



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 PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO PARA
EL DESBASTE Y PERFORACIÓN”

AUTOR:

AYALA GORDILLO WILLIAM PATRICIO

DIRECTOR:

MSC. IVÁN IGLESIAS NAVARRO

Ibarra, 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL AUTOR	
CEDULA DE IDENTIDAD	100355005-8
APELLIDOS Y NOMBRES	Ayala Gordillo Willam Patricio
DIRECCIÓN	Caranqui 4 Esquinas (Jacinto Egas 14-37 y Río Cenepa)
E-MAIL	wpayalag@utn.edu.ec / williamsjesper.motosgp@gmail.com
TELÉFONO MÓVIL / FIJO	0994467050 / 062511658
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO PARA EL DESBASTE Y PERFORACIÓN
AUTOR	Ayala Gordillo William Patricio
FECHA	26/07/2016
PROGRAMA	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR / DIRECTOR	MSC. IVÁN IGLESIAS NAVARRO



2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se 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 18 días del mes de marzo de 2019

EL AUTOR:

(Firma)

Nombre: Willam Patricio Ayala Gordillo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DIRECTOR

Certifico que el trabajo de grado titulado “MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO PARA EL DESBASTE Y PERFORACIÓN”, ha sido desarrollado en su totalidad por el señor: Willam Patricio Ayala Gordillo portador de la cédula de identidad número: 100355005-8; previo a la obtención del título de Ingeniería en Mecatrónica.

.....
Msc. Iván Iglesias Navarro
DIRECTOR DE TEISIS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios a la Virgen María y a mis padres por estar conmigo siempre apoyándome en mis momentos más duros y felices de mi vida; Rosa Gordillo y Germán Ayala.

Segundo, pido gracias a mi Dios por cuidarme en las buenas y en las malas para seguir adelante, a mi abuelita María Isabel Bonilla por sus consejos, a mis hermanos Jenny, Edison, Freddy, Maribel y por último a una mujer muy especial que está dentro mi corazón Rosa Emperatriz Tito, que me apoyan moralmente que a pesar de todas las molestias causadas ellos me han ayudado de alguna forma sin pedir nada a cambio.

Tercero, agradezco a toda mi familia y a mis mejores amigos que siempre me han apoyado en mis ideales.

Cuarto, agradezco a mi Directo de Tesis Ing. Iván Iglesias, a mis opositores de tesis a los ingenieros Washington Mosquera, Carlos Villareal y Luz María Tobar y a todos mis maestros quienes supieron guiarme durante mi carrera con su experiencia.

Parte de esta obra les pertenece.

Willam A.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Primeramente, quiero dedicar este trabajo a mis padres que me dieron la vida y la oportunidad de dejar marcando una diferencia en este mundo.

Seguidamente dedico esto a las personas más allegadas que me han apoyado y me han brindado su amistad sincera, gracias a eso tuve muchas fuerzas para seguir adelante aun cuando me encontraba derrotado, por y para ellos es este logro.

William A.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es la facilidad de manejo del software con el hardware para crear placas de circuitos impresos en un menor tiempo.

El manejo de esta máquina es una CNC llamada control numérico computarizado en el cual se mueve los tres ejes X, Y, Z. El software que se utilizó es un software libre llamado Match 3 la cual es una interfaz con el hardware en este caso es una tarjeta CNC con puerto USB y una laptop, para el diseño del circuito se utilizó el *software* Eagle que es un software versión prueba. Se utilizan tres *softwares* libres para el código G llamados: Inkscape, Fabmodules y Carbide3d los cuales generan el código g para que la maquina interprete lo que va a realizar.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to present how software and hardware are management create printed circuit boards in as less time as possible.

The operation of a machine called CNC—computerized control number in which the three axes X, Y and Z move around. The software used is called Match 3, which works as an interface with the hardware, in this case the hardware is a CNC card with a USB port and a laptop. As per the circuit design, a trial version software called *Eagle software* was used. Additionally, three open software for code G called *Inkscape*, *Fabmodules* and *Carbide 3d* were used to generate the G code so that the CNC machine may interpret the operations to be performed.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	i
CONSTANCIAS	ii
CERTIFICACIÓN DIRECTOR	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
CAPITULO I	3
MARCO TEORICO	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Mecanizado	5
1.2.1 Mecanizado por arranque de viruta.....	6
1.3 Control numérico computarizado.....	7
1.3.1 Máquina CNC	7
1.3.2 Funcionamiento de una máquina CNC	8
1.3.3 Ejes principales de una CNC	9
1.3.4 Código G.....	9
1.4 Fresadoras	10
1.4.1 Fresadora CNC para circuitos impresos.....	10
1.4.2 Comparación de utilización entre máquinas convencionales y CNC	11
1.5 Herramientas de corte (fresas)	11
1.5.1 Fresas en V.....	11
1.6 Parámetros mecánicos.....	16

1.6.1	Factor de seguridad	16
1.6.2	Esfuerzo normal máximo	16
1.6.3	Esfuerzo máximo permisible	16
1.6.4	Momento flector máximo.....	16
1.7	Software	16
1.7.1	Software de control de la máquina.....	17
1.7.2	Software del diseño de circuitos	18
1.7.3	Software para el código G.....	20
1.7.4	Hardware para el control de la máquina	21
1.7.5	Hardware para controlador de motores	23
1.7.6	Hardware para el desplazamiento de elementos móviles.....	23
1.7.7	Motor para la fresadora CNC.....	24
1.8	Sistema electrónico	25
1.8.1	Sensores finales de carrera.....	25
1.9	Sistema de desplazamiento lineal	25
1.9.1	Varilla roscada o tornillo de bolas	25
1.9.2	Acople al eje del motor	26
CAPITULO II.....		27
INGENIERÍA DEL PROYECTO.....		27
2.1	Sistemas del prototipo.....	27
2.1.1	Selección de elementos mecánicos	27
2.1.2	Selección de elementos electrónicos.....	28
2.1.3	Selección de motores para elementos móviles.....	35
2.1.4	Elección del motor para la fresadora CNC	35
2.2	Elementos mecánicos.....	36
2.2.1	Elección de guías lineales de los ejes XYZ	36
2.2.2	Elección de varilla roscada o tornillo de bolas.....	36
2.2.3	Elección de rodamientos lineales de bolas.....	37
2.2.4	Sistema de acople al eje del motor.....	37

2.2.5	Elección del rodamiento.....	38
2.3	Diseño del sistema mecánico	38
2.3.1	Dimensiones para el desplazamiento y área de trabajo.....	38
2.3.2	Cálculo de los parámetros para el grabado	39
2.3.3	Cálculos y montaje de los tres ejes	43
2.3.4	Desplazamiento de los ejes por guías lineales	47
2.3.5	Transmisión de movimiento por una varilla roscada	53
2.3.6	Vida útil nominal del tornillo sin fin.....	54
2.3.7	Velocidad crítica	54
2.3.8	Torque requerido para el motor a pasos.....	55
2.3.9	Potencia del motor a fresar.....	55
2.3.10	Velocidad de trabajo para el fresado.....	56
2.4	Diseño del sistema de control	57
2.4.1	Modelado matemático de la máquina CNC	57
2.5	Procesos de construcción	65
2.5.1	Diagramas de procesos.....	66
CAPITULO III.....		67
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS		67
3.1	Ensamblaje.....	67
3.1.1	Simulación de la estructura	67
3.1.2	Máquina armada.....	70
3.2	Pruebas de funcionamiento	71
3.2.1	Baquelita	71
3.3	Presupuesto de inversión.....	73
3.3.1	Materiales directos	73
3.3.2	Materiales indirectos	75
3.3.3	Mano de obra directa.....	75
3.3.4	Gastos generales de fabricación / mano de obra indirecta	76
3.3.5	Costo total	77

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	85
Anexo1 Catálogos.....	85
Anexo 2 Código G.....	108
Anexo 3 Definición de términos.....	110
Anexo 4 Planos	112
Anexo5 Manual de usuario.....	113
Anexo6 Anexos del proyecto.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre máquinas convencionales y máquinas CNC	11
Tabla 2. Elección del software del control de la máquina	29
Tabla 3. Elección del software del diseño del circuito	30
Tabla 4. Elección del software para el código G	31
Tabla 5. Elección del hardware del control de la máquina	31
Tabla 6. Elección del hardware para el controlador de motores	32
Tabla 7. Elección del hardware de desplazamiento para elementos móviles	35
Tabla 8. Elección del motor para la fresadora CNC	35
Tabla 9. Cantidad máxima de viruta admisible.	43
Tabla 10. Prueba 1 grabado de un circuito	71
Tabla 11. Corte del marco del circuito	72
Tabla 12. Grabado, perforación y corte	73
Tabla 13. Materiales directos	74
Tabla 14. Materiales indirectos	75
Tabla 15. Mano de obra directa	76
Tabla 16. Mano de obra indirecta	76
Tabla 17. Costo total	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mecanizado por arranque de viruta.	6
Figura 2. Fresado.	7
Figura 3. CNC para PCB	8
Figura 4. Ejes principales de una CNC.....	9
Figura 5. Fresadora CNC	10
Figura 6. Fresa en V.....	12
Figura 7. Fresa Frontal.....	12
Figura 8. Velocidad de avance de la fresadora	13
Figura 9. Profundidad de corte	15
Figura 10. Fresas para perforación y desbaste para las PCB	28
Figura 11. Fuente de poder de 36 voltios y 10 amperes	33
Figura 12. Final de Carrera.....	34
Figura 13. Interruptor general y paro de emergencia.....	34
Figura 14. Eje acero de plata	36
Figura 15. Eje de acero roscado de 4 hilos	37
Figura 16. Rodamiento Lineal de Bola	37
Figura 17. Sistema de acople al eje del motor	38
Figura 18. Rodamiento de bolas	38
Figura 19. Datos del fabricante de una fresa CNC	39
Figura 20. Profundidad y ancho de corte.....	41
Figura 21. Diagrama para encontrar el esfuerzo específico de corte K_c	41
Figura 22. Eje Z.....	44
Figura 23. Eje X.....	45
Figura 24. Eje Y.....	46
Figura 25. Parámetros para los puntos de apoyo del eje Z.	47
Figura 26. Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector para el eje Z.	48
Figura 27. Parámetros para los puntos de apoyo del eje X.	49
Figura 28. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores del eje X.	50
Figura 29. Parámetros para los puntos de apoyo del eje Y.	51
Figura 30. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores del eje Y.	52
Figura 31. Trasmisión de movimiento por una varilla roscada o tornillo sin fin.....	54
Figura 32. Mecanismo de desplazamiento de un eje	57
Figura 33. Diagrama electromecánico de un motor DC	58
Figura 34. Diagrama de Bloques Corriente del Motor DC Simulink-Matlab.....	59
Figura 35. Diagrama de Bloques Torque del Motor DC Simulink-Matlab	59

Figura 36. Diagrama de Bloques Velocidad del Motor DC Simulink-Matlab	59
Figura 37. Sistema de rotación (motor)-traslación (tornillo sin fin)	61
Figura 38. Desplazamiento de la tuerca	62
Figura 39. Diagrama de bloques Simulink-Matlab del sistema general	63
Figura 40. Diagrama de Bloques de la Corriente del motor DC	64
Figura 41. Corriente del motor de 2.9 amperios	64
Figura 42. Diagrama de Bloques Torque del Motor DC	65
Figura 43. Torque del Motor 1.9Nm	65
Figura 44. Diagrama de flujo	66
Figura 45. Estudio en SolidWorks, sujeción geométrica fija	67
Figura 46. Aplicación de la fuerza al cabezal	68
Figura 47. Creación del mallado	69
Figura 48. Tensión de Von Mises	69
Figura 49. Factor de seguridad	70
Figura 50. Máquina completamente armada	70
Figura 51. Gradado de un circuito	71
Figura 52. Corte del marco del circuito	72
Figura 53. Grabado, perforación y corte	73
Figura 54. Máquina armada	113
Figura 55. Partes de la máquina CNC	114
Figura 56. Otros elementos de la máquina CNC	115
Figura 57. Cable y conectores de consola	115
Figura 58. Sensores límites de carrera en el eje	116
Figura 59. Reset	116
Figura 60. Configuración de unidades	117
Figura 61. Unidades en mm	117
Figura 62. Puerto y pines	117
Figura 63. Ajustes de motor	117
Figura 64. Configuración de los ejes	118
Figura 65. Configuración de pasos por unidad.	118
Figura 66. Configuración de cada eje XYZ	118
Figura 67. Dato de la configuración de los ejes	118
Figura 68. Cargar código G	119
Figura 69. Cero pieza	119
Figura 70. Encender el husillo de la fresa	119
Figura 71. Ingrese la velocidad máxima de la fresa	119
Figura 72. Inicio de la máquina	120

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Velocidad de avance.....	12
Ecuación 2. Avance por diente	13
Ecuación 3. Velocidad del husillo	13
Ecuación 4. Velocidad de corte	14
Ecuación 5. Profundidad de corte	14
Ecuación 6. Par	15
Ecuación 7. Fuerza de corte especifica	15
Ecuación 8. Factor de seguridad	16
Ecuación 9. Esfuerzo máximo permisible	16
Ecuación 10. Fuerza cortante.....	40
Ecuación 11. Cálculo del espesor de la viruta	40
Ecuación 12. Avance por revolución.....	42
Ecuación 13. Área de corte	42
Ecuación 14. Potencia de corte	43
Ecuación 15. Sumatoria de fuerzas del eje Z.....	44
Ecuación 16. Peso total del eje Z.....	44
Ecuación 17. Sumatoria de fuerzas del eje X	45
Ecuación 18. Peso total del eje X.....	45
Ecuación 19. Sumatoria de fuerzas del eje Y	46
Ecuación 20. Peso total del eje Y.....	46
Ecuación 21. Cálculos de carga del eje Z	47
Ecuación 22. Cálculos de carga del eje X.....	49
Ecuación 23. Cálculos de carga del eje Y.....	51
Ecuación 24. Vida útil del tornillo.....	54
Ecuación 25. Velocidad critica del tornillo.....	55
Ecuación 26. Torque requerido para el motor a pasos.....	55
Ecuación 27. Potencia del motor a fresar.....	56
Ecuación 28. Velocidad de trabajo para el fresado	56
Ecuación 29. Torque de un motor DC	58
Ecuación 30. Circuito interno de un motor DC	58
Ecuación 31. Modelo matemático del eje mecánico del motor DC.....	59
Ecuación 32. Función de Trasferencia para la Corriente del Motor DC.....	59
Ecuación 33. Función de Transferencia Torque del Motor DC.....	59
Ecuación 34. Función de Transferencia Velocidad del Motor DC	59
Ecuación 35. Constante par torsional.....	60

Ecuación 36. Torque para un sistema giratorio	61
Ecuación 37. Inercia de un sistema giratorio	61
Ecuación 38. Fricción de viscosidad para un sistema rotacional	61
Ecuación 39. Potencia del motor	63
Ecuación 40. Velocidad angular del motor	63

INTRODUCCIÓN

Tema

Máquina para la fabricación de placas de circuito impreso para el desbaste y perforación.

Formulación del problema

La ciencia y tecnología han avanzado hasta el punto de poder llegar a construir máquinas completamente automáticas al reemplazar ciertas prácticas manuales por dispositivos electrónicos y mecánicos, de tal manera que ahorran mucho trabajo, recursos y tiempo a los seres humanos [1]. Sin embargo, el desarrollo tecnológico en nuestro país aún tiene limitaciones para poder competir de una manera óptima en el mercado internacional.

En la trayectoria de nuestra carrera, elaboramos circuitos impresos plasmando en la placa el diseño mediante fuentes de calor y obteniendo su trazado por medio de la utilización de ácidos, los cuales pueden causar quemaduras e intoxicaciones a parte de otros daños a la salud si no se manipulan con el debido cuidado. La elaboración de esta máquina CNC, ayudaría a los estudiantes a eliminar este método manual ya que no se puede almacenar este ácido se desecha en la alcantarilla o en el patio y esto provoca la contaminación al medio ambiente. El avance tecnológico nos facilita mucho los procesos de fabricación, de tal manera que se puede desarrollar con mayor rapidez, eficacia y disminuyendo costos y tiempo, en comparación con métodos manuales.

El principal problema es tener una máquina CNC para circuitos impresos PCB, el costo de las máquinas en tiendas online abarca desde 1500 en adelante, además, el costo de exportación aumentaría elevando el precio de esta máquina. Otro problema sería, no todos los que se dediquen hacer circuitos impresos en pequeñas empresas y los estudiantes que estudian ingeniería enfocados a la electrónica o aficionados, la solución que propongo es hacer una CNC para la fabricación de circuitos impresos y abaratar costos para la fabricación de una máquina CNC.

Las CNC existentes en el mercado están hechas para una dimensión menor al tamaño más grande de la baquelita, la diferencia de la máquina que se va a realizar está enfocado al tamaño más grande de la placa, su tamaño es 20x30cm área de trabajo.

Los trabajos que realizaría en la máquina serían: principalmente fabricación de circuitos impresos en el material (baquelita) y segundo como opcional grabado de placas conmemorativas en los siguientes materiales: madera, MDF, acrílico y aluminio, lo que conlleva para cada material tiene su fresa, se planteó los siguientes objetivos.

Objetivos

General

Diseñar y construir una máquina para la fabricación de placas de circuito impreso para el desbaste y perforación.

Para dar a este objetivo general se propusieron con los siguientes objetivos específicos

Específicos

- Determinar requerimientos de diseño en función del estado del arte.
- Diseñar sistema mecánico de la máquina.
- Diseñar el sistema de control de la máquina.
- Ensamblar la máquina CNC integrando los elementos de software y hardware diseñados previamente.
- Validar el funcionamiento de la máquina.

Justificación

El desarrollo de máquinas CNC es muy importante, porque por medio de estas se puede automatizar un proceso haciéndolo más eficiente y rentable. Como hemos podido notar las maquinas CNC son muy costosas porque realizan trabajos de alta precisión en 2D y 3D en diversos materiales; por tales motivos lo que pretendemos lograr es construir una máquina que realice funciones similares y de precisión orientadas a la fabricación de PCBs; pero que tenga un costo menor y que incluya el software especializado de control, la implementación de sus componentes y los diferentes métodos que existen a la hora de su elaboración. En la actualidad, la mecanización de un circuito impreso en la industria es de montaje superficial, requiere de precisión y se realiza en un menor tiempo. Una máquina con las características antes mencionadas es de costo muy elevado. Esta máquina va incrementando su precio por las diversas funciones y precisiones que añaden las empresas, que por lo regular son empresas consolidadas que cuentan con la más alta tecnología.

Alcance

Se utilizará un software libre para la elaboración de circuitos impresos. La máquina se limitará a desbastar el cobre dejando solo el ruteado y luego se termina con la perforación. El operario será el encargado de ubicar el material para la elaboración de la tarjeta y establecer las coordenadas de inicio de la máquina en el software. Límite del tamaño de las placas estándar en el mercado PCBs será de un tamaño máximo de 20x30cm. La placa PCB se trabajará en doble cara máximo, montaje convencional o de inserción.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

Antiguamente era habitual la fabricación de circuitos impresos para el diseño de sistemas mediante técnicas caseras, sin embargo, esta práctica ha ido disminuyendo con el tiempo. En los últimos años el tamaño de las componentes electrónicas se ha reducido en forma considerable, lo que implica menor separación entre pines para circuitos integrados de alta densidad. Teniendo también en consideración las actuales frecuencias de operación de los dispositivos, es necesaria una muy buena precisión en el proceso de impresión de la placa con la finalidad de garantizar tolerancias mínimas.

1.1 Antecedentes

En el año 2010 la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca ejecutaron la siguiente tesis: ***“diseño y construcción de un taladro XYZ controlado por un microcontrolador con interfaz gráfica mediante LabView para la fabricación de circuitos impresos”***.

El presente proyecto manipulará una potencia relativamente baja, y por cuestiones de costo, se decidió utilizar actuadores eléctricos, los cuales presentan características favorables para el control numérico, siendo suficiente preciso y de fácil control. El reconocimiento interno fue mediante el uso de sensores internos utilizados en la articulación y el reconocimiento del entorno, en este caso utilizó finales de carrera para este propósito. Manejaron un microcontrolador 18F4550 con puerto USB y una fuente de poder con un transformador para el consumo de los motores, para crear el archivo donde se valieron de cualquier programa para hacer circuitos PCB(s). La comunicación que utilizaron fue la interfaz de LabView con la tarjeta del microcontrolador [2].

En el año 2012 los tesis de la Escuela Politécnica del Ejército hicieron un tema de tesis ***“diseño y construcción de una máquina CNC que realiza el ruteo de pistas y el taladrado de circuitos impresos (PCB) de manera automática, utilizando una interfaz gráfica y procesamiento de imágenes en LabView”***.

Utilizaron un controlador PID en el cual ha sido programado en un microcontrolador, manejaron la parte de visión artificial de LabView para el diseño de pistas y la perforación, el cual admite imágenes en formato BMP, JPG o PNG que contenga el circuito PCB. Los datos obtenidos de la trayectoria y posición deben ser convertidos en tres tipos de secuencias usando código G: desbaste, taladrado y posicionamiento, para programar esto, utilizaron LabView. Cada secuencia es enviada vía USB (como códigos G) al microcontrolador para que este envíe las órdenes a los actuadores, en las secuencias de desbaste y de taladrado son visibles en el monitor del computador, de tal manera que el usuario podrá

apreciar el avance del proceso de fabricación de PCB. Donde es recomendable aspirar el polvo de la baquelita para no perder la visibilidad de la cámara [3].

En el año 2012 los siguientes autores de la Escuela Politécnica Nacional realizaron un tema de tesis ***“Diseño y construcción de una máquina para la elaboración de circuitos impresos basados en control numérico computarizado”***.

Ocuparon tres motores paso a paso para los ejes XYZ, un puente H para activar las bobinas del motor paso a paso, 6 sensores finales de carrera un taladro, Software Labview, un joystick y una DAQ NI-USB6501. Además, brinda el movimiento en los tres ejes cartesianos (eje X Y Z), crearon una interfaz con LabView el cual se basa primordialmente en el procesamiento de imagen y control de los movimientos de los motores de cada eje, bajo las restricciones e instrucciones requeridas. Partieron de una imagen exportada por los programas de circuitos impresos como es Proteus Profesional en formato JPG o PNG, con la ayuda de LabView con la función de detención de bordes de imágenes con la facilidad del Toolking el algoritmo llamado Canny, donde convierte la imagen en una matriz [4].

En el año 2014 estudiantes de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil realizaron un tema de tesis ***“propuesta para la creación de un laboratorio de elaboración de placas electrónicas en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil”***.

Utilizaron un Software llamado Mach3 el que se ejecuta mediante una computadora, y se convierte en un controlador de una máquina muy poderoso, amigable y económico con el usuario. Su comunicación es principalmente con los puertos paralelos (de impresora) y por puerto serial (COM), pero es recomendable por puerto paralelo debido a su seguridad y estabilidad [5].

En el año 2015 los integrantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo realizaron un tema de tesis ***“diseño e implementación de una máquina CNC para la fabricación de placas de circuito impreso para componentes SMD”***.

Atraves de las herramientas del Software CAM, sirve como puente entre el CAD (Diseño Asistido por Computadora), en este caso este software se encarga de generar el código G a través de los archivos Gerber. El software elegido tanto por su gran capacidad como por su interfaz amigable con el usuario es FLATCAM. La versión GRBL que utilizaron es la V0.8 para el funcionamiento de la máquina CNC. Utilizaron una placa Arduino que posee entradas análogas las cuales se conectan a un interruptor (final de carrera) normalmente abierto para marcar los límites de los ejes, utilizaron un controlador PWM JP-1482 para motor Spindle (fresadora). El controlador JP-382A se comunica a través de puerto paralelo que sirve para el movimiento de los motores paso a paso. Se conecta el puerto paralelo a la placa Arduino, dicha conexión se hace por medio de un cable DB-25. [6].

En el año 2015 en la Universidad Técnica del Norte un estudiante realizo un tema de tesis *“construcción de una máquina impresora de circuitos impresos para el laboratorio de automatización industrial de la carrera de ingeniería mecatrónica”*.

Utilizó un dispensador de tinta indeleble para el dibujador de pistas en la baquelita de cobre, luego de la impresión, la placa impresa debe ser sometida a un proceso químico conocido como "atacado con ácido", donde eliminará todo el cobre que no esté protegido por la tinta, dejando así únicamente las pistas del circuito diseñado. Utilizó sensores finales de carrera que ayuda a definir el área de trabajo, utilizó un pórtico paralelo para la comunicación RS-232, el software para la máquina CNC uso el KCAM4 el cual genera el Código G. El control de la maquina es por medio de un microcontrolador PIC16F628A programado en PICBASIC Pro, el mismo que permite manejar los motores, sensores y demás elementos electrónicos que posee. Puso dos motores paso a paso para los ejes X-Y y para el eje Z utilizó un electroimán. La función principal del electroimán es realizar el descenso y ascenso en el eje Z proporcionando la presión suficiente para el ruteado de las pistas. El área de trabajo definida es máxima hasta los 210mm en el sentido X y 300mm en el sentido Y, tomando las medidas de un formato A4 [7].

Con respecto con los antecedentes mencionados, mi propuesta es hacer una máquina CNC para circuitos impresos, donde me valgo de información útil para poder tomar una decisión.

1.2 Mecanizado

Hoy en la industria sin especificar su campo, utilizan las grandes características y las 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 manufacturarlos, es decir realizar un proceso de mecanizado para darle una función final y diseño duradero para que se someta a trabajos forzosos. 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 [8].

El objetivo no es obtener piezas de extrema calidad dimensional en materiales como el acero o el aluminio. El objetivo es comprender los fundamentos y a aplicarlos sobre materiales no muy complejos de mecanizar, como madera, plástico, papel o el mecanizado de cobre sobre baquelita para crear placas de circuito impreso [9].

En la actualidad el mecanizado se 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

1.2.1 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 como se observa en la figura 1. 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 deben tomar en cuenta las especificaciones que se necesitan para seleccionar la herramienta de corte adecuada [8].



Figura 1. Mecanizado por arranque de viruta.

Fuente: [10]

1.2.1.1 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 como se observa en la figura 2. 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.

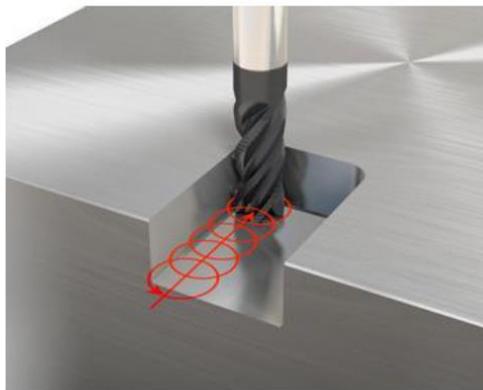


Figura 2. Fresado.

Fuente: [8]

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

1.3 Control numérico computarizado

Los circuitos impresos más sencillos corresponden a los que contienen caminos de cobre (Tracks o pistas) solamente por una de las superficies de la placa. A estas placas se les conoce como circuitos impresos de una capa, o en inglés, PCB.

Los circuitos impresos más comunes de hoy en día son los de 2 capas PCB, aprovechando así las dos caras de cobre que puede disponer una placa [9].

1.3.1 Máquina CNC

En pocas palabras, el control numérico computarizado es el uso de una computadora para controlar y monitorear los movimientos de una máquina herramienta. Entre esas máquinas herramienta, tanto estáticas como portátiles, podemos mencionar: fresadora, torno, rectificadora, máquina de corte por láser, por chorro de agua o por electroerosión, estampadora, prensa, brazo robotizado, etc. Las máquinas de gran porte cuentan con una computadora dedicada que forma parte del equipo, y la mayoría dispone de un sofisticado sistema de realimentación que monitorea y ajusta constantemente la velocidad y posición de la herramienta de corte. Las máquinas menos exigentes usadas en talleres admiten el uso de una computadora personal externa. El controlador CNC trabaja en conjunto con una serie de motores (servomotores y/o motor paso a paso), así como componentes de accionamiento para desplazar los ejes de la máquina de manera controlada y ejecutar los movimientos programados.

Un circuito impreso o PCB (Printed Circuit Board), es una tarjeta o placa utilizada para realizar la colocación de los distintos elementos que conforman el circuito y las interconexiones eléctricas entre ellos.

Este proceso como ya se ha anticipado principalmente se emplea para realizar prototipos de una forma rápida y limpia como se mira en la figura 3 [9].



Figura 3. CNC para PCB

Fuente: [11]

Estas herramientas realizan múltiples trabajos sobre un área de trabajo, utilizando herramientas rotativas de múltiples filos de corte y con la mínima intervención del trabajador durante el proceso de mecanizado. De esta forma se incrementa la producción, flexibilidad y precisión. Las máquinas CNC son utilizadas en la industria moderna, no solo para reducir los costes de producción sino también para ahorrar en tiempo y mejorar la precisión del trabajo; pues los centros de CNC son muy útiles para el mecanizado complejo.

Hay dos tipos de máquinas CNC, verticales y horizontales, clasificación dada en función de la posición del motor del husillo. También hay máquinas CNC de diferentes tamaños para fabricar piezas, como las de 3, 4 y 5 ejes. A mayor número de ejes, las empresas pueden producir comparativamente más rápido y piezas de mayor complejidad. Además de mejorar la productividad y de un trabajo mejor acabado, las máquinas CNC ofrecen una amplia gama de beneficios [11].

1.3.2 Funcionamiento de una máquina CNC

El controlador de las máquinas CNC recibe instrucciones de la computadora (en forma de códigos G y códigos M) y mediante su propio *software* convierte esas instrucciones en señales eléctricas destinadas a activar los motores que, a su vez, pondrán en marcha el sistema de accionamiento.

1.3.3 Ejes principales de una CNC

- Eje X: horizontal y paralelo a la superficie de sujeción de la pieza. Se asocia con el movimiento en el plano horizontal longitudinal de la mesa de fresado.
- Eje Y: forma un triedro de sentido directo con los ejes X y Z. Se asocia con el movimiento en el plano horizontal transversal de la mesa de fresado.
- Eje Z: donde va montada la fresa, es el que posee la potencia de corte y puede adoptar distintas posiciones según las posibilidades del cabezal. Se asocia con el desplazamiento vertical del cabezal de la máquina fijas en la figura 4 [12].

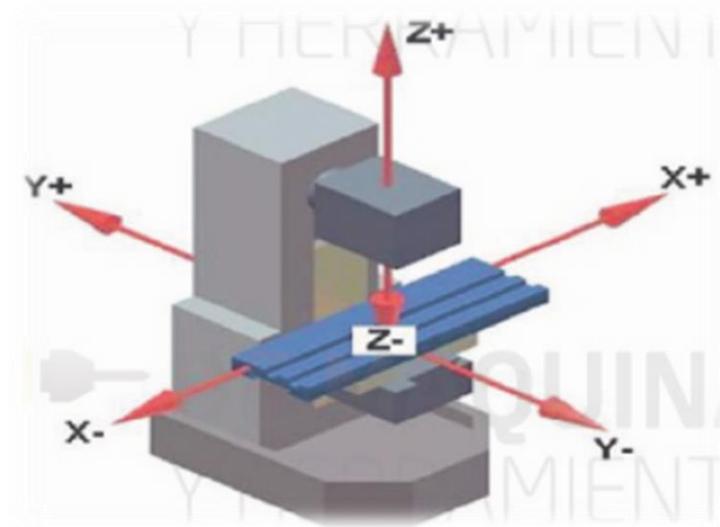


Figura 4. Ejes principales de una CNC

Fuente: [12]

1.3.4 Código G

El G-Code (o código G, en castellano) es el nombre de un lenguaje de descripción de operaciones para máquinas de control numérico por ordenador (CNC) que puede ser usado también como lenguaje de programación para controlar estos dispositivos para simplificar operaciones utilizando, por ejemplo, bucles.

El G-Code describe el movimiento y las diferentes operaciones que la máquina CNC debe realizar para la fabricación del objeto que se describe. Actualmente es G-Code se ha popularizado mucho gracias a la impresión 3D [13].

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, diríjase al anexo 2 [8]

1.4 Fresadoras

Una fresadora es una máquina utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. Mediante el fresado es posible mecanizar los más diversos materiales como madera, acero, fundición de hierro, metales no férricos y materiales sintéticos, superficies planas o curvas, de entalladura, de ranuras, de dentado, etc. Además, las piezas fresadas pueden ser desbastadas o afinadas. En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando las zonas a mecanizar a la herramienta, permitiendo obtener formas diversas, desde superficies planas a otras más complejas.

1.4.1 Fresadora CNC para circuitos impresos

Una aplicación poco conocida de las fresadoras CNC es la fabricación de circuitos impresos para montar circuitos electrónicos.

Existe una gran variedad de soluciones a la hora de abordar este tema, ya que hay toda una industria especializada en esta tecnología como se observa en la figura 5. Esta máquina se basa, en lo posible, en el uso de software de libre distribución, o licencias de uso limitado, y una fresadora CNC convencional, con cabezal de alta velocidad. Este último, sin embargo, no es imprescindible, pudiéndose emplear el cabezal convencional de la máquina. La fabricación se realiza a partir de placa virgen, que consiste en una base aislante (baquelita, fibra de vidrio, etc.) que lleva adherida una capa muy fina de cobre conductor. En una de sus caras o en las dos, se requieren pistas de cobre por una sola cara (circuitos más sencillos), o por las dos caras, las cuales se conocen como placas PCB [14].

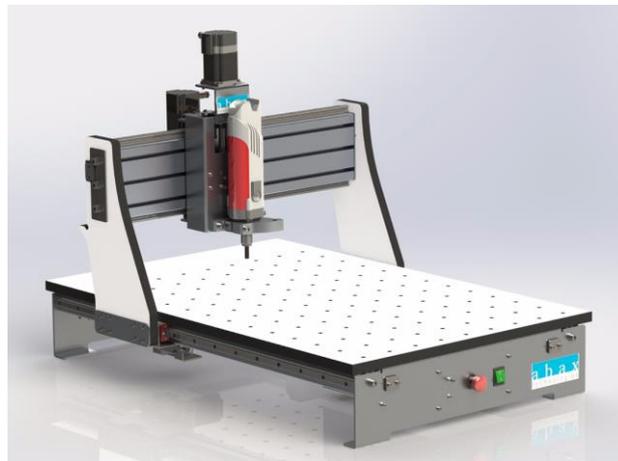


Figura 5. Fresadora CNC

Fuente: [14]

1.4.2 Comparación de utilización entre máquinas convencionales y CNC

Además de mejorar la productividad y un trabajo mejor acabado, las máquinas CNC ofrecen una amplia gama de beneficios véase en la tabla 1 [6]

Tabla 1. Comparación entre máquinas convencionales y máquinas CNC

Máquina herramienta convencional	Máquina herramienta CNC
<ul style="list-style-type: none">– Un operario solo puede manejar una sola máquina.– Es necesario consultar constantemente el plano.– Se necesita una amplia experiencia.– El operador tiene el control de profundidad, avance, etc.– Mecanizados imposibles de realizar.	<ul style="list-style-type: none">– Un operario puede operar varias máquinas.– No es necesario consultar apenas el plano.– No es necesario una amplia experiencia.– El programador tiene todos los parámetros de corte.– Posibilidad de realizar prácticamente cualquier mecanizado.

