal de la máquina mostrando el eje Y.	40
Fig. 3.3 Nueva configuración de eje Z.	40
Fig. 3.4 Máquina CNC montada sobre la mesa de trabajo.	41
Fig. 3.5 Sistema eléctrico y de control montado debajo de la mesa de trabajo.	42
Fig. 3.6 Espacio para tarjetas de control y prototipos.	42
Fig. 3.7 Conexiones a la salida de los drivers y módulo de control.	44
Fig. 3.8 Vista de los nuevos conectores para motores (4 hilos) y sensores (3 hilos).	44
Fig. 3.9 Conexiones a la entrada del motor y sensor del eje X.	45
Fig. 3.10 Cables de alimentación de fuentes de energía.	45
Fig. 3.11 Arduino NANO con shield de borneras.	46
Fig. 3.12 Tornillos de fuentes de alimentación de drivers.	47
Fig. 3.13 Fijación de cables de fuentes de alimentación.	47
Fig. 3.14 Drivers fijados a sus respectivas fuentes con los cables asegurados por cinchos.	48
Fig. 3.15 Calibración de fuentes a 39 V.	48
Fig. 4.1 Comportamiento del consumo de los motores del eje Y.	49
Fig. 4.2 Consumo de motor de eje X a 660 p/s.	50
Fig. 4.3 Consumo de motor de eje X a 1320 p/s.	51
Fig. 4.4 Consumo de motor de eje X a 2640 p/s.	52
Fig. 4.5 Logo de la Universidad de Quintana Roo grabado con láser de 8 W a 2640 p/s o 2000 mm/min.	53
Fig. 4.6 45 minutos de funcionamiento a 34 V.	54
Fig. 4.7 Temperaturas iniciales de los motores.	55
Fig. 4.8 Temperatura de motores tras 15 minutos en modo de espera.	56
Fig. 4.9 Temperatura de motores tras 30 minutos en modo de espera.	57
Fig. 4.10 Temperatura de motores tras 75 minutos de trabajo continuo.	58
Fig. 4.11 Disipador de driver de motor a pasos de eje Y.	59
Fig. 4.12 Temperatura interna del driver de motor a pasos del eje Y.	59
Fig. 4.13 Fotografía térmica de los dos drivers del eje Y tras 75 minutos de trabajo.	60

Fig. 4.14 Fotografía térmica de fuente de alimentación y driver de eje Y.....	60
Fig. 4.15 Red WiFi creada con la Raspberry Pi.	61
Fig. 4.16 VNC Viewer y dirección de la Raspberry dentro de la red CNC LabH. ...	61
Fig. 4.17 Escritorio de Raspberry Pi.....	62
Fig. 4.18 Universal Gcode Sender.	62

Índice de tablas

Tabla 2.1 Especificaciones eléctricas de fuente ATX EDGE R500.	18
Tabla 2.2 Especificaciones de fuente de poder WANTAI S-350-36.	19
Tabla 2.3 Especificaciones del driver de Motor a pasos WANTAI DQ542MA	23
Tabla 2.4 Relación de corriente RMS y Pico del driver WANTAI DQ542MA.	23
Tabla 2.5 Especificaciones de motor WANTAI WT67STH116-4204A.....	24
Tabla 3.1 Colores, voltajes y corrientes de la fuente ATX EDGE SYSTEMS R500.	43

1. Introducción

1.1. Historia CNC.

A lo largo de la historia, los seres humanos hemos hecho uso de toda clase de herramientas para ayudarnos en nuestras actividades diarias, desde las más simples hasta las más complejas, sin embargo, en tiempos recientes se ha generado la necesidad de realizar actividades de forma automatizada ya sea por calidad, seguridad, precisión o velocidad.

Durante el siglo XX, tras la invención de las computadoras electrónicas se crearon los primeros sistemas de Control Numérico Computarizado (CNC) aplicados a los sistemas de Manufactura Asistida por Computadora (CAM), a partir de ese momento su control y programación mejoró drásticamente, ayudando a realizar trabajos más precisos y de una forma más flexible.

Conforme la tecnología avanzó y se tenían mejores computadoras nacieron también los sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) que mejoraban la forma en la que se convertían un concepto desde una idea hasta un componente físico. En la figura 1.1 se muestra el concepto de un equipo CNC.



Fig. 1.1 1959 Milwaukee-Matic-II, primera CNC con cambio de herramienta [1].

1.2. Sistemas CAD.

Los sistemas CAD mejoraron la forma de diseñar componentes, permitiendo aumentar la complejidad y desempeño de los diseños, es decir, abrió las puertas al diseño de hélices, alas, engranajes, propulsores, entre muchas otras cosas de una forma más precisa, rápida y cuando era necesario más pequeña.

Como se muestra en la figura 1.2, los sistemas CAD permiten simular el comportamiento que tendría un diseño de acuerdo con un entorno virtual, ayudando a probar el comportamiento antes de siquiera de realizar un maquinado.

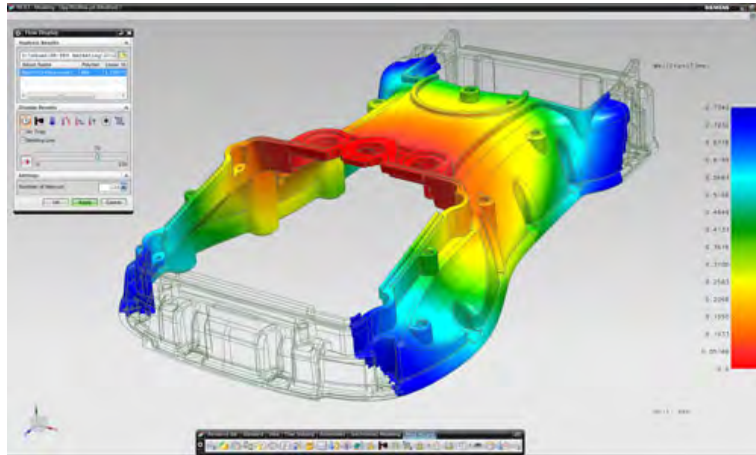


Fig. 1.2 Ejemplo de software de simulación CAD [2].

1.3. Sistemas CAM.

Los sistemas CAM por su parte, permitieron producir piezas más complejas que las que se habían creado hasta entonces de forma manual, ya que asistieron a la generación de comandos más complejos y mejores para la creación de piezas con la maquinaria industrial.

Estos comandos, también llamados Código G son una secuencia de acciones paso a paso interpretados por las máquinas CNC y convertidos en los movimientos que debían realizar con las herramientas necesarias para dar forma a la materia prima, algunas piezas llegan a tener hasta 200,000 líneas de código G para que la máquina CNC pueda realizar todas las acciones necesarias para terminar una pieza, razón por la cual, algunas piezas son imposibles de realizar de forma manual alcanzando las características de precisión y calidad necesarias. En la figura 1.3 se muestra una simulación de maquinado en un sistema CAM.

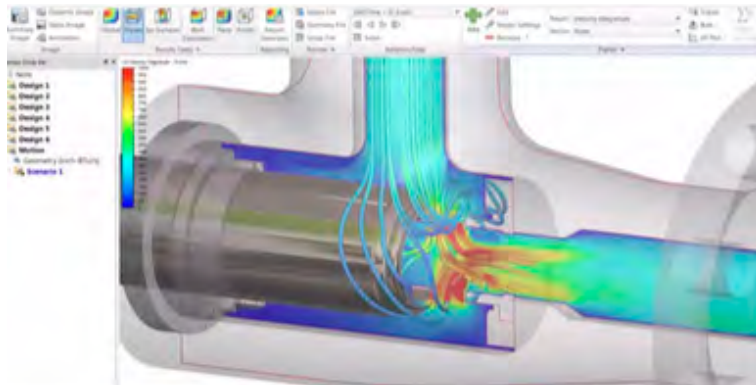


Fig. 1.3 Ejemplo de software CAM [3].

1.4. Sistemas CNC.

El sistema de Control Numérico Computarizado consiste en un sistema de coordenadas en las cuales se encuentran los puntos de desplazamiento por donde se moverán las herramientas durante el trabajo de mecanizado.

Para lograr el desplazamiento se hace uso de fórmulas matemáticas para representar rectas, circunferencias, elipses, entre otros, de tal forma que los movimientos siempre mantienen un alto nivel de precisión gracias al control automático controlado por el cálculo en tiempo real de estas fórmulas que controlan la velocidad, posición, desplazamiento y sincronía entre todos los ejes durante cada acción individualmente.

La forma en la que este sistema recibe los comandos es por medio del Código G, el cual se basa en órdenes básicas que representan la posición a la que se debe desplazar la herramienta, con esta nueva información el sistema CNC realizará los cálculos necesarios para que el desplazamiento se realice de forma automática. En la imagen 1.4 se muestran los ejes de desplazamiento de un equipo CNC de 3 ejes.

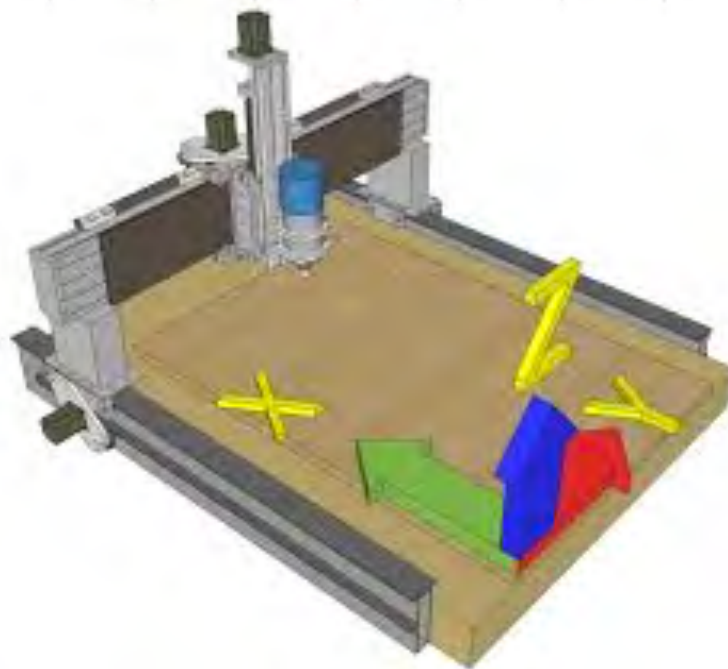


Fig. 1.4 Ejes de trabajo de un equipo CNC de 3 ejes [4].

1.5. Código G.

El código G es una colección de comandos orientados al movimiento de las herramientas por medio de coordenadas que representan las posibles posiciones en las que un equipo CNC puede trabajar. Se trata de líneas en texto plano, que pueden incluso ser escritas directamente en cualquier editor de texto plano sin necesidad de un sistema CAD/CAM y serán interpretadas por cualquier equipo CNC. Un ejemplo de código G es el siguiente:

```
X0 Y0 Z0
```

```
X10 Y5 Z2
```

El código anterior, le dice a la máquina de debe posicionarse en $X = 0$, $Y = 0$ y $Z = 0$, es decir, la esquina inicial desde donde saldrá la herramienta y posteriormente debe colocarse en $X = 10$, $Y = 5$ y $Z = 2$, la secuencia de estos códigos permite realizar todos los movimientos necesarios, entre las operaciones disponibles en el Código G están los cambios de herramientas, velocidad de giro para los routers, potencia en el caso de los láser, la forma del trazado geométrico a realizar, por ejemplo, un círculo o curva, se puede realizar de dos formas, indicando su radio o indicando su punto de origen respecto a las coordenadas actuales.

El código G también permite cambiar el tipo de unidad de medida respecto a pulgadas o milímetros, utilizar entre un sistema de desplazamiento incremental o absoluto, entre otras cosas. En la figura 1.5 se muestran las líneas de código G y su representación gráfica en un sistema de simulación CAM.

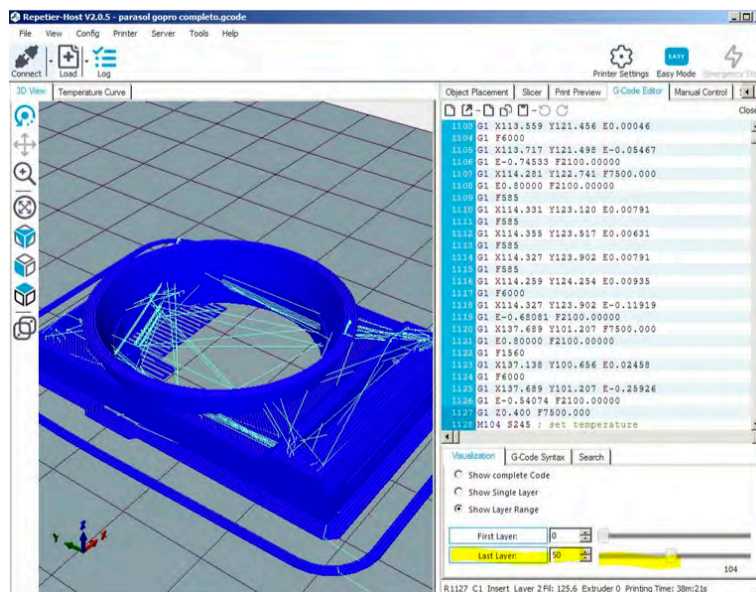


Fig. 1.5 Código G en ejecución [5].

1.6. Las máquinas CNC

Las máquinas CNC son dispositivos que funcionan utilizando los comandos generados por el procesamiento del Código G y que hacen uso de motores a pasos para moverse de forma precisa por las coordenadas establecidas durante cada operación de maquinado, se pueden controlar con distintas placas como son Arduino, placas de control especializadas o directamente con computadoras.

Los motores a pasos tienen la característica de moverse una determinada cantidad de grados cada que sus bobinas son energizadas, generalmente cada paso suele ser de 1.8° , siendo necesarios 200 pasos para una revolución completa, permitiendo una resolución de movimiento con mayor fuerza y precisión que los motores convencionales.

Para el control de las bobinas de los motores se hace uso de los controladores de motores a pasos, como es el caso del WANTAI DQ542MA, el cual conoceremos a detalle más adelante y que nos permite por medio de pulsos recibidos de la tarjeta de control, accionar las bobinas del motor de tal modo que este gire en sentido horario o antihorario una determinada cantidad de pasos o fracción de pasos.

1.7. CNC En la universidad de Quintana Roo.

En la Universidad de Quintana Roo (UQRoo) existen varias máquinas que utilizan estos sistemas para crear piezas utilizadas en distintas ramas de investigación, como energías limpias, mecánica, aerodinámica, entre otros.

Un equipo CNC (sobre la que se centra esta investigación) se encuentra en el Laboratorio de hidrógeno y fue construida con el objetivo de realizar los componentes y accesorios requeridos para las investigaciones en celdas de combustible, consiste básicamente en un módulo de corte láser.

Este equipo pretendía ser utilizado por maestros y alumnos en el desarrollo de diversos proyectos de investigación, sin embargo, después de un corto periodo de uso ha presentado problemas debido a su diseño y componentes que no han permitido mantener la precisión necesaria para realizar cortes láser, durante su operación ha habido casos de pérdida de pasos, bloqueos, rupturas de componentes, daño a los sensores debido a fallos en el cableado, entre otras cosas que se detallarán más adelante. Todos estos problemas han imposibilitado que la máquina pueda incluso pasar de forma precisa dos veces sobre un mismo punto, siendo un problema grave ya que para realizar un corte de láser, grabado, o cualquier función para la que se ha diseñado, es necesario realizar varios cortes sobre una misma trayectoria variando únicamente la altura de la herramienta para que en cada corte se encuentre cada vez más cerca de la materia prima y en consecuencia, remueva el material necesario para lograr su cometido.

