



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA

**“Máquina (CNC) de Control Numérico Computarizado de 3 ejes
para el Grabado de Placas Conmemorativas implementado en el
Taller de Joyería Campoverde”**

AUTOR: José Francisco Campoverde Piña

**DIRECTOR: Ing. Carlos Obando
Ibarra – Ecuador**

2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100270541-4		
APELLIDOS Y NOMBRES:	CAMPOVERDE PIÑA JOSÉ FRANCISCO		
DIRECCIÓN:	RÍO SANTIAGO 4-17 Y RIO CURARAI		
EMAIL:	panchitocam@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062 959-677	TELÉFONO MÓVIL:	0984002351

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MÁQUINA (CNC) DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO DE 3 EJES PARA EL GRABADO DE PLACAS CONMEMORATIVAS IMPLEMENTADO EN EL TALLER DE JOYERÍA CAMPOVERDE
AUTOR:	CAMPOVERDE PIÑA JOSÉ FRANCISCO
FECHA: AAAA/MM/DD	2015 - 12 - 16
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	ING. CARLOS OBANDO

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Campoverde Piña José Francisco, con cédula de identidad Nro. 100270541-4, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizamos a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

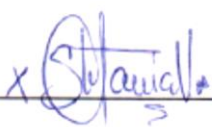
Ibarra, 16 de Diciembre de 2015

AUTOR:



Campoverde Piña José Francisco
100270541-4

ACEPTACIÓN:



Ing. Betty Chávez
JEFE DE BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Campoverde Piña José Francisco, con cédula de identidad Nro. 100270541-4, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículo 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado “Máquina (CNC) de Control Numérico Computarizado de 3 ejes para el Grabado de Placas Conmemorativas implementado en el Taller de Joyería Campoverde”, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital en el Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, 16 de Diciembre de 2015

Campoverde Piña José Francisco

100270541-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Certifico que bajo mi dirección el trabajo **“MÁQUINA (CNC) DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO DE 3 EJES PARA EL GRABADO DE PLACAS CONMEMORATIVAS IMPLEMENTADO EN EL TALLER DE JOYERÍA CAMPOVERDE”** fue desarrollado en su totalidad por el señor Campoverde Piña José Francisco, siendo un trabajo inédito.

En la ciudad de Ibarra, 16 de Diciembre de 2015

Ing. Carlos Obando
DIRECTOR DE PROYECTO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 16 días del mes de diciembre de 2015

AUTOR:

Campoverde Piña José Francisco

100270541-4

DEDICATORIA

Este Trabajo de Grado dedico a mis padres quienes son un pilar fundamental en mi vida, manteniéndose siempre constantes con su cariño y apoyo incondicional, porque gracias a la admiración que les llevo, he sabido sobrellevar las adversidades o circunstancias que se presentan en la vida para encaminarme a cumplir mis metas.

Francisco Campoverde

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento:

A Dios que me da la salud para continuar y ser constante en la vida, la fortaleza para luchar por mis sueños y la sabiduría para tomar decisiones alcanzado este y otros anhelos.

A mis padres, por entregarme una de las virtudes de la vida, como es el estudio, llevándome a culminar muchos retos y objetivos como profesional.

A mis hermanas, que me han dado su apoyo incondicional con su entrega, confianza y paciencia en la formación de mi carrera universitaria.

Al Ing. Carlos Obando, director del proyecto, por su colaboración y orientación.

Francisco Campoverde

RESUMEN

La elaboración del presente trabajo tiene como finalidad, diseñar y construir una máquina CNC de (Control Numérico Computarizado), para grabar placas conmemorativas por medio del fresado de un motor de altas revoluciones, mejorando la calidad y el proceso de grabado de todo tipo de números, letras y gráficos que desea el cliente. Dicha máquina se conecta vía USB a un ordenador, en el cual se diseña o se desarrolla el bosquejo por medio de un software vectorial, para generar y obtener un archivo en "código G" de la imagen utilizada. Este archivo guardado es leído por la tarjeta de control numérico, la misma que hace interfaz con el ordenador y gobierna todo el sistema eléctrico y de control de la máquina CNC por medio del software "MACH3", el cual se encarga del control por software, de la máquina en tiempo real. Una vez que entra la tarjeta de control en ejecución, envía señales a cada uno de los drivers o controladores de los diferentes motores, que generan el movimiento giratorio, para ser transformado en movimiento lineal, por medio de los mecanismos de transmisión lineal, implementados en los ejes (X, Y, Z) de la máquina. Obteniendo finalmente la movilidad del motor de grabado en los tres ejes de desplazamiento y llegar a cada una de las coordenadas de trabajo que contiene el archivo en "código G", para grabar y mecanizar un bosquejo en la placa seleccionada y ubicada en la mesa de trabajo.

ABSTRACT

The preparations of this work has as purpose, design and build a CNC machine (Computerized Numerical Control) to record plaques by means of a high speed motor, to improve the quality the etching of numbers, letters and graphics to the client. This machine is connected via USB to a computer, where on designed or sketch is developed by a vector software, to generate and obtain a file in "G-code" of a image used. This saved file, is read by the digital control card and makes interface with the computer, to make controlling the entire electrical system of the CNC machine through software "MACH3, which is responsible of control software of the machine in real time. When you enter the control board running, sends signals to each of the drivers of the different motors, generating the rotary movement to be transformed into linear movement by means of linear drive mechanisms, implemented on the axes (X, Y, Z) of the machine. For getting fine motor mobility recorded in the three axes of movement and reach each one of the coordinates of work the file, that are in "G-code", to record and machined a sketch on the selected plaque that this on the work area.

PRESENTACIÓN

El trabajo que se presenta a continuación trata de una máquina CNC (Control Numérico Computarizado) de 3 ejes para el grabado de placas conmemorativas, implementado en el taller de joyería Campoverde; el proyecto se detalla en los siguientes capítulos:

La presentación de este documento inicia con la introducción, los objetivos, el alcance y la justificación del tema en general.

El primer capítulo contiene el fundamento teórico que envuelve el arte del grabado e información de maquinarias adecuadas para el fresado y sus parámetros.

El segundo capítulo trata de los diferentes cálculos con respecto al diseño, construcción e implementación de la máquina CNC.

En el tercer capítulo se detalla la selección de un software útil para el diseño de los grabados y del software de control de la máquina CNC.

En el cuarto capítulo encontramos la calibración y pruebas de la máquina para desarrollar varios tipos y ejemplos de grabado.

En el último apartado se presentan las conclusiones y recomendaciones que se ha obtenido; además se dan a conocer anexos, manual de mantenimiento, y los planos mecánicos - eléctricos.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
PRESENTACIÓN.....	xii
ÍNDICE GENERAL.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
ALCANCE	3
JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. Ml grabado en superficies	5
1.1.1. Métodos de grabado.....	5
1.1.1.1. Tallado manual directo	5
1.1.1.2. Grabado manual por motor eléctrico	6
1.1.1.3. Grabado mediante pantógrafo	6
1.2. Mecanizado:	7
1.2.1. Mecanizado por arranque de viruta:	7
1.2.2. Fresado:	8
1.2.3. Herramientas de corte o fresas:.....	9
1.2.4. Parámetros del fresado:	12
1.2.4.1. Velocidad de avance (vf)	12
1.2.4.2. Avance por diente (fz)	13
1.2.4.3. Profundidad y ancho de corte (ae - ap).....	14
1.2.4.4. Velocidad de corte (vc).....	14
1.2.4.5. Velocidad de giro de la herramienta (rpm)	14
1.3. Control numérico computarizado (cnc)	15
1.3.1. Elementos generales de una máquina cnc	16
1.3.1.1. Ejes principales de trabajo.....	17

1.3.1.2.	Sistemas de transmisión	18
1.3.1.3.	Motores o actuadores para la transmisión	21
1.3.1.4.	Motor de grabado o husillo principal	26
1.3.2.	Componentes para el control del sistema cnc.....	27
1.3.2.1.	Drivers o controladores para motores de paso	28
1.3.2.2.	Fuentes de alimentación	29
1.3.2.3.	Tarjeta de control cnc	29
1.3.3.	Software de control cnc	31
1.3.4.	Software de diseño	31
1.3.4.1.	Código G	33
CAPÍTULO II		35
2.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	35
2.1.	Generalidades del diseño	35
2.1.1.	Dimensiones para el desplazamiento y área de trabajo.....	36
2.2.	Cálculo de los parámetros para el grabado	37
2.2.1.	Cálculo de la velocidad de corte (vc)	37
2.2.2.	Cálculo de la velocidad de avance (vf):	38
2.2.3.	Cálculo de la fuerza de corte (fc)	38
2.2.4.	Cálculo de la potencia de corte:.....	41
2.3.	Cálculos y montaje de los tres ejes.....	42
2.3.1.	Fuerza resultante del eje z.....	42
2.3.2.	Fuerza resultante del eje x.....	44
2.3.3.	Fuerza resultante del eje y.....	45
2.3.4.	Desplazamiento de los ejes por guías lineales	46
2.3.4.1.	Guías lineales del eje “Z”	46
2.3.4.2.	Guías lineales del eje “X”	48
2.3.4.3.	Guías lineales del eje “Y”	50
2.3.5.	Transmisión de movimiento por tornillos de bolas	53
2.3.5.1.	Vida útil nominal del tornillo de bolas.....	54
2.3.5.2.	Velocidad crítica	55
2.3.5.3.	Par de entrada en funcionamiento estable	55
2.3.5.4.	Potencia en funcionamiento estable	56

2.3.5.5. Velocidad de trabajo estable para el tornillo de bolas	56
2.4. Análisis por el método de elementos finitos	57
2.5. Modelado matemático de la máquina cnc.....	60
2.5.1. Función transferencia para un motor eléctrico dc:	60
2.5.2. Función transferencia para un tornillo sin fin.....	63
2.5.3. Función transferencia de la tuerca.....	65
2.5.4. Resultados del sistema en general	65
CAPÍTULO III	69
3. SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE DISEÑO Y CONTROL	69
3.1. Software utilizado para el diseño de grabado	70
3.1.1. Características y funciones de “inkscape”.....	72
3.1.1.1. Gráficos Vectoriales	72
3.1.1.2. Formato “SVG”	73
3.1.1.3. Extensiones o aplicaciones para “Inkscape”	73
3.1.2. Instalación de inkscape	75
3.2. Software para el control de la máquina cnc	75
3.2.1. Instalación de mach3.....	78
3.2.2. Principales características de mach3.....	78
3.2.2.1. Panel o indicador de código G.....	78
3.2.2.2. Botones o mandos principales.....	79
3.2.2.3. Panel y visualizador en tiempo real	80
3.2.2.4. Control de husillo o motor de grabado	80
3.2.2.5. Control de avance	81
3.2.2.6. Desplazamiento manual	81
3.2.2.7. Botón de posición cero máquina y cero pieza.....	81
CAPÍTULO IV.....	82
4. CALIBRACIÓN Y PRUEBAS	82
4.1. Configuración de los drivers o controladores	82
4.2. Calibración de la máquina por medio de “mach 3”	83
4.2.1. Selección de unidades de trabajo	84
4.2.2. Calibración de los motores	84

4.2.3. Ajuste del desplazamiento de cada eje.....	85
4.2.4. Configuración del motor de grabado.....	86
4.2.5. Habilitación de los límites de cada eje.....	87
4.3. Cero máquina y cero pieza.....	88
4.3.1. Cero máquina.....	88
4.3.1.1. Configuración cero máquina.....	88
4.3.2. Cero pieza.....	88
4.4. Introducción básica en inkscape.....	89
4.5. Mach3 interpretando un archivo de código g.....	91
4.6. Pruebas de grabado.....	92
4.6.1. Grabado sobre madera.....	92
4.6.2. Grabado sobre placa plástica.....	92
4.6.3. Grabado sobre placas pcb.....	93
4.6.4. Grabado sobre placas conmemorativas.....	94
CAPÍTULO V.....	97
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
5.1. Conclusiones.....	97
5.2. Recomendaciones.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXOS.....	103
ANEXO 1: CATÁLOGOS.....	104
ANEXO 2: MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO.....	118
ANEXO 3: PLANO ELÉCTRICO DE CONTROL.....	142
ANEXO 4: PLANOS MECÁNICOS.....	143
ANEXO 5: IMÁGENES DEL PROYECTO.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0-1. Ejemplo de una máquina CNC de tres ejes.....	1
Figura 0-1 Diagrama del control numérico por computadora.....	3
Figura 1-1. Gala, meztinta, sobre aluminio.....	6
Figura 1-2. Grabado manual con motor.....	6
Figura 1-3. Grabado con Pantógrafo.....	7
Figura 1-4. Ejemplo de mecanizado.....	8
Figura 1-5. Ejemplo de máquina fresadora.....	9
Figura 1-6. Categoría y tipos de fresas.....	10
Figura 1-7. Fresa CNC de un labio.....	11
Figura 1-8. Fresa de dos labios planos.....	11
Figura 1-9. Fresa de dos labios.....	11
Figura 1-10. Fresa de rectificado.....	12
Figura 1-11. Fresa esférica.....	12
Figura 1-12. Fresa cónica.....	12
Figura 1-13. Parámetros del avance de corte.....	13
Figura 1-14. Ancho y Profundidad de corte.....	14
Figura 1-15. Partes de una fresadora.....	17
Figura 1-16. Desplazamiento de los ejes en una fresadora.....	17
Figura 1-17. Trayectoria de la herramienta.....	18
Figura 1-18. Esquema de un sistema de transmisión lineal por tornillo de bolas.....	18
Figura 1-19. Ejemplo de piñón – cremallera.....	19
Figura 1-20. Tornillo de bolas utilizado.....	19
Figura 1-21. Ejemplo de transmisión por tornillo de bolas.....	20
Figura 1-22. Guías lineales utilizadas en la maquina.....	21
Figura 1-23. Ejemplo de un servomotor CD.....	22
Figura 1-24. Ejemplo de un servomotor AC.....	22
Figura 1-25. Diagrama del bobinado del motor.....	23
Figura 1-26. Tabla de configuración de un motor PaP bipolar.....	23
Figura 1-27. Bobinado de un motor PaP unipolar.....	24
Figura 1-28. Diferentes configuraciones de un motor PaP unipolar.....	24
Figura 1-29. Motor de pasos híbrido.....	25

Figura 1-30. Tabla de selección de motores	25
Figura 1-31. Motor de pasos utilizado	26
Figura 1-32. Motor utilizado para el grabado	26
Figura 1-33. Esquema de los elementos de control CNC	27
Figura 1-34. Driver utilizado para el control del motor	28
Figura 1-35. Fuente de alimentación utilizada	29
Figura 1-36. Sistema de control CNC.....	29
Figura 1-37. Tarjeta de control CNC utilizada.....	30
Figura 1-38. Ejemplo de software de control	31
Figura 1-39. Ejemplo de un software de diseño	32
Figura 1-40. Ejemplo de software CAM.....	32
Figura 1-41. Tabla resumida del lenguaje código G	34
Figura 2-1. Diseño de la máquina CNC de tres ejes.....	35
Figura 2-2. Bosquejo de la fresa utilizada	37
Figura 2-3. Profundidad y Ancho de corte	39
Figura 2-4. Diagrama para encontrar la presión específica K_c	40
Figura 2-5. Tabla para la selección de viruta admisible	42
Figura 2-6. Imagen del diseño y la masa del eje “Z”	42
Figura 2-7. Imagen del diseño y masa del eje “X”	44
Figura 2-8. Imagen del diseño y masa del eje “Y”	45
Figura 2-9. Parámetros que determinan las cargas del eje “Z”	46
Figura 2-10. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores	47
Figura 2-11. Parámetros que determinan las cargas del eje “X”	48
Figura 2-12. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores	49
Figura 2-13. Parámetros que determinan las cargas del eje “Z”	50
Figura 2-14. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores	51
Figura 2-15. Transmisión de movimiento por tornillos de bolas	54
Figura 2-16. Estudio en SolidWorks, sujeción geometría fija	57
Figura 2-17. Estudio en SolidWorks, aplicación de una fuerza o carga	58
Figura 2-18. Estudio en SolidWorks, creación del mallado	58
Figura 2-19. Estudio en SolidWorks, tensión de Von Mises	59
Figura 2-20. Estudio en SolidWorks, factor de seguridad	59
Figura 2-21. Mecanismo para desplazar cada eje	60

Figura 2-22. Diagrama electromecánico de un motor DC.....	60
Figura 2-23. Funciones transferencia motor DC.....	62
Figura 2-24. Ejemplo de un sistema rotación (motor) – traslación (tornillo de bolas) .	63
Figura 2-25. Desplazamiento de la tuerca.....	65
Figura 2-26. Diagrama de bloques general del sistema	66
Figura 2-27. Función transferencia motor DC en Simulink de Matlab.....	67
Figura 2-28. Corriente (3A) y torque generado por el motor (2.8 N.m)	67
Figura 2-29. Función transferencia tornillo de bolas en Simulink de Matlab	68
Figura 2-30. Salida o distancia recorrida por el eje (20mm aprox).....	68
Figura 3-1. Ejemplo de un sistema CAD/CAM.....	69
Figura 3-2. Tabla de selección de software de diseño.....	71
Figura 3-3. Ejemplo del software Inkscape.....	72
Figura 3-4. a) Imagen de línea en mapa de bits b) imagen de línea vectorizada.....	73
Figura 3-5. Software de control CNC MACH3	76
Figura 3-6. Sistema de control CNC.....	77
Figura 3-7. Panel e indicador de código G en Mach3.....	79
Figura 3-8. Botón de emergencia en Mach3	79
Figura 3-9. Botón de marcha en Mach3	79
Figura 3-10. Botón de pausa en Mach3	79
Figura 3-11. Botón de paro en Mach3.....	80
Figura 3-12. Visualizador de la ruta en tiempo real	80
Figura 3-13. Control del motor de grabado.....	80
Figura 3-14. Control de avance	81
Figura 3-15. Botón Jog para el desplazamiento de los ejes	81
Figura 3-16. Cero máquina y cero pieza en Mach3.....	81
Figura 4-1. Interruptor Dip-switch del controlador.....	82
Figura 4-2. Configuración para la corriente del controlador	82
Figura 4-3. Configuración de la precisión del controlador.....	83
Figura 4-4. Captura inicio de Mach3	83
Figura 4-5. Captura de configuración del sistema de medidas en “MACH3”	84
Figura 4-6. Captura del ajuste de cada motor	84
Figura 4-7. Captura de pantalla “Set Step per Unit”	85
Figura 4-8. Captura del ajuste del desplazamiento de cada eje	86

Figura 4-9. Habilitación del motor de grabado mediante control “PWM”.....	86
Figura 4-10. Implantación de los límites de carrera	87
Figura 4-11. Habilitación y configuración de los límites de carrera	87
Figura 4-12. Configuración del cero máquina en Mach3	88
Figura 4-13. Ejemplo del cero máquina y cero pieza.....	89
Figura 4-14. Ejemplo de un diseño de grabado.....	89
Figura 4-15. Captura de la imagen vectorizada.....	90
Figura 4-16. Captura de la librería de “código g” de Inkscape	90
Figura 4-17. Captura de MACH3 abriendo un archivo de “código g”	91
Figura 4-18. Prueba de grabado en madera	92
Figura 4-19. Prueba en placa plástica.....	93
Figura 4-20. Primer ejemplo de grabado PCB.....	93
Figura 4-21. Segunda prueba de grabado PCB	94
Figura 4-22. Prueba de letras sobre placa de aluminio	94
Figura 4-23. Prueba de imagen sobre placa metálica	95
Figura 4-24. Prueba de grabado completo sobre placa de aluminio.....	95
Figura 4-25. Prueba de grabado en placa metálica.....	96
Figura 4-26. Prueba de grabado en placa metálica.....	96
Figura 4-27. Prueba de grabado en placa metálica.....	96
Figura 4-28. Prueba de grabado UTN	96

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, gracias a los avances tecnológicos y necesidades que requiere el ser humano en el ámbito laboral, como es mejorar los procesos de cada trabajo que realizan las diferentes industrias, es posible desempeñar y crear máquinas que disminuyan los parámetros que se necesitan para manufacturar o fabricar diferentes tipos de productos. Este tipo de máquinas que actualmente se están desarrollando con grandes capacidades, son las máquinas de Control Numérico Computarizado conocidas como máquinas CNC, sistemas que se adaptan a muchas aplicaciones.



Figura 0-1. Ejemplo de una máquina CNC de tres ejes

Fuente: <http://www.msdirect.com/>

La utilización de programas enfocados en la creación de diseños y la unión de los elementos mecánicos, eléctricos y de control, crean sistemas útiles e inteligentes para una mejor relación hombre – máquina. Lo que permite llevar dichos diseños a la aplicación real o a escala por medio de los diferentes métodos de manufactura que existen, de una manera rápida y exacta, lo cual va disminuyendo el tiempo de proceso que lleva hacerlo manualmente.

De tal manera que resulta conveniente entrar en el mundo de los nuevos sistemas CNC que van innovando al mercado y así aprovecharlos de manera ingeniosa para crear un diseño y la construcción de una máquina CNC (Control Numérico Computarizado) para el grabado de placas conmemorativas, lo cual mejora la calidad de grabado, obtiene un menor tiempo de trabajo y genera e incrementa ganancias.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar y construir una máquina CNC de 3 ejes, la cual grave placas conmemorativas mediante el diseño por software, para mejorar el proceso de grabado.

ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros de grabado, para seleccionar y utilizar de manera apropiada las herramientas de corte en el mecanizado y grabado.
- Diseñar la estructura de la máquina CNC, con respecto al desplazamiento de los 3 ejes, incluyendo los mecanismos adecuados.
- Construir la máquina CNC e implementar la parte electrónica y de control, con los diferentes motores, drivers, tarjeta de control y fuentes para su buen desempeño en el grabado.
- Analizar y seleccionar un software confiable para el diseño de grabado y el control de la máquina CNC.
- Realizar las respectivas pruebas de falla y error, para su buen funcionamiento.
- Agregar el modelamiento matemático.

ALCANCE

La máquina CNC de 3 ejes servirá específicamente para el grabado de placas, por la mayor demanda en la necesidad del cliente. Será diseñada y construida con respecto a un menor peso y bajo costo, con dimensiones aproximadas y ajustables al área de trabajo en el grabado.

Para el desplazamiento de los 3 ejes, se utilizará un par de guías o rieles en cada eje, incluyendo tornillos de bolas recirculantes en el intermedio, acoplados con motores de paso, los cuales darán el principal movimiento lineal en la dirección de cada eje.

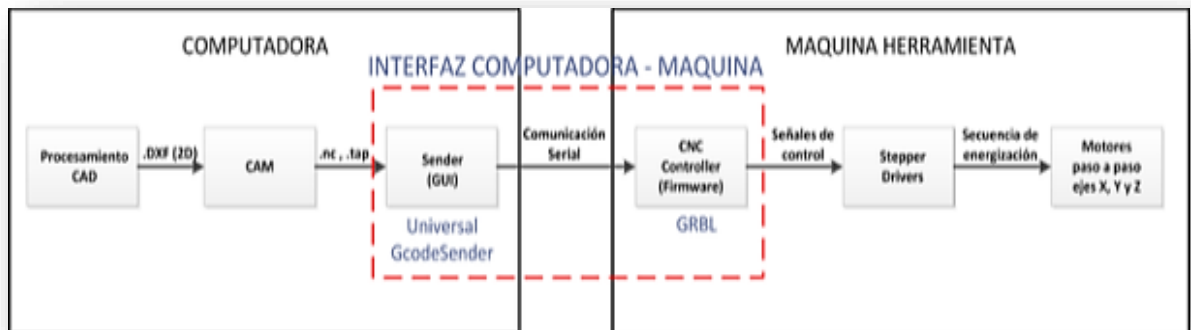


Figura 0-1 Diagrama del control numérico por computadora

Para el control de los 3 ejes de la máquina se utilizará un módulo CNC, el cual se encargará de controlar los 3 motores de pasos con sus respectivos drivers, incluyendo las fuentes de alimentación. Al controlar el desplazamiento de los 3 ejes, también realiza la interfaz entre la máquina y el computador, para ejecutar un software adecuado para el diseño y grabado de la placa.

JUSTIFICACIÓN

En la industria existen variedad de maquinarias CNC o fresado CNC, las cuales son multifuncionales, de alta calidad de trabajo, de gran tamaño dependiendo de su función y sobre todo de alto costo. Actualmente se han introducido en las pequeñas industrias dedicadas al grabado y al corte, por su alto desempeño de maquinado y producción, así mismo requieren de una gran inversión.

Al construir e implementar una máquina CNC de 3 ejes, ajustándose a los requerimientos de los pequeños talleres de grabado y venta de trofeos que elaboran su trabajo de manera manual, se pretende optimizar el proceso de grabado, mejorando la calidad y velocidad, para aumentar la producción y obtener mayores ganancias.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. EL GRABADO EN SUPERFICIES

La palabra grabado, por definición, es la disciplina artística la cual trata de dibujar o impregnar letras y dibujos sobre una superficie rígida. Esta técnica conocida desde hace muchos siglos, es la que se utilizaba para representar el arte en cierto tipo de materiales. (Groover, 1997).

Existen algunos materiales usados por los artesanos como la madera, el plástico y el aluminio. Por ejemplo el aluminio actualmente es considerado uno de los metales más baratos y comunes, con alta aplicación en la industrial. Se lo utiliza en matrices para el grabado, ya que su suavidad facilita los métodos que se usaban desde hace mucho tiempo atrás.

Ahora es posible encontrar muchas maneras de realizar el grabado y maquinado en los diferentes tipos de materiales, ya sea de manera manual o por medio de máquinas semiautomáticas. Algunos de estos métodos vienen desde hace muchos años, sin embargo los siguen utilizando artesanalmente junto a otros métodos.

1.1.1. MÉTODOS DE GRABADO

1.1.1.1. Tallado manual directo

Dependiendo del tipo de material utilizado y sea relativamente blando, se puede trabajar directamente mediante punta seca; la cual trata de impregnar un tipo de cincel o punta echa de un material superior y mucho más tenaz, el factor limitante debido a su suavidad, será el número de impresiones.

El aluminio representa una buena opción para trabajar y brinda excelentes posibilidades para estudiantes que están conociendo la técnica, sin hacer una inversión económica importante, como sería el caso del cobre. (Francisco Hernández-Chavarría, 2012).



Figura 1-1. Gala, meztinta, sobre aluminio.

Fuente: Aluminio, una opción de bajo costo para el grabado, Francisco Chavarría (2012)

1.1.1.2. Grabado manual por motor eléctrico

Este método de grabado es de un proceso complejo, ya que es realizado manualmente por un artesano especializado. Teniendo mucha practica se puede realizar grabados de una manera rápida, ya que se utiliza un motor de altas revoluciones el cual utiliza herramientas de corte para grabar, más adelante se detallara las herramientas adecuadas para el mecanizado o grabado.



Figura 1-2. Grabado manual con motor

Fuente: <http://t1.gstatic.com>

1.1.1.3. Grabado mediante pantógrafo

El pantógrafo es un aparato de dibujo cuyo principio es usar una imagen guía para efectos de ampliarla, generalmente usada en arquitectura, consta de un pivote y un cruce de palos de madera o metal. Es un paralelogramo articulado que sirve para dibujar una copia desde una figura usada como referencia, este tiene como fin la ampliación de un dibujo o geometría. Gracias a su creación el pantógrafo ha sido utilizado para los grabados de placas de todo tamaño, utilizando matrices de letras o figuras no complejas. (Guillermo Castro, 2008).

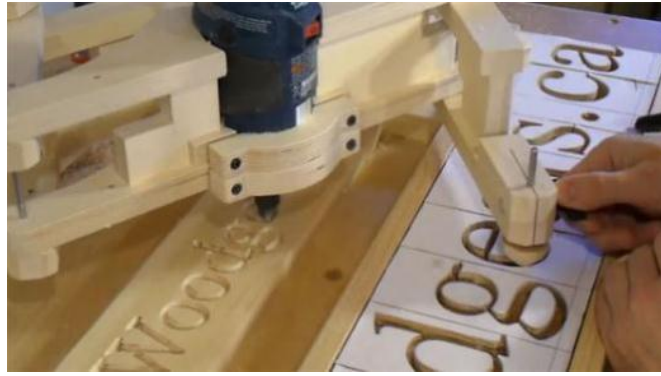


Figura 1-3. Grabado con Pantógrafo

Fuente: <http://blog.bricogeek.com/img/cms/1974-pantografo-casero.jpg>

1.2. MECANIZADO:

Hoy en la industria sin especificar su campo, se utiliza y se necesita las grandes características y funciones que brindan los materiales. Los cuales son elegidos por su dureza, tenacidad, resistencia, flexibilidad y otras virtudes que los hacen útiles en la industria para trabajar en ellos o manufactúralos, es decir realizar un proceso de mecanizado para darle una función final y diseño duradero para que se someta a trabajos forzosos. (Soro, 2013).

El mecanizado por definición es un proceso de fabricación y conjunto de operaciones que dan como producto una pieza o parte de un sistema, mediante la eliminación del material que lo compone; dándole sus respectivas formas y dimensiones deseadas.

1.2.1. MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA:

El mecanizado es el conjunto de operaciones para fabricar una pieza, en donde el material es desprendiendo por medio de una herramienta, la cual costa de uno o varios filos para el corte del material, dándole la forma y las dimensiones exactas.

En este caso se da mucho el proceso por desbaste el cual costa de la eliminación de material por medio de varias capas y se debe tomar en cuenta las especificaciones que se necesitan para seleccionar la herramienta de corte adecuada.



Figura 1-4. Ejemplo de mecanizado

Fuente: <http://www.imh.es>

En la actualidad el mecanizado se lo hace de forma semiautomática y automática mediante un gran grupo de máquinas herramientas. Estas máquinas son las que realizan el trabajo mediante la fuerza de sus mecanismos ya sea de manera manual o automática, generando el desplazamiento para el desbaste del material con una gran precisión. Los procesos realizados por estas máquinas herramientas son muy útiles y necesarios en el ámbito industrial y están conformados por el siguiente grupo:

- Taladrado
- Roscado
- Torneado
- Fresado
- Brochado

1.2.2. FRESADO:

El fresado es un tipo de mecanizado por arranque de viruta que utiliza un motor de altas revoluciones en el eje vertical, donde se ubica la herramienta de corte para el desprendimiento del material o viruta. Este método aprovecha la velocidad del motor, la selección de una buena herramienta de corte y el desplazamiento de los ejes de la máquina para dar la forma deseada a la pieza que se está fresando. (Groover, 1997).

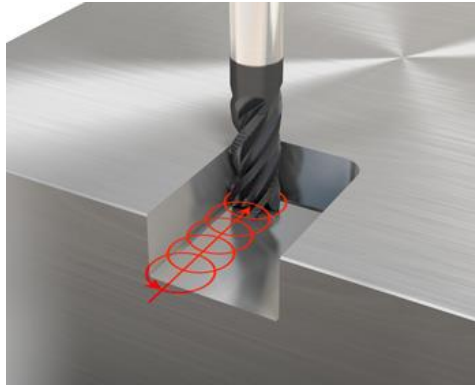


Figura 1-5. Ejemplo de máquina fresadora
Fuente: <http://www.cnc-verticalmachiningcenter.com>

Una fresadora es aquella máquina herramienta que se desplaza por los tres ejes dimensionados (X, Y, Z), los cuales permiten mover el motor con la herramienta de corte a un punto o coordenada específica dentro del área de trabajo, para mecanizar el material a una determinada velocidad de corte y darle un buen acabado superficial.

1.2.3. HERRAMIENTAS DE CORTE O FRESAS:

Las herramientas de corte o en este caso llamadas comúnmente “fresas giratorias”, son útiles para el mecanizado y perforación de piezas por medio de las máquinas de corte vertical o fresadoras. Para trabajos en general tenemos fresas hechas en tres tipos de materiales como son:

- Acero rápido
- Metal duro (Carburos metálicos)
- Diamante

El cuerpo de la herramienta está formado por uno o más filos (labios), los que se encargan de desprender y arrancar el material, dándole la forma deseada a la pieza. Existen variedad de fresas, cada una hecha para una función específica, las cuales se utilizan generalmente en los tres tipos de materiales más comunes como son la madera, plásticos y metales, (De_maquinas_y_herramientas, 2012).

a) Por método de fresado:

- fresas para fresado frontal
- fresas para fresado periférico (concordante o discordante)

- b) Por tipo de construcción:
- fresas enterizas
 - fresas con dientes reemplazables
- c) Por la forma de los canales entre los dientes:
- fresas de canales rectos
 - fresas de canales helicoidales
 - fresas de canales bi-helicoidales
- d) Por la dirección de corte de las fresas:
- Fresas para corte a la derecha
 - Fresas para corte a la izquierda
- e) Por geometría

FRESAS CON VÁSTAGO (cilíndrico o cónico)	Cilíndrico-frontales	De bola o punta esférica	<ul style="list-style-type: none"> • Copiado • Matrices • Ranurado • Fresado de contornos • Acabado • Desbaste 		Fresado de: <ul style="list-style-type: none"> - piezas hexagonales - chaveteros y orificios rasgados - cabezas de tornillos - tuercas - ejes de chavetas - ruedas dentadas
		De punta plana			
		Para ranuras en "T"			
		Para ranuras Woodruff	<ul style="list-style-type: none"> • Ranurado 		
	Cónicas		<ul style="list-style-type: none"> • Avellanado preciso de orificios 		
	Angulares	Cola de milano (formas trapezoidales)	<ul style="list-style-type: none"> • Ranurado y ensambles a cola de milano 	 	

Figura 1-6. Categoría y tipos de fresas

Fuente: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresas-tipos-y-usos>

Actualmente se puede encontrar herramientas de corte para la utilización de fresadoras, pantógrafos y motores de grabado, en este caso se las puede aplicar en el grabado de placas, a continuación se describe las más utilizadas.

Por regla general, los metales más duros permiten trabajar a mayor velocidad de corte pero por el contrario necesitan menor velocidad de avance. El número de

labios (o cortes) depende del diámetro, de la cantidad de viruta que debe sacar, de la dureza del material y del tipo de fresa.

- Fresas de un labio de “widia”, se las utiliza para el corte de plásticos o madera. Si a estas fresas tienen el labio invertido (o corte izquierda) serán ideales para sacar virutas o vetas que hayan quedado en el material; aunque también trabajan bien con materiales que tienden a flexibilizarse.