Como han ido evolucionando las máquinas a través de los tiempos [6].

1.5 Herramientas de corte (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 [8].

1.5.1 Fresas en V

Fresas cónicas, dependiendo de la altura se utilizarán pantógrafos o en fresadoras. Habitualmente sirven para el grabado de bajo y alto relieve en materiales blandos y/o biselados, observa la figura 6.



Figura 6. Fresa en V

Fuente: [8]

1.5.1.1 Parámetros de la fresadora

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 a la misma, estos parámetros son:

3. Velocidad de avance

Es la distancia que la herramienta se desplaza horizontalmente por cada revolución de la pieza (mm/rev o pug/rev), fíjese en la figura 7. Este movimiento de la herramienta produce una viruta, que se muestra hacia arriba de la cara de la herramienta [15].

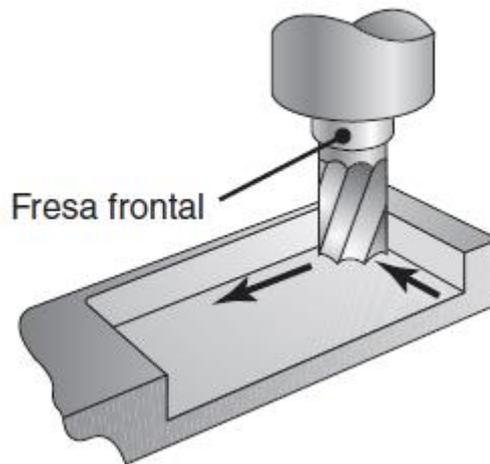


Figura 7. Fresa Frontal

Fuente: [15]

- Velocidad de avance (mm/rev)

$$Vf = f_z * Z * n$$

Ecuación 1: Velocidad de avance.

Fuente: [15]

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

4. Avance por diente

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 esta [8].

- Avance por diente(mm/diente)

$$f_z = \frac{V_f}{Z * n}$$

Ecuación 2. Avance por diente

Fuente: [15]

Dónde: Z = número de dientes de la fresa

n = número de revoluciones por minuto

V_f = velocidad de avance

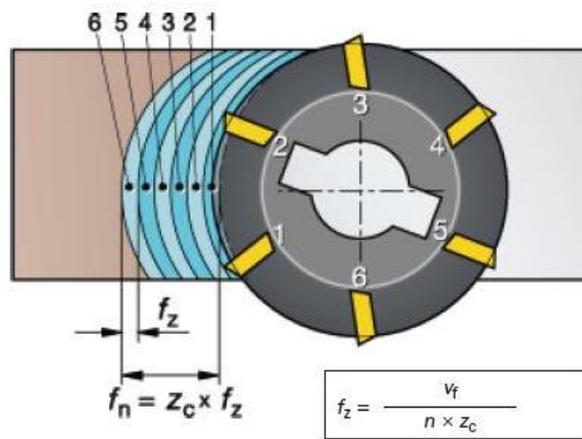


Figura 8. Velocidad de avance de la fresadora

Fuente: [8]

5. Velocidad del husillo

Número de revoluciones que realiza la herramienta de fresado sobre el husillo en cada minuto. Este es un valor orientado a la máquina, que se calcula a partir del valor de velocidad de corte recomendado para una operación.

- Velocidad del husillo(rpm)

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D}$$

Ecuación 3. Velocidad del husillo

Fuente: [15]

Donde: V_c = Velocidad de corte

D = diámetro de la herramienta

6. Velocidad de corte

Se llama velocidad de corte a la velocidad expresada en metros por minuto (espacio en metros recorridos en un minuto), de un punto de la superficie que se mecaniza si es ésta quien lleva el movimiento de corte (torneado), o de un punto de arista de corte es la herramienta quien posee el movimiento de corte (fresadora, taladradora, cepilladura, etc.) [16].

- Velocidad de corte (mm/min)

$$V_c = \frac{n * \pi * D}{1000}$$

Ecuación 4. Velocidad de corte

Fuente: [15]

Donde: n = revoluciones por minuto de la herramienta
 D = diámetro de la herramienta

7. Profundidad corte o potencia de corte

La profundidad de corte o profundidad de pasada (p) es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta, habitualmente se expresa en milímetros (mm). La anchura de corte (s), expresado en mm , es la anchura de la parte de la pieza implicada en el corte. Estos parámetros hay que tenerlos en cuenta por la influencia que tiene en el cálculo de la sección de viruta y consecuentemente en la fuerza de corte necesaria para poder realizar el mecanizado, fíjese en la figura 9.

- Profundidad de corte (kw)

$$P_c = \frac{a_p * a_e * Vf * K_c}{60 * 10^6}$$

Ecuación 5. Profundidad de corte

Fuente: [15]

Dónde: a_p = profundidad de corte axial (mm)
 a_e = profundidad de corte radial / ancho de corte (mm)
 Vf = velocidad de avance
 K_c = fuerza de corte específica (N/mm^2)

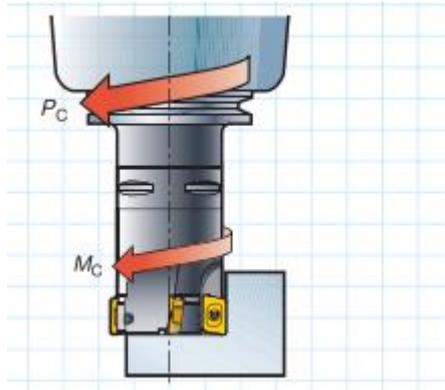


Figura 9. Profundidad de corte

Fuente: [15]

8. El par

El par (M_c) es el valor del par de fuerzas producido por la herramienta durante el mecanizado y que la máquina debe ser capaz de suministrar.

- Par (Nm)

$$M_c = \frac{P_c * 30 * 10^3}{n * \pi}$$

Ecuación 6. Par

Fuente: [15]

Dónde: P_c = profundidad de corte

n = revoluciones por minuto de la herramienta

9. Fuerza de corte específica

El valor de la fuerza de corte específica (k_c) es constante para cada material y se expresa en N/mm^2 . Pueden consultar los valores en el catálogo principal de pedido y en la guía técnica.

- Fuerza de corte específica (N/mm^2)

$$K_c = \frac{P_c * 60 * 10^6}{a_p * a_e * Vf}$$

Ecuación 7. Fuerza de corte específica

Fuente: [15]

Dónde: P_c = profundidad de corte

a_p = profundidad de corete axial (mm)

a_e = profundidad de corte radial (mm)

Vf = velocidad de avance (mm/min)

Para los cálculos del diseño mecánico tenemos la siguiente información.

1.6 Parámetros mecánicos

En esta sección con las siguientes formulas ayudara a tomar una decisión de diseño para los ejes que requiere la máquina.

1.6.1 Factor de seguridad

El factor de seguridad es la relación entre el esfuerzo normal permisible y el esfuerzo normal de diseño. Si $n_s > 1$ el diseño es adecuado, entre mayor sea n_s más seguro será el diseño.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{per}}$$

Ecuación 8. Factor de seguridad

Fuente: [17]

1.6.2 Esfuerzo normal máximo

La falla se producirá cuando el esfuerzo normal máximo en la pieza sea igual o mayor al esfuerzo normal máximo de una probeta sometida a un ensayo de tensión en el momento que se produce la fractura [18].

El esfuerzo normal máximo en otras palabras es el esfuerzo máximo permisible, diríjase a la ecuación 9.

1.6.3 Esfuerzo máximo permisible

El límite de fatiga es el esfuerzo máximo invertido que puede ser repetido un número indefinido de veces sobre una probeta normalizada y pulimentada girando sometida a flexión, sin que se produzca falla o rotura [19].

$$\sigma_{max} = \frac{32xM_{max}}{\pi d^3}$$

Ecuación 9. Esfuerzo máximo permisible

Fuente: [17]

1.6.4 Momento flector máximo

El momento flexionaste produce un esfuerzo normal en la sección de la viga, siendo máximo en los extremos. La fuerza cortante produce un esfuerzo cortante, que depende principalmente del módulo de la fuerza aplicada [20].

El momento flector máximo se deduce de la ecuación 9, despejando la fórmula del esfuerzo máximo permisible.

En vista de los parámetros mecánicos siga con la información acerca de los diferentes *softwares* y sus aplicaciones.

1.7 Software

A continuación, analice la investigación de cada software(s).

1.7.1 Software de control de la máquina

Revise la información sobre el control de máquinas:

1.7.1.1 Mach3

Convierte una computadora típica en un controlador de la máquina CNC. Es muy rico en características y ofrece un gran valor para aquellos que necesitan un paquete de control de CNC. Mach3 funciona en la mayoría de PC de Windows para controlar el movimiento de los motores (de pasos y servo) mediante el procesamiento de G-Code. Mientras que comprende muchas características avanzadas, es el software de control más intuitivo CNC disponibles. Mach3 es adaptable y se ha utilizado para muchas aplicaciones con numerosos tipos de hardware. Permite la importación directa de DXF, BMP, JPG y archivos HPGL [21].

1.7.1.2 EMC2

Para la elaboración de placas electrónicas PCBs por medio de un software libre como el EMC2, sustituyendo así los métodos convencionales y en muchos casos artesanales, esperando lograr reducir el tiempo de fabricación de cada placa mejorando el proceso, elevando la calidad y reduciendo los costos de producción de estas [1].

1.7.1.3 Turbo CNC

Es un software robusto para control de máquinas herramienta de hasta máximo 8 ejes; funciona bajo la plataforma MSDOS lo que permite utilizarlo en computadores con una velocidad de procesamiento baja, los requerimientos mínimos son 4MB de RAM, 500k de memoria en disco y un procesador de 66MHz. Su interfaz gráfica es muy sencilla, permite controlar motor paso a paso y servomotores mediante el puerto paralelo, es necesario una licencia de registro para una completa funcionalidad [22].

1.7.1.4 KCAM

Router/MILL es un software que está diseñado para ejecutarse en equipos CNC de bajo costo. Se puede usar el editor de código G y M o la importación de archivos DXF, NC y PLT. También se pueden importar archivos de software de CAD a KCAM., se presenta la interfaz de trabajo del software KCAM.

Es uno de los sistemas utilizados en la industria por ser de fácil manejo. Su programación a base de guías ilustrativas que crea el usuario KCAM4 al igual que otros minimiza la información necesaria para realizar un mecanizado directamente del diseño [7].

1.7.1.5 GRBL Controller

Sobre esta plataforma se carga un proyecto de código abierto llamado GRBL, que es una alternativa de bajo costo a la utilización de un puerto paralelo para el control de movimiento de una máquina fresadora CNC, el GRBL consiste en un intérprete de código G de alto desempeño, que corre en una tarjeta de desarrollo Arduino, es decir, utilizando este esquema la computadora se encarga de enviar el código G a la tarjeta de desarrollo Arduino y esta se encarga de la interpretación y generación de las señales necesarias para mover los motores paso a paso y controlar las herramientas y los límites de la máquina [23].

1.7.1.6 Universal Gcode Sender

GRBL es un software libre y multiplataforma (Windows, Linux, Mac) escrito en Python, soportado por GRBL (Código abierto, integrado, de alto rendimiento de códigos G, analizador y un controlador de fresado CNC, escrito en C que se ejecutará en una plataforma de Arduino), ideal para trabajar con hardware de bajo poder como el Raspberry Pi y Arduino Uno Rev3, además poseer las herramientas básicas para trabajar un sistema CNC y es fácil de usar emisor de comandos, auto reguladores, editor de código G, con todas las funciones del remitente código G, el software que va controlar la máquina [24].

1.7.2 Software del diseño de circuitos

Información necesaria sobre el diseño de circuitos.

1.7.2.1 Eagle

Su nombre proviene de las siglas en inglés *Easily Applicable Graphical Layout Editor*, es un software de diseño de circuitos impresos el cual posee un auto enrutador; ha tomado gran acogida a nivel mundial ya que es muy utilizado en proyectos “hágalo usted mismo”; además es un programa con licencia *freeware*², aclarando que existen versiones de pago como la versión *freemium*³. Una de sus mayores ventajas es que posee una gran variedad de elementos para el diseño electrónico dispuesto en una gran variada cantidad de bibliotecas [21].

1.7.2.2 Proteus

Es un completo entorno de diseño que permite realizar todas las tareas de diseño de circuitos electrónicos, tales como: dibujo de esquemas de circuitos, simulación interactiva de circuitos análogos y digitales y con microcontroladores, con animación de tiempo real.

Además de diseño de circuitos impresos, cuenta con una extensa librería que son actualizadas [25]. Proteus es capaz de leer los ficheros con el código ensamblado para los microprocesadores de las familias PIC, AVR y simular, perfectamente, su comportamiento. Proteus puede trabajar con los

principales compiladores y ensambladores del mercado. Implementar este programa permite ahorrar tiempo, además de que las pruebas serán más seguras y no dañarán los equipos de cómputo [26].

1.7.2.3 NI MultiSim (Electronics Workbench)

NI MultiSim es una poderosa herramienta para el diseño electrónico. Fue diseñado pensando en las necesidades de educadores y estudiantes, además de cumplir ampliamente con los requerimientos de los ingenieros y diseñadores a nivel profesional. Cuenta con nuevas características técnicas como puntas de prueba industriales, intercambio de datos con instrumentos virtuales y "reales", corrector de errores y sugerencias de cambios sobre el circuito, simulación integrada con microcontrolador [21].

1.7.2.4 PCBWizard + Livewire

Se pueden realizar circuitos impresos de una o dos caras; además se puede interactuar con el programa Livewire para simular el funcionamiento del circuito que ha dibujado y así comprobar si funciona correctamente el prototipo antes de armarlo físicamente. Tiene una amplia gama de herramientas que cumplen todos los pasos tradicionales en la producción de PCB(s) (Printed Circuit Board), incluyendo dibujos esquemáticos, capturas esquemáticas, ubicación de componentes y archivos de generación para producir prototipos. En resumen, el PCB Wizard es un programa que ofrece una gran cantidad de herramientas inteligentes que permiten que el diseño de circuitos impresos sea muy fácil, sus librerías son muy limitadas [14].

1.7.2.5 KICAD

Programa de código libre (GLP) software para la creación de esquemas electrónicos y circuitos impresos. Es un conjunto de cuatro programas y un gestor de proyectos para realizar circuitos electrónicos. Permite la creación de esquemas, realización de PCB(s), visualización de documentos generados en formatos GERBER (Documento foto trazado), utilidad de selección de las huellas físicas de los componentes electrónicos utilizados en el esquema, gestor de proyectos. La transformación esquemática PCB(s) es compleja [25].

1.7.2.6 Diptrace

Tiene una gran calidad en sus diagramas, la simulación no es propia del programa necesita software externo para lograrlo. Tiene el auto-ruteado y auto-posicionamiento de componentes, una calidad visor 3D aceptable y un sencillo editor de componentes y librerías [27].

1.7.2.7 OrCad

Posee un gran tamaño y consume recursos, modelo y simulación de alta tecnología su interfaz muy bien organizada, ideal para proyectos que requieren una gran precisión. Posee un análisis avanzado de señales analógicas y mixtas [27].

1.7.2.8 Altium

Es un programa muy robusto que podría resultar muy sobrado para quienes desean diseñar PCB(s) de calidad media. Tal vez es la herramienta más completa del mercado, contiene paquetes de diseño CAD, PCB, FPGA y diseño lógico, sin embargo, incluye mejoras en las etapas de diseño esquemático y de PCB(s) para facilitar la creación. Personalización avanzada de objetos, componentes y librerías, soporte de hipervínculos en los diagramas esquemáticos.

Creación de documentos PDF inteligentes, soporte de componentes capacitivos de microchip, ambiente de desarrollo robusto para proveer de todas las herramientas posibles al diseñar. Simulación precisa de señales analógicas y digitales [27].

1.7.2.9 EasyEDA

La principal característica de EasyEDA es que es una herramienta gratuita, no requiere instalación y además está basada en la nube, por lo que podremos crear directamente nuestros diseños de manera online. Esta herramienta está diseñada específicamente para proporcionar a los ingenieros electrónicos, educadores, estudiantes de ingeniería y aficionados a la electrónica una herramienta EDA completa, pero a su vez sencilla de manejar, y todo ello desde nuestro navegador web [28], vemos que software nos favorece en el diseño del circuito.

1.7.3 Software para el código G

Echemos un vistazo acerca de los Software(s) que generan el código G, a través de una imagen PNG.

1.7.3.1 FLATCAM

Las imágenes pueden requerir menor espacio en disco que un mapa de bits, las imágenes formadas por colores planos o degradados sencillos son más fáciles de ser vectorizadas. A menor información para crear la imagen, menor será el tamaño del archivo y no pierden calidad al ser escaladas. Los objetos definidos por vectores pueden ser guardados y modificados en el futuro y algunos formatos permiten animación [29].

1.7.3.2 FREEHAND

Se produce en un solo documento, las actualizaciones del software son más rápidas y fáciles de usar, el sistema operativo que maneja es Windows y Mac. Cada versión tiene una amigable interfaz de usuario cambia la forma de figuras geométricas de una manera fácil rápida [30].

1.7.3.3 INKSCAPE

Inkscape es un editor gráfico gratuito, bajo licencia GNU GPL, para la creación de gráficos vectoriales. Su objetivo es que sea totalmente compatible con los estándares XML, SVG y CSS.

La aplicación es multilingüe (más de 40 idiomas) y multiplataforma, soportada por sistemas como Mac OS X, Unix y Windows.

Características de Inkscape para la creación de imágenes vectoriales emplea el formato SVG (Scalable Vector Graphics), soportando formas, trazos, texto, marcadores, clones, mezclas de canales alfa, transformaciones, gradientes, patrones y agrupamientos [31].

1.7.3.4 EAGLE

Finalmente, en EAGLE es posible agregar programas escritos por el usuario, denominados ULPs (User Language Programs). Estos programas son escritos en un lenguaje parecido a C, que permiten añadir funciones personalizadas a EAGLE, tales como abrir y exportar archivos desconocidos para el programa. Al igual que con las librerías de componentes, las ULP(s) de EAGLE son distribuidas por la red en forma gratuita, permitiendo a los usuarios de EAGLE mejorar su experiencia personal con el software [23].

1.7.4 Hardware para el control de la máquina

Para el control de la máquina se utiliza los siguientes:

1.7.4.1 Arduino

Arduino simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores. Las placas Arduino son más accesibles comparadas con otras plataformas de microcontroladores. Los módulos más caros de Arduino pueden ser montadas a mano bajando sus costos. El software de Arduino funciona en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux; mientras que la mayoría de otros entornos para microcontroladores están únicamente limitados a Windows. El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes y flexible para los usuarios avanzados. Además, Arduino está basado en el entorno de programación de Processing, con lo que los estudiantes que aprendan a programar en este entorno se sentirán familiarizados con el entorno de desarrollo Arduino. El software Arduino es de distribución de licencia libre y preparada para ser adaptado por programadores experimentados. El

lenguaje puede ampliarse a través de librerías de C++, y en caso de querer profundizar en los detalles técnicos, se puede dar el salto a la programación en el lenguaje AVR C en el que está basado.

De igual modo se puede añadir directamente código en AVR C en los programas de los usuarios, si es que así lo desean. Arduino está basado en los microcontroladores ATMEGA168, ATMEGA328 y ATMEGA1280. El hecho de que la plataforma venga ya ensamblada les quita flexibilidad a los proyectos, así por ejemplo estaríamos obligados a usar un espacio y forma acorde con el PCB del Arduino, para superar esto, se debe trabajar con un microcontrolador diferente al de la plataforma y diseñar las PCB desde cero como con los PIC(s) [32].

1.7.4.2 Raspberry Pi

La Raspberry Pi (también RPi o RasPi) es un miniordenador del tamaño de una tarjeta de crédito que corre bajo Linux y tiene un precio bastante asequible. Se puede utilizar para muchas de las cosas que hace un PC de escritorio, como navegar por Internet, hojas de cálculo, procesador de textos y juegos. También permite vídeo de alta definición.

Algunas de sus ventajas con respecto a los ordenadores corrientes son su tamaño, bajo coste, bajo consumo y que permite añadir proyectos electrónicos gracias a la cabecera de expansión de pines GPIO lo cual hace que la RasPi sea el dispositivo perfecto para desarrollar proyectos interesantes y a bajo coste. Alguna desventaja podría ser la imposibilidad de cambiar componentes hardware tal y como podemos hacer en un ordenador de sobremesa [13].

1.7.4.3 Microcontrolador PIC

Un caso muy claro nos muestra el desarrollo de una tarjeta basada en un microcontrolador PIC y cuyo objetivo es construir una Interfaz de Desarrollo (IDE) de fácil uso en Linux, Windows y MAC OS X basada en lenguaje Python para el IDE y SDCC (compilador en C), GPUTILS (Ensamblador y Linker) y un Bootloader basado en el proyecto PUF VASCO para la interfaz USB. Permite al usuario simular el código del microcontrolador en tiempo real, así, como colocar en un espacio de trabajo denominado "BreadBoard" el dispositivo programable, junto con otros elementos electrónicos simulados, como son Led(s), botones pulsadores, LCD, etc. [33].

1.7.4.4 Tarjeta puerto paralelo

Teniendo una interfaz de la década de los 70, sigue siendo manipulado hoy en día por su simplicidad, programas de CNC como Mach3 son los que manipulan esta clase de enlace.

Las tarjetas PCI están basadas en el protocolo de comunicación Bus PCI, que es por donde recibe toda la información de la generación de trayectorias del procesador, se tiene también conectores como puerto paralelo y conectores de pastilla para el ingreso y salidas de datos, esto son conectados al driver de cada motor, la fuente láser y sensores de control [34].

1.7.4.5 Tarjeta puerto USB

Es la tendencia presente terminará siendo el estándar, pero aún no todos los programas lo soportan y hay que examinar su compatibilidad. Otro problema que muestra es que la transmisión de datos tarda en difundir.

El protocolo USB no es factible ya que tiene la desventaja que es un protocolo asíncrono el cual no garantiza la transmisión en tiempo real puro.

Con cada año las mejoras de la tecnología van perfeccionando ya que la conectividad de los puertos USB son más rápidas en sus respuestas como la de los puertos paralelos [34].

1.7.5 Hardware para controlador de motores

Driver(s) para control de motores, ilústrese con la siguiente información.

1.7.5.1 GRBL Shield

La placa GRBL Shield es un dispositivo compatible con Arduino Uno y su microprocesador ATM328P, especializado para el manejo de una máquina CNC de 3 ejes, y Control de corriente independiente para cada eje [24].

1.7.5.2 Gecko Drive Gm215

El dispositivo Gm215 es un controlador de movimientos de motores PAP (Paso a paso) y compatible con el Software Gecko Motion, el cual ejecuta comando en formato ASCII enviados desde una PC [24].

1.7.5.3 HY-DIV268N-5A

El driver que se utiliza es el HY-DIV268N-5A, por ser tres motores a pasos, se necesita 3 de estos drivers, debido a su gran versatilidad y resistencia, como la máquina requiere un trabajo continuo durante las 24 horas y 365 días del año, y determinaciones únicas para mantenimiento [35].

1.7.5.4 Controlador Arduino CNC Shield

CNC Shield v3.0 es una tarjeta de expansión CNC para Arduino Uno, donde el módulo se utiliza para interconectar una placa sencilla de Arduino para el manejo de 4 motores PAP [24].

1.7.6 Hardware para el desplazamiento de elementos móviles

Tipo de motores que sirve para el desplazamiento de elementos móviles.

1.7.6.1 Motor a pasos

Es un motor de corriente continua que transforma pulsos electrónicos en un desplazamiento angular específico, es decir, este tipo de motor se mueve un paso por cada pulso que le sea aplicado. Dependiendo del fabricante este paso puede variar desde ángulos muy pequeños por ejemplo 1.8° (se requerirían 200 pasos para completar 360°) hasta ángulos grandes, por ejemplo, de 90° (se requiere 4 pasos para completar 360°).

Este tipo de motor presenta alta precisión en un giro y por tanto en el desplazamiento y posición angular. Por otra parte, presenta mayores torques a velocidades bajas. A diferencia de otros motores, estos motores pueden quedar enclavados en la posición inicial, o quedar libres, todo depende, si sus bobinas se encuentran o no energizadas. Un motor de paso puede girar, en ambos sentidos, un número exacto de grados [36].

1.7.6.2 Servomotores

Un servomotor (o servo) es un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ser controlado en posición. Es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación (generalmente de 180°) y mantenerse estable en dicha posición. Los servos se suelen utilizar en robótica, automática y modelismo (vehículos por radiocontrol, RC) debido a su gran precisión en el posicionamiento [37].

1.7.7 Motor para la fresadora CNC

Para la realización de fresado tenemos los siguientes motores:

1.7.7.1 Motor Spindle

Este motor es esencial en toda máquina CNC fresadora, los demás sistemas están ahí para controlar a este motor, por ejemplo: Donde debe ir, que tan rápido debe ir, o cuando debe encenderse o apagarse. La selección de este motor es muy importante según la aplicación que se le dé. Existen dos tipos de motor Spindle más utilizados, motores de corriente continua DC, y motores trifásicos, según la dureza de la madera solo se requiere un motor de baja potencia, incluso una madera muy dura no requiere un gran torque para la sustracción de material en la madera. Para hacer trabajos con madera dura se necesita bajas revoluciones, pero al trabajar con maderas muy blandas se necesitan revoluciones altas. Estos motores al girar a altas revoluciones generan mucha fricción por lo que tienen un sistema de refrigeración, los más comerciales son los motores refrigerados por aire o por agua, puesto que requiere menor costo de mantenimiento [11].

1.7.7.2 Moto-tool DREMEL

La marca del taladro Dremel es de mucha utilidad gracias a la base que nos brinda relativa rapidez y exactitud en el proceso [38].

1.8 Sistema electrónico

En el sistema electrónico tenemos los sensores que sirven para detectar o impedir un proceso o trabajo.

1.8.1 Sensores finales de carrera

Los sensores de contacto o finales de carrera, son dispositivos que tienen como objetivo enviar señales al sistema de control para que tome acciones según su estado. En la máquina CNC son utilizados para impedir daños en el sistema de desplazamiento debido a un mal funcionamiento del sistema de control.

Son sensores de contacto que muestran una señal eléctrica, ante la presencia de un movimiento mecánico. Son utilizados ampliamente en ambientes industriales para censar la presencia de objetos en una posición específica. En un comienzo se los utilizaba para definir el final del recorrido de un objeto, de ahí que se llamen “interruptores de final de carrera” [39].

1.9 Sistema de desplazamiento lineal

Uniendo directamente al motor paso a paso, en los ejes de coordenadas XYZ respectivamente, se debe usar un elemento de desplazamiento lineal que brinde a la herramienta a usar, la posibilidad de moverse libremente sobre la superficie de trabajo.

La varilla roscada se presenta como la opción más viable para implementar, debido a su costo, además de que, aunque no presenta una alta precisión, se considera que puede ser suficiente para la mayoría de los circuitos a elaborar según el diseño. A simple vista la histéresis es alta en productos encontrados en el mercado regional, se decide entonces mandar a fabricar bajo pedido la varilla roscada tipo rosca fina con paso de 1 de 2 o de 4mm [21].

1.9.1 Varilla roscada o tornillo de bolas

Este sistema está compuesto por:

- Tornillo con roscado especial para la rodadura de las bolas.
- Tuerca, que se desplaza longitudinalmente en relación con el tornillo.
- Bolas, que son los elementos rodantes que permiten reducir la fricción entre tornillo y tuerca e incrementar la velocidad de desplazamiento de la tuerca.
- Sistema de recirculación de bolas.

El principio de funcionamiento es similar al del tornillo de potencia, con la diferencia de que el contacto entre tuerca y tornillo es a través de elementos rodantes en lugar del contacto directo.

Este sistema presenta una serie de ventajas:

- Puede emplearse en motores con pares de arranque pequeños.
- Posee una eficiencia elevada.
- Facilidad y precisión en el posicionamiento.
- Facilidad de precargado sin aumento sensible del rozamiento.

En oposición a ello, posee una serie de inconvenientes:

Requieren una buena lubricación.

- La entrada de elementos abrasivos puede reducir la vida del husillo.
- En las mismas condiciones de carga que en un tornillo de potencia, presenta una menor rigidez [40].

1.9.2 Acople al eje del motor

Este tipo de acoplamiento es preciso para el tipo de máquina que se está desarrollando ya que proporciona la suficiente fuerza de sujeción y elasticidad para el desplazamiento de los órganos móviles [21].

CAPITULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

En este capítulo será enfocado para la selección de todas sus partes, para hacer un CNC enfocada para grabado y perforación de circuitos impresos.

2.1 Sistemas del prototipo

A través tablas con la información antes mencionada con la investigación escogieron el tipo de material para la estructura de la máquina, los implementos mecánicos y electrónicos y el tipo de *software* para la interfaz de la máquina.

2.1.1 Selección de elementos mecánicos

Partes mecánicas que se necesita para el armado de una CNC.

2.1.1.1 Elección del diseño estructural

Para diseñar la estructura de una máquina CNC, los materiales más utilizados son la madera (MDF), acrílico y aluminio esto dependiendo del presupuesto para la estructura de la CNC.

Por sus propiedades se optó por la estructura de madera de piso flotante ya que esta madera es sumamente dura semejante a un acrílico para hacer una CNC, se asemejaría como una estructura de aluminio sumamente rígida, enfocado a los costos de cada material son más costosos como el aluminio, el acrílico y sumamente más barato con el material escogido como es el MDF para piso flotante.

2.1.1.2 Elección de las freasadoras CNC

Puede emplearse cualquier fresadora CNC, aunque los "router" específicos para esta tarea, al ser más ligeros, pueden trabajar a mayor velocidad, reduciendo el tiempo de fabricación, que en cualquier caso, siempre es alto. Fresas y brocas: Fresas de 0,7mm → 1mm (aprox.) para cortar la placa a sus dimensiones finales.

Fresas en V, de entorno a 0,2mm en la punta para grabar las pistas. Para el fresado de las pistas se emplean fresas en V, que pueden tener por ejemplo 60°, 90°, etc. en la punta. En cuanto al ancho de la punta (aunque pueda parecerlo, la cabeza de la fresa no es un pico afilado, sino que acaban planas), se usa fresas de 0,2mm, aunque también las hay de 0.1,mm (muy indicadas para grabado de letras, etc.), y por supuesto de 0,3mm, y en adelante. Las fresas de 0,2mm dan un buen equilibrio entre la necesidad de poder crear pistas muy finas, que pasen entre patillas de componentes (con una distancia típica entre patillas de 2,54 mm ó 0.1 pulgadas.) y que no se necesite hacer infinitas pasadas eliminando material para garantizar el aislamiento entre pistas, fijese en la figura 10.

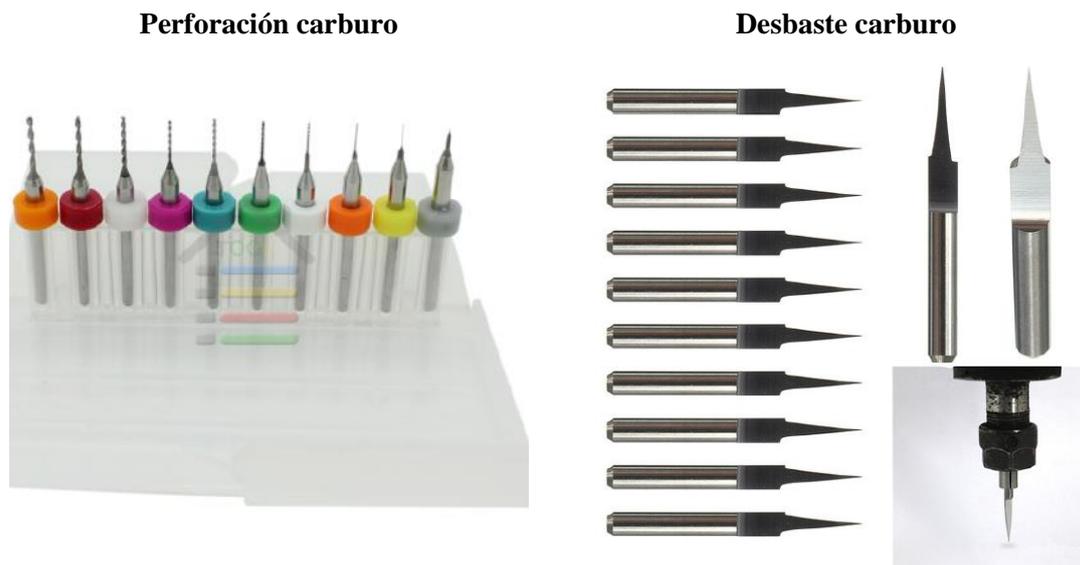


Figura 10. Fresas para perforación y desbaste para las PCB

Nota: Brocas para desbastar y perforar la baquelita para circuitos electrónicos.

2.1.1.3 Elección del Software para el diseño mecánico

Software que sirve para diseñar cualquier diseño mecánico.

10. SolidWorks

Simulación a los equipos suministrándoles las herramientas para validar fácilmente decisiones de diseño, destapa problemas ocultos antes que afecten a la producción, y potencialmente ahorra costos. La nueva versión incluye por primera vez capacidades como la basada en eventos de simulación de movimiento, que imita realmente el trabajo de las máquinas de manera, así como sensores de proximidad y límite de tamaño automático de soldadura [41].

Nota: La elección del software anfitrión para diseñar la CNC es por la licencia que posee la Universidad Técnica del Norte de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

2.1.2 Selección de elementos electrónicos

Con la investigación realizada del capítulo uno se procedió mediante tablas escoger todo lo que conlleva acerca de los elementos electrónicos.

2.1.2.1 Elección del Software para el control de la máquina

Con la teoría antes mencionada se describe los diferentes *softwares* se resume en la siguiente tabla 3, se escogió el Software Match 3 (resaltado en color oro claro de un 40%) por su sistema operativo, su interfaz y costos, además, la interfaz es muy amigable con el usuario ya que maneja una tarjeta CNC y posee puerto paralelo y USB y su respuesta es más rápida a diferencia de los otros softwares.