Para realizar una puesta a punto de la máquina, se debe realizar un análisis completo de sus componentes para verificar que estén correctamente dimensionados, realizar lecturas de corriente para comprobar el óptimo funcionamiento de sus drivers y fuentes de alimentación, alinear los rieles de forma que se mantengan paralelos y la vibración no provoque problemas, ubicar los sensores necesarios de forma apropiada para evitar daños durante el desplazamiento, asegurar las conexiones y evitar que los cables tengan enredos durante el funcionamiento. En la figura 1.6 podemos ver la situación actual del cableado en el gabinete de control así como las 3 fuentes de energía, el módulo de control Arduino y los drivers de los motores a pasos, como se puede apreciar, no está debidamente organizado y resulta complicado determinar los extremos de cada cable.

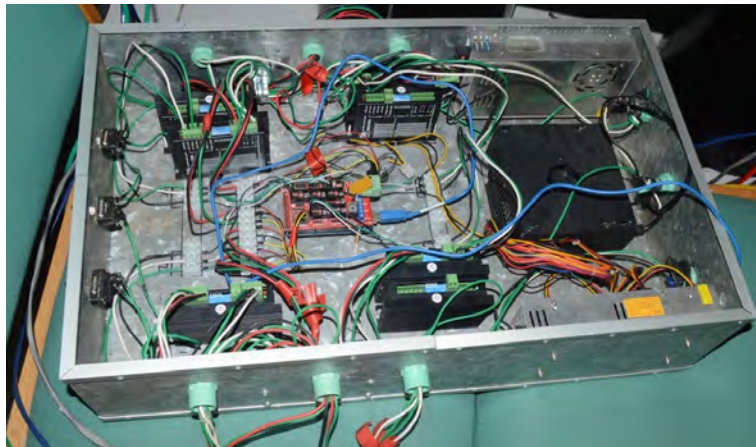


Fig. 1.6 Gabinete de control actual del equipo CNC en el Laboratorio de Hidrógeno.

2. CNC en el Laboratorio de Hidrógeno de la UQRoo.

2.1. Componentes de la maquinaria CNC.

El laboratorio cuenta con una máquina CNC diseñada para corte láser con dimensiones 1.5 m x .80 m, cuenta con 3 ejes de movimiento (X, Y, Z), la estructura de la máquina está hecha con PTR de 2" y de 1", sujeta en las esquinas con dos pernos para evitar deformidades durante la operación. En la figura 2.1 se aprecia el armazón como base del equipo CNC.

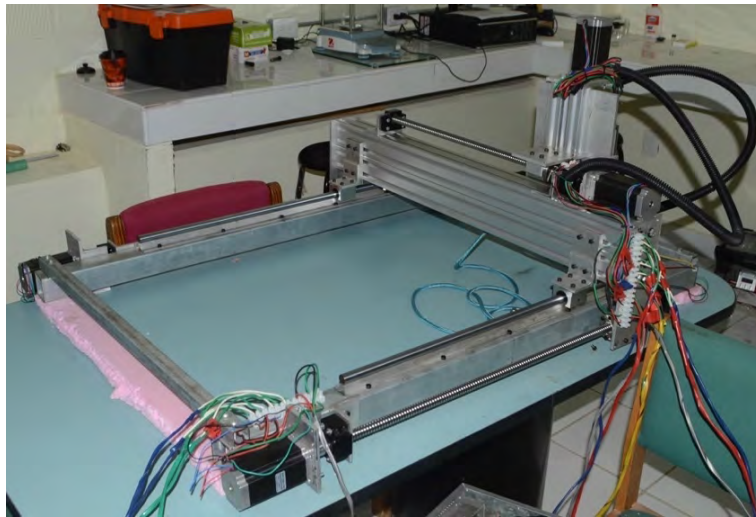


Fig. 2.1 Máquina CNC del Laboratorio de Hidrógeno.

A grandes rasgos la máquina cuenta con los siguientes componentes:

- 1 armazón con perfil de PTR galvanizado.
- 2 fuentes de energía de 350W (9.7A, 36V) para la alimentación de los motores.
- 1 fuente de alimentación ATX EDGE SYSTEMS R500.
- 4 controladores WANTAI DQ542MA para motores a pasos.
- 4 motores a pasos WANTAI WT65STH116-4204A.
- 4 coples flexibles de aluminio.
- 4 tornillos de bola recirculante con chumacera (uno para el eje X, uno para Z y dos para Y).
- 1 Arduino MEGA con shield CNC.
- 1 módulo láser grabador de 15W.
- 3 sensores de final de carrera.
- 12 chumaceras lineales de 16mm (cuatro por cada eje).
- 6 cilindros de acero de 16mm (dos por cada eje).
- 3 juegos de bases para tornillo de bola recirculante.

- 1 caja de lámina para ordenar los componentes electrónicos, además de cables y conexiones diversas.

2.2. Detalles de componentes.

2.2.1. Módulo de control.

Arduino MEGA 2560.

El Arduino Mega 2560 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560, algunas de sus características son:

- 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM).
- 16 entradas analógicas.
- 4 UARTs.
- 1 cristal de 16Mhz.
- Conexión USB.
- Jack para alimentación DC.
- Conector ICSP .

La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de shields compatibles para Arduino UNO. El Arduino Mega 2560 es una actualización que reemplaza al Arduino Mega. (Arduino, s.f.)

En la figura 2.2 se muestra el Arduino MEGA actualmente utilizado para el control del equipo CNC.

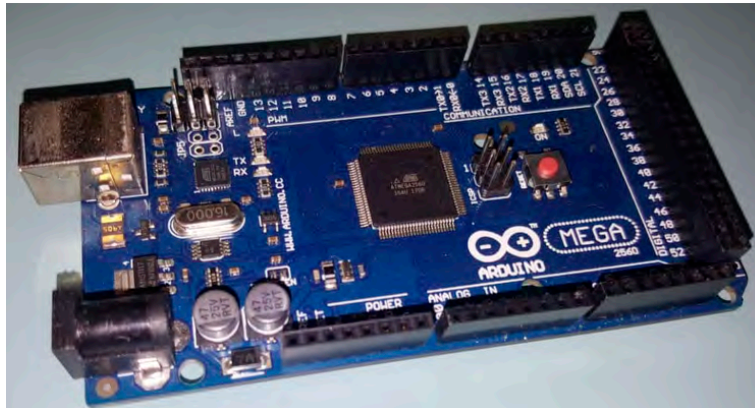


Fig. 2.2 Arduino MEGA.

Uso actual: Interfaz de control de la máquina CNC.

SHIELD CNC RAMPS 1.4 Arduino MEGA.

La palca RAMPS 1.4, mostrada en la figura 2.3 es una tarjeta orientada al ámbito de los sistemas de control numérico, diseñada especialmente para conectarse sobre los pines de una tarjeta Arduino MEGA (es por esta característica que se le denomina “shield”) y cuenta con:

- 5 bases especiales para controladores Polulu A4988 (o compatibles).
- 3 salidas de potencia controladas por transistores MOSFET.
- Interfaz para conectar pantallas LCD.
- 3 conectores para termistores.
- 6 conectores para sensores de límite.

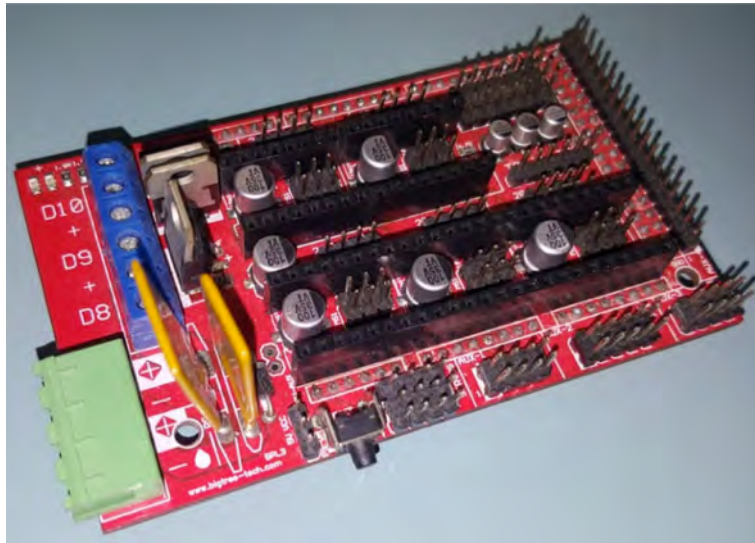


Fig. 2.3 RAMPS 1.4

Uso actual: Interfaz entre el Arduino MEGA, los drivers y el módulo láser.

2.2.2. Alimentación.

ATX EDGE SYSTEMS R500

La fuente ATX EDGE Systems R500 es una fuente diseñada para alimentar computadoras de escritorio y que permite alimentar dispositivos como el Arduino MEGA, sus características se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Especificaciones eléctricas de fuente ATX EDGE R500.

Potencia	500 W	115 VAC 60 Hz 6 A / 230 VAC 50 Hz 3 A	
Voltajes de alimentación			
12 V	-12 V	5 V	3.3 V
25 A	.8 A	30 A	12 A
300 W	9.6 W	150 W	39.6 W

Como se puede ver en la figura 2.4 la fuente está montada al gabinete y conserva las líneas de alimentación no ocupadas, actualmente sólo se usan 4 cables (2 tierras, 12 V y 5 V) que únicamente incrementan la complejidad del trazado de las líneas eléctricas.

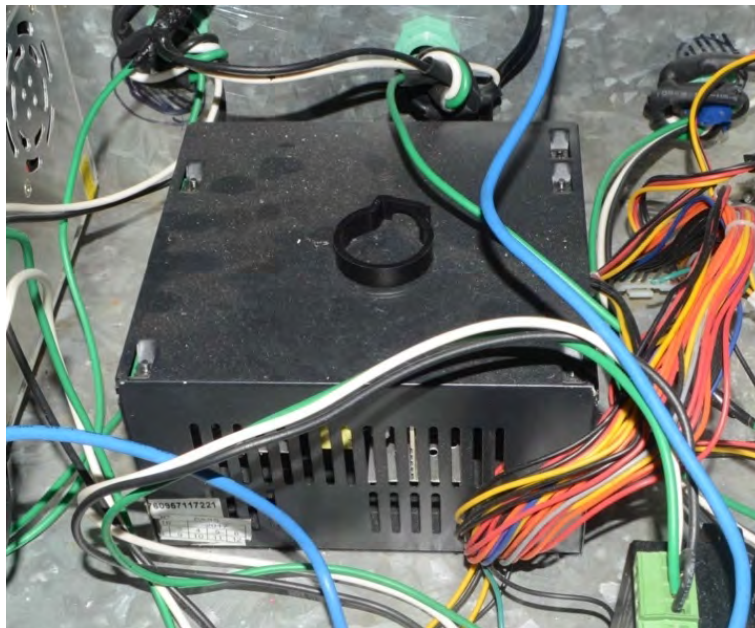


Fig. 2.4 Fuente ATX montada en el gabinete.

Uso actual: Alimentar la placa Arduino MEGA y el módulo grabador láser.

WANTAI S-350-36

Datasheet no disponible para modelo de la marca Wantai, se muestran los datos en la placa de la fuente de alimentación.

Tabla 2.2 Especificaciones de fuente de poder WANTAI S-350-36.

Voltaje de entrada	110 VAC	220 VAC
Corriente de entrada	4.5 A	2 A
Voltaje de salida	36 VDC	
Corriente de salida	9.7 A	
Potencia	349.2 W	



Fig. 2.5 Fuente de poder WANTAI S-350-36.

Uso actual: Alimentación de drivers y motores.

2.2.3. Electrónica.

Módulo láser grabador de 15w.

El módulo láser permite tallar acero inoxidable, aluminio, cerámica, piedra, madera, cuero, plásticos, entre otros, así como grabar sobre Madera, papel, tela, plástico, aluminio, cerámica, piedra y acero inoxidable. Tiene una potencia promedio de 8 W con pulsos de hasta 15 W, con unas dimensiones de 10 x 6 x 4.8 cm.

En la figura 2.6 se aprecia la instalación del módulo láser de 15 W.

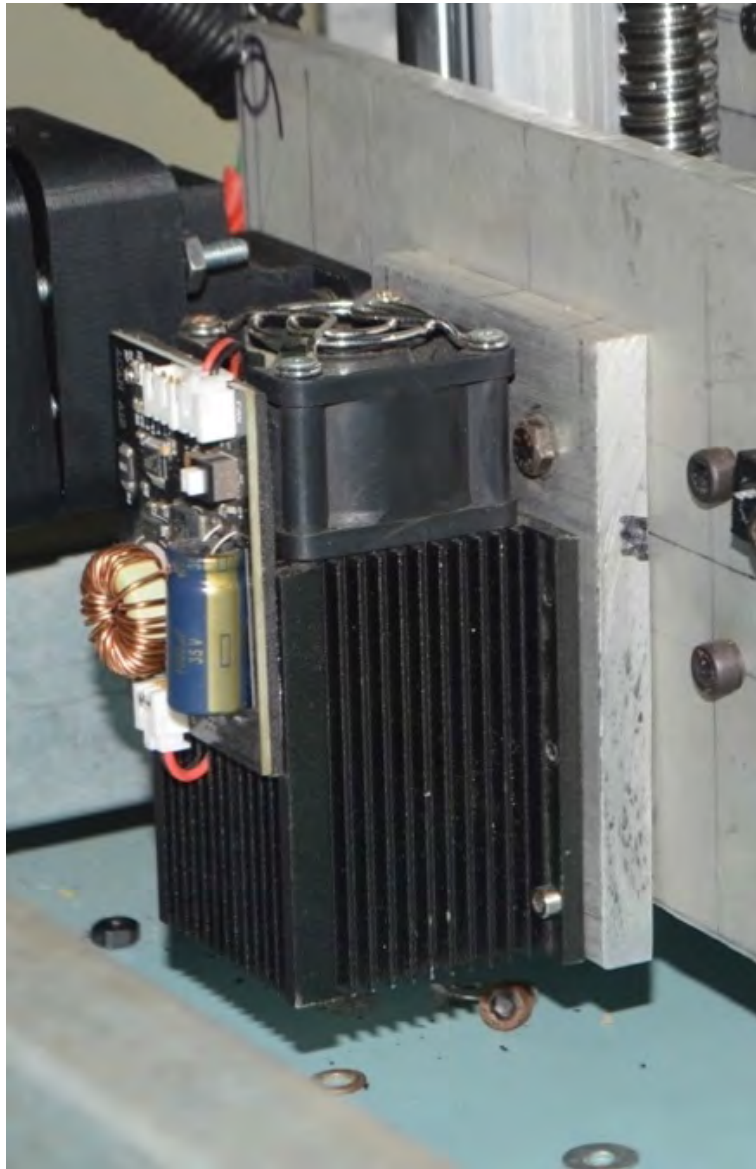


Fig. 2.6 Módulo láser de 15W.

Uso actual: Realizar grabados y cortes en materiales como madera, plástico y papel.

Sensores de final de carrera.

Estos sensores son en realidad interruptores que son accionados por la estructura de la máquina al llegar al límite inicial de su desplazamiento (posición Home) se activan para indicar al controlador que se ha llegado al límite y que no debe continuar el movimiento. En la figura 2.7 se muestra el sensor encargado de notificar la posición home del eje Y.



Fig. 2.7 Sensor de límite de eje Y.

Uso actual: Determinar la posición inicial de los ejes.

Driver de Motor a pasos WANTAI DQ542MA

Es un driver de híbrido de doble fase para motores a pasos, con un rango de voltaje de entre 18 VDC y 50 VDC. Está diseñado para ser utilizado con todo tipo de motores híbridos de dos fases con 42 mm hasta 86 mm de diámetro exterior y una corriente menor de 4.0 A por fase.

