



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULO DE INGENIERO EN INFORMÁTICA

Repotenciación y automatización de una mesa de coordenadas para corte por plasma (MCCP) de tres ejes

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Vidal Beltrán, Kleber Patricio, Ing.

DIRECTOR: Calderón Córdova, Carlos Alberto, Ing.

CENTRO UNIVERSITARIO CUENCA

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing.

Carlos Calderón Córdova.

DOCENTE DE TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Repotenciación y automatización de una mesa de coordenadas para corte por plasma (MCCP) de tres ejes realizado por Vidal Beltrán Kleber Patricio, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, octubre de 2016

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Vidal Beltran Kleber Patricio declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Repotenciación y automatización de una mesa de coordenadas para corte por plasma (MCCP) de tres ejes, de la titulación de Ingeniero en Informática siendo Calderón Córdova Carlos Alberto director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f

Autor: Vidal Beltrán Kleber Patricio

Cédula: 010215679-1

DEDICATORIA

A Dios y a mi madre Auxiliadora, mi luz, mi guía y protección, por llevarme por el camino correcto, brindarme lucidez y fuerza para materializar mis sueños.

A mis queridos padres Eduardo y Marina, mi fuente de inspiración, por todo su amor, sacrificio y esmero, que siempre tuvieron las palabras precisas de apoyo y motivación, avivando el deseo de superación.

A Cristina y Gabriela, mi compañía y mi razón de vida, por su amor, comprensión y aceptación en este capítulo de mi existencia.

Para ellos la satisfacción del objetivo alcanzado y la labor cumplida.

Kleber

AGRADECIMIENTO

La elaboración de un trabajo de titulación comprende superar una serie de dificultades, cuyas soluciones necesitan ser obtenidas mediante una sistematización lógica, tomando como punto de partida datos objetivos, reales y bien sustentados provenientes de una investigación concreta que permita generar un conocimiento científico, en tal virtud, quisiera expresar mi agradecimiento a quienes han sido parte fundamental en este proceso:

Al Ing. Carlos Calderón Córdova por la confianza brindada, por su concreta y objetiva dirección de este trabajo de titulación.

Al Ing. Wilman Herrera Figueroa por su contingente para poder realizar este trabajo fundamentado en una necesidad real del sector productivo nacional.

A todos los amigos que de una u otra manera han colaborado y aportado para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

Mil gracias de todo corazón!!!

Kleber

INDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
RESUMEN EJECUTIVO.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1. PLANIFICACIÓN.....	5
1.1. Información general.....	6
1.1.1. Antecedentes.....	6
1.1.2. Descripción del Problema	6
1.1.3. Justificación	7
1.1.4. Solución Propuesta.....	7
1.1.5. Objetivos.....	8
1.1.6. Metodología	9
1.2. Marco teórico	10
1.2.1. Manufactura CAD / CAM / CNC	10
1.2.1.1. Máquinas CNC (Control Numérico Computarizado)	12
1.2.1.2. Orígenes del CNC	12
1.2.1.3. Características de una Máquina CNC.....	14
1.2.1.4. Elementos de una Máquina CNC	15
1.2.2. Software de control de las maquinas CNC.....	17
1.2.2.1. Los BLOCKS (Bloque de instrucciones) en Control Numérico.	17
1.2.2.2. Herramientas CAD/CAM.....	21
1.2.2.2.1. CAD.....	21
1.2.2.2.2. CAM	22
1.2.2.3. LinuxCNC	23
1.2.2.3.1. Descripción General	24
1.2.2.3.2. Requerimientos Mínimos	25
1.2.2.4. Mach 3	26
1.2.2.4.1. Descripción General	26
1.2.2.4.2. Requerimientos del Software	26
1.2.3. Hardware de control de las máquinas CNC	28

1.2.3.1. Tarjeta de Interfaz (Breakout Board).....	28
1.2.3.2. Driver de motor.....	29
1.2.3.3. Actuadores	31
1.2.3.3.1. Motor paso a paso	31
1.2.3.3.2 Servo Motor	32
1.2.3.4. THC - Torch Height Control (Control de Altura de la Antorcha).....	34
1.2.3.4.1. Plasma - El cuarto estado de la materia	34
1.2.3.4.2. THC con Sensor Inductivo	37
1.2.3.4.3. THC con Sensor Capacitivo.....	38
1.2.4. Mesa de coordenadas para Corte por Plasma (MCCP)	40
CAPÍTULO 2. DISEÑO	43
2.1. Diseño Técnico Electromecánico.....	44
2.1.1. Mecánica del eje Z.....	44
2.1.2. Motor del eje Z.....	46
2.1.3. Driver	46
2.1.4. THC	48
2.1.5. Tarjeta de Interfaz (Breakout Board)	49
2.1.6. Ethernet Smooth Stepper (ESS)	51
2.2. Diseño Informático	51
2.2.1. Requerimientos mínimos	51
2.2.2. Arquitectura del Equipo de Control	52
2.2.3. Sistema Operativo	52
2.2.4. Sistema de Control CNC.....	53
2.2.5. Herramienta CAD.....	53
2.2.6. Herramienta CAM	54
CAPITULO 3. IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA HARDWARE	55
3.1. Montaje e instalación del CPU y periféricos en la máquina	56
3.2. Montaje de la mecánica del eje Z y el puntero laser	56
3.3. Montaje e instalación eléctrica del THC.....	57
3.4. Montaje e instalación del gabinete de control eléctrico.....	58
CAPÍTULO 4. INTEGRACIÓN DE LA ARQUITECTURA SOFTWARE	59
4.1. Instalación del Sistema Operativo	60
4.2. Instalación del software de control CNC (MACH3)	60
4.2.1. Instalación y configuración inicial	60
4.2.2. Creación del entorno gráfico personalizado	60
4.3. Configuración del THC	62

4.3.1. Configuración general del THC	62
4.3.2. Creación del Macro “M3.m1s”	64
4.4. Configuración del Ethernet	65
4.5. Script para autoposicionamiento laser	67
4.6. Creación de la red Ad Hoc Inalámbrica (de equipo a equipo)	68
4.7. Instalación de las Herramientas CAD y CAM	69
CAPÍTULO 5. PRUEBAS OPERATIVAS	71
5.1. Pruebas iniciales	72
5.2. Afinación de los Motores paso a paso	72
5.3. Prueba del THC.....	73
5.4. Prueba del autoposicionador laser	74
5.5. Prueba General del Sistema.....	74
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	84
ANEXOS.....	87
ANEXO 1: Ficha técnica de la guía de movimiento lineal THK tipo SSR Caged Ball.....	88
ANEXO 2: Ficha técnica del motor paso a paso	90
ANEXO 3: Ficha técnica del Driver WOTO 2H606T.....	92
ANEXO 4: Ficha técnica de la tarjeta interfaz marca CNC4PC modelo C32	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de manufactura CAD / CAM / CNC	10
Figura 2: Típico sistema de manufactura CAD / CAM / CNC	11
Figura 3: Ejemplo de código G.....	13
Figura 4: Elementos de una máquina CNC.....	15
Figura 5: Formato de bloque.....	17
Figura 6: Información general del código G	18
Figura 7: Etapas del Proceso CAD/CAM/CNC	21
Figura 8: Pantalla principal de LinuxCNC.....	23
Figura 9: Pantalla principal de Mach3.....	26
Figura 10: Tarjeta de Interfaz cnc4pc modelo C10.....	28
Figura 11: Driver	29
Figura 12: Motor Paso a Paso	31
Figura 13: Servomotor	32
Figura 14: Errores de corte debidos a la altura de la antorcha	34
Figura 15: Principio de funcionamiento del corte por Plasma.....	35
Figura 16: Diagrama de bloques de THC.....	36
Figura 17: a) THC Inductivo b) THC Capacitivo	37
Figura 18: THC con sensor capacitivo	38
Figura 19: Teoría de operación de los sensores de proximidad capacitivos.....	39
Figura 20: Comportamiento del campo eléctrico y capacitancia entre placas de un detector de proximidad capacitivo frente a objetos no metálicos (a) y metálicos (b)	40
Figura 21: Mesa de Coordenadas para Corte por Plasma	40
Figura 22: Transmisión de tornillo trapecial.....	44
Figura 23: Sistema de movimiento lineal de varias dimensiones	45
Figura 24: Componentes del sistema de movimiento lineal.....	45
Figura 25: Motor paso a paso bipolar.....	46
Figura 26: Driver WOTO 2H606T.....	46
Figura 27: Componentes del sistema THC marca AGELKOM modelo CAP04	48
Figura 28: Tarjeta Interfaz marca CNC4PC modelo C32	50
Figura 29: Tarjeta Ethernet Smooth Stepper marca CNC4PC	51
Figura 30: Arquitectura del equipo de control.....	52
Figura 31: Mach3.....	53
Figura 32: Autocad 2017.....	54

Figura 33: SheetCam.....	54
Figura 34: Equipo de control instalado en la MCCP.....	56
Figura 35: Mecánica del eje Z en la MCCP.....	57
Figura 36: Especificaciones de instalación del sensor capacitivo THC.....	57
Figura 37: Diagrama de conexiones del THC.....	58
Figura 38: Gabinete de control eléctrico de la MCCP.....	58
Figura 39: Entorno gráfico personalizado de Mach3.....	61
Figura 40: Configuración de pines de motores.....	62
Figura 41: Configuración de señales de entrada (1).....	63
Figura 42: Configuración de señales de entrada (2).....	63
Figura 43: Configuración de señales de salida.....	63
Figura 44: Programación del macro m3.m1s.....	64
Figura 45: Configuración de Ethernet Smooth Stepper (1).....	66
Figura 46: Configuración de Ethernet Smooth Stepper (2).....	66
Figura 47: Script de autoposicionador laser.....	67
Figura 48: Instalación de Autocad 2017.....	69
Figura 49: Instalación de SheetCam.....	70
Figura 50: Equipo de prueba inicial.....	72
Figura 51: Afinación de motores en Mach3.....	73
Figura 52: Equipo de prueba de autoposicionador laser.....	74
Figura 53: Letra de prueba.....	75
Figura 54: Letra realizada en Autocad.....	76
Figura 55: Compensación en SheetCam.....	76
Figura 56: Verificación de medidas en el trabajo obtenido.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de códigos de programación.....	18
Tabla 2: Descripción de códigos G	19
Tabla 3: Descripción de códigos M	20
Tabla 4: Especificaciones técnicas del sistema de transmisión.....	44
Tabla 5: Especificaciones técnicas del sistema de movimiento lineal	45
Tabla 6: Especificaciones técnicas del motor paso a paso bipolar	46
Tabla 7: Configuración de pines para selección de corriente en el Driver 2H606T.....	47
Tabla 8: Configuración de pines para selección de micropasos en el Driver 2H606T	47
Tabla 9: Datos de la tarjeta de interfaz (Breakout Board).....	49
Tabla 10: Requerimientos mínimos del equipo de control CNC	51
Tabla 11: Características del equipo de control CNC.....	60
Tabla 12: Códigos OEM utilizados en interfaz gráfica personalizada	61
Tabla 13: Datos de configuración de red Ad Hoc inalámbrica	69
Tabla 14: Resultado de afinación de motores en Mach3.....	73
Tabla 15: Medidas nominales de la letra de prueba.....	75
Tabla 16: Variación dimensional en la pieza obtenida.....	80

ABREVIATURAS

- MCCP:** Mesa de Coordenadas para Corte por Plasma
- CAD:** Computer Aided Design (Diseño Asistido por Computadora)
- CAM:** Computer Aided Manufacturing (Manufactura Asistida por Computadora)
- CNC:** Control Numérico Computarizado
- THC:** Torch Height Control (Control de Altura de la Antorcha)
- CPU:** Unidad Central de Procesamiento
- RTAI:** Interfaz de Aplicación en Tiempo Real
- HAL:** Capa de Abstracción de Hardware
- MDI:** Ingreso Manual de Datos
- PYMES:** Pequeñas y Medianas Empresas
- MPG:** Manual Pulse Generator (Generador manual de pulsos)
- PID:** Proporcional Integral Derivativo
- LED:** Light Emitting Diode (Diodo emisor de luz)
- DRO:** Digital Read Output (Salida de lectura digital – utilizado en las screens)

RESUMEN EJECUTIVO

Se repotenció una Mesa de Coordenadas para Corte por Plasma de tres ejes y se automatizaron varios procesos industriales mediante la implementación de un sistema de desplazamiento lineal en el eje Z e incorporación de un sistema de control de altura de antorcha (THC) para que mediante la interacción entre las áreas electrónica, informática y mecánica se mantenga constante la distancia entre la antorcha de corte plasma y la plancha base durante todo el ciclo de trabajo siguiendo la curvatura que se va generando por el calor del corte, también se incorporó un autoposicionador laser para ubicar con precisión milimétrica el punto de inicio del trabajo.

Se creó un screen personalizado para el software de control incorporando los elementos para la interacción con el THC y el autoposicionador laser, se creó el scrip del autoposicionador laser y se generó un macro con las instrucciones que debe realizar el THC durante el ciclo de corte. Se instalaron las herramientas CAD / CAM y se creó una red Ad Hoc Inalámbrica entre el equipo administrativo y el equipo de control CNC.

PALABRAS CLAVE: plasma, CNC, CAD, CAM

ABSTRACT

A three axes table of coordinate Plasma cutting was repowered and various industrial processes were automated by implementing a system of linear displacement in the Z axis and incorporating a system torch height control (THC) by interaction between electronic, informatics and mechanical areas, the distance between the plasma torch cutting and the base plate remains constant throughout the work cycle following the curvature that is generated by the heat of the cut, a laser auto-positioner is also incorporated for with pinpoint accuracy to locate the starting point of the work.

A custom screen for the control software was created incorporating the elements for interaction with THC and laser auto-positioner, the scrip laser auto-positioner was created and generated a macro with the instructions to be performed by the THC during the cutting cycle. CAD / CAM tools were installed and an ad hoc wireless network was established between the management team and control equipment CNC

KEYWORDS: plasma, CNC, CAD, CAM

INTRODUCCIÓN

Actualmente se observa un gran auge en la fusión entre la informática y los equipos de producción industrial, ya que por la aplicación de la informática en los sistemas de control de los elementos electromecánicos, se ha logrado contar con equipos de alta precisión, velocidad y confiabilidad como es el caso de las impresoras 3D y la gran variedad de mesas de coordenadas para producción industrial con herramientas de trabajo acopladas, tales como: equipos de corte plasma, equipos de corte con láser, equipos de torneado metálico, routers para industria maderera, etc., los cuales ya no se limitan a la utilización de sistemas de control eléctricos o electrónicos simples, sino que utilizan sistemas CNC (Control Numérico Computarizado), yendo desde el diseño y modelamiento tridimensional en sistemas informáticos CAD (Computer Aided Design / Diseño Asistido por Computadora), pasando por software especializado en la conversión de lenguaje de diseño a lenguaje máquina CAM (Computer Aided Manufacturing / Manufactura Asistida por Computadora) y la utilización de sistemas informáticos que interpretan este lenguaje para comandar las herramientas de corte mediante el uso de dispositivos electrónicos como interfaces y drivers de los actuadores electromecánicos del equipo.

Analizando nuestro entorno, se evidencia que dentro de la industria ecuatoriana la utilización de este tipo de nuevas tecnologías, se ha vuelto escasa debido principalmente a los costos tan altos de los equipos y su correspondiente importación al país.

Pero existe también la problemática de que los sistemas informáticos utilizados por la mayoría de proveedores de equipos utilizan software a medida, por lo que son susceptibles a todo tipo de amenazas propias de su condición computacional, evidenciándose grandes vulnerabilidades que ponen en riesgo la continuidad en el negocio de las mencionadas industrias, ya que por lo general este tipo de equipos son críticos en las líneas de producción.

La problemática se agrava en las PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas), ya que por lo general no cuentan con un departamento informático que pueda hacer control y monitoreo constante, a la vez que los medios de protección utilizados son escasos o nulos.

Por este motivo, considerando el valor agregado de contar con una formación en Ingeniería Mecánica Industrial, se plantea realizar este trabajo que contendrá un alto componente técnico complementado con componentes investigativos e innovadores,

aplicando los conocimientos adquiridos dentro de la carrera de ingeniería informática y de ingeniería mecánica industrial para obtener un referente de un caso práctico y bien documentado de la aplicación de la informática en el entorno industrial para impulsar el desarrollo empresarial sobretodo en PYMES, todo esto como un aporte a la comunidad que se espera sea de valiosa ayuda para todas aquellas industrias que lo requieran o puedan contemplar la posibilidad de realizar una implementación de este tipo en un futuro cercano.

El objetivo principal del presente proyecto es la repotenciación y automatización de una Mesa de Coordenadas para Corte por Plasma (MCCP) de tres ejes, para lo cual el desarrollo del objetivo se lo ha distribuido en los siguientes capítulos.

El capítulo 1 contiene la planificación del proyecto, incluye la información general tal como los antecedentes, la descripción del problema, la justificación, la solución propuesta, los objetivos tanto generales como específicos y la metodología que se utilizará, así como también incluye el marco teórico en el cual se basa el diseño e implementación realizada en los capítulos posteriores.

El capítulo 2 contiene el diseño técnico y selección diferenciada entre los elementos del área electrónica como el motor del eje Z, el driver de control, el THC y las diferentes tarjetas electrónicas, así como los elementos que conforman la mecánica del eje Z y de los elementos del área informática como el equipo de control CNC, sistema operativo, sistema de control CNC, herramientas CAD y CAM.

El capítulo 3 contiene la implementación en la MCCP de todos los elementos que comprenden la arquitectura hardware, tanto del área electromecánica como del área informática, mismos que interactúan entre sí mediante el comando realizado dentro de la arquitectura Software.

El capítulo 4 contiene la integración de toda la arquitectura software necesaria para tanto en el equipo de control CNC como en el equipo administrativo, comprende la instalación y configuración de los sistemas operativos, del software de control CNC, del THC incluida la creación de un macro, del Ethernet, de un autoposicionador laser, de las herramientas CAD y CAM.

El capítulo 5 contiene las pruebas operativas que se realizaron para verificar la funcionalidad de todos los sistemas de control y operativos en un ambiente industrial real que comprende una prueba total de los sistemas mediante un caso práctico que otorga evidencia del nivel de precisión obtenido al poder comparar su variación dimensional.

**CAPÍTULO 1.
PLANIFICACIÓN**

1.1. Información general

1.1.1. Antecedentes.

En una industria metalmeccánica de la ciudad de Cuenca, se cuenta con una mesa de coordenadas de dos ejes utilizada para trabajos de oxicorte que opera con un control básico de los ejes cartesianos X y Y, la cual por su condición técnica de trabajo no está en capacidad de realizar trabajos complejos de alta precisión ni con buen acabado superficial, por lo cual es necesario realizar trabajos de post producción sobre las piezas cortadas con este equipo, lo cual consume un alto porcentaje de recursos, aumenta los tiempos de entrega e incrementa el costo final de los trabajos elaborados.

Se plantea repotenciar y automatizar dicho equipo, agregándole todo el hardware del tercer eje para que se pueda utilizar un equipo de corte por plasma y sus respectivos sistemas de control informático, así como un sistema de autopoicionamiento con puntero laser que permitirá posicionar con alta precisión el inicio o reinicio del corte en cualquier punto sobre todo cuando por cualquier circunstancia se ha interrumpido un trabajo en ejecución, convirtiéndole en un equipo de CNC (Control Numérico Computarizado) con tecnología de vanguardia que logrará incrementar su precisión, acabado superficial, versatilidad y productividad, ocasionando una considerable disminución en el consumo de recursos, ahorro de tiempos de trabajo y brindando a la industria un mayor nivel de servicio y competencia.

1.1.2. Descripción del Problema.

Para que una industria pueda ser competitiva, debe estar en constante modernización acorde al avance tecnológico global, pero la implementación de tecnología de vanguardia dentro de la industria ecuatoriana se ha vuelto escasa debido principalmente a los costos tan altos de los equipos y su correspondiente importación al país.

Existe también la problemática de que los sistemas informáticos utilizados por la mayoría de proveedores de equipos utilizan software a medida, evidenciándose grandes vulnerabilidades que ponen en riesgo la continuidad en el negocio de las mencionadas industrias, ya que por lo general este tipo de equipos son críticos en las líneas de producción.

La problemática se agrava en las PYMES, ya que por lo general no cuentan con un departamento informático que pueda hacer control y monitoreo constante, a la vez que los medios de protección utilizados son escasos o nulos.

1.1.3. Justificación.

Actualmente la producción nacional de maquinaria industrial especializada para manufactura no es muy competitiva en el mercado mundial, lo que ha obligado que la Industria Ecuatoriana tenga que buscar alternativas que le permitan mejorar sus niveles de eficiencia y eficacia así como la calidad de sus productos, por lo que se ha evidenciado que la mejor alternativa adoptada es la importación de maquinaria especializada desde países tecnológicamente más avanzados, pero que por sus elevados costos generados por el propio valor de la maquinaria (actualmente por el orden de los \$40.000 a \$50.000), transporte, trámites de importación, impuestos y aranceles de legalización, es una opción asequible solo para la gran industria, mientras que las pequeñas y medianas empresas que no cuentan con los recursos económicos para invertir e importar esta maquinaria, trabajan únicamente tercerizando sus trabajos, lo que incrementa el costo final del producto elaborado con la respectiva disminución de nivel competitivo de la empresa.

En base a lo anterior se realiza este trabajo de titulación que busca ser un referente que apoye a la producción nacional y a las PYMES incentivando y colaborando con los nuevos modelos de gestión enfocados al cambio de la matriz productiva del país, debido a que mediante la automatización de maquinarias y equipos que tradicionalmente han operado comandados manualmente o con sistemas básicos de control electrónico, se podrá obtener rendimientos extraordinariamente más elevados, generan altísimos volúmenes de producción y considerables reducciones de costos operativos, a la par de la obtención de productos de elevada calidad y precisión que en muchos casos abren el abanico de posibilidades de comercio internacional.

1.1.4. Solución Propuesta.

En este proyecto se plantea realizar la repotenciación de una MCCP (Mesa de Coordenadas para Corte por Plasma) que actualmente tiene un sistema básico de control de dos ejes, para lo cual se plantea automatizar el tercer eje de desplazamiento cartesiano (Z) e instalar un sistema THC (Torch Height Control / Control de Altura de la Antorcha) para control automático de altura durante el corte.

El sistema propuesto está formado por un CPU (Unidad Central de Procesamiento) y sus periféricos en un gabinete articulado implementado en la bancada de la máquina para brindar mayor versatilidad y ergonomía del equipo de control en la MCCP.

Se plantea instalar y configurar los respectivos dispositivos electrónicos de control (tarjeta de interfaz, driver, motor paso a paso, entre otros) en un gabinete eléctrico fijo integrado a la bancada de la MCCP.

Se plantea crear una nueva pantalla ó screen para Mach3 que cuente con ingreso de datos, botones, LED indicadores y etiquetas respectivas para la interacción con el THC y el autopoicionador laser.

Para el funcionamiento del THC es necesario crear un macro con las instrucciones que debe realizar la máquina cuando se active mediante el código G.

Se plantea crear un autopoicionador laser que cuente con el ingreso de datos, un botón de activación del puntero laser y el botón que ejecute el script necesario para el autopoicionamiento de la antorcha con gran precisión en el inicio o reinicio del corte en situaciones en las que por cualquier motivo se ha interrumpido un trabajo en ejecución.

Para brindar al personal administrativo encargado de diseñar y configurar el trabajo a realizarse, un área de trabajo libre de ruido y contaminación industrial, se plantea instalar las herramientas CAD y CAM en una computadora ubicada en el área administrativa.

Para que el equipo administrativo se comunique remotamente con el equipo de control CNC implementado en la MCCP y se pueda enviar eficientemente el archivo con el código G que necesita el equipo de control CNC para realizar el trabajo en planta se plantea crear una red Ad Hoc Inalámbrica

1.1.5. Objetivos.

Objetivo General:

- Repotenciación y automatización de una Mesa de Coordenadas para corte por plasma (MCCP) de tres ejes.

Objetivos Específicos:

- Diseñar e implementar el sistema funcional y de bajo costo de los elementos hardware y software correspondientes al tercer eje de la MCCP.
- Definir e integrar las plataformas software (sistema operativo, aplicación CAD, aplicación CAM y compilador de código G) del sistema informático encargado de gestionar automáticamente el funcionamiento de la MCCP.

- Diseñar e implementar un sistema de autoposicionamiento laser comandado vía software desde el equipo de control CNC.
- Realizar pruebas operativas para la evaluación del desempeño del software y hardware implementado en la MCCP.

1.1.6. Metodología.

Inicialmente se deben definir los requerimientos técnicos y objetivos del proyecto, y seleccionar el mejor curso de acción para satisfacer los requerimientos y alcanzar los objetivos propuesto.

Mediante la investigación en las áreas informática, mecánica y electromecánica, se puede determinar cuáles son los elementos óptimos disponibles que satisfagan los requerimientos técnicos como económicos para poder automatizar totalmente la MCCP y así obtener un diseño innovador y de bajo costo.

Una vez aprobado el diseño de los diversos componentes de las respectivas áreas, se debe proceder a adquirir los elementos necesarios e implementar todo el hardware y software en la MCCP.

Luego se debe instalar y configurar todo el software necesario que comprende: sistema operativo, compilador de código G (software para control electromecánico), aplicación CAM (software para convertir datos de diseño en datos de lenguaje máquina) y aplicación CAD (software de diseño).

Finalmente se deben realizar y documentar las correspondientes pruebas operativas encaminadas a asegurar el correcto funcionamiento del equipo.

De esta forma se le brinda a la MCCP un sistema de control totalmente automático, flexible y moderno, incrementando su nivel de producción, precisión y eficiencia a un bajo costo, incentivando la producción nacional.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Manufactura CAD / CAM / CNC.