Tabla 2. Elección del software del control de la máquina

Software	Sistema Operativo	Interfaz	Costo
MACH3	Linux y Windows con puerto paralelo y puerto serial y USB.	Práctico y su interfaz es amigable con el usuario	Tiene dos tipos de licencia una gratuita y otra es costosa y no es compatible con la plataforma Arduino
EMC2 CNC	Linux	Técnico es más orientado para la industria	Tiene una licencia libre
TURBO CNC	IBM PC plataforma MSDOS década de los 80, usa puerto paralelo.	Es amigable con el usuario.	Se necesita una licencia de registro para que funcione perfectamente. Tiene dos
KCAM	Windows con puerto paralelo	Interfaz amigable con el usuario	licencias de alto costo y una gratuita
GRBL CONTROLLER	Mac, Windows y Linux con puerto serial.	Interfaz amigable con la plataforma de Arduino y Python	Licencia libre
UNIVERSAL GCODE SENDER	Windows, Linux y Mac	Interfaz amigable creado en Java	Licencia libre

Nota: Software escogido Match 3 marcado de color oro claro. Fuentes: [21], [1], [22], [7], [23] y [24]

2.1.2.2 Elección del software para el diseño de circuitos

De la investigación desarrollada en el capítulo 1 en el ítem 1.7.2 se escogió el Software Eagle por su sistema operativo, su interfaz y costos, además, a diferencia de los otros Software(s) EAGLE es muy fácil de manejar su interfaz y sus librerías y exportar archivo GERBER, guíese en la tabla 3.

Tabla 3. Elección del software del diseño del circuito

Software	Sistema Operativo	Interfaz	Coste
EAGLE	Linux, Windows y Mac	Interfaz ordenada	Su licencia es muy accesible
PROTEUS	Windows	Su interfaz es muy fácil de manejar	Su licencia es muy costosa
NI MULTISIM	Windows	Su interfaz fue diseñado para estudiantes y educadores	Es muy costosa su licencia
PCBWIZARD LIVEWIRE	Windows	Interfaz muy amigable	Versión demo gratuita limitada y licencia pagada.
KICAD	Windows, Mac y Linux	La interfaz muy básica	Licencia gratuita
DIPTRACE	Windows	La interfaz luce un poco anticuada	Versión demo gratuita, profesional costosa
ORCAD	Windows	Interfaz muy bien organizada	Licencia profesional costosa y una versión demo gratuita
ALTIUM	Windows	Tal vez la interfaz más completa.	Licencia es muy costosa
EASYEDA	No necesita sistema operativo es online	Interfaz amigable para el usuario	Licencia libre

Nota: software elegido en la tabla se encuentra resaltado. Fuentes: [21], [25], [26], [14], [27] y [28].

2.1.2.3 Elección del Software para el código G

Con el análisis realizado se escogió el *software Inkscape* por su sistema operativo, su interfaz y costos, además, este sistema me facilita en generar código G mediante una imagen en formato PNG, diríjase en la tabla 4.

Tabla 4. Elección del software para el código G

Software	Sistema Operativo	Imágenes Vectorizadas	Formatos
ILUSTRATOR	Windows y Mac	Fáciles de ser vectorizadas	SWF, JPEG, PSD, PNG y TIFF
FREEHAND	Windows y Mac	Crea imágenes vectorizadas	SWF, JPEG, PSD, PNG y TIFF
INKSCAPE	Windows, GNU/Linux, Mac	Fácil de crear coordenadas vectoriales	JPEG, PNG, y TIFF y exporta PNG
EAGLE	Linux, Windows y Mac	Abrir y exportar archivos desconocidos para el programa	Las librerías son distribuidas en forma gratuita para la creación del Código G

Nota: Software preferido por sus características esta resaltado de color oro claro. Fuentes: [32], [13] y [33].

2.1.2.4 Elección del hardware para el control de la máquina

A medida que la investigación se fue desarrollando con el capítulo 1, se escogió la tarjeta CNC con puerto USB por su sistema operativo, su interfaz y costos, además, la tarjeta CNC es muy fácil de usarla y su respuesta de transmisión es más rápida a diferencia de los otros, observe en la tabla 5.

Tabla 5. Elección del hardware del control de la máquina

Hardware	Sistema Operativo	Interfaz de la programación	Costo
Raspberry Pi	Linux	Entorno de programación en C fácil, utiliza su propia tarjeta.	Tiene un precio bastante asequible de 35\$.
Microcontrolador PIC	Linux, Windows y MAC OS X	Tiene una interfaz basada en lenguaje C.	Sumamente económicos con su variedad de microcontroladores.

Arduino	Windows, Macintosh OSX y Linux	El entorno de la programación en C es fácil de usar para principiantes y usuarios avanzados, se manda a quemar en la propia tarjeta.	Sumamente económico con un costo de 20\$.
Tarjeta puerto paralelo	Linux y Windows	Fácil para el ingreso y salida de datos	Económico
Tarjeta puerto USB	Linux y Windows	La transmisión de datos tarda en difundirse	Económico

Nota: Las tarjetas CNC con puerto USB que esta coloreada de color oro claro trabajan con facilidad a la transmisión de datos. Fuente: [32], [13], [33] y [34]

2.1.2.5 Hardware para controlador de motores

Para el control de motores paso a paso con la información del capítulo 1, decidiría seleccionar el driver por el tipo de motor su voltaje y corriente, el tipo de firmware, su costo y la comunicación, ya que estos motores pueden ser configurado, el número de pasos y la cantidad de corriente que necesite o está configurado, mire en la tabla 6.

Tabla 6. Elección del hardware para el controlador de motores

Hardware	Tipo de motores	Voltaje / Corriente	Tipo de Firmware	Costo	Comunicación
GRBL Shield	Acepta 3 motores paso a paso	2.5A y 12-34V	GRBL Universal Gcode Sender	Costo económico difícil de adquirir	Comunicación serial
Gecko drive Gm215	Capacidad de manejo 4 motores PAP	18-80V y 7A	Gecko Motion	Costo medio y difícil de encontrar en el mercado local	Comunicación RS485

HY-DIV268N-5A	Por cada tarjeta un motor	50V y 5A	GRBL Universal Gcode Sender y Match 3	Costo medio difícil adquirir en el mercado	Comunicación serial Arduino o directamente con la tarjeta puerto paralelo o tarjeta CNC USB
Controlador Arduino CNC Shield	Capaz de manejar 4 motores PAP	2A y 12- 35V	GRBL Universal Gcode Sender	Costo económico fácil de adquirir en el país	Comunicación serial

Nota: La elección del driver elegido es una tarjeta industrial por sus especificaciones técnicas. Fuente: [24] y [35]

2.1.2.6 Elección del hardware electrónico

Otras de las partes principales de la máquina es su sistema electrónico. Para diseñar el mismo es necesario llevar a cabo una selección de los elementos o partes del sistema como se muestra a continuación.

11. Alimentación eléctrica del sistema

La energía necesaria para que funcione los drivers de los motores PAP se requiere un una fuente de 36VDC con un amperaje de 10A y driver para la fresadora(*spindle*) requiere de un amperaje de 10A y un voltaje de 48 VDC, fijese en la figura 11. Además, se suministra la energía que necesita la interfaz electrónica, es decir, la etapa de potencia de los motores, es entregada por la fuente de alimentación, más información en la hoja técnica en el anexo 1 página 103, vease en la figura 11.



Figura 11. Fuente de poder de 36 voltios y 10 amperes

12. Selección de los sensores finales de carrera

Para cada eje de desplazamiento se utilizan dos finales de carrera conectados en paralelo, que permiten detectar el momento cuando se ha llegado al tope máximo que la parte mecánica puede brindar. Las finales de carrera envían señales de forma independiente para cada eje, es decir, se cuenta con una entrada de datos única para cada uno de ellos ya que estos sensores funcionan a 5VDC que me suministra la laptop a la tarjeta de control USB, analice la figura 12.



Figura 12. Final de Carrera

13. Interruptor general y paro de emergencia

La máquina CNC debe contar con un interruptor que permita o limite el paso de energía de forma completa a la máquina, además de un pulsador que se destine a impedir la continuidad del proceso de mecanizado del circuito impreso cuando algo no funcione correctamente, ya que el interruptor funciona , observe la figur 13.

Interruptor eléctrico



Interruptor de emergencia



Figura 13. Interruptor general y paro de emergencia

Nota: Interruptor general y paro de emergencia para activar o desactivar la máquina CNC.

2.1.3 Selección de motores para elementos móviles

Para dar un movimiento al husillo se utiliza los motores a pasos como se explicó en el capítulo 1, mediante una tabla con los retrainamientos necesarios como es el driver, su torque, su velocidad, mantenimiento y su costo, a diferencia de otro tipo de motores, los motores a pasos son fácilmente de configura con su respectivo driver, ya que es recomendable escoger el motor bipolar ya que posee un torque mayor al 30% de los unipolares, diríjase a la tabla 7.

Tabla 7. Elección del hardware de desplazamiento para elementos móviles

Hardware	Driver	Torque	Velocidad	Mantenimiento	Costo
Motores paso a paso	Existen drives sencillos y muy complejos	Posee un alto torque	Baja velocidad	Su mantenimiento es muy económico.	Bajo costo
Servomotores	Su diseño es más complicado, el motor y el circuito están soldados en conjunto	Tiene un bajo torque	Opera con altas velocidades	Mantenimiento costoso por desgaste de los engranes	Son costosos

Nota: Como se detalla la tabla pintada de color oro claro se eligió el motor a pasos por sus características técnicas, observe con más detalle en el anexo 1 en la página 99. Fuente: [36], [37].

2.1.4 Elección del motor para la fresadora CNC

Con el trabajo realizado en el capítulo 1, se procederá escoger los tipos de motores para fresado, se realizó una tabla con las diferentes características: la velocidad en RPM, su potencia y sobre todo el costo, se eligió por su calidad de trabajo, mire en la tabla 8.

Tabla 8. Elección del motor para la fresadora CNC

Motores para la fresadora CNC	Velocidad RPM	Potencia Watt	Costo
Moto-tool Dremel	5000- 32000	125	Costo accesible
Motor Spindle	0- 18000	500	Costo medio

El motor seleccionado es el Spindle(fresadora) el que está pintado de color oro claro en la tabla, para este motor su trabajo principal es el desbaste en baquelita, con más detalle las especificaciones técnicas en el anexo 1 en la página 98. Fuente: [11] y [38]

2.2 Elementos mecánicos.

Con la documentación realizada en el capítulo 1, seleccionar los elementos mecánicos

2.2.1 Elección de guías lineales de los ejes XYZ

Para las varillas guía se utiliza acero plata ya que tiene un buen acabado superficial, además de que posee alta dureza; entre las aplicaciones del acero plata se encuentran las piezas de precisión como brocas, punzones y guías; es por eso que se decide utilizar este tipo de material, véase en la figura 14. Además, para la selección de los ejes XZ, se realizó mediante cálculos con un diámetro de 8mm, el diámetro calculado está en la página 53 para mayor información y para la selección del eje Y es de 12 mm de diámetro por el motivo de la cama es muy pesada y no soporta todo el peso en eje del diámetro de 8mm, ilústrese en el anexo 1 en la página 86.



Figura 14. Eje acero de plata

2.2.2 Elección de varilla roscada o tornillo de bolas

Se trata de un sistema de transmisión que transforma un movimiento rotativo en un movimiento lineal o viceversa, observe en la figura 15. El tornillo sin fin esta seleccionado con un diámetro de 8mm de 4 hilos una vuelta completa en 8mm ya que no es necesario tener un husillo con diámetro mayor: una es por abaratar costos y otra es que los ejes lineales son calculados para soportar el peso y su movimiento sea suave, con más detalle revise el anexo 1 en la página 91.



Figura 15. Eje de acero roscado de 4 hilos

2.2.3 Elección de rodamientos lineales de bolas

De forma complementaria a los rodamientos lineales de bolas SKF, ver en la figura 16, existe una gama completa de unidades de rodamientos lineales de bolas. Estas unidades suelen constar de un soporte ligero de aluminio optimizado para ofrecer una gran resistencia y rigidez con las dimensiones especificadas. Debido a su peso ligero, las fuerzas de inercia provocadas por la aceleración se mantienen al mínimo, por cada eje tienen 4 de estos rodamientos, para los ejes XZ los rodamientos lineales son de 8mm de diámetro con un total de 8 rodamientos y para el eje Y es de 12mm de diámetro con un número de 4 rodamientos, revise el catalogo en el anexo 1 en la página 85.



Figura 16. Rodamiento Lineal de Bola

2.2.4 Sistema de acople al eje del motor

Para sujetar el eje del motor a la varilla roscada se precisará de un acoplamiento elástico de 5 mm x 8 mm, el cual sujeta el eje del motor por un extremo y por el otro lado sujeta la varilla roscada, observe la figura 17 y en el anexo 1 en la página 94.



Figura 17. Sistema de acople al eje del motor

2.2.5 Elección del rodamiento

Este rodamiento sirve como soporte con el tornillo sin fin y la estructura, mire la figura 18. El diámetro interno del rodamiento de bolas es de 8mm, es el mismo diámetro del husillo, revise el catalogo del anexo 1 en la página 89.



Figura 18. Rodamiento de bolas

2.3 Diseño del sistema mecánico

2.3.1 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 grabado de circuitos impresos. A continuación, se detalla las medidas que relacionan el recorrido de cada uno de los ejes, los límites del área de trabajo y las dimensiones de la estructura que conforman la máquina CNC son las siguientes:

- Dimensiones de la máquina
 - 55cm de alto
 - 55cm de largo
 - 36cm de ancho

- Área de trabajo
 - 115mm eje Z
 - 200mm eje X
 - 300mm eje Y

- Recorrido máximo de cada eje
 - 115mm eje Z
 - 220mm eje X
 - 320mm eje Y

2.3.2 Cálculo de los parámetros para el grabado

Como la investigación detalla el objetivo principal de la máquina CNC es hacer grabados sobre materiales con una dureza no mayor a la del aluminio, como es la madera, fibra de vidrio y el plástico.

Por tal razón los siguientes cálculos están enfocados en el grabado de baquelita, siendo este el material más crítico en el rendimiento de la máquina, para realizar el trabajo de grabado en placas de circuitos impresos PCB.

Se ha seleccionado una fresa de metal duro (carburo metálico), 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 de la fresa a utilizar:

- Datos del fabricante:
 - Ángulo de corte $\alpha = 60^\circ$
 - Diámetro de corte $D = 2 \text{ mm}$
 - Avance por diente $f_z = 0.0085 \text{ mm/diente}$
 - Número de dientes $Z = 2$

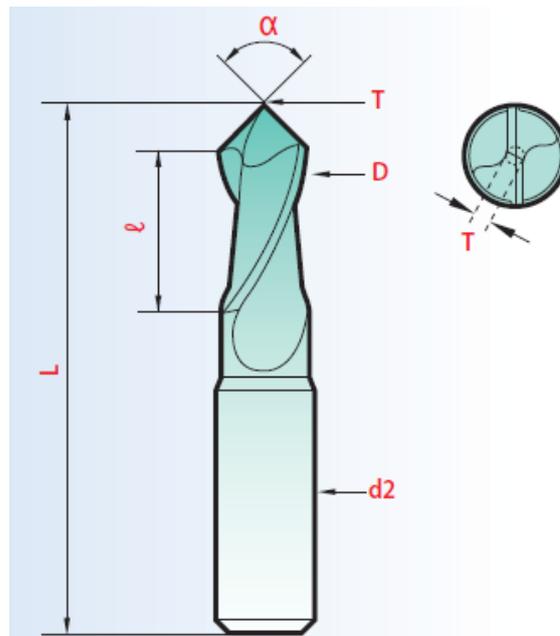


Figura 19. Datos del fabricante de una fresa CNC

Fuente: [8]

2.3.2.1 Cálculo de velocidad de corte

- Para calcular la velocidad de corte en (mm/min) se utiliza la ecuación 4 detallada anteriormente en la página 15.

$$V_c = \frac{n * \pi * D}{1000} = \frac{12000 \text{rev/min} * \pi * 2 \text{mm}}{1000} = 75.39 \text{mm/min}$$

2.3.2.2 Cálculo de la velocidad de avance

- Mediante la velocidad de avance en (mm/min) con la siguiente ecuación 1 que se encuentra en página 13 se calcula.

$$V_f = f_z * Z * n = 0.0085 \text{ mm/diente} * 12000 \text{rev/min} * 2 = 20.4 \text{mm/min}$$

2.3.2.3 Cálculo de la fuerza de corte

La fuerza de corte (F_c) parte de una formula aproximada, la cual depende de un factor llamado presión específica de corte se conoce como (K_c , k_s o k_{so}):

- Fuerza de corte

$$F_c = K_c * A_c$$

Ecuación 10. Fuerza cortante

Fuente: [15]

Dónde: A_c = área de corte

K_c = presión específica de corte

La fuerza específica de corte depende del material y puede variar considerablemente de uno a otro, siendo afectada por los cambios en la sección de corte, ángulos y velocidad.

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:

- Espesor medio de la viruta

$$h_m = f_z * \sqrt{ae/D}$$

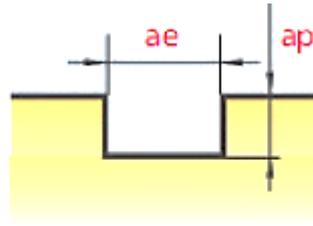
Ecuación 11. Cálculo del espesor de la viruta

Fuente: [8]

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

$ae = 2 \text{mm}$, ancho de corte

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



$$\left. \begin{array}{l} ae = D \\ ap = D \end{array} \right\} fz \times 1$$

Figura 20. Profundidad y ancho de corte

Fuente: [8]

- Se calcula el espesor medio de la viruta con la ecuación 11.

$$h_m = f_z * \sqrt{\frac{ae}{D}} = 0.0085mm * \sqrt{\frac{2mm}{2mm}} = 0.0085mm$$

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) de la figura. 21.

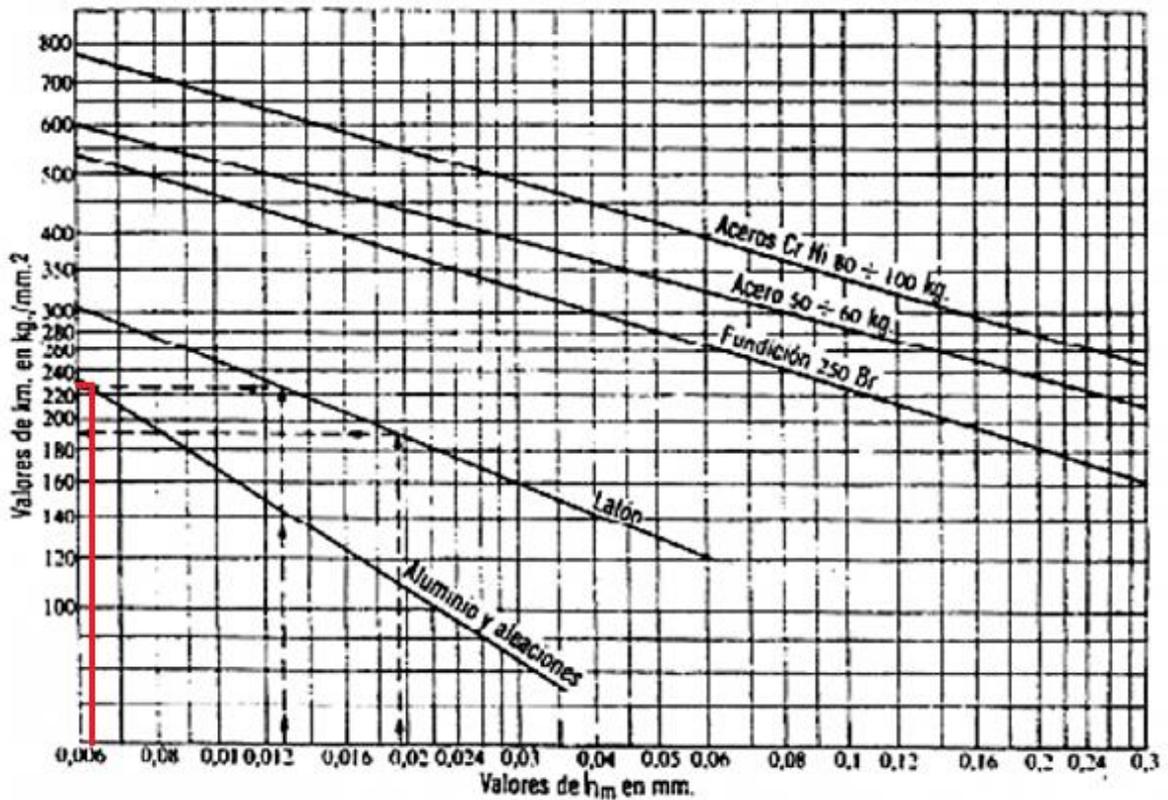


Figura 21. Diagrama para encontrar el esfuerzo específico de corte K_c

Fuente: [8]

De acuerdo con el espesor medio y según el diagrama aproximado que detalla la presión específica de corte para el material que se va a utilizar son las baquelitas o placas bañadas de cobre (PCB), ya que no se encontró información sobre estas placas, se optó por un material más duro como indica el diagrama para el aluminio, con más detalle ilústrese con la figura 21.

- Precisión específica de corte $K_c(N/mm^2)$

Dónde $h_m=235 kg/mm^2$, espesor medio de la viruta

$g=9.8 m/s^2$, gravedad

$$K_c = h_m * g = 235kg/mm^2 * 9.8 \frac{m}{s^2} = 2303 N/mm^2$$

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

$$f_n = f_z * a_e$$

Ecuación 12. Avance por revolución

Fuente: [8]

- Dónde: $f_z=0.0085mm$, avance por diente de la fresa
 $a_e=2mm$, ancho de corte

Con la ecuación 12 calcular el avance por revolución.

$$f_n = 0.0085mm * 2 = 0.017mm$$

- Área de corte (mm^2)

$$A_c = f_n * a_e$$

Ecuación 13. Área de corte

Fuente: [8]

Dónde $f_n = 0.017mm$, avance por revolución

$a_e=2mm$, ancho de corte

Con el dato encontrado, realizar el cálculo del área de corte con la ecuación 13.

$$A_c = 0.017mm * 2mm = 0.034mm^2$$

- Con el análisis realizado anteriormente encontramos el esfuerzo específico de corte K_c y el área de corte realizar el cálculo para encontrar la fuerza de corte con la unidad en (N) con la siguiente ecuación 10.

$$F_c = 2303 \frac{N}{mm^2} * 0.034mm^2 = 78N$$

2.3.2.4 Potencia de corte

El cálculo que se necesita para la potencia requerida en el corte para la fresadora CNC en el material a desbastar en este caso es la baquelita, depende de la cantidad de viruta admisible la cual encontraremos en la tabla 9.

- Potencia de corte (Kw)

$$P_c = \frac{ae * ap * Vf}{1000 * V'}$$

Ecuación 14. Potencia de corte

Fuente: [8]

Dónde: $Vf = 20.4$ (mm/min), velocidad de avance

$V' = 60 \frac{cm^3}{min} Kw$, cantidad máxima de viruta admisible

$ae = 2$ mm, ancho de corte

$ap = 2$ mm, profundidad de corte

14. Cálculo de la potencia de corte

Para el material a trabajar como la baquelita en este caso sería un material ligero para una fresa cilíndrica, observe la tabla 9.

Tabla 9. Cantidad máxima de viruta admisible.

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

Nota: Para el material a trabajar está marcado con color oro claro en la tabla 9. Fuente: [8]

Con la ecuación 14, calcularía el valor de la fresa requerida para desbastar el material a trabajarse.

$$P_c = \frac{2mm * 2mm * 204mm/min}{1000 * 60 \frac{cm^3}{min} Kw} = 13.6W$$

2.3.3 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. Para poder 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 o tornillo sin fin, que sirven para el desplazamiento y transmisión lineal en el sentido de cada eje.

2.3.3.1 Fuerza resultante del eje Z



Figura 22. Eje Z

Fuente: Por el autor

$$Fz = Fc + Wz$$

Ecuación 15. Sumatoria de fuerzas del eje Z

– Donde:

Fz : Es la fuerza resultante y la carga total que soporta el eje Z

Fc : Fuerza de corte para el grabado

Wz : Es el peso total de las mazas que componen el eje Z

Para determinar el Wz es la suma de todas las masas que compone el eje Z por la gravedad:

$$Wz = masa_z * g$$

Ecuación 16. Peso total del eje Z

Entonces $masa_z$:

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

$$masa_z = 1.199kg + 0.339kg + 0.569kg$$

$$masa_z = 2.107kg$$

Remplazamos en la ecuación 16:

$$Wz = 2.107kg * 9.81m/s^2$$

$$Wz = 20.67N$$

Remplazamos en la ecuación 15:

$$Fz = 78N + 20.67N$$

$$Fz = 98.67N$$

2.3.3.2 Fuerza resultante del eje X

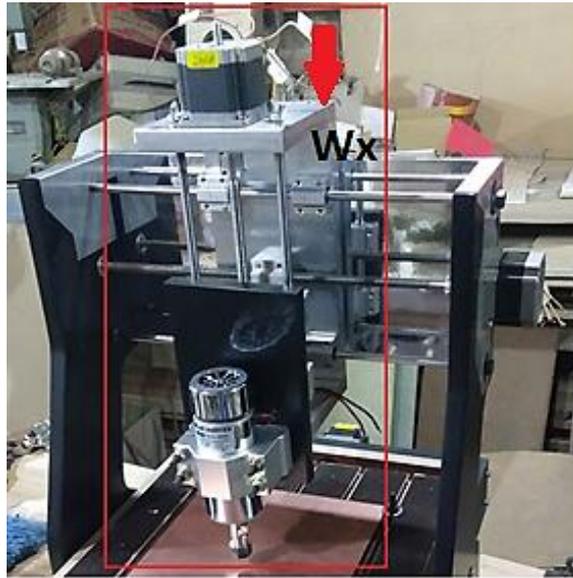


Figura 23. Eje X

Fuente: Por el autor

$$F_x = F_c + W_x$$

Ecuación 17. Sumatoria de fuerzas del eje X

– Donde:

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

F_c : Fuerza de corte para el grabado

W_x : Es el peso total de las mazas que componen el eje X

Para determinar W_x se toman en cuenta la suma de todas las masas que componen el eje X por la gravedad:

$$W_x = \text{masa}_x * g$$

Ecuación 18. Peso total del eje X

Entonces masa_x :

$$\begin{aligned}\text{masa}_x &= m_{\text{MAP}} + m_{\text{fresa}} + m_{\text{estructura}} + m_{\text{elementos}} \\ \text{masa}_x &= 1.052\text{kg} + 1.199\text{kg} + 1.179\text{kg} + 1.279\text{kg} \\ \text{masa}_x &= 4.709\text{kg}\end{aligned}$$

Remplazamos en la ecuación 17:

$$\begin{aligned}W_x &= 4.709\text{kg} * 9.81\text{m/s}^2 \\ W_x &= 46.19\text{N}\end{aligned}$$

Remplazamos en la ecuación 18:

$$\begin{aligned}F_x &= 78\text{N} + 46.19\text{N} \\ F_x &= 124.19\text{N}\end{aligned}$$

2.3.3.3 Fuerza resultante del eje Y

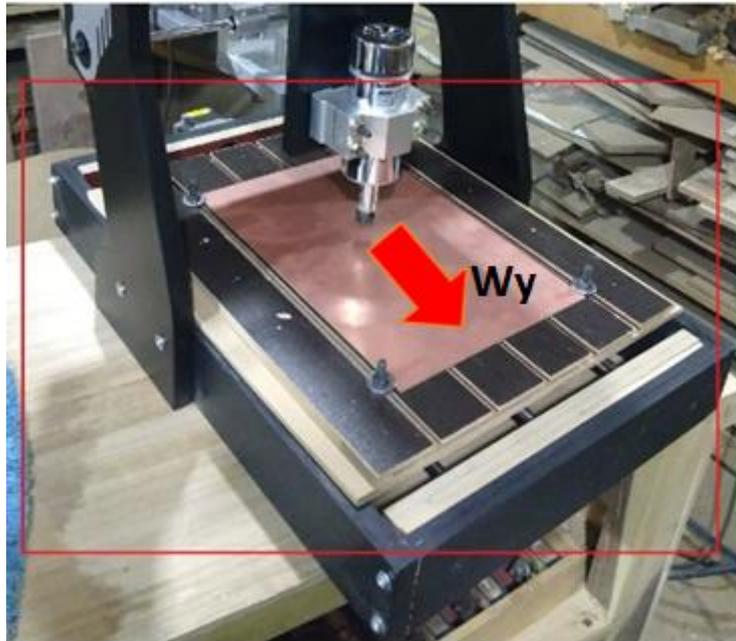


Figura 24. Eje Y

Fuente: Por el autor

$$F_y = F_c + W_y$$

Ecuación 19. Sumatoria de fuerzas del eje Y

– Donde:

F_y : Es la fuerza resultante y la carga total que soporta el eje Y

F_c : Fuerza de corte para el grabado

W_y : Es el peso total de las mazas que componen el eje Y

Para determinar W_y es la suma de todas las masas que componen el eje Y por la gravedad:

$$W_y = \text{masa}_y * g$$

Ecuación 20. Peso total del eje Y

Entonces masa_y :

$$\text{masa}_y = m_{\text{estructura}} + m_{\text{elementos}}$$

$$\text{masa}_y = 2.127 \text{kg}$$

Remplazamos en la ecuación 20:

$$W_y = 2.127 \text{kg} * 9.81 \text{m/s}^2$$

$$W_y = 20.87 \text{N}$$

Remplazamos en la ecuación 19:

$$F_y = 78 \text{N} + 20.87 \text{N}$$

$$F_y = 98.87 \text{N}$$

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, para ello, se utilizará el catálogo del fabricante (THK, The Mark of Linear Motion-Guías de Movimiento Lineal) [8].

2.3.4.1 Guías lineales del eje Z

Con el catálogo THK que sirve como guía para diseñar los ejes de una CNC, 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 (eje "Z"), para determinar dichas fuerzas observe la figura 25.

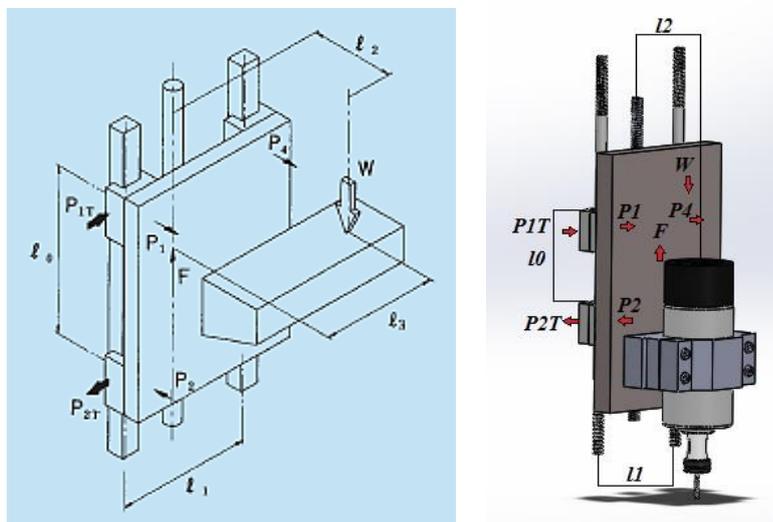


Figura 25. Parámetros para los puntos de apoyo del eje Z.

Fuente: [42]

$$P_1 \sim P_4 = -(P_2 \sim P_3) = \frac{W}{2} * \frac{l_2}{l_0} \qquad P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{W}{2} * \frac{l_3}{l_0}$$

Ecuación 21. Cálculos de carga del eje Z

Fuente: [42]

Con respecto a la figura 25, tome en cuenta las siguientes condiciones de longitud y movimiento a velocidad constante para el diseño, la longitud $l_3=0$, ya que en este caso el motor de grabado (W_{fresa}) está situado en el centro del carro vertical (eje "Z"):

- Tipo de movimiento: Vertical (ascendente y descendente)
- Longitud axial entre rodamientos lineales: $l_0=67mm$
- Longitud entre guías lineales: $l_1=85mm$

- Longitud entre la transmisión y el motor de grabado: $l_2=66mm$

La fuerza resultante en el eje "Z" calculada anteriormente, donde es la suma del peso total de los elementos más la fuerza de corte $W=Fz$.

Entonces remplazo los datos en la ecuación 21:

$$P_1 \sim P_4 = \frac{98.67N}{2} * \frac{66mm}{67mm}$$

$$P_1 \sim P_4 = 48.59N$$

$$P_2 \sim P_3 = -48.59N$$

$$P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{98.67}{2} * \frac{0}{67mm}$$

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

Para el diagrama de corte y momento flector, se determina las distancias que recorre los apoyos o rodamientos lineales del eje "Z", esto quiere decir la distancia total del eje lineal no importa a que distancia estén los rodamientos. Por ejemplo, en el eje vertical para realizar el trabajo de grabado, considere la primera distancia $d_1=99mm$ para el primer apoyo y la segunda distancia $d_2=166mm$ para el segundo apoyo, guíese en la figura 26.

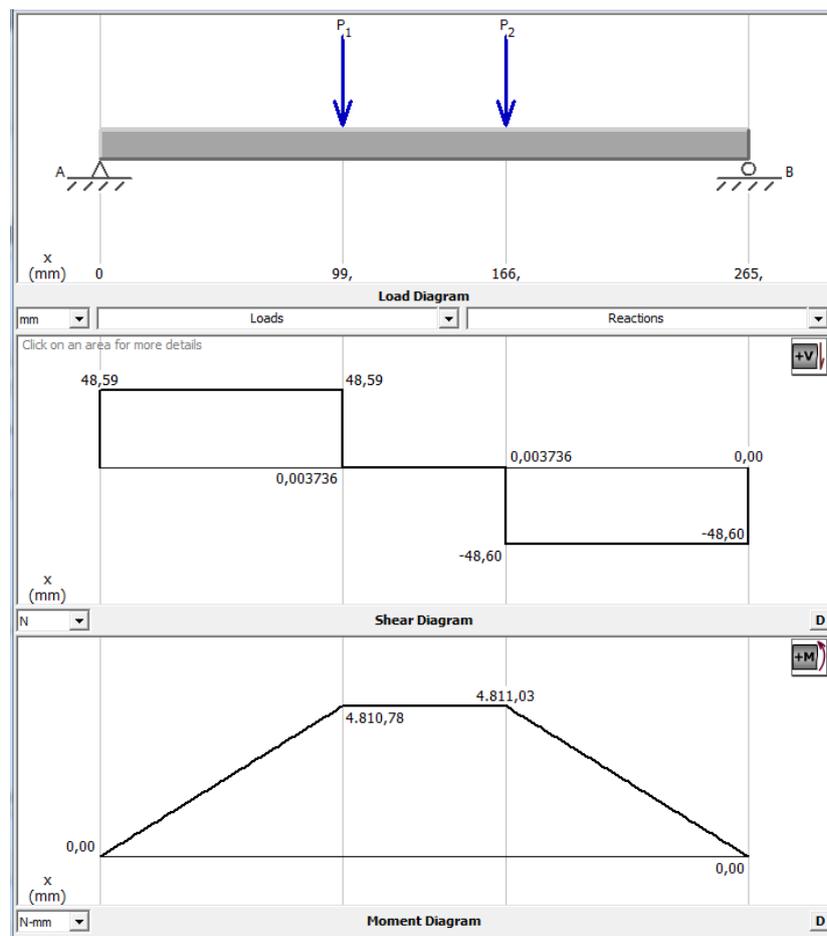


Figura 26. Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector para el eje Z.