Figura 1-7. Fresa CNC de un labio

Fuente: <http://perezcampos.com/blog/wp-content/uploads/2013/12/>

- Fresas de labios planos o rectilíneos, ofrecen un buen acabado y se suelen utilizar con materiales que necesitan mucho equilibrio de la herramienta y mínima vibración, como la madera y plásticos.



Figura 1-8. Fresa de dos labios planos

Fuente: <http://perezcampos.com/blog/wp-content/uploads/2013/12/>

- Las fresas con dos labios de widia son extremadamente rígidas y están orientadas al corte de superficies sólidas, aluminio, cobre, latón e incluso madera natural, una herramienta que tiene una enorme capacidad de extracción.



Figura 1-9. Fresa de dos labios

Fuente: <http://perezcampos.com/blog/wp-content/uploads/2013/12/>

- Las fresas llamadas de compresión, disponen de labios de cortes ascendente y descendente, porque mientras un labio (ascendente) permite un buen acabado en las partes inferiores, el otro (descendente) actúa como una fresa de “corte izquierda”.

- Fresas de rectificado utilizadas para limpiar o rectificar el material de sacrificio (MDF).



Figura 1-10. Fresa de rectificado

Fuente: <http://perezcamps.com/blog/wp-content/uploads/2013/12/>

- Fresas esféricas, muy utilizadas sobre todo para la creación de piezas, modelos o prototipos en 3D, con materiales blandos.



Figura 1-11. Fresa esférica

Fuente: <http://perezcamps.com/blog/wp-content/uploads/2013/12/>

- Fresas cónicas, dependiendo de la altura se utilizarán en pantógrafos o en fresadoras. Habitualmente sirven para el grabado de bajo y alto relieve en materiales blandos y/o biselados.



Figura 1-12. Fresa cónica

Fuente: <http://perezcamps.com/blog/wp-content/uploads/2013/12/>

1.2.4. PARÁMETROS DEL FRESADO:

Para realizar un excelente mecanizado de una pieza, existen varios parámetros fundamentales, los cuales permiten desarrollar un buen acabado y obtener un buen desempeño de las herramientas de corte, para evitar la mala utilización o el daño de la misma, estos parámetros son:

1.2.4.1. Velocidad de avance (V_f)

La velocidad de avance en el fresado, es el movimiento de la herramienta con sus dientes cortantes en dirección al trabajo a realizarse. El avance principal viene dado por cada diente, después se multiplica por los dientes que tiene la fresa:

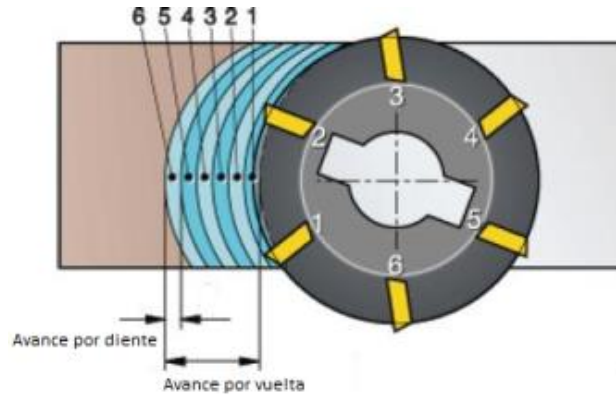


Figura 1-13. Parámetros del avance de corte

Fuente: http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/formulas_and_definitions/the_milling_process/pages/default.aspx

- Velocidad de avance (mm/min)

$$Vf \left[\frac{mm}{min} \right] = fz \times Z \times n$$

Ecuación 1. Velocidad de avance

Fuente: (Magafor, 2013)

Dónde: Z = número de dientes de la fresa
 n = número de revoluciones por minuto
 fz = avance por diente

1.2.4.2. Avance por diente (fz)

El avance por diente viene dado por la velocidad de avance, pero en este caso se relaciona en las vueltas que gira la herramienta con respecto al desprendimiento del material y al número de dientes de la misma.

- Avance por diente (mm)

$$fz[mm] = \frac{Vf}{Z \times n}$$

Ecuación 2. Avance por diente

Fuente: (Magafor, 2013)

Dónde: Z = número de dientes de la fresa
 n = número de revoluciones por minuto
 V_f = Velocidad de avance

1.2.4.3. Profundidad y ancho de corte ($a_e - a_p$)

Es la que describe la distancia que penetra la fresa o herramienta de corte en dirección del avance. Existe diferencia entre la profundidad y anchura de corte tal y como se puede ver en la figura a continuación:

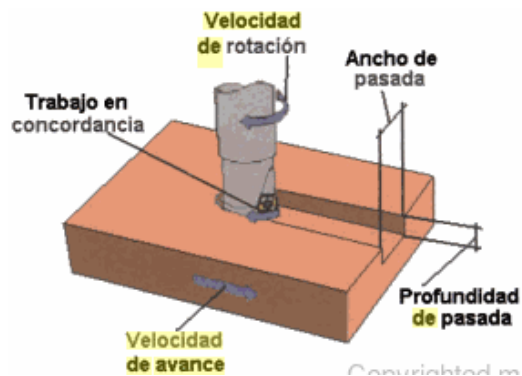


Figura 1-14. Ancho y Profundidad de corte

Fuente: Sistemas de fabricación de máquinas automatizadas, Francisco C Teruel (2005)

1.2.4.4. Velocidad de corte (V_c)

Es la velocidad que existe en el punto de contacto de la herramienta y la pieza de trabajo, este factor es muy importante en los parámetros de fresado y está dado por los fabricantes de fresas o herramientas de corte:

$$V_c \left[\frac{m}{min} \right] = \frac{\pi \times N \times D}{1000}$$

Ecuación 3. Velocidad de corte

Fuente: (Magafor, 2013)

Dónde: N = RPM = revoluciones de la herramienta (rev/min)
 D = Diámetro de la herramienta (mm)

1.2.4.5. Velocidad de giro de la herramienta (RPM)

Es la velocidad de giro o número de vueltas que da la herramienta o fresa y está dada o despejada por la fórmula de la velocidad de corte:

$$N[RPM] = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D}$$

Ecuación 4. Velocidad de giro de la fresa

Fuente: (Magafor, 2013)

Dónde: V_c = Velocidad de corte

D = Diámetro de la herramienta

Dados estos parámetros principales, que se utilizan en el trabajo por fresado, para evitar problemas con la herramienta de corte, fisuras con el material a fresar y la mala aplicación que puede realizar la máquina acompañada de la fresa, incluyendo:

- La velocidad de mecanizado posible
- La fresa a utilizar
- El material a trabajar
- El acabado de superficie requerido

Siguiendo los parámetros tomados en cuenta de un mecanizado y las recomendaciones que especifica el manual del fabricante de la herramienta de corte (Magafor, 2013), se obtiene buen desarrollo del mecanizado por fresado de una máquina CNC la cual dispone de un funcionamiento automático. (Sandvik_AB, 2000).

1.3. CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)

El Control Numérico Computarizado (CNC), es un sistema el cual controla un mecanismo o una máquina herramienta mediante un computador; actualmente la evolución en los sistemas de fabricación se orientan al desarrollo de tecnologías integradas que proporcionan un alto grado de flexibilidad para la automatización y fabricación de máquinas controladas por un ordenador, según la necesidad de mecanizar piezas de geometría compleja y alta precisión en su proceso y acabado.

Las primeras máquinas conformadas por un sistema de control numérico (CN) se construyeron entre los años de 1940 y 1950, su funcionamiento constaba de unas cintas perforadas que se leían por medio de una unidad lectora, las cuales

transmitían la información al sistema de control mediante una serie de pulsos eléctricos provocando el movimiento del mecanismo de la máquina y de la herramienta según los programas suministrados (Guillermo Castro, 2008).

En el mundo del mecanizado y la manufactura, se coordina de manera eficaz la precisión y la seguridad, de tal manera que un sistema de control numérico abarca operaciones de entradas y salidas en su tarjeta de control para la activación de paros de emergencia, instalación de sensores externos para limitar el recorrido de la máquina y la utilización de elementos electrónicos que hacen de la misma un medio más exacto y seguro al momento de trabajar en tiempo real.

1.3.1. ELEMENTOS GENERALES DE UNA MÁQUINA CNC

Una máquina CNC necesita ejercer movimientos útiles, precisos y coordinados en el proceso de mecanizado de una pieza, para esto se conforma de partes fundamentales como por ejemplo la utilización de un husillo (motor) el cual se encarga de desprender el material, un sistema de transmisión el cual da los movimientos de trabajo y una unidad central, para el control y funcionamiento de la misma.

Como se habló con anterioridad, la metodología de este escrito es la construcción de una máquina CNC, basada en la función que cumple una fresadora para el grabado de placas, por tal razón se centra en el enfoque del diseño de una máquina de tres ejes, controlando su funcionamiento apropiado a partir de la elección de partes y sistemas fundamentales que constituyen una máquina herramienta por control numérico (MHCN). (Instituto_de_Máquina_Herramienta-IMH, 2005).

- Mesa de trabajo
- Cabezal de corte
- Husillo o motor de fresado
- Carros de desplazamiento de los tres ejes

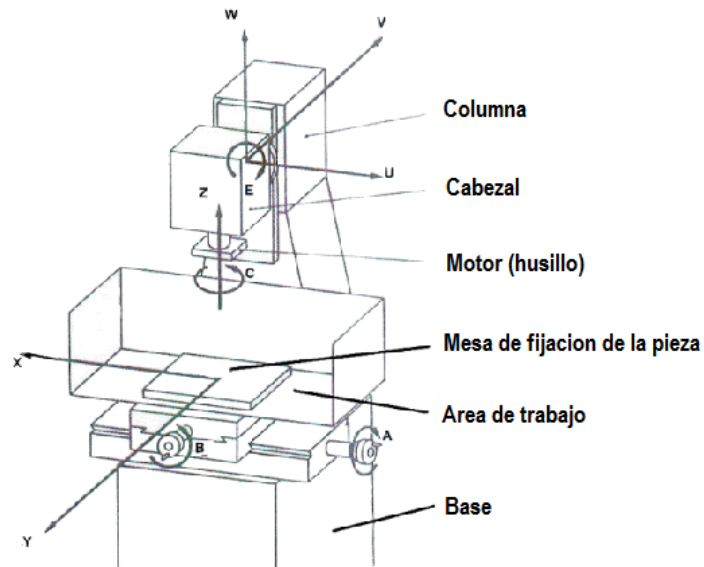


Figura 1-15. Partes de una fresadora

A continuación se especificará cada uno de los elementos y sistemas, ya sean mecánicos y electrónicos de control, que normalmente forman parte de una máquina CNC para el buen desempeño y movimiento de la máquina.

1.3.1.1. Ejes principales de trabajo

Los ejes principales son las direcciones por donde se desplazan las partes móviles y de trabajo de una fresadora o maquina CNC, como son el carro longitudinal (eje X), carro transversal (eje Y) y el carro perpendicular (eje Z).

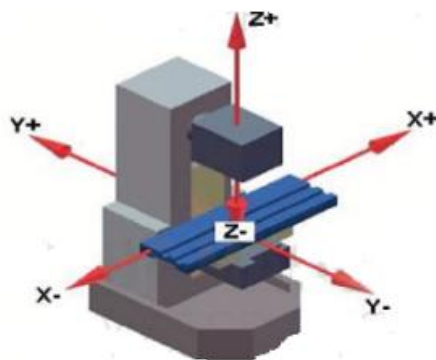


Figura 1-16. Desplazamiento de los ejes en una fresadora

- Eje X: Movimiento longitudinal de la herramienta en sentido (horizontal)
- Eje Y: Movimiento transversal de la mesa en sentido (horizontal)
- Eje Z: Movimiento perpendicular de la herramienta en sentido (vertical)

La herramienta de trabajo que desprende el material al fresar, realiza el recorrido producido por la acción combinada de los mecanismos ubicados en los ejes principales (X, Y, Z). Normalmente en una fresadora los ejes X e Y son asociados en el plano horizontal con respecto a la mesa de trabajo, donde se ubica fijamente la pieza y el tercer eje Z realiza el movimiento vertical de fresado (profundidad).

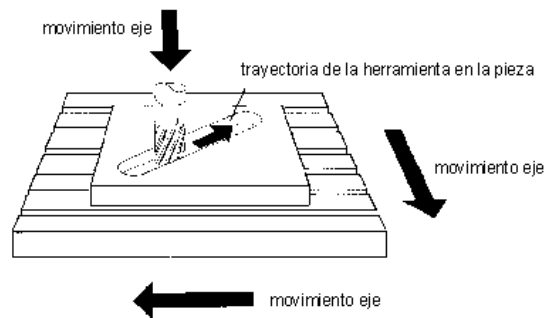


Figura 1-17. Trayectoria de la herramienta

Fuente: Maquinas herramientas CNC, Ing. Juan Franco Terlevich (2011)

1.3.1.2. Sistemas de transmisión

Los sistemas de transmisión son los que originan y producen el movimiento en los tres ejes principales de trabajo, mediante traslaciones rectilíneas que transmiten y son generadas por el giro y fuerza de un motor. (SKF, 2001).

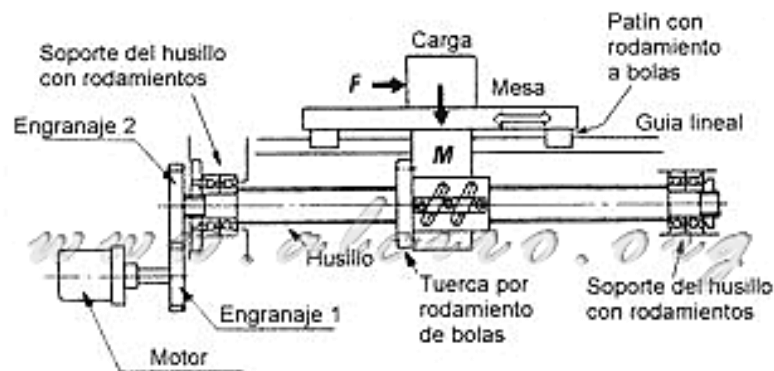


Figura 1-18. Esquema de un sistema de transmisión lineal por tornillo de bolas

Fuente: <http://www.alcipro.org/>

Existen varios tipos de mecanismos que permiten transmitir y transformar un movimiento giratorio en movimiento lineal, entre los principales y más utilizados se tiene:

- Piñón – cremallera

Este tipo de sistema es aplicado en máquinas con ejes de grandes longitudes de desplazamiento, así mismo es considerado un sistema preciso y rápido a trasladarse. Es un mecanismo ideal para ser instalado en máquinas robustas, donde el cabezal o puente excede en dimensión al traslado de la herramienta de corte con respecto al área de trabajo. (Bartsch, 1978).

La transmisión piñón – cremallera necesita de un buen mantenimiento para un mejor desempeño, tiene un alto costo y un rendimiento considerable. Vale recalcar que para este tipo de sistema se debe utilizar un motor con alto par de torsión ya que en el eje del mismo se ubica el piñón.



Figura 1-19. Ejemplo de piñón – cremallera

Fuente: <http://electricidad-3b.blogspot.com/>

- Transmisión por tornillo de bolas

El tornillo de bolas es un sistema de transmisión el cual convierte el movimiento giratorio en lineal, el cual es producido por un motor acoplado al tornillo. El procedimiento es parecido al del tornillo sin fin o tuerca y tornillo, este tipo de sistema es utilizado en la mayoría de máquinas CNC y sistemas de transmisión lineal.



Figura 1-20. Tornillo de bolas utilizado

Fuente: <http://i.ebayimg.com/images/a/T2eC16Z,!E9s2fDPj5BQVoQw7s2g~~/s-l300.jpg>

Funcionalmente el tornillo de bolas es muy eficiente y preciso, ya que tiene mínimo rozamiento, cero juego, menor peso y considerable rapidez de trabajo. Este tipo de tornillo es llamado así ya que consta de una tuerca, la cual lleva internamente bolillas recirculantes para reducir al máximo el rozamiento y mantener tanto la rigidez como la precisión del traslado de los carros o mesas de trabajo a lo largo de cada eje.

Existe un gran punto positivo para la utilización de este sistema y por el cual es elegido para la máquina CNC descrita en este documento, teniendo en cuenta el bajo par de torsión que se necesita para generar el movimiento giratorio del tornillo, por ende se reduce los costos en la adquisición de actuadores.

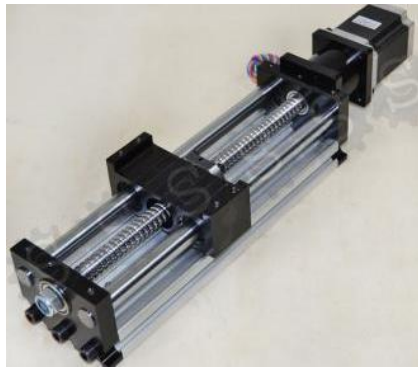


Figura 1-21. Ejemplo de transmisión por tornillo de bolas

Fuente: <http://www.tecnoficio.com/electricidad/images/ballscrew4.jpg>

- Guías lineales

El sistema de guías lineales es sumamente útil y va acompañado en conjunto con los tornillos de bolas o piñón – cremallera, se las utiliza para un fácil, preciso y eficaz desplazamiento de las mesas de trabajo en cada uno de los ejes. Este sistema está conformado por rieles redondos o prismáticos, en donde pueden trasladarse un bloque móvil, el cual está conformado por bolillas recirculantes en su interior.

Sobre este bloque móvil va acoplado la mesa a desplazarse, resistiendo la carga a lo largo del eje sin ningún tipo de resistencia, gracias a la unión de estos sistemas, la máquina CNC puede desplazar cada uno de los ejes en las tres direcciones.



Figura 1-22. Guías lineales utilizadas en la maquina

Fuente: <http://mla-s2-p.mlstatic.com/>

1.3.1.3. Motores o actuadores para la transmisión

Para generar el movimiento longitudinal de cada eje en una máquina CNC, se necesita de un actuador el cual produzca una cierta fuerza y este acoplado al conjunto de mecanismos para transportar fácilmente la mesa de trabajo. Estos actuadores son motores eléctricos los cuales proporcionan un par torsional para producir los desplazamientos principales en cada uno de los ejes. (Tecnoficio, 2006).

Existen varios tipos de motores eléctricos para utilizarlos fundamentalmente en una máquina CNC, estos motores deben tener la capacidad de posicionar su eje o controlar el número de revoluciones. Entre los motores más utilizados se tiene:

- Servomotores

Los servomotores, son motores o dispositivos capaces de ser controlados en su posición y velocidad dentro de su rango de operación, los cuales contienen internamente un circuito de control. Los cuales son utilizados para aplicaciones pequeñas o a nivel industrial, por su gran variedad y versatilidad; entre ellos tenemos:

a) Servomotores DC:

Este tipo de servomotor el cual contiene en su interior un motor de corriente directa (CD), un circuito de control y una caja reductora; para ser controlados eficazmente. Estos servomotores caracterizados por su peso ligero, menor tamaño y gran vida útil, tienen la posibilidad de trabajar con un considerable par de torsión.



Figura 1-23. Ejemplo de un servomotor CD

Fuente: <http://g03.a.alicdn.com/>

b) Servomotores AC:

Están constituidos principalmente por un motor de corriente alterna (AC), el cual entrega por característica principal un elevado par de torsión al arrancar y al posicionarse fijamente. Este tipo de servomotores normalmente son controlados por drivers y encoders, para el posicionamiento exacto del eje y controlar su velocidad; dando como resultado un amplio rango de trabajo, normalmente considerados a nivel industrial.



Figura 1-24. Ejemplo de un servomotor AC

Fuente: <http://img.directindustry.com/>

- Motores de pasos

Los motores paso a paso tienen un comportamiento diferente al de los motores de corriente continua, los cuales no son buenos para ofrecer un buen torque a baja velocidad sin la ayuda de un mecanismo de reducción. Los motores paso a paso no giran libremente por sí mismos, avanzan girando por pequeños pasos, tienen relación entre la velocidad y torque (un parámetro que también es llamado "par motor") y su mayor capacidad de torque se produce a baja velocidad.

- Tipos de motores de pasos:

Los motores paso a paso se dividen en dos categorías principales: de imán permanente y de reluctancia variable. También existe una combinación de ambos, a los que se les llama híbridos. (Carletti, 2007).

Motores de paso de imán permanente son los más utilizados, por ejemplo, en el avance de papel en las impresoras, en el movimiento del cabezal de las disqueteras, etc. Como su nombre indica, poseen un imán que aporta el campo magnético para la operación y se dividen en motores paso a paso de imán permanente unipolares (también llamados "unifilares"), bipolares (también llamados "bifilares").

a) Motor de pasos bipolar:

Este tipo de motor generalmente consta de 4 cables para su funcionamiento, tiene internamente dos bobinas las cuales necesitan del cambio de flujo de corriente adecuado para generar el movimiento apropiado.

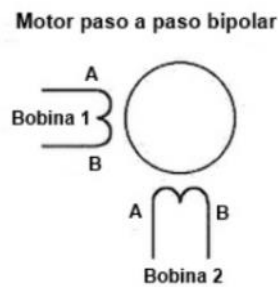


Figura 1-25. Diagrama del bobinado del motor

Fuente: <http://www.todorobot.com.ar/>

Existe una tabla de secuencias para el funcionamiento de estos motores, donde se invierte la corriente que circula por las bobinas de forma continua, para generar el movimiento o pasos del motor y sumado a estos controlar la posición del eje.

5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

Figura 1-26. Tabla de configuración de un motor PaP bipolar

Fuente: <http://diymakers.es/wp-content/uploads/2013/12/invertits.jpg>

b) Motor de pasos unipolar:

En el caso de este motor, consta normalmente de 5 o 6 cables de control, ya que depende del tipo de conexión interna y es caracterizado por su facilidad de ser controlado.

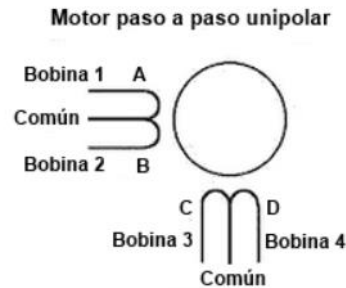


Figura 1-27. Bobinado de un motor PaP unipolar

Fuente: <http://unelectronica.260mb.com/>

Entre las configuraciones de control para los motores de paso unipolares tenemos tres tipos de secuencias que son la normal o activación de dos bobinas, wave drive o activación de una sola bobina a la vez y la medio paso o activación de las bobinas que dan el movimiento resultante de medio paso:

PASO	SECUENCIA 1 (NORMAL)				SECUENCIA 2 (WAVE DRIVE)				SECUENCIA 3 (MEDIO PASO)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
3	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
4	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0
5									0	0	1	0
6									0	0	1	1
7									0	0	0	1
8									1	0	0	1

Figura 1-28. Diferentes configuraciones de un motor PaP unipolar

Fuente: <http://www.robotsperu.org/>

Motores de paso con reluctancia variable, poseen un rotor de hierro dulce que en condiciones de excitación del estator, y bajo la acción de su campo magnético, ofrece menor resistencia a ser atravesado por su flujo en la posición de equilibrio. Su mecanización es similar a los de imán permanente y su principal inconveniente radica en que en condiciones de reposo (sin excitación) el rotor queda en libertad de girar; información de (Carletti, 2007).

Motores de paso híbridos combinan las mejores características de los de reluctancia variable y de imán permanente. Se construyen con estatores multidentados y un rotor de imán permanente. Los motores híbridos estándar tienen 200 dientes en el rotor y giran en pasos de 1,8 grados. Dado que poseen alto torque estático - dinámico y se mueven a muy altas velocidades de pulso igualando al funcionamiento de los servomotores, se los utiliza en una amplia variedad de aplicaciones industriales.

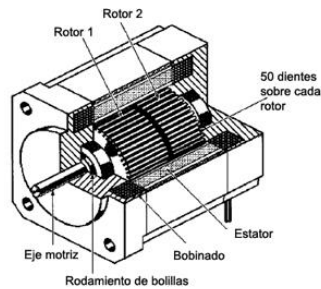


Figura 1-29. Motor de pasos híbrido

Fuente: <http://www.tecnoficio.com>

- Selección de motores para el movimiento de los ejes:

Hay que tomar mucho en cuenta la precisión al momento de seleccionar los motores eléctricos, ya que una máquina CNC necesita realizar trayectorias milimétricas con la mínima tolerancia, sin dejar atrás el alto.

Entre los motores más utilizados para control numérico tenemos a los servomotores y motores de paso. A continuación una tabla comparativa entre los dos tipos, tomando en cuenta el costo y disponibilidad. (Act_Motors, 2008)

Tipo de motor Característica	Motores de Paso híbrido	Servomotor
Precisión	Regular - alta	Alta
Funcionamiento	Necesita controlador	Necesita controlador
Alimentación	DC	AC
Costo	Bajo	Alto
Configuración	Fácil	Compleja

Figura 1-30. Tabla de selección de motores

Con las características anteriores, se ha optado por elegir un motor de pasos híbrido, principalmente por su costo y su elevada capacidad de posicionarse, girando por medio de pulsos eléctricos que entrega el controlador, estos pulsos hacen que el eje gire 1.8 grados (pasos). El motor reduce los pasos a micro pasos, que lo hace aún más preciso e idéntico a un servomotor, dependiendo de su configuración.



Figura 1-31. Motor de pasos utilizado

Fuente: <http://www.act-motor.com/>

1.3.1.4. Motor de grabado o husillo principal

El husillo principal es un motor que posee altas revoluciones y un torque apreciable, el cual se lo utiliza para el grabado de las placas. Se ubica en posición vertical y en dirección del eje z, cumple la función de fresar y mecanizar el área o superficie elegida. Para la selección de un motor de grabado, hay que tener en cuenta ciertos parámetros como son:

- El material de grabado o fresado
- Rigidez de la maquina
- El rango del motor con respecto a su velocidad (RPM)

Normalmente en una máquina CNC hay que tomar en cuenta el área, las limitaciones y parámetros de trabajo, los cuales se calcularan más adelante dependiendo del tipo de material a ser grabado.



Figura 1-32. Motor utilizado para el grabado

Fuente: <http://www.cubic-print.com/>

1.3.2. COMPONENTES PARA EL CONTROL DEL SISTEMA CNC

Los sistemas de control numérico computarizado (CNC), como su nombre lo indica son ejecutados y controlados por medio de un ordenador. Estos sistemas están compuestos por un conjunto de elementos eléctricos que controlan en si la máquina, como son los motores, mecanismos de transmisión y el husillo para el grabado.

Estos componentes deben estar en interfaz con el ordenador principal, para recibir las señales que son ejecutadas por medio un software de control que se lo especificara más adelante. El funcionamiento del conjunto de elementos de control de una máquina CNC, esta comandado por una tarjeta de control CNC, que se comunica al ordenador mediante un cable USB, la misma que ordena mediante drivers o controladores, a los tres motores de pasos y accionan cada uno de los movimientos de los tres ejes principales de trabajo, por medio de los mecanismos implementados.

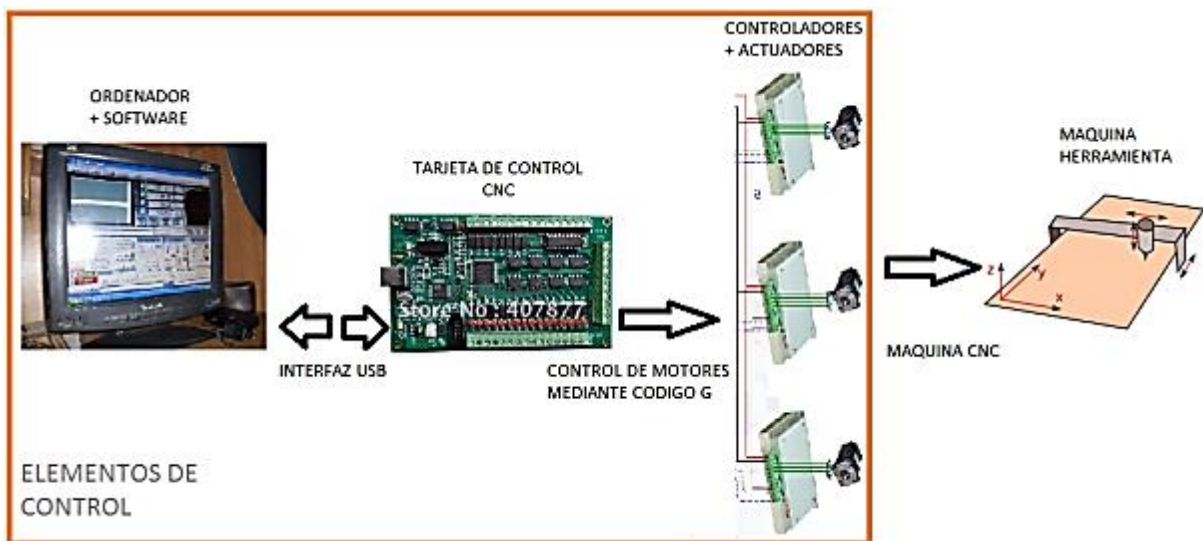


Figura 1-33. Esquema de los elementos de control CNC

Un sistema CNC se determina como un proceso completo y automatizado, ya que controla mecanismos independientes por medio de un software, incluyendo periféricos de entrada y de salida los cuales son utilizados para sensores externos, paros de emergencia y activación de sistemas de refrigeración o semejantes.

1.3.2.1. Drivers o controladores para motores de paso

Los drivers son controladores electrónicos compactos, ideales y especialmente fabricados para el control y funcionamiento de un motor. En este caso la función de los drivers es semejante al funcionamiento de un servomotor, lo cual permite que el motor de pasos sea bajo en vibraciones, ruido y alto en precisión. (Act_Motors, 2008)

Para el funcionamiento del driver, se cuenta con dos configuraciones que indican la ubicación del “dip-switch” o interruptor de 8 posiciones, que están relacionadas con las señales (pulso/revoluciones) y la corriente de salida dinámica que alimenta al motor de pasos. El driver utilizado en esta máquina es capaz de cambiar los pasos convencionales del motor a micro pasos, mejorando el posicionamiento y precisión del eje, es útil para motores de dos fases o motores bipolares y consta de las siguientes características principales:



Figura 1-34. Driver utilizado para el control del motor

Fuente: http://www.act-motor.com/images/product/dm542/t_dm542720p_1.jpg

- Alto rendimiento en relación al precio
- Promedio de control de corriente, 2 fases de salida sinusoidal
- La tensión de alimentación de 24 V CC a 50VCC
- Aislado Opto-senal de E / S
- Sobretensión, bajo voltaje, protección del cortocircuito de fase
- 8 canales de fase de salida con ajuste actual
- Terminales de entrada de fácil conexión
- El par motor se relaciona con la velocidad
- Alta velocidad de inicio
- Alto par de torsión a alta velocidad

1.3.2.2. Fuentes de alimentación

Las fuentes de alimentación son las encargadas de brindar el voltaje y la corriente necesaria para el funcionamiento de todo el sistema eléctrico CNC, estas fuentes son fabricadas idealmente para proporcionar la potencia suficiente que demanda todas las conexiones del sistema CNC.

Una sola fuente de alimentación normalmente es capaz de entregar un voltaje de 36V, una corriente de 10A y una potencia de 350 watts, para el conjunto de tres drivers que controlan los tres motores de pasos, para cada uno de los ejes de la máquina CNC.



Figura 1-35. Fuente de alimentación utilizada

Fuente: <http://i.ebayimg.com/>

1.3.2.3. Tarjeta de control CNC

Una tarjeta de control CNC es la que permite calibrar, configurar e interpretar los comandos de programación enviados y generados desde un software, para convertirlos en señales eléctricas y de control.

La interfaz entre la tarjeta controladora y el computador puede ser mediante la conexión USB o una conexión serial; el software del ordenador es el encargado de desarrollar el diseño y generar un código G del mismo, donde la tarjeta se encargara de interpretar dicho código por medio de su procesador interno.

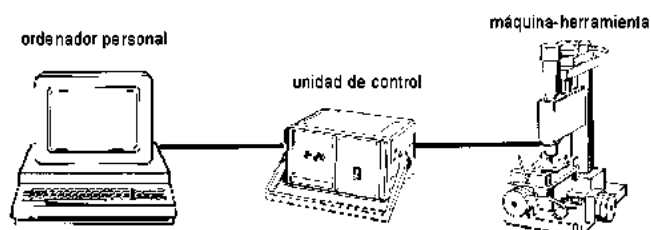


Figura 1-36. Sistema de control CNC

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/0002953340.png>

La tarjeta controladora utilizada es apta para el uso y control de tres a cuatro ejes de manera independiente, es decir que tiene un control continuo de funcionamiento de los tres motores, sincronizando los parámetros fundamentales como son la velocidad y precisión en el mecanizado de la máquina.

Hay que tener en cuenta que la tarjeta CNC en interfaz con el computador, necesita de un software único que se lo detallara más adelante, el cual sirve para el control y ajuste del sistema completo CNC de tres ejes, mediante la tarjeta controladora. Las características principales que tiene la tarjeta de control CNC son:

- Soporte completo de conexión USB
- Frecuencia máxima de paso/pulso de 200 KHz, adecuado para los motores
- 16 entradas de propósito general, con indicadores particulares, aislados y no se pide fuente de alimentación externa. La energía del sistema de control electrónico son de fácil uso. Además, la alimentación externa también se puede aplicar para reducir la carga de USB.
- Avance, la tasa de velocidad de giro, o la velocidad de corte pueden regulados y controlados por un potenciómetro externo
- 10 opto acopladores de alta velocidad con 10 MHz, 24 opto acopladores generales para el aislamiento de todas las señales de entrada / salida, este diseño puede proporcionar un alto rendimiento y estabilidad del sistema.
- Compatibilidad exclusiva con el software Mach3.
- Ejecución en tiempo real para observar los cambios de velocidad del husillo



Figura 1-37. Tarjeta de control CNC utilizada

Fuente: <http://g02.a.alicdn.com/>

1.3.3. SOFTWARE DE CONTROL CNC

Dentro de la interfaz entre el ordenador y la tarjeta controladora de la máquina CNC, existe un software de control, el cual cumple con la función de enviar la información por medio de un lenguaje de control llamado “código G”, a través de un protocolo de comunicación, para interpretar las coordenadas por medio de cálculos y manipular los motores de cada eje, para posicionar la herramienta de corte.