Su circuito es similar a los circuitos de servo control, el cual, permite controlar el motor con suavidad, bajo nivel de ruido y vibración.

El par de torsión se mantiene elevado cuando se mantiene el DQ542MA en altas velocidades, mejor que en otros controladores de doble fase, además, la precisión de la posición es mayor.

Es ampliamente utilizado en dispositivos de control numérico de medianos a grandes como grabadores, empacadoras, entre otros.

Características:

- Alto rendimiento, bajo precio.
- Control de corriente promedio, controlador de doble fase con salida de corriente sinusoidal.
- Voltaje de alimentación entre 18 VDC y 50 VDC.
- Señal I/O opto-aislada.
- Protección para sobre voltaje, bajo voltaje, sobre corrección y corto circuito de fase.
- Subdivisión de 15 canales y reducción de corriente en espera automática.
- 8 canales de configuración de salida de corriente.
- Terminal de comandos fuera de línea.
- Torque relacionado con la velocidad, pero no con la relación de pasos por revolución.
- Alta velocidad de arranque.
- Alto torque en alta velocidad.

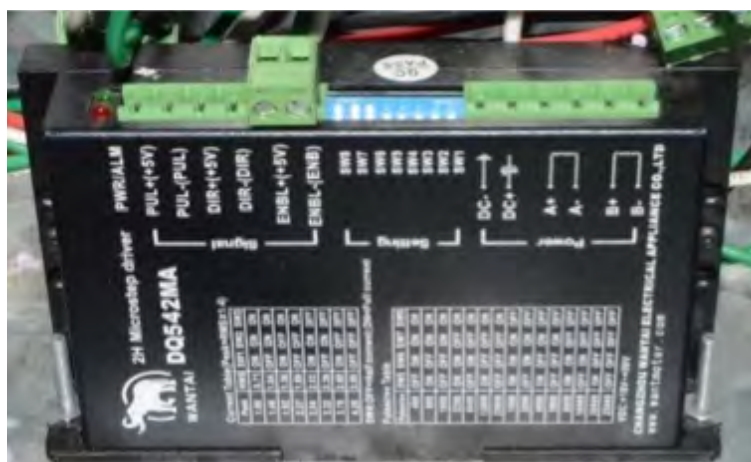


Fig. 2.8 Driver de Motor a pasos WANTAI DQ542MA.

En la tabla 2.2 se muestran las especificaciones electrónicas del driver:

Tabla 2.3 Especificaciones del driver de Motor a pasos WANTAI DQ542MA

Voltaje de entrada	18 – 50 VDC
Corriente de entrada	< 4 A
Corriente de salida (RMS)	.71 A ~3.0 A
Corriente de salida (Pico)	1.0 A ~ 4.2 A
Consumo	80 W; Protección interna 6 A
Temperatura	Trabajo: -10° C ~ 45° C Almacenamiento: -40° C ~ 70° C
Humedad	Sin condensación ni goteo
Gas	Prohibido para gases combustibles y polvo conductivo
Peso	200 g

(WANTAI)

Basados en la información del dispositivo tenemos como referencia la tabla 2.4: Relación de corriente de salida (A)

Tabla 2.4 Relación de corriente RMS y Pico del driver WANTAI DQ542MA.

Pico	RMS
1	.71
1.46	1.04
1.92	1.36
2.37	1.69
2.84	2.03
3.32	2.36
3.76	2.69
4.2	3

Relación de pulsos por revolución de: 400, 800, 1000, 1600, 2000, 3200, 4000, 5000, 6400, 8000, 10000, 12800, 20000, 25000 y 25600.

Uso actual: Controlar la secuencia de pulsos para mover los motores a pasos.

2.3. Mecánica.

Motores a pasos

Datasheet no disponible de modelo WANTAI WT67STH116-4204A, se muestran las especificaciones de placa tomada de un motor instalado en la máquina (figura 2.9).

Tabla 2.5 Especificaciones de motor WANTAI WT67STH116-4204A.

Modelo	WT67STH116-4204A
Corriente de trabajo	4.2 A
Grados por paso	1.8
Pasos por revolución	200



Fig. 2.9 Motor WANTAI WT67STH116-4204A.

Uso actual: Mover los ejes de forma precisa.

4 coples flexibles de aluminio.

Mostrado en la figura 2.10 su objetivo es unir de forma flexible, pero sin pérdida, el émbolo del motor con la pérdida de bola recirculante.

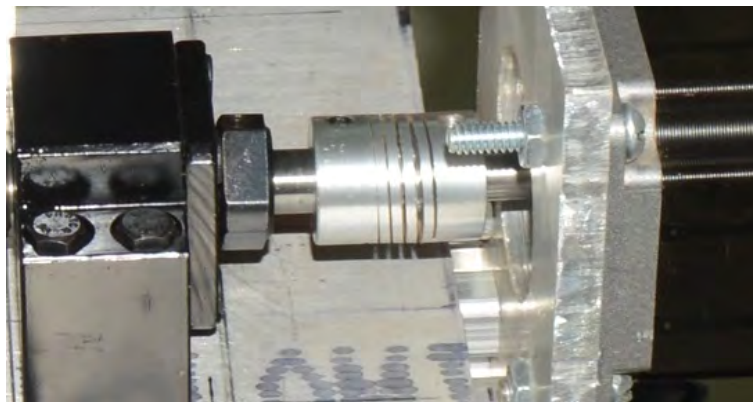


Fig. 2.10 Cople de aluminio.

4 tornillos de bola recirculante con chumacera.

Los tornillos permiten convertir el movimiento angular del motor en desplazamiento lineal en una relación de 5 mm por revolución, tienen un diámetro de 16 mm. Se tiene uno en el eje X, dos en el eje Y y uno más en el eje Z.

La figura 2.11 muestra la instalación actual de un tornillo de bola recirculante.

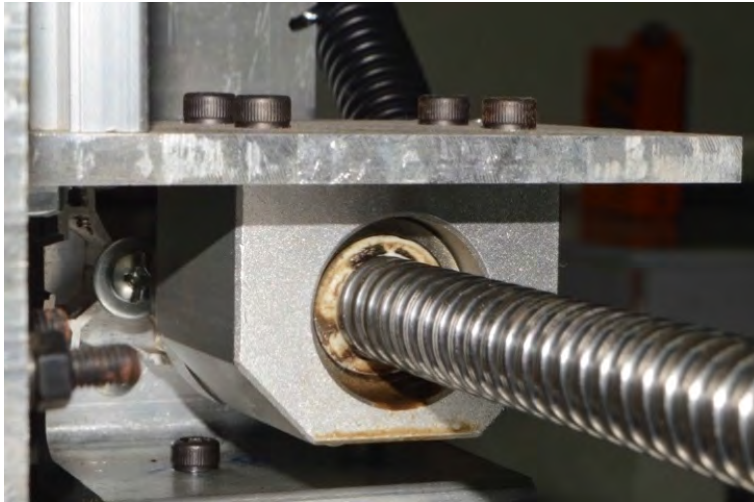


Fig. 2.11 Tornillo recirculante.

Uso actual: Convertir el movimiento de los motores en desplazamiento de los ejes.

Flecha cromada de 16 mm.

Las flechas son las responsables de resistir el peso de los componentes además de servir como rieles sobre los cuales se desplazan los ejes. Se tiene dos flechas por cada eje, con un largo de 35 cm para el eje X, 55 cm para el eje Y y 18 cm para el eje Z.

La figura 2.12 muestra la máquina CNC y una vista directa a sus flechas de eje X y Z.

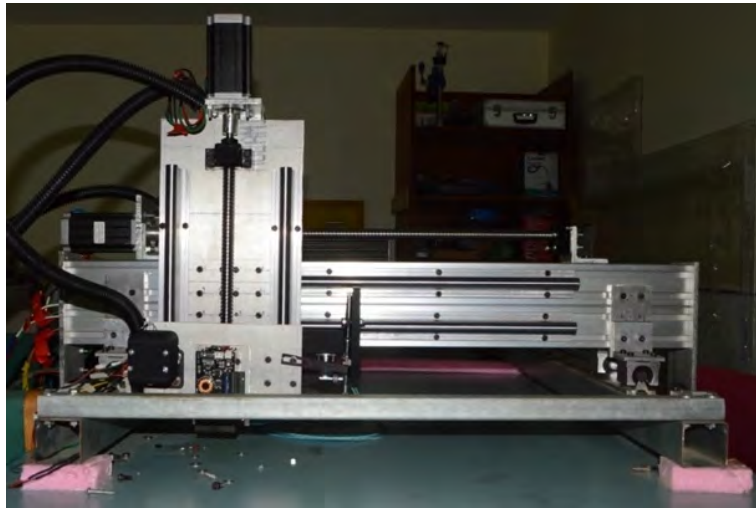


Fig. 2.12 Flechas X y Z.

Uso actual: Soportar el peso de la estructura a la vez de ser una guía de desplazamiento.

Chumaceras lineales de 16 mm.

Las chumaceras permiten un desplazamiento suave, ya que en su interior tienen balines que hacen contacto con la flecha, desplazándose entre esta y la chumacera cuando los motores accionan los tornillos, cargando todo el peso de la estructura y reduciendo la fricción ocasionada durante el desplazamiento.

La figura 2.13 muestra una chumacera instalada en el eje Y.



Fig. 2.13 Chumacera lineal.

Uso actual: Permitir un movimiento suave y preciso de cada eje, independientemente del peso y esfuerzo mecánico ejercido (siempre que esté dentro de su límite de tolerancia).

Juegos de bases para tornillo de bola recirculante.

Las bases permiten sujetar firmemente los tornillos a la estructura de la máquina, tiene un balero por cada extremo que permite un movimiento más suave.

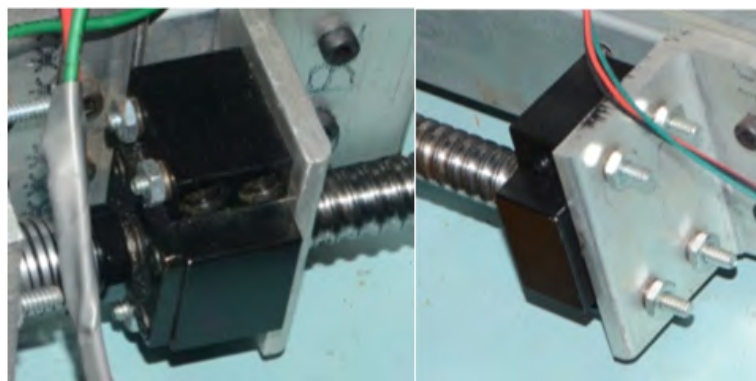


Fig. 2.14 Base de tornillo de bola recirculante.

Uso actual: Sujetar los tornillos de forma firme y permitir una rotación de baja fricción.

Caja de lamina para ordenar los componentes electrónicos.

Esta caja fue hecha para almacenar los componentes electrónicos de la máquina y gestionar las conexiones. En la figura 1.6 se aprecia la situación inicial de la instalación eléctrica del equipo CNC.

Uso actual: Sujetar los componentes electrónicos.

2.4. Diagnóstico actual.

2.4.1. Instalación eléctrica.

Cableado.

Durante la primera inspección a los cables dedicados a enviar los pulsos de control se encontraron algunos problemas, no sólo no era fácil seguirlos desde su inicio hasta su final, sino que además, respecto al cableado de los sensores, conectores de paso y dirección de los motores, estos cables en ocasiones presentaban falso contacto, produciendo como resultado comportamientos erráticos, en algunos casos no detectando cuando la máquina ha llegado al límite de sus ejes y por lo tanto forzando las bases de los sensores causando daño en estas. Además, en el eje Y se tienen 2 motores, los cuales, por el falso contacto causado por la vibración, no se accionaban de forma sincronizada ocasionando que el eje se desalineara ligeramente alcanzando en algunos casos el punto de torsión de la maquinaria (al accionar un eje hacia un lado y el otro en sentido inverso).

Para evitar estos problemas se debe diseñar un cableado adecuado que permita tolerancia a vibración y movimiento y que además sea fácil de revisar en caso de fallo o mejora.

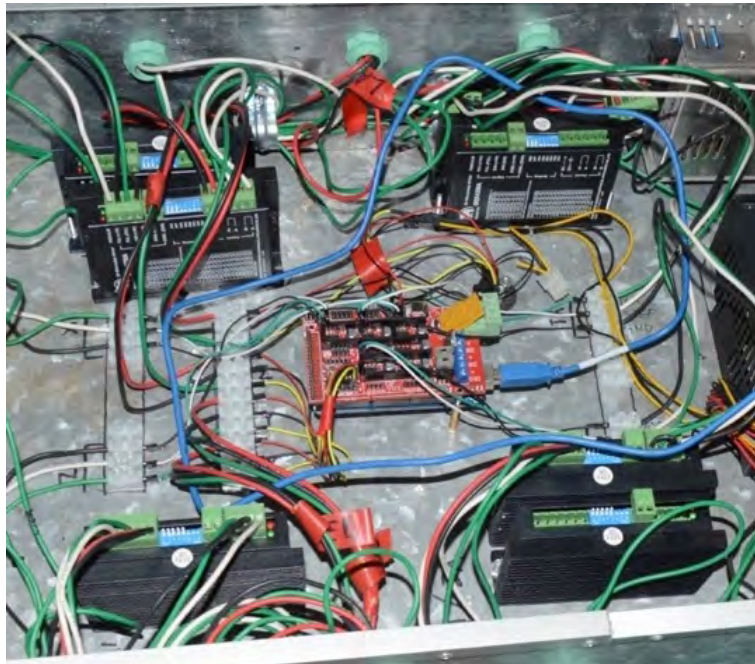


Fig. 2.15 Conexión del módulo de control Arduino MEGA.

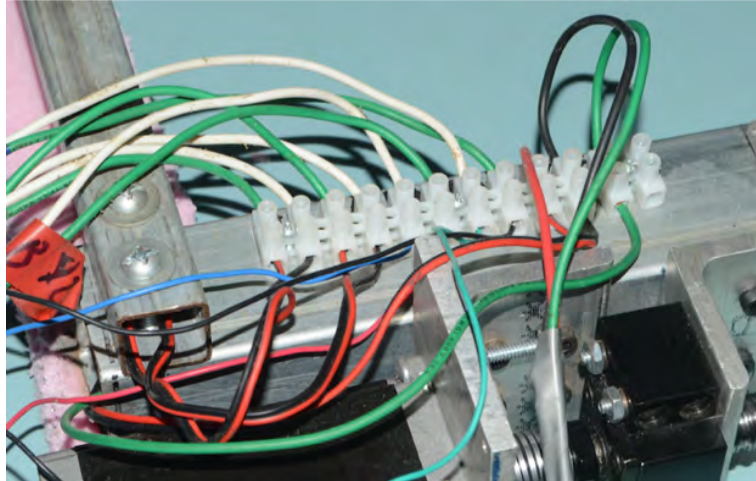


Fig. 2.16 Conexión de motores y sensores en el armazón de PTR.

Sensores

Posiblemente como consecuencia de la instalación eléctrica, el sensor del eje X fue forzado en su base por el uso del motor, ocasionando deformidades en la base y desprendimiento parcial del sensor y el conector de su placa de tal forma que incluso los tornillos fueron afectados.

Durante una de las pruebas, este error se presentó y por la posición final alcanzada no fue posible detectar la llegada del carro del eje X ocasionando que se atore el motor en el inicio del mismo eje.

En la figura 2.17 se muestran los efectos ocasionados de no tener los motores controlados apropiadamente, se aprecia como parte de la base de aluminio ha sido desgarrada.