Con la facilidad de la tecnología podrán predecir que diámetro se requiere con la facilidad del programa MDSolids, facilita el cálculo esfuerzo cortante y momento máximo flector, mire la figura 26.

2.3.4.2 Guías lineales del eje X

Con el presente eje, tendrán los parámetros a tomar para el cálculo de las cargas que se encuentran en cada uno de los apoyos de las guías lineales (eje "X"), para determinar dichas fuerzas, preste atención a la figura 27.

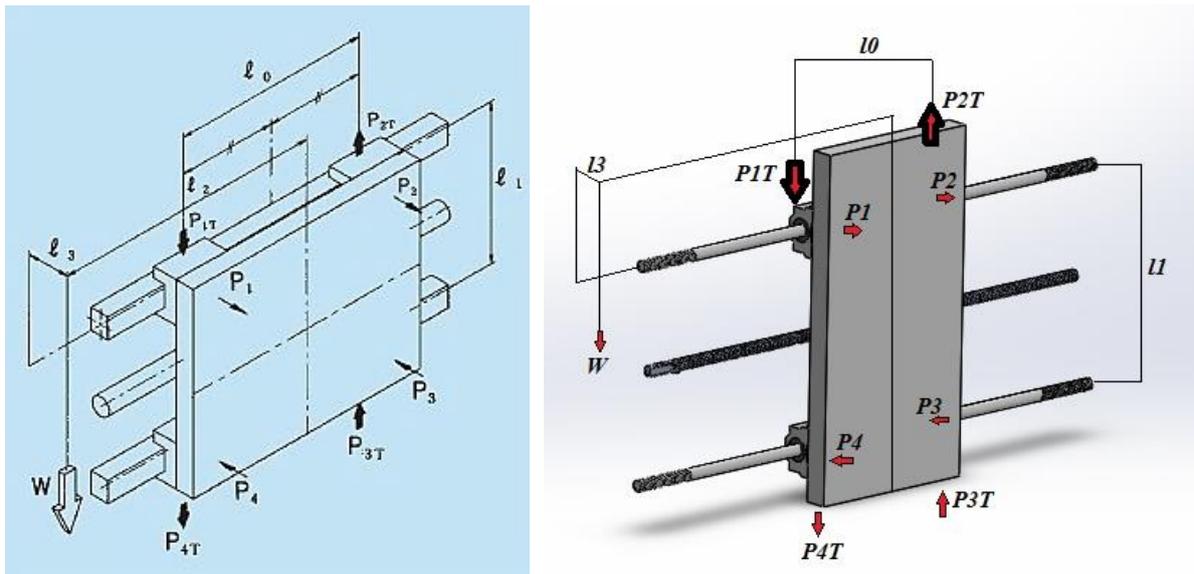


Figura 27. Parámetros para los puntos de apoyo del eje X.

Fuente: [8]

$$P_1 \sim P_4 = \frac{W}{2} * \frac{l_3}{l_1} \qquad P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} * \frac{l_2}{l_0} \qquad P_{2T} \sim P_{3T} = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} * \frac{l_2}{l_0}$$

Ecuación 22. Cálculos de carga del eje X

Fuente: [8]

En el eje X tendrán las siguientes condiciones: longitud y movimiento a una velocidad constante para el diseño del eje, vale aclarar que la longitud l_2 es igual a cero, ya que en este caso la carga total del eje "Z" está situado en el centro de masa del carro horizontal del eje "X", revise la figura 27.

- Tipo de movimiento: Horizontal (de izquierda a derecha)
- Longitud axial entre rodamientos lineales: $l_0=90mm$
- Longitud entre guías lineales: $l_1=150mm$
- Longitud entre la guía y el centro de masa de la carga total en Z: $l_3=27.5mm$

Además, la fuerza resultante en el eje "X", calculada anteriormente incluye el peso total del eje "Z" más la fuerza de corte: $W=Fx$.

Entonces remplazo los datos en la ecuación 22:

$$P_{1\sim P_4} = \frac{124.19N}{2} * \frac{27.5mm}{150mm}$$

$$P_{1\sim P_4} = 11.38N$$

$$P_{1T\sim P_{4T}} = \frac{124.19N}{4} + \frac{124.19N}{2} * \frac{0mm}{90mm}$$

$$P_{1T\sim P_{4T}} = P_{2T\sim P_{3T}} = 31.05N$$

Determine las distancias para los apoyos o rodamientos lineales en el eje "X", para calcular los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector, considere las distancias d1 = 160mm para el primero rodamiento y d2 = 250mm para el segundo rodamiento.

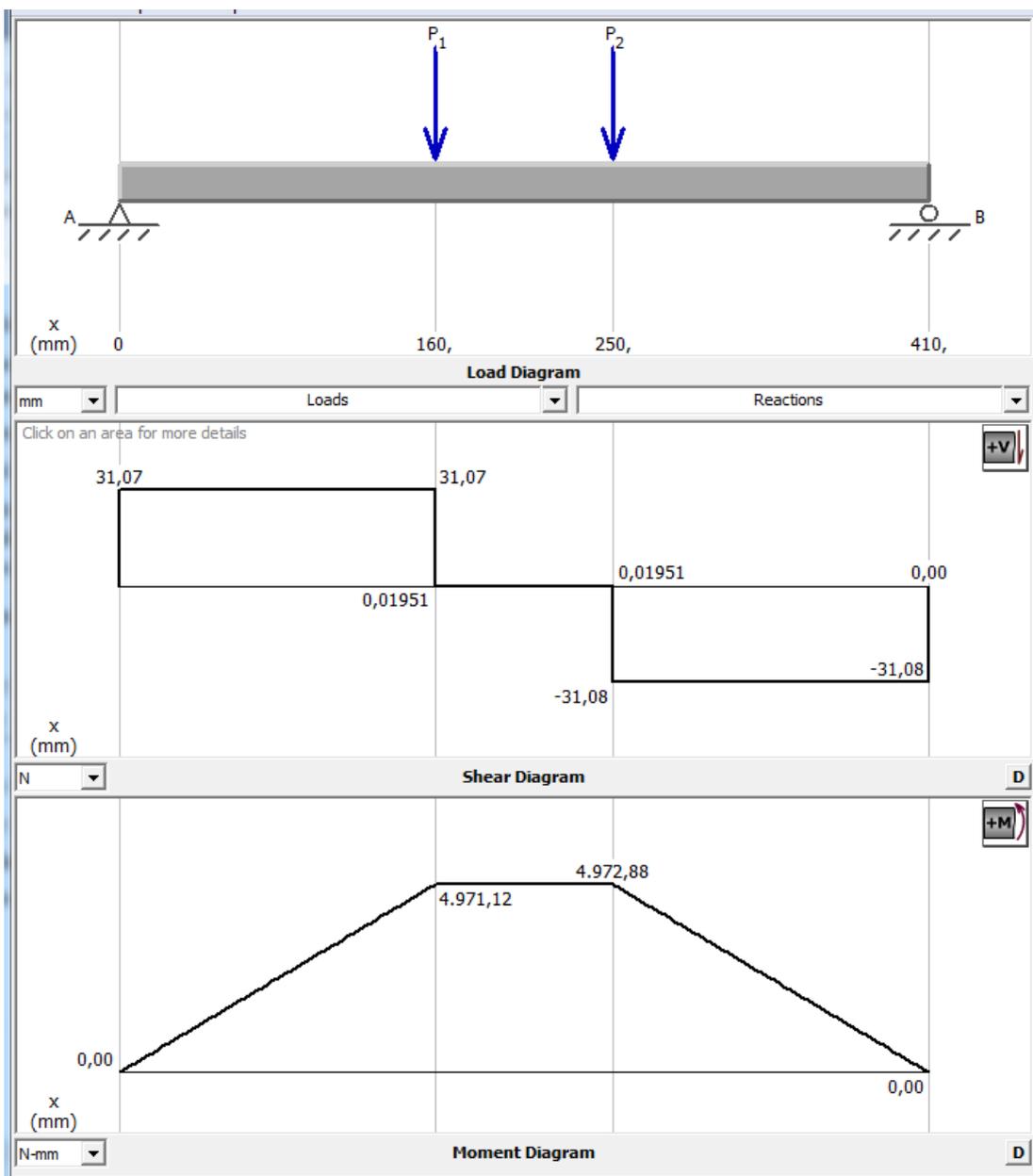


Figura 28. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores del eje X.

Mediante el programa MDSolids, nos facilita encontrar en la primera parte el esfuerzo cortante y en la segunda parte el momento flector máximo el cual nos permitirá saber que eje es el más crítico para determinar el diámetro del eje adecuado, mire la figura 28 con más detalle.

2.3.4.3 Guías lineales del eje Y

Como bien es cierto en la figura 29, 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 del eje “Y”.

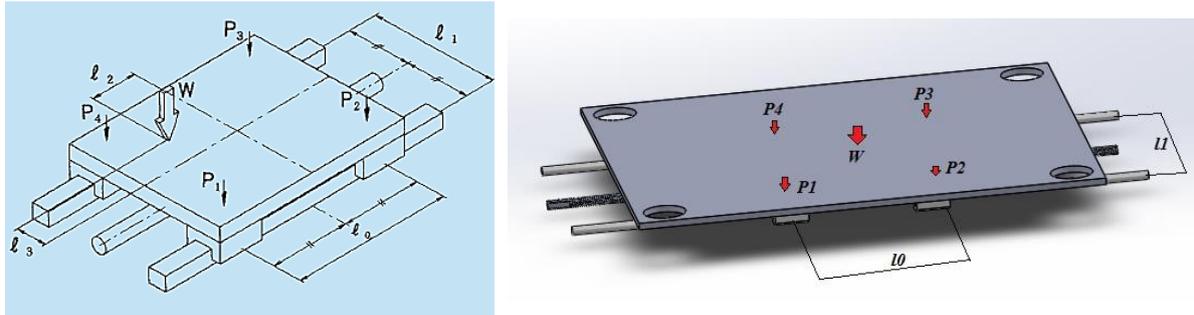


Figura 29. Parámetros para los puntos de apoyo del eje Y.

Fuente: [8]

$$P_1 = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} * \frac{l_2}{l_0} - \frac{W}{2} * \frac{l_3}{l_1} \quad P_2 = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} * \frac{l_2}{l_0} - \frac{W}{2} * \frac{l_3}{l_1} \quad P_3 = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} * \frac{l_2}{l_0} + \frac{W}{2} * \frac{l_3}{l_1} \quad P_4 = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} * \frac{l_2}{l_0} + \frac{W}{2} * \frac{l_3}{l_1}$$

Ecuación 23. Cálculos de carga del eje Y.

Fuente: [8]

Tome en cuenta las siguientes condiciones: longitud y movimiento a una velocidad constante para el diseño del eje, observe en la figura 29 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 del eje “Y”.

- Tipo de movimiento: Horizontal (de izquierda a derecha)
- Longitud axial entre rodamientos lineales: $l_0=117.5mm$
- Longitud entre guías lineales: $l_1=188mm$

La fuerza resultante en el eje “Y”, donde tenemos el peso total de la mesa de trabajo del eje más la fuerza de corte $W=FY$.

Entonces remplazo los datos en la ecuación 23:

$$P_1 = \frac{98.87N}{4} + \frac{98.87N}{2} * \frac{0mm}{117.5mm} - \frac{98.87N}{2} * \frac{0mm}{188mm}$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 24.72N$$

Tome en cuenta las distancias que recorren los apoyos o rodamientos lineales en el eje “Y”, en este caso, es el eje horizontal que realiza el trabajo de grabado en las baquelitas, considerando las distancias $d1 = 191.25\text{mm}$ para el primero rodamiento y $d2 = 308.75\text{mm}$ para el segundo, ilústrese con la figura 30.

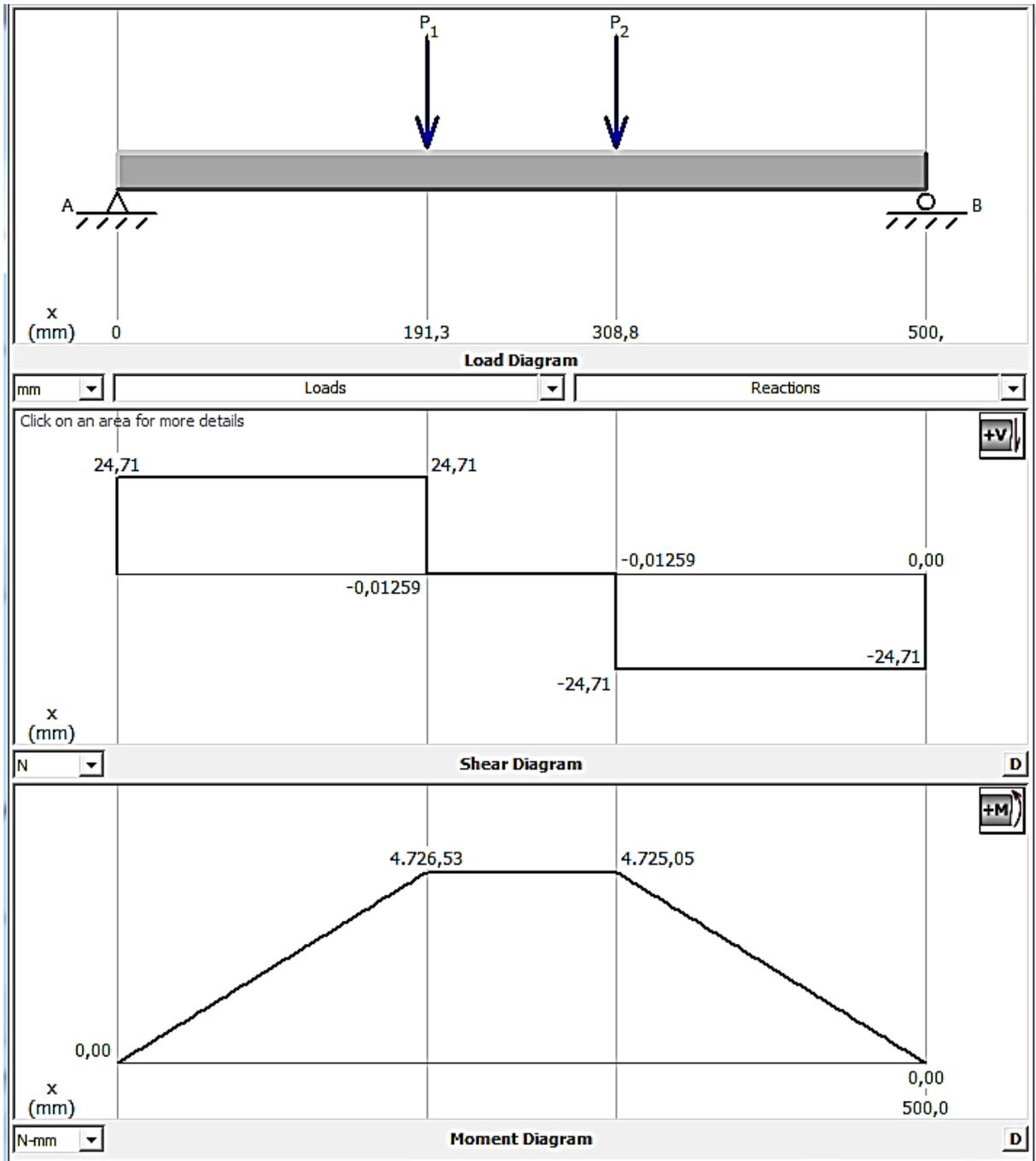


Figura 30. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores del eje Y.

Las gráficas de los diagramas de los esfuerzos cortantes y momentos flectores que se han realizado en el software para el cálculo de diseño llamado MDSolid (Mechanics of Deformable Solids Software), se eligió el momento flector más crítico, en este caso es el “Eje Y”.

En el eje X, es el punto más crítico $M_{\max} = 4.973 Nm^2$, este valor ayudará a encontrar el diámetro mínimo que deben tener cada uno de las guías o ejes lineales.

2.3.4.4 Esfuerzo máximo permisible

Con respecto a la ecuación 8, despeje el factor de seguridad por el esfuerzo máximo permisible.

– Donde:

Material SAE 10-18 eje de transmisión acero inoxidable, el límite de fluencia $S_y = 220MPa$ y un $FS=2$ que es aconsejable para un diseño, pero para abaratar costos debería ser un factor de seguridad de 1.5

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

$$\sigma_{\max} = \frac{220 \times 10^6 Nm^2}{2}$$

$$\sigma_{\max} = 110 \times 10^6 Nm^2$$

De la Ecuación 9, despejamos el diámetro y remplazamos el esfuerzo máximo permisible calculado anteriormente.

– Donde:

Esfuerzo máximo permisible $\sigma_{\max} = 110 \times 10^6 Nm^2$

Momento máximo en el eje “X” $M_{\max} = 4.973 Nm$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times M_{\max}}{\pi \sigma_{\max}}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 4.973 Nm}{\pi \times 110 \times 10^6 Nm^2}}$$

$$d = 7.72 \times 10^{-3} m = 7.72 mm \approx 8 mm$$

El diámetro encontrado sirve para determinar el parámetro mínimo. En la elección del tipo de guías lineales que existen en el mercado, se escogió un diámetro de 8mm, por su costo y disponibilidad en el mercado.

2.3.5 Transmisión de movimiento por una varilla roscada

Los tres ejes de la máquina CNC, están conformados por tornillos sin fin 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 varilla roscada elegida. Este sistema de transmisión se traslada en línea recta en todo el recorrido del tornillo, a continuación, los cálculos principales que se presentan en este sistema de transmisión, que dan movimiento a cada uno de los tres ejes.

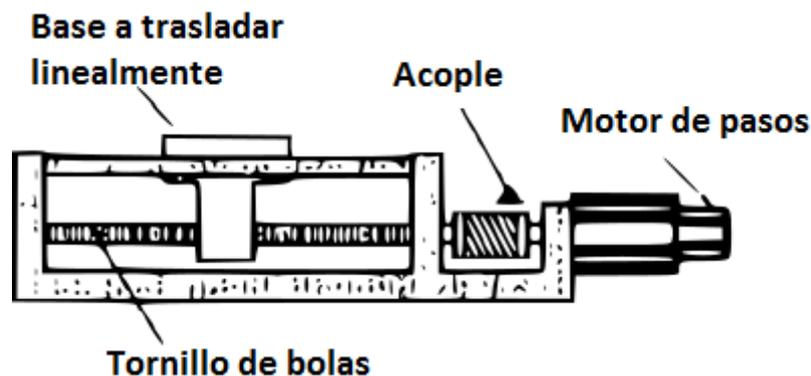


Figura 31. Trasmisión de movimiento por una varilla roscada o tornillo sin fin

Fuente: [8]

- Parámetros del tornillo sin fin según el catalogo
 - Datos:
 - Diámetro de la varilla roscada de 4 hilos $d = 8\text{mm}$
 - Pase de avance del tornillo por una vuelta o revolución $Ph=8\text{mm}$
 - Carga dinámica dada por el fabricante $Ca=7.5\text{kN}$

2.3.6 Vida útil nominal del tornillo sin fin

Para calcular la vida útil nominal del tornillo sin fin escoja la varilla roscada del eje "X" por el punto crítico según los cálculos encontrados donde existe mayor momento máximo flector. Se conocerá el número de revoluciones mediante la ecuación 24, antes de que haya la presencia de signos de fatiga en la superficie del tornillo.

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

Ecuación 24. Vida útil del tornillo

Fuente: [8]

- Donde:
 - Capacidad de carga dinámica (manual del fabricante) $Ca=7.5\text{kN}$
 - Carga que soporta el peso en el eje "X" $Fm = Fx$

Con la información analizada de la vida útil del tornillo sin fin, calcule con la ecuación 24.

$$L_{10} = \left(\frac{7500N}{124.19N}\right)^3$$

$$L_{10} = 220200.86 \approx 2.20 \text{ millones de revoluciones}$$

2.3.7 Velocidad crítica

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

$$n_{cr} = 49 \times 10^6 \frac{mm}{min} \times \frac{f_1 \times d_{var.ros}}{l^2}$$

Ecuación 25. Velocidad crítica del tornillo

Fuente: [8]

– Donde:

La longitud libre que recorrer la varilla roscada $l = 218.42mm$

Diámetro de la varilla roscada $d = 8mm$

El factor de corrección dada por el fabricante $f_1 = 0.66$

Remplazamos en la ecuación 25:

$$n_{cr} = 49 \times 10^6 \frac{mm}{min} \times \frac{0.66 \times 8mm}{(218.42mm)^2}$$

$$n_{cr} = 5423rpm$$

2.3.8 Torque requerido para el motor a pasos

Para determinar el motor a pasos, necesita saber el torque requerido para iniciar el movimiento mínimo de la varilla roscada.

$$T = \frac{F * P_h}{2000 * \pi * n_{mo.ap}}$$

Ecuación 26. Torque requerido para el motor a pasos

Fuente: [8]

– Donde:

La carga máxima $F = Fx$

El paso de avance del tornillo sin fin $P_h = 8mm$

La eficiencia del motor a pasos $n_{mo.ap} = 0.95$

Remplazamos en la ecuación 26:

$$T = \frac{124.19N \times 8mm}{2000 \times \pi \times 0.95}$$

$$T = 0.166 \approx 0.17Nm$$

Nota: El torque que requiere el motor a pasos según los cálculos realizados es un motor nema 17, para esta máquina escoja un motor nema 23 de 1.9Nm por la razón de sus dimensiones y un mejor movimiento para los tres ejes XYZ.

2.3.9 Potencia del motor a fresar

Se determina la potencia necesaria para realizar el movimiento por medio del tornillo sin fin y desplazar la carga, vale aclarar que la siguiente ecuación 27, depende de la velocidad que toma la mesa de trabajo para ser trasladada.

$$P = \frac{\mu \times F \times V}{n_{mo.ap}} \times 10^3$$

Ecuación 27. Potencia del motor a fresar

Fuente: [8]

– Donde:

El coeficiente de fricción $\mu=0.2$

La velocidad de la mesa $V=499.98 \frac{mm}{min}=8.333 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$

Remplazamos:

$$P = \frac{0.2 \times 124.19N \times 8.333 \times 10^{-3} \frac{m}{s}}{0.95} \times 10^3$$

$$P = 217.86 \approx 218W$$

Nota: Como se observa en el cálculo encontrado para la potencia del motor de fresado es de 218w, por motivos de costos se explica a detalle en la tabla 8 y sus especificaciones técnicas se encuentra en el anexo 1 de la página 101, el cual se eligió el motor de 400W a 12000RPM.

2.3.10 Velocidad de trabajo para el fresado

La velocidad de trabajo es la velocidad que debe tomar el tornillo sin fin para realizar un buen grabado, fíjese la ecuación 28. Tomando en cuenta la eficiencia, el desgaste y la estabilidad de los mecanismos de la máquina CNC, al realizar el mecanizado de las baquelitas.

$$N_{mo.ap} = \frac{60 \times P}{2 \times \pi \times T}$$

Ecuación 28. Velocidad de trabajo para el fresado

Fuente: [8]

La potencia y el torque del motor calculada anteriormente como se indica en las ecuaciones 26 y 27, servirán para la velocidad de trabajo del fresado.

– Donde:

Potencia del motor $P = 218W$

Torque del motor $T = 0.17Nm$

Remplazamos en la ecuación 28:

$$N_{mo.ap} = \frac{60 \times 218W}{2 \times \pi \times 0.17Nm}$$

$$N_{mo.ap} = 12245.56 \approx 12245rpm$$

Nota: Con los resultados obtenidos de la velocidad de trabajo para el fresado, se detalla la velocidad requerida del motor para el fresado es de 12245RPM. Como bien es cierto el motor ya elegido a fresar es de 400W y pose una velocidad de 12000RPM, además, se detalla las especificaciones técnicas en el anexo 1 de la página 101.

2.4 Diseño del sistema de control

Se realizará los cálculos para el sistema de control de un motor a pasos a un eje.

2.4.1 Modelado matemático de la máquina CNC

A continuación, se realizará el 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 sin fin por el cual se transmite la fuerza y potencia necesaria para mover cada eje lineal.

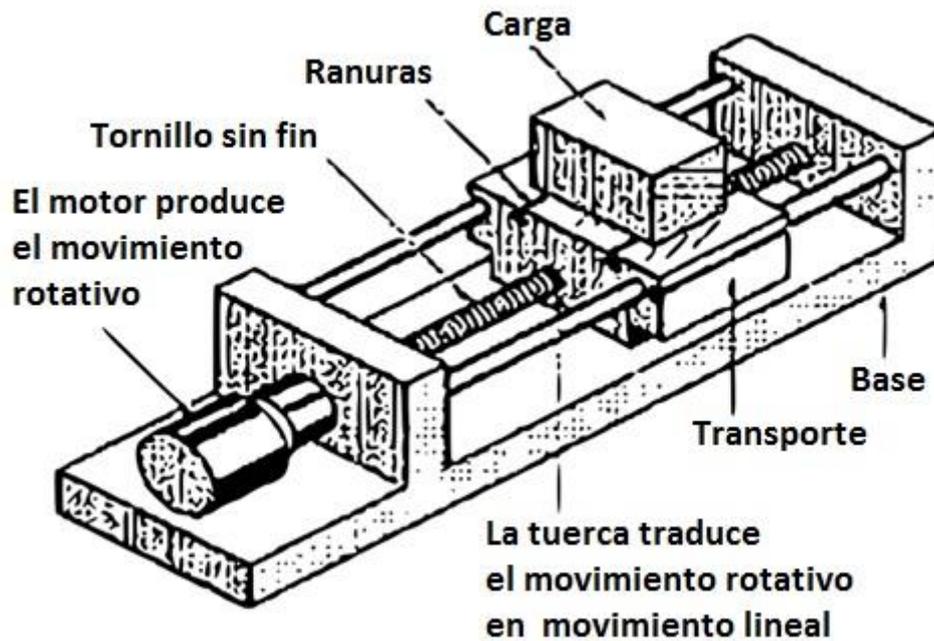


Figura 32. Mecanismo de desplazamiento de un eje

Fuente: [8]

2.4.1.1 Función transferencia para un motor eléctrico DC

Existen muchos estudios y análisis sobre los modelos matemáticos como son los sistemas de control, 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.

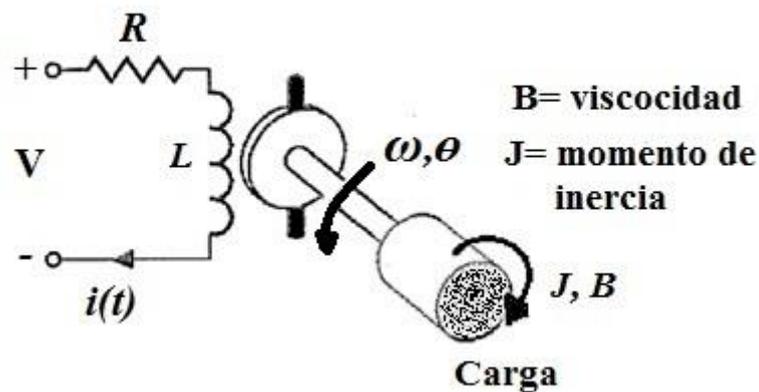


Figura 33. Diagrama electromecánico de un motor DC

Fuente: [43]

Por medio del libro de sistemas de control moderno [44], 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:

15. Torque electromagnético

El torque electromagnético relaciona la corriente de funcionamiento del motor y el par que entrega el motor, siendo “ K_m ” la constante de par proporcional.

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

Ecuación 29. Torque de un motor DC

Fuente: [44]

16. Circuito interno del motor

El voltaje de armadura que se calcula mediante la ecuación 30, está dado por los parámetros eléctricos internos como la resistencia, inductancia, voltaje y corriente que circulan por el circuito y las bobinas del motor.

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

Ecuación 30. Circuito interno de un motor DC

Fuente: [44]

17. Ecuación Mecánica

La ecuación mecánica con el funcionamiento eléctrico del motor es generada por la corriente y voltaje inducido, el cual 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.

$$T_m = (J_s + B)\omega(s)$$

Ecuación 31. Modelo matemático del eje mecánico del motor DC

Fuente: [44]

$$\frac{I_a(s)}{V_a(s)} = \frac{1}{(R_a + L_a s)}$$

Ecuación 32. Función de Tráferencia para la Corriente del Motor DC

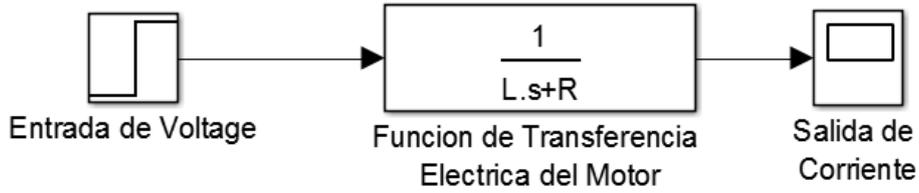


Figura 34. Diagrama de Bloques Corriente del Motor DC Simulink-Matlab

$$\frac{T_m(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{(R_a + L_a s)}$$

Ecuación 33. Función de Tráferencia Torque del Motor DC



Figura 35. Diagrama de Bloques Torque del Motor DC Simulink-Matlab

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{(R_a + L_a s)(J_s + B)}$$

Ecuación 34. Función de Tráferencia Velocidad del Motor DC

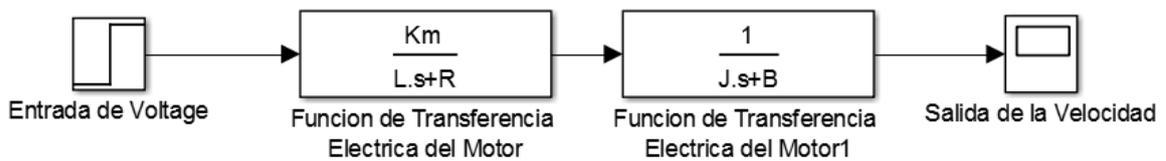


Figura 36. Diagrama de Bloques Velocidad del Motor DC Simulink-Matlab

Existen distintas maneras de representar un modelo matemático, para el funcionamiento y control de un motor eléctrico DC. Mediante las ecuaciones anteriormente vistas se determina una función de transferencia, en este caso se induce un voltaje para arrancar el motor y obtener como salida un par o un torque para el movimiento del tornillo sin fin.

– Características del motor

Voltaje: 3.2VDC

Corriente: 2.8 amperios

Torque: 1.89Nm

Resistencia: 1.13Ω

Inductancia: 0.0054H=5.4Mh

Momento De Inercia: $4.4 \cdot 10^{-5} \text{kgm}^2 = 0.000044 \text{kgm}^2$

Fricción de viscosidad para un sistema rotacional

$$B = \frac{T_m}{\omega(s)}$$

$$B = \frac{T_m}{\omega(s)} = \frac{1.89 \text{Nm}}{3.10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = \mathbf{0.609 \frac{\text{Nm.s}}{\text{rad}}}$$

Constante par torsional

$$km = \frac{T_m}{I_a}$$

Ecuación 35. Constante par torsional

$$km = \frac{T_m}{I_a} = \frac{1.89 \text{Nm}}{2.8 \text{A}} = \mathbf{0.675}$$

Despejando las ecuaciones y reemplazando valores para encontrar la función de transferencia

$$1) V_a(s) = (R_a + L_a s)I_a(s) + V_b(s)$$

$$2) V_b(s) = K_b \omega(s)$$

$$3) I_a(s) = \frac{T_m}{K_m}$$

$$4) T_m = (Js + b)\omega(s)$$

Remplazamos en la ecuación 1 en las ecuaciones 2,3 y 4 para obtener la función de transferencia

$$V_a(s) = (R_a + L_a s)I_a(s) + V_b(s)$$

$$V_a(s) = (R_a + L_a s) \frac{T_m}{K_m} + 0$$

$$V_a(s)K_m = (R_a + L_a s)T_m$$

$$\frac{T_m}{V_a(s)} = \frac{K_m}{(R_a + L_a s)}$$

$$\boxed{\frac{T_m}{V_a(s)} = \frac{0.675}{(1.13 + 0.0054s)}}$$

2.4.1.2 Función transferencia para un tornillo sin fin

El tornillo sin fin 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 [45], 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.

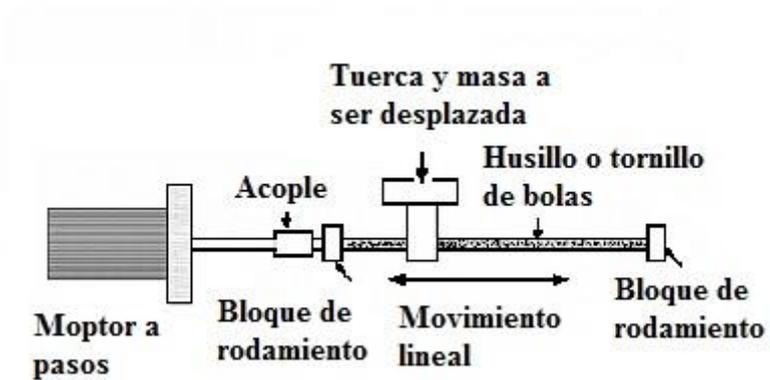


Figura 37. Sistema de rotación (motor)-traslación (tornillo sin fin)

18. Par torsional en un sistema giratorio

El par torsional es un movimiento rotacional, tomando en cuenta la ley de Newton, sabemos que 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 [44].

$$T(s) = Jx\ddot{\theta} + Bx\dot{\theta}$$

Ecuación 36. Torque para un sistema giratorio

Fuente: [44]

19. Inercia para un sistema de rotación – traslación

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

Ecuación 37. Inercia de un sistema giratorio

Fuente: [44]

– Datos:

Masa o carga a ser trasladada=1kg

Paso diametral del husillo=8mm

20. Fricción de viscosa para un sistema rotacional

$$B = \frac{T_m}{\omega(s)}$$

Ecuación 38. Fricción de viscosidad para un sistema rotacional

– Donde:

Torque del motor a pasos $T_m = 1.89\text{Nm}$

Velocidad angular del motor $\omega = 4.74 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Para obtener la función de transferencia del sistema (motor-tornillo sin fin) se realiza los siguientes cálculos.