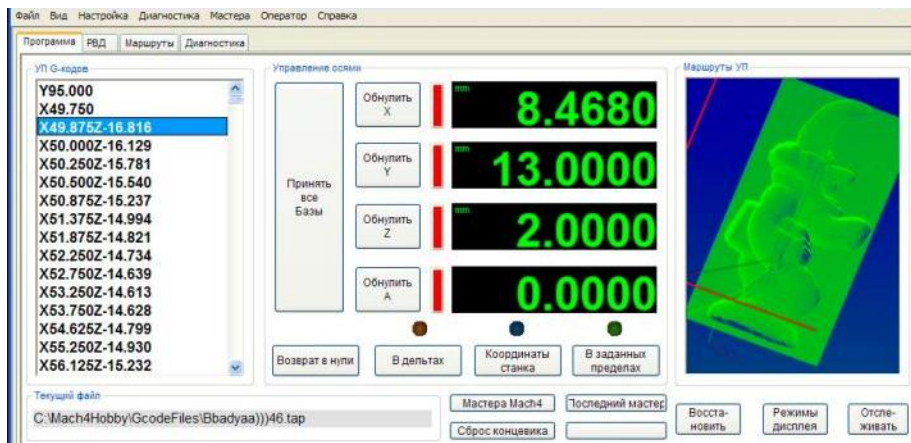


Figura 1-38. Ejemplo de software de control

Fuente: <http://www.machsupport.com/software/mach3/>

El software de control al momento de seleccionarlo, debe tener la funcionalidad de ordenar, manipular, monitorear y calibrar la máquina CNC en tiempo real. Ya que existen normas de seguridad al utilizar una máquina-herramienta, tomando en cuenta los motores de alto par, elementos mecánicos de gran tamaño y herramientas de corte que pueden ocasionar daños a la máquina en si o al operador de la misma.

1.3.4. SOFTWARE DE DISEÑO

Para iniciar un trabajo de mecanizado de una pieza en general, se debe partir desde un diseño o bosquejo, para determinar los parámetro de medida y modelado de la misma, es por eso que actualmente podemos encontrar variedad de software de diseño, los cuales son utilizados para la creación de elementos, dibujos o gráficos en dos y tres dimensiones, de tal manera que facilitan la interacción con el usuario.



Figura 1-39. Ejemplo de un software de diseño

Fuente: <http://www.servicios-graficos.com>

Entre los diferentes tipos de software, existen algunos centrados en la parte del modelamiento mecánico como el CAD (Diseño asistido por computador), otros dedicados a la manufactura o creación de elementos como el CAM (Manufactura asistida por computador), y también software dedicados al diseño gráfico o artístico, para la creación de imágenes o representaciones visuales. (Kalpakjian & Schmid, 2008).

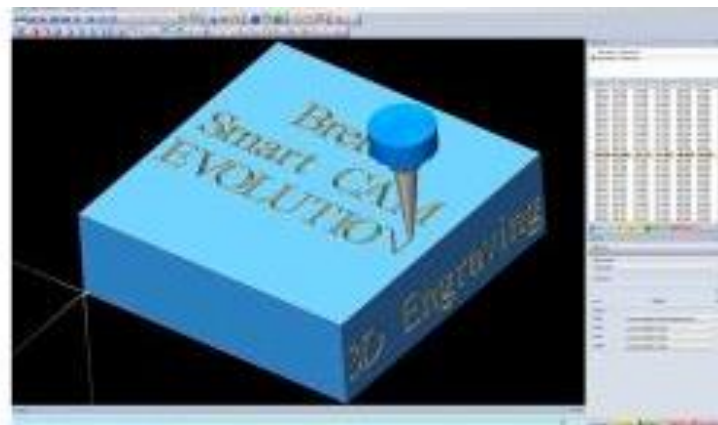


Figura 1-40. Ejemplo de software CAM

Fuente: <http://img.directindustry.de/>

La variedad de software que existe hoy en la actualidad es de un gran número, los cuales son seleccionados por razones como el precio, versatilidad, control y el fácil manejo al momento de utilizarlos, entre los más utilizados o conocidos tenemos:

- Software CAD'S:
 - a) SolidWorks
 - b) Inventor
 - c) AutoCAD
 - d) Catia
- Software CAM'S
 - a) InventorCAM
 - b) KCam
 - c) MasterCam
- Software de diseño grafico
 - a) Ilustrador
 - b) Artcam
 - c) Inkscape
 - d) Aspire
 - e) Corel Draw

1.3.4.1. Código G

Se trata de un lenguaje de programación vectorial mediante el que se describen acciones simples y entidades geométricas sencillas (básicamente segmentos de recta y arcos de circunferencias), junto con sus parámetros de maquinado (velocidades del husillo y el avance de la herramienta).

Este lenguaje normalmente utilizado por control numérico, el cual consta de instrucciones o comandos que indican el lugar, la rapidez y la trayectoria que debe moverse la máquina. Esta estandarización fue adoptada por la totalidad de los fabricantes industriales de CNC y permite utilizar los mismos programas en distintas máquinas CNC de manera directa o con adaptaciones menores. (Teruel, 2005).

A continuación se presenta un ejemplo de una tabla básica de algunos de los comando principales en "código G":

G00: Posicionamiento rápido (sin maquinar)	G01: Interpolación lineal (maquinando)
G02: Interpolación circular (horaria)	G03: Interpolación circular (anti horaria)
G04: Compás de espera	G10: Ajuste del valor de offset del programa
G20: Comienzo de uso de unidades imperiales (pulgadas)	G21: Comienzo de uso de unidades métricas
G28: Volver al home de la máquina	G32: Maquinar una rosca en una pasada
G36: Compensación automática de herramienta en X	G37: Compensación automática de herramienta en Z
G40: Cancelar compensación de radio de curvatura de herramienta	G41: Compensación de radio de curvatura de herramienta a la izquierda
G42: Compensación de radio de curvatura de herramienta a la derecha	G70: Ciclo de acabado
G71: Ciclo de maquinado en torneado	G72: Ciclo de maquinado en frentado
G73: Repetición de patrón	G74: Taladrado intermitente, con salida para retirar virutas
G76: Maquinar una rosca en múltiples pasadas	G96: Comienzo de desbaste a velocidad tangencial constante
G97: Fin de desbaste a velocidad tangencial constante	G98: Velocidad de alimentación (unidades/min)
G99: Velocidad de alimentación (unidades/rev)	

Figura 1-41. Tabla resumida del lenguaje código G

Fuente: http://www.metactual.com/revista/22/automati_cnc.pdf

CAPÍTULO II

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

2.1. GENERALIDADES DEL DISEÑO

El diseño de la estructura de una máquina de control numérico computarizado en general debe constar principalmente de, una mesa de trabajo la cual soporta y sujeta la placa y un puente o cabezal (fijo o móvil) el cual mantiene los elementos mecánicos de los ejes “X” y “Z”. Las dimensiones de la máquina originan el área de trabajo y la robustez de la estructura depende del peso de los mecanismos y del tipo de material que va a mecanizar o grabar.

En este caso la máquina CNC de tres ejes está diseñada con un puente fijo (eje “X”), el cual permite aumentar la rigidez de la estructura de la máquina, para una buena estabilidad en el grabado. El diseño de los laterales que soportan al eje “X” brinda un buen apoyo simétrico con respecto a la suma de las cargas que conforman el eje “X” y el eje “Z”; el diseño realizado se presenta en la figura a continuación.

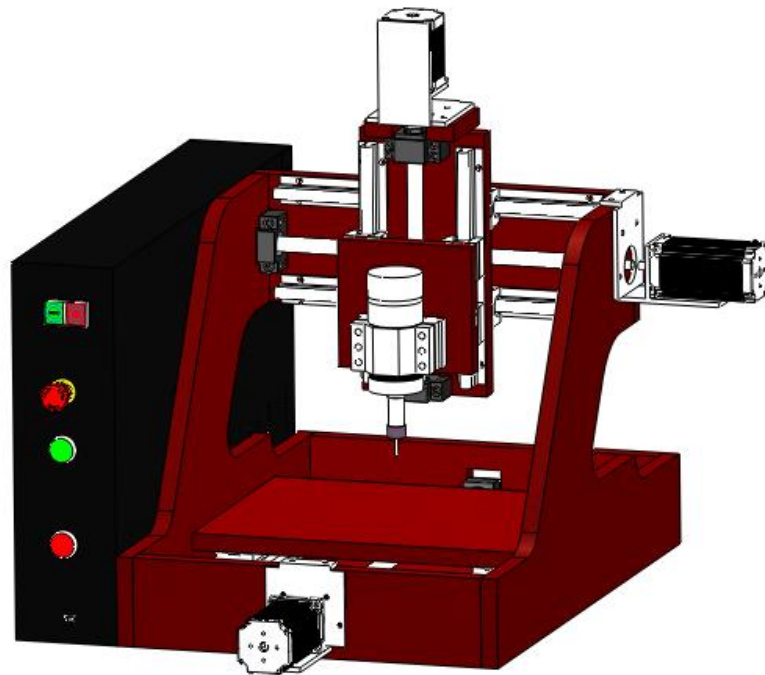


Figura 2-1. Diseño de la máquina CNC de tres ejes

Para el diseño de la máquina CNC de tres ejes, se toma en cuenta los cálculos para el fresado con respecto al corte y maquinado de la placa o pieza. De esta manera se tendrá la fuerza de corte necesaria para el grabado y las reacciones que ejercen cada uno de los elementos que constituyen los tres ejes de la máquina CNC.

Para determinar los siguientes cálculos, se comienza por utilizar los parámetros que dispone el fabricante de cada uno de los elementos implementados en el diseño y construcción de la máquina CNC, tales como el tipo de fresa, motor de grabado o husillo y sistemas mecánicos de transmisión.

2.1.1. DIMENSIONES PARA EL DESPLAZAMIENTO Y ÁREA DE TRABAJO

Las dimensiones de la máquina CNC de tres ejes conforman un papel importante para el área de trabajo y la función que desempeñara la máquina, como es el caso de grabar placas. A continuación se detalla las medidas que relacionan el recorrido de cada uno de los ejes, los límites del área de grabado y las dimensiones de la estructura que conforman la máquina CNC:

- a. Dimensiones de la máquina
 - 60 cm de altura
 - 40 cm de ancho
 - 60 cm de profundidad

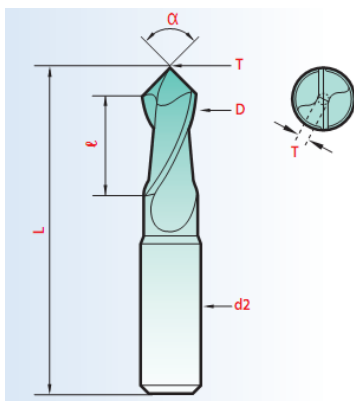
- b. Área de trabajo
 - 210 mm en el eje X (ancho)
 - 240 mm en el eje Y (largo)
 - 150 mm en el eje Z (altura)

- c. Recorrido máximo de cada eje
 - 310 mm de recorrido en el eje X
 - 440 mm de recorrido en el eje Y
 - 230 mm de recorrido en el eje Z

2.2. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS PARA EL GRABADO

Como se habló con anterioridad el objetivo de la máquina CNC tiene la posibilidad de grabar sobre materiales con una dureza no mayor a la del aluminio, como es la madera y el plástico. Por tal razón los siguientes cálculos están enfocados en el grabado para aluminio, siendo este el material más crítico en el rendimiento de la máquina.

Para realizar el trabajo de grabado en placas de aluminio, se ha seleccionado una fresa de metal duro (carburo metálico) de la marca alemana Magafor, la cual es una herramienta multifuncional especializada en el grabado, con una dureza rockwell de 60 HRC (resistencia del material a penetraciones), a continuación los datos de fabricante (Magafor, 2013):



Datos del Fabricante:

Ángulo de corte $\alpha = 60^\circ$

Diámetro de corte $D = 2 \text{ mm}$

Avance por diente $V_f = 0.0085 \text{ mm}$

Número de dientes $Z_c = 2$

Figura 2-2. Bosquejo de la fresa utilizada

Fuente: <http://www.magafor.com/>

2.2.1. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CORTE (V_c)

$$V_c \left[\frac{m}{min} \right] = \frac{D \times \pi \times n}{1000}$$

Ecuación 5. Cálculo de la velocidad de corte

Fuente: (Magafor, 2013)

Dónde:

$D = 2 \text{ mm}$

Diámetro de corte de la fresa

$n = 12000 \text{ RPM}$

Número máximo de revoluciones del motor de grabado

Entonces:

$$V_c = \frac{2mm \times \pi \times 12000}{1000}$$

$$V_c = 75.39 \left[\frac{m}{min} \right]$$

2.2.2. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE AVANCE (Vf):

Este cálculo corresponde a la velocidad que avanza la herramienta de corte con respecto a la pieza en el plano X-Y.

$$V_f \left[\frac{mm}{min} \right] = f_z \times n \times Z_c$$

Ecuación 6. Cálculo de la velocidad de avance

Fuente: (Magafor, 2013)

Dónde:

$f_z = 0.008mm$ Avance por diente (dato del fabricante)

$n = 12000RPM$ Revoluciones máximas del motor de grabado

$Z = 2$ Numero de dientes de la fresa (dato del fabricante)

Entonces:

$$V_f = 0.008mm \times 12000 \times 2$$

$$V_f = 192 \left[\frac{mm}{min} \right]$$

2.2.3. CÁLCULO DE LA FUERZA DE CORTE (Fc)

La fuerza de corte (Fc) parte de una formula aproximada, la cual depende de un factor llamado presión específica de corte (Kc):

$$F_c [N] = K_c \times A_c$$

Ecuación 7. Cálculo de la fuerza de corte

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

Dónde:

A_c = Área de corte

K_c = presión específica de corte, la cual depende del material a ser grabado

Para determinar la presión o esfuerzo específico de corte (K_c), tenemos que conocer el espesor medio de la viruta (h_m) a desprender, el cual tiene semejanza con el avance por diente (f_z), el cual nos indica el fabricante de la fresa utilizada para el grabado.

Para el cálculo aproximado del espesor medio de la viruta (h_m) tenemos:

$$h_m = f_z \times \sqrt{\frac{ae}{D}}$$

Ecuación 8. Cálculo del espesor de la viruta

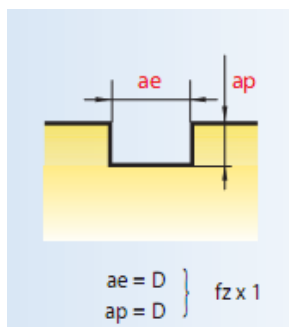
Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

Dónde:

$f_z = 0.0085\text{mm}$ El avance por diente de la fresa

$ae = 2\text{mm}$ Ancho de corte

$D = 2\text{mm}$ Diámetro de corte de la fresa



Ancho de corte $ae = D = 2\text{mm}$

Profundidad de corte $ap = 2\text{mm}$

Figura 2-3. Profundidad y Ancho de corte

Fuente: <http://www.magafor.com/>

Entonces para el espesor medio de la viruta (h_m) tenemos:

$$h_m = 0.0085mm \times \sqrt{\frac{2mm}{2mm}}$$

$$h_m = 0.0085mm$$

Con el valor del espesor medio de la viruta (h_m), partimos a la selección de la presión o esfuerzo específico de corte (K_c) del siguiente gráfico:

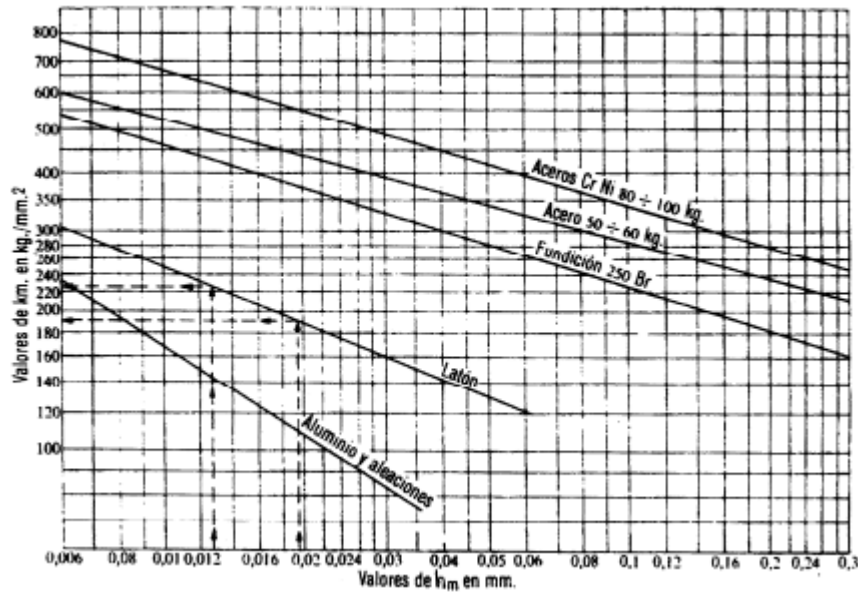


Figura 2-4. Diagrama para encontrar la presión específica K_c

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

Entonces de acuerdo al espesor medio y según el diagrama aproximado que detalla la presión específica de corte para el aluminio nos indica:

$$K_c = 260 \left[\frac{Kg}{mm^2} \right] \times 9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$K_c = 2548 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Para el área de corte (A_c), necesitamos el cálculo del avance de corte por vuelta o revolución (f_n):

$$f_n = f_z \times Z_c$$

Ecuación 9. Cálculo del avance por revolución

Fuente: (Magafor, 2013)

$$fn = 0.0085mm \times 2$$

$$fn = 0.017 mm$$

Entonces:

$$Ac = fn \times ae$$

Ecuación 10. Cálculo del área de corte

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

$$Ac = 0.017mm \times 2mm$$

$$Ac = 0.039mm^2$$

Pasamos al cálculo de la fuerza de corte (Fc) donde tenemos:

$$Fc[N] = Kc \times Ac$$

$$Fc = 2548 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \times 0.039mm^2$$

$$Fc = 100[N]$$

2.2.4. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE CORTE:

El cálculo de la potencia permisible en el corte y fresado de la máquina CNC, depende de la cantidad de viruta admisible la cual encontraremos en la tabla generalizada de acuerdo al material, la potencia a calcular es la requerida para desprender un porcentaje en cantidad de viruta del material a grabar.

$$Pc[KW] = \frac{ae \times ap \times Vf}{1000 \times V'}$$

Ecuación 11. Cálculo de la potencia de corte

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

Dónde:

V' = Es la cantidad de viruta admisible del aluminio

Tipo de fresa	Acero 35-60 kg/mm ²	Acero 60-80 kg/mm ²	Acero >80 kg/mm ²	Fundición gris	Latón y bronce rojo	Metales ligeros
Fresa cilíndrica	12	10	8	22	30	60
Fresa frontal	15	12	10	28	40	75

Figura 2-5. Tabla para la selección de viruta admisible

Fuente: (Groover, 1997)

En este caso se tomara el valor de $60 \left[\frac{cm^3}{min} KW \right]$, ya que el aluminio consta como un metal ligero y generaliza la tabla, entonces:

$$P_c = \frac{2 \times 2 \times 192 \left[\frac{mm}{min} \right]}{1000 \times 60 \left[\frac{cm^3}{min} KW \right]}$$

$$P_c = \frac{768}{60000}$$

$$P_c = 0.0128KW = 12.8[Watts]$$

2.3. CÁLCULOS Y MONTAJE DE LOS TRES EJES

Una carga estática es la fuerza que actúa sobre cierto objeto, eje o mecanismo y en donde puede existir cierta deformación o rotura. Se propone identificar las fuerzas resultantes, las cuales se forman de la suma de las fuerzas o cargas que soportan cada uno de los tres ejes de la máquina y así determinar los esfuerzos que ejercen los sistemas mecánicos, como son las guías lineales y los tornillos de bolas.

2.3.1. FUERZA RESULTANTE DEL EJE Z

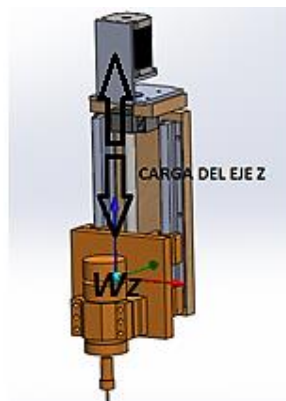


Figura 2-6. Imagen del diseño y la masa del eje "Z"

$$F_z = W_z + F_c$$

Ecuación 12. Cálculo de la fuerza total o sumatoria de fuerzas

Fuente: (THK, Catalogo Espanol_THK guias lineales, 2012)

Dónde:

F_z = Es la fuerza resultante y la carga total que soporta el eje "Z"

W_z = Es el peso de la estructura y de sus elementos que la conforman

F_c = Fuerza de corte que se presenta en el grabado

Para determinar el peso total que soporta cada uno de los ejes, se debe partir de la suma de todas las masas de cada uno de los elementos que conforman el eje "Z".

$$W_z = masa_z \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

Ecuación 13. Cálculo del peso de la carga

Fuente: (THK, Catalogo Espanol_THK guias lineales, 2012)

$$masa_z = m_{motor} + m_{estructura} + m_{elementos}$$

$$masa_z = 1.5kg + 0.5kg + 1kg$$

$$masa_z = 3kg$$

$$W_z = 3kg \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$W_z = 30[N]$$

$$F_z = 30[N] + 100[N]$$

$$F_z = 130[N]$$

2.3.2. FUERZA RESULTANTE DEL EJE X

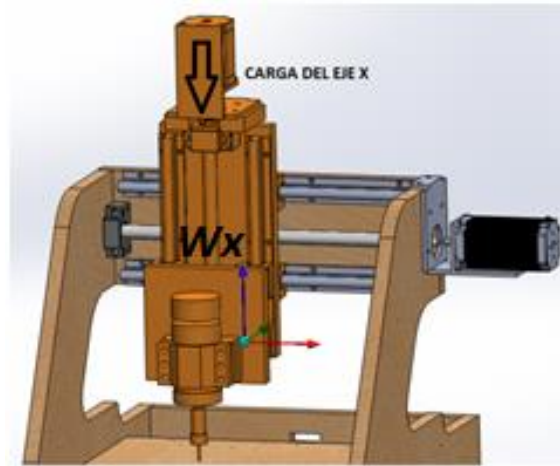


Figura 2-7. Imagen del diseño y masa del eje "X"

$$F_x = W_x + F_c$$

Dónde:

F_x = Es la fuerza resultante y la carga total que soporta el eje "X"

W_x = Es el peso de la estructura y de sus elementos que la conforman

F_c = Fuerza de corte en el grabado

$$W_x = masa_x \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$masa_x = m_z + m_{motor\ z} + m_{estructura} + m_{elementos}$$

$$masa_x = 2.6kg + 1.05kg + 0.6kg + 4.7kg$$

$$masa_x = 8.95kg$$

$$W_x = 9kg \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$W_x = 88[N]$$

$$F_x = 88[N] + 100[N]$$

$$F_x = 188[N]$$

2.3.3. FUERZA RESULTANTE DEL EJE Y



Figura 2-8. Imagen del diseño y masa del eje "Y"

$$Fy = Wy + Fc$$

Dónde:

Fy = Es la fuerza resultante y la carga total que soporta el eje "Y"

Wy = Es el peso de la estructura y de sus elementos que la conforman

Fc = Fuerza de corte en el grabado

$$Wy = masa_y \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$masa_y = m_{estructura} + m_{elementos}$$

$$masa_y = 1kg + 1.5kg$$

$$masa_y = 2.5kg$$

$$Wy = 2.5kg \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$Wy = 24.5[N]$$

$$Fy = 24.5[N] + 100[N]$$

$$Fy = 125[N]$$

2.3.4. DESPLAZAMIENTO DE LOS EJES POR GUÍAS LINEALES

Para el diseño de las bancadas de cada uno de los tres ejes (X, Y, Z) de la máquina CNC, debemos tomar en cuenta las fuerzas y reacciones que actúan en los sistemas de guías lineales, para el traslado y dirección de cada eje se utilizara el catalogo del fabricante (THK, The Mark of Linear Motion) de movimiento lineal.

2.3.4.1. Guías lineales del eje “Z”

Como podemos ver en la siguiente figura, tenemos los parámetros a tomar en cuenta para el cálculo de las cargas que se encuentran en cada uno de los apoyos de las guías lineales del carro vertical (eje “Z”), para determinar dichas fuerzas utilizaremos las siguientes ecuaciones.

$$1) P_1 \sim P_4 = -(P_2 \sim P_3) = \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0}$$

$$2) P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_0}$$

Ecuación 14. Cálculo de las cargas que actúan en el eje z

Fuente: (THK, Catalogo Espanol_THK guias lineales, 2012)

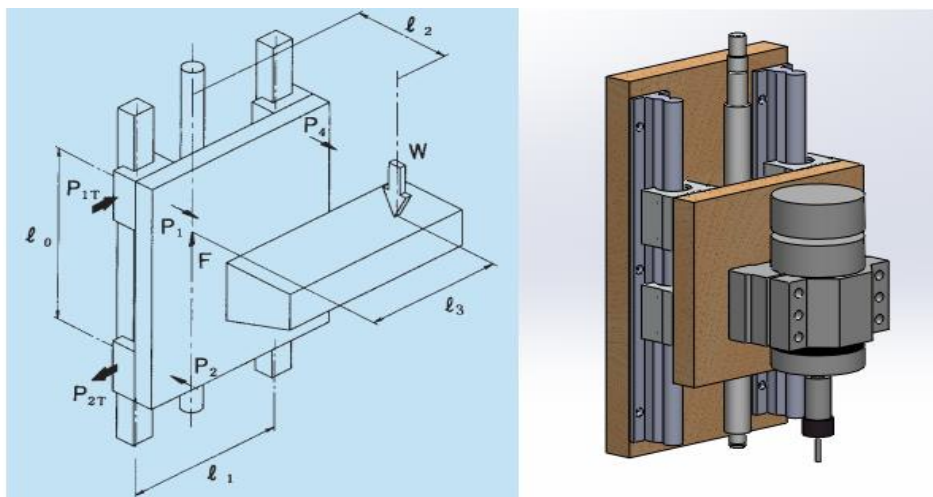


Figura 2-9. Parámetros que determinan las cargas del eje “Z”

Fuente: (THK, Catalogo Espanol_THK guias lineales, 2012)

De acuerdo a la figura debemos tomar en cuenta las siguientes condiciones de longitud y movimiento a velocidad constante para el diseño, vale aclarar que la longitud $l_3 = 0$, ya que en este caso el motor de grabado (carga W) está situado en el centro del carro vertical (eje “Z”):

- Tipo de movimiento: Vertical (ascendente y descendente)
- Longitud axial entre rodamientos lineales: $l_0 = 57mm$
- Longitud entre guías lineales: $l_1 = 103mm$
- Longitud entre la transmisión y el motor de grabado: $l_2 = 73mm$

La fuerza resultante en el eje “Z” calculada anteriormente, donde es la suma del peso del motor de grabado y sus elementos más la fuerza de corte: $W = F_Z = 99[N]$

Entonces:

$$P_1 \sim P_4 = \frac{99[N]}{2} \times \frac{73mm}{57mm}$$

$$P_1 \sim P_4 = 63.39[N]$$

$$P_2 \sim P_3 = -63.39[N]$$

$$P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{99[N]}{2} \times \frac{0mm}{57mm}$$

$$P_{1T} \sim P_{4T} = 0[N]$$

Para los diagramas de corte y momentos flectores, se determina las distancias que recorre y donde se mantienen los apoyos o rodamientos lineales del carro (eje “Z”), en el eje vertical para realizar el trabajo de grabado, considerando las distancias $d_1 = 30mm$ para el primero rodamiento y $d_2 = 59mm$ para el segundo.

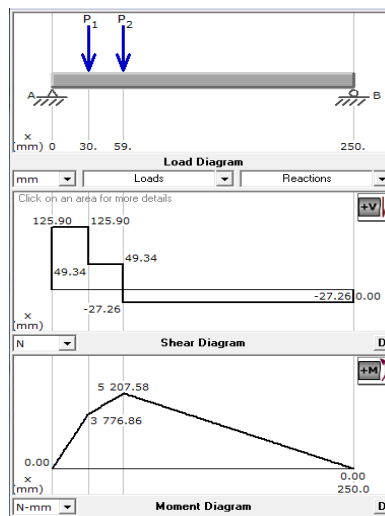


Figura 2-10. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores

2.3.4.2. Guías lineales del eje “X”

Como podemos ver en la siguiente figura, tenemos los parámetros a tomar en cuenta para el cálculo de las cargas que se encuentran en cada uno de los apoyos de las guías lineales del carro horizontal (eje “X”), para determinar dichas fuerzas utilizaremos las siguientes ecuaciones:

$$1) P_1 \sim P_4 = \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_1}$$

$$2) P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0}$$

$$3) P_{2T} \sim P_{3T} = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0}$$

Ecuación 15. Cálculo de las cargas que actúan en el eje x

Fuente: (THK, Catalogo Espanol_THK guias lineales, 2012)

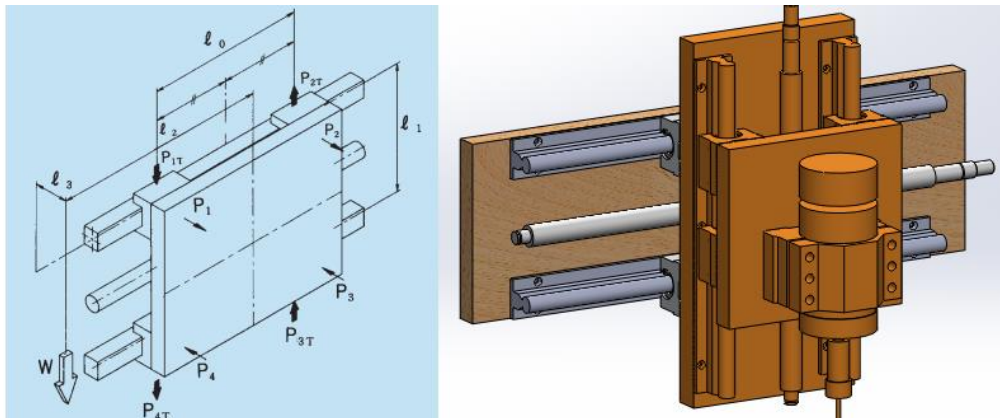


Figura 2-11. Parámetros que determinan las cargas del eje “X”

Fuente: (THK, Catalogo Espanol_THK guias lineales, 2012)

De acuerdo a la figura, debemos tomar en cuenta las siguientes condiciones de longitud y movimiento a velocidad constante para el diseño, vale aclarar que la longitud $l_2 = 0$, ya que en este caso la carga total del eje “Z” está situado en el centro de masa del carro horizontal (eje “X”):

- Tipo de movimiento: Horizontal (de izquierda a derecha)
- Longitud axial entre rodamientos lineales: $l_0 = 95mm$
- Longitud entre guías lineales: $l_1 = 107mm$

- Longitud entre la guía y el centro de masa de la carga total en Z: $l_3 = 35\text{mm}$

Recordemos que la fuerza resultante en el eje “X” calculada anteriormente incluye el peso total del eje “Z” más la fuerza de corte: $W = Fx = 188\text{[N]}$

Entonces:

$$P_1 \sim P_4 = \frac{188}{2} \times \frac{35}{107}$$

$$P_1 \sim P_4 = 31\text{[N]}$$

$$P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{188}{4} + \frac{188}{2} \times \frac{0}{95}$$

$$P_{1T} \sim P_{4T} = 47\text{[N]}$$

$$P_{2T} \sim P_{3T} = \frac{188}{4} - \frac{188}{2} \times \frac{0}{95}$$

$$P_{2T} \sim P_{3T} = 47\text{[N]}$$

Para los diagramas de corte y momentos flectores, se determina las distancias que recorre y donde se mantienen los apoyos o rodamientos lineales del carro (eje “X”), en el eje horizontal para realizar el trabajo de grabado, considerando las distancias $d_1 = 127.5\text{mm}$ para el primero rodamiento y $d_2 = 222.5\text{mm}$ para el segundo.

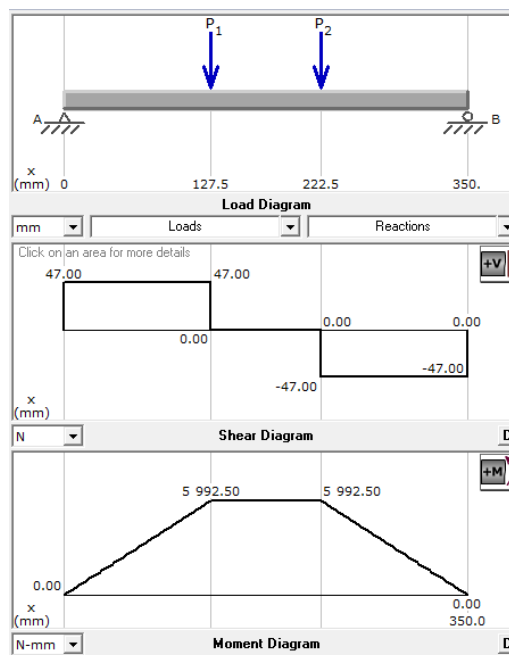


Figura 2-12. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores

2.3.4.3. Guías lineales del eje “Y”

Como podremos ver en la siguiente figura, tenemos los parámetros para el cálculo de las cargas que se encuentran en cada uno de los apoyos de las guías lineales del carro transversal (eje “Y”), para determinar dichas fuerzas utilizaremos lo siguiente:

$$P_1 = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0} - \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_1}$$

$$P_2 = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0} - \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_1}$$

$$P_3 = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0} + \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_1}$$

$$P_4 = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0} + \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_1}$$

Ecuación 16. Cálculo de las cargas que actúan en el eje y

Fuente: (THK, Catalogo Espanol_THK guías lineales, 2012)

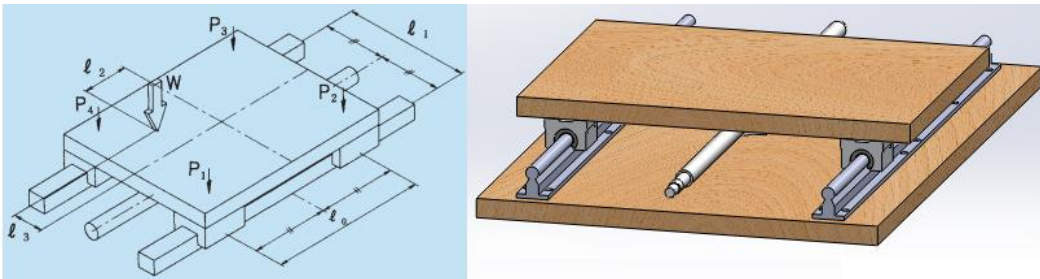


Figura 2-13. Parámetros que determinan las cargas del eje “Z”

Fuente: (THK, Catalogo Espanol_THK guías lineales, 2012)

De acuerdo a la figura debemos tomar en cuenta las siguientes condiciones de longitud y movimiento a velocidad constante para el diseño, vale aclarar que la longitud l_2 y $l_3 = 0$, ya que en este caso la carga total para el eje “Y” se encuentra en el centro de masa del carro transversal (eje “Y”):

- Tipo de movimiento: Horizontal (de izquierda a derecha)
- Longitud axial entre rodamientos lineales: $l_0 = 180mm$
- Longitud entre guías lineales: $l_1 = 280mm$

La fuerza resultante en el eje “Y”, donde tenemos el peso total de la mesa de trabajo del eje Y, más la fuerza de corte: $W = Fy = 110.25[N]$

Entonces:

$$P_1 = \frac{110.25}{4} + \frac{110.25}{2} \times \frac{0}{180} - \frac{110.25}{2} \times \frac{0}{280}$$

$$P_1 = 27.56[N]$$

$$P_2 = \frac{110.25}{4} - \frac{110.25}{2} \times \frac{0}{180} - \frac{110.25}{2} \times \frac{0}{280}$$

$$P_2 = 27.56[N]$$

$$P_3 = \frac{110.25}{4} - \frac{110.25}{2} \times \frac{0}{180} + \frac{110.25}{2} \times \frac{0}{280}$$

$$P_3 = 27.56[N]$$

$$P_4 = \frac{110.25}{4} + \frac{110.25}{2} \times \frac{0}{180} + \frac{110.25}{2} \times \frac{0}{280}$$

$$P_4 = 27.56[N]$$

Para los diagramas de corte y momentos flectores, se determina las distancias que recorre y donde se mantienen los apoyos o rodamientos lineales de la mesa (eje “Y”), en el eje transversal para realizar el trabajo de grabado, considerando las distancias $d_1 = 185\text{mm}$ para el primero rodamiento y $d_2 = 365\text{mm}$ para el segundo.