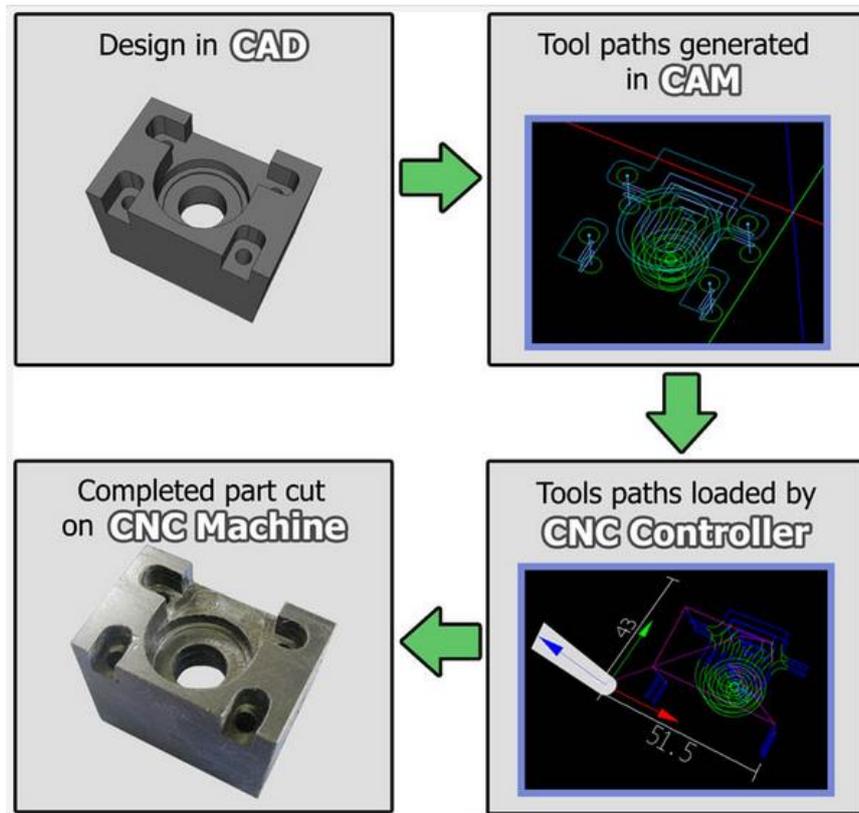


Figura 1: Proceso de manufactura CAD / CAM / CNC

Fuente: <http://www.cnc4everyone.com/beginning-with-cnc/the-cnc-process/>

El proceso de manufactura CAD / CAM /CNC inicia con la idea plasmada en un diseño realizado mediante una Herramienta informática CAD (Computer Aided Design), el cual contiene todos los detalles de su geometría y dimensiones, posteriormente este diseño es convertido en datos para controlar a la máquina mediante una herramienta CAM (Computer Aided Manufacturing), en donde se definirán los parámetros necesarios para cortar el material, todo esto es almacenado en un archivo de código G, la siguiente etapa interviene el Software de Control CNC, este interpretará los comandos del código-G y los transmitirá en forma de señales digitales que la máquina-herramienta pueda entender para el movimiento de sus motores y actuadores a través de sus componentes electrónicos de control [1] [2].

A continuación en la figura 2 se detalla cómo funciona un típico sistema de manufactura CAD / CAM /CNC.

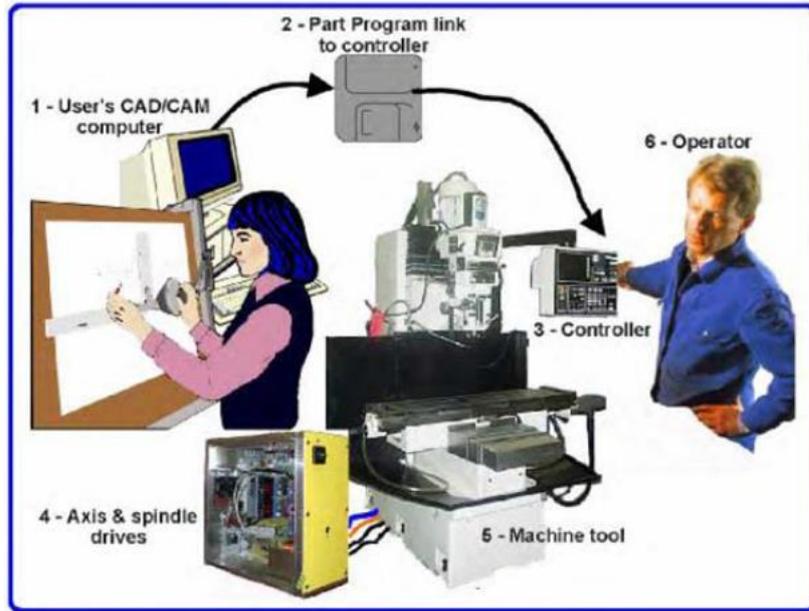


Figura 2: Típico sistema de manufactura CAD / CAM / CNC
Fuente: www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3Mill_1.84.pdf

El diseñador de una parte generalmente usa un programa o programas de diseño asistido por computadora / fabricación asistida por computadora (CAD / CAM) (1). La salida de este programa, que es una parte de un programa y usualmente es "código G" es transferido (por una red o tal vez por una unidad móvil) (2) a la máquina controladora (3).

La máquina controladora es responsable para interpretar esta parte de programa para controlar la herramienta que cortará la pieza de trabajo. Los ejes de la máquina (5) son movidos por tornillos, cremalleras o correa que son impulsados por los motores servo o motores paso a paso. Las señales de la máquina controladora son amplificadas por los Drives (4) de modo que ellos son bastante y convenientemente poderosos para hacer funcionar los motores.

Frecuentemente una máquina controladora puede controlar el arranque y el pare del motor de eje (y aún controlar su velocidad), puede prender o apagar un enfriador y verificará que una parte de programa o un operador de la máquina (6) no esté tratando de mover cualquier eje más allá de sus límites.

La máquina controladora también tiene botones de control, un teclado, perillas de potenciómetros, una rueda de control manual de pulsos (MPG), o una palanca de mando para que el operador pueda controlar la máquina manualmente y arranque y pare un programa que esté corriendo. La máquina controladora tiene un display de modo que el operador sabe lo que está sucediendo.

Porque las órdenes de un programa de código G pueden requerir de coordinados y complicados movimientos de los ejes de la máquina controladora tiene que ser capaz de ejecutar una gran cantidad de cálculos en "en tiempo real" (ej: cortar una hélice requiere una gran cantidad de cálculo trigonométrico). Históricamente esto es una pieza cara del equipo [2].

1.2.1.1. Máquinas CNC (Control Numérico Computarizado).

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales.

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes 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. Esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo [3].

1.2.1.2. Orígenes del CNC.

El CNC tuvo su origen a principios de los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora.

En esta época las computadoras estaban en sus inicios y eran tan grandes que el espacio ocupado por la computadora era mayor que el de la máquina.

Hoy día las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria: tornos, rectificadoras, electroerosionadoras, máquinas de coser, etc.

El término "control numérico" se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos. Por ejemplo, para indicarle a la máquina que mueva la herramienta describiendo un cuadrado de 10 mm por lado se le darían los siguientes códigos:

G90 G71	(cotas absolutas referidas al punto 0,0; Programación en mm)
G00 X0.0 Y0.0	(posicionamiento rápido lineal al punto 0,0 del plano XY)
G01 X10.0	(movimiento lineal de 10mm en la dirección X positiva)
G01 Y10.0	(movimiento lineal de 10mm en la dirección Y positiva)
G01 X0.0	(movimiento lineal de 10mm en la dirección X negativa)
G01 Y0.0	(movimiento lineal de 10mm en la dirección Y negativa)

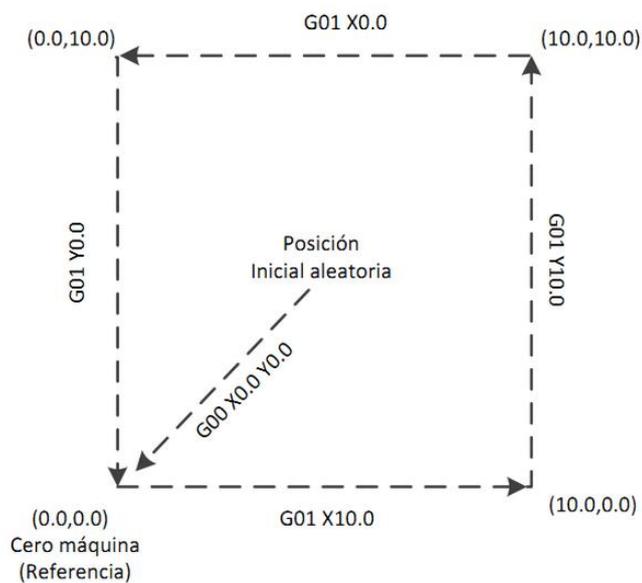


Figura 3: Ejemplo de código G

Fuente: [http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introducción_al_control_numérico_computarizado_\(CNC\)](http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introducción_al_control_numérico_computarizado_(CNC))

Un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un programa de maquinado, dándole las órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina, ésta es capaz de maquinar una simple ranura, una cavidad irregular, la cara de una persona en altorrelieve o bajorrelieve, un grabado artístico un molde de inyección de una cuchara o una botella, etc.

Al principio hacer un programa de maquinado 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.

Actualmente muchas de las máquinas modernas trabajan con lo que se conoce como "lenguaje conversacional" en el que el programador escoge la operación que desea y la

máquina le pregunta los datos que se requieren. Cada instrucción de este lenguaje conversacional puede representar decenas de códigos numéricos. Por ejemplo, el maquinado de una cavidad completa se puede hacer con una sola instrucción que especifica el largo, alto, profundidad, posición, radios de las esquinas, etc. Algunos controles incluso cuentan con graficación en pantalla y funciones de ayuda geométrica. Todo esto hace la programación mucho más rápida y sencilla [4].

También se emplean sistemas CAD/CAM que generan el programa de maquinado de forma automática.

En el sistema CAD (Diseño Asistido por Computadora) la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado sólido. Posteriormente el sistema CAM (Manufactura Asistida por Computadora) 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 maquinado, el cual puede ser introducido a la máquina mediante un disco o enviado electrónicamente.

Hoy día los equipos CNC con la ayuda de los lenguajes conversacionales y los sistemas CAD/CAM, permiten a las empresas producir con mucha mayor rapidez y calidad sin necesidad de tener personal altamente especializado [3].

1.2.1.3. Características de una Máquina CNC.

En la actualidad hay disponible una gran diversidad de modelos de máquinas CNC, cada una con variaciones dependiendo de los requerimientos de los usuarios, algunas de las características más importantes se detallan a continuación:

a) Características del Sistema de Control

- Tecnología del Sistema: Un procesador o multi-procesador
- Calibración de Ejes
- Modos de operación: Manual (MDI), paso a paso, automático.
- Controles de operación: Movimiento, feedrate, velocidad del husillo, cambio de ejes.
- Compensación de Errores: Inclinación, Inversión, Herramientas

b) Características de Programación

- Subrutinas y Macros: Para operaciones repetitivas
- Programación paramétrica, para operaciones aritméticas en el código-G.

- Ciclos Fijos, ayudan a conservar memoria reduciendo el tamaño del código.
- Diagnóstico: Programas que monitorean el funcionamiento del sistema CNC en varios niveles y pueden trabajar en tiempo real.

c) Otras Características Avanzadas

- Determinación automática del toolpath óptimo.
- Feedrate automático, en especial en curvas y esquinas.
- Corte a alta velocidad de contornos complejos
- Detección de Posición Absoluta, para que no sea necesario que la máquina regrese a su posición inicial después de finalizar una operación [5] [6].

1.2.1.4. Elementos de una Máquina CNC.

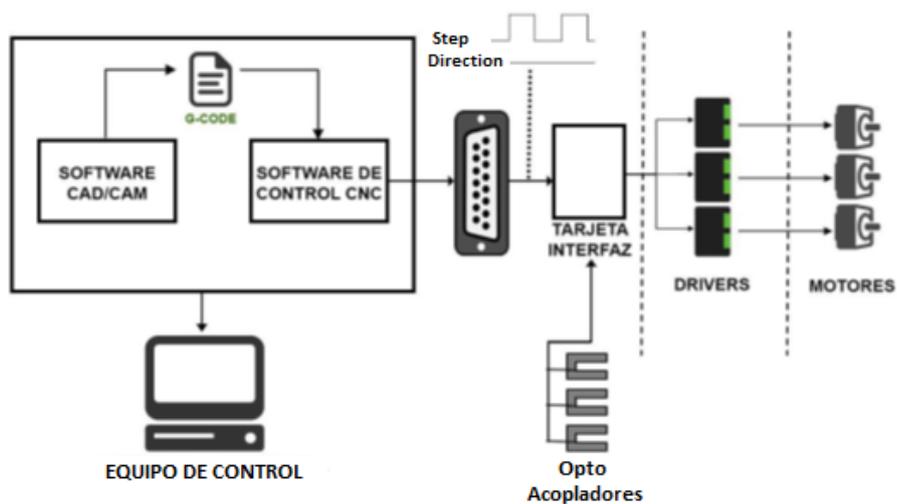


Figura 4: Elementos de una máquina CNC
 Fuente: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/31094>

Los elementos más comunes que conforman una Máquina CNC se muestran en la Figura 4 y son:

a) Equipo de Control CNC

Se compone del Hardware (Unidad de Control CNC) y el Software de Control CNC), donde:

- **Unidad de Control CNC:** Es el dispositivo electrónico en las máquinas CNC especializadas, cuya función es controlar tanto los motores de los ejes como el de la herramienta, también se lo conoce como (Machine Control Unit).

Hoy en día se pueden construir Sistemas de bajo costo a base de Computadoras Personales, Software de Control, esto permite a un alto rango de usuarios experimentados o aficionados producir sus propias partes y piezas con facilidad.

Las características básicas que deben tener los PC para este propósito incluyen:

- o Procesador multinúcleo: Para garantizar la rapidez del cálculo de trayectorias y el envío de señales.
 - o RAM de alta capacidad en caso de utilizar las herramientas CAD/CAM.
 - o Sistema Operativo de Tiempo Real, esta es una característica importante ya que el envío de señales debe ser en tiempo real para garantizar su precisión, en PC se suele utilizar Windows y Linux junto a extensiones real-time ya que normalmente no tienen esta funcionalidad, un ejemplo es RTAI en el caso de Linux.
- **Software de Control CNC:** Este software va a ser el encargado de recibir los diseños, representados en código-G y obtenidos mediante herramientas CAM, procesarlos y convertirlos en señales que serán enviadas a la tarjeta interfaz y luego controlaran la máquina CNC. Las opciones más populares que se encuentran disponibles son Mach3 y LinuxCNC [5] [7].

b) Tarjeta de Interfaz: Trabajan como un nexo entre el sistema de control y los controladores de los motores, su tarea consiste en aislar las señales entre ellos y mantener el PC seguro, mediante un sistema de optoacoplamiento.

c) Drivers: Los controladores son los elementos que manejan directamente los motores y por tanto habrá uno por cada motor.

d) Actuadores: Los principales actuadores usados en Máquinas CNC son los motores de paso y servo motores.

e) Herramienta de trabajo: Es el elemento operativo que actúa directamente sobre el material en bruto mediante acciones tales como corte, desbaste, extrusión, etc.

1.2.2. Software de control de las maquinas CNC.

1.2.2.1. Los BLOCKS (Bloque de instrucciones) en Control Numérico.

a) Estructura de Bloque

Es el modo de dar órdenes a la máquina para que se los ejecute. Esto tiene ciertas características que se debe cumplir. La máquina ejecuta las ordenes (operaciones) de acuerdo a los datos entregados por dicha operación, por lo que cada orden tiene una estructura definida. A cada orden se le denomina block o bloque de programa.

De manera general cada bloque tiene la siguiente estructura:

- a) Numero de bloque (número de línea de programa)
- b) Código de orden de configuración (función de maquinado)
- c) Parámetros de la función de maquinado (Coordenadas X, Y, Z y parámetros complementarios)
- d) Comentarios

b) Formato de Bloque

El modo básico de comunicarse con la máquina herramienta es a través de los elementos que forman la estructura de un bloque de instrucciones, en donde cada uno de los caracteres alfanuméricos tienen un significado y una representación propia [4].

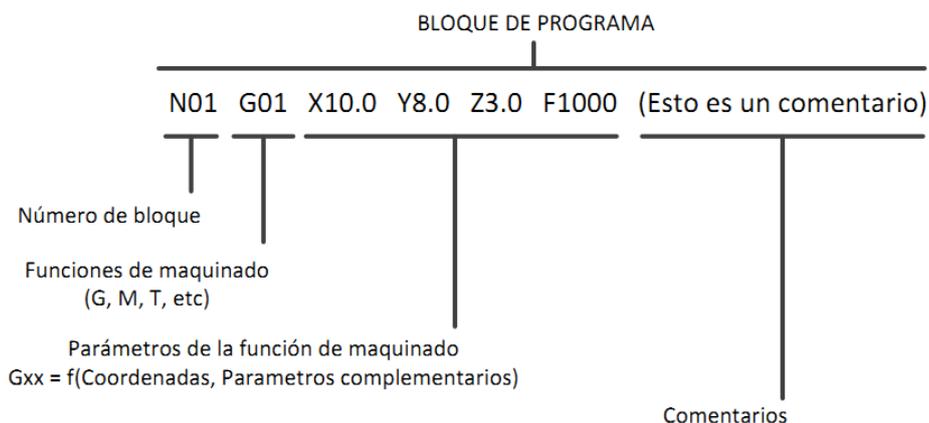


Figura 5: Formato de bloque

Fuente: [http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introducción_al_control_numérico_computarizado_\(CNC\)](http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introducción_al_control_numérico_computarizado_(CNC))

c) Códigos de Programación

A continuación en la tabla 1 se presenta un listado de los códigos de programación mayormente utilizados y su respectiva función [8].

Tabla 1: Descripción de códigos de programación

N	Número de Secuencia
G	Funciones Preparatorias
X	Comando del Eje X
Y	Comando del Eje Y
Z	Comando del Eje Z
R	Radio desde el Centro Especificado
A	Ángulo contra los punteros del reloj desde el vector +X
I	Desplazamiento del Centro del Arco del Eje X
J	Desplazamiento del Centro del Arco del Eje Y
K	Desplazamiento del Centro del Arco del Eje Z
F	Tasa de Alimentación
S	Velocidad de Giro
T	Número de la Herramienta
M	Función Miscelánea

Fuente: electronica.li2.uchile.cl/new/documentacion/CNC/tutorial_CNC.doc

d) Código G: (Funciones preparatorias de desplazamiento de la herramienta)

G-code	
Información general	
Extensiones comunes	.mpt, .mpf, .nc, .gcode entre otros
Apareció en	1950s (first edition)
Diseñado por	Instituto Tecnológico de Massachusetts
Implementaciones	muchas, principalmente Siemens Sinumeric, FANUC, Haas, Heidenhain, Mazak. Por lo general hay un estándar internacional - ISO 6983.

Figura 6: Información general del código G
Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/G-code>

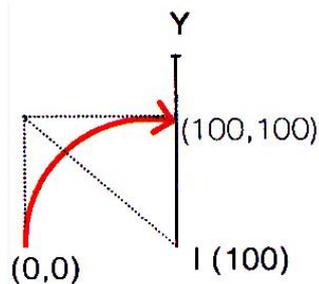
Los comandos G son las órdenes más utilizadas. Son las órdenes de movimientos de las herramientas. Son las funciones básicas del lenguaje de programación G y las que determinarán las coordenadas y la forma final de la pieza mecanizada.

Ejemplo:

G02: Arco de circunferencia

Datos requeridos:

- Coordenada de punto final
- Radio de la curva



Comando: G2 X100 Y100 I100 F1000 [4]

e) Listado de códigos G de uso general:

Tabla 2: Descripción de códigos G

Código	Descripción
G00	Avance lineal del cortador a velocidad alta, para posicionar o sin aplicar corte
G01	Avance lineal del cortador a velocidad programada, para aplicar corte.
G02	Avance circular del cortador en sentido horario a velocidad programada
G03	Avance circular del cortador en sentido anti horario a una velocidad programada
G04	Pausa, acompañada de una letra P, se detiene la herramienta un determinado tiempo, por ejemplo: G04 P4, la pausa durará 4 segundos.
G17	Selección del plano XY
G18	Selección del plano ZX
G19	Selección del plano YZ.
G20	Entrada de valores en pulgadas
G21	Entrada de valores en milímetros
G28	Regreso al punto cero de la máquina (HOME)
G40	Cancela compensación radial del cortador.
G41	Compensación a la izquierda del cortador
G42	Compensación a la derecha del cortador
G43	Compensación longitudinal
G49	Cancela compensación longitudinal del cortador
G80	Cancela los ciclos fijos (G81, G82 y G83)
G81	Ciclo de taladrado para perforación de agujero pasante

G82	Ciclo de taladrado para perforación de agujero ciego
G83	Ciclo de taladrado para perforación de agujero profundo
G90	Comando para hacer uso de coordenadas absolutas.
G91	Comando para hacer uso de coordenadas relativas
G92	Programación del punto cero absoluto, o cero de pieza
G94	Avance programado sobre unidad de tiempo (mm/min ó pulg/min)
G95	Avance programado sobre velocidad angular (mm/rev ó pulg/rev)
G98	Retorno a un punto inicial correspondiente a un ciclo determinado
G99	Retorno al punto de retroceso de un ciclo determinado.

Fuente: electronica.li2.uchile.cl/new/documentacion/CNC/tutorial_CNC.doc

f) Códigos M.

El código M se usa para funciones misceláneas tales como el control del líquido enfriador, conexión y dirección del mandril, rebobinado, y fin del programa. Los códigos M van desde M00 a M99, se utilizan para programar las funciones especiales de la máquina, los generalmente utilizados son los presentados en la tabla 3 [9].

Tabla 3: Descripción de códigos M

Código	Descripción
M00	Paro del programa
M01	Paro opcional
M02	Fin del programa
M03	Giro del husillo en sentido de las manecillas del reloj
M04	Giro del husillo en sentido contrario de las manecillas del reloj
M05	Paro del husillo
M06	Cambio programado de la herramienta
M08	Activa el refrigerante
M09	Apaga el refrigerante
M10	Abre la prensa de trabajo
M11	Cierre de la prensa de trabajo
M29	Control de la máquina por medio de una computadora. Final del programa.
M30	Fin del programa y regreso al inicio del mismo.
M38	Abrir la puerta.
M39	Cierra la puerta
M63	Se activa una señal de salida
M65	Desactiva la señal de salida

M66	Ordena una señal de espera activada por el manipulador
M76	Ordena una señal de espera
M98	Ordena la llamada a un subprograma.
M99	Ordena el fin del programa, regresando al inicio del mismo y haciendo que el ciclo se cumpla cuantas veces sea necesario.

Fuente: electronica.li2.uchile.cl/new/documentacion/CNC/tutorial_CNC.doc

1.2.2.2. Herramientas CAD/CAM.

El uso de las Herramientas CAD/CAM comprende la fase inicial del proceso de diseño y manufactura como se muestra en la Figura 7, se describe cada una a continuación.

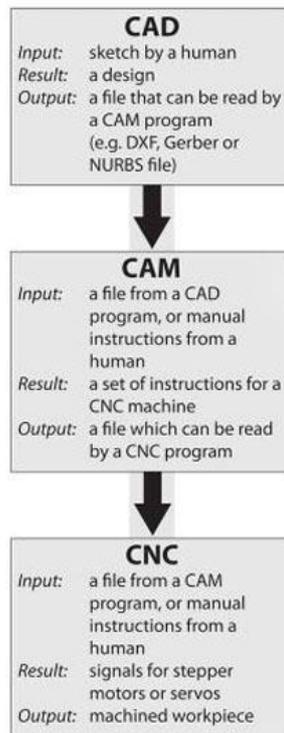


Figura 7: Etapas del Proceso CAD/CAM/CNC

Fuente: Bowman, M. , CNC Milling in the Workshop, Crowood, 2013

1.2.2.2.1. CAD.

CAD (Computer-Aided Design) es el proceso de diseño de una parte o pieza a elaborar, mediante vectores. El diseño CAD constituye la fase inicial del proceso de manufactura CNC (ver Figura 7), donde la idea o el boceto de una persona es plasmado y representado de forma gráfica a escala real y con todas sus características geométricas.

Las herramientas CAD permiten tanto realizar diseños 2D con facilidades como agregar texto lo que es muy útil para el grabado de materiales, y también diseño 3D con el que se pueden dibujar complicadas estructuras y piezas en una fracción de tiempo de lo que

llevaría dibujarlo en papel, además de contar con la opción de realizar cualquier modificación sin tener que empezar un nuevo diseño.

Existen innumerables opciones al elegir herramientas CAD, las comerciales, software libre, desde las más básicas a las más complejas y con mayores funcionalidades, entre ellas están: AutoCAD y AutoCAD LT, TurboCAD, QCAD, también existen herramientas graficas que trabajan con el formato vectorial como Adobe Illustrator, GIMP, Rhino, entre otras [5] [10].

1.2.2.2.2. CAM.

CAM (Computer-Aided Manufacturing) constituye la segunda etapa en el proceso de manufactura CNC (ver Figura 7), Las herramientas CAM básicamente permiten importar diseños vectoriales CAD, y convertirlos en una secuencia de códigos y funciones que puedan ser interpretados por el Sistema CNC, por ejemplo código-G, para que la máquina-herramienta realice las tareas necesarias para elaborar la parte o pieza diseñada.

El usuario puede también producir código-G por su cuenta, especificando paso por paso las operaciones que realizara la máquina para obtener el mismo resultado, luego ingresando estos comandos de forma manual utilizando el Sistema de Control de la máquina, sin embargo cuando la complejidad de la pieza aumenta, esta puede requerir de una gran cantidad de líneas de código, para ello fueron desarrolladas las herramientas CAM.

Generalmente el proceso de creación de un código-G mediante herramientas CAM es el siguiente:

- Crear un modelo de producción a partir del archivo de diseño CAD, y la pieza de trabajo o material (metal, madera, plástico).
- Establecer una base de datos de herramientas, aquí deben estar definidas todas las herramientas que pueden ser utilizadas por la máquina-herramienta o las que serán utilizadas en este diseño en particular. La información que debe contener va desde el tipo de herramienta, forma, diámetro, longitud, etc.
- Definir las fijaciones utilizadas para sostener el material durante las operaciones de mecanizado, para que no exista ningún problema que interfiera con la herramienta durante su trayectoria.

- Establecer las configuraciones para las operaciones de mecanizado, como las cajas delimitadoras del material, velocidad del husillo (spindle speed), velocidad de avance de las herramientas (feed rate).
- Crear las operaciones de manufactura, estas generaran las trayectorias que seguirán las herramientas (toolpath), mientras van removiendo material hasta completar la elaboración de la pieza. Las operaciones comunes incluyen las fases de desbaste, contorneado y acabado.
- Una vez generados los toolpaths para cada operación, estos pueden ser visualizados, y si no requieren ningún ajuste pueden ser exportados como código-G para ser utilizado por el Sistema CNC [11].