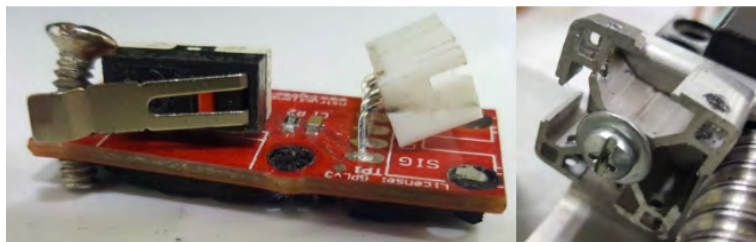


Fig. 2.17 Problemas ante fallo en sensores de límite.

2.4.2. Mecánica.

Riel de desplazamiento en Y.

Durante la inspección se encontró que los rieles no son paralelos y existe un margen de 2 mm como se muestra en la figura 2.18 (71.3 cm y 71.5 cm de distancia total) entre extremos de cada riel, tal distancia provoca que las chumaceras se compensen por medio de desplazamiento lateral, generando mayor esfuerzo mecánico para los motores y comprometiendo la estructura durante el funcionamiento y aumentando la probabilidad de presentar pérdida de pasos.



Fig. 2.18 Distancia entre extremos de rieles en Y.

Adaptaciones a las bases de las chumaceras

En la figura 2.19 es posible observar que, para proyectos individuales, los alumnos han recurrido a usar los tornillos de las bases de los ejes para montar herramientas adicionales. Como ejemplo se muestra un aerógrafo, el cual se instaló en los mismos tornillos de uno de los rieles del eje Z y su actuador está colocado en uno de los tornillos de una chumacera del mismo eje, esto a largo plazo puede provocar desalineación por no tener el torque adecuado en los tornillos.

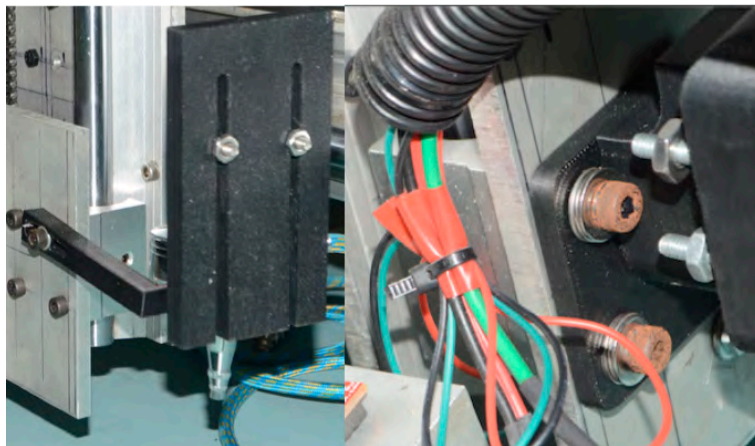


Fig. 2.19 Herramientas ajenas al equipo CNC montadas sobre su estructura.

2.5. Pruebas de funcionamiento

2.5.1. Procedimiento

Para conocer el comportamiento de los motores se han realizado diversas lecturas de corriente a las bobinas de los motores a distintas velocidades para observar de forma precisa el consumo de cada bobina durante el desplazamiento de cada eje de forma individual. Se utilizó un osciloscopio Agilent MSO6032A de hasta 2GSa/s para mostrar los resultados muestreados a diferentes velocidades y un conjunto de medidores de corriente Fluke 80i-110s AC/DC por campo magnético que se han colocado sobre un cable de cada bobina a medir.

2.5.2. Potencia RMS

La potencia RMS es la capacidad de potencia que es capaz de entregar un controlador de forma continua durante su funcionamiento.

2.5.3. Potencia Pico

La potencia pico es el límite de potencia que un controlador es capaz de entregar durante su funcionamiento.

2.5.4. Resultados

Lectura de gráficos

Para ayudar en la interpretación de los gráficos primero se explicará la representación gráfica mostrada en cada captura de datos realizada con el osciloscopio.



Como se observa en la figura 2.20, en la esquina superior izquierda (recuadro color rojo), la escala de corriente en cada canal del osciloscopio es de 5 A/Div.

En la esquina superior derecha (recuadro color azul), se muestra la escala de tiempo con la cual ha sido realizado el muestreo, en este caso está ajustado a 5 ms/Div.

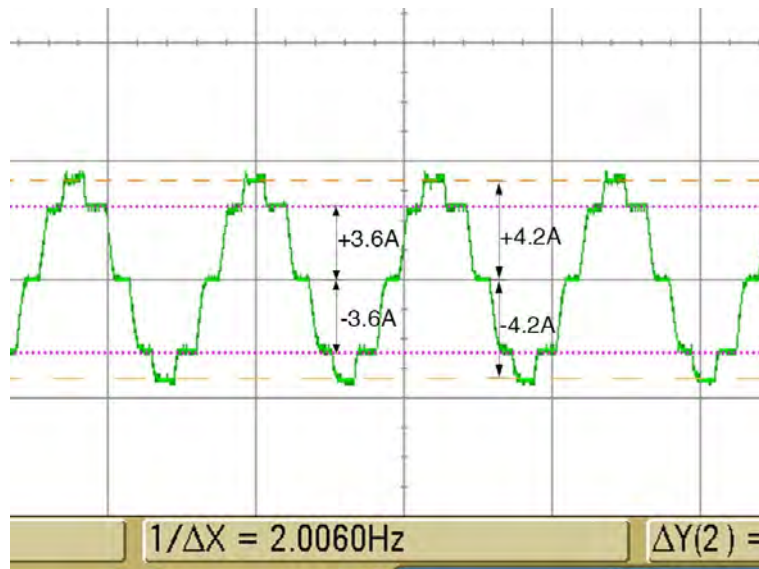


Fig. 2.21 Acotación de rangos de energía.

En la figura 2.21 podemos observar la línea de rayas discontinuas que representan el límite 4.2 A y -4.2 A pico. Por último, tenemos dos líneas punteadas color morado que son de referencia para visualizar el límite de 3.6 A y -3.6 A RMS de los drivers, esta referencia aplica de la misma forma para el canal 1.

Representación de las bobinas en el gráfico

Para comprender el comportamiento de los drivers, debemos entender la representación de su funcionamiento y el del motor a pasos. Los motores a pasos utilizados en el equipo al que se orienta este proyecto son motores bipolares que constan de un conjunto de bobinas dispuestas en pares, las cuales al accionarse cambian la posición del eje del motor.

Estos motores requieren de 200 pasos (cambios de estado en las bobinas) para alcanzar una revolución y el trabajo del driver es coordinar el accionar de las bobinas para realizar un movimiento controlado.

En la figura 2.22 se observa el modelo conceptual donde un paso se realiza con el accionar de un conjunto de bobinas, cada paso completo representa un giro de 90° en el gráfico conceptual o 1.8° en el motor real.

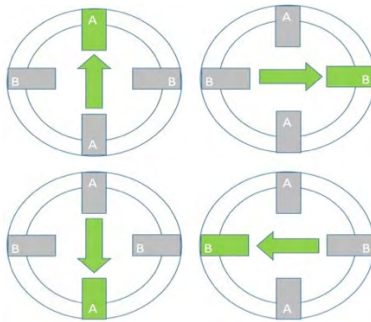


Fig. 2.22 Modelo conceptual de motor a pasos bipolar en modo FullStep [6].

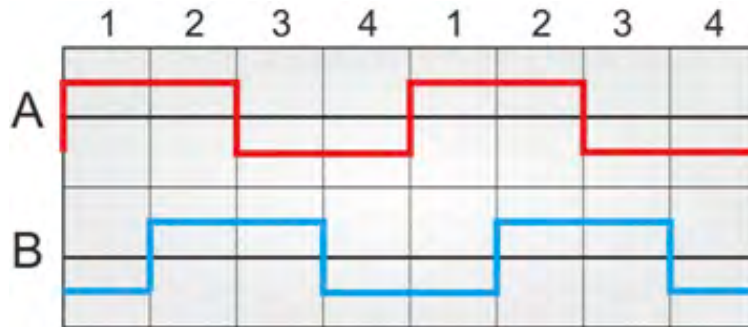


Fig. 2.23 Representación gráfica del comportamiento de un motor bipolar en modo FullStep [7].

Sin embargo, el driver WANTAI DQ542MA tiene una resolución mínima de 400 pasos por revolución, por lo cual realiza pasos de 45° en el gráfico conceptual o 0.9° en el motor real, logra esto accionando de forma alternada entre un conjunto de bobinas para un paso y los dos conjuntos de bobinas para el siguiente paso.

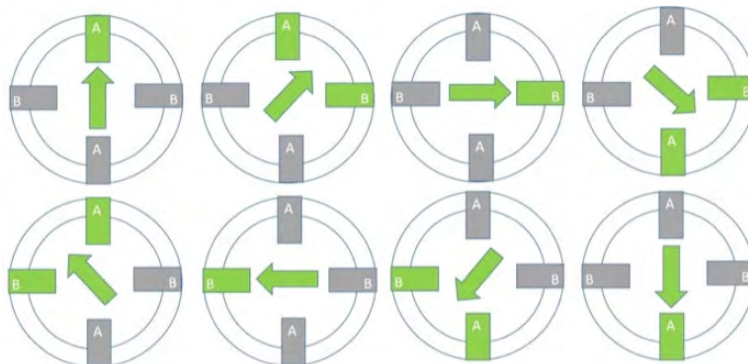


Fig. 2.24 Modelo conceptual de motor a pasos bipolar en modo HalfStep [6].

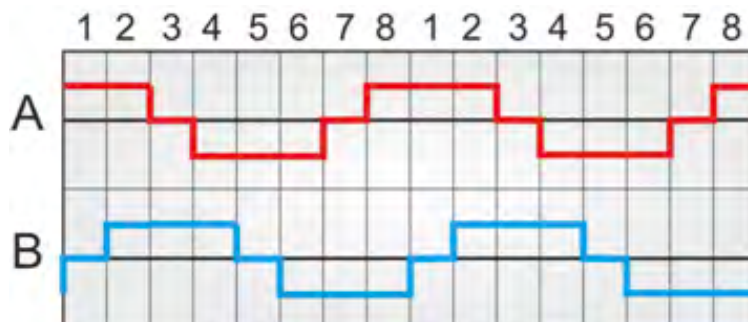


Fig. 2.25 Representación gráfica del comportamiento de un motor bipolar en modo HalfStep [7].

En la figura 2.26 se observa el comportamiento real de los pasos realizados por el driver, lo más importante es notar el comportamiento cuando se accionan de forma simultánea los dos conjuntos de bobinas. De izquierda a derecha podemos observar los pasos del motor que por configuración del driver se está realizando un comportamiento de HalfStep.

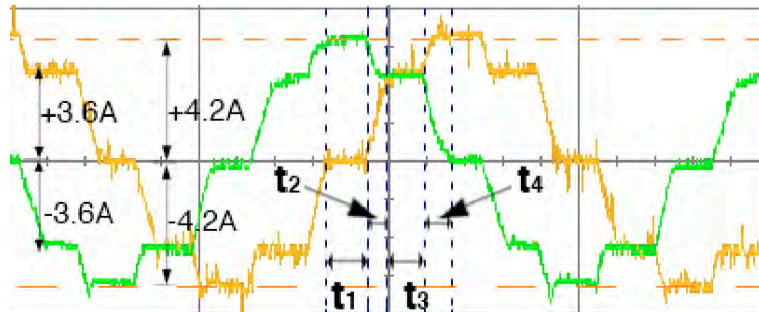


Fig. 2.26 Gráfico del comportamiento real de los motores bipolares.

Durante el tiempo 1 (t_1) tenemos encendida la bobina 1 (en color verde) y apagada la bobina 2 (en color naranja), podemos también notar que cuando sólo una de las bobinas está activada el driver entrega 4.2 A, la cual es la capacidad máxima posible para este modelo.

A partir del tiempo 2 (t_2) se activa la bobina 2 cuando aún está activada la bobina 1, esto provoca una caída a 3.6 A por parte de la bobina 1, la capacidad RMS de driver, sin embargo, como podemos observar en la figura 2.24, no debería haber un cambio en la corriente de la bobina 1.

A partir del tiempo 3 (t_3) se ve como ambas bobinas están limitadas a 3.6 A. A partir del tiempo 4 (t_4) al apagar la bobina 1 se incrementa la corriente en la bobina 2 hasta el límite máximo de 4.2 A. Este ciclo se repite continuamente durante cada revolución del motor.

Corriente limitada de los drivers.

En la figura 2.27 se observan los resultados del muestreo durante el funcionamiento a una velocidad de 660 pasos por segundo (p/s), con una escala de tiempo de 10 ms y la escala de corriente en 5 A. Recordemos que los motores trabajan con una corriente nominal de 4.2 A mientras que el driver tiene una corriente nominal de 3.6 A, una corriente pico de 4.2 A y cuenta con protección contra sobre corriente.

Observando la gráfica del canal 2 (en verde) son notables las caídas de corriente debidas a la limitada capacidad de los drivers los cuales deberían mantener los 4.2 A sin caer a 3.6 A.

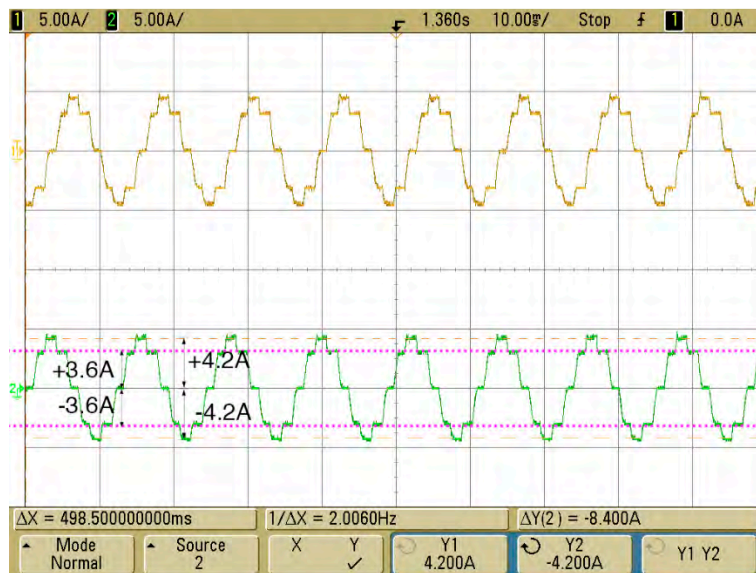


Fig. 2.27 Muestreo de corriente a 660 p/s.

En la figura 2.28 se observan las gráficas sobre puestas y despejadas para observar de forma más precisa el comportamiento de la corriente y lo anteriormente comentado.

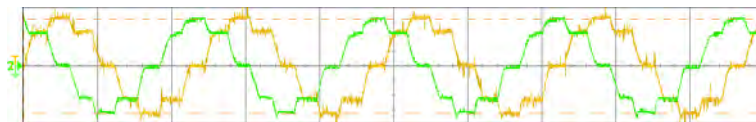


Fig. 2.28 Gráfica sobre puesta del consumo de ambas bobinas de un motor a pasos.

La figura 2.29 es ajustada con la escala de tiempo de 5 ms y una escala de corriente de 5 A, se aprecia el nuevo comportamiento de la corriente a una velocidad de 1320 p/s, el consumo por paso se reduce quedando justo en los límites del driver, es necesario aun así lograr un mejor rango de entrega de corriente para asegurar un mejor torque por medio de drivers más potentes y así aprovechar mejor el rendimiento de los motores.