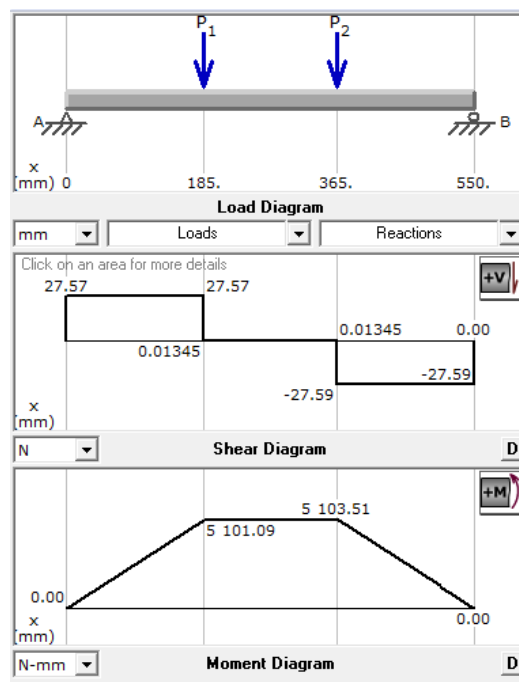


Figura 2-14. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores

Las gráficas de los diagramas de corte y momentos flectores que se han realizado en el software para cálculo de diseño llamado MDSolid (Mechanics of Deformable Solids Software), las cuales se analizan para escoger la gráfica con la magnitud del momento flector más crítico o mayor, que en este caso se da en el “Eje X”.

Dicha magnitud o momento es $M = 5993 \text{ N.mm}^2$, la cual nos ayuda a encontrar aproximadamente el diámetro mínimo que deben tener cada uno de los rieles o guías lineales de los ejes de la máquina CNC, gracias a los siguientes cálculos (Roberto L. Mott, 2006).

Esfuerzo normal máximo:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n}$$

Ecuación 17. Cálculo del esfuerzo normal máximo

Fuente: (Roberto L. Mott, 2006)

Dónde:

$S_y = 276 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ Es la resistencia a la fluencia del acero AISI 301 (material que se compone las guías lineales – Mott, Apéndice 6)

$n = 2$ Es el factor de seguridad (Libro de Mott sección 5-7)

Entonces se obtiene el esfuerzo normal máximo para un factor de seguridad promedio $n = 2$ para elementos con cargas dinámicas:

$$\sigma_{max} = \frac{276}{2}$$

$$\sigma_{max} = 138 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Esfuerzo con respecto al módulo de sección para una viga redonda:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}}$$

Ecuación 18. Cálculo del esfuerzo normal máximo

Fuente: (Roberto L. Mott, 2006)

$$S = \frac{5993 [mm^2]}{138 \left[\frac{N}{mm^2} \right]}$$

$$S = 44 mm^3$$

Cálculo y despeje del diámetro del módulo de sección para el eje $S = \frac{\pi \times d^3}{32}$:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 \times S}{\pi}}$$

Ecuación 19. Despeje y cálculo del diámetro de la guía

Fuente: (Roberto L. Mott, 2006)

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 42.02}{\pi}}$$

$$d_{min} = 8 mm$$

El diámetro encontrado sirve para determinar los parámetros mínimos, en la selección del tipo de guías lineales que existen en el mercado. De acuerdo a lo anterior, se ha optado por elegir guías lineales con un diámetro de 12mm, por su costo y disponibilidad en el mercado.

2.3.5. TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO POR TORNILLOS DE BOLAS

Los tres ejes de la máquina CNC, están conformados por tornillos de bolas “ballscrew” de la marca (SKF, 2001) para la transmisión de movimiento. El tornillo de bolas se asemeja al trabajo que realiza el tornillo sin fin y sirve para transformar el movimiento giratorio que produce el motor de pasos, a un movimiento lineal.

Este movimiento lineal es llevado a cabo por la tuerca del tornillo de bolas, que se traslada en línea recta en todo el recorrido del tornillo. A continuación vamos a entrar en los cálculos principales que se presentan en este sistema de transmisión, que dan movimiento a cada uno de los tres ejes.

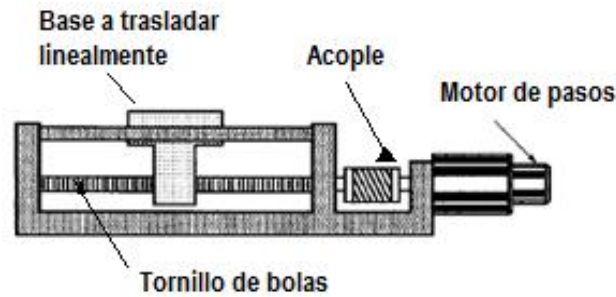


Figura 2-15. Transmisión de movimiento por tornillos de bolas

El tornillo de bolas utilizado e implementado en el diseño de la máquina CNC tiene los siguientes parámetros:

- Diámetro del tornillo $d_2 = 16\text{mm}$
- Paso o avance del tornillo por revolución $Ph = 5\text{mm}$
- Carga dinámica dada por el fabricante $Ca = 7.8\text{ KN}$

2.3.5.1. Vida útil nominal del tornillo de bolas

La vida útil nominal del tornillo de bolas da a conocer el número de revoluciones aproximado que alcanza a dar el husillo o tornillo, antes de que haya la presencia de signos de fatiga en la superficie de la misma.

$$L_{10} = \left(\frac{Ca}{Fm} \right)^3$$

Ecuación 20. Vida útil del tornillo de bolas

Fuente: (SKF, 2001)

Dónde:

La capacidad de carga dinámica (manual del fabricante) $Ca = 7800\text{N}$

La carga o peso que soporta $Fm = Fx$

Para la carga o el peso (Fm) que soporta el tornillo de bolas, se ha elegido el peso más crítico, que en este caso es la carga ($Fx = 188\text{N}$) que se produce en el "Eje X".

Entonces:

$$L_{10} = \left(\frac{7800}{188} \right)^3$$

$$L_{10} = 71418.42 \text{ millones de revoluciones}$$

2.3.5.2. Velocidad crítica

La velocidad crítica determina la velocidad límite o revoluciones máximas que debe girar el tornillo para transmitir el movimiento.

$$n_{cr} = 49 \times 10^6 \times \frac{f1 \times d2}{l^2}$$

Ecuación 21. Velocidad crítica del tornillo de bolas

Fuente: (SKF, 2001)

Dónde:

La longitud libre a recorrer o tamaño del tornillo $l = 350\text{mm}$

El diámetro del tornillo de bolas $d2 = 16\text{mm}$

El factor de corrección dada por el fabricante $f1 = 0.8$

Entonces:

$$n_{cr} = 49 \times 10^6 \times \frac{0.8 \times 16}{350^2}$$

$$n_{cr} = 5120 \text{ rpm}$$

2.3.5.3. Par de entrada en funcionamiento estable

Es la magnitud de par necesario, para iniciar la rotación del tornillo de bolas.

$$T = \frac{F \times Ph}{2000 \times \pi \times n_p}$$

Ecuación 22. Par de entrada del tornillo de bolas

Fuente: (SKF, 2001)

Dónde:

La Carga máxima $F = Fx$

El paso o avance del tornillo $Ph = 5\text{mm}$

La eficiencia $Np = 0.9$

Entonces:

$$T = \frac{188 \times 5}{2000 \times \pi \times 0.9}$$

$$T = 0.17Nm$$

2.3.5.4. Potencia en funcionamiento estable

Se determina la potencia necesaria para realizar la transmisión lineal por medio del tornillo de bolas y desplazar la carga. Vale recalcar que la siguiente ecuación depende de la velocidad que toma la bancada para ser trasladada.

$$P = \frac{\mu \times F \times V}{n_p} \times 10^3$$

Ecuación 23. Potencia del tornillo de bolas

Fuente: (SKF, 2001)

Dónde:

El coeficiente de fricción $u = 0.2$

La velocidad del carro o del eje $V = 0.03 \text{ m/s}$

Entonces:

$$P = \frac{0.2 \times 188 \times 0.03}{0.9} \times 10^3$$

$$P = 1.25\text{watts}$$

2.3.5.5. Velocidad de trabajo estable para el tornillo de bolas

Es la velocidad que debe tomar o girar el tornillo de bolas para realizar un buen grabado, tomando en cuenta la eficiencia, el desgaste y la estabilidad de los mecanismos de la máquina CNC, al realizar el mecanizado.

$$n = \frac{60 \times P}{2\pi \times T}$$

Ecuación 24. Velocidad de trabajo del tornillo de bolas

Fuente: (SKF, 2001)

$$n = \frac{60 \times 1.2}{2\pi \times 0.17}$$

$$n = 67.5 \text{ RPM}$$

2.4. ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Para el análisis de la estructura de la máquina CNC, nos basamos en el estudio y simulación de elementos finitos realizado por el software de diseño avanzado “SolidWorks”, el cual nos muestra los cálculos y resultados apreciables del diseño, como son la tensión máxima de Von Mises, la deformación máxima, el mallado y estructura de elementos finitos.

El método de elementos finitos más conocido como (FEM), utiliza una unificación de cuerpos geométricos que cubren todo el elemento o diseño desarrollado en el software, el mismo que realiza una simulación o estudio de fuerzas, reacciones y deformaciones.

- a) La estructura es sometida a un estudio estático que comprende la configuración de soportes o apoyos de la misma, componiéndose de una sujeción de geometría fija en la base de la máquina.

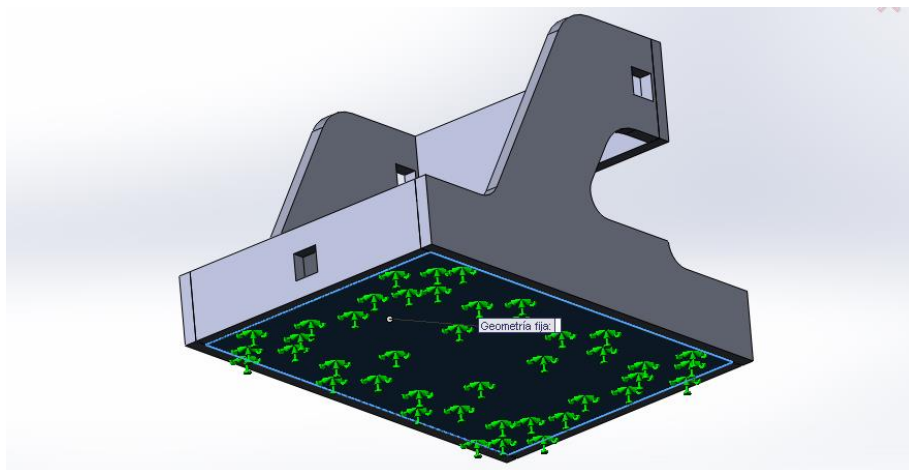


Figura 2-16. Estudio en SolidWorks, sujeción geometría fija

- b) Se aplicó una fuerza de 340 N en la parte superior del cabezal, ya que es la parte más crítica de la estructura en donde se aplica la mayor carga o peso de los elementos y por la principal razón de que el cabezal es la que soporta los dos ejes "X" y "Z".

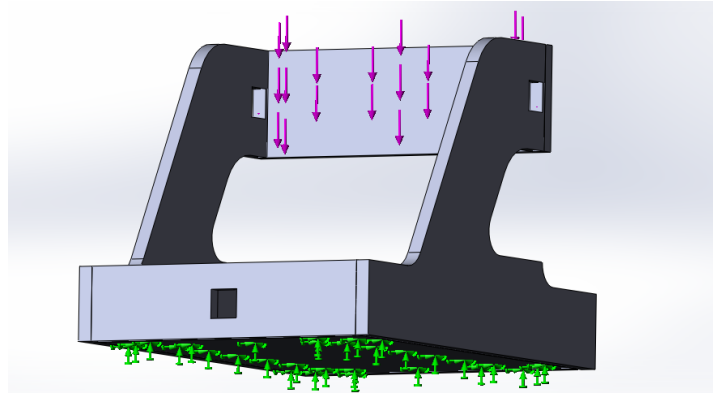


Figura 2-17. Estudio en SolidWorks, aplicación de una fuerza o carga

En las siguientes imágenes se podrá estimar los puntos críticos y máximos a tomar en cuenta del diseño de la estructura, la cual está configurada con el material utilizado para su construcción que en este caso es el MDF que tiene un límite elástico de 20MPa.

Se ha elegido un tipo de malla solida estándar, ya sea fina o gruesa esto depende en la exactitud del análisis. El mallado es la unión de nodos o cuerpos geométricos que recubren la estructura para el análisis estático.

- c) Malla solida estándar con un total de 17111 nodos y 9047 elementos aproximadamente en el análisis.

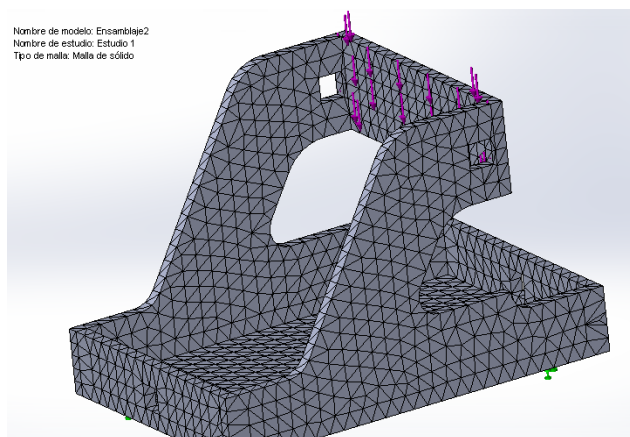


Figura 2-18. Estudio en SolidWorks, creación del mallado

- d) La tensión máxima de Von Mises = 1.188MPa, que es máximo esfuerzo que puede soportar la estructura en el punto crítico mostrado con falla elástica.

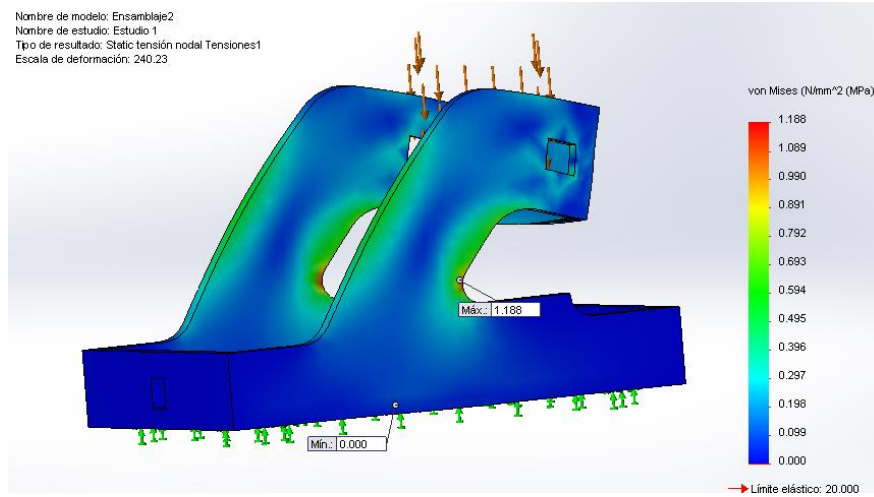


Figura 2-19. Estudio en SolidWorks, tensión de Von Mises

- e) Gracias a este estudio y análisis por software podemos identificar un factor de seguridad mínimo con el criterio de Von Mises de un valor $n = 16$.

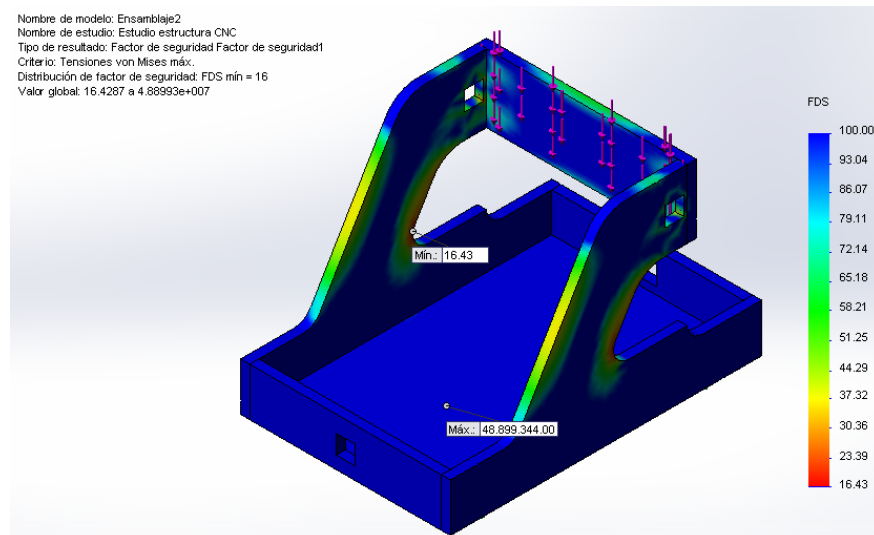


Figura 2-20. Estudio en SolidWorks, factor de seguridad

2.5. MODELADO MATEMÁTICO DE LA MÁQUINA CNC

A continuación se muestra la parte del modelo matemático, que representa el desplazamiento principal que realiza cada uno de los tres ejes, como es el giro del motor eléctrico o actuador, que impulsa un tornillo de bolas por el cual se transmite la fuerza y potencia necesaria para mover cada eje linealmente.

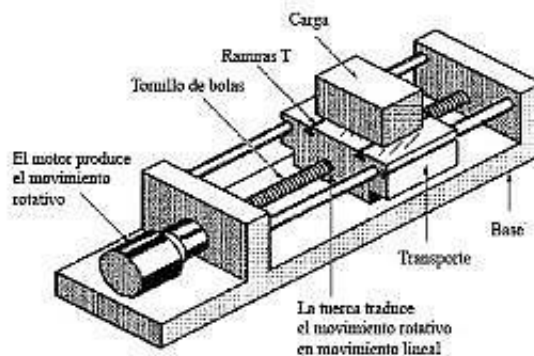


Figura 2-21. Mecanismo para desplazar cada eje

Fuente: <http://www.tecnoficio.com/electricidad/images/ballscrew4.jpg>

2.5.1. FUNCIÓN TRANSFERENCIA PARA UN MOTOR ELÉCTRICO DC:

Existen análisis y estudios sobre los modelos matemáticos para varios sistemas de control, según algunos autores como (Benjamin C. Kuo, 1996) y (Richard C. Dorf, 2001) que determinan un modelo matemático para los motores de corriente directa que relaciona la posición angular del eje por medio del voltaje inducido, este modelo se indica a continuación para encontrar la función transferencia:

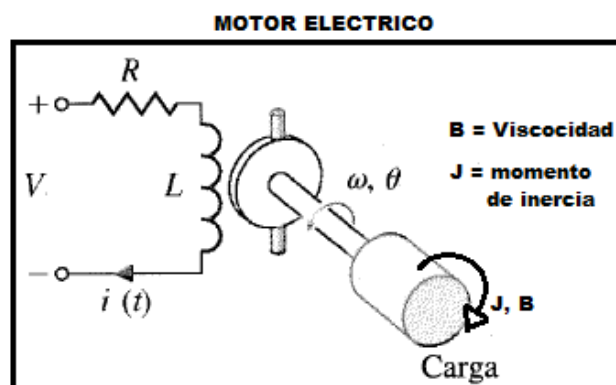


Figura 2-22. Diagrama electromecánico de un motor DC

Por medio del libro de sistemas de control de (Richard C. Dorf, 2001), se ha determinado las ecuaciones para encontrar la función transferencia del motor

eléctrico, siendo este un elemento conformado por fenómenos eléctricos, mecánicos y magnéticos los cuales se dan a conocer a continuación:

- Ecuación del par electromagnético

Esta ecuación tiene relación entre la corriente de funcionamiento del motor y el par que entrega el motor, siendo “Km” la constante de par proporcional.

$$T_m = K_m \times I_a(s)$$

Ecuación 25. Modelo matemático del par o torque de un motor DC

Fuente: (Richard C. Dorf, 2001)

- Ecuación para el circuito interno del motor

La ecuación viene dada por los parámetros eléctricos internos como la resistencia, inductancia, voltaje y corriente que circulan por el circuito y las bobinas del motor.

$$V_a(s) = (R_a + L_a \cdot s)I_a(s)$$

Ecuación 26. Modelo matemático del circuito interno de un motor DC

Fuente: (Richard C. Dorf, 2001)

- Ecuación Mecánica

El funcionamiento eléctrico del motor, generado por la corriente y voltaje inducido, genera movimiento en el eje del motor, entregando un torque o fuerza torsional para mover una carga. Dicho torque está relacionado con el momento de inercia del eje, más el factor de viscosidad entre el eje y la superficie, con la velocidad angular.

$$T_m = (Js + b)\omega(s)$$

Ecuación 27. Modelo matemático del eje mecánico del motor DC

Fuente: (Richard C. Dorf, 2001)

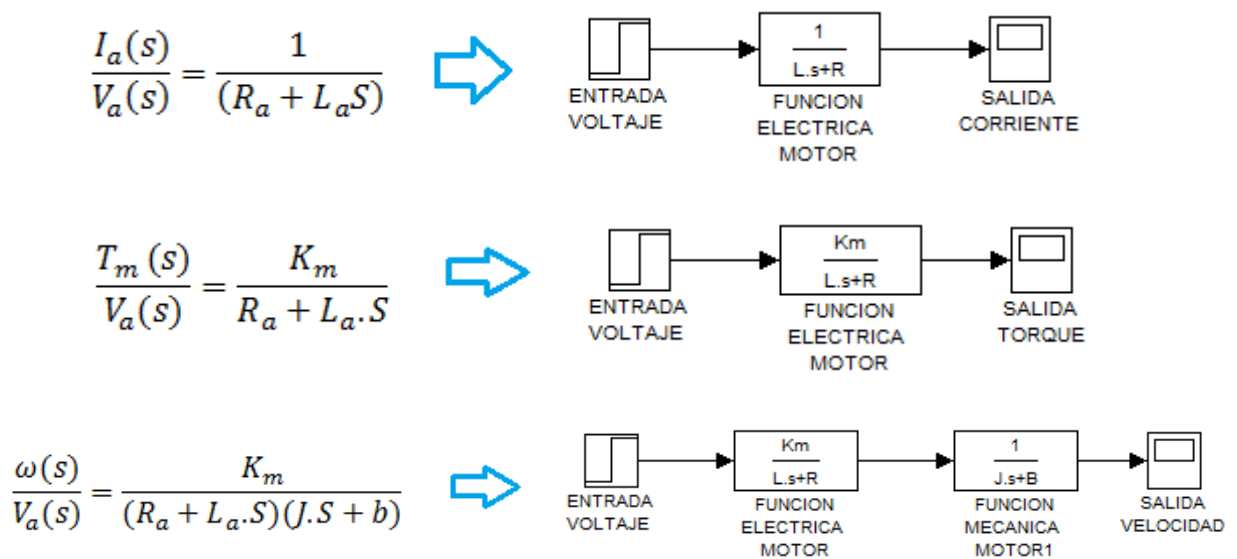


Figura 2-23. Funciones transferencia motor DC

Existen distintas maneras de representar por medio de un modelo matemático el funcionamiento y control de un motor eléctrico, las tres ecuaciones anteriores determinan una función transferencia, según los parámetros que deseamos obtener para el cálculo deseado. En este caso se induce un voltaje para arrancar el motor y obtener como salida un par o torque, para el giro o movimiento del tornillo de bolas.

- Características del motor:
 - a) Voltaje de operación = (4.8VDC)
 - b) Corriente de operación = (3A)
 - c) Torque máximo que entrega el motor = (2.8 Nm)
 - d) Resistencia = 1.6Ω
 - e) Inductancia = 0.0068 H
 - f) Momento de inercia = $0.00008 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 - g) Viscosidad $\rightarrow b = \frac{T_m}{\omega(s)} = \frac{2.8\text{Nm}}{5.14\frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 0.54 \frac{\text{Nm} \cdot \text{s}}{\text{rad}}$
 - h) Constante par torsional $\rightarrow km = \frac{T_m}{I_a} = \frac{2.8\text{Nm}}{3\text{A}} = 0.93$

Despejando y reemplazando valores, encontramos la función adecuada:

- 1) $V_a(s) = (R_a + L_a s)I_a(s) + V_b(s)$;
- 2) $V_b(s) = K_b \times \omega(s)$;
- 3) $I_a(s) = \frac{T_m}{K_m}$;
- 4) $T_m = (Js + b)\omega(s)$

A. Entonces la función transferencia del motor es:

$$V_a(s) = (R_a + L_a s) \frac{(Js + b)\omega(s)}{K_m} + K_b \times \omega(s)$$

$$F(s) = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} = \frac{T(s)}{V(s)} = \frac{0.93}{(1.6 + 0.0068s)}$$

2.5.2. FUNCIÓN TRANSFERENCIA PARA UN TORNILLO SIN FIN

El husillo de bolas es el que transmite el movimiento giratorio que entrega el motor y lo convierte en desplazamiento lineal para cada eje. Para esto se toma en cuenta el sistema de rotación-traslación según (Benjamin C. Kuo, 1996), que relaciona el sistema con la inercia y la fricción que existe entre la transmisión del eje del motor al husillo, con la masa que se desea desplazar linealmente.

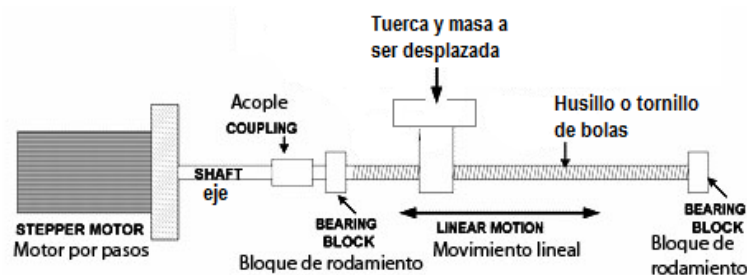


Figura 2-24. Ejemplo de un sistema rotación (motor) – traslación (tornillo de bolas)

- Par torsional en un sistema giratorio:

Entonces se define que el par en un movimiento rotacional, tomando en cuenta la ley de Newton, es igual al producto de la inercia por la segunda derivada del desplazamiento angular, más la presencia de fricción viscosa en producto con la primera derivada del desplazamiento angular:

$$T(s) = J \times \ddot{\theta} + B \times \dot{\theta}$$

Ecuación 28. Formulación para un sistema giratorio

Fuente: (Richard C. Dorf, 2001)

- Inercia para un sistema de rotación – traslación:

$$J = M \left(\frac{L}{2\pi} \right)^2$$

Ecuación 29. Calculo de la inercia en un sistema giratorio

Fuente: (Richard C. Dorf, 2001)

Dónde:

Masa o carga a ser trasladada → M = 9 kg

Paso diametral del husillo de bolas → L = 5 mm

- Fricción Viscosa para un sistema rotacional

$$B = \frac{T_m}{\omega}$$

Dónde:

El torque que entrega el motor → T_m = 2.8 N.m

La velocidad de giro del sistema → $\omega = 5.14 \frac{rad}{s}$

B. Función transferencia sistema (motor – husillo de bolas):

$$T(s) = J \times \theta s^2 + B \times \theta s$$

$$T(s) = \left(M \left(\frac{L}{2\pi} \right)^2 \cdot s^2 + \frac{T_m}{\omega} \cdot s \right) \theta$$

$$\frac{\text{salida (desplazamiento angular del tornillo)}}{\text{entrada (torque del motor)}} = G(s) = \frac{\theta(s)}{T(s)}$$

$$G(s) = \frac{1}{(0.0000056)s^2 + (0.54)s}$$

2.5.3. FUNCIÓN TRANSFERENCIA DE LA TUERCA

La tuerca del tornillo de bolas es el que determina el desplazamiento lineal de la mesa y la carga por medio del número de vueltas o revoluciones del tornillo de bolas.

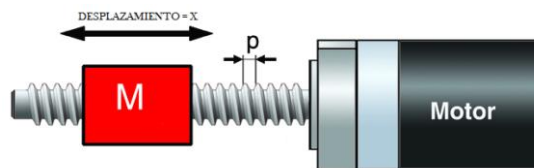


Figura 2-25. Desplazamiento de la tuerca

Para el desplazamiento se tiene los parámetros del tornillo y la tuerca, e indica que por una revolución del tornillo, la tuerca se desplaza 5mm.

- Desplazamiento lineal:

$$X(s) = 5mm$$

- Desplazamiento angular:

$$\theta(s) = 1rev = 360^\circ = 2\pi rad$$

C. Función transferencia lineal:

$$\frac{\text{salida (desplazamiento lineal)}}{\text{entrada (desplazamiento angular)}} = H(s) = \frac{X(s)}{\theta(s)} = \frac{5}{2\pi}$$

$$H(s) = 0.79$$

2.5.4. RESULTADOS DEL SISTEMA EN GENERAL

El sistema general de la máquina CNC, se centra en el desplazamiento de cada eje, ya que estos cumplen la función de posicionar la herramienta de corte en las coordenadas exactas. A continuación se muestra el diagrama de bloques general del sistema a ser controlado por medio de simulink de Matlab.

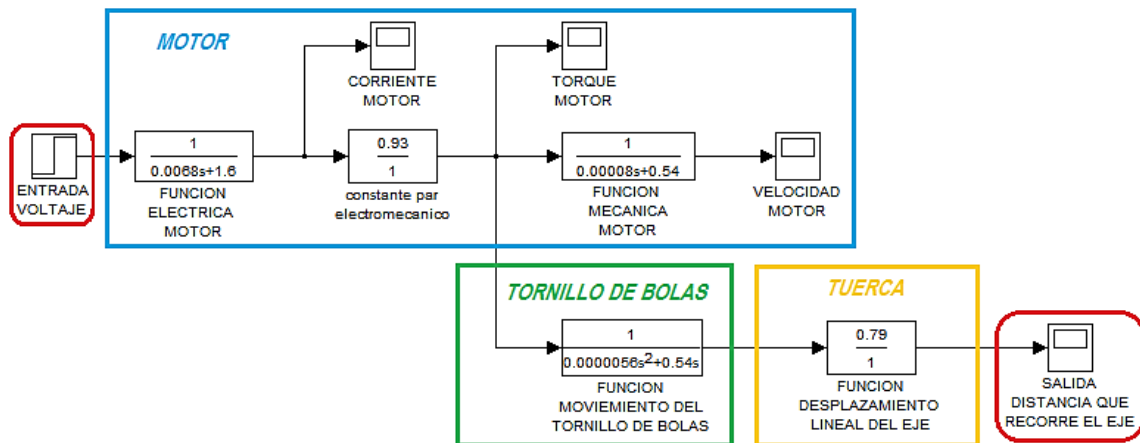


Figura 2-26. Diagrama de bloques general del sistema

- Potencia del motor de pasos:

$$P = i \times V$$

Ecuación 30. Potencia del motor de pasos

Fuente: (Charles Alexander - Matthew Sadiku, 2006)

Dónde:

i = corriente de funcionamiento del motor

V = voltaje de funcionamiento del motor

Entonces:

$$P = 3A \times 4.8V$$

$$P = 14.4 \text{ watts}$$

- Velocidad promedio del motor:

$$P = T \times \omega$$

Ecuación 31. Calculo de la velocidad promedio del motor

Fuente: (Roberto L. Mott, 2006)

$$\omega = \frac{14.4 \text{ watts}}{2.8 \text{ Nm}}$$

$$\omega = 5.14 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 50 \text{ RPM}$$

- Gráficas de los parámetros obtenidos mediante SIMULINK

Como se explicó anteriormente, el sistema tiene como entrada una señal de voltaje de 4.8VDC, el cual sirve para el funcionamiento del motor y obtener una salida de desplazamiento o distancia que recorre el eje, por medio del sistema de transmisión compuesto por el motor, tornillo de bolas y tuerca o mesa a ser desplazada. La simulación está dada para un tiempo de 5 segundos:

a) Corriente de funcionamiento del motor:

Al tener como entrada el voltaje de (4.8 V), se tiene una corriente de (3 A) como salida, utilizando la ecuación eléctrica en la función transferencia de un motor.

b) Torque generado por el motor:

En simulink muestra un torque de (2.8 N.m) que se obtiene con la ecuación electromagnética.