1.2.2.3. LinuxCNC.

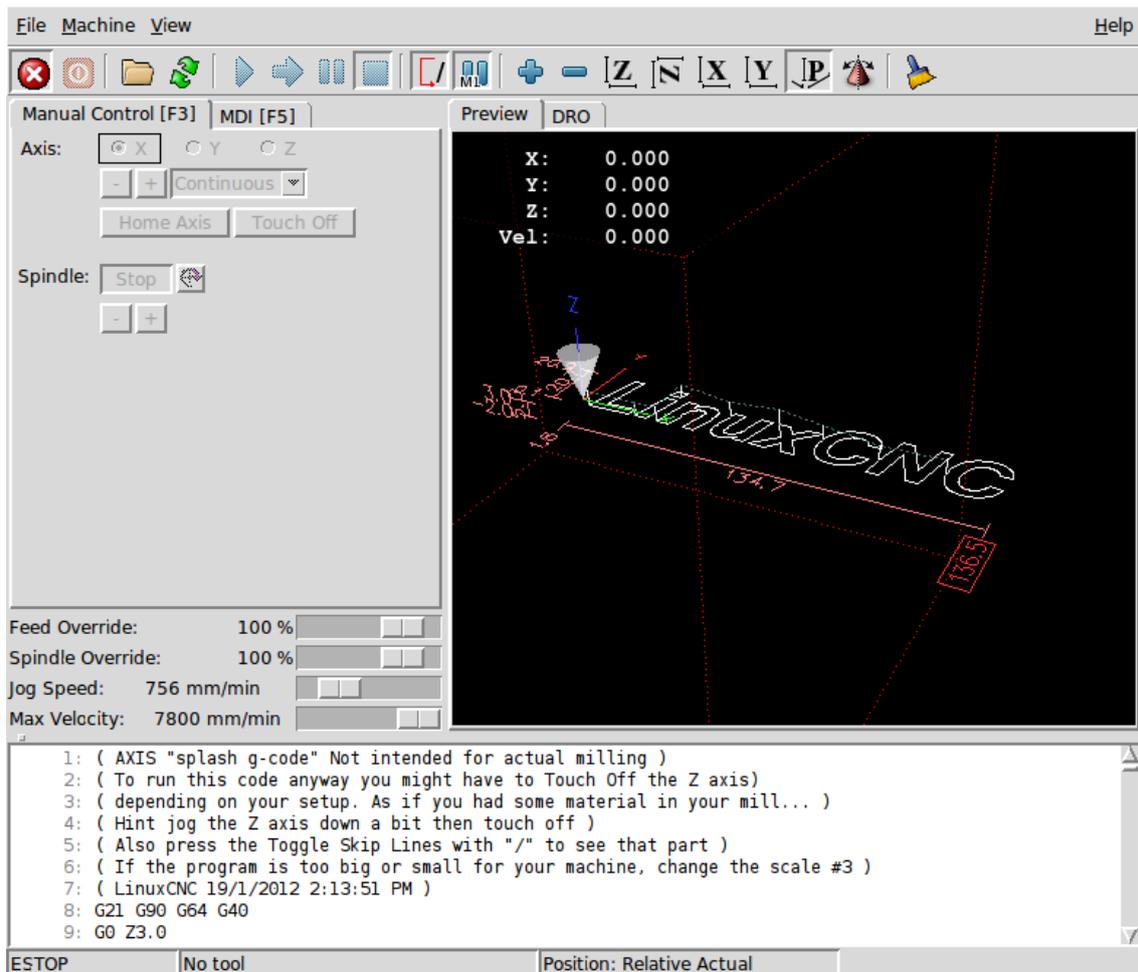


Figura 8: Pantalla principal de LinuxCNC
Elaborado por el autor

1.2.2.3.1. Descripción General.

LinuxCNC antiguamente conocido como EMC2 es otra alternativa, es software libre y la opción que se ha usado en este proyecto y la que se detallara más adelante. Trabaja en Sistemas Operativos Linux, entre sus características destacan el uso de una capa de abstracción de Hardware (HAL), un osciloscopio incorporado, la capacidad de operar hasta 9 ejes simultáneamente.

LinuxCNC (ver Figura 8) es un Software de Control CNC para máquinas-herramientas como fresadoras, tornos y enrutadores. LinuxCNC es un software gratuito de código abierto, soportado por una gran comunidad de desarrolladores.

El manejo de una máquina CNC requiere, de un control preciso y en tiempo real del movimiento y otras tareas, por ello LinuxCNC requiere una plataforma con capacidad de cómputo en tiempo real. Para esto LinuxCNC utiliza un kernel de Linux con la extensión RTAI (Real Time Application Interface).

La página oficial de LinuxCNC provee de discos de instalación basados en la distribución Ubuntu con la extensión RTAI instalada y con LinuxCNC pre-compilado para facilidad de sus usuarios.

Entre sus características tenemos:

- Variedad de interfaces graficas Disponibles.
- Interprete de código-G
- No dispone de herramientas CAD/CAM para diseños ni generación de código-G.
- Manejos de máquinas de hasta 9 ejes
- Operación y retroalimentación de servo motor y motores de paso.
- Software PLC programable con diagramas de escalera.
- Fácil creación de configuraciones para máquinas-herramientas
- Sistema de planificación de movimiento en tiempo real
- Control del radio de corte y compensación de longitud de herramientas, movimiento sincronizado de ejes, feedrate adaptativo, control de velocidad constante.

LinuxCNC es capaz de controlar una gran variedad de maquinaria de diferentes modelos, solo es necesario crear la configuración necesaria para la máquina y está listo para trabajar. LinuxCNC cuenta con Asistentes de Configuración como StepConf para máquinas CNC que utilicen motores de paso y sean controladas vía puerto paralelo, y PNCconf para tarjetas de control especializadas y también uso de servo motores [12].

1.2.2.3.2. *Requerimientos Mínimos.*

Los requerimientos mínimos de hardware para ejecutar LinuxCNC (EMC2) y Ubuntu pueden variar dependiendo del uso que se le dará al sistema, sistemas basados en motores paso a paso requieren procesadores más rápidos para generar trenes de pulsos en comparación con los servomecanismos retro alimentados.

Los resultados del estudio de latencia son más importantes que la velocidad del procesador para la generación de pasos por software, pero LinuxCNC y Ubuntu deberían ejecutarse razonablemente bien en una computadora con las siguientes especificaciones mínimas de hardware, estas especificaciones no son las mínimas absolutas pero proporcionan un desempeño razonable para la mayoría de los sistemas basados en motores a paso a paso.

- Procesador de 700 MHz x86 (se recomienda un procesador de 1.2GHz x86)
- 384 MB en RAM (se recomienda entre 512MB hasta 1GB)
- 8 GB de espacio en disco duro
- Tarjeta gráfica de por lo menos 1024x768 de resolución, que no esté ejecutando los controladores propietarios Nvidia o ATI fglr, y de preferencia que no se trate de una tarjeta de vídeo integrada que comparta memoria con el CPU.
- Conexión de red o Internet (No es estrictamente necesaria, pero resulta muy útil para realizar actualizaciones y contactar a la comunidad de usuarios del EMC)

Los requerimientos mínimos del sistema cambian conforme Ubuntu evoluciona, por lo tanto se debe revisar el sitio web help.ubuntu.com para más detalles, el Hardware antiguo podría beneficiarse si se selecciona una versión más antigua del LiveCD cuando se encuentre disponible [12].

1.2.2.4. Mach 3.

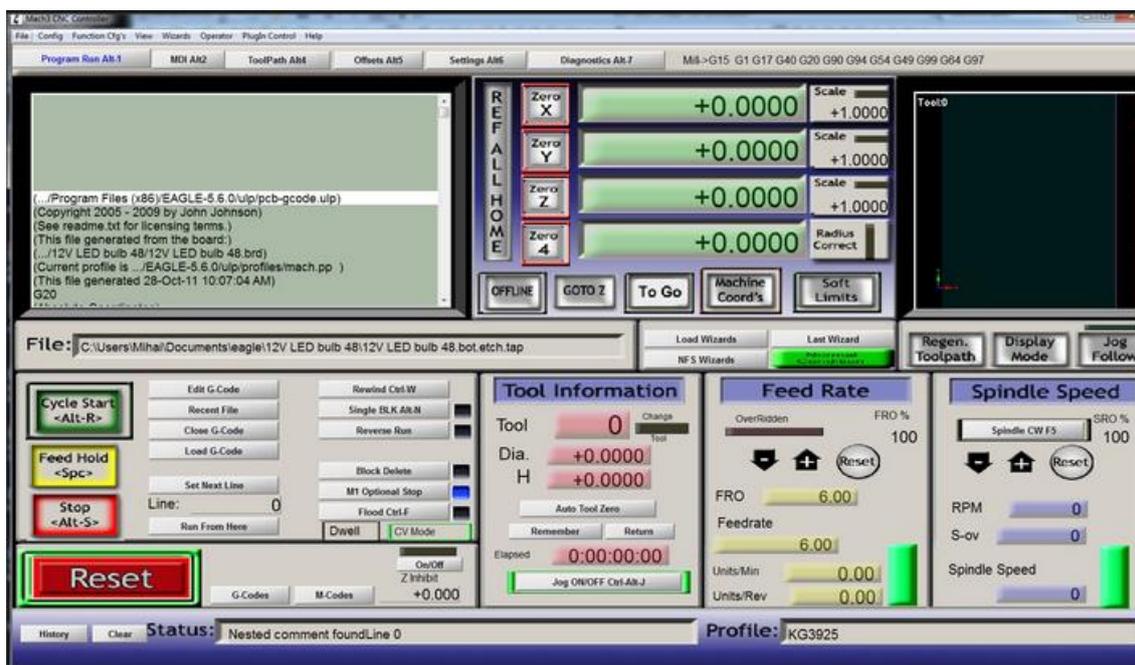


Figura 9: Pantalla principal de Mach3
Elaborado por el autor

1.2.2.4.1. Descripción General.

Mach3 es uno de los más populares controladores CNC, es un software de pago compatible con una gran variedad de dispositivos, además de que ofrece la posibilidad de expandirlo con paquetes opcionales, agregándole funcionalidad CAM para que pueda crear su propio código-G, destacando entre sus características el poder personalizar completamente la interfaz y el uso de Macros de Visual Basic.

Mach3 convierte una computadora típica en una máquina controladora CNC, tiene grandes características y provee un gran valor a esas necesidades de un sistema de control de CNC.

Mach3 Trabaja en la mayoría de PC's con Windows controlando el movimiento de los motores (paso a paso y servomotores) mediante el procesamiento de código G, dispone de muchas características avanzadas, siendo el más intuitivo software de control de CNC disponible, es adaptable y se ha utilizado para muchas aplicaciones con numerosos tipos de hardware [13].

1.2.2.4.2. Requerimientos del Software.

Los requerimientos mínimos recomendados para el funcionamiento de Mach3 son:

a) Requerimientos si se usa el puerto paralelo de la máquina de control:

- Desktop PC (las laptops NO están soportadas) con al menos un Puerto paralelo.
- Windows 2000, Windows XP, Windows Vista ó Windows 7 en versiones de 32bits (no trabaja en versiones de 64-bits)
- CPU de 1Ghz
- 512MB en RAM
- Tarjeta de video no integrada con 32MB de RAM (los archivos extensos de código G, especialmente archivos 3D requieren una tarjeta de video con 512MB ó superior)

b) Requerimientos si se usa una unidad controladora de movimiento externa como máquina de control:

- Una apropiada controladora de movimiento externa (opciones están disponibles en la página de pluggins)
 - Desktop ó Laptop con Windows 2000, Windows XP, Windows Vista, Windows 7, ó Windows 8
 - CPU de 1Ghz
 - 512MB de RAM
 - Tarjeta de video con 32MB de RAM (los archivos extensos de código G, especialmente archivos 3D requieren una tarjeta de video con 512MB ó superior)
- [13].

1.2.3. Hardware de control de las máquinas CNC.

1.2.3.1. Tarjeta de Interfaz (Breakout Board).

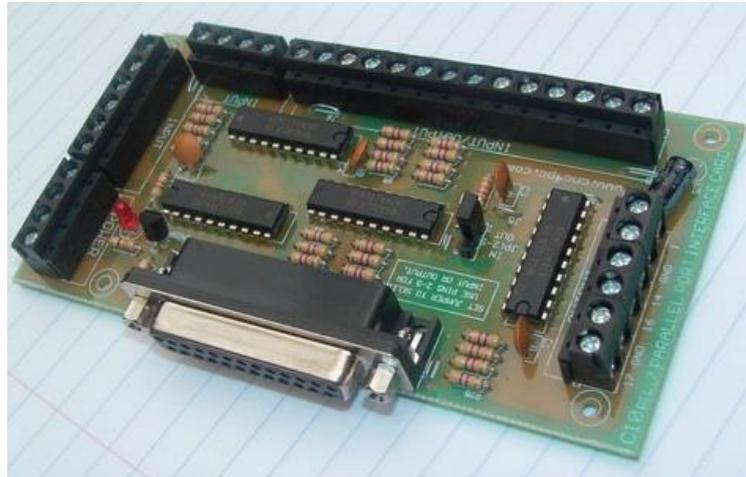


Figura 10: Tarjeta de Interfaz cnc4pc modelo C10
Fuente: <http://medw.co.uk/wiki/CNC4PC+Breakout+Boards>

La llamada "breakout board" (aislada) o "interface board" (normal), es el elemento que conecta con el ordenador y hace de frontera.

Las tarjetas Interfaz trabajan como un nexo entre la PC con el Software de Control y los controladores de los motores, su tarea consiste en aislar las señales entre ellos y mantener el PC seguro.

Una característica muy interesante es que sea optoacoplada lo que garantiza el aislamiento entre los motores, circuitos de potencia, etc. y la delicada electrónica del ordenador.

Así mismo, hay varias formas de conectar al ordenador. Las más utilizadas:

- **Puerto Paralelo:** Aun siendo un interfaz de los años 70, sigue siendo utilizado hoy en día por su sencillez. Programas CNC como Mach3 son el que utilizan.
- **Puerto Serie:** No es muy habitual pero existen controladoras para este tipo. Tiene la ventaja de ser un estándar reconocido y permite distancias relativamente grandes.
- **Puerto USB:** Es la tendencia actual y terminará siendo el estándar, pero aún no todos los programas lo soportan y hay que revisar su compatibilidad.
- **Ethernet:** Es una solución profesional que incorporan algunas tarjetas.

A la interfaz se conectan las entradas y salidas, por lo que es conveniente que cuente con entradas para sensores de finales de carrera, parada de emergencia o incluso encoders de posición. En cuanto a las salidas, es frecuente contar con al menos un relé para activar elementos como un motor y en el caso de fresadoras, bombas de refrigeración, etc. Es en cualquier caso un aspecto a tener en cuenta también [14].

1.2.3.2. Driver de motor.

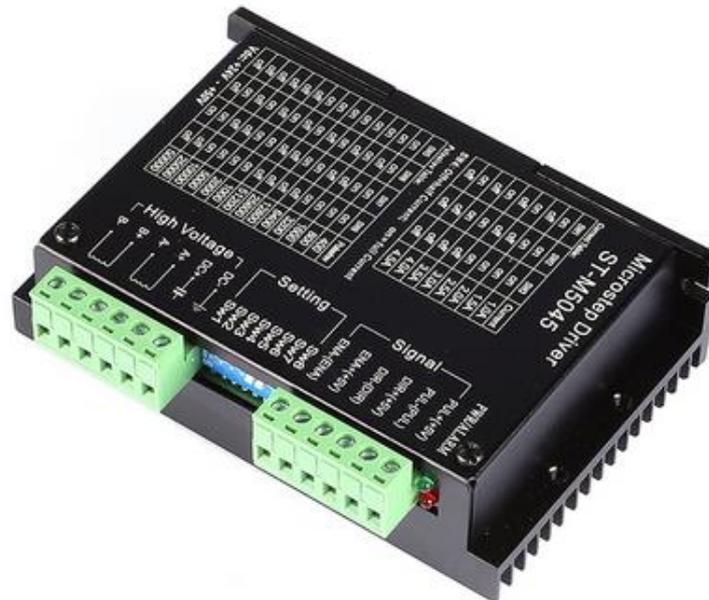


Figura 11: Driver

Fuente: <https://arduino-elektronika.eu/en/machine-accessories/459-cnc-2m542-stepper-motor-driver-controller-45a-support-nema172334.html>

Los drivers son los dispositivos que controlan a los motores paso a paso o servomotores recibiendo las señales digitales de paso y giro (normalmente son señales de 5V), regulándolas y amplificándolas hasta el voltaje y amperaje de operación de los actuadores. Ya que están conectados directamente a los motores, es necesario uno por cada motor.

Los controladores de paso pueden amplificar la tasa de frecuencia de las señales que reciben de la tarjeta interfaz mediante micro-pasos, por ejemplo, en un motor con la capacidad de 200 pasos por revolución, pueden convertir el paso original obtenido en 20 micro pasos, obteniendo 4000 pasos por revolución lo que aumenta la resolución del motor.

Los diferentes tipos que suelen utilizarse y sus características más significativas a tener en cuenta:

a) Unipolares:

Para máquinas no se suelen utilizar demasiado porque desaprovechan el torque del motor. Sin embargo son las de más fácil construcción y encontrarás circuitos "caseros" para manejar motores PaP con esta técnica. También suelen carecer de gestión corriente y por ello limitan la intensidad de los bobinados con resistencias de potencia y voltajes muy bajos, lo cual repercute es un rendimiento pobre.

b) Bipolares:

Son las más utilizadas actualmente y hacen uso de distintos "chips" especializados que implementan técnicas para incrementar el rendimiento. Importante que cuenten con:

- Gestión PWM de corriente para regular la intensidad de los bobinados de forma eficiente reduciendo la disipación de calor. Por supuesto ha de ser capaz de manejar intensidad que requiera el motor.
- Voltajes elevados gracias a la gestión PWM permite aplicar mayores voltajes al motor y obtener mayores velocidades de conmutación (ver Motores).
- Micropasos con lo que obtienen aumentos de resolución del motor de hasta 1/256 (también se les llama "reductora electrónica"), aunque si no disponemos de encoder que nos asegure la posición no conviene más de 1/8 para mantener una cierta seguridad de que no hay pérdidas de pasos.
- Control de resonancia todos los motores por naturaleza tienen una frecuencia a la que el bobinado entra en resonancia y el motor puede perder hasta un 40% de potencia en ese punto si no se evita.
- Gestión de StandBy que reduce la corriente del motor cuando lleva un cierto tiempo parado para que no se sobrecalienten al tiempo que se mantiene el par de retención.
- Protección contra sobrecorriente y sobretensión del driver.

c) Servomotor:

Son la opción profesional. Cuentan con características comunes en cuanto a la forma de controlarlos y utilizan directamente el encoders del servomotor para realimentar y asegurar la posición (sin intervención del ordenador), formando un conjunto con el motor. Aun siendo los tamaños normalizados, cada fabricante suele aportar su "familia" de productos diseñados para trabajar conjuntamente [14].

1.2.3.3. Actuadores.

1.2.3.3.1. Motor paso a paso.

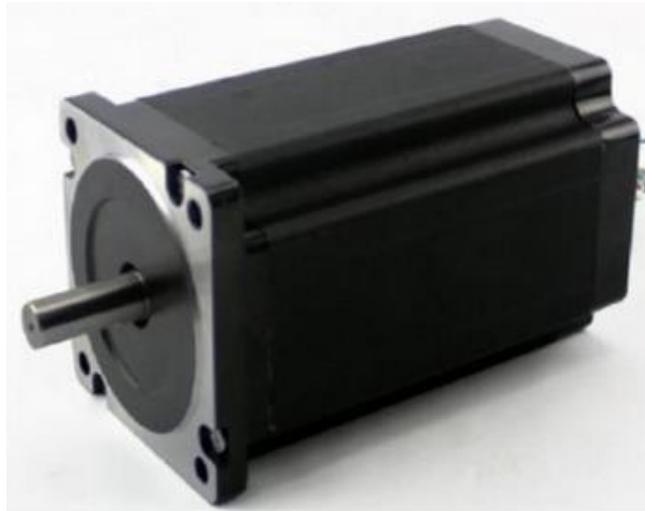


Figura 12: Motor Paso a Paso

Fuente: <http://cnc4pc.com/motion-control/stepper-motor-control/stepper-motors/nema42-2830-oz-in-hybrid-stepper-motor.html>

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

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas está energizada, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator.

Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente:

a) Bipolar: Estos tiene generalmente cuatro cables de salida, necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento, por lo cual será necesario un puente en H (H-Bridge). por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Paso a Paso de 4 cables (dos bobinas), necesitaremos usar dos H-Bridges.

b) Unipolar: Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexionado interno, este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar, las entradas de activación pueden ser directamente activadas por un microcontrolador [15].

1.2.3.3.2 Servo Motor.



Figura 13: Servomotor
Fuente: <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/servomotor-99375.html>

Un servo motor es bastante parecido a un motor de paso y produce los mismos resultados, pero utiliza otra técnica, el servo motor tiene incorporado un encoder, este dispositivo monitorea la posición actual del motor en tiempo real y la corrige enviando señales de error en caso de que detecte que el eje del motor no se encuentra en su posición objetivo, esta es una de sus ventajas ya que produce retroalimentación de su estado al software de control CNC, algo que los motores de paso no pueden hacer sin un encoder externo.

Los servomotores se utilizan en muchas aplicaciones industriales donde se requiere alta precisión de posicionamiento, altas velocidades de respuesta, control del torque, torque

nominal a cero revoluciones por minuto, gracias a estas propiedades se puede mejorar el desempeño de las máquinas y procesos y aumentar la productividad.

Los servomotores son ahorradores de energía eléctrica comparado con los motores de pasos o los motores AC de tres fases (jaula de ardilla), ya que solo consumen energía cuando lo requiere el sistema. Los servomotores cuentan con un sistema de retroalimentación que es el encoder digital, que mide la posición del eje del motor todo el tiempo, por lo que el servo driver hace un control de posición y velocidad, los servomotores logran tiempos de respuesta muy cortos por lo que son ideales para procesos o máquinas donde las aceleraciones y desaceleraciones son muy grandes, normalmente los servomotores logran un control con hasta 300% del torque nominal instantáneo, estas características permiten reemplazar los sistemas mecánicos de freno y embrague como por ejemplo en máquinas selladoras de fundas plásticas, dosificadoras de polvos, máquinas CNC, brazos robot, guillotinas cortadoras de papel, impresoras de papel, etiquetadoras, empacadoras, brazos robot industriales.

Los servomotores no tienen elementos de desgaste como sucede con los motores de corriente continua o motores con escobillas, por lo que tienen una larga vida útil, además son construidos con rodamientos de larga duración, que son libres de mantenimiento, siempre que la instalación sea realizada bajo las condiciones de temperatura, vibración, ubicación, etc. que recomienda el fabricante.

El diseño del rotor de los servomotores está constituido por imanes permanentes de alto campo magnético, del que se obtiene gran torque de arranque y parada para aplicaciones robustas, además los servomotores tienen carcasas de aluminio para disipar el calor interno generado, dependiendo de las condiciones ambientales se requiere ventilación forzada para evitar calentamiento excesivo de los servomotores.

Los encoder absolutos que tienen algunos modelos de servomotores sirven para aplicaciones donde se requiere saber en todo momento la posición absoluta del servomotor como por ejemplo en máquinas CNC de altas prestaciones y varios ejes de control, para evitar la búsqueda de la posición cero (Home position) cada vez que se vaya la energía eléctrica o exista una condición de falla. También en aplicaciones industriales donde es muy importante mantener siempre una posición absoluta como por ejemplo en los brazos robot industriales, cortadoras, etc. [16].

1.2.3.4. THC - Torch Height Control (Control de Altura de la Antorcha).

Un THC en sus siglas en inglés significa Torch Height Control y en español se traduce a Control de Altura de Antorcha, es utilizado en máquinas de corte térmico como las de plasma u oxicorte, debido a que una antorcha de plasma debe de estar separada de 3 a 6 milímetros del material que se va a cortar y si el material es delgado, a consecuencia del calor, los materiales se tuercen porque internamente en sus átomos se están generando tensiones provocadas por la dilatación y es suficiente para torcer dicho material, entonces como la antorcha debe de mantener una separación constante del material base, se requiere de un sistema de compensación en la altura para que se mantenga estable y pueda cortar uniformemente.

Si no se mantiene constante la distancia entre la antorcha y el material base se tienen las consecuencias que se presenta en la figura 14.

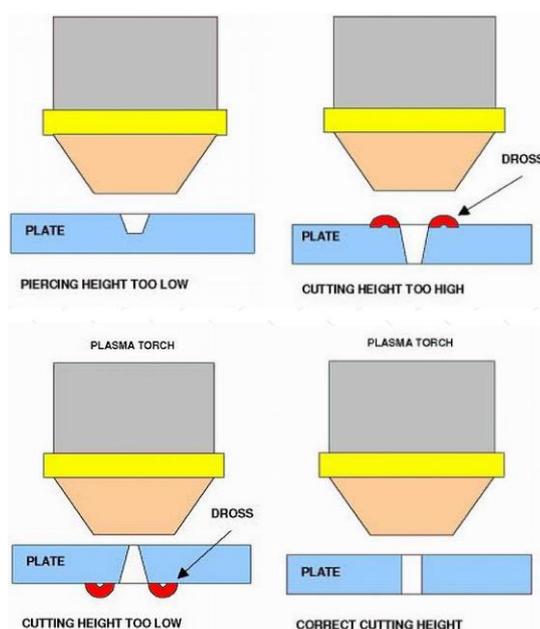


Figura 14: Errores de corte debidos a la altura de la antorcha
Fuente: http://www.agelkom.com.tr/capacitiv_&_voltage_thc.htm

1.2.3.4.1. Plasma - El cuarto estado de la materia.

Una descripción común del plasma es como el cuarto estado de la materia. Normalmente pensamos en los tres estados de la materia como el sólido, el líquido y el gaseoso. Para un elemento común como el agua, estos tres estados son hielo, agua y vapor. La diferencia entre estos estados está relacionada con sus niveles de energía. Cuando aportamos energía en forma de calor al hielo, éste se derrite y se transforma en agua. Si aportamos más energía, el agua se evapora en hidrógeno y oxígeno, en forma de vapor.

Al aportar aún más energía al vapor estos gases se ionizan. El proceso de ionización hace que el gas se convierta en un conductor de la electricidad. A este gas ionizado conductor se le llama plasma [17].