– Reemplazamos la ecuación.36 a las ecuaciones 37 y 38.

$$T(s) = Jx\theta s^2 + Bx\theta s$$

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

$$\frac{\theta}{T(s)} = \frac{1}{\left[M \left(\frac{L}{2\pi} \right)^2 s^2 + \frac{T_m}{\omega(s)} s \right]}$$

$$\frac{\theta}{T(s)} = \frac{1}{\left[0.109 \left(\frac{8 * 10^{-3}}{2\pi} \right)^2 s^2 + \frac{1.89}{4.74} s \right]}$$

A través del remplazo de la ecuación 36 a las ecuaciones 37 y 38 se obtuvo la función de transferencia para el tornillo sin fin.

$$\frac{\theta}{T(s)} = \frac{1}{(16.36s^2 + 0.399s)}$$

2.4.1.3 Función transferencia de la tuerca

La tuerca del tornillo sin fin es el que determina el desplazamiento lineal de la mesa y la carga por medio del número de vueltas o revoluciones en la varilla roscada.

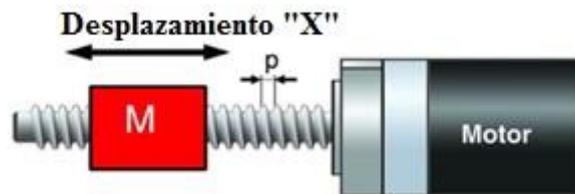


Figura 38. Desplazamiento de la tuerca

Para el desplazamiento se tiene los siguientes parámetros del tornillo y la tuerca, indica que, por una revolución del tornillo, la tuerca se desplaza 8mm.

– Desplazamiento lineal

$$X(s) = 8\text{mm}$$

– Desplazamiento angular

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

Función de transferencia para la tuerca

$$\frac{X(s)}{\Theta(s)} = \frac{8}{2\pi}$$

$$\frac{X(s)}{\Theta(s)} = 1.273$$

2.4.1.4 Resultados del sistema del diseño de control

A continuación, se muestra el diagrama de bloques general del sistema de control a ser controlado por medio de Simulink Matlab.

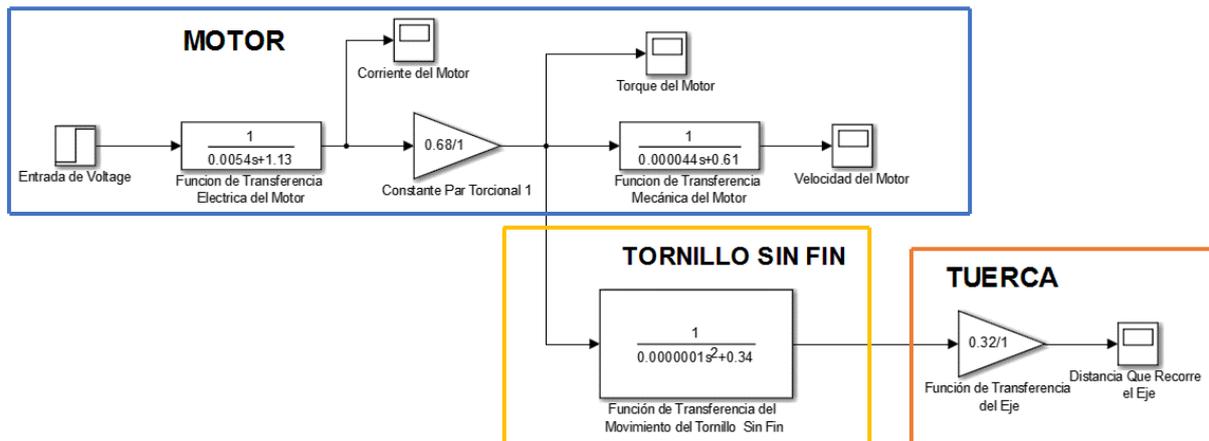


Figura 39. Diagrama de bloques Simulink-Matlab del sistema general

21. Potencia del motor de pasos

$$P = ixV$$

Ecuación 39. Potencia del motor

Fuente: [46]

– Donde:

i : Corriente del funcionamiento del motor

V : Voltaje del funcionamiento del motor

Entonces reemplazamos los valores en la ecuación 39

$$P = 2.8A \times 3.2V$$

$$P = 8.96W$$

22. Velocidad angular del motor

$$P = Tx\omega$$

Ecuación 40. Velocidad angular del motor

Fuente: [19]

– Donde:

P : Potencia del motor

T : Torque del motor

Despejamos la velocidad angular de la ecuación 40 y remplazamos los valores anteriormente mencionados.

$$\omega = \frac{8.96w}{2.89Nm}$$
$$\omega = 3.100 \frac{ras}{s}$$
$$\omega = 29.60 \sim 30RPM$$

23. Graficar las funciones de transferencia

A través de las funciones de transferencia obtenidas, ingresamos los diagramas de bloque en Simulink-Matlab para graficar el torque y la corriente con el motor que se está utilizando.

- Al ingresar el voltaje de 3.2VDC en Simulink-Matlab se obtiene en las gráficas, una corriente de 2.8 amperios con un torque 1.89Nm y una vuelta completa recorre 8mm.

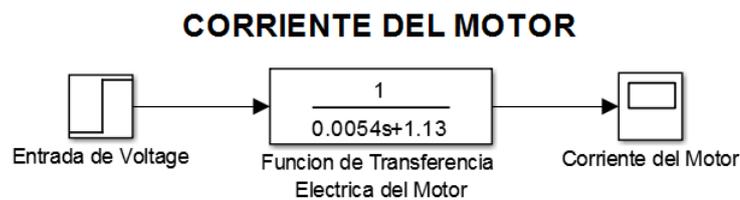


Figura 40. Diagrama de Bloques de la Corriente del motor DC

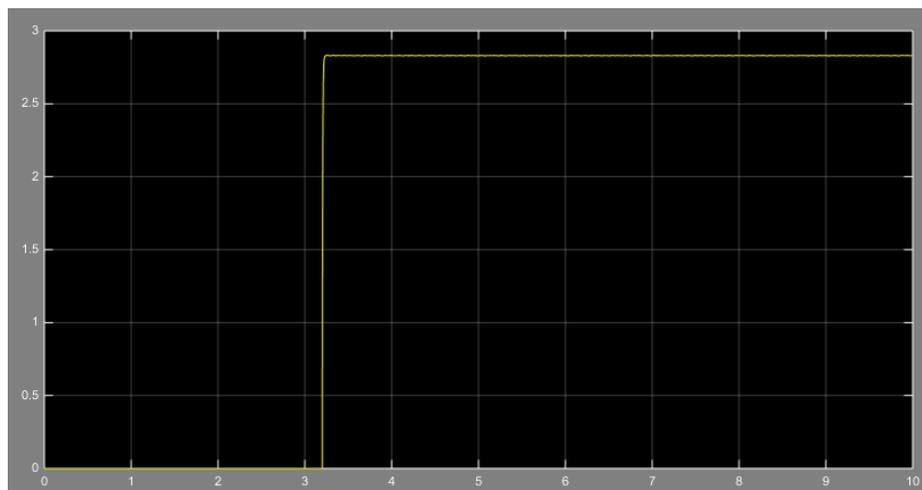


Figura 41. Corriente del motor de 2.9 amperios

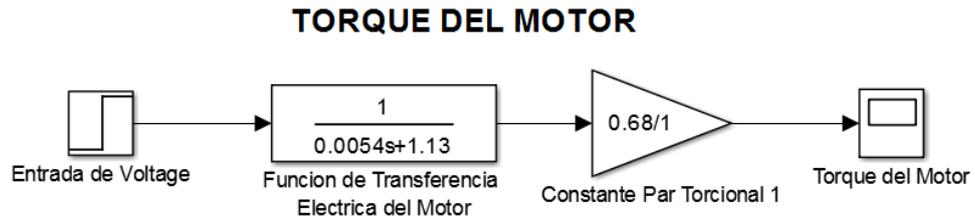


Figura 42. Diagrama de Bloques Torque del Motor DC

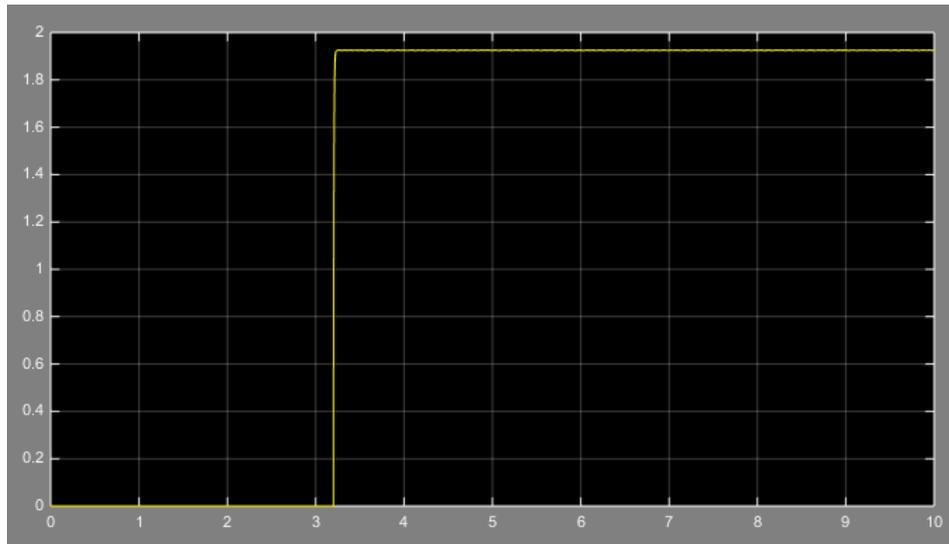


Figura 43. Torque del Motor 1.9Nm

2.5 Procesos de construcción

El diagrama de flujo ayuda a interpretar los pasos que se necesita hacer un mecanizado de una baquelita.

2.5.1 Diagramas de procesos

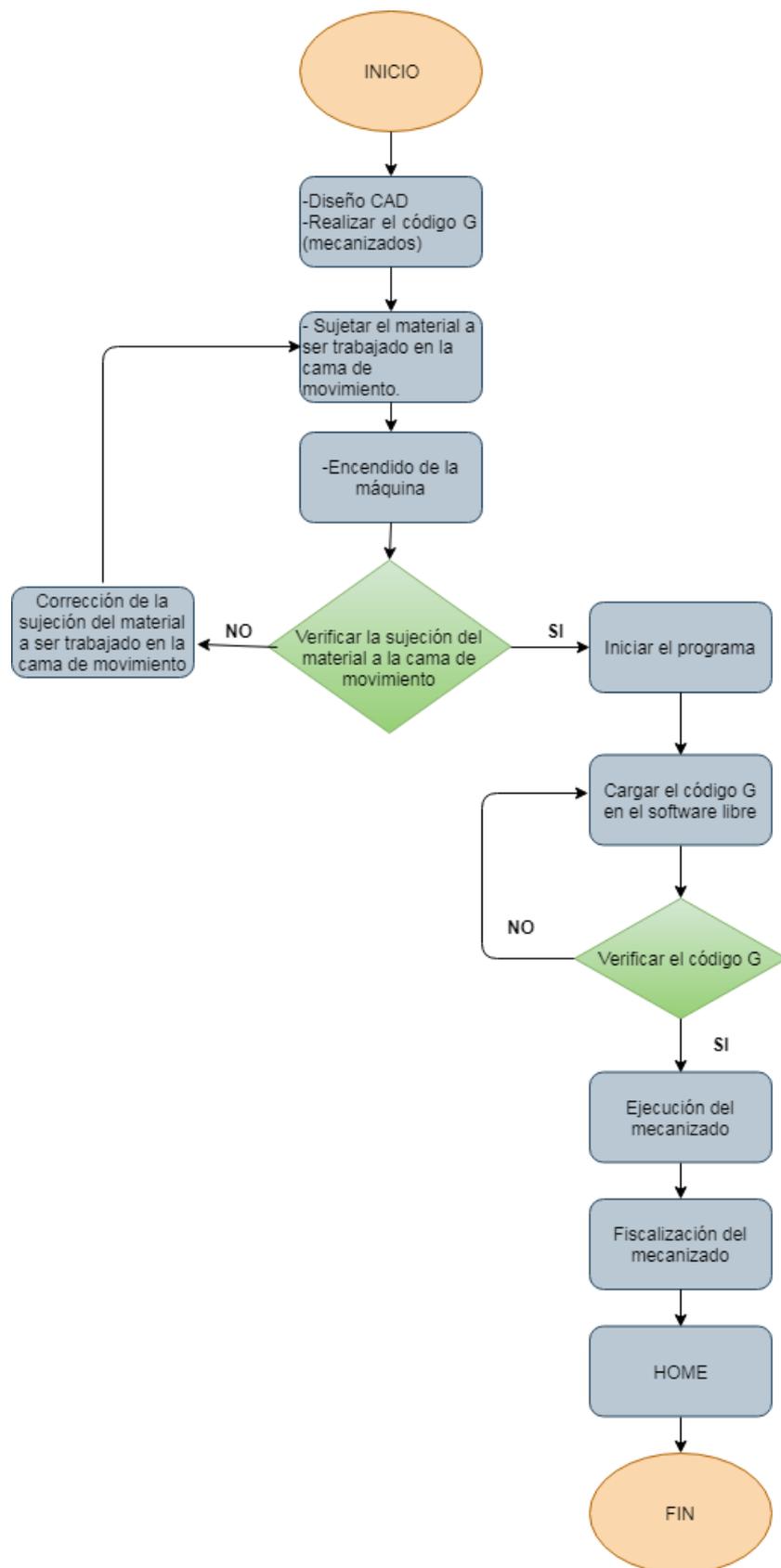


Figura 44. Diagrama de flujo

CAPITULO III

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Ensamblaje

Con la ayuda de SolidWorks se diseñó las partes de la máquina CNC y se ensambló.

3.1.1 Simulación de la estructura

Para la simulación de la estructura se utilizó la simulación estática de SolidWorks

3.1.1.1 *Análisis por el método de los elementos finitos*

Para el análisis de la estructura de la máquina CNC, nos apoyamos 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.

- La estructura es sometida a un estudio estático que comprende la configuración de soportes o apoyos de esta, componiéndose de una sujeción de geometría fija en la base de la máquina, mire la figura 45.

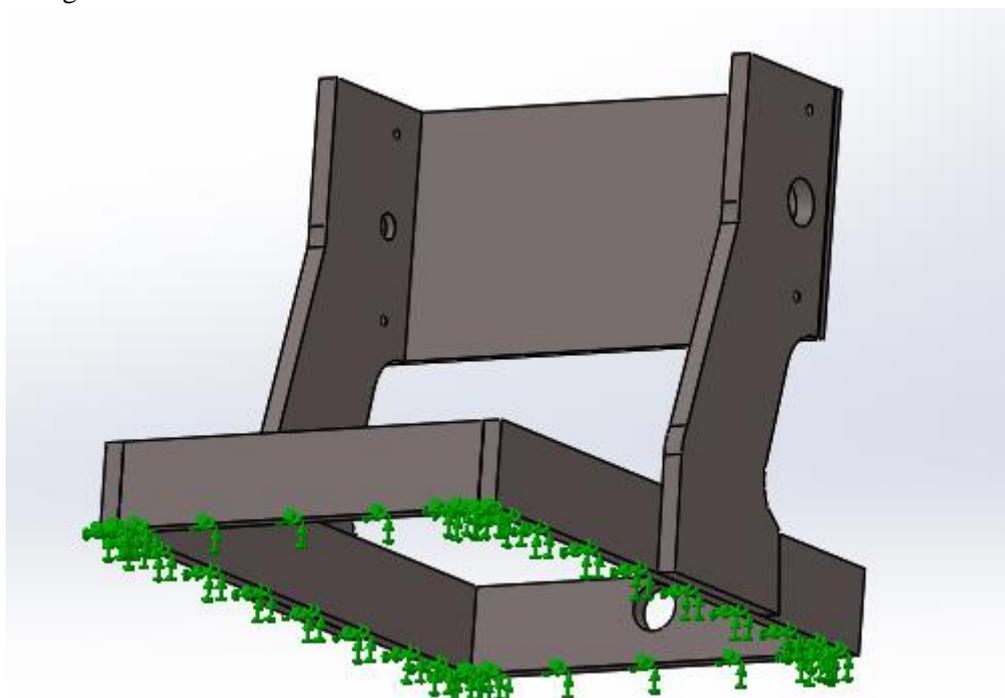


Figura 45. Estudio en SolidWorks, sujeción geométrica fija

- Se aplicó una fuerza de 250 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, la principal razón es que el cabezal soporta dos ejes XZ, ilústrese con la figura 46.

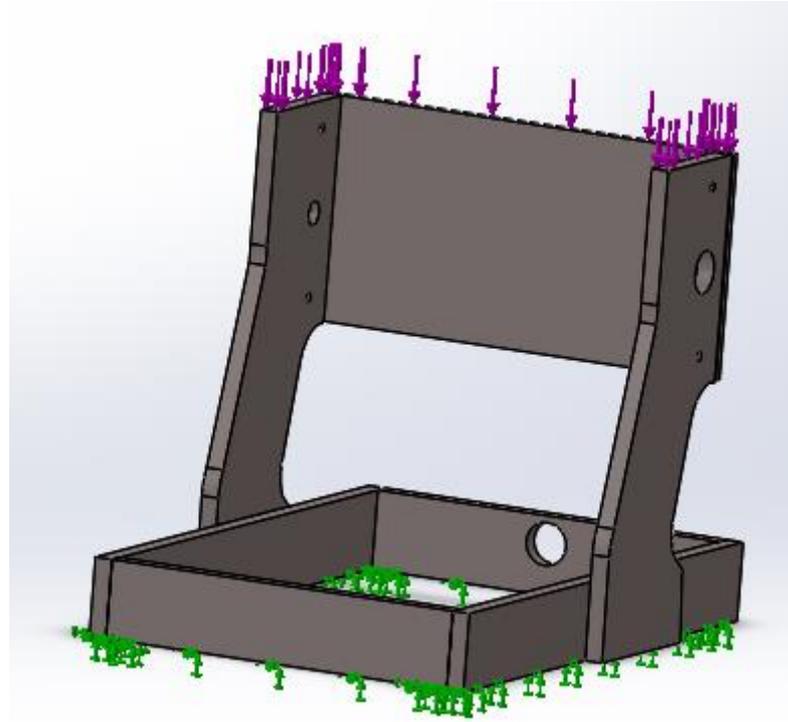


Figura 46. Aplicación de la fuerza al cabezal

En las siguientes imágenes se podrá estimar los puntos críticos y máximos a tomar en cuenta del diseño de la estructura, como se observa en la figura 47, la cual está configurada con el material utilizado para su construcción que en este caso es el MDF que tiene un límite elástico de 25MPa.

Se ha elegido un tipo de malla sólida 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.

- Malla solida estándar con un total de **18182** nodos y **9368** elementos aproximadamente en el análisis.

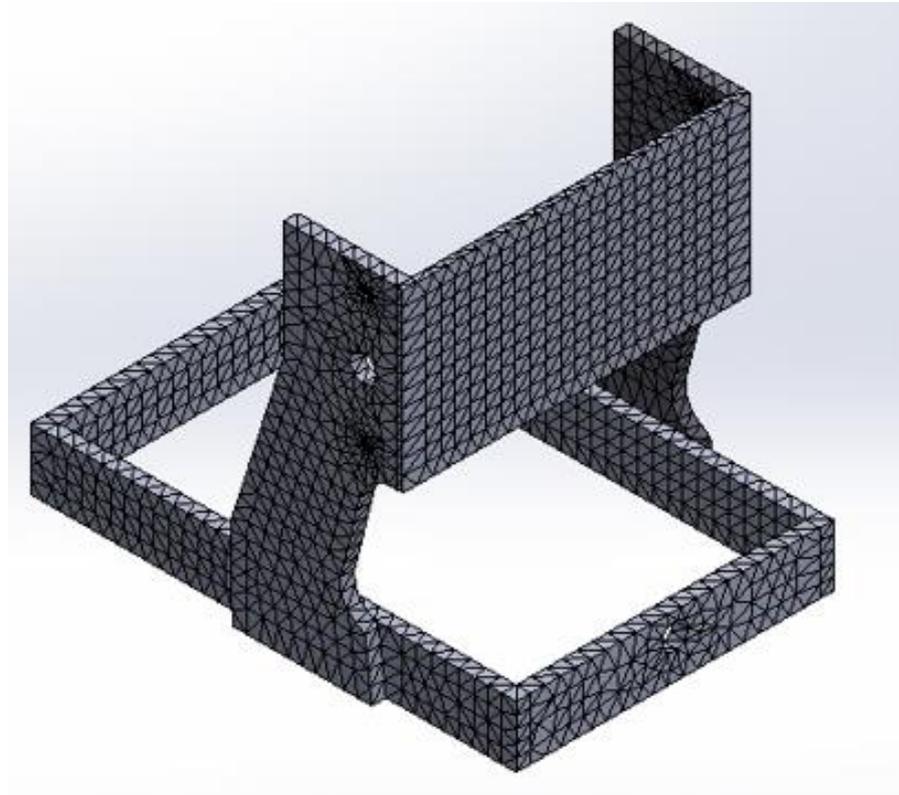


Figura 47. Creación del mallado

- La tensión máxima de deformación de Von Mises = **1.691 MPa**, en otras palabras, es el esfuerzo máximo que puede soportar la estructura en el punto crítico mostrado con falla elástica, fíjese en la figura 48.

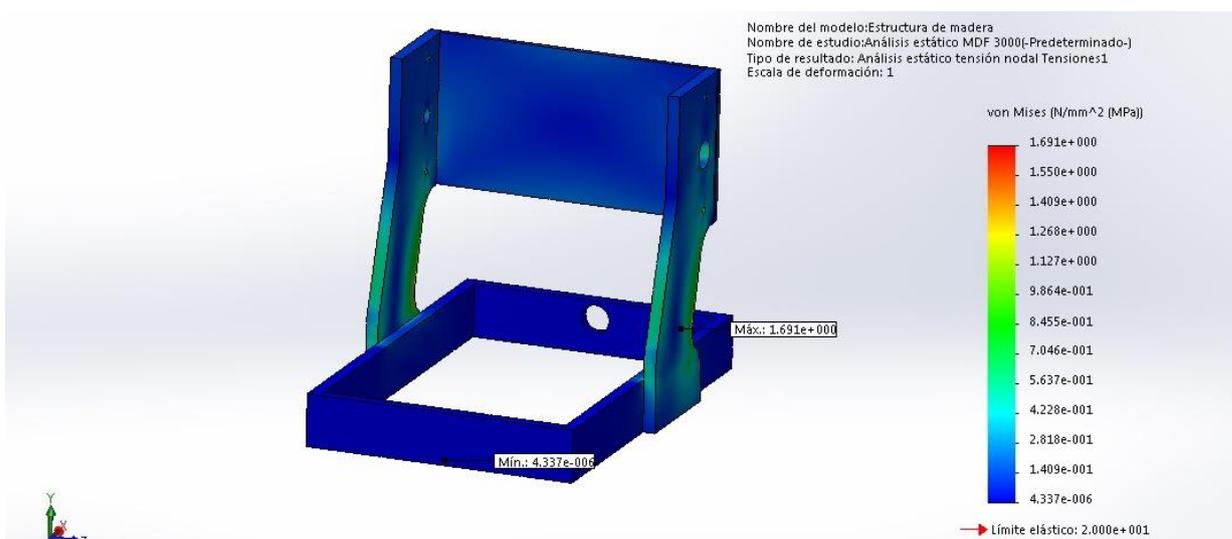


Figura 48. Tensión de Von Mises

- Gracias a este estudio mediante el análisis que nos facilita el software SolidWorks podemos identificar un factor de seguridad mínimo con el criterio de Von Mises. Con la simulación estática nos da un factor mínimo de 12 esto quiere decir que la máquina está exagerando utilizando datos no reales esto ya viene por *default*, este dato se puede manipular con facilidad con las herramientas de SolidWorks ingresando los datos reales, este FDS es ingresado con el valor de 2 o 1.5 para abaratar costos con el fabricante, por tal razón al momento de simular la estructura con los datos reales la estructura cambia de color rojo a color azul.

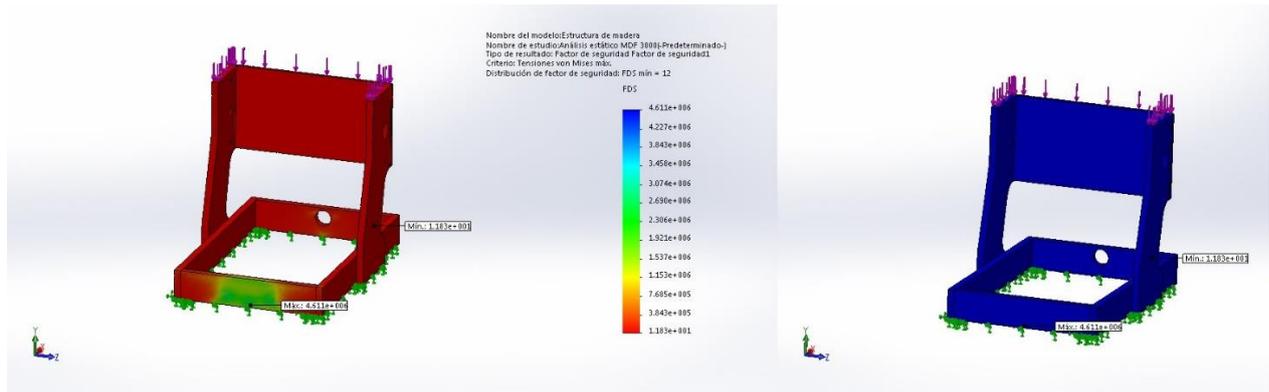


Figura 49. Factor de seguridad

3.1.2 Máquina armada

Con la facilidad de SolidWorks se diseñó la máquina por completo con todos sus componentes.

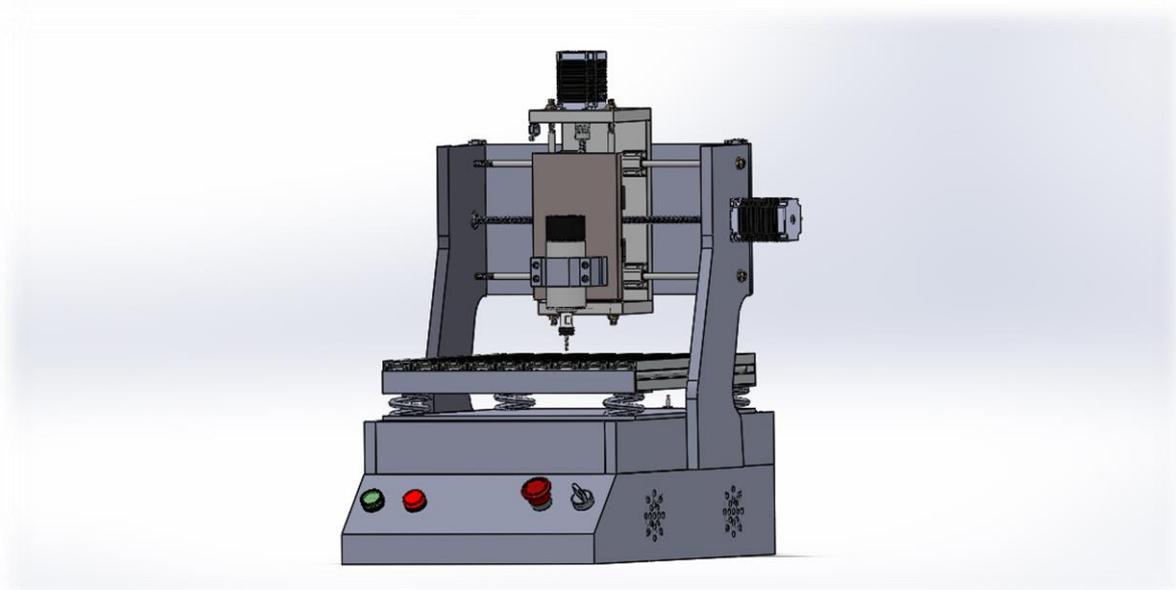


Figura 50. Máquina completamente armada

3.2 Pruebas de funcionamiento

Pruebas hechas con el material a desbastar o a ser trabajado como son las baquelitas para hacer circuitos impresos.

3.2.1 Baquelita

Realizamos las siguientes pruebas con diferentes diseños de circuitos.

3.2.1.1 Prueba 1

Prueba de funcionamiento con un circuito diseñado en Eagle, véase en la tabla 10 los parámetros para perforar y desbastar, además, en la figura 51 se observa el grabado del circuito impreso.

Tabla 10. Prueba 1 grabado de un circuito

Velocidad de avance mm/s	Velocidad de avance %	Velocidad del husillo RPM	Velocidad de corte mm/s	Fresa
75mm/s	50	1000	30	Fresa en V 0.1mm a 10° grabado Broca cilíndrica de 1.2mm taladrado

Nota: Para un mejor acabado la velocidad de avance de un 100% se redujo a un 50%.



Figura 51. Grabado de un circuito

3.2.1.2 Prueba 2

Prueba de funcionamiento para el corte del marco del circuito, guíese en los parámetros de corte en la siguiente tabla 11, se observa con más detalle el trabajo hecho por la máquina en la figura 52.

Tabla 11. Corte del marco del circuito

Velocidad de avance mm/s	Velocidad de avance %	Velocidad del husillo RPM	Velocidad de corte mm/s	Fresa
75	20	1000	30	Fresa cilíndrica 2 mm corte

Nota: Para un mejor acabado la velocidad de avance de un 100% se redujo a un 20%.

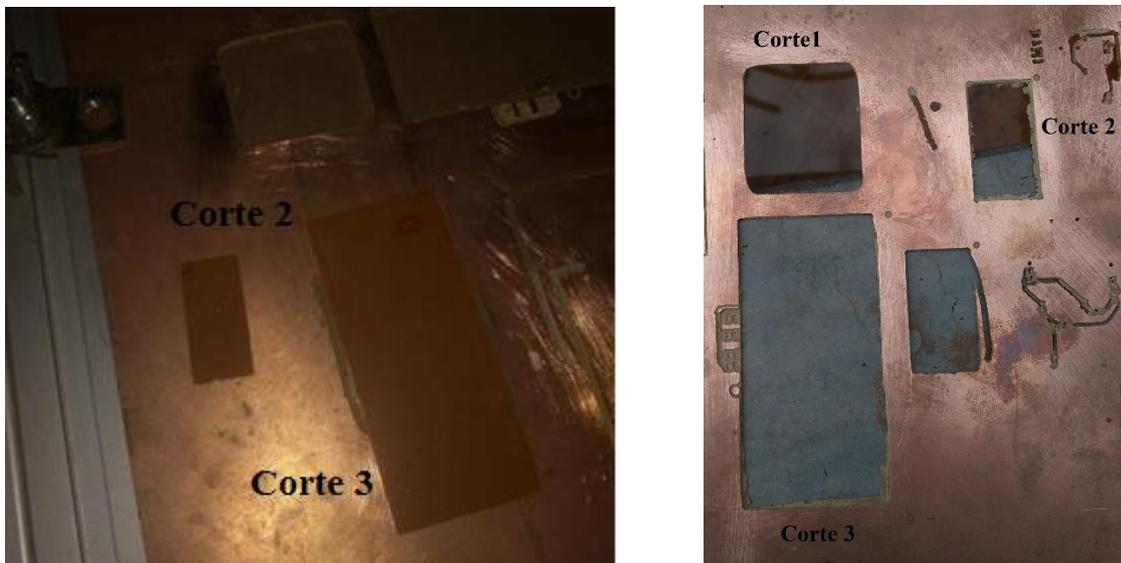


Figura 52. Corte del marco del circuito

3.2.1.3 Prueba 3

Grabado, perforación y corte de un circuito, fíjese en la tabla 12 los parámetros a seguir, en cambio en la figura 53 se observa los trabajos realizados por la máquina.

Tabla 12. Grabado, perforación y corte

Velocidad de avance mm/s	Velocidad de avance %	Velocidad del husillo RPM	Velocidad de corte mm/s	de Fresa
75	50	1000	30	Fresa en V 0.1mm a 10° grabado
				Broca cilíndrica de 1.2mm taladrado
75	20	1000	30	Fresa cilíndrica 2 mm corte

Nota: Grabado, taladrado y corte se utiliza diferentes porcentajes de avance para un mejor acabado



Figura 53. Grabado, perforación y corte

3.3 Presupuesto de inversión

Para la construcción de la máquina, se realizó el costo de inversión de cuanto costo hacer la maquina desde cero.

3.3.1 Materiales directos

En la tabla 10, nos ayuda detallando el costo total para los materiales directos que necesito la máquina para su construcción.

Tabla 13. Materiales directos

Nº	RUBRO / DESCRIPCIÓN	CANTIDAD/UNIDAD	PRECIO
1	Kit de motores nema 23/1.9Nm paso/3. 3ª (5 motores)	1	200,00
2	Kit CNC (tarjeta USB/puerto paralelo/driver 5A-24 a 36Vdc)	1	820,00
3	Kit de brocas en V y perforación	1	40,00
4	Baquela 20*30	5	10,00
5	Varilla roscada de 8mm	6	100,00
6	Varilla lisa eje de transmisión acero inoxidable	2,3m	20,00
7	Kit tablas para piso flotante	1	40,00
8	Tuercas, pernos, tornillos rodela	100	30,00
9	Cinta doble fas	1	3,00
10	Cinta termo-encogible diferentes diámetros (2,3,4,5 y 10mm)	5m	5,00
11	Luz piloto de colores	4	10,00
12	Cable flexible de colores	55m	15,00
13	Cable multifilar flexible #22 AWG	6m	6,00
14	Pulsador 22mm metálico hongo rojo con giro (paro de emergencia NC)	1	5,00
15	Selector 22mm metálico 2 posiciones NO	1	3,00
16	Cable concéntrico de 4 hilos #18 AWG	3m	3,00
17	Cable de poder PC	1	5,00
18	Switch led rojo on/off	1	2,00
19	Conector cable de poder	1	1,00
20	Kit fuentes de poder 12/36/48 motor Spindle y un driver	1	200,00
21	Conector de consola para 4 hilos	3	8,00
22	Kit rodamientos lineales, chumaceras y finales de carrera	1	60,00
23	Manguera espagueti varios diámetros (7/10/15mm)	10m	15,00
24	Dados para tornillo sin fin	6	30,00
25	Plancha acrílica 36x55	1	20,00
26	Plancha de aluminio	1	30,00
27	Divisores Interiores de oficina	1	35,00
28	Brocas para vidrio kit 10 unidades	1	15,00
29	Resortes	8	13,00
30	Roscas, tornillos y rodela	42	4,89

31	Canaleta ranurada 25x25 color gris	1	5,00
32	Tol de aluminio 4mm 56x36	1	28,50
33	Tol de aluminio 1mm 20x30	1	4,00
34	Angulo soporte para el área de trabajo	4	2,00
35	Conector de consola para 4 hilos	3	8,00
36	Perfil Aluminio Divisor de Oficina	1	32,32
37	Perfil Aluminio Angulo	1	21,25
38	Broca de vidrio	1	14,50
39	Ancla Angulo de aluminio	1	25,00
40	Amortiguadores	4	5,00
Total			1847,64

3.3.2 Materiales indirectos

Los materiales indirectos es todo aquello que necesita la máquina al omento de armarse, como nos describe la tabla 11.