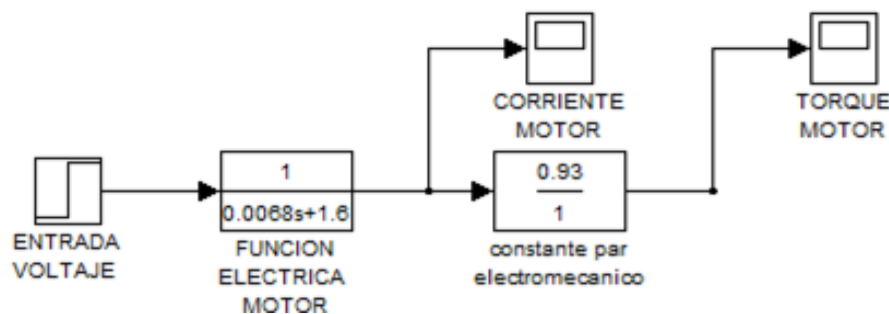


Figura 2-27. Función transferencia motor DC en Simulink de Matlab

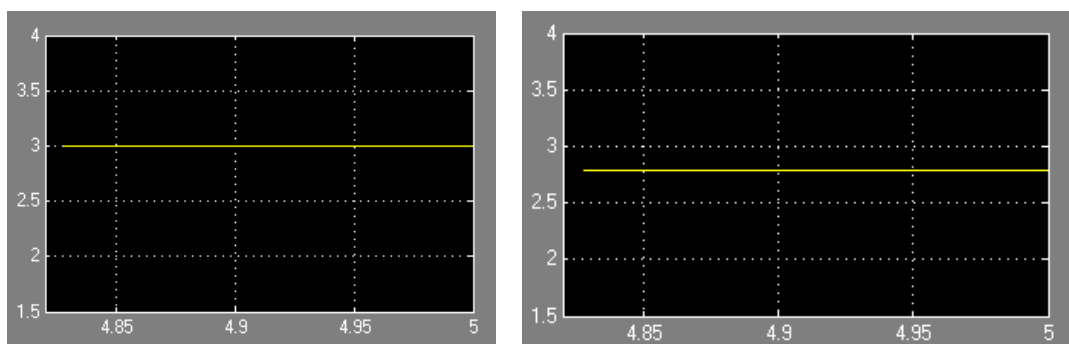


Figura 2-28. Corriente (3A) y torque generado por el motor (2.8 N.m)

c) Salida o distancia recorrida por el eje:

El torque del motor como entrada, para obtener un desplazamiento angular del tornillo y que la tuerca con la bancada recorra linealmente (20mm aprox.) en 5 seg.

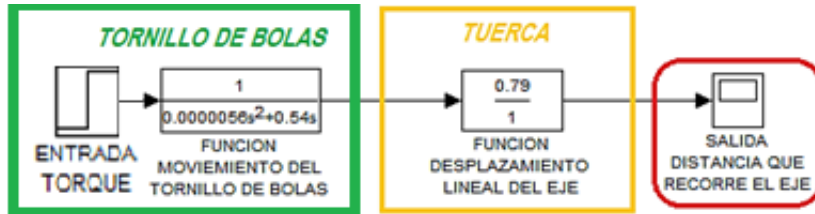


Figura 2-29. Función transferencia tornillo de bolas en Simulink de Matlab

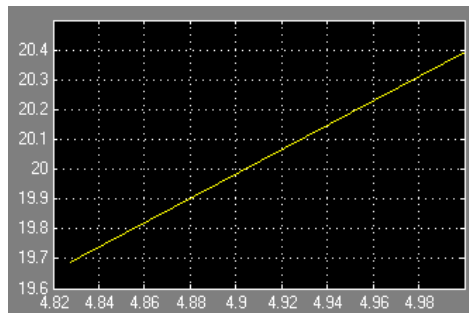


Figura 2-30. Salida o distancia recorrida por el eje (20mm aprox)

CAPÍTULO III

3. SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE DISEÑO Y CONTROL

Los sistemas de control numérico computarizado “CNC”, están relacionados directamente con el diseño por computadora, para que los bosquejos creados puedan ser plasmados y trasladados en tiempo real por medio de la fabricación o manufactura de una pieza.

En la actualidad del mercado informático, existen variedad de software para diseño, algunos de alto nivel pero con un alto valor comercial, otros con valor comercial apreciable que incluyen varias características útiles y como si fuera poco actualmente encontramos software libre o de código abierto con un buen desempeño para el manejo y control de imágenes, de tal manera que se puede adquirirlos de manera fácil, cabe recalcar que este tipo de programas al ser libres disponen de constantes actualizaciones y mejoras en su entorno.

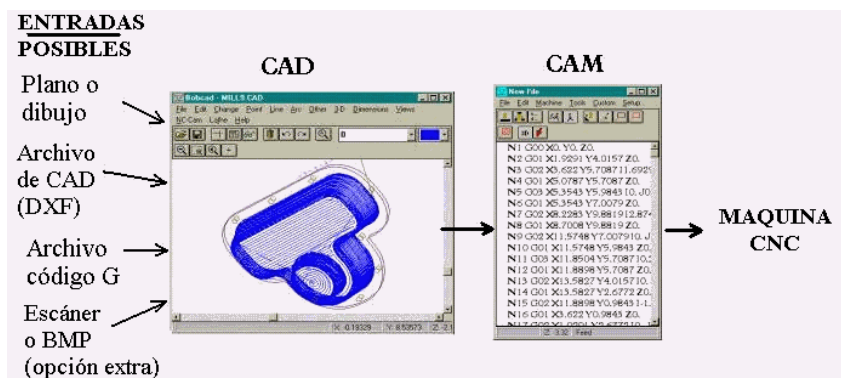


Figura 3-1. Ejemplo de un sistema CAD/CAM

Fuente: http://www.viwa.com.mx/mcadcam_archivos/image004.gif

Un sistema CAD (Diseño asistido por computadora), es el software dedicado en mayor parte a los elementos mecánicos, mediante el cual se puede diseñar infinidad de modelos en dos y tres dimensiones simultáneas, este tipo de software contiene variedad de herramientas de dibujo para el desarrollo de la pieza. Actualmente existen diferentes tipos de software CAD, los cuales se caracterizan por sus prestaciones y facilidad a la hora de diseñar una pieza.

El sistema CAM (Manufactura asistida por computadora), es el software utilizado para crear un elemento por medio del control numérico, utilizando toda la información del diseño de la pieza, para generar la ruta o trayectoria que realiza el husillo o herramienta de corte para mecanizar la pieza diseñada. El software CAM se encarga de generar un programa mediante un lenguaje universal llamado código G o código máquina que se utiliza en el control numérico para representar las coordenadas.

Por otro lado tenemos software para diseño gráfico, estos siempre han estado vigentes, son programas para la edición y creación de imágenes, los cuales van mejorando sus características de diseño con eficiencia en la parte artística y visual. Cabe recalcar que dichos programas serán tomados en cuenta para la realización de bosquejos, que serán utilizados para el grabado por medio de la máquina CNC.

La elección de un buen sistema informático determina el área de trabajo, la coordinación entre los ejes de la máquina para el uso correcto de la herramienta de corte y los diferentes parámetros que constituyen la pieza en general. Una vez tomado en cuenta las funciones que cumple un software y la importancia que tiene dentro del control numérico, se ha optado por seleccionar y elegir un programa adecuado y útil para el grabado de placas conmemorativas, en este caso uno dedicado al diseño gráfico. (Universidad_de_Málaga, 2007).

3.1. SOFTWARE UTILIZADO PARA EL DISEÑO DE GRABADO

Para seleccionar un programa útil, el cual nos de la ventaja de crear o diseñar ilustraciones graficas compuestas, se ha realizado una tabla que contiene las características fundamentales que debe poseer el software de diseño apto para esta máquina CNC, que tiene por objetivo principal el grabado.

A continuación se explica cada una de las características que contiene la tabla, incluyendo cuatro diferentes software para diseño, los cuales han sido elegidos por sus prestaciones que brindan al usuario y operador de una máquina de control numérico.

- Valor de licencia: Precio o valor comercial que tienen las licencias del software para su activación total.
- Capacidad para generar “código G”: Herramientas que disponen algunos programas para convertir el diseño a un formato de “código G”.
- Interacción con el usuario: Entorno o nivel que se necesita para manejar el programa.
- Funcionalidad: Son las ventajas y herramientas que brinda un software para un mejor desempeño en el diseño.
- Ayuda y soporte: Manuales y tutoriales de ayuda para el usuario o cliente.

Software Característica	Inkscape	Illustrador	Artcam	Aspir
Valor de licencia	Libre ✓	Pagada ✗	Pagada ✗	Pagada ✗
Capaz de generar código G	Si ✓	No ✗	Si ✓	Si ✓
Interacción con el usuario	Fácil ✓	Avanzada ✗	Media ✗	Fácil ✓
Funcionalidad	Alto nivel ✓	Nivel Medio ✓	Alto nivel ✓	Alto nivel ✓
Ayuda y soporte	Si ✓	Si ✓	Si ✓	Si ✓

Figura 3-2. Tabla de selección de software de diseño

Entre las diferentes características que determinan a cada uno de estos programas, conviene elegir es el software para diseño gráfico “Inkscape”, el cual brinda las ventajas suficientes para el diseño, facilidad en la interpretación de código G y la instalación sin ningún costo, ya que se trata de un software de código abierto.

El software “Inkscape”, un software de código abierto útil para abrir, seleccionar y editar cualquier variedad de imágenes en cuanto a su formato se refiere, esto nos da la disponibilidad de crear placas con un sin número de diseños. Este programa está compuesto de las siguientes ventajas con respecto a otro software de diseño:

- Software libre sin costo
- Rápido y fácil manejo para el operador
- Variedad de funciones al abrir una imagen
- Vectorizar y transformar archivos a código g
- Útil en la creación y edición de bosquejos o diseños

El diseño o imagen para ser grabado y realizado por la máquina CNC de tres ejes, deberá ser convertido a una imagen vectorizada. Dicha imagen constará de varios puntos o nodos que reconstruyen la misma, de tal manera que “Inkscape” se encarga de convertirla a “código G”, para ser interpretada por el software de control numérico, dicho bosquejo deberá tener la unión de varias letras, figuras o imágenes que serán trazadas en la placa.

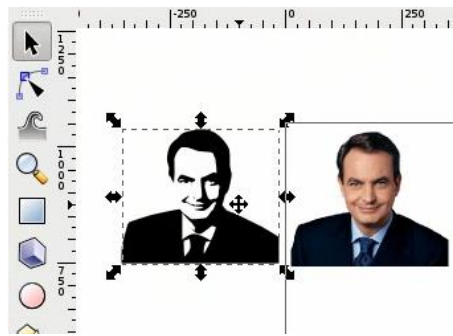


Figura 3-3. Ejemplo del software Inkscape

Fuente: <https://inkscape.org/es/gallery/item/2132/>

3.1.1. CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DE “INKSCAPE”

El origen de Inkscape se remonta al programa “Gill” (GNOME Illustrator application) creado por Raph Levian, famoso por Ghostscript. Este proyecto fue desarrollado por el programa Sodipodi. La existencia de diferencias entre los objetivos de ambos proyectos, llevaron a que el actual desarrollo de Inkscape se desgajara del proyecto anterior. (Iñigo Zuluaga, 2014).

3.1.1.1. Gráficos Vectoriales

Existen dos tipos básicos de gráficos: Imágenes en mapa de bits (o rasterizadas) e imágenes vectoriales. En el primer caso, la imagen se compone de filas y columnas de píxeles individuales, cada uno con su propio color. En el segundo

caso, la imagen se compone de líneas, tanto rectas como curvas. Una línea recta está definida por sus dos puntos extremos. La diferencia entre estos dos tipos de gráficos se aprecia fácilmente cuando el dibujo es ampliado.

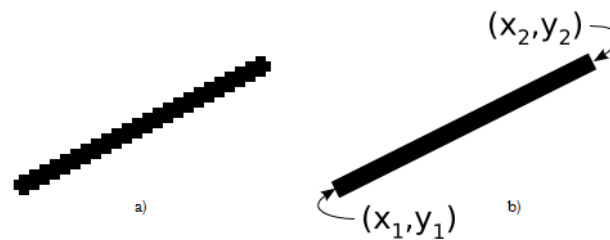


Figura 3-4. a) Imagen de línea en mapa de bits b) imagen de línea vectorizada

Fuente: (Tavmjong Bah, 2011)

3.1.1.2. Formato “SVG”

SVG son las siglas de Scalable Vector Graphics (Gráficos Vectoriales Escalables). Escalable significa que un dibujo puede ser ampliado a un tamaño cualquiera sin perder los detalles. El término Escalable también hace referencia a la idea de que un dibujo puede estar compuesto de un número ilimitado de elementos más pequeños, que se pueden reutilizar muchas veces.

El estándar SVG está enfocado a ofrecer una descripción completa de gráficos bidimensionales, incluidas animaciones. XML es un estándar abierto diseñado para describir documentos de manera que se puedan ampliar con facilidad, y no se vean afectados por futuros cambios en la especificación del documento. Dicha información y contenido es obtenida de la página oficial de “Inkscape” y del libro “*Inkscape, Manual de un Programa de Dibujo Vectorial*”, (Tavmjong Bah, 2011).

3.1.1.3. Extensiones o aplicaciones para “Inkscape”

Las capacidades y recursos de Inkscape se pueden ampliar y mejorar mediante las extensiones, las cuales son programas que se pueden ejecutar desde dentro de “Inkscape”. Entre las diferentes extensiones que se pueden instalar en “Inkscape”, existe una capaz de convertir archivos o imágenes vectorizadas en “código G”, por medio de herramientas e interpolaciones, de tal manera que dicho archivo será utilizado para ser ejecutado por el software de control. (Iñigo Zuluaga, 2014)

Características

a) Exportación a código G

- Exporta trayectos a código G
- Utiliza interpolación circular (mediante aproximación bi-arco) o lineal
- Subdivisión automática de trayecto para llegar a tolerancia definida
- Procesamiento de múltiples herramientas
- Exportación de código G en forma paramétrica y de forma plana
- Personalización de encabezados y pies de página automáticos
- Selección de las unidades
- Procesamiento Multi-paso
- Sufijo numerado automático en los archivos generados

b) Torno

- Cálculo de trayectorias para torno
- Pasadas de acabado
- Definición de la profundidad de pasadas de acabado
- Definición de pasadas de acabado
- Dos funciones de cálculo diferente para pasadas finas
- Reasignación de los ejes estándar

c) Procesado de Zonas

- Generación de trayectos de zona
- Los trayectos de la zona se pueden modificar

d) Grabado

- Generación de la trayectoria en función de la forma de la fresa
- Definición de diferentes formas de fresa

e) Biblioteca de herramientas

- Definición de parámetros de la herramienta (diámetro, feed-avance, el paso de profundidad, avance de penetración, código G modificable antes y después de cada trayecto, forma de las fresas,...)
- Las herramientas pueden ser gestionadas mediante procedimientos estándar de Inkscape (copiar, eliminar, asignar a una capa diferente)
- Procesado para múltiples herramientas

- f) Orientación del sistema
 - Escala a lo largo de cualquiera de los ejes
 - Giro en el plano X-Y
 - Desplazamiento a lo largo de cualquiera de los ejes
 - Transformación de acuerdo a puntos arbitrarios
- g) Post-procesador
 - Puede crear o seleccionar post-procesadores por defecto
 - Escalado y desplazamiento del código G
 - Comandos de reasignación código G
 - Parametrización código G
 - Redondeo de los valores de coma flotante a la precisión especificada

3.1.2. INSTALACIÓN DE INKSCAPE

Para la instalación de dicho software de diseño tenemos que acceder a la página oficial de los creadores que es <https://inkscape.org/es/>, en donde podremos descargar el instalador correspondiente a nuestro sistema operativo. En seguida se muestra los varios pasos para la correcta instalación del programa Inkscape:

- a) Una vez descargado, abrimos dicho archivo y a continuación seleccionamos el idioma que deseamos, presionando en la opción “aceptar”.
- b) Aceptamos las condiciones de servicio y presionamos en la opción “siguiente”.
- c) Elegimos todos los componentes del software, dando un visto a cada una, a excepción de la casilla con el nombre “eliminar preferencias personales” y presionamos la opción “siguiente”.
- d) Después elegimos la ruta o lugar de instalación de los archivos del programa y presionamos la opción “instalar” y listo.

3.2. SOFTWARE PARA EL CONTROL DE LA MÁQUINA CNC

Al momento de seleccionar un tipo de programa, capaz de controlar la máquina CNC de tres ejes, se tomó en cuenta desde un principio la compatibilidad y

funcionalidad que existe entre la tarjeta de control y la comunicación de un software mediante un computador. Mach3 es un programa muy flexible diseñado para controlar máquinas herramientas como las fresadoras, máquinas para torneado o máquinas que manejan cualquier sistema de control numérico (CN).

De tal manera que la tarjeta utilizada e implementada en esta máquina, tiene la disponibilidad directa y exclusiva de trabajar con un software de control llamado "MACH3". Este software es el encargado de comunicarse directamente con la tarjeta controladora CNC vía USB, el cual se encarga de abrir y ejecutar archivos en "código G", para ser interpretados en tiempo real.



Figura 3-5. Software de control CNC MACH3

Fuente: <http://www.machsupport.com/>

Este tipo de software fue creado para el uso directo de aficionados, creación de proyectos o el desarrollo de máquinas CNC de hasta 5 ejes, y se lo puede aplicar fácilmente sin necesidad de una implementación profesional para su control. Dicho software es de un costo muy asequible en cuanto a sus ventajas, se lo puede adquirir ingresando a la página oficial: <http://www.machsupport.com/about-us>.

A continuación se muestra sus diferentes funciones y características que "MACH3" puede controlar, las cuales fueron obtenidas del manual de operación (Artsoft, 2001):

- Algunos controles de usuario, como el botón de parada de emergencia (EStop), que debe ser provisto a cada máquina
- Dos o tres ejes que están en ángulo recto entre ellos (X, Y, Z)
- Una herramienta con movimiento relativo a una pieza de trabajo, donde el origen de los ejes es fijado en relación con la pieza de trabajo. El movimiento relativo del movimiento de la herramienta de corte es en las tres diferentes direcciones de cada eje, para su desplazamiento.
- Algunos interruptores que dicen cuando la herramienta está en la posición de inicio "Home"
- Algunos interruptores que definen los límites de movimiento relativo permitido de la herramienta.
- Un husillo (Spindle) controlado. El husillo podría hacer girar la herramienta (agujereado) o la pieza de trabajo
- Un interruptor o interruptores que enlazan los dispositivos de protección en la máquina
- Controles para el enfriador (líquido y/o niebla)
- Una sonda en el sujetador de la herramienta que permite la digitalización de una parte existente
- Codificadores, como "Linear glass scale", que puedan mostrar la posición de las partes de la máquina
- Funciones especiales.

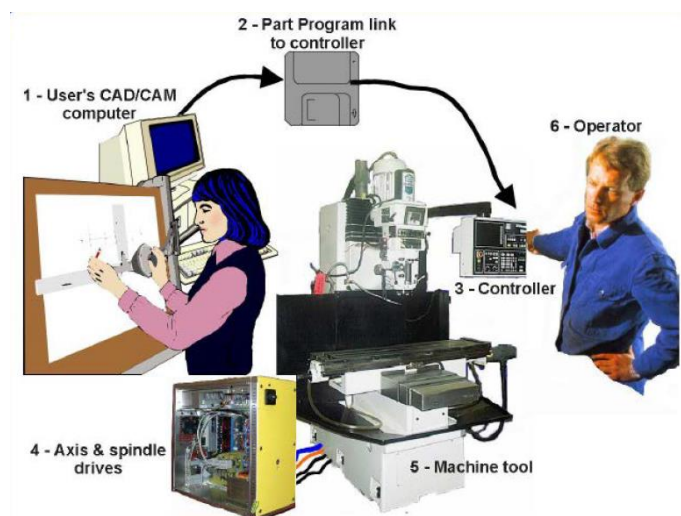


Figura 3-6. Sistema de control CNC

Fuente: (Artsoft, 2001)

El funcionamiento de “MACH3” es muy importante a la hora de ejecutar un diseño o un archivo en código G, ya que en el mismo instante se está controlando todos los movimientos y acciones de la maquina en tiempo real, por tal razón tenemos que tomar en cuenta que una mala utilización del mismo puede ocasionar daños graves a la estructura o a los elementos de la máquina herramienta.

De tal manera que “MACH3” nos brinda la opción de calibrar o ajustar nuestra máquina CNC, antes de empezar a manufacturar algún elemento, siendo esto lo más recomendable. Los modos de calibración que nos brinda “MACH3”, tiene que ver con la velocidad de posicionamiento de los motores en los tres ejes, la variación de velocidad de la herramienta de corte, el ajuste riguroso con respecto a la medida con la que se desplaza cada eje.

3.2.1. INSTALACIÓN DE MACH3

Para la instalación de este software de control CNC, debemos abrir el instalador o archivo ejecutable adecuado para nuestro sistema operativo. El cual nos abrirá una ventana de bienvenida y guía de instalación de “Mach3” con los siguientes pasos:

- a) Aceptar la licencia y condiciones de servicio y presionamos “siguiente”.
- b) Elegimos la ruta o ubicación de instalación del software “Mach3” y presionamos “siguiente”.
- c) Seleccionamos todas las casillas de los paquetes del programa y presionamos “siguiente”.
- d) Después verificamos la configuración y por ultimo presionamos “siguiente” para comenzar la instalación en nuestra PC.

3.2.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE MACH3

3.2.2.1. Panel o indicador de código G

Este panel indica las líneas de “código G” del archivo abierto o ejecutado por “Mach3”, para obtener una asistencia detallada del mecanizado que se esté realizando. (Artsoft, 2001).

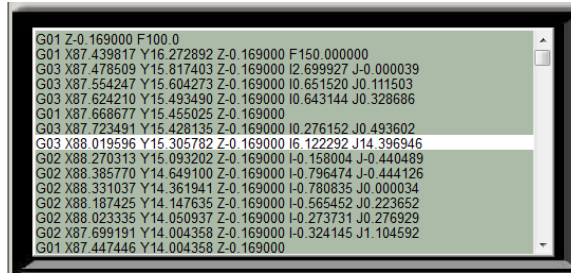


Figura 3-7. Panel e indicador de código G en Mach3

3.2.2.2. Botones o mandos principales

A continuación se detallan los botones o mandos principales que se utilizan al momento de realizar un mecanizado con “Mach3”:

- Emergencia o Reset: Es el botón principal del software, ya que actúa como un paro de emergencia del proceso y de la máquina que se esté controlando. Actúa como un breve paro en ese mismo instante, dando la opción de continuar con el proceso, una vez solucionado el problema.



Figura 3-8. Botón de emergencia en Mach3

- Marcha o Run: Sirve para iniciar el proceso de mecanizado y ejecutar las líneas de “código G”, iniciando el funcionamiento de la máquina CNC.



Figura 3-9. Botón de marcha en Mach3

- Pausa: Como bien lo indica su nombre, pausa el proceso en ese mismo instante, hasta presionar nuevamente el botón de “marcha”.



Figura 3-10. Botón de pausa en Mach3

- Paro o Estop: Al presionar dicho botón finalizaremos y pararemos por completo cualquier proceso o función de la máquina CNC.



Figura 3-11. Botón de paro en Mach3

3.2.2.3. Panel y visualizador en tiempo real

Se trata de una pequeña pantalla que muestra la ruta o imagen del proceso que recorrerá la herramienta de corte, dando una mejor apreciación al operario de la máquina con respecto al diseño de mecanizado

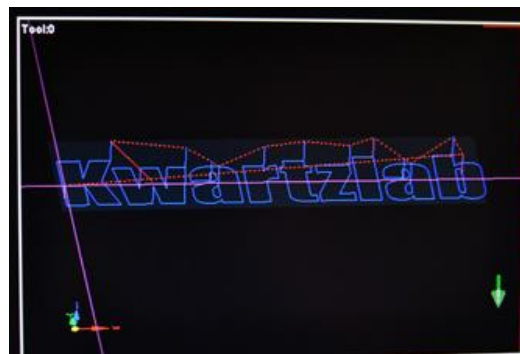


Figura 3-12. Visualizador de la ruta en tiempo real

3.2.2.4. Control de husillo o motor de grabado

Son los controles para el funcionamiento del motor de grabado, como son el encendido, parada y aumento o disminución de velocidad.



Figura 3-13. Control del motor de grabado

3.2.2.5. Control de avance

Determina la velocidad de avance de cada uno de los ejes y por ende de la herramienta de corte, controlando así la velocidad general con la que se realiza el proceso de mecanizado según las necesidades del operador de la máquina.

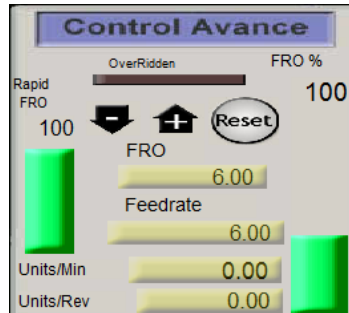


Figura 3-14. Control de avance

3.2.2.6. Desplazamiento manual

En Mach3 se puede optar por el desplazamiento manual, por medio de las teclas configuradas, ya sea por el operario o por defecto, para desplazar cada uno de los tres ejes de la máquina según sea la necesidad, siempre y cuando este activado el botón “Jog”, en este caso las teclas configuradas son las flechas de dirección del teclado para el eje “x” y el eje “z”, incluidas las teclas “pg up” y “pg dn” para el eje “y”.

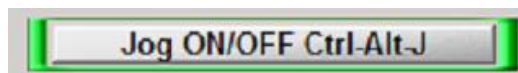


Figura 3-15. Botón Jog para el desplazamiento de los ejes

3.2.2.7. Botón de posición cero máquina y cero pieza



Figura 3-16. Cero máquina y cero pieza en Mach3

CAPÍTULO IV

4. CALIBRACIÓN Y PRUEBAS

4.1. CONFIGURACIÓN DE LOS DRIVERS O CONTROLADORES

Para la calibración y pruebas de la máquina CNC de tres ejes, empezaremos con la configuración de los drivers que controlan cada uno de los motores de los tres ejes. Dichos drivers o controladores constan de un “dip-switch” o interruptor múltiple de ocho canales.

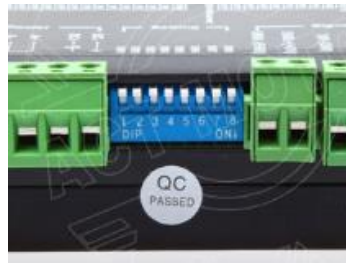


Figura 4-1. Interruptor Dip-switch del controlador

El dip-switch se divide en tres configuraciones importantes, los tres primeros dígitos “SW (1, 2, 3)”, corresponden a la primera configuración que determina la corriente nominal de salida con la que trabajarán los motores de pasos. De tal modo que se ha elegido una corriente de 2.84 Amperios, a continuación se muestra una imagen para la primera configuración:

Corriente de salida (A)				
SW1	SW2	SW3	PEAK	RMS
EN	EN	EN	1.00	0,71
OFF	EN	EN	1.46	1.04
EN	OFF	EN	1.91	1.36
OFF	OFF	EN	2.37	1.69
EN	EN	OFF	2.84	2.03
OFF	EN	OFF	3.31	2.36
EN	OFF	OFF	3.76	2.69
OFF	OFF	OFF	4.20	3.00

Figura 4-2. Configuración para la corriente del controlador

El siguiente dígito “SW (4)” del dip-switch, determina la segunda configuración, si este canal se encuentra desactivado (OFF), el modo reposo se activa cuando se paran los motores por un tiempo, reduciendo la corriente a la mitad, para que no se recalienten los motores. En caso contrario si se activa dicho canal (ON).

La tercera configuración está en los cuatro últimos dígitos del dip-switch “SW (5, 6, 7, 8)”, los cuales se encargan del número de pulsos por revolución (Micro-pasos/rev), los cuales hacen que el motor de pasos sea aún más preciso, asemejándose al funcionamiento de un servomotor. A continuación la imagen de configuración:

SW5	OFF	EN	OFF	EN	OFF	EN	OFF	EN	OFF	EN	OFF	EN	OFF	EN	OFF
SW6	EN	OFF	OFF	EN	EN	OFF	OFF	EN	EN	OFF	OFF	EN	EN	OFF	OFF
SW7	EN	EN	EN	OFF	OFF	OFF	OFF	EN	EN	EN	EN	OFF	OFF	OFF	OFF
SW8	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
PULSO / REV	400	800	1600	3200	6400	12800	25600	1000	2000	4000	5000	8000	10000	20000	25000

Figura 4-3. Configuración de la precisión del controlador

4.2. CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA DESDE “MACH 3”

La conexión e interfaz USB entre la PC y la tarjeta de control, nos permite la configuración del software MACH3, el cual nos ayuda a determinar los parámetros principales de la máquina CNC, para iniciar el software tenemos que abrir el icono con nombre “MACH3Mill”, el cual ejecuta el programa. A continuación nos aparece una pantalla del controlador, donde seleccionaremos el nombre de nuestro dispositivo “Xulifeng-Mach3-USB-MotionCard”, como se muestra en la siguiente imagen.

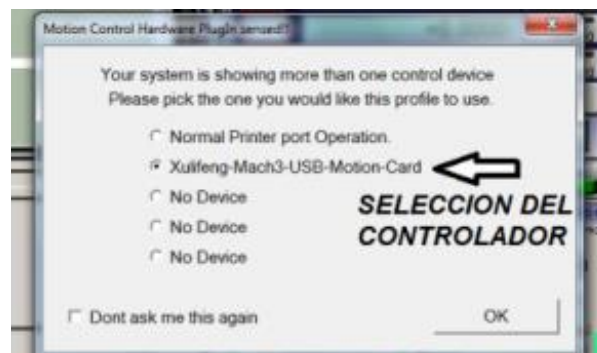


Figura 4-4. Captura inicio de Mach3

4.2.1. SELECCIÓN DE UNIDADES DE TRABAJO

Dentro de la pantalla principal de trabajo del software MACH3, nos ubicaremos en la pestaña de “configuraciones” y seleccionamos a continuación en “unidades nativas de trabajo”. En este caso elegimos como principal sistema de medidas a los milímetros, como unidades generales de la máquina CNC, para el desplazamiento, la velocidad de avance, velocidad de corte y todo lo que relaciona al sistema métrico y de longitud.

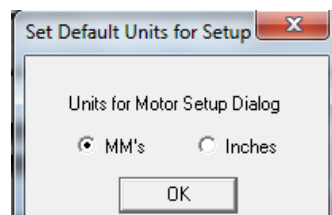


Figura 4-5. Captura de configuración del sistema de medidas en “MACH3”

4.2.2. CALIBRACIÓN DE LOS MOTORES

Para el ajuste o calibración de cada motor de los tres ejes, MACH3 cuenta con la configuración de pasos por unidad, para cada uno de los motores, tomando en cuenta la configuración de los drivers. A continuación nos dirigimos a la pestaña de “configuraciones” en donde encontraremos la opción de “afinación de motores”.

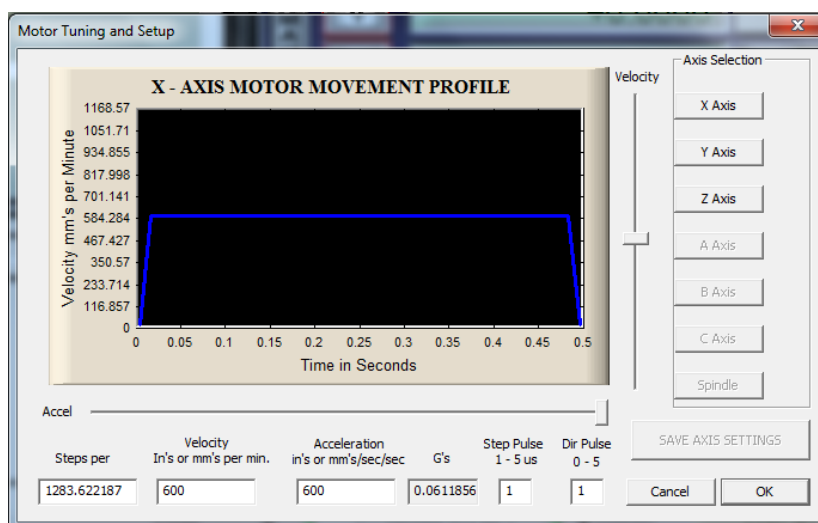


Figura 4-6. Captura del ajuste de cada motor

En el cuadro de configuración y afinación de cada motor, encontramos los parámetros para ajustar cada uno de los motores de cada eje como son los pasos por revolución, la velocidad de avance y la aceleración de arranque de los mismos. Procedemos a ingresar los valores de la cantidad de pasos por milímetro que determinan la exactitud y desplazamiento del carro de cada eje, la velocidad de avance en milímetros por minuto y la aceleración que depende de la inercia.

4.2.3. AJUSTE DEL DESPLAZAMIENTO DE CADA EJE

El desplazamiento de los tres ejes, ya sea de manera positiva o negativa, en el sentido de cada eje, tenemos que tomar en cuenta o medir el desplazamiento real en milímetros que tienden a moverse cada uno de los ejes, ya sea con alguna regla o calibrador, para partir desde una medida real y exacta.

De esta manera obtenemos un valor real en cual guiarnos, ya que el software MACH3 nos ofrece el ajuste automático de cada uno de los tres ejes utilizados. Para realizar estos ajustes nos dirigimos desde la pantalla principal de “MACH3” a la pestaña “setting” o (ajustes), después se ingresa al cuadro de “Set Step per Unit” o (pasos por unidad establecidos), en donde seleccionamos el eje a calibrar e ingresamos el valor en milímetros que deseamos que se desplace cada eje, a continuación MACH3 nos pedirá el valor real medido, para la comparación y configuración de los pasos por unidad de cada motor.



Figura 4-7. Captura de pantalla “Set Step per Unit”

Una vez realizado este ajuste, verificaremos el desplazamiento de cada eje y notaremos que la distancia recorrida es exactamente igual a la real, estos ajustes son muy importantes al momento de correr o ejecutar un archivo de “código g”, ya

que MACH3 interpreta este lenguaje y depende de las medidas establecidas por el archivo, para desplazar la herramienta en un área determinada.