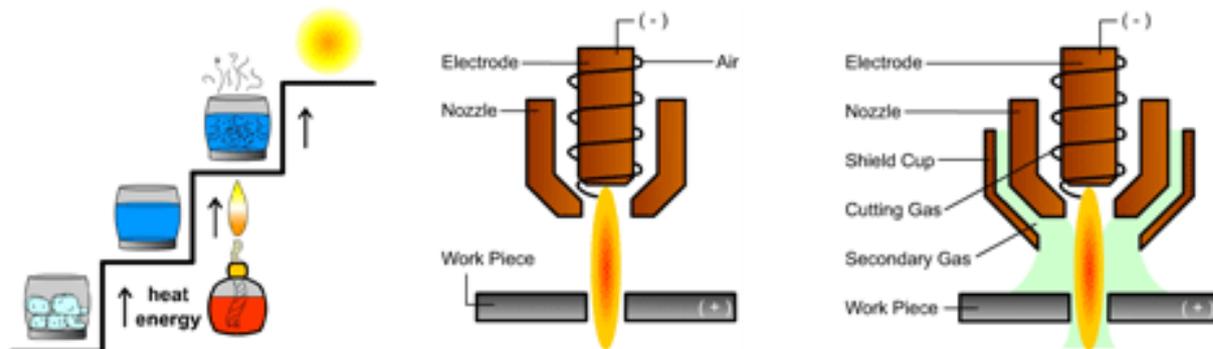


Figura 15: Principio de funcionamiento del corte por Plasma
Fuente: <http://www.oxiplasma.es/index.php/saber-mas/82-que-es-el-plasma>

a) Cómo el plasma corta el metal

El proceso de corte por plasma, como se usa en el corte de metales conductores, emplea este gas conductor para transferir la energía de una fuente eléctrica a través de una antorcha de corte por plasma al metal que se va a cortar.

El sistema básico de corte por arco de plasma consiste de una fuente de energía, un circuito iniciador del arco y una antorcha. Estos componentes del sistema suministran la energía eléctrica, la capacidad de ionización y el control de proceso necesarios para producir cortes muy productivos y de alta calidad en diferentes materiales.

La fuente de energía es una fuente de corriente continua (CC) constante. El voltaje en circuito abierto por lo general está en el rango de 240 a 400 VCD. La corriente de salida (amperaje) de la fuente de energía determina la velocidad y la capacidad del espesor de corte del sistema. La principal función de la fuente de energía es suministrar la energía correcta para mantener el arco de plasma después de la ionización.

El circuito de arranque del arco es un circuito generador de alta frecuencia que produce un voltaje de CA de 5.000 a 10.000 voltios a 2 megahercios aproximadamente. Este voltaje se utiliza para crear un arco de alta intensidad dentro de la antorcha a fin de ionizar el gas, produciéndose de esta manera el plasma.

La antorcha sirve de soporte a la boquilla y al electrodo consumibles y para refrigerar (con agua o gas) estas piezas. La boquilla y el electrodo constriñen y mantienen el chorro de plasma [18].

b) El funcionamiento del THC:

Partiendo del principio “es necesario medir para poder controlar”, se debe utilizar un sensor que esté midiendo la intensidad de campo “E” entre la antorcha y el material que se va a cortar. Esta “E” es inversamente proporcional a la distancia que separa a la antorcha del material. La fórmula de “E” es $E=V/d$ donde “V” es el voltaje entre la antorcha y el material y “d” es la distancia. Dentro del gabinete de la antorcha se encuentra un circuito que está tomando una muestra de este “E” pero manifestado en Voltaje para que lo podamos utilizar para controlar la altura.

Esta variable de muestra la podemos inyectar a algún circuito con operacionales para que nos detecte la altura mínima y máxima y así poder tener salidas digitales que nos den aviso cuando esto ocurra, estas señales las podemos conectar a la tarjeta interface para que mande estas señales a la computadora y el software de control pueda registrarlas y darle aviso al motor del eje z para que compense la altura.

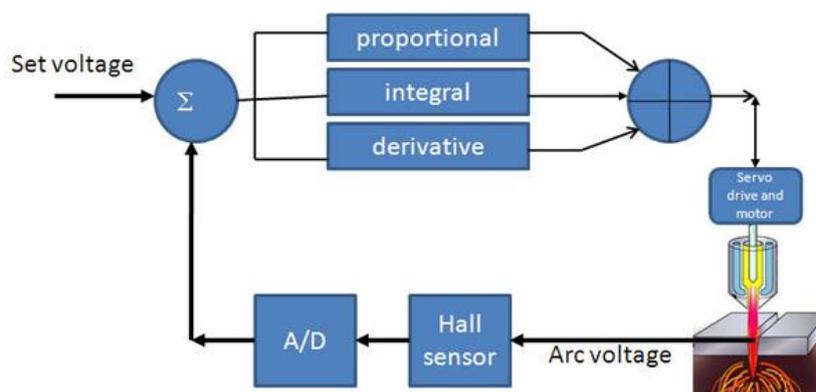


Figura 16: Diagrama de bloques de THC
Fuente: <http://fabricatupropioroutercnc.com/blog/que-es-un-thc-torch-height-control-control-de-altura-de-la-antorcha.html>

En la imagen de arriba podemos ver un diagrama a bloques que nos indica cómo se realiza el sensado y el control de la altura de la antorcha. A/D significa que es un convertidor analógico a digital, este está tomando la variable que se está midiendo con el sensor, en este caso es el arco de voltaje creado por la antorcha y el material, esta señal retroalimenta a un sumador que a su vez recibe un voltaje de referencia para ser comparado, el resultado de esta comparación es una señal que entra en un PID (Proporcional Integral Derivativo) que es un sistema que podrá amplificar esta señal de entrada y darle mayor rapidez o lentitud al sistema para que la compensación de altura sea prácticamente inmediata y de esta forma podemos controlar la altura de la antorcha y podamos obtener una separación constante para tener un corte de excelente calidad [19].

Los THC trabajan con dos tipos de tipos de sensores: capacitivos e inductivos, cuya principal diferencia radica en que el sensor capacitivo crea un campo eléctrico el cual al ser interrumpido cambia de estado es por eso que puede detectar cualquier material sea o no sea magnético, mientras que el sensor inductivo sirve para detectar solo metales, los cuales tienen propiedades magnéticas ya que este tipo de sensor produce un campo magnético el cual al ser interferido por el metal cambia su estado.



a)



b)

Figura 17: a) THC Inductivo b) THC Capacitivo

Fuente: <http://fabricatupropioroutercnc.com/blog/que-es-un-thc-torch-height-control-control-de-altura-de-la-antorcha.html>

1.2.3.4.2. *THC con Sensor Inductivo.*

Los sensores inductivos son una clase especial de sensores que sirve para detectar materiales metálicos ferrosos. Son de gran utilización en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos en un determinado contexto: detección de paso, de atasco, de codificación y de conteo.

c) Consideraciones generales

- La superficie del objeto a detectar no debe ser menor que el diámetro del sensor de proximidad (preferentemente 2 veces más grande que el tamaño o diámetro

del sensor). Si fuera menor que el 50% del diámetro del sensor, la distancia de detección disminuye sustancialmente.

- Debido a las limitaciones de los campos magnéticos, los sensores inductivos tienen una distancia de detección pequeña comparados con otros tipos de sensores. Esta distancia puede variar, en función del tipo de sensor inductivo, desde fracciones de milímetros hasta 40 mm en promedio.
- Para compensar el limitado rango de detección, existe una extensa variedad de formatos de sensores inductivos: cilíndricos, chatos, rectangulares, etc.
- Los sensores inductivos cilíndricos son los más usuales en las aplicaciones presentes en la industria.
- Posibilidad de montar los sensores tanto enrasados como no enrasados.
- Gracias a no poseer partes móviles los sensores de proximidad no sufren en exceso el desgaste.
- Gracias a las especiales consideraciones en el diseño, y al grado de protección IP67, muchos sensores inductivos pueden trabajar en ambientes adversos, con fluidos corrosivos, aceites, etc., sin perder operatividad. [20]

1.2.3.4.3. THC con Sensor Capacitivo.

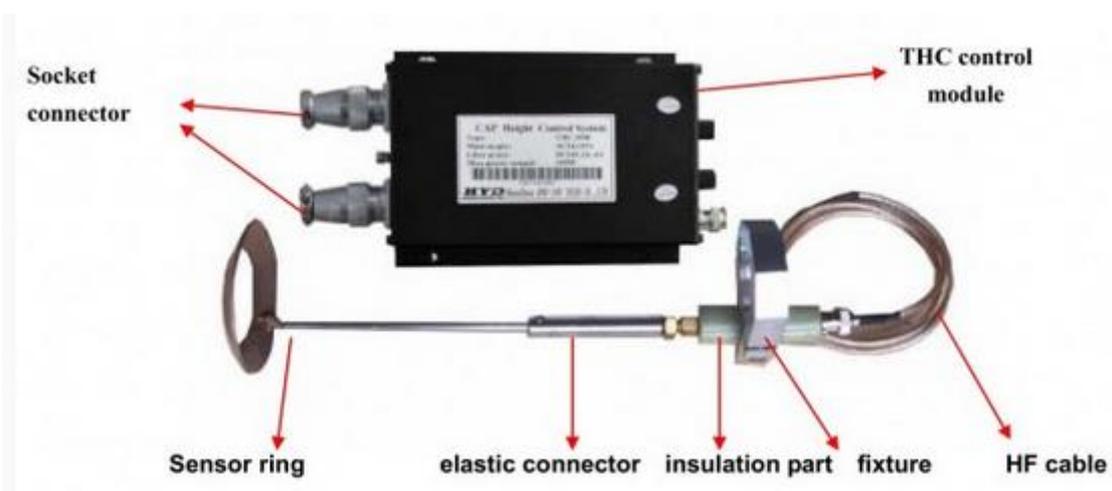


Figura 18: THC con sensor capacitivo

Fuente: <http://promaquina.cl/home/41-control-altura-oxicorte-capacitivo.html>

La función del sensor capacitivo consiste en señalar un cambio de estado, basado en la variación del estímulo de un campo eléctrico. Los sensores capacitivos detectan objetos metálicos, o no metálicos, midiendo el cambio en la capacitancia, la cual depende de la

constante dieléctrica del material a detectar, su masa, tamaño, y distancia hasta la superficie sensible del detector.

Los detectores capacitivos están contruidos en base a un oscilador RC. Debido a la influencia del objeto a detectar, y del cambio de capacitancia, la amplificación se incrementa haciendo entrar en oscilación el oscilador. El punto exacto de ésta función puede regularse mediante un potenciómetro, el cual controla la realimentación del oscilador. La distancia de actuación en determinados materiales, pueden por ello, regularse mediante el potenciómetro.

La señal de salida del oscilador alimenta otro amplificador, el cual a su vez, pasa la señal a la etapa de salida. Cuando un objeto conductor se acerca a la cara activa del detector, el objeto actúa como un condensador. El cambio de la capacitancia es significativo durante una larga distancia. Si se aproxima un objeto no conductor, (>1) solamente se produce un cambio pequeño en la constante dieléctrica, y el incremento en su capacitancia es muy pequeño comparado con los materiales conductores [21] [22].

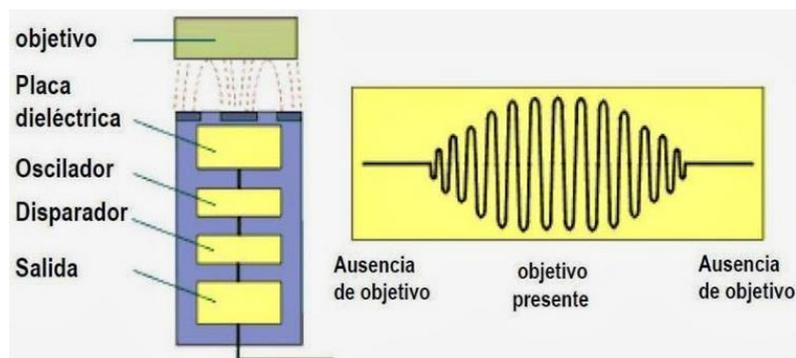


Figura 19: Teoría de operación de los sensores de proximidad capacitivos
Fuente: http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_

PDF_S/25_SENORES_CAPACITIVOS.PDF

Cuando un objeto no metálico entra al campo eléctrico del cabezal de detección, el campo eléctrico entre las placas se intensifica debido a que la constante dieléctrica del objeto es mayor que la del aire. Por tanto, la capacitancia aumenta, figura 20(a). En el caso de un objeto metálico, este último debilita el campo eléctrico entre las placas, actuando como un tercer electrodo y formando dos condensadores en serie, figura 20 (b). Como resultado, la capacitancia disminuye. En ambos casos, el efecto neto es la variación de la frecuencia del oscilador. Este cambio es detectado por el demodulador y convertido por el conformador en un nivel alto o bajo adecuado para disparar el transistor de salida y energizar la carga [23].

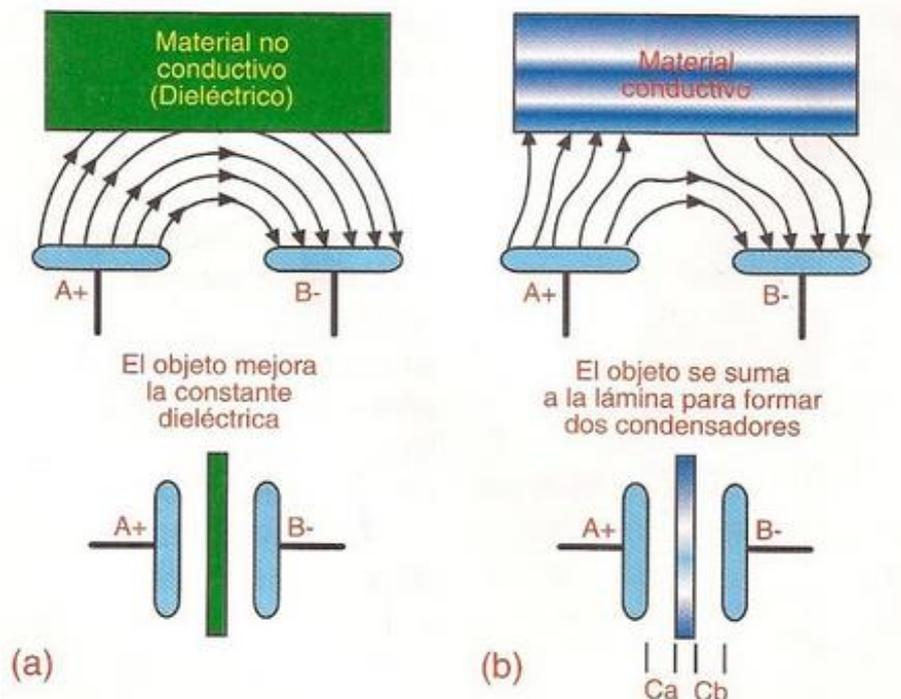


Figura 20: Comportamiento del campo eléctrico y capacitancia entre placas de un detector de proximidad capacitivo frente a objetos no metálicos (a) y metálicos (b)
 Fuente: <https://sites.google.com/site/654sensoresindustriales/detectores-de-proximidad-capacitivos>

1.2.4. Mesa de coordenadas para Corte por Plasma (MCCP).



Figura 21: Mesa de Coordenadas para Corte por Plasma
 Fuente: https://i.ytimg.com/vi/d3ckBc_cbEY/maxresdefault.jpg

Estos equipos son generalmente bastante más grandes que las máquinas manuales, a veces son denominadas pantógrafos, incluyen una mesa de agua o mesa de aspiración y

están provistas de un sistema “gantry” o de pórtico, es decir, un sistema de doble motorización a cada lado de la mesa sobre el eje “X” que funciona mediante diversos mecanismos, habitualmente servomotores de corriente alterna acoplados a un sistema de piñón-cremallera. Además, los equipos mecanizados generalmente cuentan con control CNC y un control de altura de la antorcha (THC), que puede incluir la detección de la altura y el control del voltaje al inicio del proceso.

El tamaño de una mesa de coordenadas para corte por plasma se basa en la mesa y el pórtico que se utilizan. Las mesas pueden medir menos de 1.500 mm x 3.000 mm o más de 14.000 mm x 36.000 mm. Como es de esperar, estos sistemas no son fáciles de maniobrar, por lo que antes de la instalación todos sus componentes deben considerarse conjuntamente con el diseño del recinto que alojará la máquina.

El uso de estos equipos de mecanizado introduce notables mejoras en la calidad y precisión del corte, así como en el rendimiento de la productividad y un abaratamiento de costos en comparación con el oxicorte o el corte por láser.

Muchos sistemas, además, se diseñan con gran simplicidad operativa, lo que posibilita su utilización por parte de personal no experto.

Las motorizaciones a cremallera y piñón, servomotores, amplificadores de motorización y codificadores utilizados en el pórtico determinan la calidad de corte y la capacidad de velocidad del equipo de plasma.

Un CNC con alta capacidad de almacenamiento, una variedad de capacidades de programación (tales como fijar la altura de la antorcha al final del corte) y una rápida velocidad de procesamiento (comunicación entrada/salida) conducirá a una disminución del tiempo de inactividad y un aumento de la velocidad y precisión de corte.

Algunas de las características de las máquinas para corte por plasma son las siguientes:

a) Fuentes de alimentación: Las fuentes típicas tienen un rango máximo de amperaje de 100-400 A para el corte con oxígeno y 100-600 A para el corte con nitrógeno, mientras que el voltaje de entrada es 200-600 V con una transmisión de potencia trifásica.

b) Gases: ¿cuáles y cuándo se usan?: Los gases utilizados comúnmente para el corte de acero dulce (acero al carbono), acero inoxidable, aluminio y diversos materiales exóticos son aire comprimido, oxígeno, nitrógeno y una mezcla de argón/hidrógeno. Se usan combinaciones de estos gases como gas plasmanógeno y gas auxiliar. Por ejemplo,

para el corte de acero dulce, se suele utilizar nitrógeno como gas plasmanógeno al inicio del corte, oxígeno como gas plasmanógeno de corte y aire comprimido como gas auxiliar.

El oxígeno se utiliza para el acero dulce porque produce cortes de alta calidad en materiales de hasta 32 mm de espesor. El oxígeno también se puede usar como gas plasmanógeno para el corte de acero inoxidable y aluminio, pero se produce un corte de aspecto irregular.

El nitrógeno es adecuado como gas plasmanógeno y gas auxiliar, ya que produce una excelente calidad de corte en casi cada tipo de metal. Se utiliza para aplicaciones de alta corriente para cortar metales de hasta 3 pulgadas de espesor, y como el gas auxiliar para cortar con plasma de nitrógeno y argón/hidrógeno.

El aire comprimido es el gas de uso más común, ya sea como gas plasmanógeno o como gas auxiliar. Funciona bastante bien para aplicaciones de corte de baja corriente en metales de hasta 1 pulgada de espesor, dejando una superficie de corte oxidada. Se utiliza como gas auxiliar durante el corte con plasma de aire, nitrógeno u oxígeno.

Para el corte de acero inoxidable y aluminio, por lo general se elige una mezcla de argón/hidrógeno como gas plasmanógeno. Proporciona un corte de alta calidad y se requiere para el corte mecanizado de material con un espesor superior a las 3 pulgadas.

El dióxido de carbono también se puede utilizar como gas auxiliar en el corte con plasma de nitrógeno, ya que corta la mayoría de los metales y proporciona una buena calidad de corte. Otros dos tipos de gases usados ocasionalmente en el proceso de corte por plasma son nitrógeno/hidrógeno y metano [24] [25].

CAPÍTULO 2.
DISEÑO

2.1. Diseño Técnico Electromecánico

2.1.1. Mecánica del eje Z.



Figura 22: Transmisión de tornillo trapecial
Fuente: Catálogo THK – Guías de movimiento lineal

El desplazamiento vertical de la herramienta de corte será realizado mediante un sistema de tornillo roscado sobre guías rectificadas laterales, cuyas características técnicas son las que se presentan en la tabla 4, para revisar la ficha técnica del fabricante ver Anexo 1 [26]

Tabla 4: Especificaciones técnicas del sistema de transmisión

Sistema de Transmisión	
Marca:	THK
Tipo:	SBK Tornillo de bolas
Diámetro:	20mm
Número de hélices:	1
Paso:	5mm
Perfil del filete:	Trapezoidal
Longitud:	300mm
Material:	Acero al carbono

Fuente: Catálogo THK – Guías de movimiento lineal



Figura 23: Sistema de movimiento lineal de varias dimensiones
Fuente: Catálogo THK – Guías de movimiento lineal

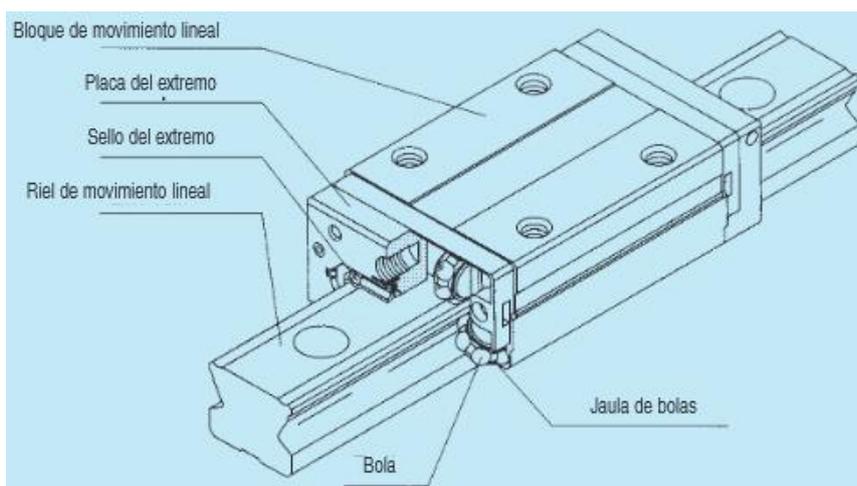


Figura 24: Componentes del sistema de movimiento lineal
Fuente: Catálogo THK – Guías de movimiento lineal

Tabla 5: Especificaciones técnicas del sistema de movimiento lineal

Sistemas de movimiento lineal	
Marca:	THK
Modelo	SSR 15 tipo Caged Ball
Tipo de carga:	Radial
Cantidad:	2
Dimensiones:	300 x 15 x 10 mm
Tipo de Rodamiento:	Jaula de bolas recirculantes

Fuente: Catálogo THK – Guías de movimiento lineal

2.1.2. Motor del eje Z.

Se seleccionó un motor paso a paso bipolar con las características presentadas en la tabla 6, para revisar la ficha técnica completa del fabricante ver Anexo 2 [27]



Figura 25: Motor paso a paso bipolar

Fuente: https://www.alibaba.com/product-detail/High-torque-nema-23-24v-stepper_60390080980.html?spm=a2700.7724838.0.0.tr9ZbE

Tabla 6: Especificaciones técnicas del motor paso a paso bipolar

Bipolar Stepper Motor NEMA 23			
Especificaciones Comunes		Especificaciones Eléctricas	
Ángulo de paso	1,8°	Voltaje	24VCC
Numero de Fases	2	Corriente por Fase	3,5 Amperios (Bipolar Parallel)
Torque	425 Oz-in / 30 Kg-cm		

Fuente: https://www.alibaba.com/product-detail/High-torque-nema-23-24v-stepper_60390080980.html?spm=a2700.7724838.0.0.tr9ZbE

2.1.3. Driver.



Figura 26: Driver WOTO 2H606T

Fuente: <http://www.wotomotor.com/product/2H606T.html>

El driver seleccionado es de la casa fabricante WOTO modelo 2H606T con las características listadas a continuación [28].

1. Uso de nuevo algoritmo senoidal de microsegmentación digital
 2. Soporta control de pulsos de entrada Single / Dual
 3. Prueba de funcionamiento, falla de energía, función de memoria de fase
 4. Precisión de posicionamiento, bajo nivel de ruido, pequeño aumento de la temperatura, alta eficiencia.
 5. Operación simple, multifunción, alto rendimiento, rentable.
 6. Protección contra cortocircuitos, sobretensión, subtensión, temperatura excesiva y mejora de funciones.
 7. Los parámetros del motor se adaptan automáticamente en funcionamiento para garantizar la máxima activación de todos los elementos de la función motora.
- Los valores de corriente y micropasos disponibles para ser configurados en este driver son los que se presentan en la tabla 7, para revisar la ficha técnica del fabricante ver Anexo 3.

Tabla 7: Configuración de pines para selección de corriente en el Driver 2H606T
Working current setting (OFF=0, ON=1) :

Current	SW1	SW2	SW3
1.4	0	0	0
2.1	1	0	0
2.7	0	1	0
3.2	1	1	0
3.8	0	0	1
4.3	1	0	1
4.9	0	1	1
5.6	1	1	1

Fuente: <http://www.wotomotor.com/product/2H606T.html>

Tabla 8: Configuración de pines para selección de micropasos en el Driver 2H606T

Microstep	SW5	SW6	SW7	SW8
200	0	0	0	0
400	1	0	0	0
500	0	1	0	0
800	1	1	0	0
1000	0	0	1	0
1250	1	0	1	0

1600	0	1	1	0
2000	1	1	1	0
2500	0	0	0	1
3200	1	0	0	1
4000	0	1	0	1
5000	1	1	0	1
6400	0	0	1	1
8000	1	0	1	1
10000	0	1	1	1
12800	1	1	1	1

Fuente: <http://www.wotomotor.com/product/2H606T.htm>

2.1.4. THC.

El THC seleccionado es de la casa fabricante AGELKOM, modelo CAP 04.



Figura 27: Componentes del sistema THC marca AGELKOM modelo CAP04
Fuente: www.cnc4pc.com

Características:

El modelo Cap04V tiene cinco salidas LED indicadoras: Down (bajando), In Position (posicionado), Up (subiendo), Touch the plate (toca la mesa) y Cable Fauly (Avería de cableado).

Circuito separado para el indicador de TOUCH, no es ohmico (relativo a la resistencia eléctrica que hay entre dos puntos de un conductor) y puede ser utilizado en materiales corroídos ó pintados.

El modelo Cap04V tiene una característica adicional, la altura puede ser controlada por una unidad externa de voltaje 0-10 VCC para control remoto de la altura.

Permite ajustar la altura de corte mediante su mando CNC.

Interactúa directamente con Mach3, su funcionamiento dentro del ciclo de corte es iniciado por el comando M03 dentro del código G y finaliza con el comando M05 [29].

2.1.5. Tarjeta de Interfaz (Breakout Board).

Los datos de la tarjeta de interfaz seleccionada son los que se presentan en la tabla 9, para revisar la ficha técnica del fabricante ver Anexo 3 [30].