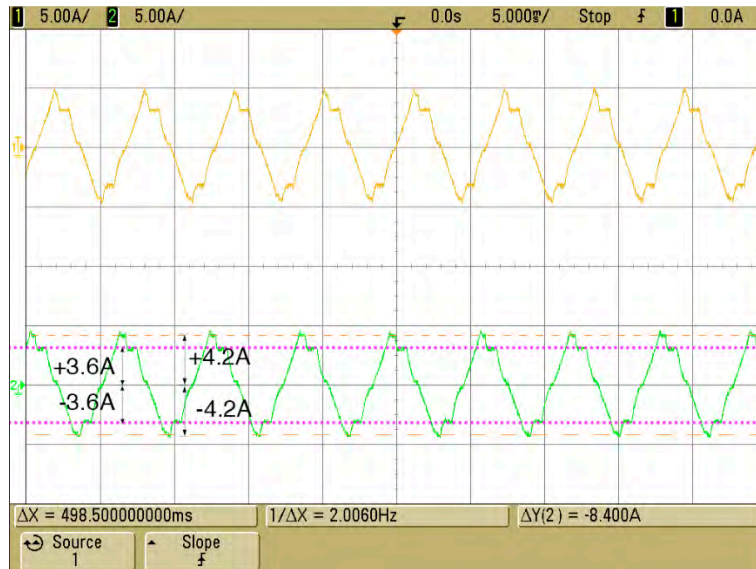


Fig. 2.29 Comportamiento de corriente a 1320 p/s.

En la figura 2.30 se muestran los gráficos sobrepuestos para notar como aún se mantiene el mismo comportamiento a una velocidad de 660 p/s, donde la corriente cae durante la activación de los dos conjuntos de bobinas y que nuevamente existe limitación en la entrega de corriente cuando trabajan simultáneamente.

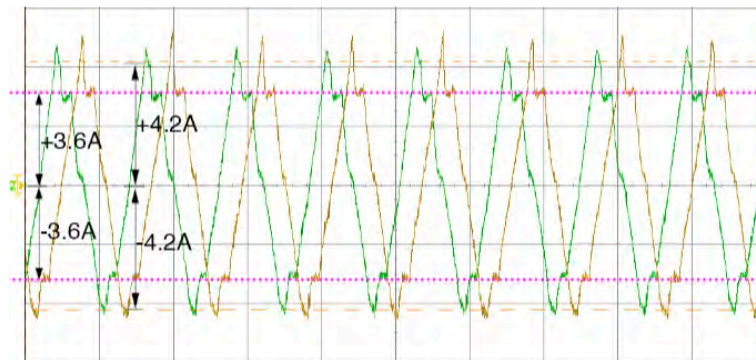


Fig. 2.30 Gráfico sobre puesto de corrientes a 1320 p/s.

Cuando se operan los motores en alta velocidad, se observa en la figura 2.31 a una velocidad de 2640 p/s, en una escala de tiempo de 5 ms y una escala de corriente de 5 A, como los motores se mantienen dentro de los parámetros nominales de los drivers, siendo la corriente máxima de 3.6 A en cada paso.

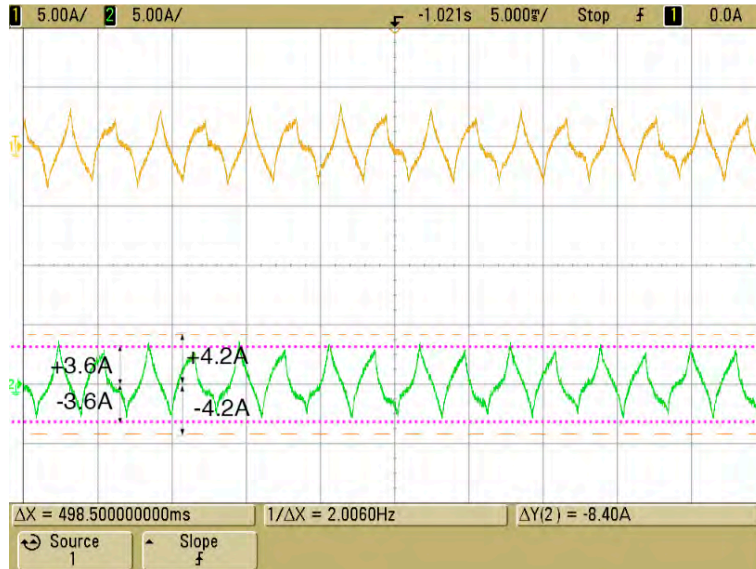


Fig. 2.31 Corrientes a 2640 p/s.

Recordando que los motores trabajan a 4.2 A, tenemos entonces que su torque máximo no se está alcanzando debido a que los drivers sólo están entregando 3.6 A.

En la figura 2.32 ajustada a una escala de tiempo 2 ms y una escala de corriente de 2 A por división, se puede observar que la corriente de las bobinas no supera los 4.2 A y se mantiene dentro del margen de los 3.6 A.

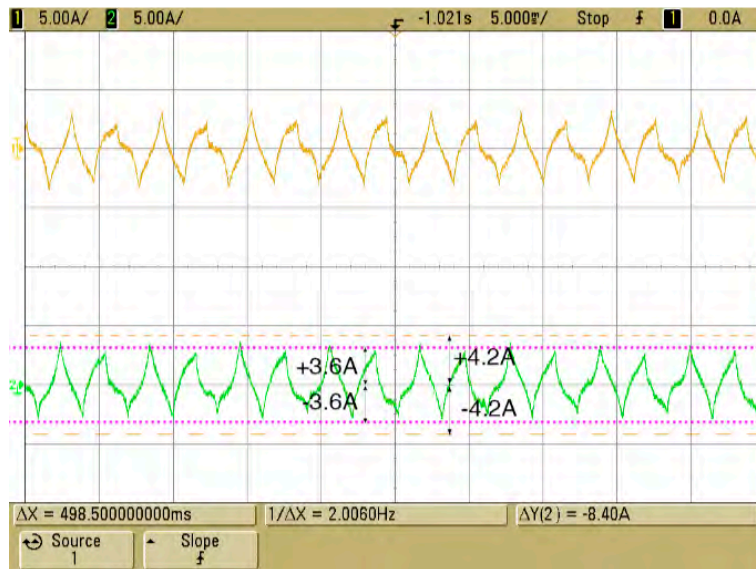


Fig. 2.32 Gráfico sobre puesto de corrientes a 2640 p/s.

Diferencia de cargas de los motores del eje Y.

Anteriormente, en la figura 2.18 se mencionó una diferencia de distancias entre los extremos de los rieles del eje, que al no ser paralelas generarían un esfuerzo mayor para realizar el movimiento.

Durante la medición de la corriente consumida se observó una diferencia considerable entre los dos motores, como se observa en la figura 2.33 ajustada a una escala de tiempo de 1 s, una escala de corriente de 2 A y muestreada a una velocidad de 2640 p/s hubo demandas diferentes en los motores durante el recorrido del eje Y, sugiriendo un problema en la alineación.

Los picos irregulares pueden sugerir problemas en las chumaceras, debido a que son las encargadas de un movimiento uniforme y suave.

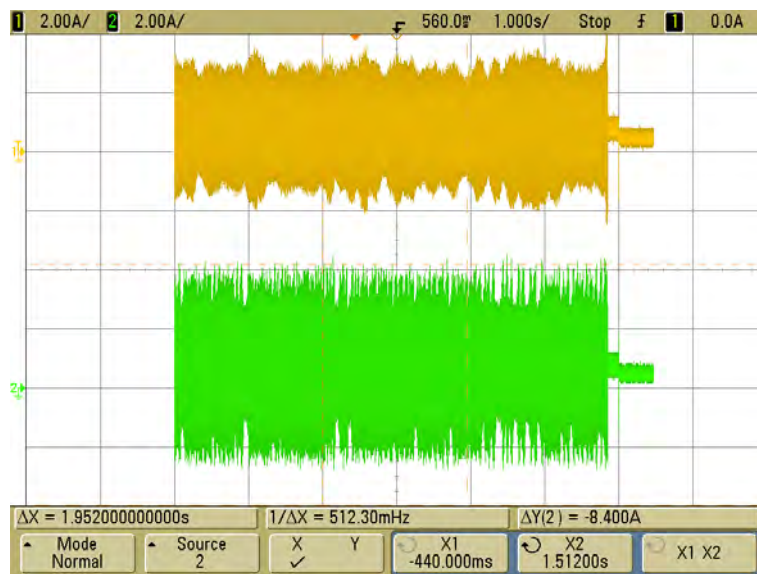


Fig. 2.33 Consumo de motores del eje Y durante desplazamiento.

3. Correcciones realizadas al sistema CNC

Basados en el estado original del sistema CNC, tenemos correcciones en los siguientes puntos:

- Alineación de rieles de eje Y.
- Elevación de estructura.
- Implementación de soporte para herramientas.
- Fijación de estructura directamente sobre la mesa.
- Creación de espacio para circuitos de prueba.
- Cambio de cableado de motores, sensores, drivers y conexión de energía.
- Fijación de fuentes de energía y drivers.
- Calibración de voltaje de alimentación de drivers.

3.1. Alineación de rieles de eje Y.

Originalmente se encontró un problema en la alineación donde se observó un desvío de 2 mm en los rieles para el desplazamiento del eje Y, mostrado en la figura 2.18. Esto se ha corregido dejando un margen menor a 1 mm permitiendo un desplazamiento suave incluso cuando se realizaron pruebas sin motores.

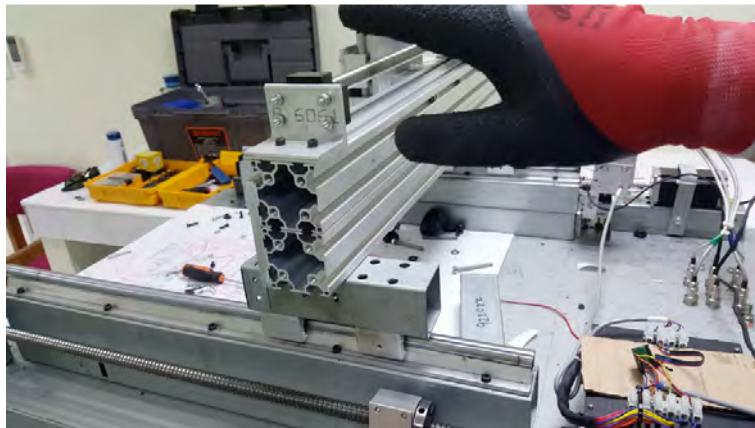


Fig. 3.1 Prueba de desplazamiento realizada sin motores.

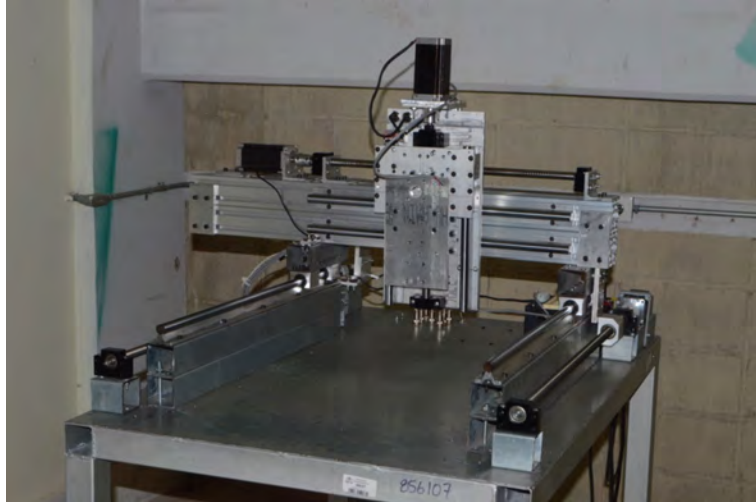


Fig. 3.2 Vista frontal de la máquina mostrando el eje Y.

3.2. Elevación de la estructura.

Con el nuevo diseño se ha conseguido levantar el eje Z con respecto a la base de la máquina hasta 10.8 cm, comparado con los 5.6 cm del diseño original, esto permite trabajar con materiales de mayor altura.

Igualmente, el eje X ha subido de 10.5 cm a 19.8 cm lo que permite un aumento aun mayor en la altura de Z si fuera necesario, tan sólo cambiando la posición de las chumaceras con respecto a la placa que soporta el eje Z.

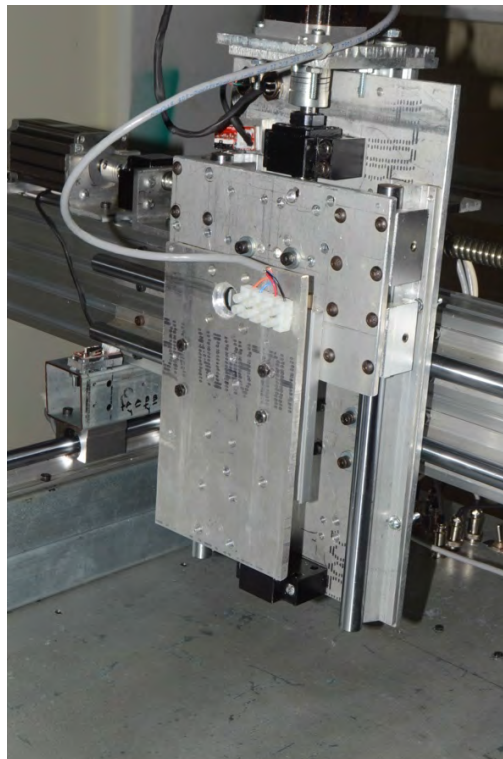


Fig. 3.3 Nueva configuración de eje Z.

3.3. Implementación de soporte para herramientas.

Como se puede observar en la figura 3.3, sobre la placa del eje Z existe una placa montada la cual puede ser ajustada por medio de cuatro tornillos en su base, permitiendo así un rango de movimiento de 9 cm en forma vertical para facilitar la montura de herramientas de distintos tamaños.

Además, sobre esta placa se ha montado una terminal para 4 cables la cual permite separar las herramientas de su respectiva tarjeta de control (para prototipos) con el objetivo de proteger la tarjeta de control contra posibles virutas desprendidas durante el funcionamiento (según el tipo de herramienta) colocándola desde una posición fija en la parte trasera de la máquina, la cantidad de cables se puede cambiar de acuerdo a la necesidad del trabajo utilizando el mismo trayecto creado para el cableado del eje Z.

3.4. Fijación de estructura directamente sobre la mesa.

Se ha montado la máquina atornillada directamente sobre la mesa de trabajo con el objetivo de mantener la estructura fija de forma permanente permitiendo su transporte sin complicaciones ni problemas de alineación.

Toda la estructura mecánica ha quedado montada en la parte superior de la mesa, la electrónica necesaria para el funcionamiento de la máquina ha quedado en la parte inferior de la misma para protegerla de cualquier desprendimiento generado durante la operación.

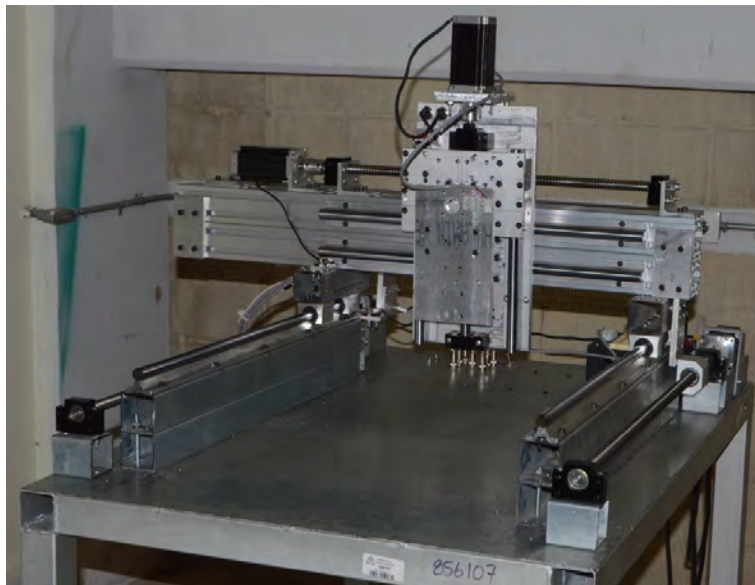


Fig. 3.4 Máquina CNC montada sobre la mesa de trabajo.