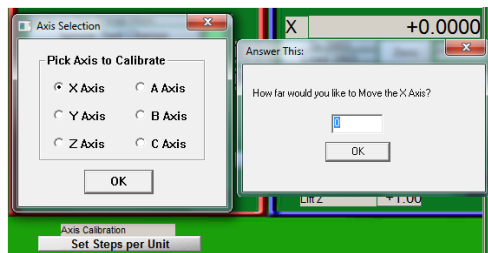


Figura 4-8. Captura del ajuste del desplazamiento de cada eje

4.2.4. CONFIGURACIÓN DEL MOTOR DE GRABADO

El “driver” del motor de grabado utilizado en la máquina CNC, nos brinda la posibilidad de controlar dicho motor mediante un control “PWM”, desde el software “Mach3”, por medio de la tarjeta de control CNC.

La tarjeta principal de control utilizada nos ofrece una salida “PWM” configurada desde MACH3, para el control total por software de las revoluciones del motor de grabado. Para la configuración “PWM” desde MACH3 tenemos que dirigirnos a la pestaña de “puertos y pines” y seleccionamos la habilitación del motor de grabado o “spindle” y la opción de “control PWM”.

En la sección y configuración de “puertos y pines” de MACH3 podemos controlar el encendido, apagado, velocidad y sentido de giro del motor de grabado o husillo; siempre y cuando se cuente con el controlador “PWM” específico del motor, para el control total por software del mismo.

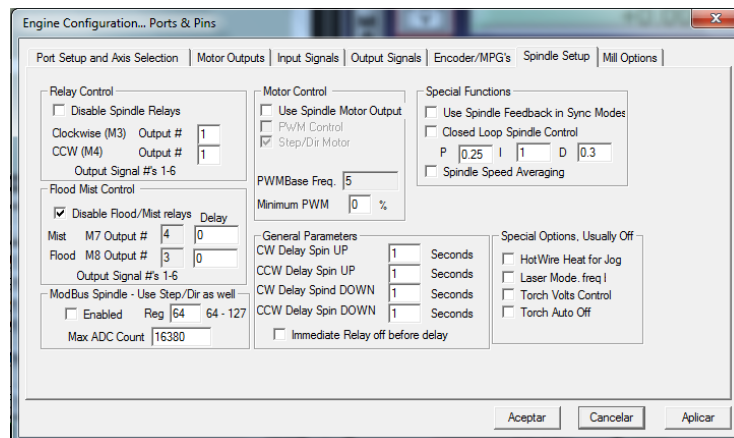


Figura 4-9. Habilidad del motor de grabado mediante control “PWM”

4.2.5. HABILITACIÓN DE LOS LÍMITES DE CADA EJE

Una máquina CNC está limitada por su distancia de desplazamiento o área de trabajo, por tal razón se busca implementar límites o finales de carrera en puros claves, en cada uno de los recorridos de los tres ejes coordenados (X, Y, Z).

Principalmente los límites de carrera evitan el impacto de los carros de cada uno de los tres ejes con la estructura de la máquina CNC, brindando seguridad de trabajo al operario y desempeño al realizar el grabado.

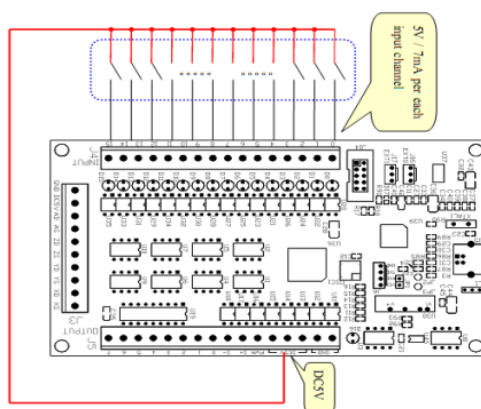


Figura 4-10. Implantación de los límites de carrera

Fuente: Mach3 USB Motion Card AKZ250

Para la configuración de los límites de carrera nos dirigimos a configuración, en la pestaña de “puertos y pines”, después ingresamos a “señales de entrada” para el ajuste de selección del puerto de cada uno de los fines de carrera para cada eje, que en este caso vamos a utilizar seis, dos para cada eje, uno para el límite positivo (X++) y el otro para el límite negativo (X--), de igual manera para los demás ejes.

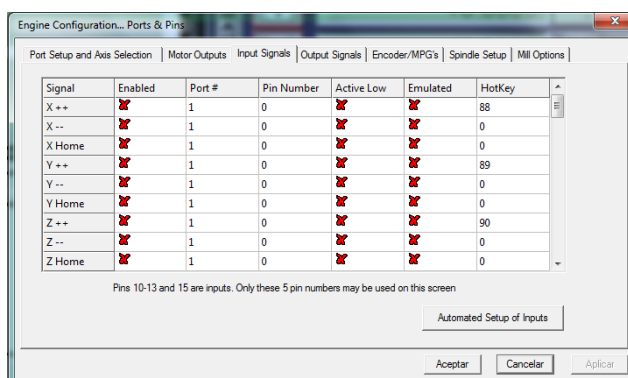


Figura 4-11. Habilitación y configuración de los límites de carrera

4.3. CERO MÁQUINA Y CERO PIEZA

El movimiento y posición de los ejes se realizan mediante coordenadas al momento de fresar, es por eso que se necesita tener una referencia principal con respecto a la posición de la placa en la mesa de trabajo y el área útil sin exceder los límites de recorrido de cada eje.

4.3.1. CERO MÁQUINA

Normalmente es la referencia pre establecida por el fabricante, dicha coordenada determina el punto de partida de los ejes de la máquina.

4.3.1.1. Configuración cero máquina

Resulta conveniente determinar el cero máquina de tal manera que, ubique a los ejes (Y, Z) en una posición cómoda para ubicar y retirar las placas. En este caso la mesa de trabajo (eje Y) y el motor de grabado (eje Z) se desplazaran a sus máximos límites para un fácil acceso.

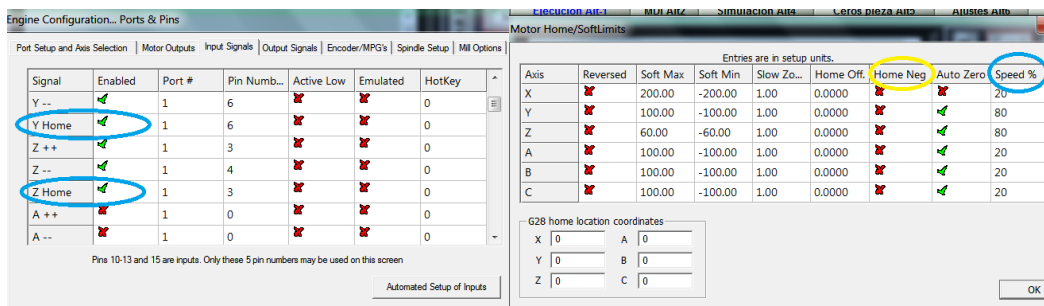


Figura 4-12. Configuración del cero máquina en Mach3

Donde (Y, Z "Home") son las coordenadas de inicio del cero máquina, configurando se tiene que la mesa de trabajo (eje Y) y el motor de grabado (eje Z) se desplazan hacia los límites de carrera positivos, hasta presionarlos. Una vez presionados, tienden a regresar 5 mm para que el software "Mach3" determine el cero máquina.

4.3.2. CERO PIEZA

Son las coordenadas elegidas por el operador y punto de origen de la pieza, dependiendo de la ubicación de la placa, en cuanto a la comodidad y tipo de elemento que se desea maquinarse.

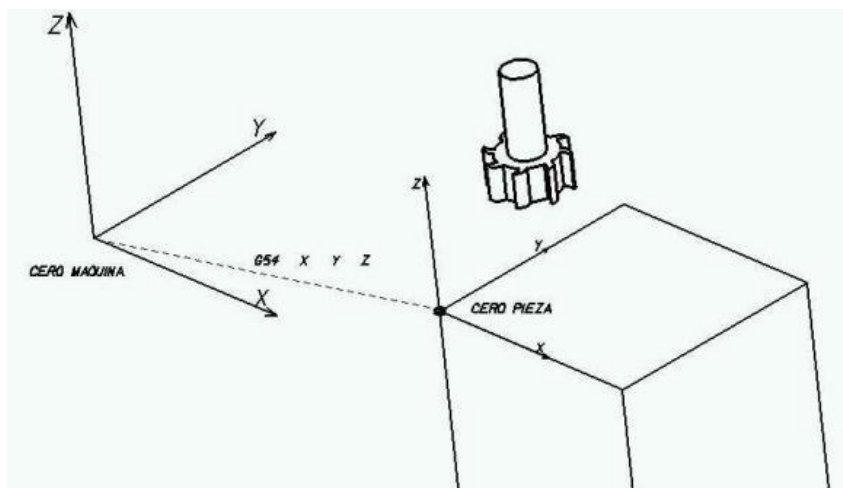


Figura 4-13. Ejemplo del cero máquina y cero pieza

Fuente: https://www.unirioja.es/servicios/sp/catalogo/online/fanuc/1_4.jpg

4.4. INTRODUCCIÓN BÁSICA EN INKSCAPE

El diseño seleccionado para ser grabado por la máquina CNC de tres ejes, deberá ser convertido en un formato de “código g” o programa vectorial, para ser interpretado por el software de control MACH3, dicho bosquejo deberá tener la unión de varias letras, figuras o imágenes que serán trazadas en la placa. A continuación se muestra un ejemplo de una imagen cualquiera descargada desde la red, para demostrar los pasos a seguir que se requieren para el grabado.



Figura 4-14. Ejemplo de un diseño de grabado

Fuente: <http://www.99sportslogos.com/page/381/>

Una vez seleccionada la imagen vamos a abrirla con el programa “Inkscape”, de tal manera que nos muestra una pequeña ventana, donde seleccionaremos en la opción de “incrustar” para realizar la edición de la misma. Optamos por determinar su tamaño en milímetros, de esta manera sabemos cuál será el área de trabajo, después seleccionamos la imagen para vectorizar, de manera que debemos encontrar la mejor edición o configuración vectorial posible.

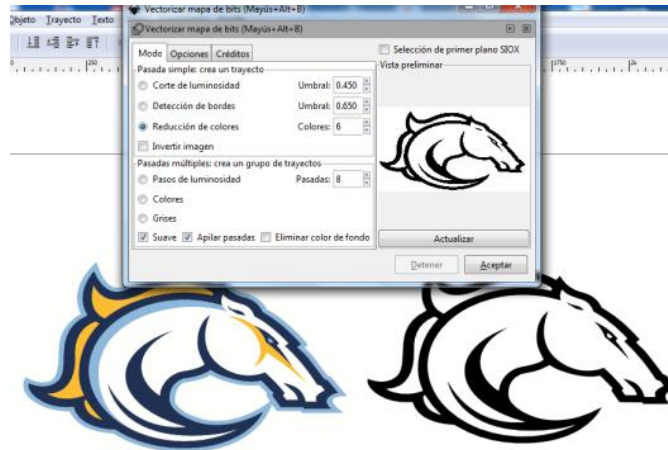


Figura 4-15. Captura de la imagen vectorizada

Siguiendo con la edición de la imagen seleccionada y ya vectorial, pasamos a la opción de “desvío dinámico”. Hecho esto la imagen queda lista para convertirla en código g, por medio de la librería “gcodetools” de Inkscape, ingresamos en ella y podremos ver todas las configuraciones de orientación, herramienta de corte utilizada y dirección del archivo para ser guardado.

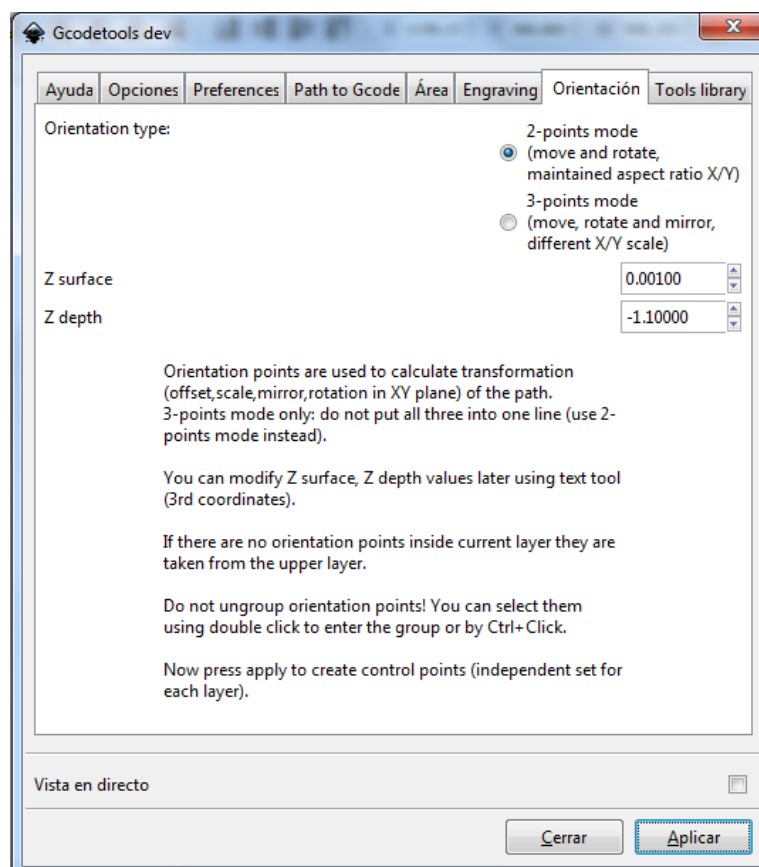


Figura 4-16. Captura de la librería de “código g” de Inkscape

El archivo del diseño realizado a base de imágenes vectorizadas será guardado en formato “.ngc”, este formato pertenece al lenguaje de “código g”. A continuación el archivo está listo para ser abierto por el software MACH3, el cual interpretará el código para trabajar con la máquina CNC mediante la comunicación de tarjeta principal de control numérico, enviando pulsos hacia los driver que controlan los tres motores de pasos, para posicionar la herramienta de corte en el área de trabajo determinada sobre la placa a ser grabada.

4.5. MACH3 INTERPRETANDO UN ARCHIVO DE CÓDIGO G

Después de los ajustes y calibración de los motores de la máquina CNC de tres ejes por medio del software de control numérico MACH3, podemos realizar de manera segura la prueba de grabado del diseño creado en “Inkscape”.

Vamos a seleccionar y abrir desde MACH3 el archivo guardado anteriormente, una vez hecho esto podemos verificar en la pantalla principal tres partes fundamentales que son una pantalla ubicada en la parte superior izquierda donde se muestra las líneas del “código g”, en el medio podemos visualizar y verificar la posición actual de la herramienta de corte, para determinar el “cero máquina” o referencia principal y por último tenemos la pantalla ubicada en la parte superior derecha, donde podemos observar el bosquejo del diseño creado desde “Inkscape”, el cual nos muestra en tiempo real la ruta de la herramienta de corte al momento de ejecutar el programa.



Figura 4-17. Captura de MACH3 abriendo un archivo de “código g”

Después de tomar en cuenta las tres herramientas principales de la pantalla de inicio de “MACH3”, podemos utilizar otros ajustes al ejecutar el archivo de “código g”. Estos ajustes son el “control de avance” de la herramienta de corte y el “control de husillo” que se refiere al control de la velocidad del motor de grabado. En el “control de avance” tenemos la posibilidad de controlar la velocidad de la máquina.

4.6. PRUEBAS DE GRABADO

4.6.1. GRABADO SOBRE MADERA

A continuación mostraremos una imagen de la prueba de grabado sobre madera “MDF”, siendo este un material suave y rápido de mecanizar, en donde aplicamos el diseño realizado anteriormente en la introducción a “Inkscape”.

a) Características de la prueba de grabado:

- Fresa utilizada: Cónica en V
- Velocidad de avance: 600 mm/min
- Tiempo de mecanizado: 11.2 minutos



Figura 4-18. Prueba de grabado en madera

4.6.2. GRABADO SOBRE PLACA PLÁSTICA

Este tipo de placas posee doble fondo por así decirlo, ya que tiene un color en la superficie y al realizar el grabado se observa el color secundario. Dichas placas son utilizadas por su buen acabado y fácil desprendimiento al contacto con la fresa, facilitando el desempeño de la máquina y aumentar la velocidad de grabado.

b) Características de la prueba de grabado:

- Fresa utilizada: Cónica en V
- Velocidad de avance: 200 mm/min
- Tiempo de mecanizado: 22 minutos



Figura 4-19. Prueba en placa plástica

4.6.3. GRABADO SOBRE PLACAS PCB

Estas placas sirven para la fabricación o impresión de circuitos o pistas eléctricas. Este tipo de material consta de un nivel de dureza mayor al de la madera o MDF, el mismo que nos ayuda a poner a prueba el desempeño y trabajo de la máquina CNC, comprobando la utilización de las herramientas de corte y los cambios en los parámetros de calibración de la misma.

c) Características de la prueba de grabado:

- Fresa utilizada: Cónica en V
- Velocidad de avance: 250 mm/min
- Tiempo de mecanizado: 25 minutos

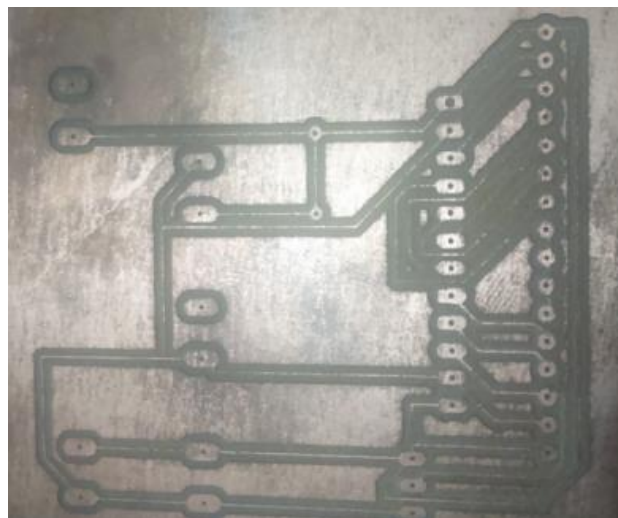


Figura 4-20. Primer ejemplo de grabado PCB

d) Características de la prueba de grabado:

- Fresa utilizada: Multi V
- Velocidad de avance: 250 mm/min
- Tiempo de mecanizado: 30 minutos

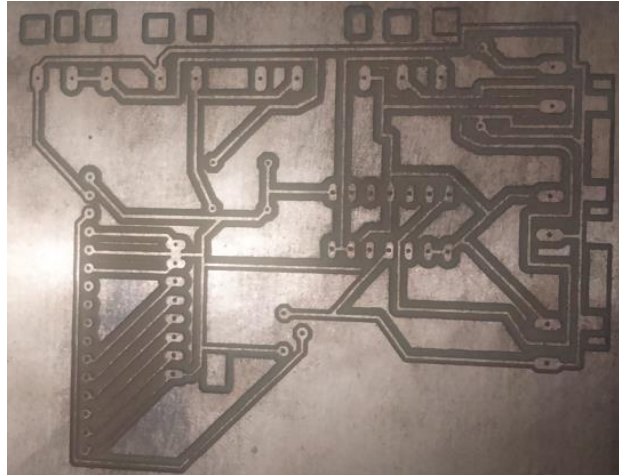


Figura 4-21. Segunda prueba de grabado PCB

4.6.4. GRABADO SOBRE PLACAS CONMEMORATIVAS

Grabado de diferentes tipos y tamaños de letras, en placas conmemorativas para la verificación de la mesa de agarre y la nivelación. Esta parte es muy importante ya que si la mesa no está bien nivelada, la profundidad de grabado no será igual en todas las áreas de grabado de dicha placa.

e) Características de la prueba de grabado:

- Fresa utilizada: Cónica en V
- Velocidad de avance: 230 mm/min
- Tiempo de mecanizado: 29 minutos



Figura 4-22. Prueba de letras sobre placa de aluminio

f) Características de la prueba de grabado:

- Fresa utilizada: Multi V
- Velocidad de avance: 210 mm/min
- Tiempo de mecanizado: 18 minutos



Figura 4-23. Prueba de imagen sobre placa metálica

g) Características de la prueba de grabado:

- Fresa utilizada: Multi V
- Velocidad de avance: 190 mm/min
- Tiempo de mecanizado: 45 minutos



Figura 4-24. Prueba de grabado completo sobre placa de aluminio

h) Características de la prueba de grabado:

- Fresa utilizada: Multi V
- Velocidad de avance: 100 mm/min
- Tiempo de mecanizado: 27 minutos



Figura 4-25. Prueba de grabado en placa metálica



Figura 4-26. Prueba de grabado en placa metálica

- Tiempo de mecanizado: 16 minutos



Figura 4-27. Prueba de grabado en placa metálica

- Tiempo de mecanizado: 75 minutos



Figura 4-28. Prueba de grabado UTN

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Hay que tomar en cuenta los cálculos y parámetros, con respecto a la velocidad de mecanizado y la utilización de la herramienta de corte, porque de esto depende la calidad de grabado y el tiempo de proceso.
- La máquina CNC de tres ejes está diseñada con un cabezal fijo, para soportar el peso y el movimiento de los ejes “X y Z”, de esta manera la estructura y sus elementos se mantienen estables al momento de realizar un grabado.
- El conjunto de dispositivos eléctricos y de control deben estar protegidos contra el polvo y la humedad, ya que son necesarios para el buen funcionamiento de la máquina e incrementar la vida útil.
- La compatibilidad que mantienen los software de diseño y de control con la máquina, determinan el rendimiento y la rapidez con la que responde el sistema CNC.
- La implementación de finales de carrera ubicados estratégicamente en cada uno de los límites (X, Y, Z), garantizan el movimiento de los tres ejes e impiden el impacto de los mismos contra la estructura.
- Gracias a una minuciosa investigación sobre los cálculos y argumentos válidos que tiene una máquina herramienta por control numérico, se logró concluir con el diseño y construcción de una máquina CNC de tres ejes, dedicada al grabado de placas conmemorativas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar en cuenta el diseño general de la máquina, el área de trabajo y el tipo de movimientos que realizan cada uno de los ejes, para comprender el desarrollo y funcionamiento de un sistema de control numérico computarizado.
- Implementar sensores extras y un modo de posicionamiento automático para el cero pieza, en el caso de utilizar la máquina para proyectos de gran escala.
- El diseño de las bridas o garras de ajuste que se utilizan en la mesa de trabajo de la máquina, sostienen la placa sin dañarla ni deformarla, de esta manera se recomienda ubicarlas fuera del área de grabado para que no interrumpen el trayecto que hace la herramienta de corte.
- Verificar de manera regular la configuración y calibración de la máquina CNC por medio del software de control Mach 3, para identificar algún tipo de error.
- Antes de operar es necesario entender las características técnicas de funcionamiento y mantenimiento de la máquina, utilizando el manual de mantenimiento incluido en los anexos, el cual brinda un uso adecuado.
- Se sugiere cierta precaución al instante de posicionar la herramienta de corte al cero pieza, ya que se corre el riesgo de dañar la fresa o la placa a ser mecanizada.
- De acuerdo a los cálculos obtenidos, tener en cuenta el tipo de material que se requiere grabar, para evitar cualquier tipo de problema y aumentar o disminuir la velocidad de corte según sea necesario.

BIBLIOGRAFÍA

- ACELAB. (2012). *ACELAB* . Obtenido de Automatización Industrial:
http://acelab.com/index.php?main_page=page&id=17
- Act_Motors. (2008). *Changzhou ACT Motor Co.* Obtenido de motors and drivers:
<http://www.act-motor.com>
- Albert, A. (2011). *Understanding CNC Routers: Demystifying CNC Wood Router Technology*. Canada: FPInnovations.
- Artsoft. (2001). *Artsoft*. Obtenido de <http://www.machsupport.com/about-us/>:
<http://www.machsupport.com/about-us/>
- B. S. Pabla, M. A. (1994). *CNC Machines*. India: New Age International.
- Barrientos, A., Peñin, L., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). *Fundamentos de Robótica*. McGraw-Hill. .
- Bartsch, W. (1978). *Herramientas, máquinas, trabajo*.
- Benjamin C. Kuo. (1996). *Sistemas de Control Automatico*. Pretince - Hall.
- Blanca irene Guzmán Silva, E. L. (2011). *Tecnologías de la producción: Máquinas, herramientas y sistemas de control*. México D. F.: Secretaría de Educación Pública.
- Brito, J. E. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Pearson Educación.
- Carletti, E. J. (2007). *Robots Argentina*. Obtenido de Robots Argentina:
http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm
- Castiglione, N. V. (2009). Transmision de ejes CNC. *Axial Maquinaria Industrial*.
- Charles Alexander - Matthew Sadiku. (2006). *Fundamentos de circuitos electricos* . McGraw-Hill.
- De_maquinas_y_herramientas. (2012). *De maquinas y herramientas*. Obtenido de <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresas-tipos-y-usos>

- Escalona, I. (2009). *Diseño y Manufactura CNC*. Obtenido de UPIICSA:
www.upiicsa.ipn.mx
- Espinosa, M. (2000). *Introducción a los Procesos de Fabricación*. Madrid
(España): UNED.
- Francisco Hernández-Chavarría. (2012). *Aluminio: una opción de bajo costo para grabado*. El Artista.
- Fulgueira, M. S. (2014). *Elaboración de programas de CNC para la fabricación de piezas por arranque de viruta*. Mexico: IC Editorial.
- García, J. M. (2008). *Apuntes de diseño de máquinas*. Editorial Club Universitario, 2008.
- Gerard Karel Boon, A. M. (1990). *Automatización Flexible en la Industria*.
University of Texas: Limusa.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas.
- Guillermo Castro. (2008). *Mecanizado de alta velocidad*. Obtenido de
http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Mecanizado_de_Alta_Velocidad.pdf
- Instituto_de_Máquina_Herramienta-IMH. (2005). *Instituto de Máquina Herramienta-IMH*. Obtenido de Instituto de Máquina Herramienta-IMH:
<http://www.imh.es/>
- Iñigo Zuluaga. (2014). *Manual Inkscape*. Obtenido de txapuzas_blogspot:
https://dl.dropboxusercontent.com/u/23923366/Gcodetools_Help_ES.pdf
- James Floyd Kelly, P. H.-D. (2009). *Build Your Own CNC Machine*. USA: Apress.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*.
Mexico: Pearson Educacion.
- Magafor. (2013). Catalogo magafor. *Catalogo magafor*, 128.

- Mehta. (2002). *Machine Tool Design and Numerical Control*. USA: Tata McGraw-Hill Education.
- Metal_actual. (2010). *CNC: Aspectos Básicos de lo Complejo*. Obtenido de metal actual: http://www.metalactual.com/revista/22/automati_cnc.pdf
- Prian, M. I. (1995). *Mecanizado*. Madrid: Ministerio de Educación.
- Richard C. Dorf, B. R. (2001). *Sistemas de Control Modernos*. LTC.
- Richard G. Budynas. (2008). *Diseno en ingenieria mecanica de Shigley*. McGraw-Hill.
- Roberto L. Mott. (2006). *Diseno de elementos de maquinas*. Mexico: Pearson educacion.
- Sandvik_AB. (2000). *formulas del fresado*. Obtenido de Sandvik: http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/formulas_and_definitions/the_milling_process/
- Schvab, L. (2008). *Maquinas Herramientas*.
- SKF. (2001). *Catalogo_Husillos de bolas*. Obtenido de SKF: www.skf.com
- Smid, P. (2005). *Fanuc CNC Custom Macros*. New York: Industrial Press Inc.
- Soro, J. (2013). *MECANIZADOS*. Obtenido de MECANIZADOS: <http://www.mecanizados.eu/index.php/que-es-mecanizar.html>
- Tavmjong Bah. (2011). *Inkscape: Guide to a Vector Drawing Program*. Prentice Hall.
- Tecnoficio. (2006). *motores y control numerico*. Obtenido de Tecnoficio: http://www.tecnoficio.com/electricidad/velocidad_de_motores_electricos2.php
- Teruel, F. C. (2005). *Control numérico y programación*. Marcombo.
- The_Mark_of_Linear_Motion. (2012). *Guias de Movimiento Lineal*. Obtenido de Guias de Movimiento Lineal: www.thk.com

- THK. (2012). *Catalogo Espanol_THK guias lineales*. Obtenido de Guías de Movimiento Lineal: www.thk.com
- THK. (s.f.). The Mark of Linear Motion. En THK, *Guías de movimiento lineal*.
- UNAM. (2000). *Tecnología Aplicada a Los Procesos de Manufactura*. Mexico: FCA.
- Universidad_de_Málaga. (2007). Apuntes de "Mecanizado y Fabricación Asistida por ordenador".
- Universidad_de_Valladolid. (2007). *Industria del tablero*. Obtenido de Alojamiento:
https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/40918/52080/1/Documento3.pdf
- Universidad_del_País_Vasco. (2002). *MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA*. Obtenido de Control Numérico para maquinas herramientas:
http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/737_ca.pdf

ANEXOS

ANEXO 1: CATÁLOGOS

1.11 CONTROLADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR DE GRABADO

1.10 MOTOR BRUSHLESS DE GRABADO (400W - 48V)

1.9 FUENTE DE ALIMENTACIÓN (36V DC - 9.7A - 350W)

1.8 TARJETA DE CONTROL CNC (AKZ250)

1.7 ACOUPLE FLEXIBLE (MOTOR - TORNILLO)

1.6 RODAMIENTOS PARA EL TORNILLO

1.5 TORNILLO DE BOLAS RECIRCULANTES

1.4 RODAMIENTO LINEAL

1.3 GUÍAS LINEALES

1.2 MOTOR DE PASOS HIBRIDO

1.1 DRIVER O CONTROLADOR MOTOR DE PASOS (DM542)

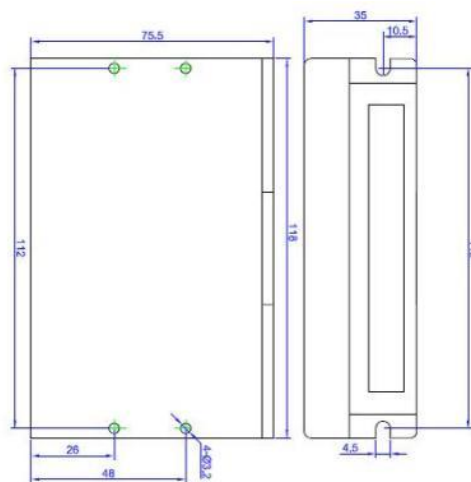
1.1 DRIVER O CONTROLADOR MOTOR DE PASOS (DM542)



The drive voltage of which is from 24VDC to 50VDC. It is designed for use with 2 phase hybrid stepper motor of all kinds with 42mm to 86mm outside diameter and less than 4.0A phase current. This circuit that it adopts is similar to the circuit of servo control which enables the motor run smoothly almost without noise and vibration. Holding torque when DQ542MA run under high speed is also significantly higher than the other two-phase driver, what's more, the positioning accuracy is also higher. It is widely used in middle and big size numerical control devices such as curving machine, CNC machine, Computer embroider machine, packing machines and so on.

Fixing

There should be 20mm of space, it can't be placed next to other heating devices, to avoid dust, oil mist, corrosive gas, humidity and strong vibration places.(Unit=mm):



Troubleshooting:

1. The status on light's indication

- a) RUN: green, normal work light.
- b) ERR: red, failure light, the motor with phase short-circuit, overvoltage and under voltage protection.

2. Troubles

Alarm Indicator	Causes	Measures
LED off turn	Wrong connection for power	Check wiring of power
	Low-voltages for power	Enlarge voltage of power
Motor doesn't run, without holding torque	Wrong connection of stepper motor	Correct its wiring
	RESET signal is effective when offline	Make RESET ineffective
Motor doesn't run, but maintains holding torque	Without input pulse signal	Adjust PMW & signal level
Motor runs wrong direction	Wrong wires' connection	Change connection for any of 2 wires
	Wrong input direction signal	Change direction setting
Motor's holding torque is too small	Too small relative to current setting	Correct rated current setting
	Acceleration is too fast	Reduce the acceleration
	Motor stalls	Rule out mechanical failure
	Driver does not match with the motor	Change a suitable driver

1.2 MOTOR DE PASOS HIBRIDO

Model : 23HS (57BYGH 1.8°)

Step Accuracy-----±5%

Temperature Rise-----80°C Max.