Tabla 14. Materiales indirectos

Nº	RUBRO / DESCRIPCIÓN	CANTIDAD/UNIDAD	PRECIO
1	Llave #10,13 y 17	3	5,00
2	Pistola de silicona caliente grande	1	7,74
3	Estaño carrete diámetro 1,5mm 250 gramos	1	11,39
4	Impresora	1	200,00
5	Computadora	1	600,00
6	Kit de destornilladores	1	4,25
7	Lima	1	3,12
8	Broca acero 12mm	1	4,73
9	Resma de papel	2	10,00
Total			846,23

3.3.3 Mano de obra directa

La mano de obra directa es todo aquello que se necesita la ayuda de otras personas para la construcción de la máquina, mire la tabla 12.

Tabla 15. Mano de obra directa

Nº	RUBRO / DESCRIPCIÓN	CANTIDAD/UNIDAD	PRECIO
1	Mano de obra estructura de madera	1	100,00
2	Mano de obra estructura metálica	1	50,00
3	Mano de obra conexiones eléctricas del tablero	1	120,00
4	Torno corte de varilla roscada	3	15,00
5	Mano de obra torno	1	60,00
6	Cepillado de plancha de aluminio de 4mm	1	20,00
7	Cambios en el diseño de la estructura y arreglo de cableado	1	60,00
8	Mano de obra para desbastar la plancha de aluminio a nivel	1	30,00
9	Impresión 3D	9	50,00
10	Mano de obra cambios en la estructura de madera	1	40,00
	Total		545,00

3.3.4 Gastos generales de fabricación / mano de obra indirecta

Con la tabla 13, nos indica el costo total de la mano de obra indirecta, es todo aquello que se necesita en la máquina y, pero no va en la construcción de ella.

Tabla 16. Mano de obra indirecta

Nº	RUBRO / DESCRIPCIÓN	PRECIO
1	Impresiones de planos y tesis	50,00
2	Comida	80,00
3	Internet	40,00
4	Transporte	160,00
5	Investigación	40,00
6	Varios	50,00
	Total	420,00

3.3.5 Costo total

Costo total de inversión que se necesitó para la construcción de la máquina, guíese con la siguiente tabla 14.

Tabla 17. Costo total

N°	COSTO TAL	COSTO
1	Materiales Directos	1847,64
2	Materiales Indirectos	846,23
3	Mano de Obra Directa	545,00
4	Mano de Obra Indirecta / Gastos Generales Financieros	420,00
	Total	3658,87

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La máquina diseñada cumplió con los requisitos de diseño como es el área de trabajo, sus dimensiones, por su bajo costo y su tamaño portátil fácil de transportar a cualquier sitio.
- El *software* SolidWorks permitió validar el diseño mecánico de la máquina, obteniendo una estructura y un factor de seguridad adecuado, con el cual fue diseñada la maquina CNC en este caso el material utilizado es MDF para piso flotante.
- El sistema de control implementado permitió manipular y controlar los motores y así lograr tener un movimiento apropiado con el tornillo sin fin y la fresadora para conseguir un mejor acabado en las placas.
- Se decidió utilizar el software Match 3 por ser un software libre, su interfaz amigable con el usuario y de fácil control.
- Las pruebas de funcionamiento permitieron demostrar que, a pesar de obtener un mejor desempeño correcto en el grabado, se debe reducir la velocidad del avance para mejorar el acabado y el corte de las placas.

Recomendaciones

- Se debe implementar un Joystick para controlar el eje Z y así lograr tener un movimiento más suave al momento de obtener el dato del cero pieza.
- Se lograría trabajar con materiales más duros como es el hierro y el acero, implementando un motor de fresado más fuerte con mayor torque a menor velocidad.
- Se optaría tener varios cabezales donde se pueda conectar fácilmente una impresora 3D o un láser para grabado.
- Se podría aumentar uno o dos ejes más para trabajos más complejos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. E. Canga Pérez y B. A. Lamiña Chicaiza, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC DE 3 EJES PARA EL RUTEADO DE PISTAS Y TALADRADO DE CIRCUITOS IMPRESOS (PCBs) POR EMC2, APLICABLE EN TARJETAS DE RECUPERACIÓN DE PLCs,» 2016. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5827/1/85T00409.pdf>.
- [2] J. C. Galarza Galarza y M. A. Dávila Sacoto, «Diseño y construcción de un taladro XYZ controlado por microcontrolador con interfaz gráfica mediante LabView para la fabricación de circuitos impresos,» 1 Enero 2010. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/384>.
- [3] D. R. Arévalo Moncayo y D. C. Hermosa Ocampo, «Diseño y construcción de una protipadora CNC que realiza el ruteo de pistas y el taladrado de circuitos impresos utilizando procesamiento de imágenes en Labview,» 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8749>.
- [4] D. E. Herrera Anda y Y. H. Liang, «Diseño y construcción de una máquina para la elaboración de circuitos impresos basado en control numérico computarizado,» 3 Agosto 2012. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4821>.
- [5] J. P. Encalada Sotomayor, «Propuesta para la creación de un laboratorio de elaboración de placas electrónicas en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil,» 8 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1852>.
- [6] J. E. Gaibor Puente y C. J. Carrión Paladines, «Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,» 27 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4965>.
- [7] J. A. Maldonado Tituaña, «Construcción de una maquina impresora de circuitos impresos para el laboratorio de automatización industrial de la carrera de ingeniería Mecatrónica,» 15 Junio 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4616>.
- [8] J. F. Campoverde Piñan , «Máquina (CNC) de control numérico computarizado de 3 ejes para el grabado de placas conmemorativas implementado en el Taller de Joyería Campoverde,» 16 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7479>.
- [9] M. Riquelme García , «Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas,» 21 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.upct.es/handle/10317/4393>.

- [10] Grupo Carman, «Mecanizado por arranque de viruta,» 16 Abril 2014. [En línea]. Available: <http://grupocarman.com/blog/mecanizado-por-arranque-de-viruta/>.
- [11] M. A. Silva Fur y T. Choque Condori, «Diseño e implementación de un sistema de control numérico por computadora de una fresadora de madera en tres dimensiones,» 26 Enero 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4276>.
- [12] ON, «Cómo funciona la Fresadora CNC,» 8 Mayo 2013. [En línea]. Available: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc>.
- [13] Victor, «Qué es la Raspberry Pi,» 12 Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://muyraspi.blogspot.com/2013/02/que-es-la-raspberry-pi.html>.
- [14] Seba, «Análisis del simulador PCBWizard + Livewire,» 13 Abril 2011. [En línea]. Available: <http://proyectosconarduino.blogspot.com/2011/04/analisis-del-simulador-pcbwizard.html>.
- [15] S. Kalpakjian, *Manufactura, ingeniería y tecnología*, México: Quinta Edición, 2008.
- [16] F. Cuestas, «Velocidad de corte,» 15 Octubre 2012. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/FernandooCuestas/velocidades-decorte3>.
- [17] R. G. Budynas y N. J. Keith, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, México: Octava edición, 2008.
- [18] J. Falcón, «Esfuerzo Combinado Fallas,» 2010. [En línea]. Available: <https://studylib.es/doc/3178281/esfuerzo-combinado-fallas>.
- [19] M. Robert L, *Diseño de elementos máquinas*, México: Cuarta Edición, 2006.
- [20] N. Robert. L, *Diseño de máquinas*, México: Cuarta edición, 2004.
- [21] M. F. Cifuentes Molano y J. S. Jaramillo Blandón , «Diseño de un sistema de manufactura automática para circuitos impresos,» 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/5716>.
- [22] E. A. Carrillo Rivera, «Diseño y construcción de una fresadora de control numérico computarizado con movimientos en tres ejes,» 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/680>.
- [23] R. R. Chang Papa, «Diseño e implementación de una máquina fresadora CNC para la fabricación de placas de circuitos impresos,» 29 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/1117>.
- [24] . M. D. Chiliquinga Malliquinga y W. M. Jara , «Diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea con control de calidad para prácticas de FMS en el Laboratorio de CNC,» Enero 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11963>.

- [25] N. V. Carreón Tejeda, «Uso de software Proteus 8 profesional,» 27 11 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/INTRONora/investigacion-formato-aparato-critico-uso-de-proteus-professional-8>.
- [26] A. K. Rios Rocha, «VISUALIZACIÓN REMOTA DE SIGNOS VITALES,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/9454/Tesis%20%281%29.pdf?sequence=3>.
- [27] E. . R. Ramírez Camarillo, «Comparativa de Software para diseño de PCBs,» 15 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://www.hetpro-store.com/TUTORIALES/disenio-de-pcb/>.
- [28] S. De Luz, «Conoce EasyEDA, un completo software de simulación de circuitos y diseño de PCB online,» 2016 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/2016/02/19/conoce-easyeda-un-completo-software-de-simulacion-de-circuitos-y-diseno-de-pcb-online/>.
- [29] Marisol, «Las ventajas y desventajas del programa illustrator,» 6 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://ilustratorperspectiva.blogspot.com/2014/02/las-ventajas-y-desventajas-del-programa.html>.
- [30] A. L. De Leon Garcia, «Macromedia Freehand,» 12 Julio 2013. [En línea]. Available: <https://prezi.com/0rifj5fl83ez/macromedia-freehand/>.
- [31] L. Alegsa, «Definición de Inkscape (editor gráfico),» 13 Enero 2010. [En línea]. Available: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/inkscape.php>.
- [32] Blogroll, «Ventajas y desventajas de Arduino,» 29 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://edgardosilvi.wordpress.com/2016/02/29/acamica-ventajas-y-desventajas-de-arduino/>.
- [33] M. Montiel Martínez, «Herramientas Libres Para La Programación De Microcontroladores PIC,» 3 Diciembre 2010. [En línea]. Available: http://www.itsteziutlan.edu.mx/site2010/index.php?option=com_content&view=article&id=597:herramientas-libres-para-la-programacion-de-microcontroladores-pic&catid=27:artlos&Itemid=288.
- [34] J. G. Arpi Trujillo y D. R. Cabrera Mendieta, « Implementación de un sistema de control para una máquina CNC láser,» Enero 2013. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3351>.
- [35] C. G. Anchaluiza Silva , «Diseño y construcción de una máquina automática para el proceso de serigrafado en cerámica esmaltada para la empresa EDESA S.A,» 2016. [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12085/1/T-ESPE-053387.pdf>.

- [36] M. F. Abril Aguilar y E. G. Lema Vinuesa , «Automatización de una línea de producción de bobinado de fleje tipo PP en el área de empaquetado para un sistema extruder #1 de extrusión de plásticos en la empresa CODIEMPAQUES del Ecuador CIA.LTDA,» Enero 2015. [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9906/1/T-ESPE-048658.pdf>.
- [37] F. Candelas Herías y J. Corrales Ramón, «Servomotores,» 20 Septiembre 2007. [En línea]. Available: <http://www.aurova.ua.es/previo/dpi2005/docs/publicaciones/pub09-ServoMotores/servos.pdf>.
- [38] A. J. Agama Chico, «Plan de negocios para una microempresa que ofrece servicios de diseño y fabricación de circuitos impresos. Desarrollo de tres prototipos de tarjetas que se usan en los laboratorios de la facultad: funete de poder, circuito amplificador y tarjeta de control,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3148/1/5666.pdf>.
- [39] J. Caniparoli, «Sensores de final de carrera,» 16 Diciembre 2012. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/JavierCaniparoli/sensores-de-final-de-carrera>.
- [40] A. Pérez González, «Husillo de bolas,» 28 Junio 2006. [En línea]. Available: http://www.mecapedia.uji.es/husillo_de_bolas.htm.
- [41] Á. J. Medina Campaña y D. R. Veloz Malavé, «Diseño y construcción de un elevador electro neumático portátil para montaje y desmontaje de las ruedas y suspensión de un vehículo.,» 2010. [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2932>.
- [42] THK, «Guías De Movimient Lineal,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.thk.com/?q=mexico/node/7655>.
- [43] R. Escobar, «Modelo lineal de un motor DC,» 3 Abril 2016. [En línea]. Available: <http://stg-pepper.blogspot.com/2016/04/modelo-simple-de-un-motor-dc.html>.
- [44] D. Richard C y B. Robert H, Sistemas de Control Moderno, Madrid: Décima Edición, 2005.
- [45] K. Benjamin C, Sistemas de Control Automático, México: Séptima Edición, 1996.
- [46] A. Charles K y O. S. Matthew N, Fundamentso de Circuitos Electrónicos, México: Tercera Edici{on, 2006.
- [47] F. Díaz del Castillo Rodríguez, «Programación automatica CNC,» Agosto 2008. [En línea]. Available: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf.

- [48] V. Ventura, «Qué es G-Code,» 3 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://polaridad.es/que-es-g-code/>.
- [49] Á. A. López López, P. R. Parra Santos, Á. D. Ramírez Mosquera, E. Terán Calle y J. Amaya R, «Repositorio digital Escuela Superior Politécnica del Litoral,» 21 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/36774>.

ANEXOS

Anexo1 Catálogos

Mecánicos

Rodamiento lineal

34 Bosch Rexroth AG | Linear Motion and Assembly Technologies

Rodamientos lineales | R310ES 3100 (2004.09)

Sets lineales Compactos

Sets lineales Compactos, R1029 Tandem cerrados, normales o anticorrosivos

Construcción

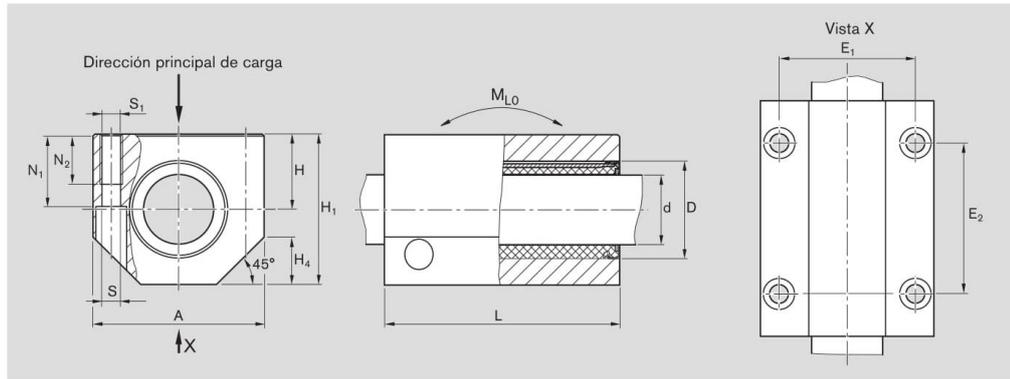
- carcasa Tandem de precisión en construcción ligera (aluminio)
- dos rodamientos lineales Compactos
- dos retenes integrados
- completamente estancos
- lubricados con Dynalub 510



Eje Ø d [mm]	Referencias		Peso [kg]
	normales	anticorrosivos ¹⁾	
12	R1029 212 44	R1029 212 34	0,17
16	R1029 216 44	R1029 216 34	0,24
20	R1029 220 44	R1029 220 34	0,31
25	R1029 225 44	R1029 225 34	0,57
30	R1029 230 44	R1029 230 34	0,80
40	R1029 240 44	R1029 240 34	1,54
50	R1029 250 44	R1029 250 34	2,45

¹⁾ Rodamiento lineal anticorrosivo (acero de rodamientos según ISO 683-17 / EN 10088)

Medidas



Medidas [mm]													
Ø d	D	H	H ₁	A	L	E ₁	E ₂	S ¹⁾	S ₁	N ₁	N ₂	H ₄	
12	19	17	33	40	60	29	35	4,3	M5	16	11	11	
16	24	19	38	45	65	34	40	4,3	M5	18	11	13	
20	28	23	45	53	65	40	45	5,3	M6	22	13	15	
25	35	27	54	62	85	48	55	6,6	M8	26	18	17	
30	40	30	60	67	105	53	70	6,6	M8	29	18	19	
40	52	39	76	87	125	69	85	8,4	M10	38	22	24	
50	62	47	92	103	145	82	100	10,5	M12	46	26	30	

Eje Ø d [mm]	Juego radial [µm] Eje		Tolerancia para H ²⁾ [µm]	Capacidades de carga ³⁾ [N]				Momento de vuelco [Nm] estát. M _{Lo}
	h6	h7		normales		anticorrosivos		
	+32 0	+37 +2	± 12	din. C	estát. C ₀	din. C	estát. C ₀	
12	+32 0	+37 +2	± 12	1310	980	920	780	13
16	+32 0	+37 +2	± 12	1700	1140	1180	920	18
20	+33 -1	+38 +2	+13 -12	2290	1800	1610	1440	21
25	+36 0	+42 +2	+13 -12	4760	3900	3330	3120	59
30	+36 0	+42 +2	+13 -12	6250	5580	4385	4460	103
40	+42 -1	+48 +2	+14 -12	10360	9300	7260	7440	204
50	+42 -1	+48 +2	+14 -12	11660	10700	8170	8560	271

¹⁾ Tornillos de fijación ISO 4762-8.8.

²⁾ Referido a la medida nominal de eje d.

³⁾ Las capacidades de carga indicadas son válidas para la dirección principal de carga. Si la dirección de carga no corresponde a la dirección principal de carga se deberá multiplicar los valores de capacidad de carga por los siguientes factores:

Eje Ø 12 y 16: $f = 0,90$ $f_0 = 0,86$

Eje Ø 20 hasta 50: $f = 0,79$ $f_0 = 0,68$

El cálculo de la capacidad de carga dinámica se basa en 100.000m de recorrido. Si se basa en 50.000m, se deberá multiplicar los valores C según la tabla por 1,26.

Eje lineal

Ejes de acero de precisión R0724 0 con cuatro ranuras guía

para rodamientos lineales Antigiro R0724, brida R0725, brida miniatura R0726 y brida rotativa R0727



Tamaño	Referencias del eje macizo			Peso (kg/m)
	Longitud del eje l max.	Longitud del eje según dato	Eje mecanizado según plano	
4	R0724 004 02	R0724 004 89	R0724 004 86	0,10
6	R0724 006 02	R0724 006 89	R0724 006 86	0,21
8	R0724 008 02	R0724 008 89	R0724 008 86	0,38
10	R0724 010 02	R0724 010 89	R0724 010 86	0,60
13	R0724 013 02	R0724 013 89	R0724 013 86	1,00
16	R0724 016 02	R0724 016 89	R0724 016 86	1,50
20	R0724 020 02	R0724 020 89	R0724 020 86	2,00
25	R0724 025 02	R0724 025 89	R0724 025 86	3,10
30	R0724 030 02	R0724 030 89	R0724 030 86	4,80
40	R0724 040 02	R0724 040 89	R0724 040 86	8,60
50	R0724 050 02	R0724 050 89	R0724 050 86	13,10

Visión

Dimensiones

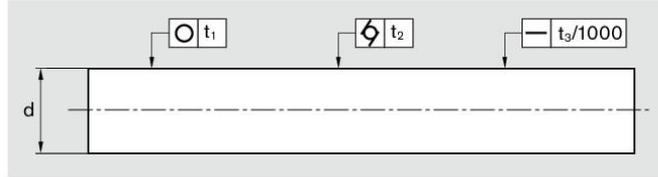
Eje Ø d (mm)	Referencias					
	Ejes macizos					
	Acero mejorado de rodamiento		X46Cr13		X90CrMoV18	
	h6	h7	h6	h7	h6	h7
3	R1000 003 00				R1000 003 20	
4	R1000 004 00	R1000 004 01	R1000 004 30	R1000 004 31		
5	R1000 005 00	R1000 005 01	R1000 005 30	R1000 005 31		
6	R1000 006 00	R1000 006 01	R1000 006 30	R1000 006 31		
8	R1000 008 00	R1000 008 01	R1000 008 30	R1000 008 31		
10	R1000 010 00	R1000 010 01	R1000 010 30	R1000 010 31		
12	R1000 012 00	R1000 012 01	R1000 012 30	R1000 012 31	R1000 012 20	R1000 012 21
14	R1000 014 00	R1000 014 01	R1000 014 30	R1000 014 31		
15	R1000 015 00	R1000 015 01				
16	R1000 016 00	R1000 016 01	R1000 016 30	R1000 016 31	R1000 016 20	R1000 016 21
18	R1000 018 00	R1000 018 01				
20	R1000 020 00	R1000 020 01	R1000 020 30	R1000 020 31	R1000 020 20	R1000 020 21
22	R1000 022 00	R1000 022 01				
24	R1000 024 00	R1000 024 01				
25	R1000 025 00	R1000 025 01	R1000 025 30	R1000 025 31	R1000 025 20	R1000 025 21
30	R1000 030 00	R1000 030 01	R1000 030 30	R1000 030 31	R1000 030 20	R1000 030 21
32	R1000 032 00	R1000 032 01				
35	R1000 035 00	R1000 035 01				
38	R1000 038 00	R1000 038 01				
40	R1000 040 00	R1000 040 01	R1000 040 30	R1000 040 31	R1000 040 20	R1000 040 21
45	R1000 045 00	R1000 045 01				
50	R1000 050 00	R1000 050 01	R1000 050 30	R1000 050 31	R1000 050 20	R1000 050 21
55	R1000 055 00	R1000 055 01				
60	R1000 060 00	R1000 060 01	R1000 060 30	R1000 060 31	R1000 060 20	R1000 060 21
70	R1000 070 00	R1000 070 01				
80	R1000 080 00	R1000 080 01	R1000 080 30	R1000 080 31	R1000 080 20	R1000 080 21
100	R1000 100 00	R1000 100 01				
110	R1000 110 00	R1000 110 01				

Ejes de acero de precisión

Datos técnicos

Precisión dimensional y campos de tolerancia

Las tolerancias de fabricación de los ejes de acero de precisión corresponden a las calidades h6 y h7. Los valores de las tolerancias están indicados en las tablas de esta página. Las tolerancias del diámetro de las partes sin templar difieren muy poco de los valores de las tolerancias indicadas.

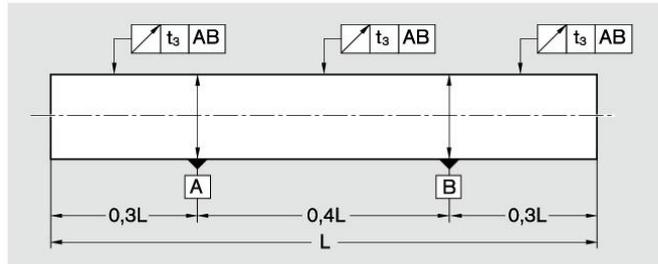


Rango de medidas nominales d	(mm)	sobre hasta	1	3	6	10	18	30	50	80	120
Tolerancia del diámetro	h6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		-6	-8	-9	-11	-13	-16	-19	-22		
Tolerancia de redondez t ₁	h6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		-10	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35		
Tolerancia cilíndrica t ₂ ¹⁾	h6	3	4	4	5	6	7	8	10	15	15
		4	5	6	8	9	11	13	15		
Tolerancia de rectitud t ₃ ²⁾	h7	4	5	6	8	9	11	13	15	22	22
		6	8	9	11	13	16	19	22		
Tolerancia de rugosidad media (Ra)	(μm)		150	150	120	100	100	100	100	100	100
	(μm)		0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32

- 1) Medición de la diferencia del diámetro
- 2) En longitudes por debajo de un metro, el valor mínimo es de 40μm. La medición de rectitud se logra según ISO 13012.

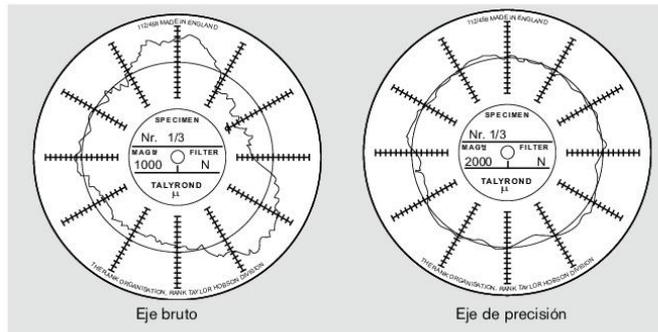
Medición de rectitud según ISO 13012

Los puntos de medición están repartidos uniformemente entre los puntos de apoyo o las secciones de eje correspondientes a éstos. La tolerancia de rectitud es la mitad de los valores medidos durante un giro del eje de 360°



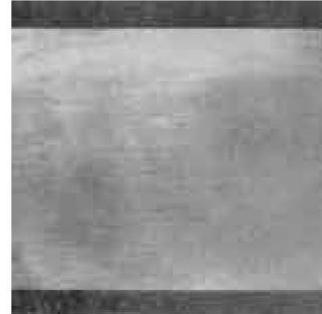
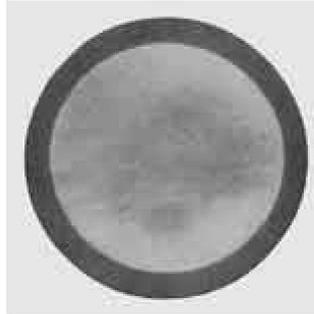
Medición de redondez

En el esquema se compara la redondez de un eje bruto con un eje de precisión.



Dureza del eje

La superficie del eje está templada por inducción. Según los diámetros, la profundidad del temple varía de 0,4 hasta 3,2mm. La dureza de la superficie, así como la profundidad del temple, son uniformes, tanto en sentido longitudinal como transversal. De esta forma, el eje de precisión es resistente a la torsión y permite una gran duración de vida. La figura de la derecha muestra el corte transversal y longitudinal de un eje de acero de precisión. La zona del temple es visible por haber tratado la pieza con ácido.



Eje Ø d (mm)	sobre hasta	1	3	10	18	30	50	80
Profundidad del temple (mm)	min.	0,4	0,4	0,6	0,9	1,5	2,2	3,2

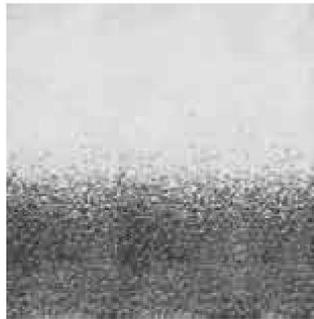
Dureza mínima

Acero mejorado de → HRC 60
rodamientos

Ejes de acero → HRC 54
anticorrosivo según
ISO 683-17 / EN 10088

La figura muestra un corte ampliado de la estructura de la capa templada de un eje (V ~ 10 veces).

Se distingue claramente la capa de martensita templada y la buena transición hasta llegar al núcleo blando.



Capa templada por inducción
Estructura: Martensita
HRC 60

Zona intermedia:
Martensita
Trostita
Perlita

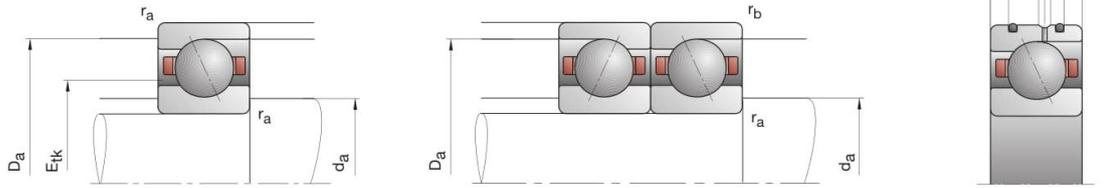
Estructura del núcleo:
Perlita y Ferrita

Material

	Abreviación	Número de materiales
Acero mejorado de rodamiento	Cf53	1.1213
	Cf60	1.1228/1.1219
	Ck55	1.1203
	Ck60	1.1221
	Ck67	1.1231
	Acero anticorrosivo según ISO 683-17 / EN 10088	X 46 Cr 13
X 90 CrMoV 18		1.4112

Rodamientos para husillos

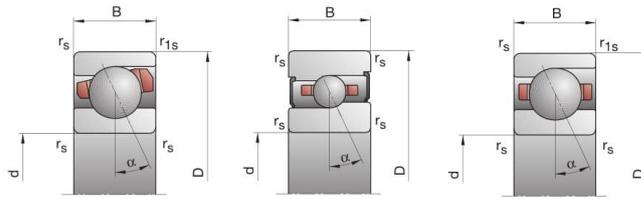
Rodamientos FAG para husillos



Referencia	Dimensiones					Medidas de montaje				Dimensiones DLR			Capacidades de carga			
	d	D	B	r _{smin}	r _{1smin}	d _a	D _a	r _a	r _b	B _N	S _N	S _B	E _{tk} nom.	C _{din}	C _{0est}	
FAG	mm														kN	
B708-C-T-P4S	8	22	7	0,30	0,30	11	19	0,3	0,1				14,0	3,80	1,73	
B708-E-T-P4S	8	22	7	0,30	0,30	11	19	0,3	0,1				14,0	3,75	1,66	
HCB708-C-T-P4S	8	22	7	0,30	0,30	11	19	0,3	0,1				14,0	2,65	1,20	
HCB708-E-T-P4S	8	22	7	0,30	0,30	11	19	0,3	0,1				14,0	2,55	1,16	
XCB708-C-T-P4S	8	22	7	0,30	0,30	11	19	0,3	0,1				14,0	6,00	1,20	
XCB708-E-T-P4S	8	22	7	0,30	0,30	11	19	0,3	0,1				14,0	5,70	1,16	
HS708-C-T-P4S	8	22	7	0,30		11	19	0,3	0,1				14,0	1,90	1,00	
HS708-E-T-P4S	8	22	7	0,30		11	19	0,3	0,1				14,0	1,80	0,95	
HC708-C-T-P4S	8	22	7	0,30		11	19	0,3	0,1				14,0	1,29	0,70	
HC708-E-T-P4S	8	22	7	0,30		11	19	0,3	0,1				14,0	1,22	0,66	
XC708-C-T-P4S	8	22	7	0,30		11	19	0,3	0,1				14,0	2,90	0,70	
XC708-E-T-P4S	8	22	7	0,30		11	19	0,3	0,1				14,0	2,70	0,66	
B709-C-T-P4S	9	24	7	0,30	0,30	12	21	0,3	0,1				15,3	5,20	2,40	
B709-E-T-P4S	9	24	7	0,30	0,30	12	21	0,3	0,1				15,3	5,10	2,32	
HCB709-C-T-P4S	9	24	7	0,30	0,30	12	21	0,3	0,1				15,3	3,60	1,66	
HCB709-E-T-P4S	9	24	7	0,30	0,30	12	21	0,3	0,1				15,3	3,45	1,60	
XCB709-C-T-P4S	9	24	7	0,30	0,30	12	21	0,3	0,1				15,3	8,00	1,66	
XCB709-E-T-P4S	9	24	7	0,30	0,30	12	21	0,3	0,1				15,3	7,65	1,60	
HS709-C-T-P4S	9	24	7	0,30		12	21	0,3	0,1				15,3	2,65	1,43	
HS709-E-T-P4S	9	24	7	0,30		12	21	0,3	0,1				15,3	2,50	1,37	
HC709-C-T-P4S	9	24	7	0,30		12	21	0,3	0,1				15,3	1,83	1,00	
HC709-E-T-P4S	9	24	7	0,30		12	21	0,3	0,1				15,3	1,73	0,95	
XC709-C-T-P4S	9	24	7	0,30		12	21	0,3	0,1				15,3	4,05	1,00	
XC709-E-T-P4S	9	24	7	0,30		12	21	0,3	0,1				15,3	3,90	0,95	

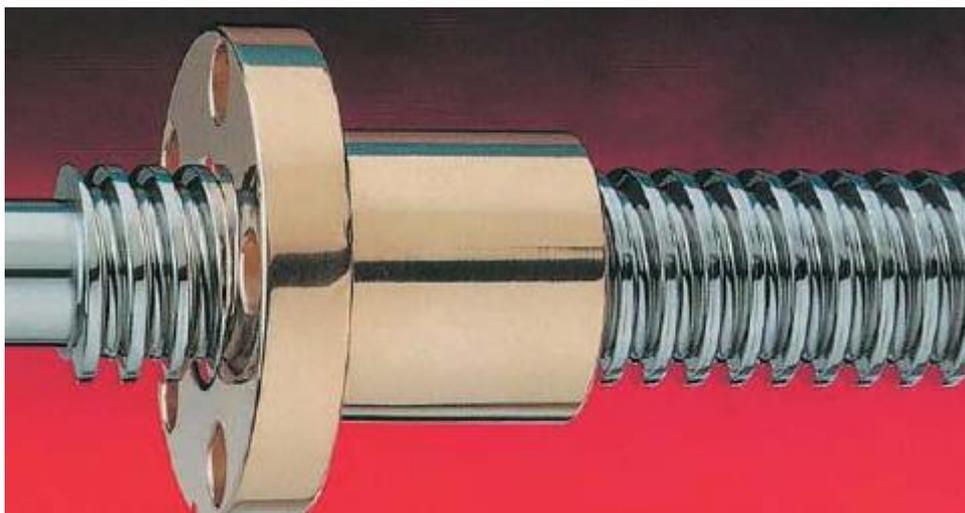
B718..C/E, B719, B70, B72 HS719..C/E, HS70

C: Ángulo de contacto $\alpha = 15^\circ$
E: Ángulo de contacto $\alpha = 25^\circ$