Fig. 3.5 Sistema eléctrico y de control montado debajo de la mesa de trabajo.

3.5. Creación de espacio para circuitos de prueba.

Como se mencionó brevemente en el apartado 3.3, el espacio designado para tarjetas de control de herramientas es la única parte electrónica montada sobre la mesa de trabajo, esto con el objetivo controlar en todo momento el funcionamiento de dichos circuitos.

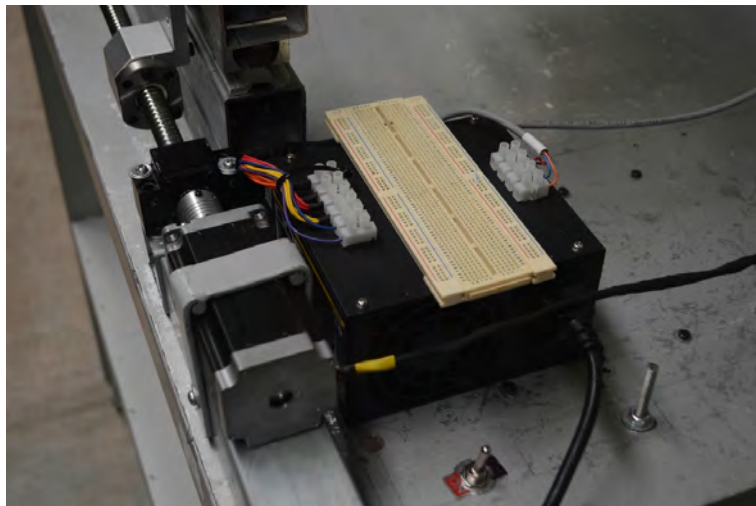


Fig. 3.6 Espacio para tarjetas de control y prototipos.

En la figura 3.6 podemos observar nuestra fuente de poder ATX EDGE SYSTEMS R500 mencionada en el apartado 2.2.2 y que ahora cumple el objetivo de alimentar las herramientas necesarias para el trabajo deseado.

En el lado izquierdo se observa una terminal con seis conexiones con cables obtenidos desde el interior de la fuente, para tener disponibles en todo momento los voltajes disponibles para este modelo de fuente (podemos verlo en la tabla 3.1) usando sólo los cables necesarios para ayudar en la organización del cableado.

Tabla 3.1 Colores, voltajes y corrientes de la fuente ATX EDGE SYSTEMS R500.

Color	GND	
Naranja	3 V	12 A
Rojo	5 V	30 A
Amarillo	12 V	25 A
Azul	-12 V	.8 A
Morado	5 V SB	2 A

En el lado derecho se observa la instalación de una terminal con cuatro conexiones las cuales están directamente conectadas a la placa de herramientas del eje Z.

3.6. Cambio de cableado de motores, sensores, drivers y conexión de energía.

3.6.1. Motores y sensores

La nueva conexión de los motores se ha realizado con un cable de 4 hilos 22 awg (mismo calibre de los cables con los que cuentan los motores) que permite tener un solo cable para cada motor con el fin de eliminar el exceso de cables mostrado en la figura 1.6, además, se han soldado conectores de 4 hilos a razón de 2 pares por motor, para permitir conexiones desacoplables desde la salida de los drivers y hasta la entrada de los motores.

Para los sensores se ha aplicado el mismo método con cables de 3 hilos 28 awg, para reducir de la misma forma los cables utilizados para conectar cada sensor de forma independiente.



Fig. 3.7 Conexiones a la salida de los drivers y módulo de control.



Fig. 3.8 Vista de los nuevos conectores para motores (4 hilos) y sensores (3 hilos).

En la figura 3.8 se observan los conectores sobre la mesa, los cuales se encargan de conectar el resto de la máquina con los drivers para los motores y el módulo de control para los sensores.



Fig. 3.9 Conexiones a la entrada del motor y sensor del eje X.

En la figura 3.9 se observan los conectores fijados en su base cerca de su respectivo motor y sensor, reduciendo el movimiento de los cables para aumentar su vida útil.

3.6.2. Fuentes de energía y drivers.

En la figura 3.10 se observan los cables alimentación de las fuentes de energía (para las fuentes de cada driver y la fuente ATX), las cuales se han realizado por medio de cables calibre 16 awg.

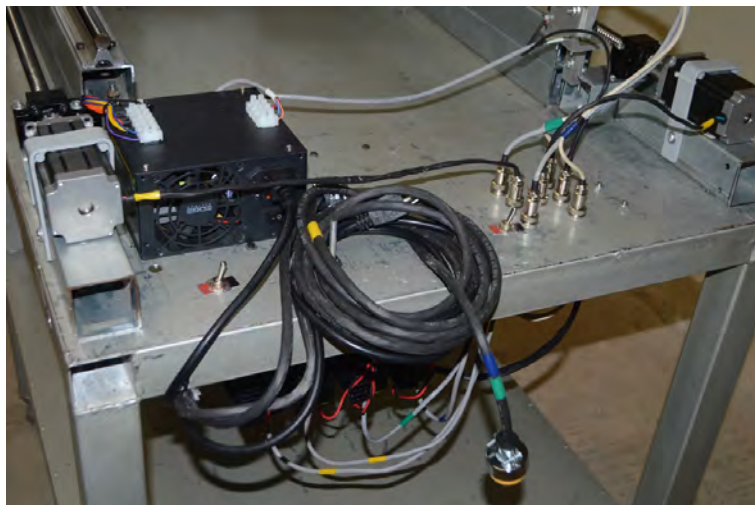


Fig. 3.10 Cables de alimentación de fuentes de energía.

Para la fuente de energía ATX, el cable se conecta directamente a la toma de corriente y se controla el encendido con el interruptor integrado de la fuente, para las fuentes de energía de los drivers, se han instalado dos interruptores para el control de encendido, desde la vista de la figura 3.10, tenemos los dos interruptores siendo el del lado izquierdo el encargado de las dos fuentes del eje Y, y en el lado derecho las fuentes del eje X y Z, cada interruptor tiene un cable independiente para su alimentación.

3.6.3. Fijación de fuentes de energía, drivers y Arduino NANO.

Toda la electrónica necesaria para el funcionamiento de la máquina se ha instalado de la parte de debajo de la mesa como se mostró en la figura 3.5, teniendo la conexión entre el nuevo módulo de control basado en Arduino NANO con los sensores y los motores por medio de cables fijados en una base de borneras para fijar de forma segura las conexiones ante las vibraciones.

Arduino NANO.

La placa de control Arduino NANO, fue fijada por medio de tornillos y separadores para mantener una distancia segura de las partes metálicas y montada sobre un shield diseñado para fijar los cables por medio de borneras, de esta forma se tiene la tarjeta fija y los cables asegurados ante cualquier movimiento ocasionado por el funcionamiento o transporte de la máquina.

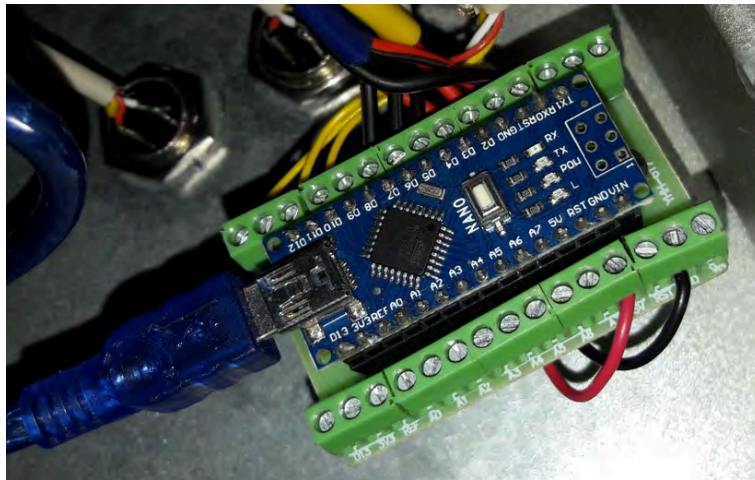


Fig. 3.11 Arduino NANO con shield de borneras.

Fuentes de alimentación.

Las fuentes de alimentación para los drivers han quedado aseguradas a la mesa por medio de tornillos hexagonales (observados en la figura 3.12).



Fig. 3.12 Tornillos de fuentes de alimentación de drivers.

Además, los cables se fijaron usando los conectores integrados para asegurar las conexiones, adicionalmente, se utilizaron cinchos para evitar cualquier movimiento que pudiera afectar el funcionamiento (figura 3.13).



Fig. 3.13 Fijación de cables de fuentes de alimentación.

Drivers.

Los drivers fueron asegurados a sus respectivas fuentes por medio de tornillos y sus cables están sujetos por borneras, adicionalmente se fijaron con cinchos para evitar cualquier movimiento.



Fig. 3.14 Drivers fijados a sus respectivas fuentes con los cables asegurados por cinchos.

Cabe mencionar que la distancia entre cada uno permite la disipación del calor para mantener los equipos en funcionamiento.

3.7. Calibración de voltaje de alimentación de drivers.

Para un óptimo funcionamiento de los motores, todas las fuentes fueron calibradas para un voltaje de salida de 39 V, esto con el objetivo de no tener variaciones en el torque y temperatura de cada motor.



Fig. 3.15 Calibración de fuentes a 39 V.

4. Pruebas de funcionamiento.

4.1. Pruebas de desplazamiento y consumo sobre cada eje.

Para comprobar la mejora en el funcionamiento de la máquina se realizaron mediciones en igualdad de condiciones para comparar los resultados anteriores y actuales en situaciones donde anteriormente se presentaron problemas de desplazamiento.

4.1.1. Consumo de motores de eje Y.

Consumo de motores de eje Y a 2660 p/s.

Previamente en la imagen 2.33 se mostró la diferencia y variaciones en el consumo de los motores encargados del desplazamiento del eje Y, se observaron diferencias donde debía presentar similitudes al ser un movimiento conjunto.

Durante las pruebas de desplazamiento de la nueva estructura en el eje Y, se tomaron lecturas del consumo de los dos motores, el resultado se puede apreciar en la figura 4.1 donde se observa que ambas corrientes son similares y constantes en comparación de los resultados iniciales, mostrados en la figura 2.33.

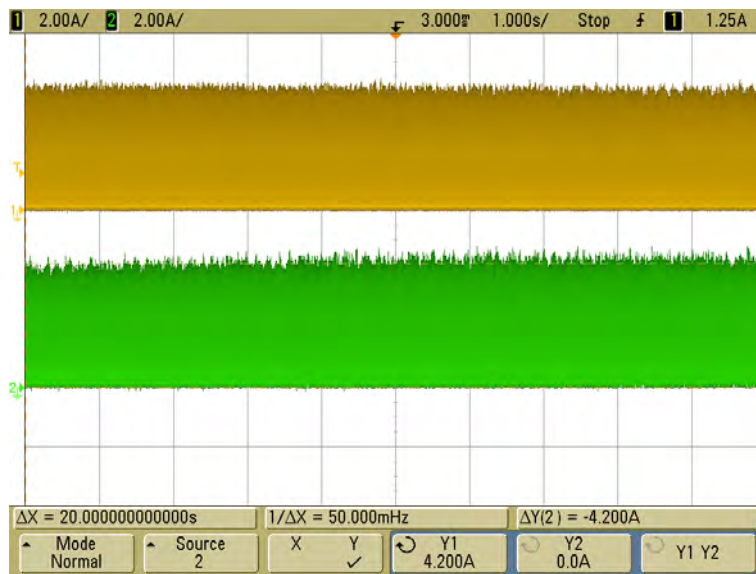


Fig. 4.1 Comportamiento del consumo de los motores del eje Y.

4.1.2. Consumo a diferentes velocidades (eje X).

660 p/s.

En la figura 4.2, ajustada a una escala vertical de 5 A/div y horizontal de 5 ms/div, podemos ver el nuevo comportamiento de la corriente de las bobinas del motor del eje X a una velocidad de 660 p/s.

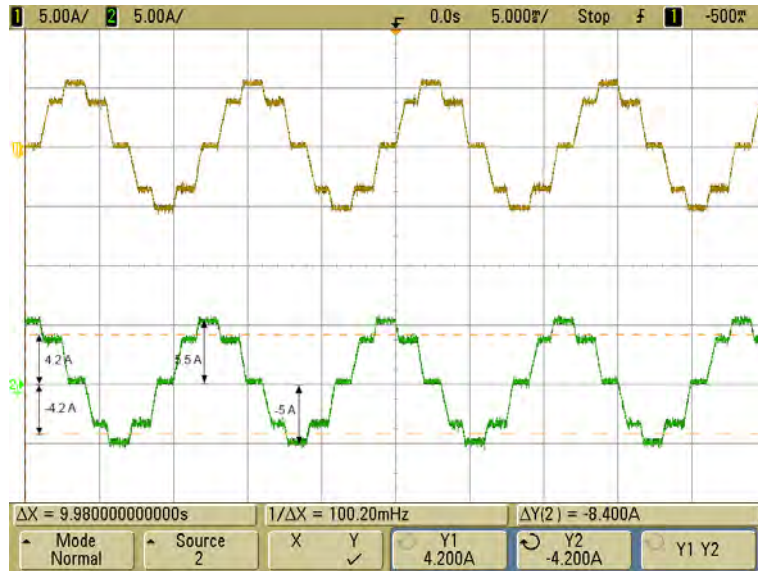


Fig. 4.2 Consumo de motor de eje X a 660 p/s.

Comparando con la figura 2.27, donde la corriente se limitaba a 4.2 A pico, con los nuevos drivers tenemos una corriente pico de trabajo de 5.25 A, el consumo actual supera por 1.05 A el límite máximo del driver anterior.

1320 p/s.

En la figura 4.3, ajustada a una escala vertical de 5 A/div y horizontal de 5 ms/div, podemos ver el nuevo comportamiento de la corriente de las bobinas del motor del eje X a una velocidad de 1320 p/s.

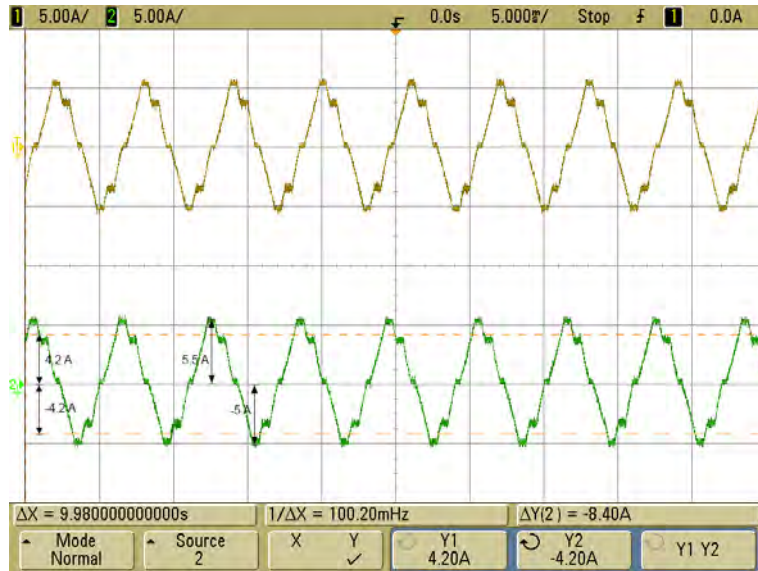


Fig. 4.3 Consumo de motor de eje X a 1320 p/s

Comparando con la figura 2.29, donde la corriente se limitaba nuevamente a 4.2 A pico, mantenemos una corriente pico de trabajo de 5.25 A, observada en la figura 4.2 la cual está nuevamente por encima del límite máximo del driver anterior.