Ambient Temperature Range----- -20°C~+50°C

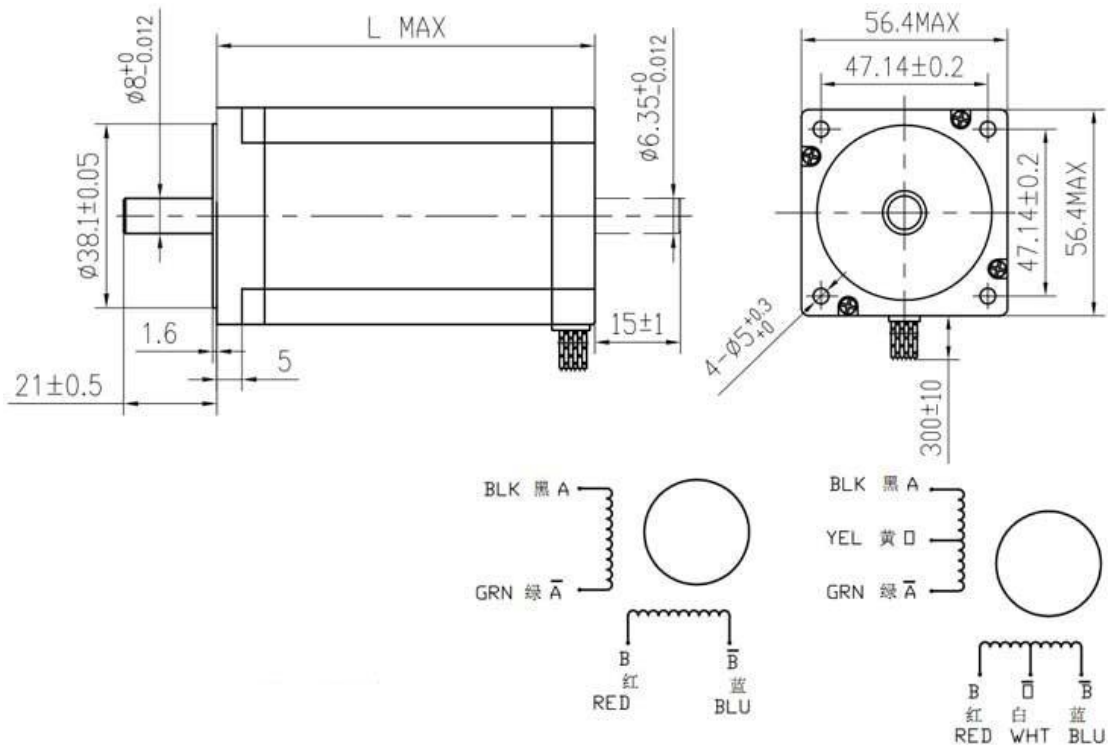
Insulation Resistance-----100MΩ Min.50V DC

Dielectric Strength-----500V AC 1minute



Series Mode	Step Angle°	Motor Length mm	Rated voltage v	Rated Current A	Phase Resistance Ω	Phase Inductance Mh	Holding Torque(MIN) N.cm	Detent Toruue (MAX)N.cm	Rotor Torque g.cm2	Lead Wire	Motor Weight KG	diameter of shaft mm
23HS4406	1.8	41	7.44	0.62	12	24	55	2.5	150	4	0.47	6.35
23HS8442	1.8	76	2.5	4.2	0.6	1.8	180	6	440	4	1.05	6.35
23HS1430	1.8	100	4.2	3	1.4	5.5	250	10	680	4	1.25	6.35
23HS1442	1.8	100	3.36	4.2	0.8	3	250	10	680	4	1.25	6.35
23HS2430	1.8	112	4.8	3	1.6	6.8	280	12	800	4	1.4	8
23HS2442	1.8	112	3.78	4.2	0.9	3.8	280	12	800	4	1.4	8

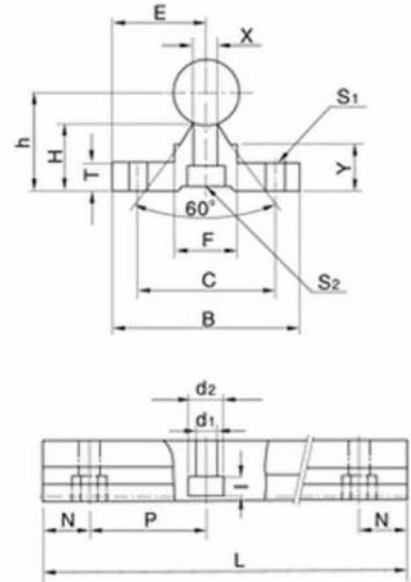
Mechanical Dimensions and Wiring Diagram :



1.3 GUÍAS LINEALES

>> 直线滑动单元支撑系列 Linear motion ball slide units series

SBR

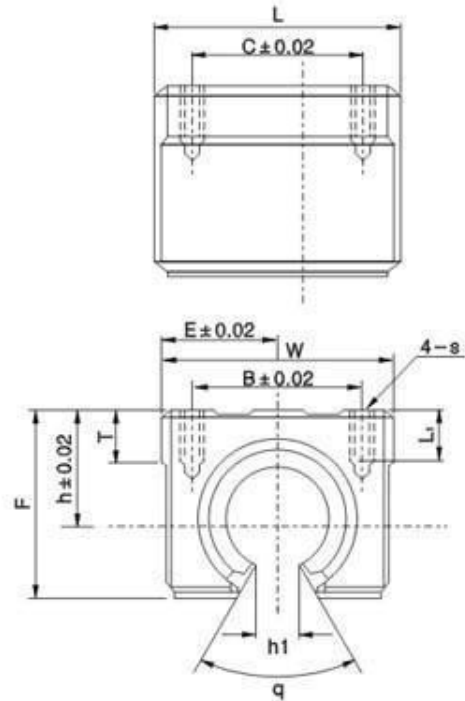


支撑型号 Support Designation	轴径尺寸 Shaft Dimensions	尺寸 Dimensions (mm)										
		E	h	B	H	T	F	X	Y	C	S ₁	S ₂ d ₁ ×d ₂ ×t
SBR 16	φ16	20	25	40	17.8	5	18.5	8	11.7	30	φ5.5	5.5×9.5×5.4
SBR 20	φ20	22.5	27	45	17.7	5	19	8	10	30	φ5.5	5.5×9.5×5.4
SBR 25	φ25	27.5	33	55	21	6	21.5	8	12	35	φ6.6	6.6×11×6.5
SBR 30	φ30	30	37	60	22.8	7	26.5	10.3	13	40	φ6.6	6.6×11×6.5
SBR 35	φ35	32.5	43	65	26.5	8	28	13	15.5	45	φ9	9×14×8.6
SBR 40	φ40	37.5	48	75	29.5	9	38	15.5	17	55	φ9	9×14×8.6
SBR 50	φ50	47.5	62	95	38.8	11	45	20	21	70	φ11	11×17.5×10.8

导轨支撑的标准长度和尺寸 Support Rail Stand Lengths and Dimensions

型号 Designation	SBR 16	SBR 20	SBR 25	SBR 30	SBR 35	SBR 40	SBR 50
标准长度 Standard Length L	190	340	250	450	460	460	470
	340	640	450	850	660	660	670
	640	940	850	1250	860	860	870
	940	1240	1250	1450	1060	1060	1070
N	20	20	25	25	30	30	35
P	150	150	200	200	200	200	200
最大长度 Max.Length	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000

1.4 RODAMIENTO LINEAL



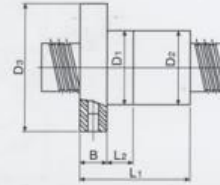
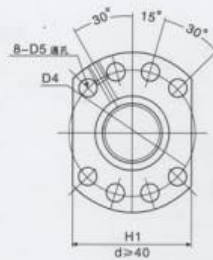
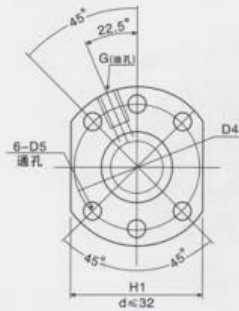
Unit Type	Dimensions (mm)												Slide bush			
	h	E	W	L	F	h1	q	B	C	S	L ₁	T	Type	Basic load rating		Weight (kg/m)
														Dynamic C(kgf)	Static Co(kgf)	
SBR 10UU	15	18	36	32	24	6	80°	25	20	M5	10	7	LM10UU-OP	372	549	65
SBR 13UU	17	20	40	39	27.6	8.5	80°	28	28	M5	10	8	LM13UU-OP	510	784	100
SBR 16UU	20	22.5	45	45	33	10	80°	32	30	M5	12	9	LM16UU-OP	774	1180	150
SBR 20UU	23	24	48	50	39	10	60°	35	35	M6	12	11	LM20UU-OP	882	1370	200
SBR 25UU	27	30	60	65	47	11.5	50°	40	40	M6	12	14	LM25UU-OP	980	1570	450
SBR 30UU	33	35	70	70	56	14	50°	50	50	M8	18	15	LM30UU-OP	1570	2740	630
SBR 35UU	37	40	80	80	63	16	50°	55	55	M8	18	18	LM35UU-OP	1670	3140	925
SBR 40UU	42	45	90	90	72	19	50°	65	65	M10	20	20	LM40UU-OP	2160	4020	1330
SBR 50UU	53	60	120	110	92	23	50°	80	80	M10	20	25	LM50UU-OP	3820	7940	3000
SBR 16LUU	20	22.5	45	85	33	10	80°	60	60	M5	12	9	LM16UU-OP	1548	2360	300
SBR 20LUU	23	24	48	96	39	10	60°	70	70	M6	12	11	LM20UU-OP	1764	2740	400
SBR 25LUU	27	30	60	130	47	11.5	50°	100	100	M6	12	14	LM25UU-OP	1960	3140	900
SBR 30LUU	33	35	70	140	56	14	50°	110	110	M8	18	15	LM30UU-OP	3140	5480	1260
SBR 40LUU	42	45	90	175	72	19	50°	180	180	M10	20	20	LM40UU-OP	4320	8040	2660

1.5 TORNILLO DE BOLAS RECIRCULANTES



没有借口/完美执行
No excuse / perfect execution

▶▶ 滚珠丝杠单螺母尺寸表 SFU



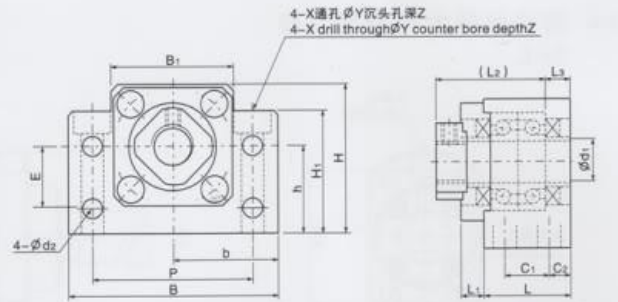
单位 (Unit): mm

规格型号	公称直径	公称导程	钢球直径	法兰型式	循环圈数	螺母安装连接尺寸										额定载荷(KN)	
						D1(g6)	D2 _{max}	D3	D4	D5	L1	L2	B	G	H1	动载荷 Ca	静载荷 Coa
SFU1204-3	12	4	2.381	d ≤ 32	3	22	21.5	42	32	4.8	35	10	8	M6	30	4	6.7
SFU1604-3	16	4	2.381	d ≤ 32	3	28	\	48	38	5.5	36	\	10	M6	40	4.35	9.2
SFU1605-3	16	5	3.175	d ≤ 32	3	28	27.8	48	38	5.5	42	10	10	M6	40	7.65	13.2
SFU1610-2	16	10	2.778	d ≤ 32	2(双头)	28	27.8	48	38	5.5	42	10	10	M6	40	7.36	12.75
SFU2005-3	20	5	3.175	d ≤ 32	3	36	35.8	58	47	6.7	42	10	10	M6	44	8.6	17.1
SFU2010-2	20	10	3.175	d ≤ 32	2(双头)	36	35.8	58	47	6.7	42	10	10	M5	40	8.35	16.8
SFU2010-3	20	10	3.175	d ≤ 32	3(双头)	36	35.8	58	47	6.7	52	10	10	M5	40	8.35	16.8
✗ SFU2504-3	25	4	2.381	d ≤ 32	3	40	\	62	51	6.6	40	\	10	M6	48	9.1	26.5
SFU2505-3	25	5	3.175	d ≤ 32	3	40	39.5	62	51	6.6	42	10	10	M6	48	9.8	23
SFU2510-3	25	10	4.763	d ≤ 32	3	40	39.5	62	51	6.8	85	16	15	M6	48	8.7	20.5
SFU3205-3	32	5	3.175	d ≤ 32	5	50	49.5	80	65	9	55	10	12	M6	62	16.9	51
SFU3210-3	32	10	6.35	d ≤ 32	3	50	49.5	80	65	9	74	16	12	M8X1	62	26.1	53.1
SFU4005-5	40	5	3.175	d ≥ 40	5	63	62.5	93	78	9	55	10	14	M6	70	19	66.2
4012 SFU4010-3	40	10	6.35	d ≥ 40	3	63	62.5	93	78	9	71	16	14	M8X1	70	30.1	71
✗ SFU5005-4	50	5	3.175	d ≥ 40	4	71	70.5	110	90	9	55	16	14	M6	85	47.2	117.8
SFU5010-4	50	10	6.35	d ≥ 40	4	75	74.5	110	93	11	95	16	16	M8X1	85	53.1	155
SFU6310-5	63	10	6.35	d ≥ 40	5	90	\	125	108	11	97	\	18	M8X1	95	60.7	206
SFU8010-5	80	10	6.35	d ≥ 40	5	105	\	145	125	13.5	101	\	20	M8X1	110	66.6	265

1.6 RODAMIENTOS PARA EL TORNILLO

没有借口 / 完美执行

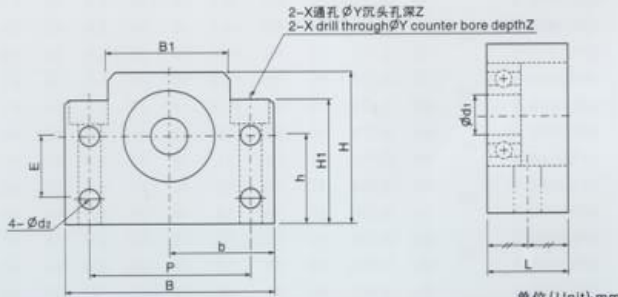
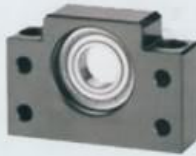
BK 丝杠支撑座 固定端 Fixed Side



单位 (Unit):mm

公称型号 Model No.	d ₁	L	L ₁	L ₂	L ₃	C ₁	C ₂	B	H	^{+0.02} _b	^{+0.02} _h	B ₁	H ₁	E	P	d ₂	X	Y	Z
BK 10	10	25	5	29	5	13	6	60	39	30	22	34	32.5	15	46	5.5	6.6	10.8	5
BK 12	12	25	5	29	5	13	6	60	43	30	25	34	32.5	18	46	5.5	6.6	10.8	1.5
BK 15	15	27	6	32	6	15	6	70	48	35	28	40	38	18	54	5.5	6.6	11	6.5
BK 17	17	35	9	44	7	19	8	86	64	43	39	50	55	28	68	6.6	9	14	8.5
BK 20	20	35	8	43	8	19	8	88	60	44	34	52	50	22	70	6.6	9	14	8.5
BK 25	25	42	12	54	9	22	10	106	80	53	48	64	70	33	85	9	11	17.5	11
BK 30	30	45	14	61	9	23	11	128	89	64	51	76	78	33	102	11	14	20	13
BK 35	35	50	14	67	12	26	12	140	96	70	52	88	79	35	114	11	14	20	13
BK 40	40	61	18	76	15	33	14	160	110	80	60	100	90	37	130	14	18	26	17.5

BF 支持端 Flolated Side

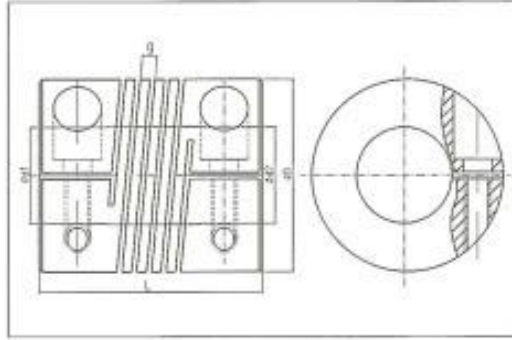


单位 (Unit):mm

公称型号 Model No.	d ₁	L	B	H	^{+0.02} _b	^{+0.02} _h	B ₁	H ₁	E	P	d ₂	X	Y	Z
BF 10	8	20	60	39	30	22	34	32.5	15	46	5.5	6.6	10.8	5
BF 12	10	20	60	43	30	25	34	32.5	18	46	5.5	6.6	10.8	1.5
BF 15	15	20	70	48	35	28	40	38	18	54	5.5	6.6	11	6.5
BF 17	17	23	86	64	43	39	50	55	28	68	6.6	9	14	8.5
BF 20	20	26	88	60	44	34	52	50	22	70	6.6	9	14	8.5
BF 25	25	30	106	80	53	48	64	70	33	85	9	11	17.5	11
BF 30	30	32	128	89	64	51	76	78	33	102	11	14	20	13
BF 35	35	32	140	96	70	52	88	79	35	114	11	14	20	13
BF 40	40	37	160	110	80	60	100	90	37	130	14	18	26	17.5

1.7 ACOUPLE FLEXIBLE (MOTOR - TORNILLO)

BR系列 弹性联轴器
BRseries flexible coupling



BR系列主体材料为：铝合金

Body Material: Aluminum Alloy

(特殊孔径和键槽均可按需求加工)

(Special bore size and slot available on request)

项目类型 Item type	d1 Bore	d2 Bore	D	L	g	M	额定扭矩 Rated Torque (N.m)	最大扭矩 Max. Torque	偏心误差 eccentricity error	轴角偏角 Shaft angle	最高转速 Max. Rotational (rpm)	运转 Rated
BR	4-8	4-8	20	25-35	2.5-3	M3	0.5N.m	1N.m	±0.2mm	≤2°	19000	同步运转 In-phase operate
	5-8	5-8	22	25-35	2.5-3	M3-4	0.5N.m	1N.m	±0.2mm	≤2°	19000	
	5-10	5-10	25	25-35	2.5-3	M3-4	0.5N.m	1N.m	±0.2mm	≤2°	19000	
	5-12	5-12	28	25-40	2.5-3	M3-4	0.5N.m	1N.m	±0.2mm	≤2°	19000	
	5-14	5-14	35	30-45	2.5-3	M3-4	1N.m	2N.m	±0.2mm	≤2°	19000	
	5-18	5-18	38	30-45	2.5-3	M3-4	1N.m	2N.m	±0.2mm	≤2°	19000	

可根据客户要求加工定制

Can be produced on client's request

(定货范例 ordering example) BR-15X15-D35L40

(用户端孔径 bore size on user's end) d1

(联轴器总长 total length of the coupling) L

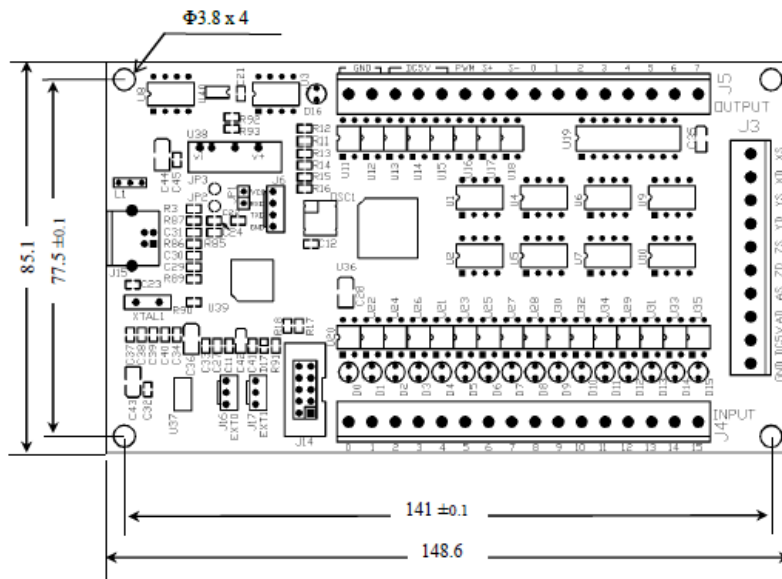
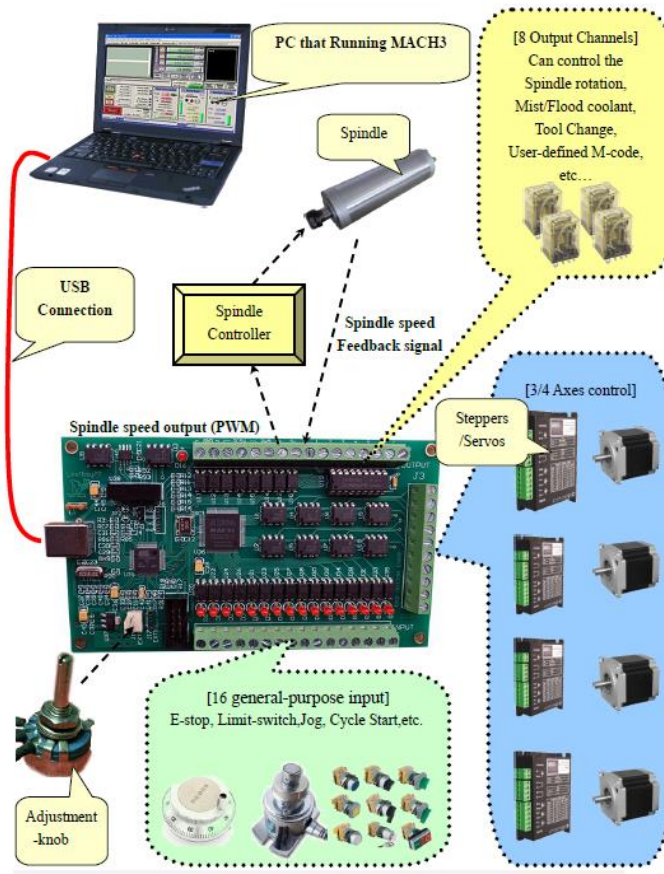
(用户端孔径 bore size on user's end) d2

(联轴器最大外径 Max. housing diameter of coupling) D

BR适用 For BR series

改变项 (Alternative item)	代号 code name	指定 On request	元/批 RMB/batch
	d1, d2	客户需要的孔径 bore size on client's request	另行报价 special quote

1.8 TARJETA DE CONTROL CNC (AKZ250)



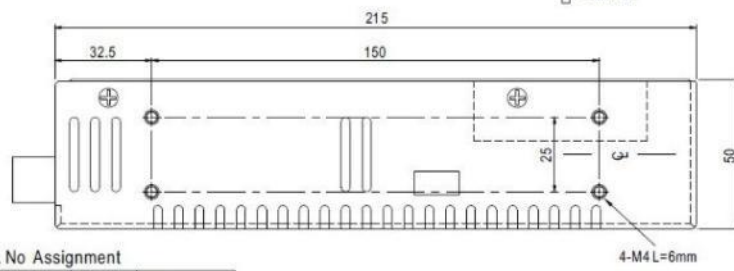
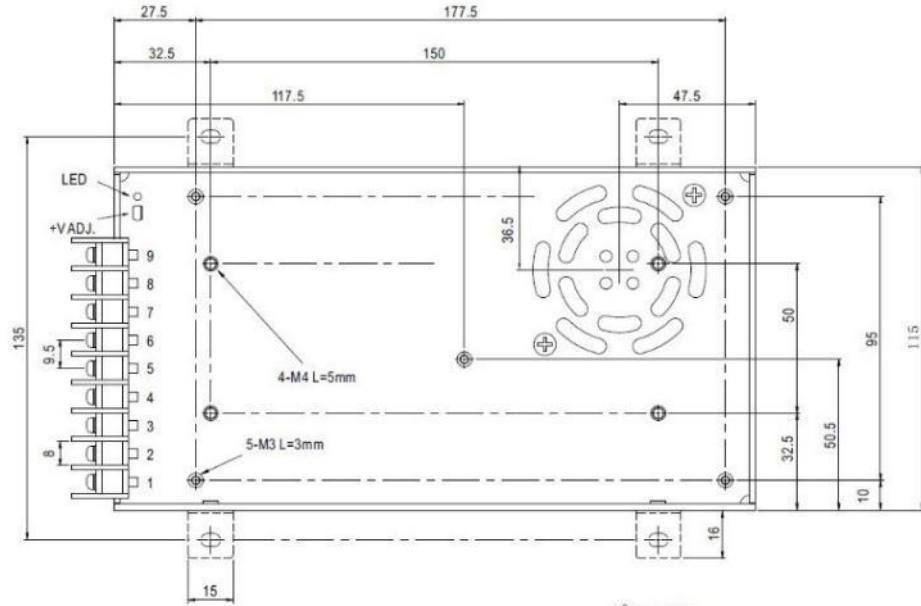
1.9 FUENTE DE ALIMENTACIÓN (36V DC - 9.7A - 350W)



MODEL	S-350-5	S-350-7.5	S-350-12	S-350-13.5	S-350-15	S-350-24	S-350-36	
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	7.5V	12V	13.5V	15V	24V	36V
	RATED CURRENT	50A	40A	29A	25.8A	23.2A	14.6A	9.7A
	CURRENT RANGE	0 ~ 50A	0 ~ 40A	0 ~ 29A	0 ~ 25.8A	0 ~ 23.2A	0 ~ 14.6A	0 ~ 9.7A
	RATED POWER	250W	300W	348W	348.3W	348W	350.4W	351W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note. 2	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	200mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.5 ~ 5.6V	6 ~ 9V	10 ~ 13.2V	12 ~ 15V	13.5 ~ 18V	20 ~ 26.4V	32.4 ~ 39.6V
	VOLTAGE TOLERANCE Note. 3	±2.0%	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
SETUP, RISE, HOLD TIME	200ms, 50ms, 20ms at full load							
INPUT	VOLTAGE RANGE	90 ~ 132VAC / 180 ~ 264VAC by switch			254 ~ 370VDC			
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz						
	EFFICIENCY (Typ.)	73%	76%	74%	79%	78%	81%	82%
	AC CURRENT	6.5A/115VAC 4A/230VAC						
	INRUSH CURRENT (max.)	25A/115VAC 50A/230VAC						
	LEAKAGE CURRENT	<3.5mA / 240VAC						
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 135% rated output power Protection type: Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed.						
	OVER VOLTAGE	5.75 ~ 6.75V	9.4 ~ 10.9V	13.8 ~ 16.2V	15.5 ~ 18.2V	18 ~ 21V	27.6 ~ 32.4V	41.4 ~ 48V
FUNCTION	FAN CONTROL O.T.P.	RTH3 ≧55°C FAN ON, ≧45°C FAN OFF, ≧80°C output shutdown (5 ~ 7.5V)						
		RTH3 ≧65°C FAN ON, ≧55°C FAN OFF, ≧80°C output shutdown (12 ~ 15V)						
		RTH3 ≧70°C FAN ON, ≧60°C FAN OFF, ≧85°C output shutdown (24 ~ 48V)						
ENVIRONMENT	WORKING TEMP., HUMIDITY	-10 ~ +60°C (Refer to output load derating curve)						
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing						
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH						
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)						
SAFETY & E	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes						
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:1.5KVAC I/P-FG:1.5KVAC O/P-FG:0.5KVAC						
OTHERS	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms/500VDC						
	MTBF	234.3K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)						
	DIMENSION	215*115*50mm (L*W*H)						
	PACKING	0.929Kgs/pcs, 12pcs/12.58Kgs/0.0263CMB						
NOTE	<p>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature.</p> <p>2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor.</p> <p>3. Tolerance: includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</p>							

■ Mechanical Specification

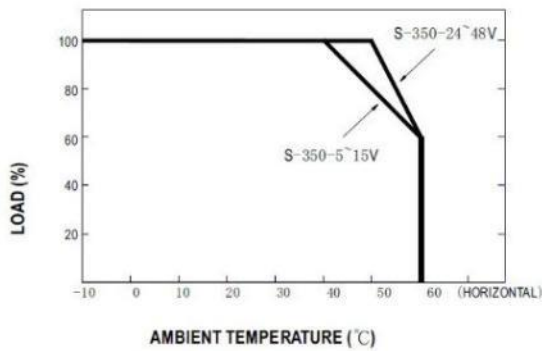
Unit: mm



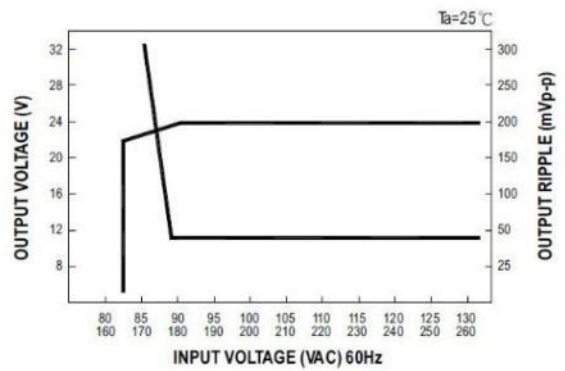
Terminal Pin. No Assignment

Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment
1	AC/L	4-6	-V
2	AC/N	7-9	+V
3	FG		

■ Derating Curve



■ Static Characteristics (24V)



1.10 MOTOR BRUSHLESS DE GRABADO (400W - 48V)

Features:

- Spindle motor: New Brushless DC motor
- Power: 400W
- Operating voltage :48VDC
- Maximum working current: 10A
- Maximum Power: 0.4KW
- Rotation Speed :12000r / min.
- Torque: 0.5294 N.m
- Insulation resistance:> 2 megohm
- Dielectric strength: 400V
- Diameter: 52mm
- Motor Overall length: 175mm (includes gripping parts and motor)
- Axis collet Length: 43mm
- Diameter of ER11 clamping holder:16mm
- The spindle runout: about 0.01-0.03.
- Weight: 1.2kg
- Can be used for engraving metal or nonmetal materials.



1.11 CONTROLADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR DE GRABADO

1. Working voltage: DC12-52V
2. Drive current: Rated current 10A, Peak current 15A.
3. the drive power: $\leq 500w$ (up to working voltage)
4. Speed/Current alike close loop technology, smooth rotation
5. Pure hardware design, high-speed, high noise immunity
6. Speed regulation: external potentiometer adjust, 0-5V analog voltage , PWM speed control (MACH3 control)
7. F/R(forward / reverse control) Rotation, soft shift function
8. Over current, short circuit protection (red LED indicator)
9. EN(enable control) function

DC + DC-	DC voltage input DC12-52V
U V W	motor phase
HALL +	Hall positive power supply
HALL-	Hall negative power
HA HB HC	Hall signal line
+5 V	+5 V power supply control signal
VR	speed control signal input terminal
GND	common control signal power ground
F / R	forward / reverse control signal terminal
PWM	PWM frequency (MACH3)
EN	Enable control input



Function description:

Speed regulation choice

- 1, Potentiometer speed regulation: You can control speed directly through potentiometer.
- 2, Analog control: VR connect to voltage signal input. GND connect to ground (voltage range of 0-5V) (Notice. When you use external PWM signal speed control, you must be remove the potentiometer control. Otherwise, it will not working)
3. PWM signal control: you can input an external PWM signal to speed control. it requires external PWM: level 3.5-12V VPP, frequency 1K-10KHZ, which suitable for MACH3 spindle speed control.(Notice: external PWM signal control necessary to remove the potentiometer , or it can not control).

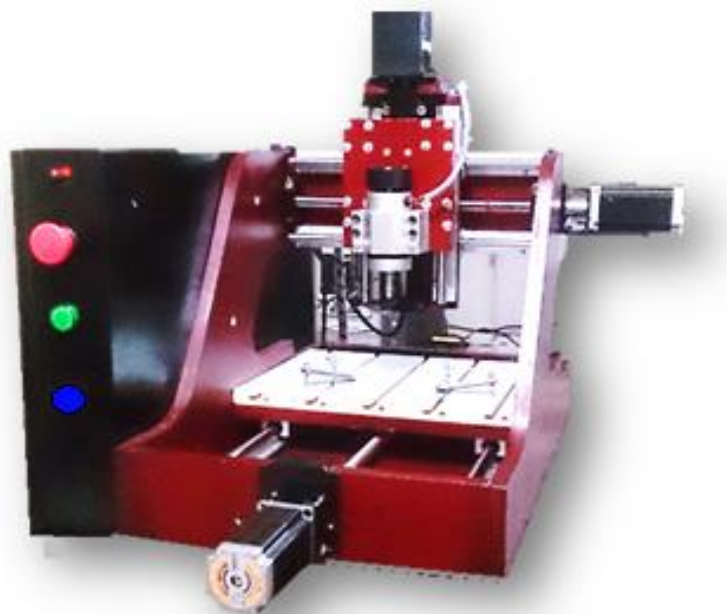
Motor Run/Stop (ENBL) : EN terminal is applied to control motor Run / Stop. Motor is running When EN is floating. Motor stop running when EN connect to GND terminal.

Motor forward / reverse control (F / R) : F/R terminal is applied to control motor rotate direction. Motor run clockwise when F/R is connecting +5V, otherwise motor will reverse.

ANEXO 2: MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO

MÁQUINA CNC DE TRES EJES PARA EL GRABADO DE PLACAS

MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO



2015

INTRODUCCIÓN:

El siguiente documento da a conocer al usuario u operador, la manera más adecuado y rápida, del uso y funcionamiento de la máquina CNC de tres ejes. Aquí encontraremos una guía generalizada de los procedimientos a seguir para determinar los parámetros básicos y principales que se deben tomar en cuenta, para no tener errores en el trabajo de grabado y la utilización de la máquina de control numérico.

Se debe tener en cuenta las recomendaciones descritas en este documento, para el manejo adecuado de esta máquina, debido a que puede haber variación en el funcionamiento de la misma, por las diferentes configuraciones de los dispositivos de control que existen y se encuentran instalados.

Nota: Por favor leer atentamente y mantener guardado este documento para volver a revisarlo nuevamente según sea necesario.

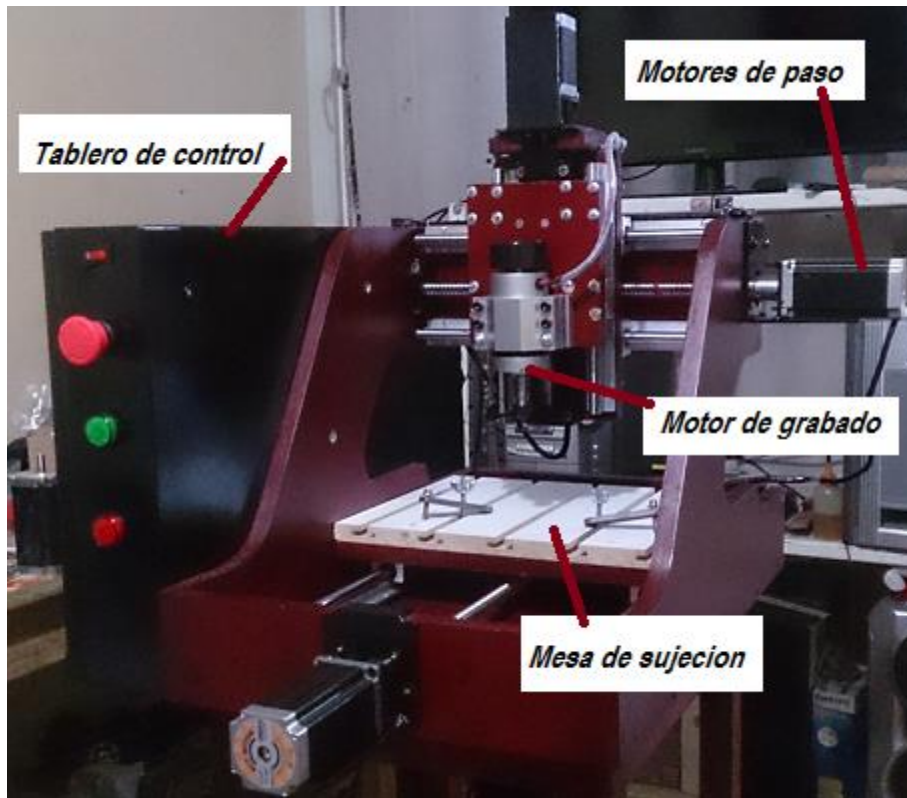
Una máquina herramienta por control numérico, tiene la capacidad de realizar operaciones en tres dimensiones o en el sentido de los tres ejes coordenados para fresar o manufacturar una pieza, de acuerdo al diseño realizado por computadora. La misma que se compone de motores eléctricos de gran fuerza de torsión y elementos mecánicos de transmisión de movimiento para el desplazamiento de cada eje, los cuales son controlados electrónicamente por un ordenador y los dispositivos de control.