Tabla 9: Datos de la tarjeta de interfaz (Breakout Board)

DUAL PORT MULTIFUNCTION CNC BOARD	
Marca	CNC4PC
Modelo	C32s
Puertos Paralelos	2
Entradas de datos	18
Salidas de datos	16
Estandar compatible	IEEE 1284
Optoacoplada	SI
Energía de funcionamiento	5VDC 2Amp

Fuente: <http://cnc4pc.com/c32s-dual-port-multifunction-board.html>



Figura 28: Tarjeta Interfaz marca CNC4PC modelo C32s
Fuente: <http://cnc4pc.com/c32s-dual-port-multifunction-board.html>

- Esta tarjeta es diseñada para proporcionar una conexión flexible y fácil utilizando cableado estándar de red RJ45 en todas las entradas y salidas.
- Funciona con puertos paralelos regulares.
- Esta placa viene con conectores que permiten la conexión directa de una Junta Ethernet Smooth Steeper o USB (de Warp9 Tech Design Inc) ó más puertos DB25.
- Tiene incorporados dos Relés electromecánicos con posiciones NA y NC.
- LEDs de estado en todas las entradas y conexiones de salida.
- Capacidad de control de velocidad variable.
- Tiene una salida analógica 0-10VDC optoaislada que convertirá una señal de paso en una señal analógica que se puede utilizar para ordenar una VFD comercial, esta señal analógica se puede ajustar con el potenciómetro incorporado, por lo que esta placa puede ser ajustada para otras tensiones.

2.1.6. Ethernet Smooth Stepper (ESS).

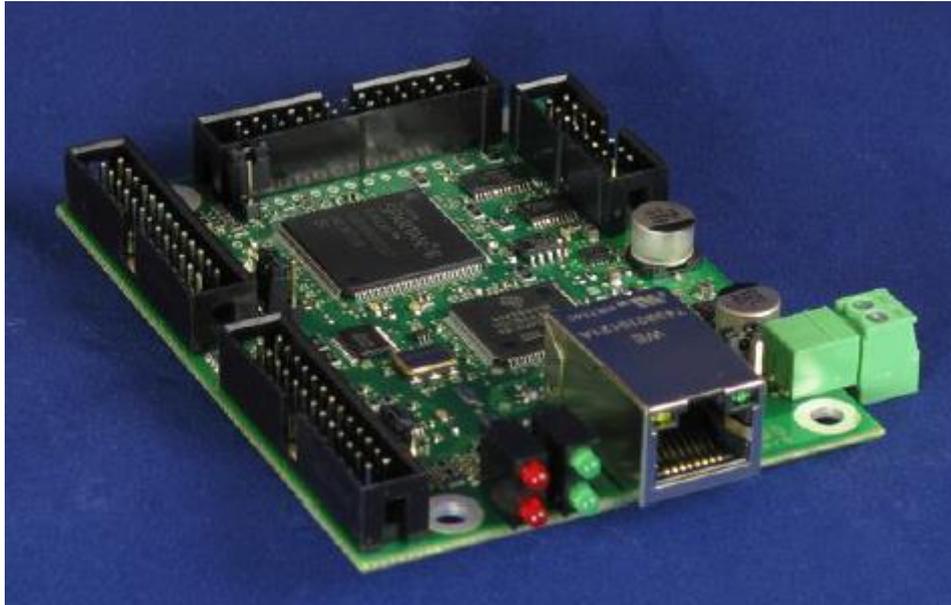


Figura 29: Tarjeta Ethernet Smooth Stepper marca CNC4PC
Fuente: <http://cnc4pc.com/ethernet-smooth-stepper-board-954.html>

La tarjeta Ethernet Smooth Stepper se conecta directamente a la Tarjeta Interfaz mediante la junta incorporada en dicha tarjeta, su función es utilizar señales de entrada Ethernet y emular hasta tres puertos paralelos de salida.

Entre las características principales de esta tarjeta se destaca el hecho de que genera pulsos superiores a 4Mhz y trabaja directamente con Mach3 (el plugin se encuentra disponible en el sitio web del fabricante www.cnc4pc.com) [31].

2.2. Diseño Informático

2.2.1. Requerimientos mínimos.

Los requerimientos mínimos del equipo de control CNC para obtener tiempos de respuesta aceptables, con baja latencia (nanosegundos), poder garantizar una velocidad estable de funcionamiento y precisión en el movimiento de los motores de la máquina, conforme el análisis de los requerimientos conjuntos del software y hardware a instalarse, deben ser los siguientes:

Tabla 10: Requerimientos mínimos del equipo de control CNC

Equipo de Control CNC	
Procesador	1,6 MHz 32 bits
RAM	1 GB
Disco Duro	60 GB

Tarjeta Gráfica	interna de 1024x768
Red	Tarjeta Ethernet 10/100/1000
Monitor	LCD 17"
Puertos paralelos	1

Elaborado por el autor

2.2.2. Arquitectura del Equipo de Control.

El Equipo de Control se encuentra distribuido en varios componentes como se muestra en la Figura 30.

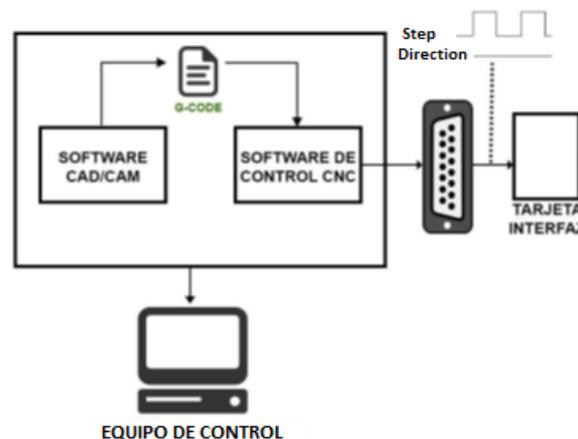


Figura 30: Arquitectura del equipo de control

Fuente: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/31094>

El equipo de control incorpora las herramientas CAD y CAM que luego de generado el código G es interpretado por el Software de Control CNC que envía las señales digitales de paso y dirección a la Tarjeta Interfaz (breakout Board) mediante el puerto ethernet, esta distribuye las señales hacia cada uno de los controladores de los motores de paso y el THC para el movimiento y control de la herramienta de la maquina CNC, también tiene la capacidad de recibir señales de sensores y switches para retroalimentar al software de control.

2.2.3. Sistema Operativo.

La plataforma elegida es Windows XP, ya que los plugins del THC y de la tarjeta Ethernet Smooth Stepper han sido diseñados para funcionar con software que corre únicamente en esta plataforma.

2.2.4. Sistema de Control CNC.

El sistema de control que se utilizará será Mach3 debido a que los plugins del THC y de la tarjeta Ethernet Smooth Stepper han sido diseñados para trabajar únicamente con este sistema.



Figura 31: Mach3
Elaborado por el autor

2.2.5. Herramienta CAD.

Se utilizará la herramienta AUTOCAD de Autodesk, mismo que ofrece soporte multiplataforma (Windows, Mac, Linux), una gran cantidad de herramientas de edición y modelado de imágenes, cuenta con un editor geométrico interactivo, procesamiento de imágenes y señales, además de una gran capacidad de renderizado, es una herramienta de diseño computarizado (o CAD) completa.

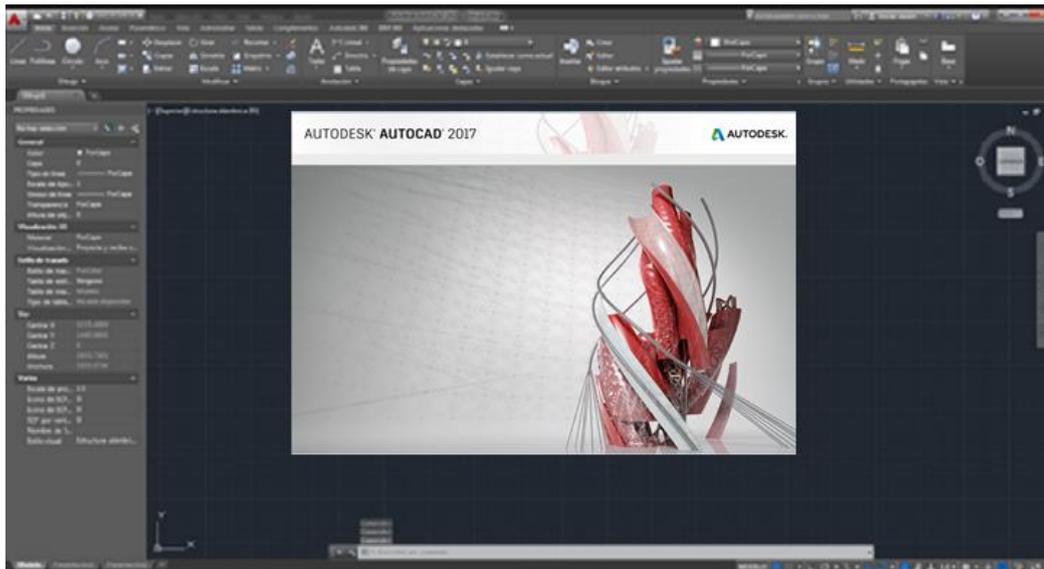


Figura 32: Autodesk Autocad 2017
Elaborado por el autor

2.2.6. Herramienta CAM.

Como herramienta CAM se utilizará el software de vectorización “SheetCam” que tiene integrado varios pos-procesadores utilizados para la creación de la trayectoria de la herramienta de corte y su representación en código G para máquinas de hasta 5 ejes.

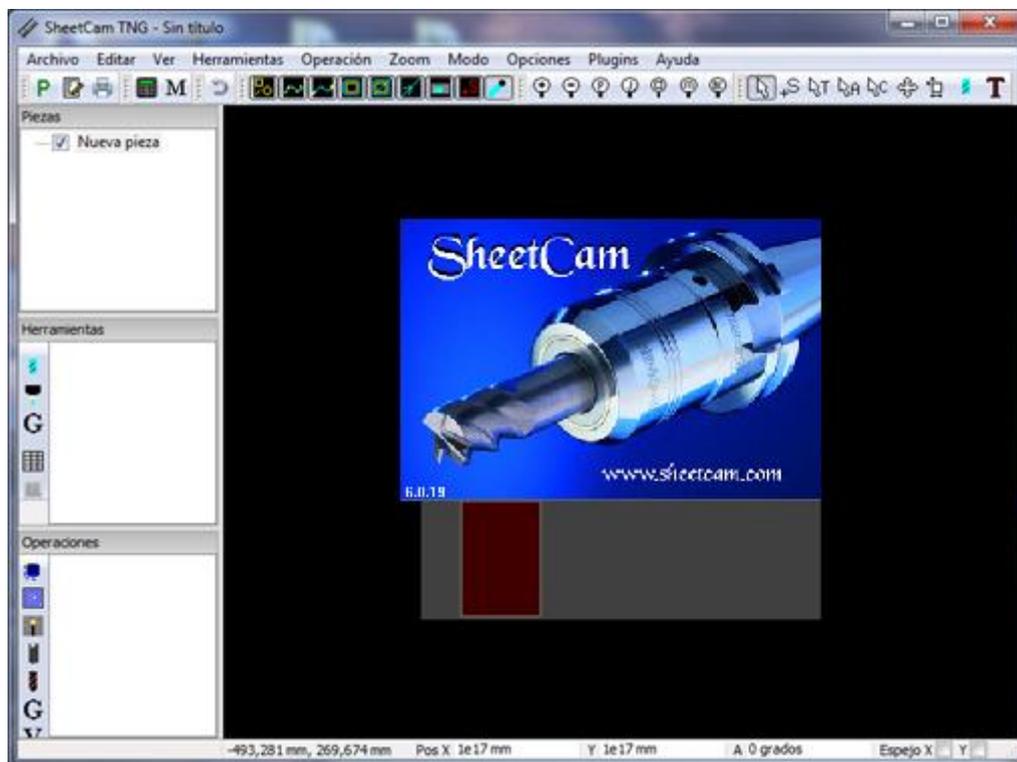


Figura 33: SheetCam
Elaborado por el autor

CAPITULO 3.

IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA HARDWARE

3.1. Montaje e instalación del CPU y periféricos en la máquina

Con el fin de mejorar la flexibilidad y ergonomía en el puesto de trabajo agilizando el proceso productivo, se construyó un *case* desmontable incorporado a la bancada de la MCCP, dentro del cual se instaló la *Motherboard* con todos sus componentes (CPU) y sobre el cual se instaló el teclado, el mouse, el monitor y las botoneras de inicio y parada de emergencia como se aprecia en la Figura 34.



Figura 34: Equipo de control instalado en la MCCP
Elaborado por el autor

3.2. Montaje de la mecánica del eje Z y el puntero laser

El sistema de movimiento lineal (guías, rodamientos, etc), el sistema de transmisión y el motor paso a paso fue montado conforme a la geometría de la mesa de corte, considerando los desplazamientos máximos y mínimos propios de este tipo de equipo, así como el puntero laser fue instalado en paralelo al sistema de movimiento lineal para que la posición del punto sobre la plancha no varíe al subir o bajar la antorcha, conforme se aprecia en la figura 35.

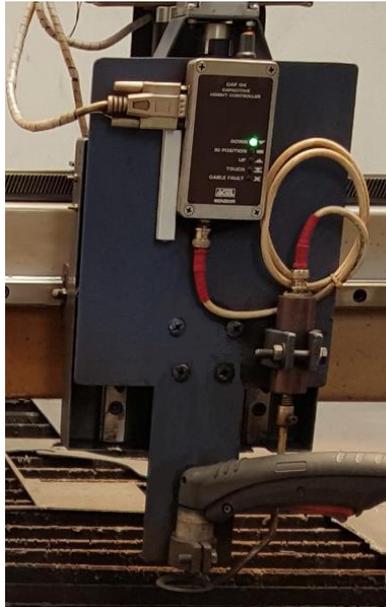


Figura 35: Mecánica del eje Z en la MCCP
Elaborado por el autor

3.3. Montaje e instalación eléctrica del THC

El sistema THC se instaló de conformidad con las especificaciones que brinda el fabricante (figura 36), tanto en sus componentes mecánicos como eléctricos, se comunica con Mach3 mediante el puerto paralelo, por lo cual los pines a ser utilizados debieron ser configurados conforme su utilización física.

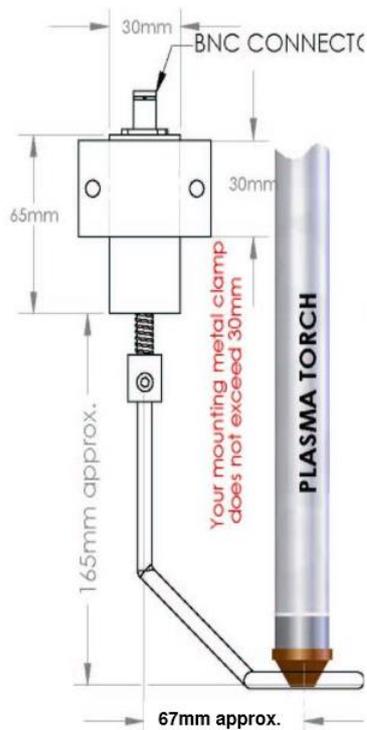


Figura 36: Especificaciones de instalación del sensor capacitivo THC
Fuente: <http://www.agelkom.com.tr/drawings.htm>

El diagrama de conexiones conforme al fabricante es el que se indica en la figura 39.

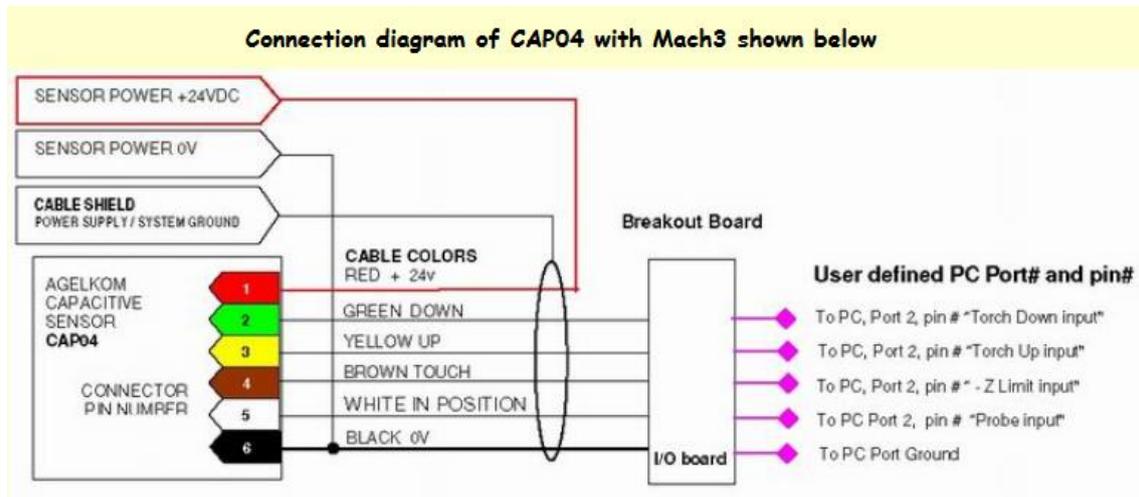


Figura 37: Diagrama de conexiones del THC
Fuente: <http://www.agelkom.com.tr/mach3.htm>

3.4. Montaje e instalación del gabinete de control eléctrico

Para aislar y precautelar la integridad de la electrónica, se incorporó un gabinete de control (figura 38) que comprende: la tarjeta Breakout Board C32 acoplada la tarjeta Ethernet Smooth Stepper para el control de los motores de los ejes, los drivers de los motores paso a paso, tarjetas RJ45 breakout board, la tarjeta breakout Board C10 para control del THC y el autoposicionador laser, la fuente de alimentación del THC, tablero de distribución eléctrica y las fuentes de energía para las tarjetas.

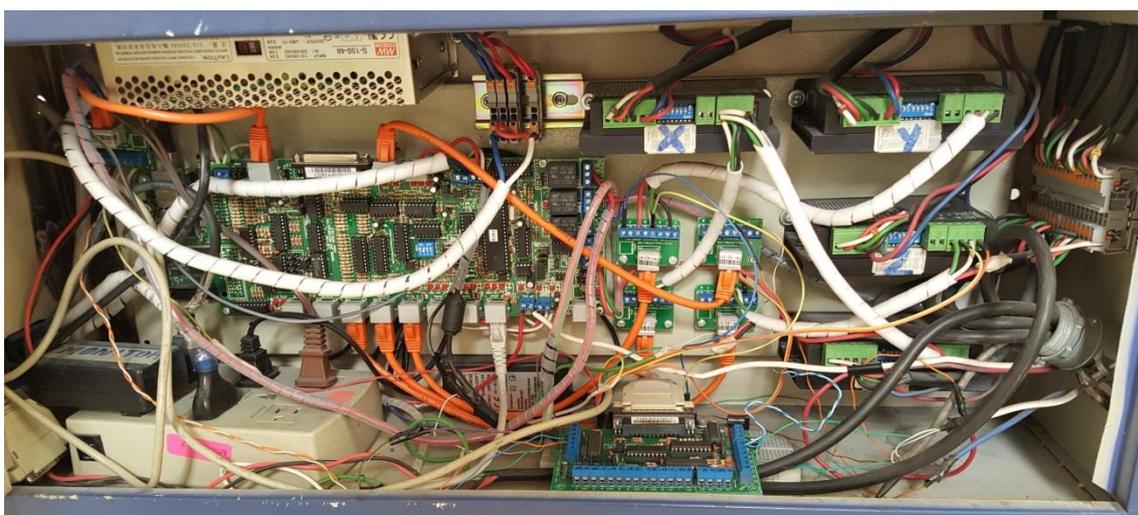


Figura 38: Gabinete de control eléctrico de la MCCP
Elaborado por el autor

CAPÍTULO 4.

INTEGRACIÓN DE LA ARQUITECTURA SOFTWARE

4.1. Instalación del Sistema Operativo

El sistema operativo Windows XP 32bits fue instalado sin inconvenientes con la configuración estándar que trae por defecto el instalador, en un CPU con las características que se presentan en la tabla 11, los drivers de video y audio debieron ser actualizados desde el panel de control mediante una conexión a internet.

Tabla 11: Características del equipo de control CNC

Equipo de Control CNC	
Procesador	1,6 MHz 32 bits
RAM	1 GB
Disco Duro	250 GB
Tarjeta Gráfica	interna de 1024x768
Red	Tarjeta Ethernet 10/100/1000
Monitor	LCD 17"
Puertos paralelos	1

Elaborado por el autor

4.2. Instalación del software de control CNC (MACH3)

4.2.1. Instalación y configuración inicial.

El instalador del software Mach3 se encuentra disponible para su descarga en el sitio web del fabricante ArtSoft Corporation www.artofcnc.ca, que le da un periodo de prueba por tiempo limitado con unas cuantas limitaciones en la velocidad, el tamaño de trabajo que puede encarar y características especiales soportadas, luego de lo cual se compra una licencia que procede a "desbloquear" la versión de demostración que ha sido instalada y configurada previamente.

4.2.2. Creación del entorno gráfico personalizado.

La pantalla que por defecto posee Mach3 debe ser modificada para poder interactuar con el THC y el autopositionador laser ya que no cuenta con los DRO para el ingreso de datos, los botones, los LEDs ni etiquetas respectivos, por lo cual se utilizó el software *Mach3 Screen Designer* y *Screen Tweak* de Artsoft creador de Mach3.

Por lo tanto la siguiente pantalla fue creada de conformidad a los requerimientos necesarios pensados para la correcta y ágil interacción con el usuario.

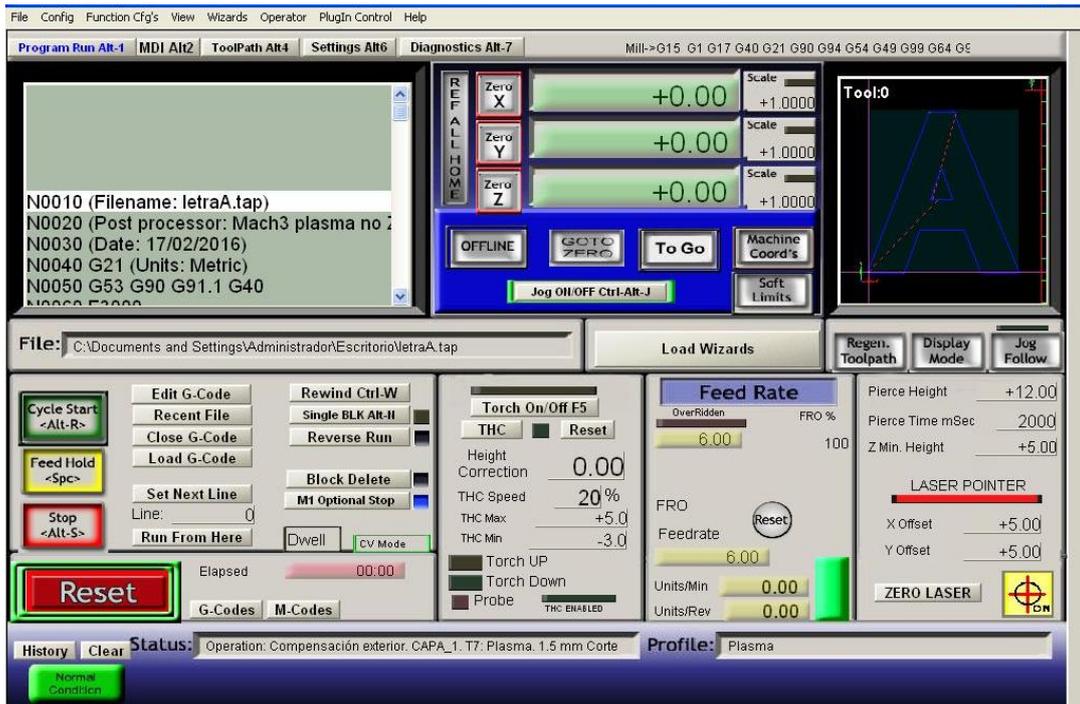


Figura 39: Entorno gráfico personalizado de Mach3
Elaborado por el autor

Los botones, DROs y LEDs se codificaron de acuerdo a los códigos OEM que utiliza por defecto Mach3 para sus diversas actividades, siendo los indispensables los que se presentan en la tabla 12.

Tabla 12: Códigos OEM utilizados en interfaz gráfica personalizada

Tipo	Código OEM	Función	Ubicación en IDE
DRO	1000	Pierce Height	Ingreso de altura de perforación
DRO	1001	Pierce Time	Ingreso de tiempo de perforación
DRO	1002	Z Min Height	Altura de trabajo
DRO	1101	X Offset	Ingreso desplazamiento en X del laser
DRO	1102	Y Offset	Ingreso desplazamiento en Y del laser
Button	233	output 4 ON	Botón enciende Laser
Button	234	output 4 OFF	Botón Zero Laser
Button	110	Torch On/Off	Botón enciende Antorcha
Button	123	Torch Enable Toggle	Botón THC
Button	124	Torch Call Zero	Botón Reset
LED	11	Torch ON	LED indicador de antorcha activa
LED	77	output 4 ON	LED indicador de laser activo
LED	24	THC ON	LED indicador de THC activo

Elaborado por el autor

En el botón de autopoicionamiento laser “ZERO LASER” se incluyó el script desarrollado en Visual Basic que es presentado más adelante.

Los Screens o pantallas de Mach3 se guardan con la extensión **.set** para ser reconocidos por el software, por lo cual el nuevo entorno de trabajo fue guardado con el nombre *laser01.set* dentro de la ruta de instalación de Mach3 *C:\Mach3* y debe ser activada desde *View / Load Screens*.

4.3. Configuración del THC

4.3.1. Configuración general del THC.

La configuración de pines y puertos utilizados para el envío de señales de paso y giro a los drivers de los motores de los ejes, así como de las señales respectivas al THC es la que se presenta en la tabla 40.

Signal	Enabled	Step Pin#	Dir Pin#	Dir LowActive	Step Low Ac...	Step Port	Dir Port
X Axis	✔	2	3	✔	✘	1	1
Y Axis	✔	4	5	✔	✘	1	1
Z Axis	✔	6	7	✔	✘	1	1
A Axis	✘	0	0	✘	✘	0	0
B Axis	✘	0	0	✘	✘	0	0
C Axis	✘	0	0	✘	✘	0	0
Spindle	✘	0	0	✘	✘	0	0

Figura 40: Configuración de pines de motores
Elaborado por el autor

La configuración de entradas (inputs) utilizada para receptor señales de los sensores fin-carrera, parada de emergencia y retroalimentación del THC es la que se presenta en las figuras 41 y 42.