2640 p/s

En la figura 4.4, ajustada a una escala vertical de 5 A/div y horizontal de 5 ms/div, podemos ver el nuevo comportamiento de la corriente de las bobinas del motor del eje X a una velocidad de 2640 p/s.

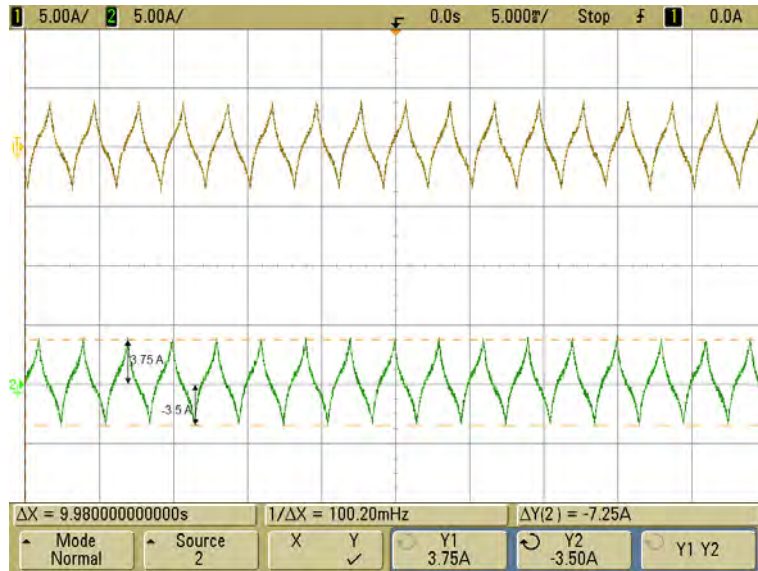


Fig. 4.4 Consumo de motor de eje X a 2640 p/s.

En la figura 2.32, se observó que la corriente de las bobinas no superó la corriente RMS del driver anterior, actualmente tenemos un consumo por bobina de hasta 3.75 A, 0.15 A por encima del límite del driver anterior.

Cabe destacar que durante las pruebas de movimiento al inicio de esta tesis existían problemas de movimiento a esta velocidad, causando pérdida de pasos y torsión en la estructura por falta de potencia, debido a esto los trabajos realizados presentaban desperfectos, actualmente esto no se presenta y se han realizado grabados en láser a esta velocidad en busca de desperfectos relacionados con la falta de potencia o pérdida de pasos.

En la figura 4.5 podemos observar un trabajo de grabado en láser realizado como prueba de movimiento de los tres ejes (X, Y, Z) los puntos mostrados sobre las rayas son los sitios donde el láser era elevado y descendido a su posición de grabado.



Fig. 4.5 Logo de la Universidad de Quintana Roo grabado con láser de 8 W a 2640 p/s o 2000 mm/min.

El trabajo de grabado fue realizado a una velocidad variada teniendo como máxima velocidad de 2640 p/s o lo que es lo mismo, 2000 mm/min, la velocidad fue controlada automáticamente de acuerdo con el código G relacionado con el trazado que se realizaba en un momento dado, como se puede apreciar, no hubo problemas en el proceso, la imagen en modo espejo es propia de la configuración del archivo utilizado para la generación del código G.

4.2. Mediciones de temperatura.

4.2.1. Temperatura de operación de los motores.

Entorno de pruebas.

El sitio en el que se realizaron las pruebas fue el Laboratorio de Hidrógeno de la Universidad de Quintana Roo, todas las pruebas se repitieron tras un reposo de 12 horas y en las primeras horas de apertura del laboratorio con el aire acondicionado a una temperatura de 24° C. Para prevenir alteraciones relacionadas con el aire acondicionado la máquina fue alejada del flujo de aire.

Calibración de voltaje de operación.

Con el objetivo de optimizar el funcionamiento de cada motor las 4 fuentes de alimentación fueron ajustadas a 39 V (figura 3.15) para equilibrar la corriente que fluye durante el energizado de las bobinas, originalmente no estaban calibrados y los voltajes variaban entre 34 V y 37 V, alcanzando temperaturas de hasta 51.8° C tras 45 minutos de funcionamiento (figura 4.6) provocando que los motores perdieran torque o incluso se detuvieran durante la operación de la máquina.

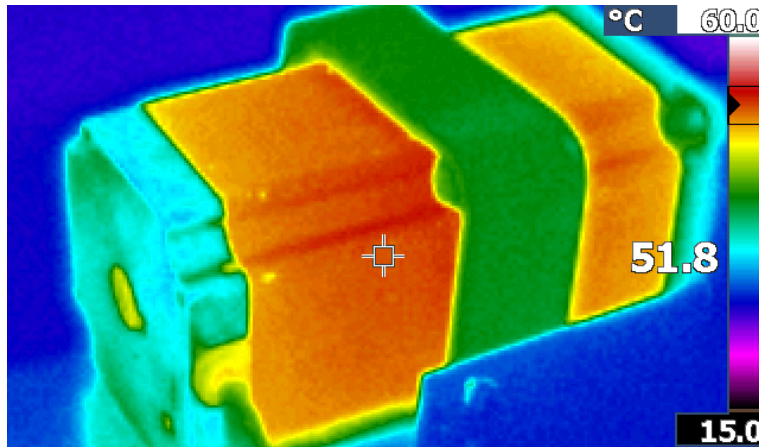


Fig. 4.6 45 minutos de funcionamiento a 34 V.

Debido a esto se realizó el ajuste a 39 V para todos los motores, siendo el voltaje máximo que podían otorgar las 4 fuentes, con este nuevo voltaje llegó a alcanzar únicamente 42.7° C (figura 4.10) tras 75 minutos de funcionamiento.

En espera.

Para realizar las pruebas de temperatura se activaron los motores y fuentes de la máquina durante 30 minutos sin recibir orden alguna durante ese período de tiempo, por configuración de fábrica los drivers activan las bobinas de los motores para “fijar” la posición de la máquina de modo que no presente un desplazamiento involuntario.

Tal como se observa en la figura 4.7 la temperatura inicial fue en promedio de 27.67° C en los cuatro motores.

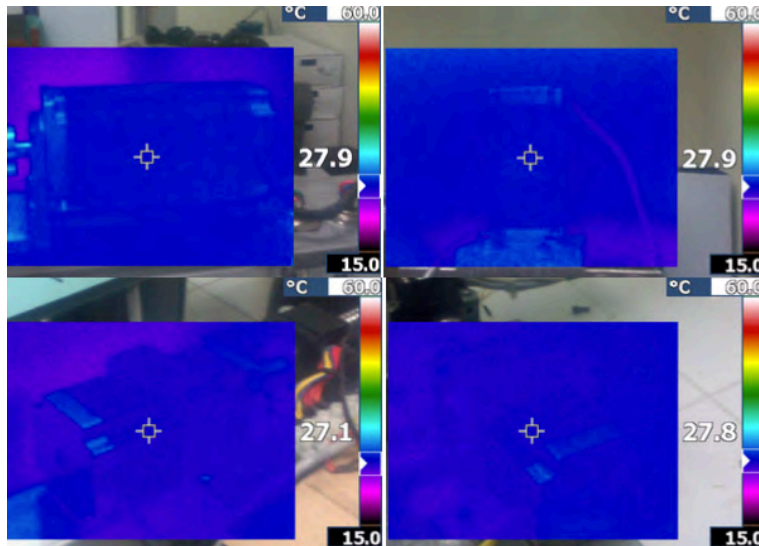


Fig. 4.7 Temperaturas iniciales de los motores.

Tras 15 minutos de comportamiento tenemos las siguientes temperaturas:

- Motor eje X 31.5° C.
- Motor eje Z 31.6° C.
- Motor eje Y1 31.3° C.
- Motor eje Y1 31.4° C.

Para un promedio de 31.45° C.

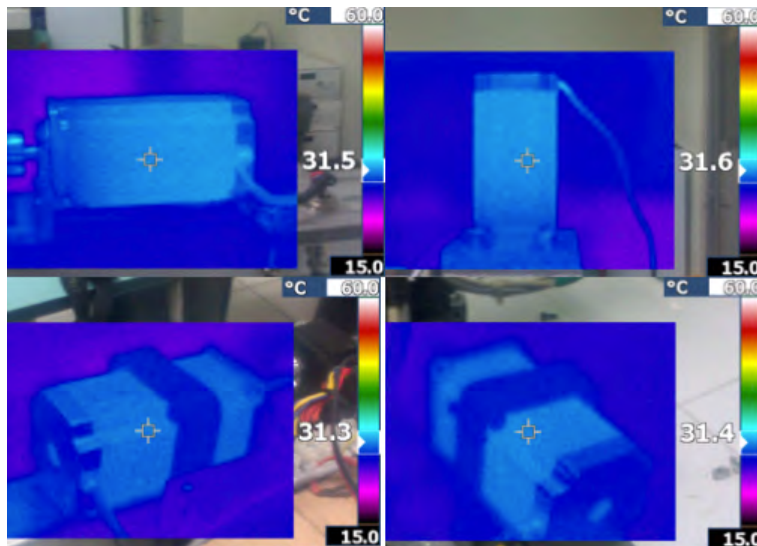


Fig. 4.8 Temperatura de motores tras 15 minutos en modo de espera.

Al finalizar los 30 minutos tenemos las siguientes temperaturas:

- Motor eje X 33.1° C.
- Motor eje Z 32.2° C.
- Motor eje Y1 32.7° C.
- Motor eje Y1 33.5° C.

Para un promedio de 32.87° C.

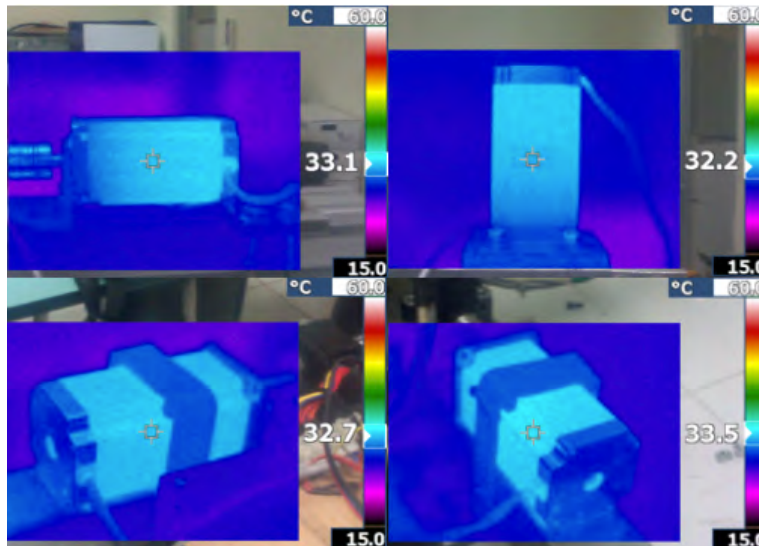


Fig. 4.9 Temperatura de motores tras 30 minutos en modo de espera.

Como resultado tenemos un incremento de 3.78° C en los primeros 15 minutos y en los siguientes 15 minutos se obtuvo un incremento de 1.42° C, para un incremento total de 5.2° C en los 30 minutos que duró la prueba.

75 minutos de trabajo continuo en eje Y.

Para la siguiente prueba se observaron las temperaturas de los componentes asociados al movimiento del eje Y y se registraron los valores más altos, además se cargó el siguiente código G:

```
G00 Y150  
G00 Y0
```

Estas dos líneas se repitieron de forma indeterminada para mantener la operación de la máquina durante 75 minutos, el código se interpreta de la siguiente forma:

- **G00** es un comando de movimiento sobre área de trabajo, esto significa que la máquina se moverá al máximo de su velocidad posible, esto es 2460 p/s o 2000 mm/min,
- Las letra **Y** corresponde al eje en cuestión que deseamos mover.
- El valor 150 significa que se moverá a una posición a 150 mm del sensor home.
- El valor 0 significa volver al valor home.

En resumen, el eje se moverá repetitivamente hasta alcanzar la posición 150 y regresará hasta la posición 0, durante 75 minutos.

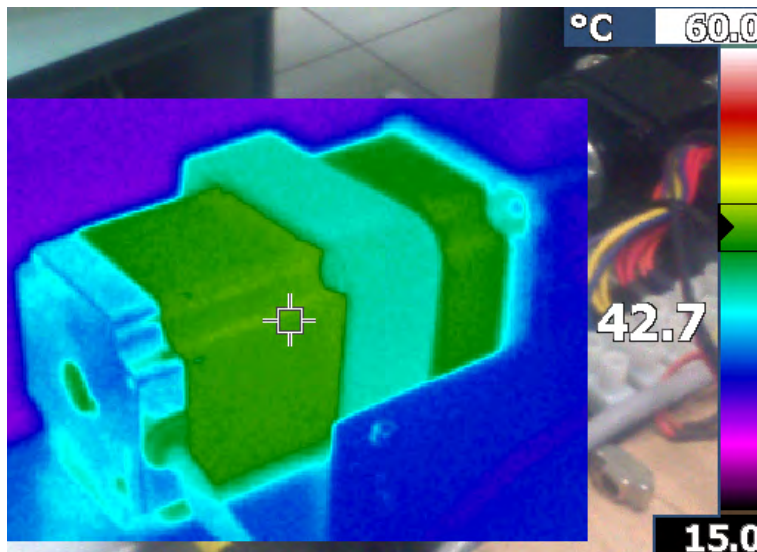


Fig. 4.10 Temperatura de motores tras 75 minutos de trabajo continuo.

La figura 4.10 muestra la temperatura alcanzada por los motores del eje Y tras estar funcionando de forma ininterrumpida a 2460 p/s, esta temperatura se mantuvo desde los primeros 45 minutos.

Durante esta misma prueba se observaron las temperaturas de los drivers y fuentes de alimentación del eje Y teniendo como resultado que durante la prueba los disipadores llegaron hasta 32.9° C (figura 4.10) y el interior del los drivers alcanzó los 37° C (figura 4.11 y 4.12).

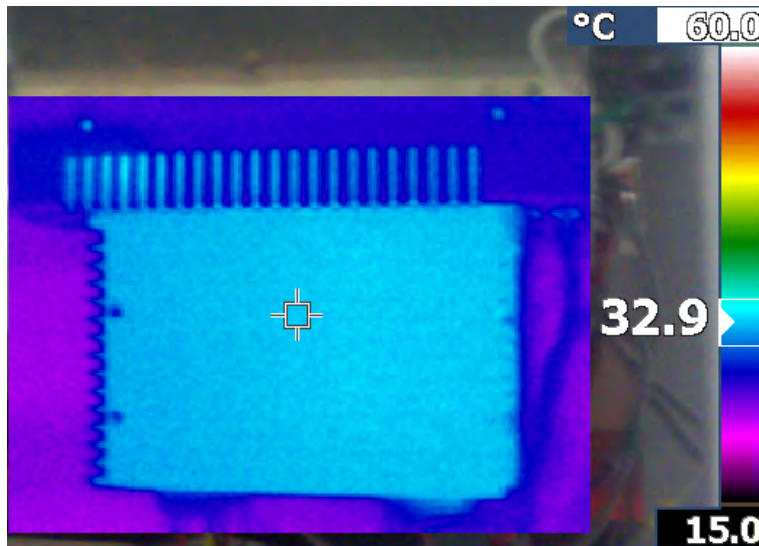


Fig. 4.11 Disipador de driver de motor a pasos de eje Y.