La utilización de esta máquina se relaciona directamente con el objetivo de realizar grabados en materiales blandos y sobre todo en placas conmemorativas, gracias al uso, diseño y control total por software. La utilización de los tres ejes de movimiento (X, Y, Z) de la máquina CNC (Control Numérico Computarizado), nos permiten obtener muchos diseños de grabado de buena calidad y a una velocidad moderada.

CONDICIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO:

- **Ambiente de trabajo:**
Entorno y lugar amplio sin altas temperaturas y sin humedad.
- **Conexión y alimentación eléctrica:**
La alimentación eléctrica debe ser estable y provenir de una instalación en buen estado, la cual debe brindar 110VAC para el funcionamiento general de la máquina y el gabinete de control.
- **Ubicación:**
La máquina debe estar en un lugar fijo y sobre una base estable sin movimientos de cualquier tipo de magnitud para su mejor desempeño. Se recomienda la amplitud de espacio con libre acceso de aire alrededor de la misma y sin estar en contacto con otros elementos eléctricos, tóxicos o químicos.
- **Interfaz:**
La máquina cuenta con una interfaz y conexión vía USB con el ordenador, por tal razón no deben haber aparatos que emitan campos magnéticos o de alta frecuencia que intervengan con una buena conexión y tener en cuenta el espacio para su comunicación máxima a dos metros de longitud.
- **Herramientas e implementos:**
Los elementos como cables de conexión, brocas o fresas, herramientas de ajuste, etc. Deben mantenerse en buenas condiciones y permanezcan de manera adecuada conectados entre la máquina y tablero de control

GENERALIDADES DE LA MÁQUINA:



El funcionamiento general que tiene la máquina CNC de tres ejes para el grabado de placas, empieza por la conexión de alimentación eléctrica (cable - enchufe 110VAC) para energizar toda la máquina. En seguida optamos por iniciar los respectivos programas de diseño y control, dependiendo del trabajo o función que deseamos realizar, para continuar con el encendido y puesta en marcha de la máquina.

El proceso general que se debe tener para realizar grabados en dicha máquina es por empezar creando un diseño y obtener un archivo en "código G", el cual va a ser interpretado o abierto por el software de control "Mach3" para el control y funcionamiento de la máquina.

Nota: Es obligación del usuario iniciar primero el software de control "Mach3" y después encender la máquina CNC, para un uso adecuado de la máquina y garantizar la seguridad del mismo.

ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA:

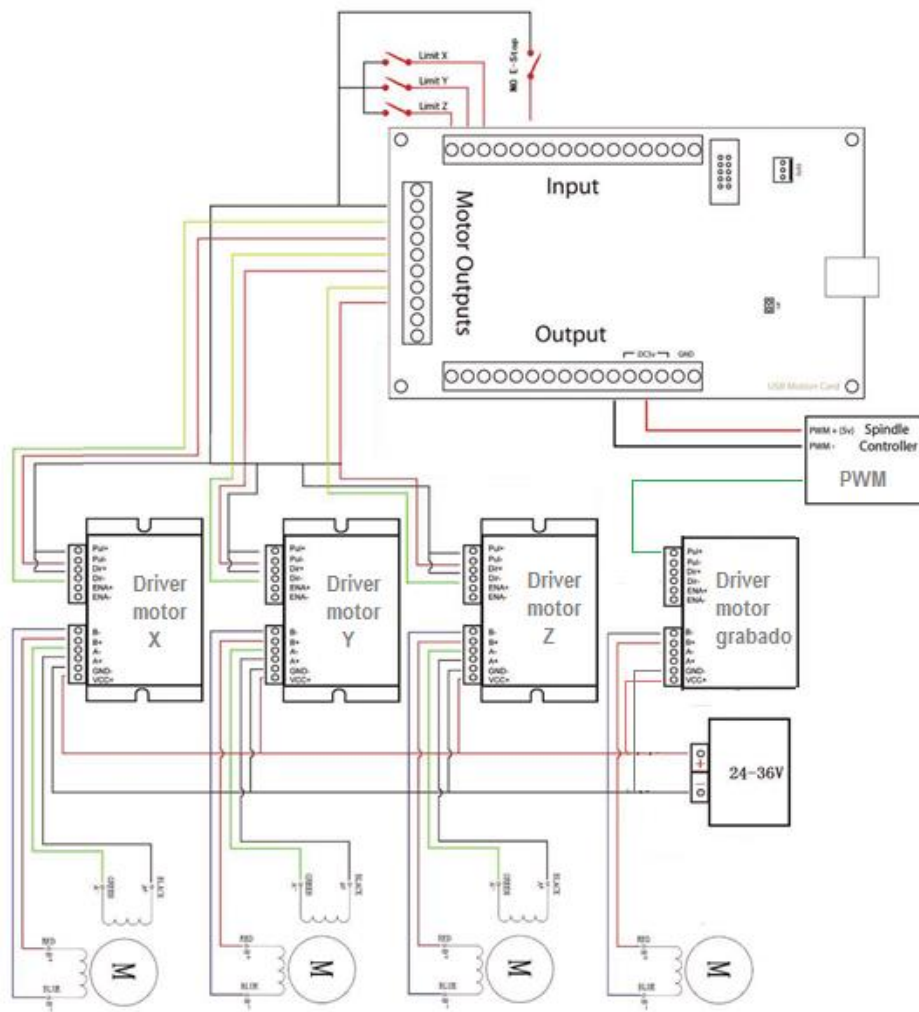
El funcionamiento general de la máquina CNC, es decir la alimentación de los motores, controladores y tarjeta de control de la misma, funcionan a una tensión de (corriente continua). Dicha alimentación es generada por las fuentes DC que entregan un voltaje de 36VDC, la instalación eléctrica de la máquina en general es conectada a la toma de corriente alterna de 110VAC, para energizar a las dichas fuentes DC.



TABLERO DE CONTROL:

El tablero de control contiene todos los elementos eléctricos y de control de la máquina CNC, cumple la función de mantener protegido cada uno de las conexiones entre los elementos eléctricos que brindan el funcionamiento de esta máquina.

Un gabinete eléctrico contiene interruptores, indicadores y conectores para el encendido y correcto funcionamiento de todo el sistema eléctrico y mecánico para realizar el grabado. A continuación, presentamos un ejemplo similar del esquema eléctrico implementado en el tablero de control, nombrando cada uno de los elementos que los elementos principales que lo constituyen.



En el esquema o bosquejo anterior presentado, el cual se encuentra armado e instalado dentro del gabinete eléctrico de la máquina CNC de tres ejes, se encuentra conformado por los siguientes elementos encargados de generar el movimiento de la transmisión lineal y de potencia que realiza la máquina.

Por medio de una adecuada conexión, protección y funcionamiento de los múltiples elementos utilizados para poner en marcha la máquina, se puede realizar de una manera segura la función principal de grabar, mediante el diseño creado desde un ordenador y la interfaz USB con la máquina.



Los elementos que podemos observar a simple vista dentro del tablero de control son:

- a) Tarjeta de control
- b) Paro de emergencia
- c) Controladores para los motores
- d) Fuentes de alimentación DC

Todo lo descrito con anterioridad está estructurado dentro del gabinete eléctrico y de control. También contamos con algunos periféricos, que se encuentran ubicados en el exterior del gabinete.

En la siguiente imagen mostramos el gabinete con sus respectivas funciones:



- 1) Interruptor de encendido
- 2) Parada de emergencia
- 3) Indicador (Verde), “Máquina en marcha”
- 4) Indicador (Azul), “Modo manual”
- 5) Conector para el motor del eje X
- 6) Conector para el motor del eje Y
- 7) Conector para el motor del eje Z
- 8) Puerto USB, para la comunicación con el ordenador
- 9) Conector, para alimentación eléctrica (110VAC)

DESCRIPCIÓN DE LAS FUNCIONES DE CONTROL Y ELEMENTOS DE CONEXIÓN

- **INTERRUPTOR (ON / OFF)**

Es el interruptor que permite el encendido y apagado de la máquina en general



- **BOTÓN DE PARO DE EMERGENCIA**

Permite el paro total de la máquina, siempre y cuando se presente una urgencia o emergencia de fuerza mayor, la cual brinda total seguridad en el manejo y funcionamiento de la máquina.



- **INDICADOR LUMINOSO AZUL**

Una vez encendida la máquina, el indicador azul determina que la misma no está trabajando ni operando, entrando en modo “manual”, para el desplazamiento de los ejes, cambio de herramienta, mantenimiento, etc.



- **INDICADOR LUMINOSO VERDE**

Una vez encendida la máquina, el indicador verde se enciende cuando la máquina está realizando algún tipo de grabado.



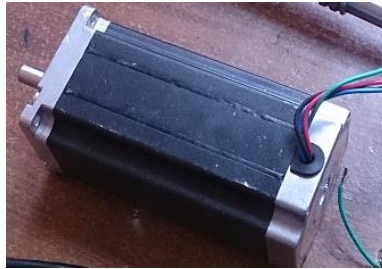
- **CONECTORES DE LOS MOTORES DE PASO**

Estos conectores enlazan los motores de pasos de los tres ejes, con los respectivos drivers de los mismos, para su funcionamiento y control.



- **MOTORES DE PASOS**

Son los que generan y brindan el movimiento giratorio a los mecanismos de la máquina CNC, dichos mecanismo se encargan de transformar el movimiento circular en movimiento lineal, para realizar el traslado de cada uno de los tres ejes coordinados (X, Y, Z).



- **FINALES DE CARRERA**

Tienen la función de limitar el desplazamiento o recorrido que realiza cada una de las bases de los tres ejes.

Los finales de carrera son interruptores mecánicos normalmente abiertos, los cuales al primer contacto, mandan un pulso directamente a la tarjeta principal de control. De esta manera el pulso determina el límite que tiene que recorrer cada uno de los tres ejes, ya sea en sentido positivo o negativo.



- **MOTOR DE GRABADO**

Es un motor de altas revoluciones, 13000 rpm específicamente. El cual permite grabar sobre materiales blandos o de baja resistencia como es el aluminio, brindando un buen acabado y alto desempeño en el mismo.

Dicho motor funciona y se alimenta mediante una fuente de voltaje de corriente continua independiente, para un mejor rendimiento sin recalentamientos.



- **FRESA O HERRAMIENTA DE CORTE**

Son herramientas de corte seleccionadas para el trabajo que realiza la máquina CNC, con varias características. Vale recalcar que el vástago de la herramienta debe ser de 3 milímetros, debido a que el motor de grabado consta de una rosca de ajuste del mismo diámetro. De esta manera podremos estar seguros y mantener un buen acabado en el trabajo realizado.



- **CABLE USB CON SOPORTES MAGNÉTICOS**



Este cable USB, nos sirve para la comunicación entre el gabinete o interfaz de control de la máquina CNC y el ordenador, el cual contiene en los dos extremos del cable, unos soportes magnéticos para no exista ninguna interferencia externa o corriente parasita y afecta al funcionamiento de la máquina CNC.

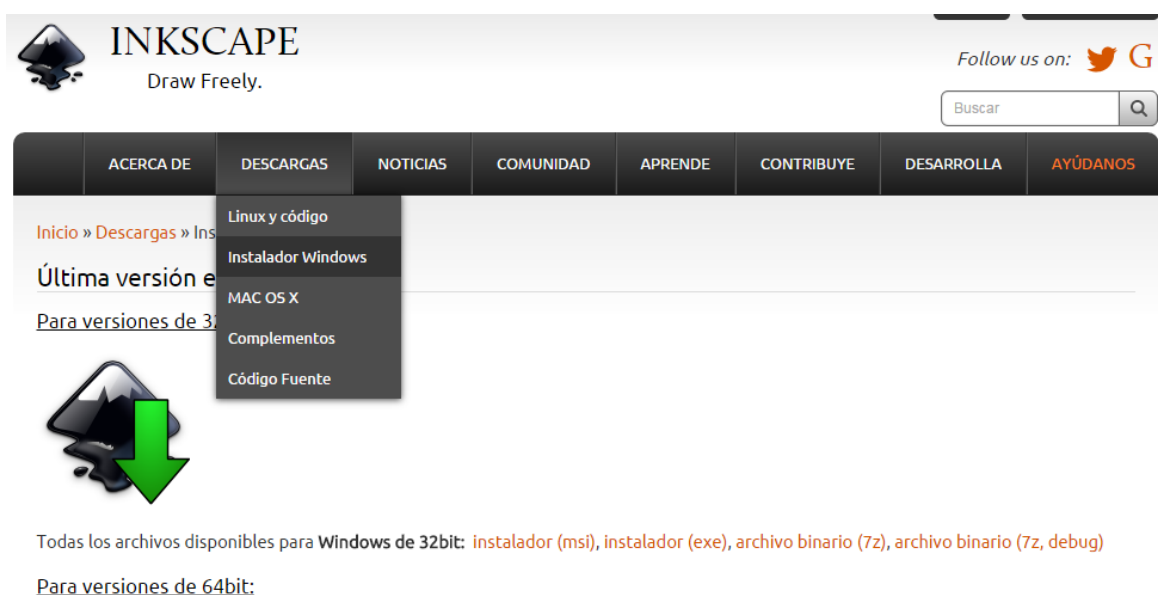
SOFTWARE DE DISEÑO Y CONTROL PARA LA MÁQUINA CNC

- **INKSCAPE SOFTWARE DE DISEÑO PARA EL GRABADO**






Inkscape es un editor de gráficos vectoriales de código abierto, con varias funciones de alto nivel para la creación de diseños, imágenes, ilustraciones y sobre todo archivos en código G, que es lo más importante y conveniente para el grabado de las placas por medio de la máquina CNC de tres ejes.

Dicho software “Inkscape” puede ser descargado gratuitamente con la última versión desde su página oficial (<http://www.inkscape.org/download/?lang=es>). Al acceder a la página de descarga, encontraremos los instaladores del software para varias plataformas o sistemas operativos. Nosotros elegiremos el instalador correspondiente al sistema de nuestro ordenador.



INKSCAPE
Draw Freely.

Follow us on:  

Buscar 

ACERCA DE DESCARGAS NOTICIAS COMUNIDAD APRENDE CONTRIBUYE DESARROLLA AYÚDANOS

Inicio » Descargas » Ins
Última versión e
Para versiones de 32
Linux y código
Instalador Windows
MAC OS X
Complementos
Código Fuente

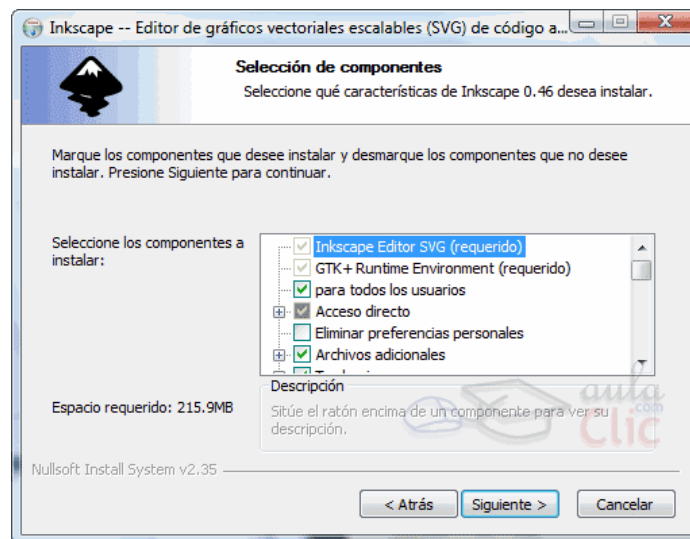
Todas los archivos disponibles para Windows de 32bit: [instalador \(msi\)](#), [instalador \(exe\)](#), [archivo binario \(7z\)](#), [archivo binario \(7z, debug\)](#)
Para versiones de 64bit:

- Instalación

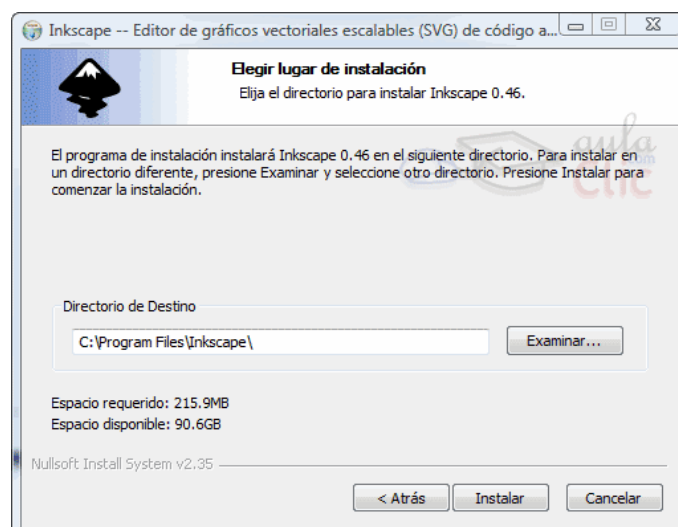
Una vez descargado y guardado el instalador o archivo, podemos comenzar con la instalación del programa, haciendo doble clic sobre el archivo ejecutable Inkscape.exe (el nombre variará si es otra versión).

Se iniciará el asistente de instalación. En las primeras ventanas, solo tendremos que aceptar las condiciones de uso, pulsando en “siguiente”.

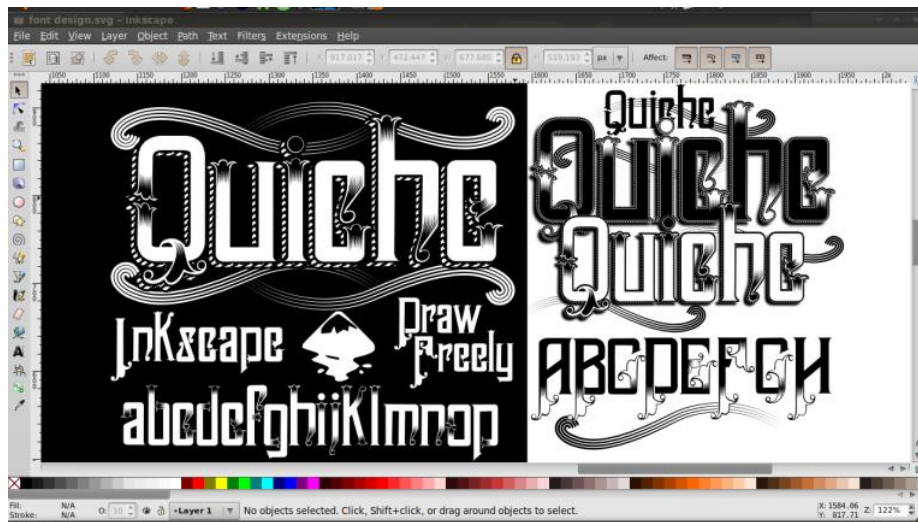
En la tercera pantalla nos preguntará que componentes deseamos instalar. Dejamos las opciones por defecto y pulsamos en “siguiente”.



En la última ventana se puede elegir dónde instalar el programa, o por defecto en C:/Archivos de programa/Inkscape.



Pulsamos en “Instalar” para finalizar el proceso de instalación. Se recomienda reiniciar el ordenador para que se efectúe dicha ejecución. Después de haberlo instalado en nuestro ordenador podemos iniciarlo para continuar a realizar nuestros diferentes diseños, ya que este software contiene grandes entornos de edición de imágenes y transformarlas en “código G”.



- **MACH3 SOFTWARE DE INTERFAZ Y CONTROL CNC**



Mach3 o software de control CNC, tiene con funcionalidad controlar sistemas o máquinas de control numérico por medio de un ordenador. El cual fue diseñado para la fácil utilización de servicios como el control de los motores de desplazamiento, interpretación de archivos en “código G”, configuración de controladores numéricos y una rápida interfaz entre la máquina y el ordenador.

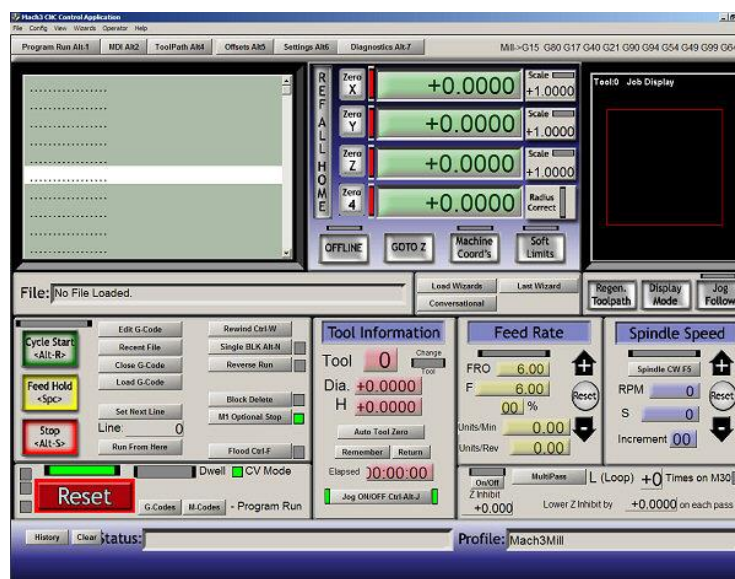
- Instalación

Mach3 es distribuido por ArtSoft Corp. por Internet. Usted descarga el paquete como un archivo autoinstalable. Este se ejecuta por un período ilimitado como una versión de demostración con unas cuantas limitaciones en la velocidad, el tamaño de trabajo que puede encarar y características especiales soportadas. Cuando compra una licencia puede "desbloquear" la versión de demostración que usted ha instalado y configurado. Los detalles completos de precios y opciones están en el sitio Web de ArtSoft (www.artofcnc.ca).

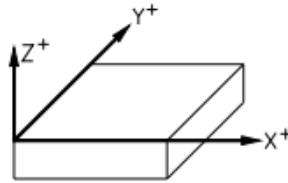
No necesita conectar una máquina-herramienta todavía. Si usted está empezando con esto, podría ser mejor no tener una conectada. Anote donde el cable o los cables de la máquina-herramienta deben ser conectados en su pc.

Cuando ejecute el archivo descargado será guiado a través de los pasos de instalación usuales para Windows tales como: aceptación de las condiciones de la licencia, escoger la carpeta en donde se instalará Mach3. En la ventana de diálogo de finalización de la instalación debería asegurarse que las casillas de verificación "Load Mach3 Driver" e "Install English Wizards" estén tildadas para luego hacer clic en Finalizar. Ahora se le avisará que deberá reiniciar la PC antes de ejecutar cualquier programa de Mach3.

Al abrir el programa estaremos listos para realizar los ajustes y calibraciones de la máquina y así realizar los trabajos de grabado que deseemos.

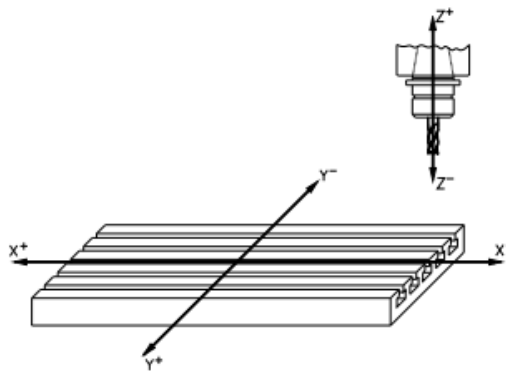


EJES Y DESPLAZAMIENTO DE LA MÁQUINA CNC



El movimiento de los tres ejes (X, Y, Z) determinan el grabado y mecanizado de la placa:

- Eje X: Movimiento longitudinal de la herramienta en sentido (horizontal)
- Eje Y: Movimiento transversal de la mesa en sentido (horizontal)
- Eje Z: Movimiento perpendicular de la herramienta en sentido (vertical)



LISTA DE COMPROBACIÓN O “CHECKLIST” DE ENCENDIDO

A continuación se muestra un listado o procedimiento que se debe seguir para el correcto encendido y puesta en marcha de la máquina CNC, evitando cualquier tipo de inconveniente:

1. Enchufar a la toma (110VAC) el cable de alimentación de la máquina
2. Conectar el cable USB entre la máquina y el computador
3. Iniciar el software “MACH3” para el control de la máquina
4. Encender la máquina por medio del interruptor
5. Desplazar o posicionar los ejes
6. Abrir el archivo de “código g” para el grabado

CERO MÁQUINA Y CERO PIEZA

- **CERO MÁQUINA:**

Es la referencia pre establecida por el fabricante, dicha coordenada determina el punto de origen de los ejes de la máquina.

Ubicación del cero máquina:

El cero máquina está configurada para tener acceso directo a la placa (ubicar y retirar), al momento de presionar “referencia de la máquina” en el software de control “Mach3”, posiciona la mesa de trabajo hacia afuera y el eje “Z+” en el límite superior.

- **CERO PIEZA:**

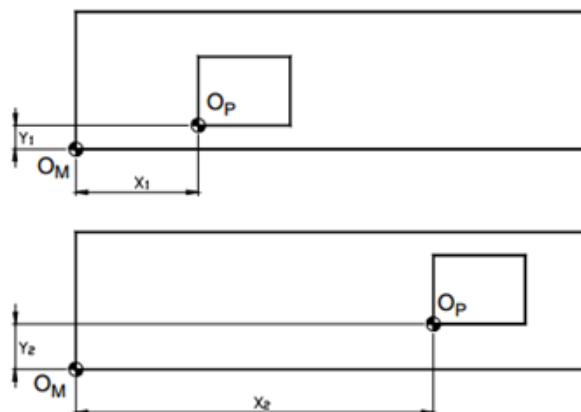
Son las coordenadas elegidas por el operador y punto de origen de la pieza.

Selección del cero pieza:

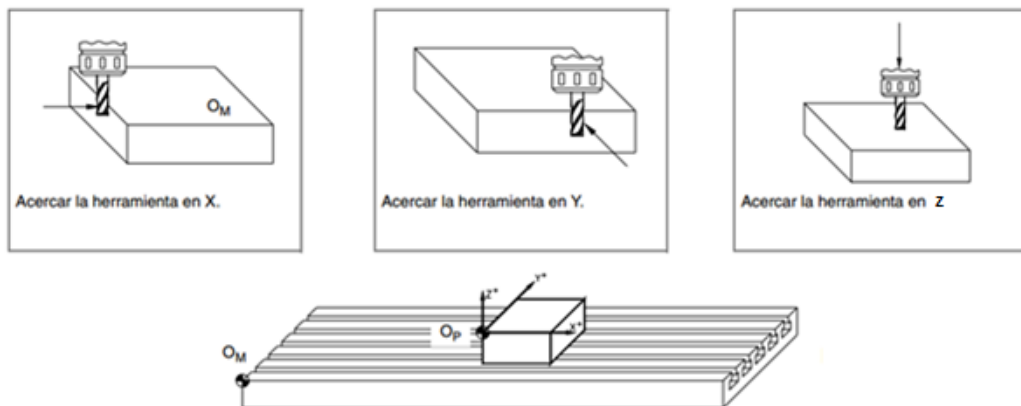
Este punto se lo encuentra posicionando los tres ejes (X, Y, Z) de la máquina, dependiendo de la forma y ubicación de la placa.

Ubicación del cero pieza:

Generalmente si la placa es rectangular el origen se posiciona en una esquina y en otro caso si la placa es redonda, se recomienda ubicar el cero pieza en el centro de la misma. A continuación se sugiere seguir estos pasos para determinar el cero pieza



1. Ubicar y ajustar la placa en una zona adecuada de la mesa de trabajo
2. Ubicar la fresa, tomando en cuenta el largo del vástago (longitud)
3. Tener cuidado con las bridas de ajuste, para que no impacte con la fresa
4. Desplazar los ejes (X,Y) al punto de origen, con respecto al área de grabado
5. Posicionar el eje Z hasta tocar la superficie de la placa, para precisar el origen de profundidad de grabado.



DIMENSIONES Y ÁREA DE TRABAJO DE LA MÁQUINA

- a. Dimensiones de la máquina
 - 60 cm de altura
 - 40 cm de ancho
 - 60 cm de profundidad
- b. Área de trabajo
 - 210 mm en el eje X (ancho)
 - 240 mm en el eje Y (largo)
 - 150 mm en el eje Z (altura)
- c. Recorrido máximo de cada eje
 - 310 mm de recorrido en el eje X
 - 440 mm de recorrido en el eje Y
 - 230 mm de recorrido en el eje Z

MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA CNC

Cabe recalcar que el tiempo de funcionamiento de la máquina CNC o el tiempo máximo que la maquina debe estar encendida es de una hora con treinta minutos (90 min), los cuales garantizan y mantienen una vida útil más alargada. Esto se debe a que los motores se sobrecalientan por los picos elevados de corriente y necesitan reposo de un tiempo mínimo de una hora (60 min).

Recomendaciones principales:

- a) Se recomienda la constante limpieza y adecuada lubricación de los mecanismos que contiene la maquina CNC. Ya que estos realizan la transmisión de movimiento y desplazamiento de cada uno de los tres ejes.
- b) El diseño de las bridas o garras de ajuste que lleva la mesa de trabajo de la máquina, sostienen la placa sin dañarla ni deformarla, de esta manera se recomienda ubicarlas fuera del área de grabado para no sufrir impactos.
- c) En el instante de realizar grabados sobre aluminio, es favorable la utilización de refrigerante, ya sea en pomada o aerosol. Este elemento cuida y alarga la vida útil de la herramienta de corte o fresa, inclusive mejora y ayuda a dar un buen acabado a las placas.
- d) Tener en cuenta el tamaño de la placa y el área que ocupa el diseño, al momento de realizar algún tipo de grabado con respecto a los límites máximos del área de trabajo.
- e) Se sugiere cierta precaución al instante de posicionar la herramienta de corte al cero pieza, ya que se corre el riesgo de dañar la fresa o la placa a ser mecanizada.

La máquina CNC de tres ejes está compuesta por elementos mecánicos y eléctricos que determinan su correcto funcionamiento, de tal manera que se debe buscar la manera de conservarlos o mantenerlos en buen estado.

Por tal razón se debe seguir un proceso de mantenimiento para alargar la vida útil de funcionamiento de los elementos mecánicos, por medio de la lubricación y de los componentes eléctricos como son los motores. A continuación se dará a conocer un programa de mantenimiento adecuado para la máquina con respecto al tiempo y uso de la misma.

- **PRINCIPALES TIPOS DE MANTENIMIENTO**

Mantenimiento Preventivo:

Este tipo de mantenimiento se encarga de prevenir fallas futuras en la máquina por medio de un programa, tabla o calendario correspondiente, evitando la pérdida de horas de trabajo y conservar la máquina en buen estado de funcionamiento.

Mantenimiento Correctivo:

Tiene por obligación corregir o reparar fallas menores en ese instante de tiempo, según la máquina lo requiera o se encuentre errores en su funcionamiento.

- **ELEMENTOS MECÁNICOS**

Guías Lineales:

Son guías o rieles utilizados para el desplazamiento eficaz sin efectos de fricción.



Tornillos de bolas:

Son actuadores mecánicos que transforman el movimiento giratorio en lineal, para el deslizamiento principal que realizan los tres ejes de la máquina.



- **LUBRICACIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS**

La lubricación sirve para proteger los elementos mecánicos de la máquina contra el desgaste, corrosión, oxidación y mejorar el funcionamiento de las mismas, de tal manera que para lubricar dichos elementos, lo podemos realizar utilizando aceites de alta viscosidad o grasas del tipo (NGLI).

Un proceso de mantenimiento preventivo es la lubricación, ya que requiere de un calendario o control de tiempo para volver a repetir dicho proceso de lubricación que requiere la máquina CNC.

- **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECÁNICO Y ELÉCTRICO**

Existen elementos principales a tomar en cuenta para el funcionamiento general de la máquina CNC y que necesitan de un chequeo previo para su mantenimiento. Estos elementos son mecánicos para el desplazamiento de los tres ejes y eléctricos como los motores o drivers para generar el movimiento.

Para realizar el mantenimiento preventivo debemos ubicar los tres ejes en posiciones medias, apagar y desconectar la máquina del puerto USB y de la toma de corriente alterna.

Frecuencia	Actividad	Detalle	Observación
Semanalmente	Limpieza de la estructura de la máquina CNC	Mantener limpia la estructura, libre de polvo o residuos	Limpiar con un paño poco húmedo
	Limpieza del área de trabajo	Quitar los residuos o rebaba del material desprendido	Limpiar por medio de una aspiradora o brocha seca
	Limpieza de los elementos mecánicos	Eliminar la rebaba, polvo y residuos de los elementos mecánicos	Limpiar con un paño seco, aplicando una pequeña cantidad de grasa
Mensualmente	Lubricación de los elementos mecánicos	Engrasar la superficie de trabajo de los mecanismos	Utilizando una espátula ubicar la grasa en las zonas de desplazamiento cada tres meses
	Limpieza del interior del tablero de control	Retirar el polvo excesivo sobre los elementos eléctricos	Con mucho cuidado utilizando una brocha y una aspiradora
	Ajuste y verificación de las instalaciones en el tablero de control	Tomar en cuenta cables sueltos o conexiones débiles	Utilizando herramientas para el ajuste de pernos y alicates

- **ACCIONES ÚTILES PARA FALLAS PRESENTES EN EL SISTEMA**

Problema	Posible causa	Solución
Recalentamiento de los motores de paso	La configuración de la corriente de los drivers está muy alta	Cambiar la configuración del interruptor de 8 posiciones de cada driver
Disminuir o aumentar la velocidad de los motores	Cambios en la configuración del software de control Mach3	Cambiar y verificar la configuración de los motores en el software
El motor de grabado no gira	Cambio brusco en la energía de encendido y apagado de la máquina	Reiniciar manualmente, apagando y encendiendo la máquina
La máquina y sus ejes se encuentran detenidos	Se activaron los límites de carrera de los tres ejes	Activar overRide limits en el software Mach3. Advertencia: Tener cuidado al desplazar los ejes limitados para no impactar la máquina.
	El botón de paro de emergencia está activado	Desactivar el paro de emergencia
	Botón de emergencia activado o error en el software de control Mach3	Verificar la falla por software y desactivar el botón de emergencia

ANEXO 3: PLANO ELÉCTRICO DE CONTROL

ANEXO 4: PLANOS MECÁNICOS

ANEXO 5: IMÁGENES DEL PROYECTO