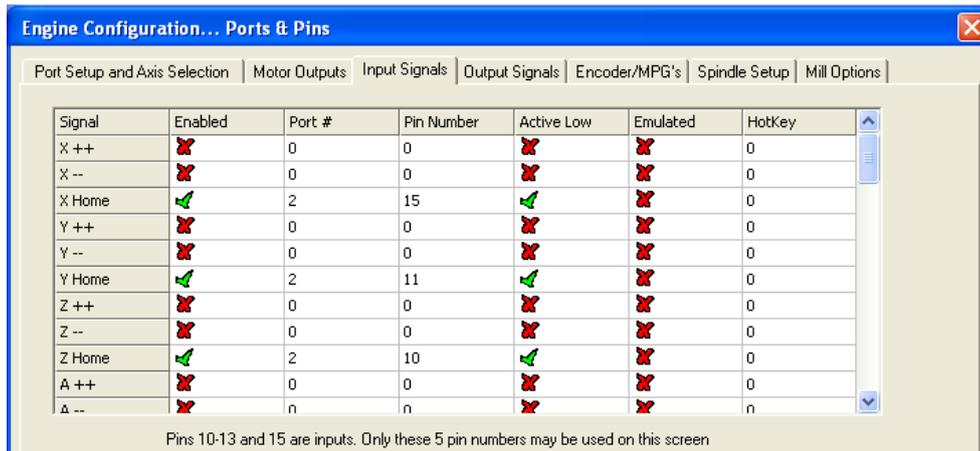


Figura 41: Configuración de señales de entrada (1)
Elaborado por el autor

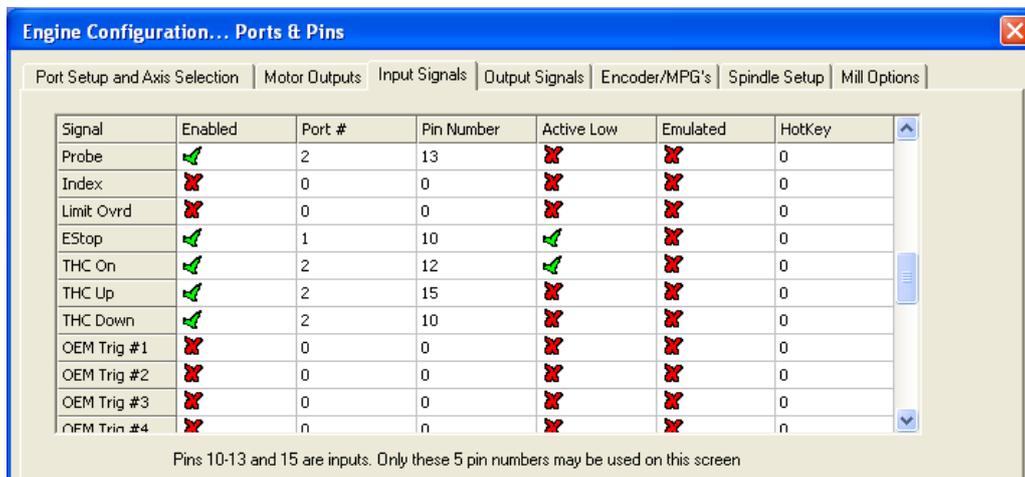


Figura 42: Configuración de señales de entrada (2)
Elaborado por el autor

La configuración de salidas (outputs) utilizada para el autopoicionador laser es la que se presenta en la figura 43.

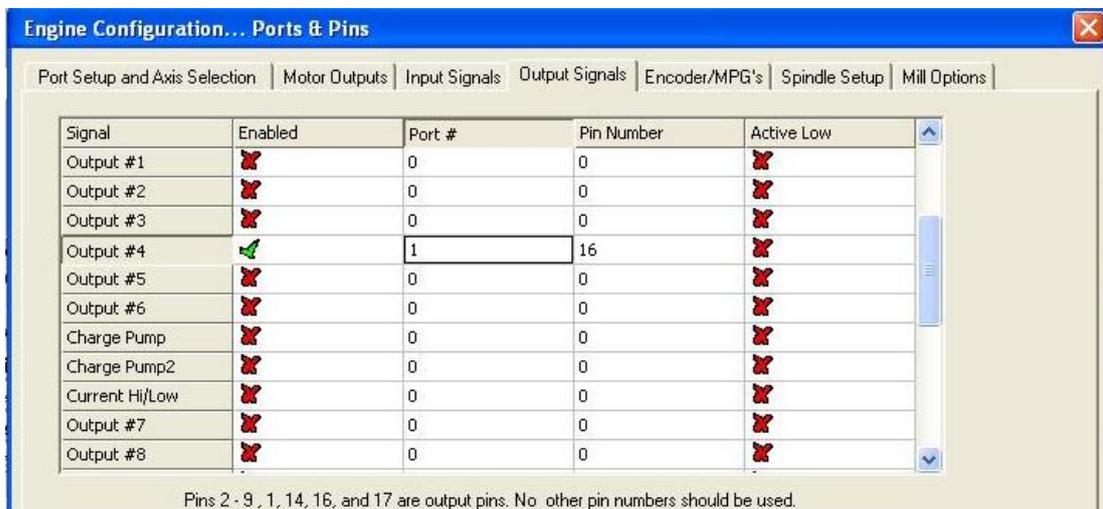


Figura 43: Configuración de señales de salida
Elaborado por el autor

Seguindo la siguiente ruta: Config>GeneralConfig se debe activar el casillero "G04 Dwell.in ms" para que funcione la temporización mientras se realiza la perforación.

4.3.2. Creación del Macro "M3.m1s".

Para que el THC pueda funcionar, debe crearse un macro en lenguaje Visual Basic (VB Script) que se ejecutará cuando en el código de trabajo se encuentre la instrucción M03, dicho script hará que el THC realice lo siguiente: la antorcha baje en el eje Z hasta la altura de corte, suba hasta la altura de perforación, realice una pausa hasta que se realice la perforación, baje a la altura de corte y continúe el desplazamiento horizontal sensando la distancia al material base y ajustando la altura de la antorcha de acuerdo a las deformaciones que se van produciendo por el calor generado al realizar el corte.

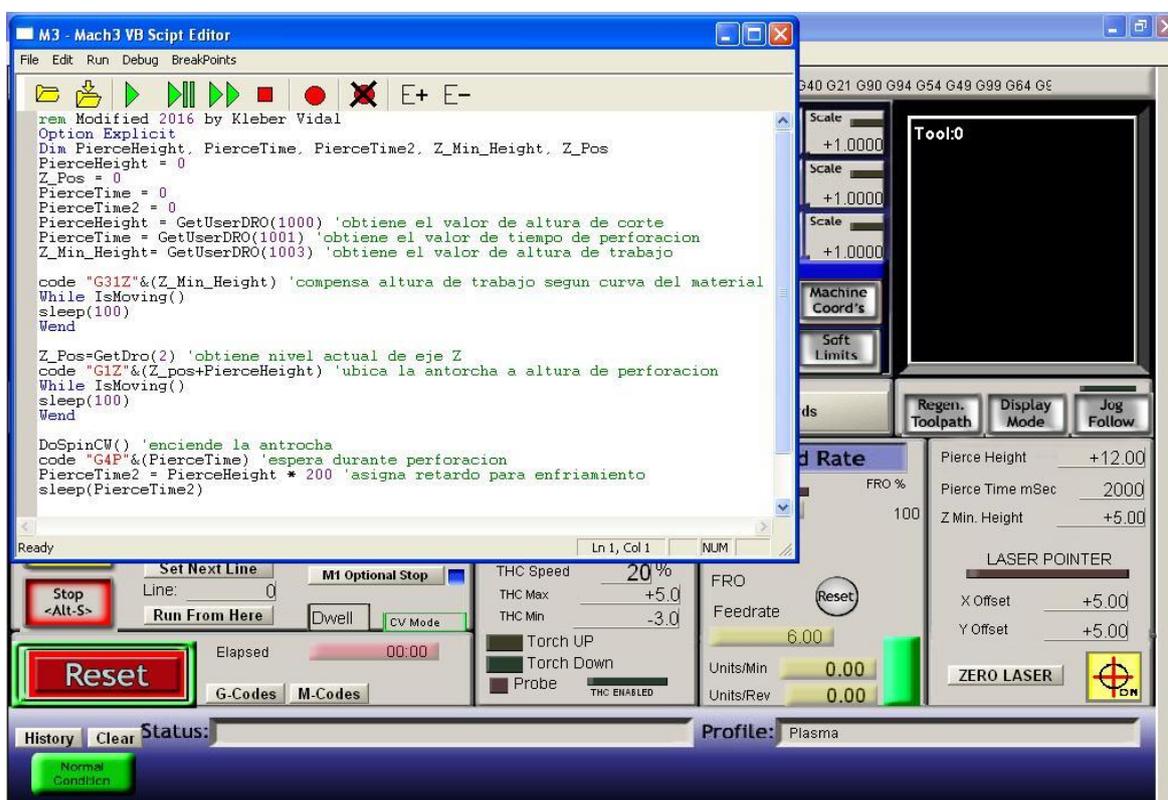


Figura 44: Programación del macro m3.m1s
Elaborado por el autor

Las macros en Mach3 tienen la extensión ".m1s", por lo cual se creó el archivo "M3.m1s" con el siguiente código:

```

rem Modified 2016 by Kleber Vidal
Option Explicit
Dim PierceHeight, PierceTime, PierceTime2, Z_Min_Height, Z_Pos
PierceHeight = 0

```

```

Z_Pos = 0
PierceTime = 0
PierceTime2 = 0
PierceHeight = GetUserDRO(1000) 'obtiene el valor de altura de corte
PierceTime = GetUserDRO(1001) 'obtiene el valor de tiempo de perforación
Z_Min_Height= GetUserDRO(1002) 'obtiene el valor de altura de trabajo
code "G31Z"&(Z_Min_Height) 'compensa altura de trabajo según curva del material
While IsMoving()
sleep(100)
Wend
Z_Pos=GetDro(2) 'obtiene nivel actual de eje Z
code "G1Z"&(Z_pos+PierceHeight) 'ubica la antorcha a altura de perforación
While IsMoving()
sleep(100)
Wend
DoSpinCW() 'enciende la antorcha
code "G4P"&(PierceTime) 'espera durante perforación
PierceTime2 = PierceHeight * 200 'asigna retardo para enfriamiento
sleep(PierceTime2)

```

4.4. Configuración del Ethernet

La tarjeta Breakout Board se conecta con el equipo de control mediante Ethernet a través de la tarjeta “Ethernet Smooth Stepper” que de fábrica tiene asignada la dirección IP 10.9.9.1 con máscara de subred 250.250.250.0, misma que en la página web del fabricante cuenta con los plugins necesarios para trabajar con Mach3, luego de haberlo instalado se debe configurar Mach3 para que utilice la tarjeta “Ethernet Smooth Stepper” como unidad de movimiento como se aprecia en las figuras 45 y 46.

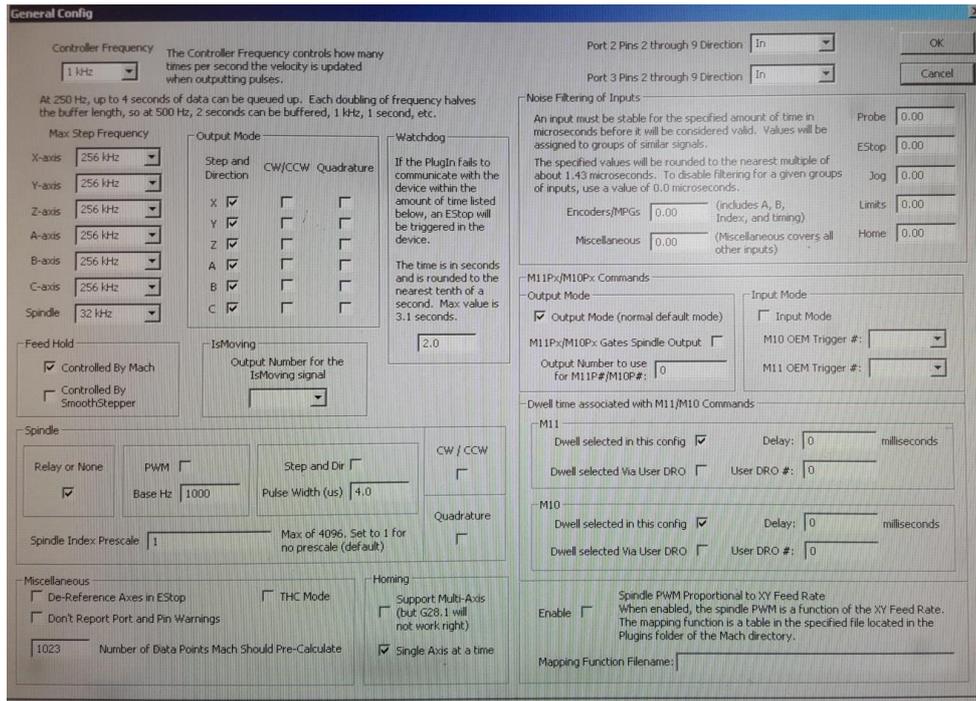


Figura 45: Configuración de Ethernet Smooth Stepper (1)
Elaborado por el autor

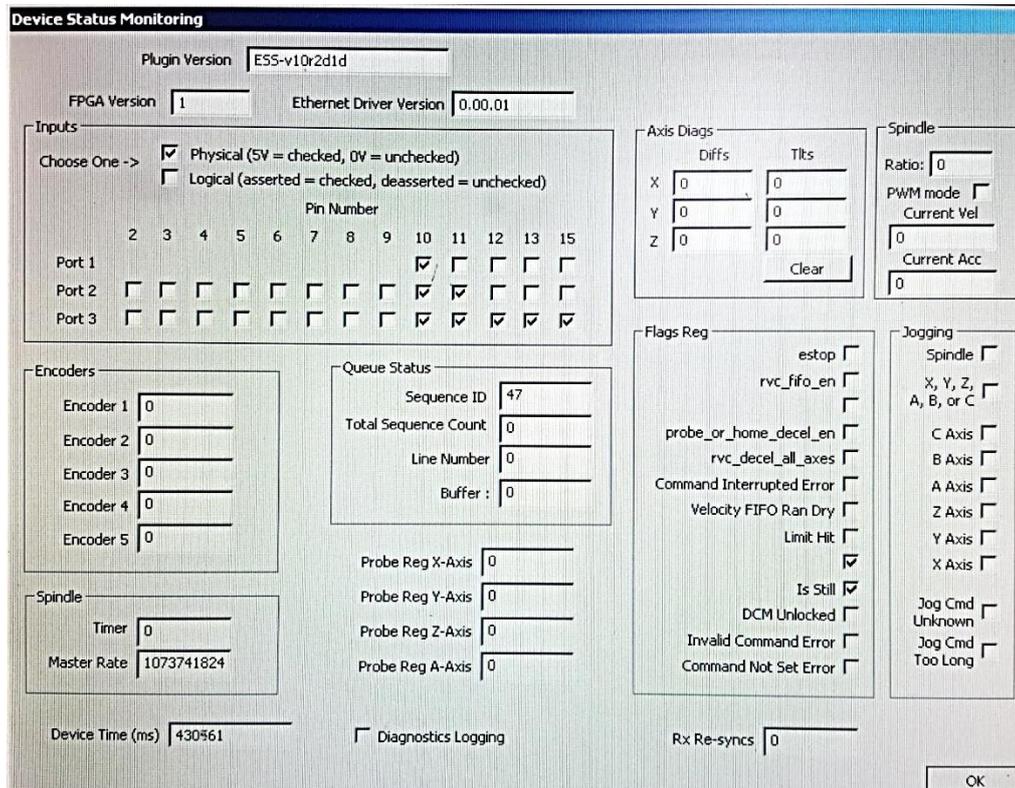


Figura 46: Configuración de Ethernet Smooth Stepper (2)
Elaborado por el autor

4.5. Script para autopoicionamiento laser

Debido a que frecuentemente es necesario establecer un punto de inicio de corte en un punto cualquiera (cero pieza) de la plancha a cortar, se implementó un sistema con puntero laser para agilizar el trabajo y que permite no solo el aprovechamiento de material que ya tiene cortes en su geometría, sino incluso continuar cortando desde un punto específico cuando por alguna circunstancia se ha paralizado el trabajo.

El script que se creó recopila las coordenadas del punto donde se ha ubicado el láser utilizando las hotkeys del teclado, a ese punto lo establece como punto de inicio y procede a desplazar la antorcha de acuerdo a la distancia (offset) entre el punto laser y el punto de corte de la antorcha, una vez que la antorcha ha sido autopoicionada, apaga el puntero laser y pone en cero los DRO de las coordenadas de los ejes X y Y para iniciar desde ese punto el trabajo.

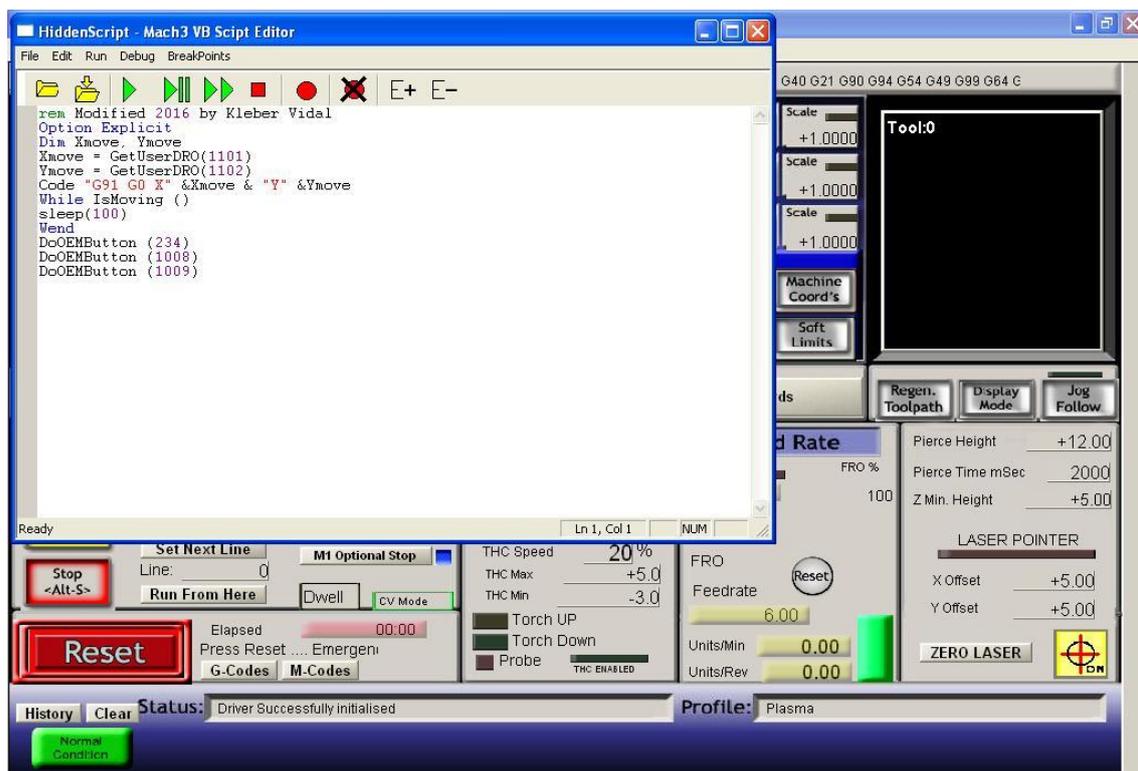


Figura 47: Script del autopoicionador laser
Elaborado por el autor

A continuación se presenta el script Visual Basic que se incluyó en el botón ZERO LASER:

```
rem Modified 2016 by Kleber Vidal
```

```
Option Explicit
```

Dim Xmove, Ymove

Xmove = GetUserDRO(1101) 'distancia offset eje X

Ymove = GetUserDRO(1102) 'distancia offset eje Y

Code "G91 G0 X" &Xmove & "Y" &Ymove 'Autoposicionamiento

While IsMoving ()

sleep(100)

Wend

DoOEMButton (234) 'apaga el puntero laser

DoOEMButton (1008) 'posicion actual asigna a Zero X

DoOEMButton (1009) 'posicion actual asigna a Zero Y

4.6. Creación de la red Ad Hoc Inalámbrica (de equipo a equipo)

Muchos son los factores por los cuales es preferible separar lo que es el ambiente de diseño del ambiente de producción donde se encuentra la MCCP, por lo cual las herramientas CAD y CAM fueron instaladas en una computadora ubicada en la oficina administrativa, donde en el proceso productivo se obtendrá el archivo con el código G que deberá ser cargado en la computadora que contiene el software de control CNC (Mach3) ubicada en planta, por tal motivo fue necesario crear una red Ad Hoc Inalámbrica entre los dos equipos con el fin de agilizar el proceso productivo.

La computadora administrativa a utilizarse es de tipo laptop que cuenta con una plataforma Windows 7 de 64 bits, microprocesador Intel Core i5, 4 GB de memoria RAM y WiFi integrado, mientras que en la computadora de planta al ser de tipo PC fue necesario colocar un dispositivo Wireless – USB.

Con los siguientes datos listados en la tabla 13, primero se configuró la red del PC por ser el equipo con menor tecnología para así evitar conflictos de compatibilidad ya que el dispositivo con mayor tecnología reconoce fácilmente a las versiones pasadas y se evitan errores de compatibilidad.

Tabla 13: Datos de configuración de red Ad Hoc inalámbrica

Grupo de Trabajo	CORTEPLASMA
Dirección IP de PC	192.168.1.1
Dirección IP de LAPTOP	192.168.1.2
Mascara de subred	255.255.255.0

Elaborado por el autor

4.7. Instalación de las Herramientas CAD y CAM

El software *Autocad 2017 español 32-64 bits* de Autodesk así como el software *SheetCam TNG V6.0.19 Stable version* fueron instalados en la ruta por defecto *C:/Program Files (x86)*, en el caso de Autocad se descargó el instalador en versión trial que brinda treinta días de prueba, desde el sitio web del fabricante: <http://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/free-trial#> luego de lo cual fué necesario adquirir y activar la licencia, mientras que la herramienta CAM SheetCam fue descargada desde el sitio web del fabricante: <http://www.sheetcam.com/downloads>, en ambos caso se realizó una instalación standard que no presentó ningún inconveniente para posteriormente realizar la activación de los productos en línea.

Para trabajar con SheetCam se eligió como postprocesador a EMC Plasma por sus funciones dirigidas expresamente al trabajo con plasma.

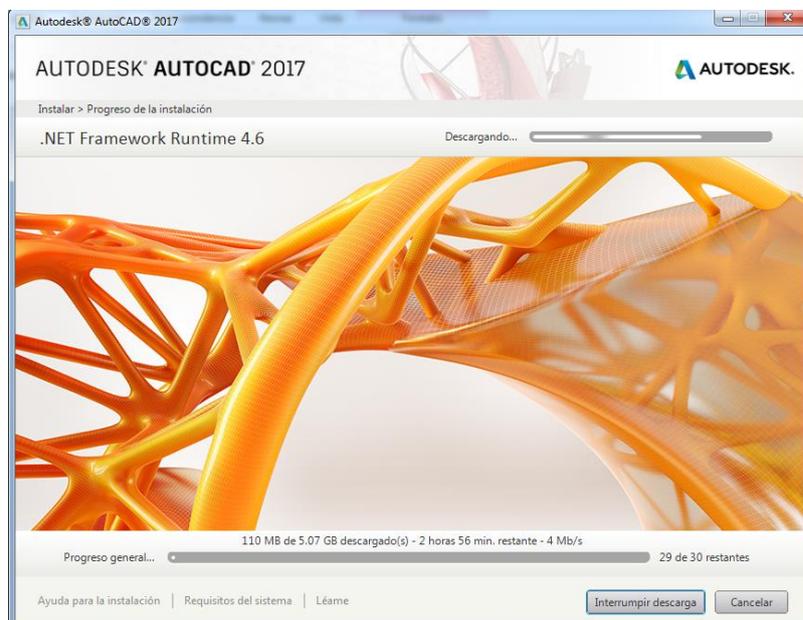


Figura 48: Instalación de Autocad 2017
Elaborado por el autor

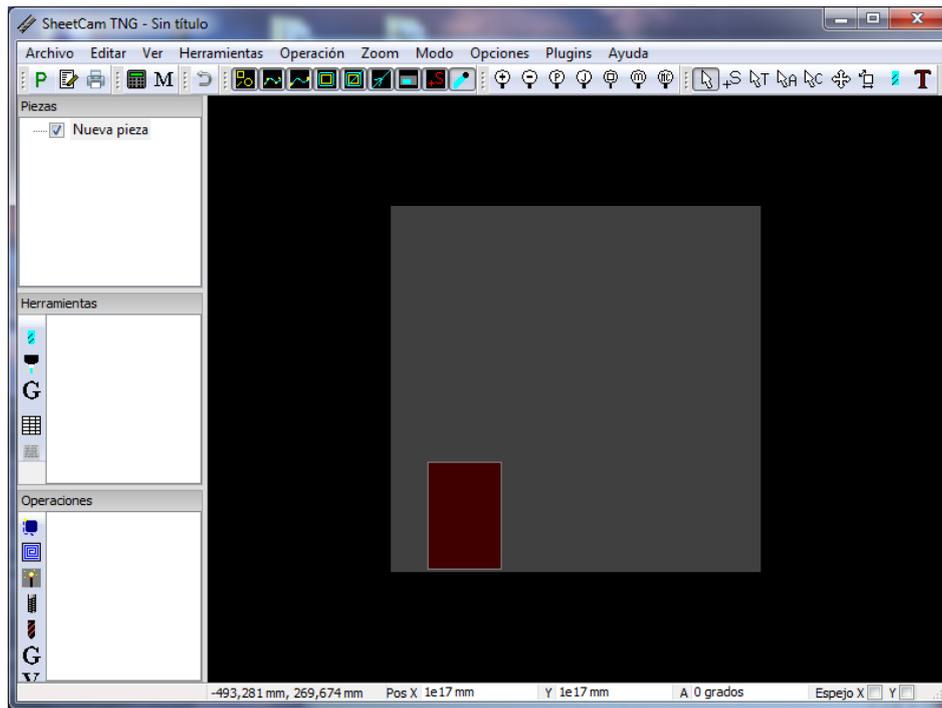


Figura 49: Instalación de SheetCam
Elaborado por el autor

CAPÍTULO 5.
PRUEBAS OPERATIVAS

5.1. Pruebas iniciales

Inicialmente se creó un espacio de pruebas operativas con el objeto de tener un sistema confiable y bien probado antes de ser montado y calibrado en la MCPP, por lo cual se construyó el cable DB25 que sirve para conectar el puerto paralelo del PC a una tarjeta Breakout cnc4pc C10, se conectó el respectivo driver 2H606T al cual se lo configuró de conformidad con las características del motor bipolar paso a paso (2500 microsteps/rev y 2,7A).

Se configuró los pines de salida de señales tanto de paso como de giro en Mach3 para posteriormente realizar las pruebas operativas que fueron exitosas.