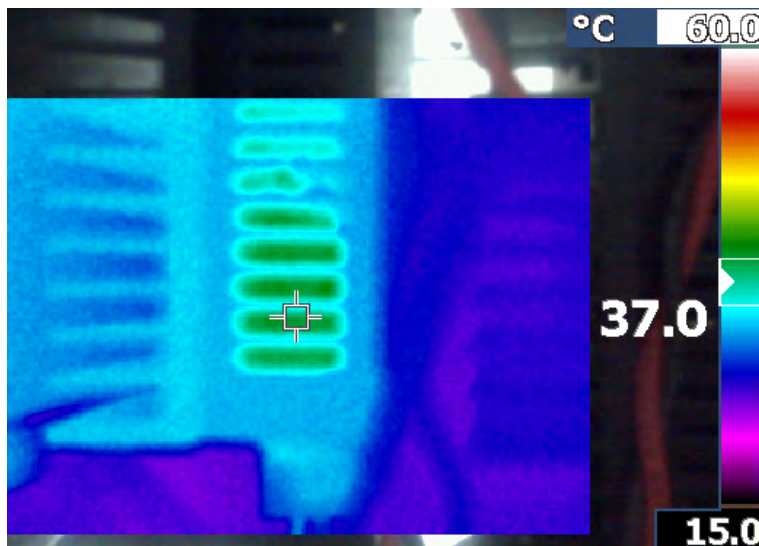


Fig. 4.12 Temperatura interna del driver de motor a pasos del eje Y.

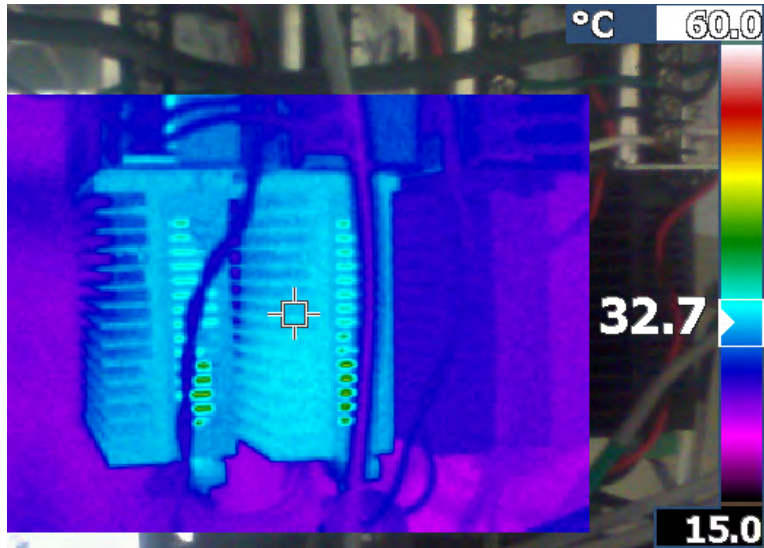


Fig. 4.13 Fotografía térmica de los dos drivers del eje Y tras 75 minutos de trabajo.

La figura 4.13 muestra el comportamiento térmico de la fuente de alimentación del driver, la cual cuenta con ventilador integrado que forma automática controla la temperatura de sus componentes internos.

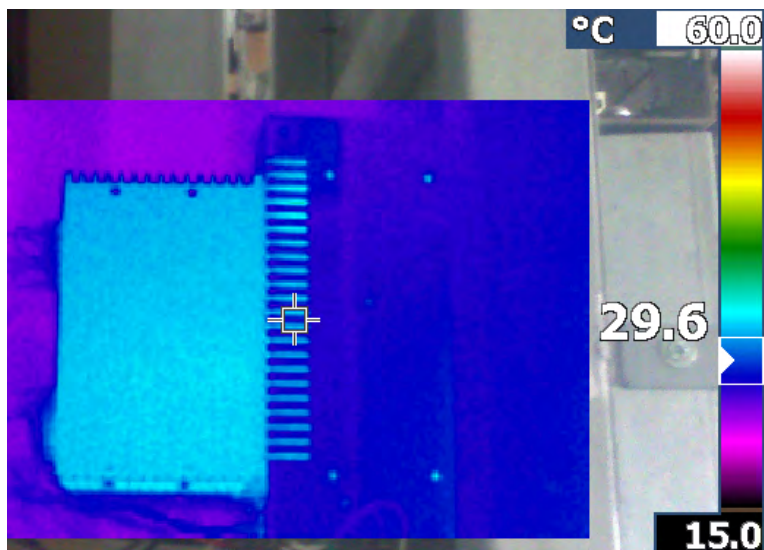


Fig. 4.14 Fotografía térmica de fuente de alimentación y driver de eje Y.

4.3. Interfaz de control con Arduino NANO y Raspberry Pi.

4.3.1. HotSpot Wifi

Para asegurar una conrrecta conexión inalámbrica se ha configurado la Raspberry Pi como proveedor de red Wifi utilizando HostAPD para permitir el funcionamiento como Access Point y DNSMasq para funcionar simultáneamente como servidor DHCP para la red inalámbrica creada.

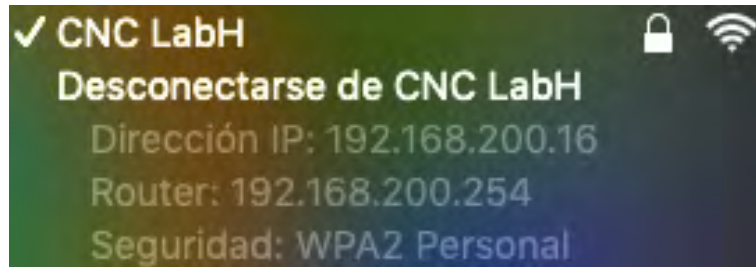


Fig. 4.15 Red WiFi creada con la Raspberry Pi.

Esto permite “separar” las configuraciones de red propias de la infraestructura de red y las configuraciones de la Raspberry Pi para no perder los parámetros establecidos para realizar la conexión por escritorio remoto utilizando VNC.

Igualmente se configuró de tal modo que permite tener acceso a internet siempre y cuando exista una conexión a internet por el puerto ethernet de la Raspberry Pi, el puerto ethernet no tiene configuraciones de servidor para no interferir con las configuraciones propias de la infraestructura de red.

4.3.2. Conexión a escritorio remoto por VNC.

Para controlar la máquina CNC basta con conectarse a la red WiFi CNC LabH creada por la Raspberry Pi y utilizar el programa VNC Viewer (figura 4.16) para conectarse a la dirección IP 192.168.200.254.

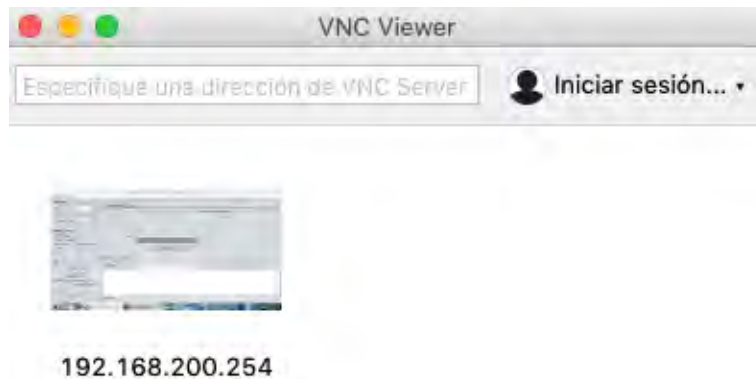


Fig. 4.16 VNC Viewer y dirección de la Raspberry dentro de la red CNC LabH.

Al conectarnos estaremos controlando la Raspberry Pi y por tanto la máquina CNC (figura 4.17), dependiente el proyecto en cuestión que se desee realizar, se puede obtener el mismo resultado agregando una pantalla utilizando el puerto de salida HDMI o Audio Video compuesto y un conjunto de teclado y mouse por medio de los puertos USB.

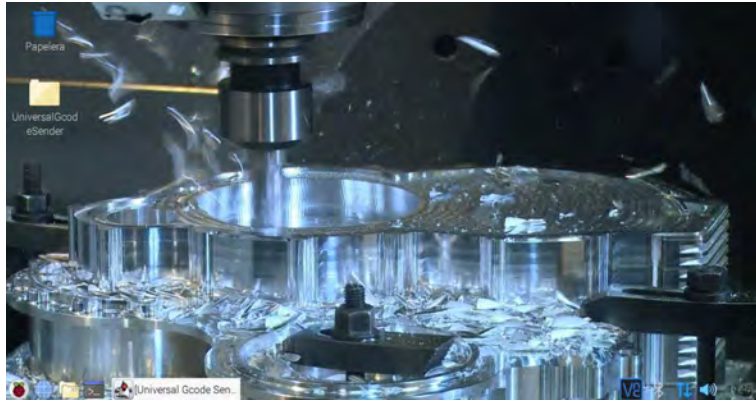


Fig. 4.17 Escritorio de Raspberry Pi.

Durante el arranque se ha configurado para automáticamente abrir el software Universal Gcode Sender (figura 4.18), el cual es utilizado para controlar el Arduino NANO con GRBL instalado.

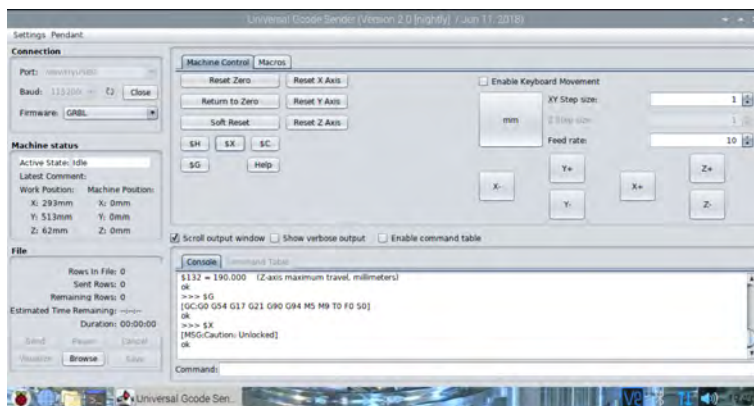


Fig. 4.18 Universal Gcode Sender.

Con esto podremos controlar la máquina para realizar trabajos de CNC básicos de 3 ejes y una herramienta (grabado láser, maquinado de materiales, entre otros) para trabajos de mayor especialidad se puede instalar el software apropiado.

5. Conclusiones.

El cambio de cableado de los motores, sensores y alimentación han permitido reducir el espacio necesario para almacenar y organizar los componentes necesarios para el funcionamiento de la máquina CNC. Anteriormente se tenía una caja con los cables enredados y difíciles de identificar con una superficie de 40.5 cm por 66 cm, actualmente se ha sujetado todo debajo de la mesa de trabajo, con una cantidad mínima de cables fáciles de identificar en una superficie de 50 cm por 25 cm.

Debido a su mayor capacidad de corriente RMS y pico, los nuevos drivers demostraron un mejor funcionamiento en comparación con los drivers anteriores optimizando el desplazamiento durante cambios repentinos de dirección o aceleración, incrementando el aprovechamiento de las capacidades físicas de los motores, así como la precisión de los trabajos realizados.

El ajuste del voltaje a 39 V en los motores de cada eje optimizó el funcionamiento al reducir su corriente de trabajo, esto se vio reflejado en las fotografías termográficas durante el funcionamiento de la máquina, mostrando temperaturas menores en comparación con el funcionamiento de los motores antes del ajuste del voltaje, lo que mejora el comportamiento durante largos períodos de funcionamiento.

Los nuevos conectores y drivers demostraron un óptimo funcionamiento con el esfuerzo eléctrico y mecánico, tras varios días de pruebas en las cuales se adaptó una herramienta para inyección de silicón para crear sellos utilizados en celdas de hidrógeno, no hubo pérdida de pasos o desfazamiento en las formas de las figuras, aun cuando dichas pruebas tardaban varias horas en concluir.

Se ha mejorado el comportamiento eléctrico de los motores del eje Y, los cuales anteriormente presentaban grandes discrepancias durante el desplazamiento de la máquina, con la nueva estructura han quedado ajustados de tal forma que el esfuerzo aplicado durante su operación conjunta es uniforme en todo el trayecto, así como similar en consumo.

La placa de herramientas, equipada para montar diversas herramientas de trabajo sin intervenir la estructura de la máquina, demostró su versatilidad al equipar un inyector de silicón y los grabadores láser utilizados para probar el comportamiento de la máquina durante trabajos reales de maquinado, permitiendo a cualquier usuario la capacidad de adaptar las herramientas necesarias para su trabajo sin afectar la integridad.

El nuevo equipo ha quedado optimizado para ser utilizado de forma inalámbrica dentro de la misma red provista por la Raspberry Pi y es flexible respecto al software que se puede utilizar, permitiendo instalar el software necesario o en caso de no ser

compatible con su sistema, el usuario aun podría controlar directamente desde una computadora utilizando una conexión por cable hacia el Arduino NANO.

Bibliografía

- Raspberry Pi. (11 de 2018). *Raspberry Pi 3 Model B*. Recuperado el 12 de 09 de 2019, de Raspberry Pi: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- Arduino. (s.f.). *Arduino Mega 2560*. Recuperado el 18 de 05 de 2019, de Arduino.cl: <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- AutoDesk. (10 de 04 de 2019). *CAD/CAM*. Obtenido de Autodesk: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-cam>
- Banggood. (s.f.). *Banggood*. Obtenido de 445-450nm 15W Módulo de Láser Azul Marca en metal para DIY Grabadora Láser: https://es.banggood.com/445-450nm-15W-Blue-Laser-Module-Mark-On-Metal-for-DIY-Laser-Engraver-Machine-p-1137779.html?cur_warehouse=CN
- Historia e evolución del CAD/CAM*. (s.f.). Recuperado el 22 de 04 de 2019, de Castor.es: <https://www.castor.es/historia-software-CAD-CAM.html>
- Ingeniería Mecafenix. (10 de 04 de 2019). *Ingeniería Mecafenix*. Obtenido de <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>
- WANTAI. (s.f.). *Manual of 2-phase hybrid stepper motor driver DQ542MA*.

Imágenes citadas

- [1] Warfield, B. (s.f.). *What is CNC Machining and CNC Machines?* Recuperado el 06 de 2019, de CNC Cookbook: <https://www.cnccookbook.com/what-is-cnc-machining-and-cnc-machines/>
- [2] IndiaMART InterMESH Ltd. (s.f.). *Tech-Knowcrat Engineering Solutions*. Recuperado el 06 de 2019, de Indiamart: <https://www.indiamart.com/tech-knowcrat-engg-solutions/domains-services.html>
- [3] AutoDesk. (10 de 04 de 2019). *CAD/CAM*. Obtenido de Autodesk: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-cam>
- [4] BenchMark. (s.f.). *An Introduction to CNC Routers*. Recuperado el 07 de 2019, de BenchMark: http://benchmark.20m.com/tools/CNC_Router/CNC_RouterBasics/CNC_RouterBasics.html
- [5] Noren, A. (s.f.). *Edición de gcode con Repetier-Host*. Recuperado el 06 de 2019, de Multicóptero: <http://www.multicopter.es/edicion-de-gcode-con-repetier-host/>
- [6] R, G. (s.f.). *Stepper motors and drives, what is full step, half step and microstepping?* Recuperado el 07 de 2019, de DesignSpark: <https://www.rs-online.com/designspark/stepper-motors-and-drives-what-is-full-step-half-step-and-microstepping>
- [7] Virgala, I., Kelemen, M., Gmitterko, A., & Lipták, T. (s.f.). *Control of Stepper Motor by Microcontroller*. Recuperado el 07 de 2019, de Sciepub: <http://pubs.sciepub.com/automation/3/3/19/index.html>