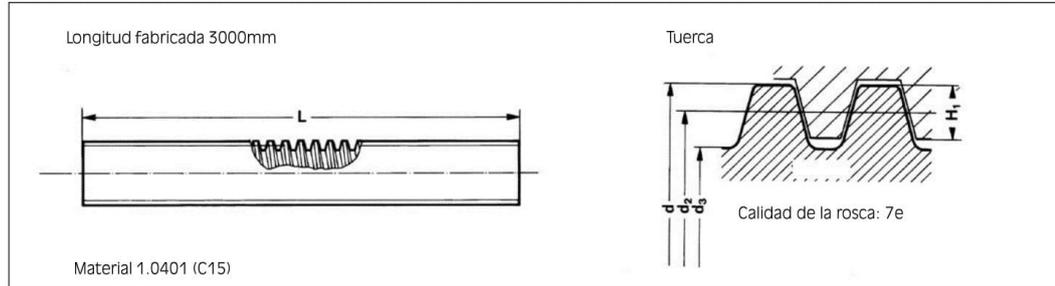
Velocidad de rotación alcanzable**		Fuerza de precarga F_V			Fuerza de descarga*** K_{aE}			Rigidez axial*** c_a			Ejecución obturada*	Peso	Referencia
Grasa	Aceite mínimo	L	M	H	L	M	H	L	M	H			
min ⁻¹		N						N/μm			kg	FAG	
75 000	120 000	15	59	129	47	206	490	12,0	22,9	34,9	—	0,010	B708-CT-P4S
67 000	100 000	19	90	207	56	277	668	26,4	47,9	68,6	—	0,010	B708-ET-P4S
95 000	160 000	6	29	66	18	95	232	9,2	18,0	26,8	—	0,009	HCB708-CT-P4S
80 000	130 000	10	39	100	29	118	312	23,4	39,1	56,5	—	0,009	HCB708-ET-P4S
120 000	190 000	6	29	66	18	95	232	9,2	18,0	26,8	—	0,009	XCB708-CT-P4S
100 000	170 000	10	39	100	29	118	312	23,4	39,1	56,5	—	0,009	XCB708-ET-P4S
95 000	160 000	6	19	38	18	62	131	8,0	13,4	18,7	•	0,010	HS708-CT-P4S
80 000	130 000	10	30	61	29	89	187	20,1	30,2	40,3	•	0,010	HS708-ET-P4S
110 000	180 000	4	13	26	12	41	87	7,7	12,5	17,3	•	0,010	HC708-CT-P4S
95 000	150 000	7	21	42	20	62	127	19,7	29,7	38,9	•	0,010	HC708-ET-P4S
140 000	220 000	4	13	26	12	41	87	7,7	12,5	17,3	•	0,010	XC708-CT-P4S
120 000	190 000	7	21	42	20	62	127	19,7	29,7	38,9	•	0,010	XC708-ET-P4S
67 000	100 000	23	85	181	72	293	676	14,4	26,5	39,6	—	0,015	B709-CT-P4S
60 000	90 000	31	131	292	91	401	930	32,4	56,3	79,0	—	0,015	B709-ET-P4S
85 000	140 000	8	39	90	24	127	311	10,6	20,5	30,2	—	0,013	HCB709-CT-P4S
75 000	120 000	15	56	137	44	168	423	28,3	45,7	64,6	—	0,013	HCB709-ET-P4S
110 000	180 000	8	39	90	24	127	311	10,6	20,5	30,2	—	0,013	XCB709-CT-P4S
100 000	170 000	15	56	137	44	168	423	28,3	45,7	64,6	—	0,013	XCB709-ET-P4S
90 000	140 000	9	26	53	27	84	181	10,2	16,3	22,9	•	0,020	HS709-CT-P4S
75 000	120 000	14	43	86	41	128	262	25,2	37,9	49,8	•	0,020	HS709-ET-P4S
100 000	170 000	6	18	36	18	57	119	9,8	15,5	21,1	•	0,020	HC709-CT-P4S
85 000	140 000	10	30	59	29	89	179	25,0	37,3	48,5	•	0,020	HC709-ET-P4S
130 000	200 000	6	18	36	18	57	119	9,8	15,5	21,1	•	0,020	XC709-CT-P4S
110 000	180 000	10	30	59	29	89	179	25,0	37,3	48,5	•	0,020	XC709-ET-P4S

Husillo o varilla roscada



Husillos trapezoidales

Husillos trapezoidales de precisión laminados RPTS



Tipo ¹⁾	Dimensiones					Precisión μmm/ 300 mm	Rectitud μmm/ 300 mm	2)	3)	Peso (kg/m)	Momento de inercia polar (cm ⁴)	Momento de resistencia ⁴⁾ (cm ³)	Momento de inercia (kgm ² /m)
	d	d _{2 min}	d _{2 max}	d ₃ ⁷⁾	H ₁								
RPTS Tr 10x2	10	8.739	8.929	6.89	1	300	0.5	4°2'	0.40	0.500	0.011	0.032	0.51.10 ⁻⁵
RPTS Tr 10x3	10	8.191	8.415	5.84	1.5	300	0.5	6°24'	0.51	0.466	0.0057	0.020	0.40.10 ⁻⁵
RPTS Tr 12x3	12	10.191	10.415	7.84	1.5	300	0.5	5°11'	0.46	0.746	0.019	0.047	1.03.10 ⁻⁵
RPTS Tr 12x6 P3	12	10.165	10.415	7.84	1.5	300	0.5	10°18'	0.62	0.746	0.019	0.047	1.03.10 ⁻⁵
RPTS Tr 14x3	14	12.191	12.415	9.84	1.5	300	0.5	4°22'	0.42	1.04	0.046	0.094	2.04.15 ⁻⁵
RPTS Tr 14x4	14	11.640	11.905	8.80	2	300	0.5	6°3'	0.50	0.888	0.029	0.067	1.60.10 ⁻⁵
RPTS Tr 16x4	16	13.640	13.905	10.80	2	50	0.1	5°11'	0.46	1.21	0.067	0.124	2.96.10 ⁻⁵
RPTS Tr 16x8 P4	16	13.608	13.905	10.80	2	300	0.3	10°18'	0.62	1.20	0.067	0.124	2.96.10 ⁻⁵
RPTS Tr 18x4	18	15.640	15.905	12.80	2	50	0.1	4°32'	0.43	1.58	0.132	0.206	5.05.10 ⁻⁵
RPTS Tr 20x4 ⁶⁾	20	17.640	17.905	14.8	2	50	0.1	4°2'	0.40	2.00	0.236	0.318	8.10.10 ⁻⁵
RPTS Tr 20x8 P4	20	17.608	17.905	14.8	2	200	0.2	8°3'	0.57	2.00	0.236	0.318	8.10.10 ⁻⁵
RPTS Tr 20x16 P4	20	17.608	17.905	14.8	2	200	0.2	15°47'	0.71	2.00	0.236	0.318	8.10.10 ⁻⁵
RPTS Tr 22x5	22	19.114	19.394	15.50	2.5	50	0.1	4°39'	0.43	2.23	0.283	0.366	1.00.10 ⁻⁴
RPTS Tr 22x24 P4S5 ⁵⁾	22	19.140	19.505	16.50	2.5	200	0.2	21°34'	0.75	2.23	0.364	0.411	1.00.10 ⁻⁴
RPTS Tr 24x5	24	21.094	21.394	17.50	2.5	50	0.1	4°14'	0.41	2.72	0.460	0.526	1.50.10 ⁻⁴
RPTS Tr 24x10P5	24	21.058	21.394	17.50	2.5	200	0.2	8°25'	0.58	2.72	0.460	0.526	1.50.10 ⁻⁴
RPTS Tr 26x5	26	23.094	23.394	19.50	2.5	50	0.1	3°52'	0.39	3.26	0.710	0.728	2.0.10 ⁻⁴
RPTS Tr 28x5	28	25.094	25.394	21.50	2.5	50	0.1	3°34'	0.37	3.85	1.05	0.976	3.0.10 ⁻⁴
RPTS Tr 30x6	30	26.547	26.882	21.90	3	50	0.1	4°2'	0.40	4.50	1.13	1.03	4.0.10 ⁻⁴
RPTS Tr 30x12 P6	30	26.507	26.882	21.90	3	200	0.2	8°3'	0.57	4.50	1.13	1.03	4.0.10 ⁻⁴
RPTS Tr 32x6	32	28.547	28.882	23.90	3	50	0.1	3°46'	0.38	5.18	1.60	1.34	5.0.10 ⁻⁴
RPTS Tr 36x6	36	32.547	32.882	27.90	3	50	0.1	3°18'	0.35	6.71	2.97	2.13	9.0.10 ⁻⁴
RPTS Tr 40x7	40	36.020	36.375	30.50	3.5	50	0.1	3°29'	0.37	8.00	4.25	2.79	1.3.10 ⁻³
RPTS Tr 40x14 P7	40	35.978	36.375	30.50	3.5	200	0.2	6°57'	0.53	8.00	4.25	2.79	1.3.10 ⁻³
RPTS Tr 44x7	44	40.020	40.275	34.50	3.5	50	0.1	3°8'	0.34	9.87	6.95	4.03	2.0.10 ⁻³
RPTS Tr 48x8	48	43.468	43.868	37.80	4	100	0.1	3°18'	0.35	12.0	10.0	5.30	2.9.10 ⁻³
RPTS Tr 50x8	50	45.468	45.868	39.30	4	100	0.1	3°10'	0.34	13.1	11.7	5.96	3.4.10 ⁻³
RPTS Tr 60x9	60	54.935	55.360	48.15	4.5	200	0.3	2°57'	0.33	18.0	26.4	11.0	6.9.10 ⁻³
RPTS Tr 70x10	70	64.425	64.850	57.00	5	200	0.3	2°48'	0.32	26.0	51.8	18.2	1.4.10 ⁻²
RPTS Tr 80x10	80	74.425	74.850	67.00	5	200	0.3	2°25'	0.29	34.7	98.9	29.5	2.4.10 ⁻²

¹⁾ Tr 20x4 significa: rosca trapezoidal con un diámetro exterior d=20mm, de una entrada, con paso de 4mm con rosca derecha o izquierda

Tr 20x8 P4 significa: rosca trapezoidal con un diámetro exterior d=20mm, de dos entradas, con paso de 8mm, con sólo rosca derecha

²⁾ Ángulo de inclinación de la rosca: ver fórmula pág.51

³⁾ El coeficiente teórico para convertir el movimiento rotativo a movimiento lineal con coeficiente de fricción $\mu = 0.1$. Eficacia para otros coeficientes de fricción: ver fórmula pág.51

⁴⁾ El momento de inercia polar es el doble que el momento de inercia

⁵⁾ Perfil especial

⁶⁾ Hasta una longitud de 6000mm. Se realizan cortes según la medida deseada por el cliente

⁷⁾ El diámetro de fondo es según norma DIN 103

Tuercas Trapezoidales

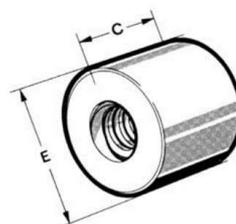
Tuercas trapeciales

Las tuercas trapecoidales son fabricadas con herramientas especiales según norma DIN 103, clase de tolerancia H7.

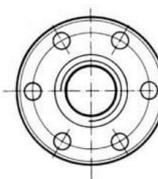
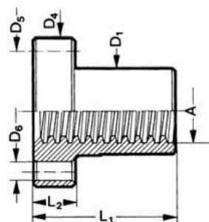
Casquillo de bronce. Tipo: CS

- Para transmisiones de movimiento en operación continua, con unas características de uso particularmente buenas.
- Apropriadadas para ser utilizadas como tuerca de seguridad
- Pueden ser utilizadas en combinación con husillos inox resistentes a la corrosión.

Tipo	C	E
CS 15/3	25	25
CS 20/4	30	30
CS 25/5	37	35
CS 30/6	45	45
CS 40/7	60	55
CS 50/8	75	65
CS 60/9	90	75



Tuerca de acero con casquillo de bronce. Tipo: TR



Material: acero F114 con casquillo de bronce encasquillado

- La tuerca de acero con casquillo de bronce es apropiada en casos de fijación a elementos mediante el uso de la soldadura.
- Para transmisiones de movimiento en operación continua, con unas características de uso particularmente buenas.
- Apropriadadas para ser utilizadas como tuerca de seguridad.
- Pueden ser utilizadas en combinación con husillos inox resistentes a la corrosión.

Ref.	D1	D4	D5	D6	L1	L2
TR 15/3	38	60	50	3 x M6	25	10
TR 20/4	42	70	55	4 x M6	30	12
TR 25/5	52	80	65	4 x M6	37	12
TR 30/6	65	110	82	4 x M8	45	16
TR 40/7	75	110	93	6 x M8	60	16
TR 50/8	90	135	113	6 x M10	75	18
TR 60/9	105	155	129	6 x M12	90	22

Acople flexible (motor / husillo)

HELICAL / SERIE W. Acero inoxidable y Aluminio



CARACTERISTICAS



- ▶ Dimensiones métricas.
- ▶ Aleación de Aluminio 7075-T6 ó Acero inoxidable 17-4ph

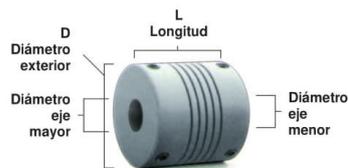
La serie W se puede utilizar en un gran número de aplicaciones, desde transmitir pares pequeños para componentes ligeros, como los encoders y tacómetros, hasta bombas y husillos que requieran un par más elevado.

TIPOS DE FIJACION

Pinza Integrada / W7C & WAC



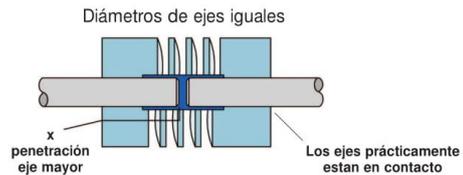
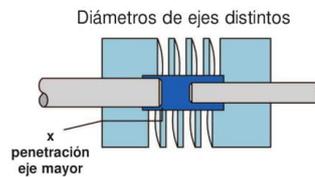
Tornillo Prisionero / W7 & WA



CONFIGURACION INTERNA

Con rebaje interno* / W7C, W7, WAC & WA

Tanto el eje mayor como el menor pueden penetrar en el área de las espiras durante el funcionamiento.



*Las áreas sombreadas indican la cantidad de rebaje en el interior del acoplamiento.

COMO PASAR UN PEDIDO

Las referencias constan de 4 secciones.

Para determinar los números/letras correctos de cada sección de un acoplamiento específico, ver las tablas de la siguiente página.

Ejemplo:



- 1 Numero Modelo Básico:**
Determina el tipo de fijación y material.
WAC = Pinza integrada, Aluminio.
W7C = Pinza integrada, Acero Inoxidable.
WA = Tornillo Prisionero, Aluminio.
W7 = Tornillo Prisionero, Acero Inoxidable.
- 2 Diámetro Exterior:**
Este número de dos dígitos representa el tamaño del acoplamiento. Según las características, seleccionar el tamaño en la parte izquierda de la tabla de la siguiente página.
- 3 Diámetro Eje Mayor:**
Comprobar que los diámetros se pueden efectuar en el acoplamiento. Ver tabla de ejes máximos y mínimos. Expresar en mm.
- 4 Diámetro Eje Menor:**
Se expresa del mismo modo que el Diámetro Eje Mayor, en mm.



Helical_dipt_her_Rev0

Acoplamiento flexible de una sola pieza

	1 & 2			3 & 4									
	Número Modelo Básico			Dimensiones		Tornillos		Inercia	Diámetro Estándar		Características		
	Fijación Pinza Integrada	Fijación Tornillos Prisioneros *	Código Diámetro Exterior	D Diámetro Exterior	L Longitud mm	Pinza Integral	Tornillos Prisioneros	$\times 10^4$ (Kgcms ²) nota 6	(+0,05 mm/-0,00 mm) nota 5	Par Dinámico Motriz nota 2 (Nm)	Rigidez Torsional (grados Nm)		
ACERO INOXIDABLE	W7C		15	15 mm	22	M2-.4		0.078	3.00	3 mm	1.4	1.9	
		W7			20		M3-.5		0.070	4.00	4 mm	1.3	2.6
					5.00					5.00	5 mm	1.2	3.7
	W7C		20	20 mm	28	M3-.5		0.32	4.00	4 mm	2.6	0.99	
		W7			20		M3-.5		0.22	5.00	5 mm	2.5	1.3
					6.00					6.00	6 mm	2.3	1.6
	W7C		25	25 mm	30	M3-.5		0.84	6.00	6 mm	5.7	0.54	
		W7			24		M4-.7		0.66	7.00	7 mm	5.5	0.66
					8.00					8.00	8 mm	5.1	0.82
	W7C		30	30 mm	38	M4-.7		2.2	9.00	9 mm	9.5	0.40	
	W7	30				M5-.8		1.7	10.00	10 mm	8.9	0.48	
		11.00							11.00	11 mm	8.3	0.58	
W7C		40	40 mm	50	M5-.8		9.2	12.00	12 mm	23	0.16		
	W7			50		M6-.1		9.2	13.00	13 mm	22	0.19	
				14.00					14.00	14 mm	21	0.21	
W7C		50	50 mm	54	M6-.1		21	15.00	15 mm	20	0.24		
	W7			54		M6-.1		21	16.00	16 mm	19	0.28	
				18.00					18.00	18 mm	37	0.092	
WAC		15	15 mm	22	M2-.4		0.028	14.00	14 mm	37	0.092		
	WA			20		M3-.5		0.025	16.00	16 mm	35	0.11	
				5.00					18.00	18 mm	33	0.14	
WAC		20	20 mm	28	M3-.5		0.11	19.00	19 mm	31	0.16		
	WA			20		M3-.5		0.079	20.00	20 mm	30	0.18	
				6.00									
WAC		25	25 mm	30	M3-.5		0.30	6.00	6 mm	2.9	1.5		
	WA			24		M4-.7		0.24	7.00	7 mm	2.8	1.8	
				8.00					8.00	8 mm	2.6	2.2	
WAC		30	30 mm	38	M4-.7		0.78	9.00	9 mm	4.9	1.1		
	WA			30		M5-.8		0.60	10.00	10 mm	4.6	1.3	
				11.00					11.00	11 mm	4.3	1.6	
WAC		40	40 mm	50	M5-.8		3.3	12.00	12 mm	12	0.45		
	WA			50		M6-.1		3.3	13.00	13 mm	11	0.51	
				14.00					14.00	14 mm	11	0.59	
WAC		50	50 mm	54	M6-.1		7.6	15.00	15 mm	10	0.67		
	WA			54		M6-.1		7.6	16.00	16 mm	9.7	0.78	
				18.00					18.00	18 mm	19	0.25	
				19.00			19.00	19 mm	18	0.31			
				20.00			20.00	20 mm	17	0.39			
									16	0.43			
									15	0.49			

NOTAS

- Desalineaciones de los ejes:
Angular 5 grados
Radial 0.25 mm (0.50 mm T.L.R.)
Axial ± 0.25 mm
- Los valores de Par Dinámico son momentáneos.
Para aplicaciones no reversibles dividir por 2.
Para aplicaciones reversibles dividir por 4.
En caso de precisar un Par no indicado para su aplicación, rogamos nos consulten.
Disponemos de otras series que pueden cubrir sus necesidades.
- Material: Acero inoxidable 17-4ph Acabado: natural
o Material: Aleación de Aluminio 7075-T6 Acabado: anodizado
- Las tolerancias de fabricación estándar, en caso de no recibir otra especificación, son:
 $x \pm 0.5$ mm
 $x.x \pm 0.25$ mm
- Rogamos examine en el siguiente estadió, otros agujeros disponibles.
- La inercia está basada en el menor agujero estándar.
- Posibilidad de chaveteros unicamente en los modelos 40 y 50.
* Cada eje está fijado por dos tornillos prisioneros a 120 grados.

Configuraciones disponibles de los ejes

Número Modelo Básico	Diámetro Exterior	Ejes Disponibles					
		Con Rebaje Interno	Configuración Restringida		Penetración Máxima mm		
Fijación Pinza Integrada	Fijación Tornillos Prisioneros	Código Diámetro Exterior	D Diámetro Exterior	Mínimo mm	Máximo mm	Máximo Tamaño mm	Penetración Máxima mm
W7C / WAC		15	15 mm	3.00	5.00	7.30	6.00
	W7 / WA			3.00	5.00	9.00	4.85
W7C / WAC		20	20 mm	4.00	6.35	9.81	8.55
	W7 / WA			4.00	6.35	14.00	4.85
W7C / WAC		25	25 mm	6.00	10.00	14.56	8.55
	W7 / WA			6.00	10.00	17.00	5.85
W7C / WAC		30	30 mm	9.00	12.70	17.30	11.00
	W7 / WA			9.00	12.70	20.00	6.85
W7C / WAC		40	40 mm	12.00	16.00	24.80	15.50
	W7 / WA			12.00	16.00	25.40	17.00
W7C / WAC		50	50 mm	14.00	20.00	32.11	15.50
	W7 / WA			14.00	20.00	38.10	17.00

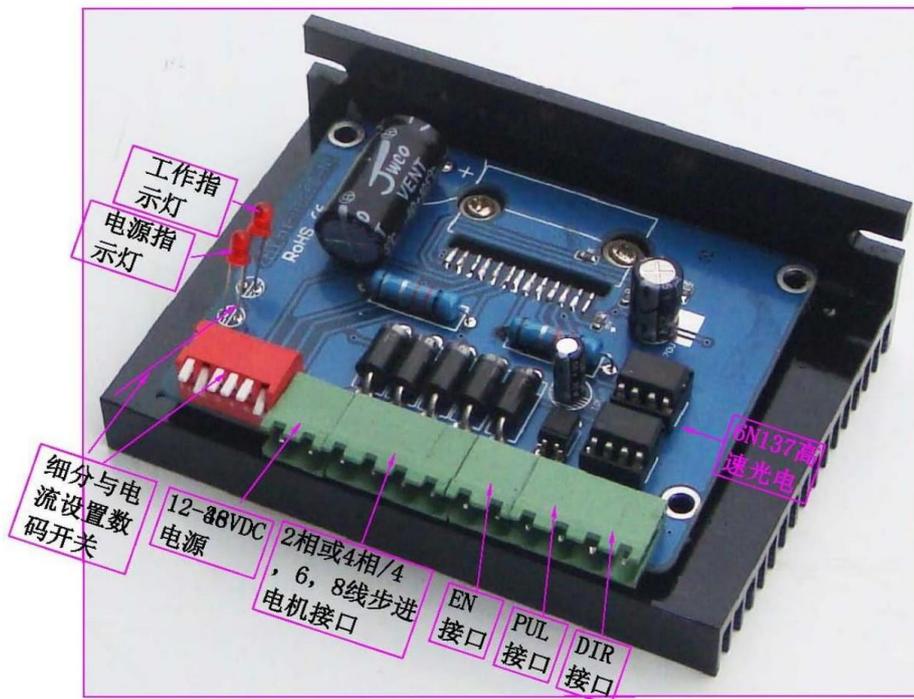
NOTAS

- los agujeros de los ejes se deben especificar en mm.
- Las tolerancias de fabricación estándar, en caso de no recibir otra especificación, son:
 $x \pm 0.5$ mm
 $x.x \pm 0.25$ mm
 $x.xx \pm 0.15$ mm
ángulo $\pm 2^\circ$
- Disponemos de una línea completa de productos especiales para fabricantes y usuarios. Rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico.
- Todas las unidades se pueden suministrar con tornillería métrica o en pulgadas.
- Los diámetros de eje menores a los señalados en la tabla, son posibles a un sólo lado del acoplamiento.

Helical_dipt_her_Rev0

Electrónicos

Driver para el motor a pasos



5 4 file segmentation and automatic half-streaming capabilities up to 16 segments
4 file output phase current settings
7 high starting speed
8 high-speed torque
—, the electrical parameters
Input voltage DC 12 ~ 48V input
The input current of 1 to 5 amps, select the drive a stepper motor.
Output current of 0.2A ~ 5A
Temperature Operating Temperature -10 to 45 °C; Storage temperature -40 °C to 70 °C
Humidity not condensing, not drops
Gas prohibit combustible gas and conductive dust
Weight 200 grams

二、 Control signal interface

Figure 1 is a wiring schematic of the drive

1, the definition of control signals

PUL +: step pulse signal is input side or the positive pulse signal input positive terminal

PUL -: the negative input of the negative input pulse signal or a positive pulse signal

DIR +: stepping direction signal input to the positive terminal or negative pulse signal input to the positive terminal

DIR -: stepping direction signal input of the negative side or reverse step pulse signal input negative terminal

EN +: offline can reset signal input side is

EN -: offline can reset signal input negative terminal

Offline enable signal is active, reset drive failure to prohibit any pulse, the output of the drive

Power component is turned off, the motor holding torque.

2、 Control signal connections

PC control signal can be high, also can be low effective. When active high, the control signal

The negative side together as a signal to active low, positive side of all control signals together as a signal common.

For example, open-collector and PNP output interface circuit diagram is as follows:

—, an overview

HY-DIV268N-5A subdivision-type two-phase hybrid stepping motor drive using DC 12 ~ 48V power supply, suitable for drive

Two-phase hybrid stepping motor dynamic voltage 12 to 48V, the current is less than 5A outer diameter of 35 to 86 mm. This drive using the drive's current loop subdivision control, the motor torque ripple is very small, low-speed running is very smooth, almost no vibration and noise.

High-speed torque is much higher than other two-phase drive, high positioning accuracy.

Widely used in the engraving machine, CNC machine tools, packaging machinery and other high resolution requirements on the device.

The main features

1 average current control, two-phase sinusoidal current drive output

2 DC 12 ~ 48V power supply, the internal integration of 12V and 5V regulator

3 optically isolated signal input / output

4, overvoltage, undervoltage, overcurrent, and white short-circuit protection

Figure 2. Input interface circuit (common cathode connection)

Note: the VCC is 5V, R short;

VCC value of 12V, R 1K, more than 1/8W resistor;

VCC value of 24V, R 2K, more than 1/8W resistor;

R Must be connected to the controller output terminals.

三、 Function selection (DIP switch on the drive panel)

1、 Set the motor per revolution steps

The drive to set the number of steps per motor revolution is 200 (whole step), 400 (2 segments), 1600 (8 segments), 3200 steps (16 segments).

The user can drive the front panel DIP switch SW3 is SW4 bit of the drive to set the number of steps (such as Table 1) :

Table 1

2、 Set the output phase current

To drive torque stepper motor, the user can drive panel DIP switch

SW1, SW2 is to set the drive output phase current (RMS) unit amperes, the switch position

Corresponding to the output current, output current value corresponding different types of drive. Concrete are shown in Table 2.

Output Current (A

Table 2

3、 Current setting

细分	1	2	3	电流	4	5	6
NG	ON	ON	ON	0.2A	ON	ON	ON
1	OFF	ON	ON	0.6A	OFF	ON	ON
1/2	ON	OFF	ON	1.2A	ON	OFF	ON
1/2	OFF	OFF	ON	1.8A	OFF	OFF	ON
1/4	ON	ON	OFF	2.5A	ON	ON	OFF
1/8	OFF	ON	OFF	3.3A	OFF	ON	OFF
1/16	ON	OFF	OFF	4.2A	ON	OFF	OFF
NG	OFF	OFF	OFF	5A	OFF	OFF	OFF

4, the semi-flow functionality

The semi-flow function is a step pulse 200ms, the driver output current is automatically reduced to the rated output current

50%, used to prevent motor heating.

Fourth, the power interface

1, DC +, DC-: to connect the drive power

DC +: DC power level, power supply voltage DC 12 to 48V. The maximum current is 5A. The

DC-: DC power supply negative level.

2, A + A-B + B-: to connect the two-phase hybrid stepping motor

Drive and two-phase hybrid stepper motor's connection with the four-wire system, the motor windings in parallel and series connection, and connection method, high-speed performance, but the drive current is large (for motor winding current of 1.73 times), Connected in series when the drive current is equal to the motor winding current.

Five, the installation

Around to have 20mm of space, can not be placed next to the other heating equipment, to avoid dust, oil mist,

Corrosive gases, high humidity is too big and strong vibration. +

Figure 3.

Six fault diagnosis

1, the status light indicates

RUN: green light in the normal work.

ERR: red light, power, light, power indicator

Motor a pasos

■ Specifications

Model	Torque		Voltage	Current	Resistance	Inductance	Inertia	Bi/Unipolar	Weight	Length "L"	
	Ncm	oz.in	V/Phase	A/Phase	Ohm/Phase	mH/Phase	g.cm2	# of Leads	Kg	mm	in
23HS16-1006S	39	55.2	5.7	1	5.7	5.4	120	Uni (6)	0.45	41	1.6
23HS16-2006S	39	55.2	2.8	2	1.4	1.4	120	Uni (6)	0.45	41	1.6
23HS16-3006S	39	55.2	1.9	3	0.63	0.6	120	Uni (6)	0.45	41	1.6
23HS16-2804S	55	77.9	2	2.8	0.7	1.4	120	Bi (4)	0.45	41	1.6
23HS20-1006S	72	102.0	6.6	1	6.6	8.2	275	Uni (6)	0.65	51	2
23HS20-2006S	72	102.0	3.3	2	1.65	2.2	275	Uni (6)	0.65	51	2
23HS20-3006S	72	102.0	2.2	3	0.74	0.9	275	Uni (6)	0.65	51	2
23HS20-2804S	101	143.0	2.3	2.8	0.83	2.2	275	Bi (4)	0.65	51	2
23HS22-1006S	90	127.5	7.4	1	7.4	10	300	Uni (6)	0.7	56	2.2
23HS22-2006S	90	127.5	3.6	2	1.8	2.5	300	Uni (6)	0.7	56	2.2
23HS22-3006S	90	127.5	2.3	3	0.9	1.1	300	Uni (6)	0.7	56	2.2
23HS22-1504S	116	164.3	5.4	1.5	3.6	17	275	Bi (4)	0.7	56	2.2
23HS22-2804S	126	178.4	2.5	2.8	0.9	2.5	300	Bi (4)	0.7	56	2.2
23HS30-1006S	135	191.2	8.6	1	8.6	14	480	Uni (6)	1	76	30
23HS30-2006S	135	191.2	4.5	2	2.25	3.6	480	Uni (6)	1	76	30
23HS30-3006S	135	191.2	3	3	1	1.6	480	Uni (6)	1	76	30
23HS30-2804S	189	267.6	3.2	2.8	1.13	3.6	480	Bi (4)	1	76	30
23HS33-1508S	160	226.6	7.5	1.5	5	10	530	Bi (8)	1.13	84	33
23HS33-4008S	200	283.2	3.2	4	0.8	1.8	530	Bi (8)	1.13	84	33
23HS41-3006S	180	254.9	3.3	3	1.1	3.2	680	Uni (6)	1.25	104	4.1
23HS41-1804S	240	339.9	4.95	1.8	2.75	17	680	Bi (4)	1.25	104	4.1
23HS45-4208S	195	276.1	4.2	4.2	1	2.3	810	Bi (8)	1.55	115	4.5
23HS45-3004S	250	354.0	6.3	3	2.1	9	810	Bi (4)	1.55	115	4.5

* Specify -S for Single Shaft; -D for Double Shaft * All motor's specifications are based on full-step constant current operation

Nema 23 Stepper Motor

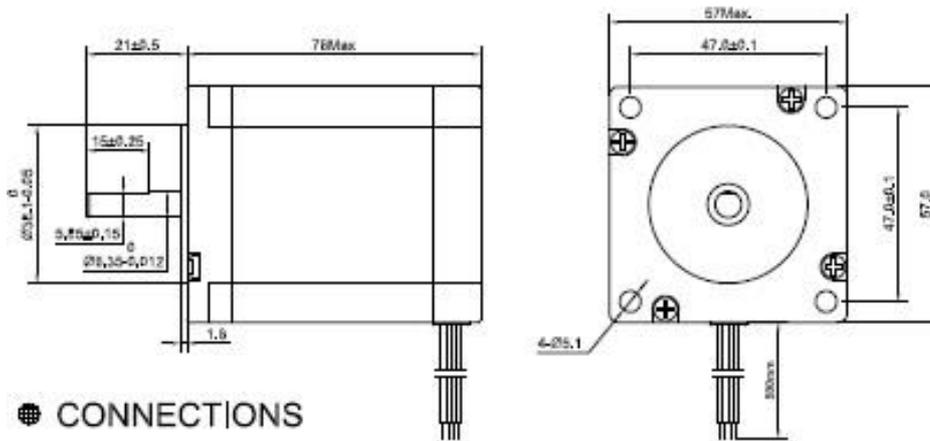
COMMON RATINGS

Step angle :	1.8°	Dielectric strength :	500VAC
Positional accuracy :	±5%	Insulation resistance :	100Mohm(500VDC)
Number of Phase :	2	Ambient Temperature :	-10°C~50°C
Temperature rise :	80°C MAX	Insulation class :	B
Rotor Inertia :	440gcm ²	Weight :	1.1Kg

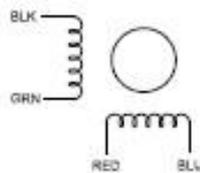
SPECIFICATIONS

Holding Torque (2 phases on) Nm	Rated Current/Phase (Amps DC)	Phase Resistance (ohms) ±10%	Voltage Current/Phase (V DC)	Phase Inductance (mH) ±20%(1KHz) Typical
1.89	2.8	1.13	3.2	5.4

DIMENSIONS unit=mm



CONNECTIONS



Tarjeta CNC USB



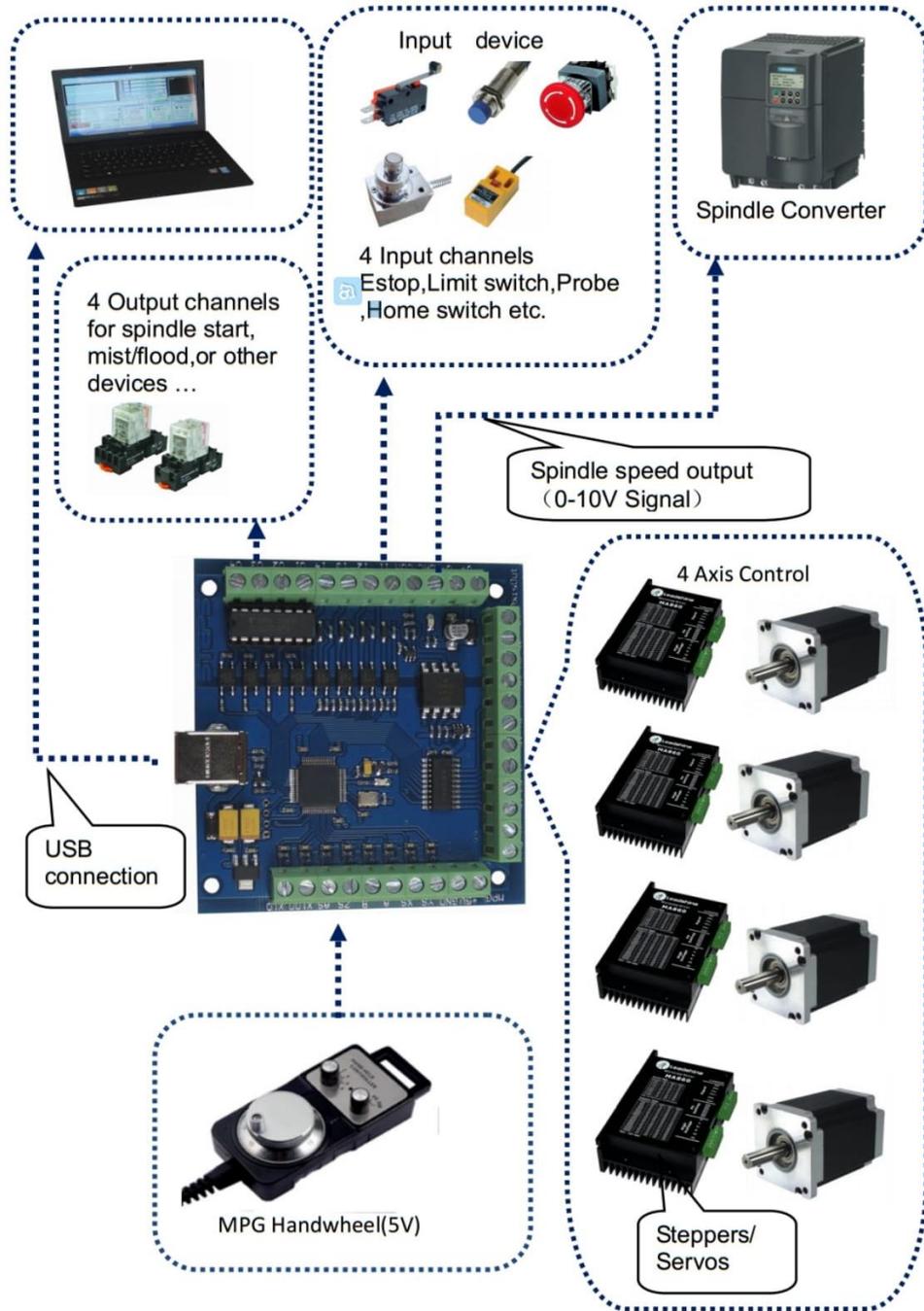
CNC MACH3 USB 4 Axis 100KHz Smooth Stepper Motion Controller card breakout board

This USB motion control card has the below advantages: small volume, easy to use, has a strong anti-interference ability, No need to install any USB drivers, it can be used after plugging in the computer. , suitable for all versions of Windows. Fully supporting all Mach3 versions.