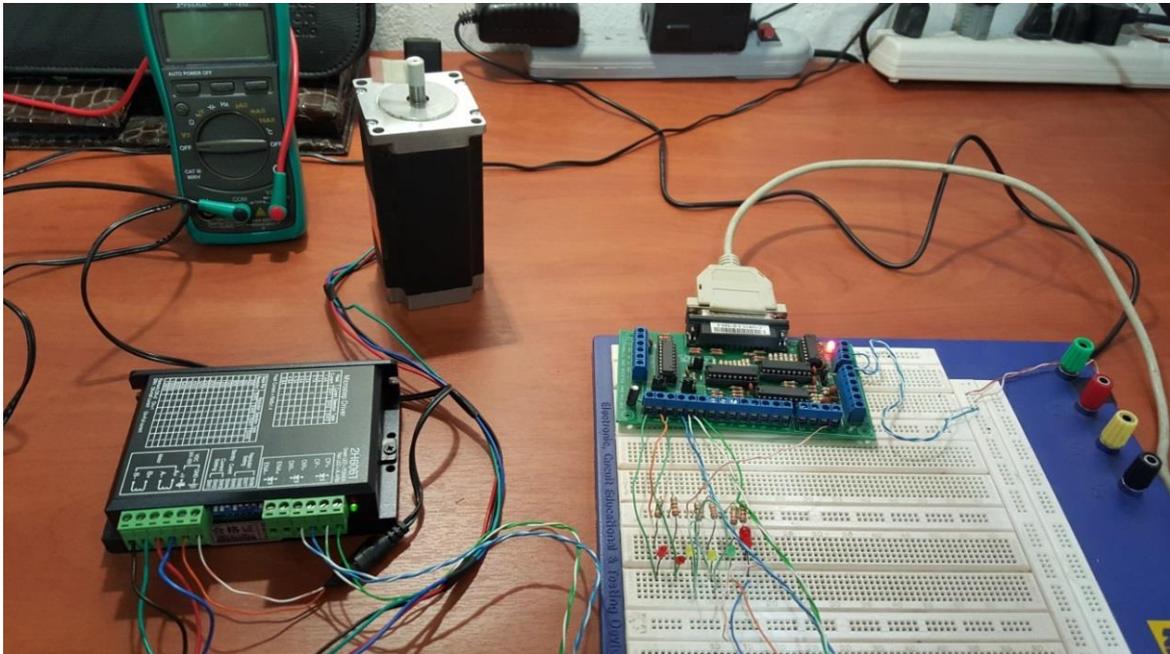


Figura 50: Equipo de prueba inicial
Elaborado por el autor

5.2. Afinación de los Motores paso a paso

Luego de instalados los motores paso a paso y configurados sus respectivos drivers, se realizaron ensayos prácticos de velocidad máxima enviando señales individuales desde Mach3 (Config>motor Tuning), a diferentes velocidades hasta encontrar la velocidad máxima de operación sin pérdida de pasos.

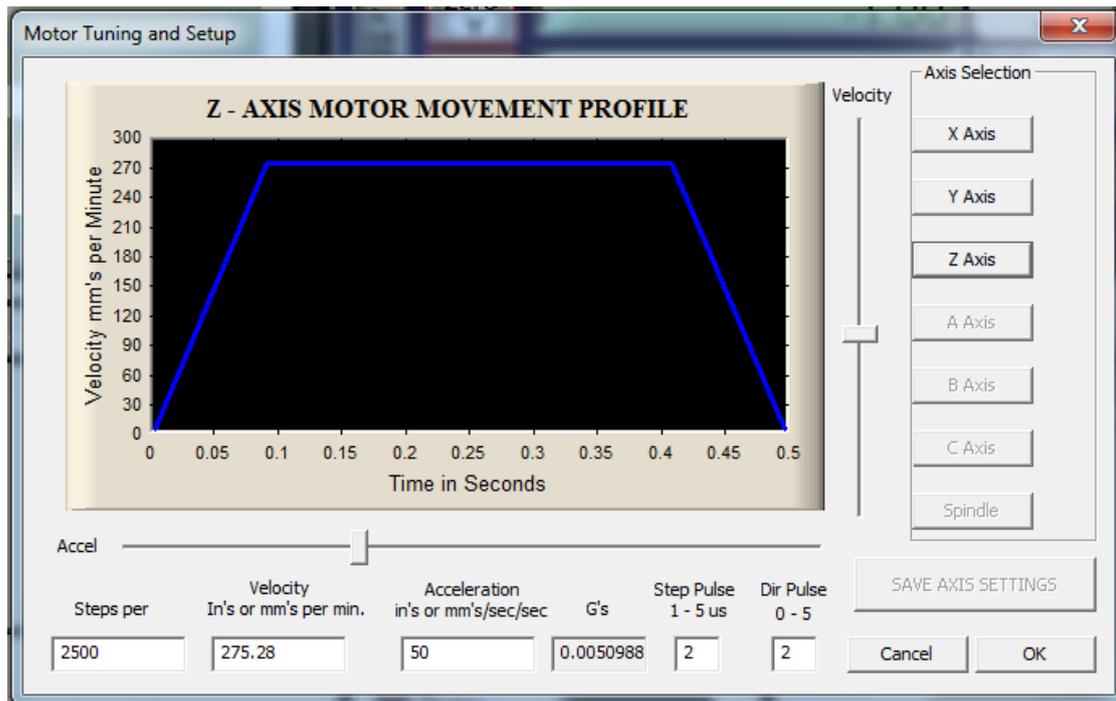


Figura 51: Afinación de motores en Mach3
Elaborado por el autor

Luego de realizar la prueba en los tres ejes se ha definido un valor máximo de velocidad inferior a los datos obtenidos para precautelar la integridad de los equipos, habiendo obtenido los valores presentados en la tabla 14.

Tabla 14: Resultado de afinación de motores en Mach3

EJE	Pasos por Revolución	Velocidad Máxima Prueba (mm/sec)	Aceleración (mm/sec)	Velocidad Máxima Definida (mm/sec)
X	2500	282,50	50,00	250,00
Y	2500	278,52	50,00	250,00
Z	2500	275,28	50,00	250,00

Elaborado por el autor

5.3. Prueba del THC

El THC al ser capacitivo sensa no solo metales sino cualquier material que se encuentre entre la plancha base y la antorcha por lo cual se le colocó intencionalmente obstáculos en su trayectoria, obteniendo una respuesta inmediata que hacía que se active el motor del eje Z y se eleve la antorcha hasta haber pasado el obstáculo, luego de lo cual inmediatamente retornaba a la distancia de corte preestablecida.

5.4. Prueba del autopoicionador laser

Luego de creado el nuevo screen de Mach3 y programado sus nuevas funcionalidades se realizó una prueba operativa del autopoicionador laser, para lo cual se configuraron los pines de salida y se instaló un puntero laser a la tarjeta breakout, se verificó que tanto el botón de encendido del puntero laser, los DRO para ingreso de datos de la distancia offset, el LED y el botón de autopoicionamiento cumplieron a cabalidad su propósito desplazando los ejes la distancia establecida para autopoicionar la antorcha en el punto a donde se desplaza inicialmente al puntero laser, luego de lo cual apaga el puntero laser y pone en cero las coordenadas de los ejes asumiendo el punto cero pieza.



Figura 52: Equipo de prueba de autopoicionador laser
Elaborado por el autor

5.5. Prueba General del Sistema

Con el objeto de verificar la funcionalidad de todos los sistemas de control y operativos en un ambiente industrial real que otorgue evidencia del nivel de precisión obtenido en la MCCP, se realizó una prueba para el corte de una letra N mayúscula que tiene las características que se observan en la figura 53 poder posteriormente comparar su variación dimensional en referencia a las medidas nominales listadas en la tabla 15.

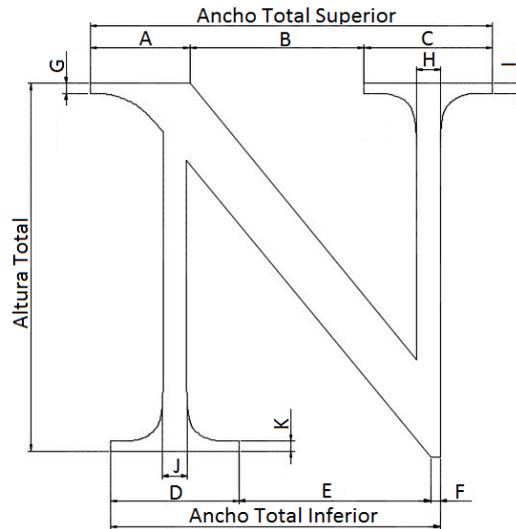


Figura 53: Letra de prueba
Elaborado por el autor

Tabla 15: Medidas nominales de la letra de prueba

	Medida Nominal (mm)
Altura Total	150,00
Ancho Total Superior	163,23
Ancho Total Inferior	133,70
A	40,44
B	70,71
C	52,08
D	52,08
E	77,70
F	3,92
G	4,04
H	10,00
I	4,04
J	10,30
K	4,04

Elaborado por el autor

Con la utilización de la herramienta CAD Autocad, se realizó el diseño de la letra con las dimensiones establecidas, conforme se aprecia en la figura 54.

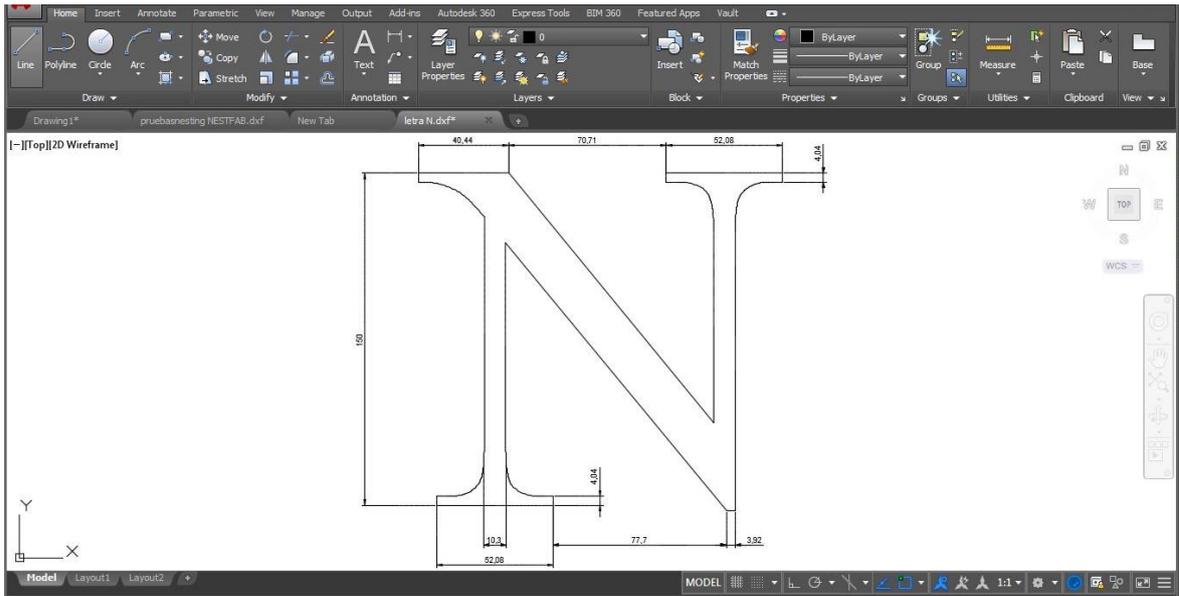


Figura 54: Letra realizada en Autocad
Elaborado por el autor

Con la utilización de la herramienta CAM SheetCam se realizó la compensación de corte (compensación exterior), selección de material (T21: Plancha negra), ancho de antorcha (2 mm), velocidades de corte (avance rápido, avance lineal y avance circular), amperaje de operación (40A), etc. y se realizó la generación del archivo *letraN.tap* con el código G respectivo que se lo ingresó en el equipo de control CNC, conforme se aprecia en la figura 55.

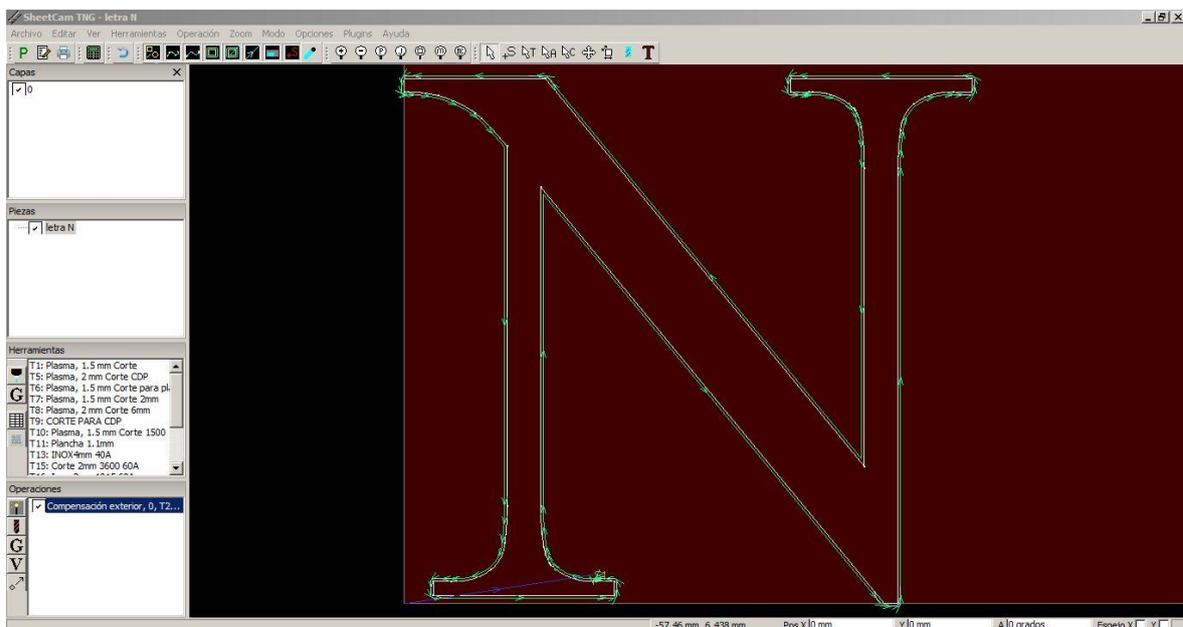


Figura 55: Compensación en SheetCam
Elaborado por el autor

El código G es el siguiente:

N0010 (Filename: letra N.tap)
N0020 (Post processor: Mach3 plasma no Z.scpost)
N0030 (Date: 08/08/2016)
N0040 G21 (Units: Metric)
N0050 G53 G90 G91.1 G40
N0060 F3000
N0070 S500
N0080 G00 Z-10 (Part: letra N)
N0090 (Operation: Compensación exterior, 0, T21: Plancha negra 2mm 40A)
N0100 G00 X55.4853 Y8.5859
N0110 M03
N0120 G04 P0.5
N0130 G02 X54.2570 Y7.2562 I-1.2790 J-0.0507 F1960.0
N0140 X42.7227 Y11.6480 I-0.6229 J15.7063
N0150 G01 X42.3624 Y12.1341
N0160 G02 X40.8491 Y16.4514 I10.7321 J6.1859
N0170 G01 X40.8467 Y16.4656
N0180 G02 X39.9655 Y28.4138 I60.9372 J10.5012
N0190 G01 X39.9657 Y28.4314
N0200 Y118.7328
N0210 X134.3655 Y3.3942
N0220 X137.5324 Y-0.4750 F1176.0
N0230 G03 X138.1127 Y-0.7500 I0.5804 J0.4750
N0240 G01 X142.0343
N0250 G03 X142.7843 Y0.0000 I0.0000 J0.7500
N0260 G01 Y5.0000
N0270 Y126.4706 F1960.0
N0280 X142.7842 Y126.4813
N0290 G02 X143.4700 Y137.2258 I69.0854 J0.9845
N0300 G03 X143.4760 Y137.2832 I-0.7425 J0.1059
N0310 G02 X147.1193 Y144.4595 I10.1917 J-0.6612
N0320 X157.9137 Y147.6587 I9.6797 J-12.8501
N0330 G03 X157.9657 Y147.6569 I0.0520 J0.7482
N0340 G01 X158.2353

N0350 X163.2353 F1176.0
N0360 G03 X163.9853 Y148.4069 I0.0000 J0.7500
N0370 G01 Y152.4510
N0380 G03 X163.2353 Y153.2010 I-0.7500 J0.0000
N0390 G01 X158.2353
N0400 X116.1520 F1960.0
N0410 X111.1520 F1176.0
N0420 G03 X110.4020 Y152.4510 I0.0000 J-0.7500
N0430 G01 Y148.4069
N0440 G03 X111.1518 Y147.6569 I0.7500 J0.0000
N0450 G01 X116.1518 Y147.6561
N0460 X116.5251 Y147.6560 F1960.0
N0470 X117.3707 Y147.6388
N0480 X117.4136 Y147.6391
N0490 G02 X128.7286 Y143.2495 I0.5642 J-15.3237
N0500 G01 X129.0648 Y142.8211
N0510 G02 X130.7136 Y138.2993 I-10.0917 J-6.2414
N0520 G01 X130.7169 Y138.2788
N0530 G02 X131.6031 Y126.4880 I-59.3885 J-10.3924
N0540 G01 X131.6029 Y126.4706
N0550 Y41.9336
N0560 X44.1836 Y149.0515
N0570 X41.0222 Y152.9252 F1176.0
N0580 G03 X40.4412 Y153.2010 I-0.5811 J-0.4742
N0590 G01 X35.4412
N0600 X5.0000 F1960.0
N0610 X0.0000 F1176.0
N0620 G03 X-0.7500 Y152.4510 I0.0000 J-0.7500
N0630 G01 Y148.4069
N0640 G03 X-0.0051 Y147.6569 I0.7500 J0.0000
N0650 G01 X1.1083 Y147.6493
N0660 X1.1275 Y147.6495
N0670 G02 X4.9892 Y147.4890 I0.6040 J-32.0223
N0680 X9.4928 Y146.7005 I-3.2577 J-31.8619 F1960.0
N0690 X19.9530 Y141.7253 I-8.4095 J-31.1640
N0700 X21.7406 Y140.1346 I-18.9619 J-23.1094

N0710 X28.7843 Y132.4525 I-67.4522 J-68.9172
N0720 G01 Y28.4314
N0730 X28.7844 Y28.4207
N0740 G02 X28.0986 Y17.6762 I-69.0854 J-0.9845
N0750 G03 X28.0926 Y17.6184 I0.7425 J-0.1059
N0760 G02 X24.4307 Y10.4326 I-10.1651 J0.6542
N0770 X13.5330 Y7.2433 I-9.7519 J13.1085
N0780 G03 X13.4804 Y7.2451 I-0.0526 J-0.7482
N0790 G01 X13.3333
N0800 X8.3333 F1176.0
N0810 G03 X7.5833 Y6.4951 I0.0000 J-0.7500
N0820 G01 Y2.4510
N0830 G03 X8.3333 Y1.7010 I0.7500 J0.0000
N0840 G01 X13.3333
N0850 X55.4167 F1960.0
N0860 X60.4167 F1176.0
N0870 G03 X61.1667 Y2.4510 I0.0000 J0.7500
N0880 G01 Y6.4951
N0890 G03 X60.4167 Y7.2451 I-0.7500 J0.0000
N0900 G01 X55.4167
N0910 X55.1508 F1960.0
N0920 X54.2970 Y7.2567
N0930 G02 X53.0345 Y8.5540 I0.0174 J1.2799
N0940 M05 M30

A continuación, en la figura 56 se presenta el trabajo obtenido luego del corte, sobre el cual se realizó la respectiva medida de las dimensiones reales obtenidas para ser comparadas con las medidas nominales.



Figura 56: Verificación de medidas en el trabajo obtenido
Elaborado por el autor

Con el objeto de validar la precisión de la MCCP, se verificaron las medidas de la pieza obtenida en comparación con las medidas nominales, obteniendo los resultados presentados en la tabla 16.

Tabla 16: Variación dimensional en la pieza obtenida

	Medida Nominal (mm)	Medida Física (mm)	Diferencia (mm)	Variación Porcentual (%)
Altura Total	150,00	150,60	0,60	0,40
Ancho Total Superior	163,23	163,60	0,37	0,23
Ancho Total Inferior	133,70	134,40	0,70	0,52
A	40,44	40,60	0,16	0,40
B	70,71	70,80	0,09	0,13
C	52,08	52,30	0,22	0,42
D	52,08	52,50	0,42	0,81
E	77,70	77,30	-0,40	-0,51
F	3,92	4,10	0,18	4,59
G	4,04	4,20	0,16	3,96
H	10,00	10,20	0,20	2,00
I	4,04	4,25	0,21	5,20
J	10,30	10,80	0,50	4,85
K	4,04	4,20	0,16	3,96

Elaborado por el autor

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha cumplido con el objetivo de repotenciar una Mesa de Coordenadas para Corte por Plasma (MCCP) de tres ejes y automatizar varios procesos industriales que al agilizarse producirán un aumento en la capacidad productiva de la empresa, tales como la implementación de un sistema THC (control de altura de antorcha) con sensor capacitivo para que mediante la interacción entre las áreas electrónica, informática y mecánica se encargue de que la antorcha de corte plasma durante todo el ciclo de trabajo se mantenga a una altura constante siguiendo la curvatura que se va generando por el calor al cortar la plancha base, ya que al variar la altura entre la plancha y la antorcha varía la calidad de corte y el posterior postproceso a aplicarse sobre los trabajos obtenidos, así como también se incorporó un autoposicionador con puntero laser para que ágilmente se pueda ubicar con precisión milimétrica el punto de inicio del trabajo a realizar (cero pieza).

Mediante la verificación de medidas obtenidas luego del corte en comparación con las medidas nominales se puede apreciar que la precisión dimensional alcanzada se encuentra en el rango de +/- 0,7mm, lo que evidencia que se ha obtenido un equipo de alta precisión.

Conforme lo planificado, la intervención fue realizada en varias áreas: informática, electrónica y mecánica, considerando que sus elementos constitutivos interactúan simultáneamente en su mayoría, iniciando su ciclo de implementación por el área mecánica que comprende tanto los elementos industriales como el hardware informático, seguido por los elementos eléctricos y electrónicos que son comandados por los componentes software y hardware del área informática.

Dentro del área informática se realizó lo siguiente:

Se creó una nueva pantalla ó screen para Mach3 (*plasma01.set*) que incorpora los DRO para ingreso de datos, botones, LED indicadores y etiquetas respectivas para la interacción con el THC y el autoposicionador laser, los script correspondientes se crearon utilizando el lenguaje de programación Visual Basic que es el utilizado por los creadores de Mach3.

Para el funcionamiento del THC fue necesario crear un macro (*m3.m1s*) con las instrucciones que debe realizar la máquina cuando en el código G se presente la instrucción M03.

Se creó un autoposicionador laser que cuenta con el ingreso de datos de la distancia (offset) en los ejes X y Y que separa el puntero laser de la antorcha, un botón de activación del puntero laser y el botón que ejecuta el script necesario para el autoposicionamiento desarrollado en Visual Basic.

Para brindar al personal administrativo encargado de diseñar y configurar el trabajo a realizarse, un área de trabajo libre de ruido y contaminación industrial, en una computadora utilizada en el área administrativa se instaló la herramienta CAD: Autocad, la herramienta CAM: SheetCAM, mismas que son necesarias para la creación de las instrucciones que necesita la MCCP para trabajar.

Dentro del área electrónica y eléctrica se ha realizado la selección, instalación y configuración de los siguientes elementos: tarjetas breakout cnc4pc C10 y C32, tarjeta Ethernet Smooth Stepper, tarjetas breakout RJ45, drivers 2H606T, motores paso a paso bipolares, todos los componentes del sistema THC, puntero laser, sensores fin-carrera de los tres ejes, botón de parada de emergencia y fuentes de poder.

Dentro del área mecánica se ha implementado todo el sistema de desplazamiento lineal en el eje Z, mismo que permite el desplazamiento vertical de la antorcha del equipo de corte plasma al cual se le ha incorporado el sistema THC, se implementó un gabinete de control eléctrico y se construyó un CASE abatible para mejorar la versatilidad y ergonomía del equipo de control en la MCCP.

Este trabajo ha sido realizado de una manera técnica pero pensado de tal manera que pueda ser comprendida e interpretada por cualquier persona interesada en el tema que pueda utilizarlo como base para trabajos e investigaciones futuras.

RECOMENDACIONES

- Para evitar que los equipos informáticos que son utilizados en la MCCP tanto con las herramientas CAD y CAM como en el control CNC, se vean atacados por la variedad de virus informático existentes, se recomienda que dichos equipos sean de uso exclusivo de la máquina y no se conecten dispositivos móviles como tarjetas SD, flash memory, discos duros externos, CD's, etc.
- Si a futuro se encuentra en el mercado sistemas THC que sean compatibles con el sistema operativo Linux y software de control como LinuxCNC, se pueden explorar las fortalezas y debilidades que brindaría este sistema de código abierto.
- En una situación donde se necesite mayor control de posición mediante retroalimentación, se puede explorar la posibilidad de utilizar servo motores, comparando sus ventajas y desventajas frente a los motores paso a paso utilizados en este trabajo.
- Con el trabajo realizado, es posible incrementar un sistema de mandril giratorio para realizar cortes en superficies curvas y tuberías, para lo cual se deberá integrar al equipo de control, el software, la electrónica y los elementos mecánicos necesarios para coordinar movimientos con el sistema implementado.
- En máquinas herramienta que realicen corte en frío, para complementar el sistema de posicionamiento de la herramienta de corte se puede incrementar una video cámara montada sobre la herramienta y que transmita la imagen al equipo de control donde se deberá incorporar el software necesario.
- Se recomienda cumplir rigurosamente el cronograma de intervenciones por mantenimiento preventivo a los elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos, en especial a los sensores de fin-carrera que pueden estar expuestos a virutas, limallas y salpicaduras de las herramientas de corte, ya que su avería puede causar serios daños en la integridad de la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] "The CNC Process", Recuperado de: <http://www.cnc4everyone.com/beginning-with-cnc/the-cnc-process/>, fecha de consulta marzo 2016.
- [2] ArtSoft Software Incorporated, "Mach3 CNC Controller for Windows XP & 2000", pp. 1-171, 2015.
- [3] "Laboratorio CAD/CAM - ¿Que es el CNC?", recuperado de: <http://www.frvt.utn.edu.ar/cadcam-info.asp>, fecha de consulta marzo 2016.
- [4] "Introducción al Control Numérico Computarizado (CNC)", Recuperado de: http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Introducción_al_control_numérico_computarizado_CNC, fecha de consulta marzo 2016.
- [5] Ronquillo, C., "Implementación de un sistema de control para una máquina de control numérico computarizado (CNC) sobre un sistema embebido utilizando herramientas de software libre" (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [6] Radhakrishnan, P. , Subramanyan, S. y Raju, V. , *CAD/CAM/CIM*, New Age International Ltd. Publishers, 2008.
- [7] Bowman, M. , *CNC Milling in the Workshop*, Crowood, 2013
- [8] "Tutorial CNC", recuperado de: electronica.li2.uchile.cl/new/documentacion/CNC/tutorial_CNC.doc, fecha de consulta marzo 2016.
- [9] "Tutorial: Control Numérico Computacional CNC", recuperado de <http://users.bergen.org/jdefalco/CNC/>, fecha de consulta marzo 2016.
- [10] Overby, A. , *CNC Machining Handbook*, McGraw-Hill/TAB Electronics, 2010.
- [11] "The Different Types of CNC Machines", CNC 4 everyone, 16 Febrero 2012. recuperado de <http://www.cnc4everyone.com/cnc-machines/the-different-types-of-cnc-machines/>, fecha de consulta marzo 2016.
- [12] "LinuxCNC Getting Started", recuperado de <http://linuxcnc.org/docs/2.7/html/getting-started/getting-linuxcnc.html>, fecha de consulta marzo 2016.
- [13] "Mach 3", recuperado de http://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3Mill_1.84.pdf, fecha de consulta marzo 2016.

- [14] "Controladoras CNC", recuperado de <http://tallerdedalo.es/web/MundoCNC/ControladorasCNC>, fecha de consulta marzo 2016.
- [15] "Tutorial sobre Motores Paso a Paso (Stepper motors)", recuperado de <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>, fecha de consulta marzo 2016.
- [16] "Servomotores", recuperado de <http://techdesign.com.ec/techw/servomotores-ac-gsk-xinje-siemens-mitsubishi-yaskawa/>, fecha de consulta marzo 2016.
- [17] "¿Que es el Plasma?", recuperado de <http://www.oxiplasma.es/index.php/sabermas/82-que-es-el-plasma>, fecha de consulta marzo 2016.
- [18] "Plasma", recuperado de http://www.hypertherm.com/es/Training_and_education/Intro_to_plasma/What_is_plasma/what_is_plasma.jsp, fecha de consulta marzo 2016.
- [19] "THC", recuperado de <http://fabricatupropioroutercnc.com/blog/que-es-un-thc-torch-height-control-control-de-altura-de-la-antorcha.html>, fecha de consulta marzo 2016.
- [20] "Sensores inductivos", recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_inductivo, fecha de consulta marzo 2016.
- [21] "Sensores capacitivos", recuperado de <https://prezi.com/vifzklcks4tu/sensores-de-aproximacion/>, fecha de consulta marzo 2016.
- [22] "Control de altura oxicorte capacitivo", recuperado de: <http://promaquina.cl/home/41-control-altura-oxicorte-capacitivo.html>, fecha de consulta marzo 2016.
- [23] "Detectores de proximidad capacitivos", recuperado de: <https://sites.google.com/site/654sensoresindustriales/detectores-de-proximidad-capacitivos>, fecha de consulta marzo 2016.
- [24] "Maquinas para corte por plasma", recuperado de <http://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/maquinas-para-corte-por-plasma>, fecha de consulta marzo 2016.
- [25] "Mesa de corte plasma", recuperado de: https://i.ytimg.com/vi/d3ckBc_cbEY/maxresdefault.jpg, fecha de consulta marzo 2016.

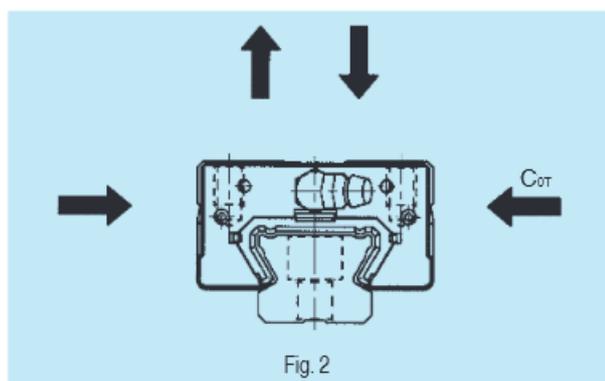
- [26] THK The Mark of Linear Motion “Guías de movimiento lineal D-809S” pp. 1-178.
- [27] “High torque nema 23 24v stepper motor 425oz-in 3.5A,bipolar 57x114mm cnc kit”, recuperado de: https://www.alibaba.com/product-detail/High-torque-nema-23-24v-stepper_60390080980.html?spm=a2700.7724838.0.0.tr9ZbE, fecha de consulta junio 2016.
- [28] “Driver 2H606T”, recuperado de: <http://www.wotomotor.com/product/2H606T.html>, fecha de consulta junio 2016.
- [29] “Torch Height Control”, recuperado de: www.agelkom.com.tr, fecha de consulta junio 2016.
- [30] “C32S - Dual Port Multifunction Board”, recuperado de: <http://cnc4pc.com/c32s-dual-port-multifunction-board.html>, fecha de consulta junio 2016.
- [31] “Ethernet Smooth Stepper Board”, recuperado de: <http://cnc4pc.com/ethernet-smooth-stepper-board-954.html>, fecha de consulta junio 2016.

ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica de la guía de movimiento lineal THK tipo SSR Caged Ball

VALOR DE CARGA Y MOMENTO ADMISIBLE EN DIFERENTES DIRECCIONES

VALOR DE CARGA



El tipo SSR soporta cargas en las cuatro direcciones: radial, radial inversa y en las dos direcciones laterales.

El valor de la carga básica es el de una carga radial, como se indica en la fig. 2. En la tabla dimensional se brindan los valores nominales correspondientes. Los valores para las direcciones radial inversa y lateral se incluyen en la tabla 1.

CARGA EQUIVALENTE

Tabla 1 Valor de carga en diferentes direcciones para el tipo SSR

Dirección	Valor de carga dinámica básica	Valor básico de carga estática
Radial	C	C_o
Radial inversa	$C_L = 0.62C$	$C_{oL} = 0.50C_o$
Lateral	$C_T = 0.56C$	$C_{oT} = 0.43C_o$

Para obtener una carga para el tipo SSR cuando se aplican cargas radiales inversas y laterales en el bloque de movimiento lineal simultáneamente, utilizar la siguiente ecuación:

$$P_E = X \cdot P_L + Y \cdot P_T$$

P_E : carga equivalente (N)

-En la dirección radial inversa
-En direcciones laterales

P_L : carga radial inversa (N)

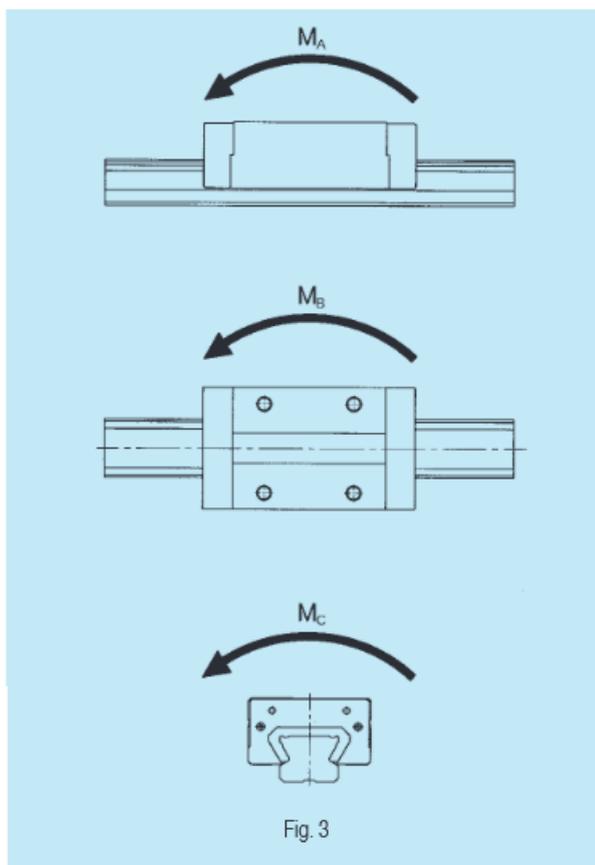
P_T : carga lateral (N)

X e Y : factor equivalente (Ver Tabla 2)

Tabla 2 Factor equivalente para el tipo SSR

P_E	X	Y
Carga equivalente en la dirección radial inversa	1	1.155
Carga equivalente en la dirección lateral	0.866	1

MOMENTO ADMISIBLE



En el tipo SSR, un bloque de movimiento lineal soporta momentos en todas las direcciones. En la tabla 3 se incluyen los momentos admisibles en las direcciones M_A , M_B y M_C de un solo bloque de movimiento lineal y de bloques dobles puestos uno encima del otro (no hay información sobre la dirección M_C).

Tabla 3 Momento estático admisible para el tipo SSR

Unidad: kN-m

Dirección Nº de modelo	M_A		M_B		M_C
	Bloque único	Bloque doble	Bloque único	Bloque doble	Bloque único
SSR15XV	0.0303	0.192	0.0189	0.122	0.0562
SSR15XW/XTB	0.0792	0.44	0.0486	0.274	0.0962
SSR20XV	0.0523	0.336	0.0326	0.213	0.111
SSR20XW/XTB	0.138	0.723	0.0847	0.448	0.18
SSR25XV	0.104	0.661	0.0652	0.419	0.204
SSR25XW/XTB	0.258	1.42	0.158	0.884	0.33
SSR30XW	0.446	2.4	0.274	1.49	0.571
SSR35XW	0.711	3.72	0.437	2.31	0.936

GRADOS DE PRECISIÓN

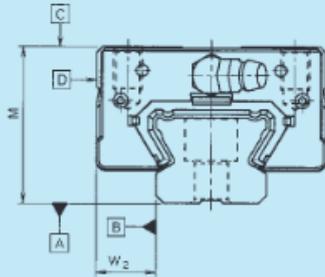


Fig. 4

Hay cinco grados de precisión en el tipo SSR :normal, alto, precisión, súper precisión y ultra precisión, según los números de modelo que figuran en la tabla 4.

Tabla 4 Grado de precisión

Unidad : mm

Nº de modelo	Estándar de precisión Ítem	Normal	Alto	Precisión	Súper precisión	Ultra precisión
		Sin símbolo	H	P	SP	UP
SSR 15 SSR 20	Tolerancia para la altura M	±0.1	±0.03	0 -0.03	0 -0.015	0 -0.008
	Tolerancia para la diferencia de altura M en bloques de movimiento lineal.	0.02	0.01	0.006	0.004	0.003
	Tolerancia para la distancia lateral W ₂ de riel a bloque.	±0.1	±0.03	0 -0.03	0 -0.015	0 -0.008
	Tolerancia para la diferencia en la distancia lateral W ₂ de riel a bloque entre bloques de movimiento lineal.	0.02	0.01	0.006	0.004	0.003
	Paralelismo de desplazamiento de la superficie [C] del bloque de movimiento lineal con respecto a la superficie [A]	ΔC (según figura 5)				
	Paralelismo de desplazamiento de la superficie [D] del bloque de movimiento lineal con respecto a la superficie [B]	ΔD (según figura 5)				
SSR 25 SSR 30 SSR 35	Tolerancia para la altura M	±0.1	±0.04	0 -0.04	0 -0.02	0 -0.01
	Tolerancia para la diferencia de altura M en bloques de movimiento lineal.	0.02	0.015	0.007	0.005	0.003
	Tolerancia para la distancia lateral W ₂ de riel a bloque.	±0.1	±0.04	0 -0.04	0 -0.02	0 -0.01
	Tolerancia para la diferencia en la distancia lateral W ₂ de riel a bloque entre bloques de movimiento lineal.	0.03	0.015	0.007	0.005	0.003
	Paralelismo de desplazamiento de la superficie [C] del bloque de movimiento lineal con respecto a la superficie [A]	ΔC (según figura 5)				
	Paralelismo de desplazamiento de la superficie [D] del bloque de movimiento lineal con respecto a la superficie [B]	ΔD (según figura 5)				

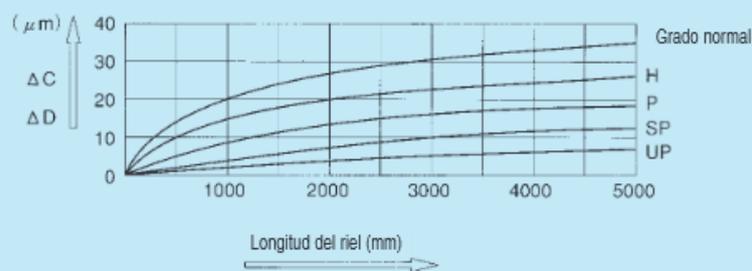


Fig. 5 Relación entre la longitud del riel de movimiento lineal y el paralelismo de desplazamiento

ANEXO 2: Ficha técnica del motor paso a paso

Product Details	Company Profile	Transaction History	Report Suspicious Activity
------------------------	------------------------	----------------------------	----------------------------

Company Information FAQ

Quick Details

Place of Origin:	Jiangsu, China (Mainla...	Brand Name:	Sutai	Model Number:	ST57H1402
Phase:	2	Type:	Permanent Magnet	Certification:	CCC, CE, ISO, ROHS, UL, ...
Step Angle(degrees):	1.8	Holding Torque:	425 Oz-in / 30 Kg-cm	Current / Phase:	3.5A
stepper motor length:	114mm	rated current:	3.5A	stepper motor phase resistance:	1.3
phase inductance:	3.8	stepper motor lead wire:	4/6	weight:	1400
stepper motor holding torque:	30kg.cm	motor step angle:	1.8	stepper motor rator inertia:	680

Packaging & Delivery

Packaging Details: use export carton, pallet for packaging stepper motor or according to customer's request

Delivery Detail: Shipped in 3 days after payment

High torque nema 23 24v stepper motor 425oz-in 3.5A,bipolar 57x114mm cnc kit

Specifications of 24v stepper motor

57mm NEMA23 2phase hybrid stepper motor

57mm small size stepper motor for monitoring equipment

Hybird Stepper Motors

1) CE, RoHS and TUV approved

2) All above are our conventional products, special products can be customized according to the customer requirements.

Applications of 24v stepper motor:

Use for robots stepper motor, 3Dprinter, electronic automatic equipment stepper motor

, medical instrument stepper motor,

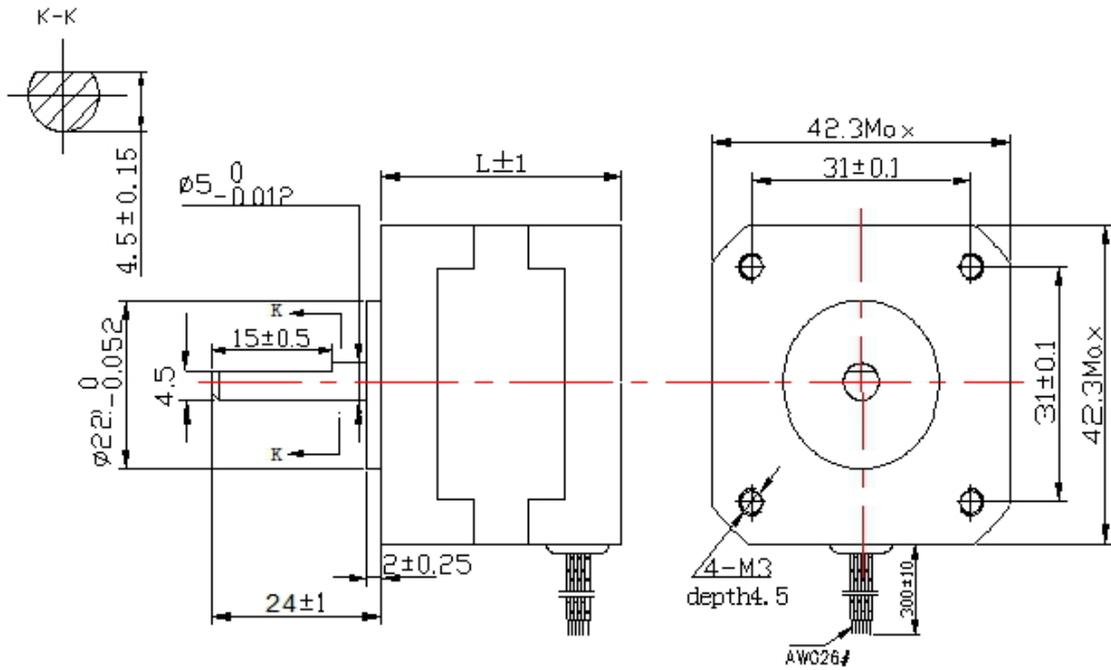
advertisement instrument stepper motor, lighting&audio equipment stepper motor ,printer

stepper motor, textile machinery stepper motor.

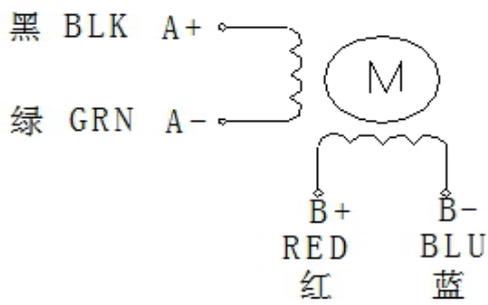
Cnc router stepper motor.

Series Model	Step angle	Motor length	Rated Current	Phase Resistance	Phase Inductance	Holding torque	Rotor Inertia	Lead wire	Motor weight
57H462	1.8	41	1.5	1.8	1.5	4	150	6	470
57H4603	1.8	45	2.4	1.1	2.1	6.5	190	4	520
57H4661	1.8	45	1	6.1	8.3	5	190	6	525
57H500	1.8	51	2.8	0.53	1.75	10	230	4	585
57H562	1.8	51	2	1.9	2.4	7.2	230	6	615
57H563	1.8	51	1	1.4	14.8	7.2	230	6	595
57H5601	1.8	56	2.8	1.2	3.1	11	280	4	680
57H5602	1.8	56	1.5	1.4	4.25	11	280	4	680
57H5605	1.8	56	1.2	3.5	11	12	280	4	680
57H5610	1.8	56	4.5	0.4	1.1	12	280	4	680
57H5665	1.8	56	2	2	2.9	9	280	6	685
57H601	1.8	64	1	7	22	14.5	380	4	850
57H700	1.8	76	2.5	0.75	2.75	15	440	4	1050
57H701	1.8	76	3	1.1	2.7	15	440	4	1050
57H703	1.8	76	3.5	0.9	2.4	20	440	4	1050
57H704	1.8	76	4.5	0.55	1.44	15	440	4	1020
57H716	1.8	76	2	2.1	6.6	15	440	4	1020
57H782	1.8	76	3.5	1.35	3.1	15	440		1060
			1.7	5.4	12.4	20			
57H763	1.8	76	1.5	4.2	8.5	13.5	440	6	1050
57H764	1.8	76	3.5	1.1	1.7	13.5	440	6	1020
57H1007	1.8	100	3	0.67	2.7	20	680	4	1400
57H1003	1.8	100	3.5	1.3	3.8	25	680	4	1400
57H1402	1.8	114	3	0.8	3.2	28	800	4	1600

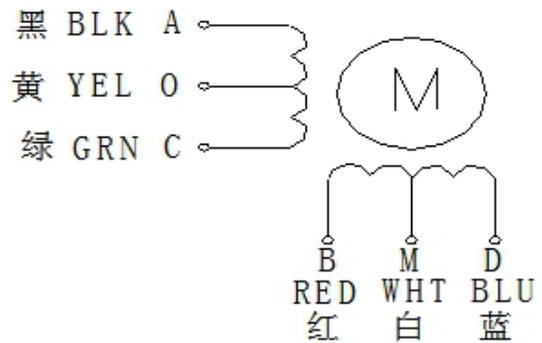
Dimensions(外形图): unit=mm



Wiring Diagram(接线图)



Bi-polar (4leads)



Uni-polar (6leads)

Recommend **stepper motor driver**

ANEXO 3: Ficha técnica del Driver WOTO 2H606T

driver for stepper motor Driver Stepper Motor 2H606T



2H606T step motor driver Characteristics :The motor driver 2H606T is two phase hybrid stepper motor driver , driving nema 23 and nema 24 two phase stepper motor . It has 16 microsteps , MAX micro step i...

Product details

2H606T step motor driver

Characteristics :

The motor driver 2H606T is two phase hybrid stepper motor driver , driving nema 23 and nema 24 two phase stepper motor . It has 16 microsteps , MAX micro step is 64 subdivision ; Current range is 1.4A ~ 5.6A ; 8 class output current ,current resolution is 0.6A ; with function of half current ,over-voltage and over-current protection etc . It is DC power supply , working voltage is 24VDC - 50VDC , voltage shouldn't be over 50VDC , and not below 20VDC .

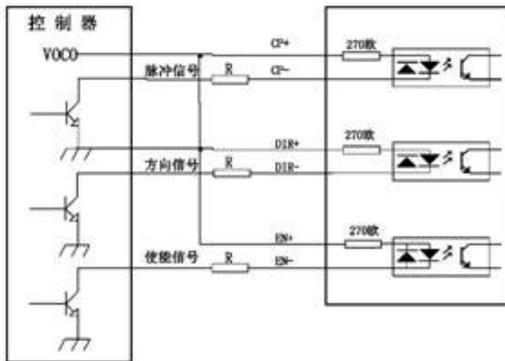
Parameters :

Input Power supply :	24VDC ~50VDC
Output Current	1.4A~5.6A
Drive Way	PWM constant current chopping , three phase Sine wave output current
Suitable stepper motor	57, 60 series two phase stepper motor
Ambient environment	-10°C~55°C 15~85%RH, No condensation. Non-corrosive, flammable, explosive, conductive gas, liquid and dust
Keeping enviroment	- 40°C~+55°C, < 93%RH, No condensation, no frost
Size (L*W*H)	118*75.5*34 mm
Net Weight	0.25 Kg

Description :

<p>Microstep setting</p>	<p>Users can set the driver Microstep by the SW5-SW8 four switches, total 16 micro-step. When you set the microstep, pls stop the driver working. The setting of the specific Microstep subdivision, please refer to the instructions of the driver panel figure .</p>
<p>Output current setting</p>	<p>Users can set the driver Microstep by the SW1-SW3 three switches. The setting of the specific Microstep subdivision, please refer to the instructions of the driver panel figure</p>
<p>Automatic half current function</p>	<p>Users can set the driver half flow function by SW4. "OFF" indicates the quiescent current is set to half of the dynamic current, that is to say, 0.5 seconds after the cessation of the pulse, current reduce to about half automatically. "ON" indicates the quiescent current and the dynamic current are the same. User can set SW6 to "OFF", in order to reduce motor and driver heating and improve reliability.</p>
<p>signal Interface</p>	<p>PUL+ and PUL- are the positive and negative side of control pulse signal; DIR+ and DIR- are the positive and negative side of direction signal; ENA+ and ENA- are the positive and negative side of enable signal .</p>
<p>Motor Interface</p>	<p>A+ and A- are connected to a phase winding of motor; B+ and B- are connected to another phase winding of motor. If you need to backward, one of the phase windings can be reversed .</p>
<p>Power Interface</p>	<p>It uses DC power supply, recommended working voltage is 20 – 50VDC, power is over 100W .</p>
<p>Indicator Lightor</p>	<p>There are two indicator lights. Power indicator is green. When the driver power on, the green light will always be lit. Fault indicator is red, when there is over-voltage or over-current fault, the red light will always be lit; after the driver fault is cleared, if re-power the red light will be off .</p>
<p>Installation</p>	<p>The size of motor driver is 118×75.5×34mm, mounting holes is 112mm. Chest and upright installation are ok, we suggest upright installation. During installation, it should be close to the metal cabinet for heat dissipation.</p>

Interface of motor driver :

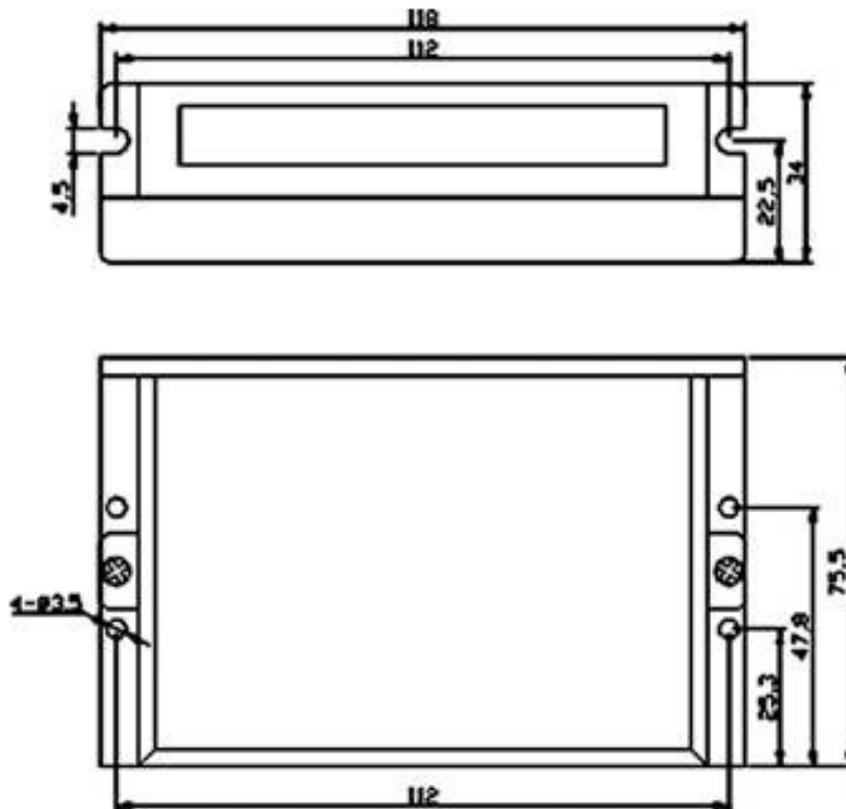


Note : 1.VCC is 5V , R is short connection .

1.VCC is 12V , R is 1K , over than 1/8W resistance .

2.VCC is 24V , R is 2K , over than 1/8w resistance , need connect in the end of signal of controller

Interface connection and installing size :



ANEXO 4: Ficha técnica de la tarjeta interfaz marca CNC4PC modelo C32



OPTOISOLATED DIGITAL INPUT SPECIFICATIONS	
Numbers of inputs	18
On-state voltage range	2 to 5V DC
Maximum off-state voltage	0.8V
Typical signal delay	2.8uS

DIGITAL OUTPUT SPECIFICATIONS	
Number of outputs	16
Maximum output voltage	(5V power supply voltage) + 0.5V
Typical output current	24mA
Maximum off-state voltage	0.44 V
Maximum supported frequency	4M
Typical signal delay	10 nS
Time of transition to high impedance state	120mS*