Item Specifics

1. Support for 4-axis linkage, you can connect four stepper motor drives or servo drives;
2. Maximum step-pulse frequency is 100 KHz, which is suitable for the servo or stepping motor;
3. Support automatic probe tool
4. Support Emergency input
5. Support for limit switch
6. Support for connecting electronic handwheel
7. Need use external 24V DC power supply to isolate USB and external port, and to make the system more stable.
8. Have 0-10V output port, you can use mach3 software to control the spindle motor speed.
9. 4 general-purpose inputs, you can connect the limit switch, estop switch, probe switch, back to zero and other device
10. 4 general-purpose isolated relay drive output interface, can drive four relays for controlling the spindle starts, forward rotating and reverse rotating, pumps and other device;
11. 1 status LED, indicate connection status on the board.

Basic connection diagram (an Overview):



Fuente de alimentación



350W Single Output Switching Power Supply

S-350 series



■ Features :

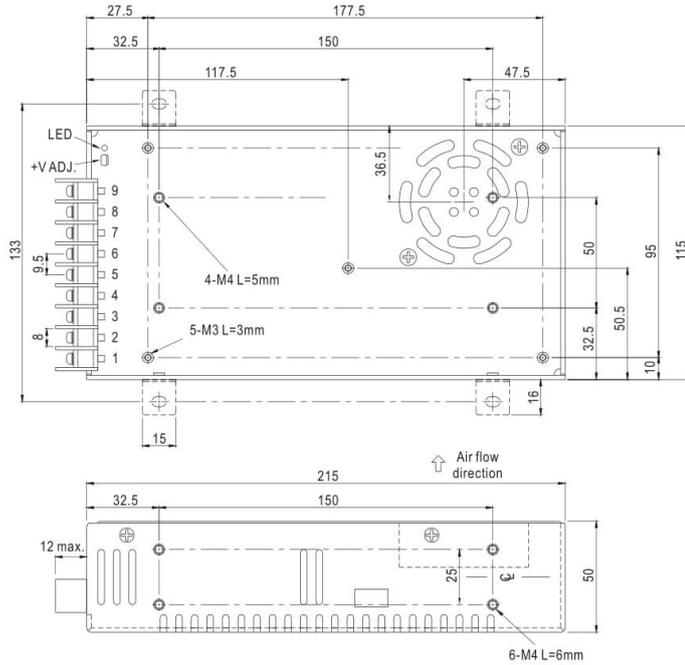
- AC input range selectable by switch
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage
- Forced air cooling by built-in DC fan
- PWM control and regulated
- Built-in cooling Fan ON-OFF control
- 100% full load burn-in test
- Fixed switching frequency at 25KHz
- Low cost
- 1 year warranty

SPECIFICATION

MODEL	S-350-5	S-350-7.5	S-350-12	S-350-13.5	S-350-15	S-350-24	S-350-27	S-350-36	S-350-48		
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	7.5V	12V	13.5V	15V	24V	27V	36V	48V	
	RATED CURRENT	50A	40A	29A	25.8A	23.2A	14.6A	13A	9.7A	7.3A	
	CURRENT RANGE	0 ~ 50A	0 ~ 40A	0 ~ 29A	0 ~ 25.8A	0 ~ 23.2A	0 ~ 14.6A	0 ~ 13A	0 ~ 9.7A	0 ~ 7.3A	
	RATED POWER	250W	300W	348W	348.3W	348W	350.4W	351W	349.2W	350.4W	
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	200mVp-p	240mVp-p	240mVp-p	
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.5 ~ 5.6V	6 ~ 9V	10 ~ 13.2V	12 ~ 15V	13.5 ~ 18V	20 ~ 26.4V	26 ~ 32V	32~40V	41 ~ 56V	
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±.0%	±1.0%	
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±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%	±0.5%	±0.5%	
	SETUP, RISE TIME	200ms, 50ms at full load									
HOLD UP TIME (Typ.)	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%	83%	83%	
	AC CURRENT (Typ.)	6.5A/115VAC		4A/230VAC							
	INRUSH CURRENT (Typ.)	50A/115VAC		50A/230VAC							
LEAKAGE CURRENT	<3.5mA / 240VAC										
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 135% rated output power Protection type : Constant current limiting, 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	33.7 ~ 39.2V	40.5~46.5V	57.6 ~ 67.2V	
FUNCTION	FAN ON/OFF CONTROL	RTH3 ≥ 50°C FAN ON, ≤ 45°C FAN OFF, ≥ 80°C output shutdown (5 ~ 7.5V) RTH3 ≥ 55°C FAN ON, ≤ 50°C FAN OFF, ≥ 85°C output shutdown (12 ~ 48V)									
	WORKING TEMP.	-10 ~ +60°C (Refer to "Derating Curve")									
ENVIRONMENT	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing									
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH									
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)									
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes									
SAFETY	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:1.5KVAC I/P-FG:2KVAC O/P-FG:0.5KVAC									
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH									
OTHERS	MTBF	234.3K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)									
	DIMENSION	215*115*50mm (L*W*H)									
	PACKING	1.07Kg; 12pcs/13.5Kg/0.92CUFT									
NOTE	1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.										

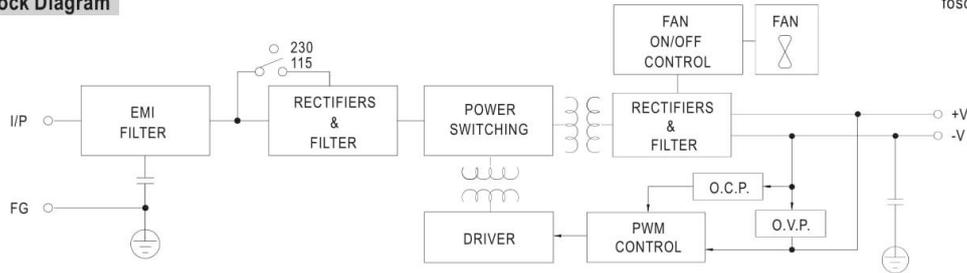
Mechanical Specification

Case No. 912C Unit:mm



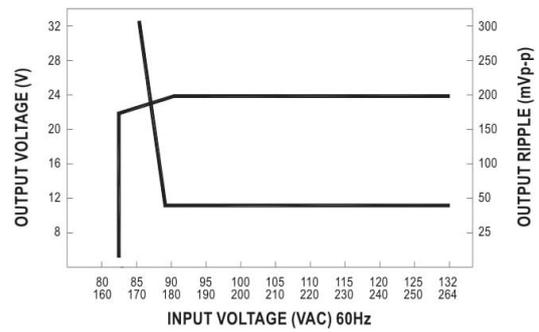
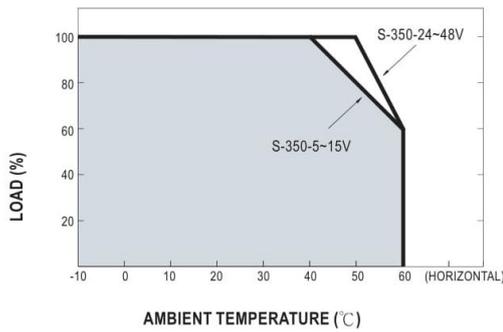
Block Diagram

fosc : 25KHz



Derating Curve

Static Characteristics (24V)



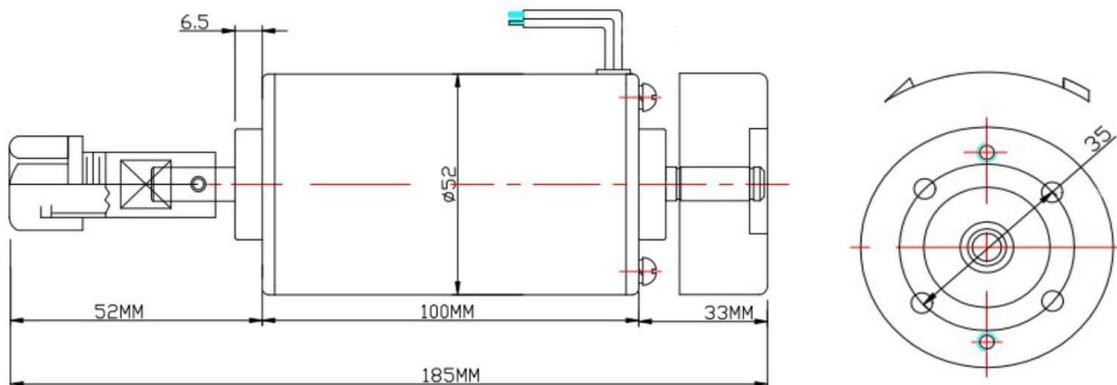
Fresadora

CNC SPINDLE MOTOR DC 400W



Specifications:

1. Working Voltage :12-48VDC
2. Speed :3000-12000r / min (12V-3000 rpm, 24V-6000 rpm, 36V-9000 rpm, 48V-12000 rpm)
3. Torque: 500mN.m
4. Insulation Resistance:> 2 megohms
5. Dielectric Strength: 400V
6. Diameter: 52mm
7. Chuck Part Length: Arbor parts 35mm, (including nuts and sandwich 43mm)
5. Part chuck Diameter: 16mm
6. Motor Length: 185mm (including gripping parts and motor)
7. Spindle Net Weight: 0.9KG
8. Spindle Runout of about 0.01-0.04.
9. Can be used for engraving metal or nonmetal materials.
10. This comes with air-cooled spindle can work long hours.
11. Suitable for carving PCB, acrylic, drilling



www.ekt2.com

Made in China

Driver para la fresadora



Product description

Wide Voltage PWM DCC: HQ-LB60-12A

Applicable to DC12-60V Low Voltage Permanent Magnet Brush DC Motor

a) Operating voltage: ultra-wide voltage (DC) DC12V-DC60V (limit 65V)

b) Control method:

1, the default potentiometer control (5K-100K feasible) default value 10K;

2, analog 0-5V control, (pull the XH2.54-3P potentiometer plug, the signal line to connect the XH2.54-3P middle leg, ground line to the XH2.54-3P right foot).

3, MACH3 interface terminals support external PWM signal input control speed, external PWM input requirements: level 3.5-12V VPP, frequency 1K-10KHZ, suitable for MACH3 spindle control speed, (Note external PWM signal control need to unplug the XH2 The .54-3P potentiometer plug control is in effect and cannot be controlled.)

C) Rated current: 12A, overload short-circuit protection current 15A. (The over-current cut-off output, the over-current indicator flashes, the potentiometer return indicator is off, and over-current protection is removed).

d) The soft start function prevents the motor from being damaged due to the excessive momentary starting current, (default 0 second soft start), 0-5 seconds adjustable.

Control power: 12V140W, 24V280W, 36V400W, 48V550W, 60V700W

Size: 75mm long * 75mm wide * 42mm high (including copper height, copper height 6mm)

Net weight: 0.12KG

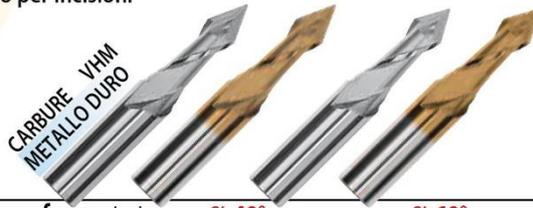
Pulse Width Modulation Range: 0%-100%

The governor adopts humanized terminals to facilitate flexible wiring.

Brocas para fresado

Spécial pour gravure
Speziell zum Gravieren
Specifico per incisioni

40°
60°



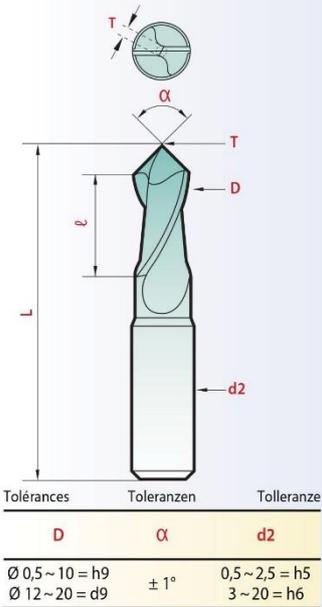
MULTI-V = magafor standard α 40° α 60°

D	L	ℓ	d2	T*	MULTI-V 8040	Hard'X 8040-H	MULTI-V 8088	Hard'X 8088-H
0,5	39	1,0	3	0,05	€ 57,00	€ 62,00	€ 51,00	€ 56,00
0,8	39	1,6	3	0,08			53,00	58,00
1,0	39	2,0	3	0,10	56,00	61,00	48,00	53,00
1,2	39	2,4	3	0,12			53,00	58,00
1,5	39	3,0	3	0,15	56,00	61,00	48,00	53,00
1,8	39	3,6	3	0,18			53,00	58,00
2,0	39	4,0	3	0,20	56,00	61,00	48,00	53,00
2,5	39	5,0	3	0,25			49,00	54,00
3,0	50	6,0	4	0,3	71,00	76,00	65,00	70,00
4,0	50	8,0	5	0,4			67,00	72,00
5,0	50	10	6	0,5	85,00	90,00	77,00	82,00
6,0	60	12	8	0,6			87,00	92,00
8,0	70	16	10	0,8			127,00	134,00
10,0	70	18	12	1,0	162,00	173,00	146,00	157,00
12,0	70	20	12	1,2	162,00	173,00	146,00	157,00
16,0	80	26	16	1,6			215,00	231,00
20,0	105	32	20	2,0			386,00	419,00

* T = 0,1 x D épaisseur d'âme Seelenstärke spessore del nocciolo

MULTI-V®

1 = 10



100°
120°

MULTI-V = magafor standard α 100° α 120°

D	L	ℓ	d2	T*	MULTI-V 8095	Hard'X 8095-H	MULTI-V 8092	Hard'X 8092-H
1,0	39	2,0	3	0,10	€	€	€ 43,00	€ 48,00
1,5	39	3,0	3	0,15			43,00	48,00
2,0	39	4,0	3	0,20			43,00	48,00
2,5	39	5,0	3	0,25			44,00	49,00
3,0	50	6,0	4	0,3			57,00	62,00
4,0	50	8,0	5	0,4			59,00	64,00
5,0	50	10	6	0,5			69,00	74,00
6,0	60	12	8	0,6	104,00	109,00	78,00	83,00
8,0	70	16	10	0,8	168,00	175,00	115,00	122,00
10,0	70	18	12	1,0	194,00	205,00	144,00	155,00
12,0	70	20	12	1,2	194,00	205,00	144,00	155,00
16,0	80	26	16	1,6	286,00	302,00	213,00	229,00
20,0	100	32	20	2,0			379,00	403,00

* T = 0,1 x D épaisseur d'âme Seelenstärke spessore del nocciolo

Special TEST!



60° - 90° - 120°
Jeu de 3 outils revêtus Hard'X
avec le même diamètre
Set mit drei Hard'X beschichteten
Werkzeugen des gleichen Durchmessers.
Serie di 3 utensili dello stesso
diametro con rivestimento Hard'X

Ø	Code	PRIX PROMO SONDER PREIS PREZZO PROMO
4	8087/4	€ 106,00
6	8087/6	137,00
8	8087/8	199,00

magafor 91

Anexo 2 Código G

Códigos G y M para mecanizado

G00.- Avance lineal del cortador a velocidad alta, para posicionar o sin aplicar corte.	M00.- Paro del programa.
G01.- Avance lineal del cortador a velocidad programada, para aplicar corte.	M01.- Paro opcional.
G02.- Avance circular del cortador en el sentido de las manecillas del reloj, a velocidad programada.	M02.- Fin del programa.
G03.- Avance circular del cortador en sentido opuesto a las manecillas del reloj a una velocidad programada.	M03.- Giro del husillo en sentido de las manecillas del reloj.
G04.- Pausa, acompañada de una letra X, se detiene la herramienta un determinado tiempo, por ejemplo: G04 X4, la pausa durará 4 segundos.	M04.- Giro del husillo en sentido contrario de las manecillas del reloj.
G17.- Selección del plano XY.	M05.- Paro del husillo.
G18.- Selección del plano ZX.	M06.- Cambio programado de la herramienta.
G19.- Selección del plano YZ.	M08.- Activa el refrigerante.
G20.- Entrada de valores en pulgadas.	M09.- Apaga el refrigerante.
G21.- Entrada de valores en milímetros.	M10.- Abre la prensa de trabajo.
G28.- Regreso al punto cero de la máquina (HOME).	M11.- Cierre de la prensa de trabajo.
G40.- Cancela compensación radial del cortador.	M29.- Control de la máquina por medio de una computadora. Final del programa.
G41.- Compensación a la izquierda del cortador.	M30.- Fin del programa y regreso al inicio de este.
G42.- Compensación a la derecha del cortador.	M38.- Abrir la puerta.
G43.- Compensación longitudinal.	M39.- Cierra la puerta
G49.- Cancela compensación longitudinal del cortador.	M63.- Se activa una señal de salida (enviada de la fresadora al robot (manipulador)) para que el robot pueda actuar.
G81.- Ciclo de taladrado para perforación de agujero pasante. El agujero atraviesa la pieza en un solo movimiento a una velocidad determinada de avance.	M65.- Desactiva la señal de salida para que el robot se retire.
G82.- Ciclo de taladrado para perforación de agujero ciego. El agujero no atraviesa la pieza, en	M66.- Comando que ordena una señal de espera activada por el manipulador (enviada del robot a la fresadora), cuando está efectuando una operación.
	M76.- Comando que ordena una señal de espera desactivada por el robot, cuando la operación término y la fresadora continúen con su trabajo.
	M98.- Comando que ordena la llamada a un subprograma.

su punto final de taladrado debe tener una pausa para remover el material sobrante y se determina con la letra “P” con un tiempo en milisegundos.

G83.- Ciclo de taladrado para perforación de agujero profundo. En este agujero por ser para una perforación de toda una pieza de más espesor, se debe llevar a cabo por incrementos, los cuales se determinan con la letra “Q” con un valor determinado, el cortador avanzará con ese valor hasta perforar a toda la pieza.

G80.- Cancela los ciclos G81, G82 y G83

G90.- Comando para hacer uso de coordenadas absolutas.

G91.- Comando para hacer uso de coordenadas relativas.

G92.- Programación del punto cero absolutos, o cero de pieza.

G94.- Avance programado sobre unidad de tiempo (mm/min o pulg/min).

G95.- Avance programado sobre velocidad angular (mm/rev o pulg/rev).

G98.- Retorno a un punto inicial correspondiente a un ciclo determinado G99.- Retorno al punto de retroceso de un ciclo determinado.

M99.- Con este comando también se ordena el fin del programa, regresando al inicio de este y haciendo que el ciclo se cumpla cuantas veces sea necesario.

La utilización de los códigos G y códigos M, es el lenguaje de programación que la máquina entiende para realizar sus funciones [47].

Significado de las letras de los códigos G y M.

Letras	Descripción o Significado
A	Dimensión angular alrededor del eje X, medida en grados decimales.
B	Dimensión angular alrededor del eje Y, medida en grados decimales.
C	Dimensión angular alrededor del eje Z, medida en grados decimales.
D	Dimensión angular alrededor de un eje especial, o avance terciario, o función de selección de compensación para herramienta.
E	Dimensión angular alrededor de un eje especial, o avance secundario
F	Avance.
G	Función preparatoria

H	Libre o compensación de la herramienta.
I	Parámetro de interpolación o paso paralelo al eje X.
J	Parámetro de interpolación o paso paralelo al eje Y.
K	Parámetro de interpolación o paso paralelo al eje Z.
L	Libre.
M	Función miscelánea o auxiliar.
N	Número de secuencia.
O	Número de secuencia para segundo encabezado solamente.
P	Tercer movimiento paralelo al eje X o tercer movimiento rápido.
Q	Tercer movimiento paralelo al eje Y o segundo movimiento rápido.
R	Segundo movimiento paralelo al eje Y o primer movimiento rápido o radio.
S	Velocidad del husillo.
T	Selección de la herramienta.
U	Segundo movimiento paralelo al eje X.
V	Segundo movimiento paralelo al eje Y.
W	Segundo movimiento paralelo al eje Z.
X	Primer movimiento.
Y	Segundo movimiento.
Z	Tercer Movimiento.

Significado de letras que son utilizadas en la programación código G y M [47].

Anexo 3 Definición de términos

CNC: control numérico computarizado.

2D: dos dimensiones.

3D: tres dimensiones.

PCB: printed circuit board "placa de circuito impreso".

KCAM4: genera el código G para la CNC.

LabVIEW: (acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

DAQ: La adquisición de datos con la ayuda de LabVIEW.

Joystick: Palanca de control que permite desplazar manualmente, y con gran rapidez, el cursor en una pantalla de computadora o videojuego; se usa especialmente en programas informáticos de juego.

Tooling Canny: donde convierte la imagen en una matriz con la facilidad de LabVIEW.

Mach3: es un sistema de control computarizado que permite la comunicación con los servo motores usando una computadora.

SDM: Surface Mounted Device, que en inglés significa dispositivo de montaje superficial y se refiere tanto a una forma de encapsulado de componentes electrónicos, como a los equipos construidos a partir de estos componentes.

CAM: Manufacturing assisted by computer "Manufactura Asistida por Computadora" es el que sirve de puente entre el CAD (Diseño Asistido por Computadora) en este caso este software se encarga de generar.

Archivos Gerber: es un formato de archivo que contiene la información necesaria para la fabricación de la placa de circuito impreso o PCB. Se pueden crear con distintos programas de diseño electrónico como PCB Wizard, Eagle, DipTrace, Protel, KiCad o Altium Designer.

FLATCAM: genera el código G para la CNC.

PWM: La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de pulse-width modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

Conector db-25: El conector DB25 (originalmente DE-25) es un conector analógico de 25 clavijas de la familia de conectores D-Subminiature (D-Sub o Sub-D). Al igual que el conector DB9, el conector DB25 se usa principalmente para conexiones en serie, ya que permite una transmisión asíncrona de datos de acuerdo a lo establecido en la norma RS-232 (RS-232C). También se utiliza para conexiones por el puerto paralelo. En un principio se utilizó para conectar impresoras y por este motivo, se le conoce como el "puerto de impresora" (abreviado LTP).

ISO: Sigla de la expresión inglesa International Organization for Standardization, 'Organización Internacional de Estandarización', sistema de normalización internacional para productos de áreas diversas

NC: control numérico.

FR4: Este laminado revestido de cobre ignífugo está hecho de fibra de vidrio continua tejida impregnada con resina epoxi. El sustrato está hecho de FR4 que es una versión retardante de llama de material de

G-10. Con revestimiento de cobre FR-4 boletín se utiliza para tarjetas de circuitos impresos creados.

Anexo 4 Planos

Mecánicos

Panel Eléctrico

Anexo5 Manual de usuario

Máquina CNC

Máquina ensamblada con todos sus componentes, diríjase hasta la figura 54.

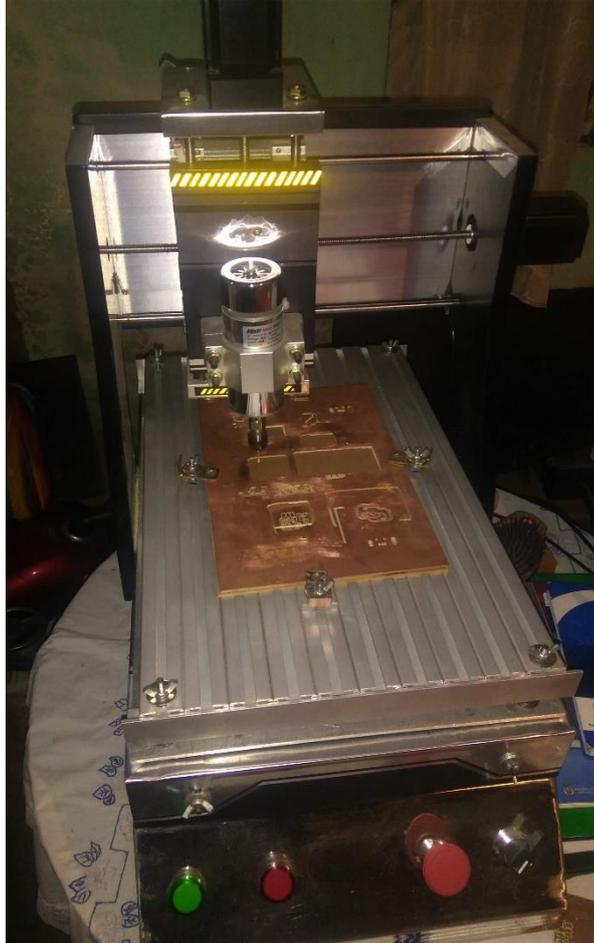


Figura 54. Máquina armada

Introducción

En este proyecto se da a conocer al usuario, la manera más adecuado y rápida, del uso y funcionamiento de la máquina CNC de tres ejes. Aquí encontrara una guía generalizada de los procedimientos a seguir para determinar los parámetros básicos y principales que se deben tomar en cuenta, para no cometer errores en el trabajo de grabado y la utilización de la máquina de control numérico.

Partes de la máquina

En la siguiente figura 55 se detalla las partes de la máquina CNC.

- a) Motor a fresar
- b) Motor a pasos
- c) Estado ON/OFF con la luz piloto de color verde
- d) Paro de emergencia
- e) Luz piloto de color rojo para de emergencia
- f) Luz piloto de color verde estado ON de la máquina

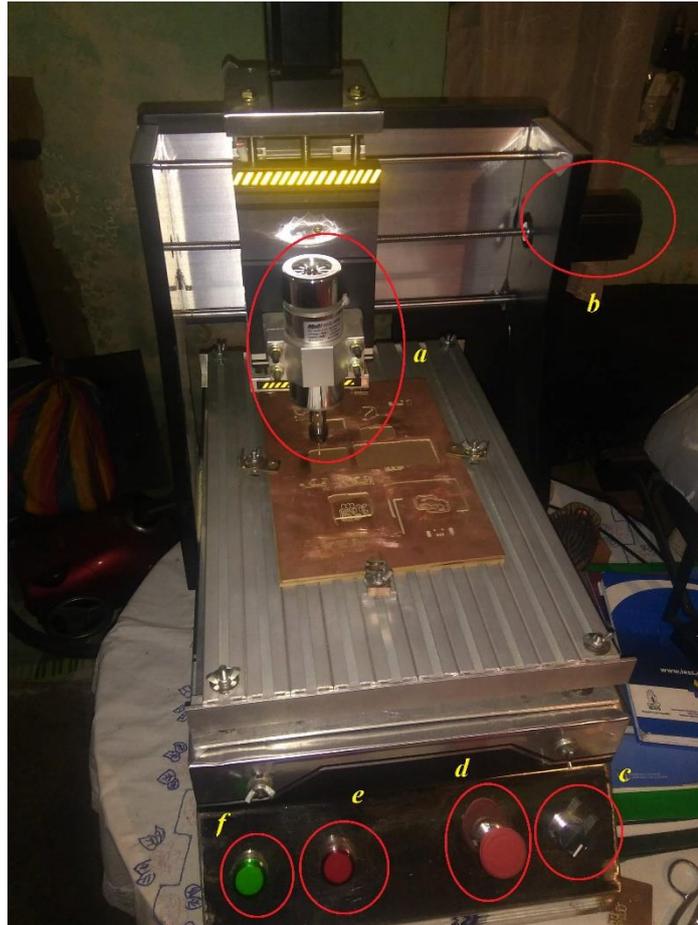


Figura 55. Partes de la máquina CNC

Partes faltantes de la máquina, observe en la figura 56.

- g) Tarjeta CNC con cable USB
- h) Cable de poder 110V
- i) Estado total de la máquina ON/OFF

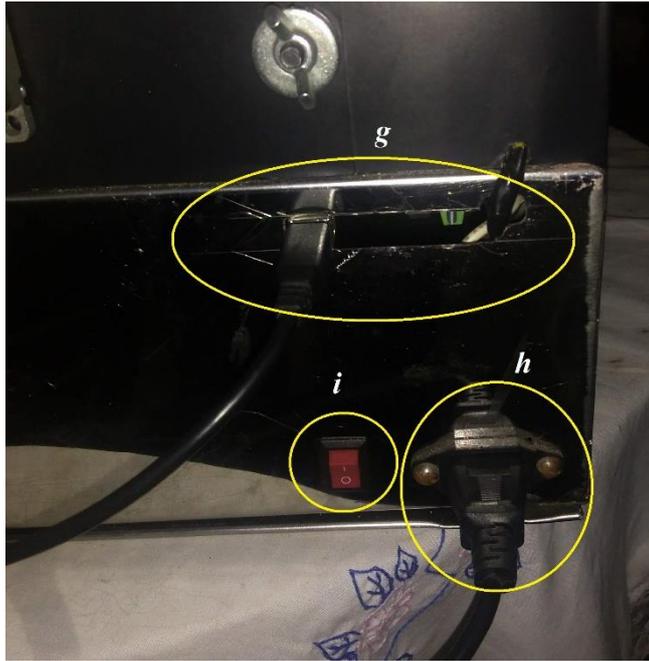


Figura 56. Otros elementos de la máquina CNC

Cableado y conectores de consola para energizar los motores a pasos, ilústrese en la figura 57.



Figura 57. Cable y conectores de consola

El sensor final de carrera hace un trabajo primordial, es impedir que los ejes se salgan de la estructura de cada eje XYZ, observe en la figura 58.



Figura 58. Sensores límites de carrera en el eje

Utilización del software

Para la configuración del Match 3 hay que seguir los siguientes pasos.

- 1) Instalar y abrir el software Match 3
- 2) Se resetea la maquina antes de poder usar, observe en la figura 59.



Figura 59. Reset

3) Se debe configurar las unidades, observe las siguientes figuras 60 y 61.

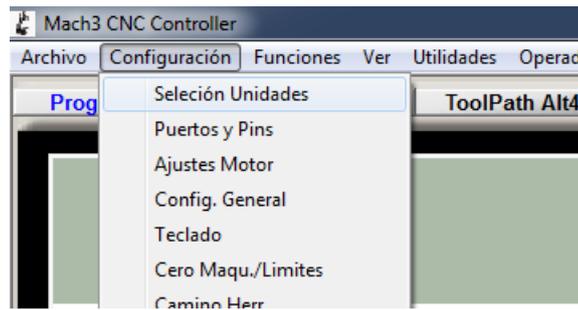


Figura 60. Configuración de unidades

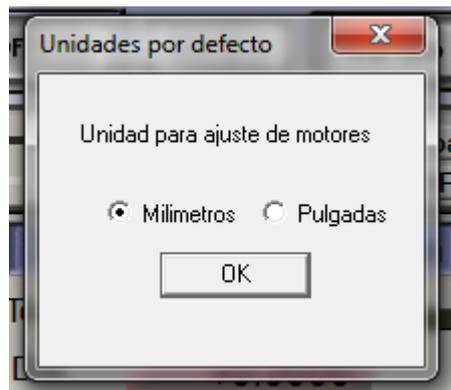


Figura 61. Unidades en mm

4) Configuración de puertos y pines como indica el manual de instalación de Match 3, ilústrese en la siguiente figura 62.

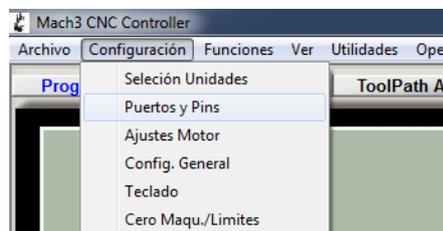


Figura 62. Puerto y pines

5) Configurar ajustes de motor, guíese en la figura 63.

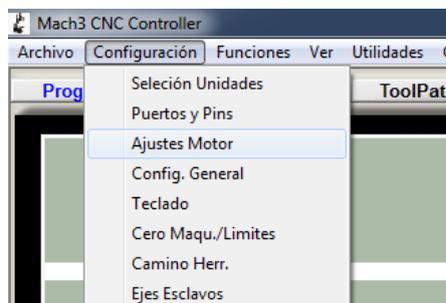


Figura 63. Ajustes de motor

6) Calibración de los tres ejes XYZ, observe las siguientes figuras 64, 65 y 66.

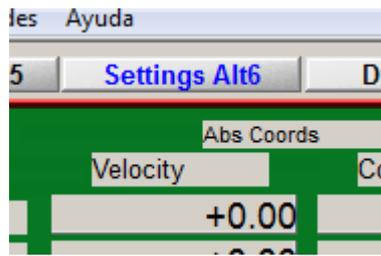


Figura 64. Configuración de los ejes



Figura 65. Configuración de pasos por unidad.



Figura 66. Configuración de cada eje XYZ

7) Regrese ajustes de motor donde configuran los datos para que los ejes se muevan más rápido, observe la siguiente figura 67.



Figura 67. Dato de la configuración de los ejes

Nota: Los valores que pueden ser configurados son: velocidad y aceleración ya que si configura los *Steps per mm* se des configura los ejes ya que este dato es el dato real de pasos que da el motor.

Funcionamiento de la máquina

- 1) Limpiara la maquina con la aspiradora, y observar si el eje tiene grasa para su movimiento.
- 2) Verifique si están conectados el cable de datos y el cable de poder.
- 3) Encender la máquina CNC.
- 4) Poner en estado ON con la luz piloto de color verde, indica que esta lista para trabajar la máquina.

- 5) Fijar el material a ser fresado.
- 6) Abrir el software Match 3.
- 7) Hacer click en Reset, como se observa en la figura 59.
- 8) Cargar el código G, ilústrese en la siguiente figura 68.



Figura 68. Cargar código G

- 9) Configurar los tres ejes XYZ para el cero pieza.
- 10) Haga click en GOTO Z, en modo seguro, fíjese en la figura 69.



Figura 69. Cero piezas.

- 11) Haga click, para encender la fresa, observe la figura 70.



Figura 70. Encender el husillo de la fresa

Nota: para encender el husillo hay que ingresar el valor máximo de la fresadora, observe en la figura 71.



Figura 71. Ingrese la velocidad máxima de la fresa

12) Presione *Cycle Star* para que la máquina empiece a trabajar, fíjese en la siguiente figura 72.



Figura 72. Inicio de la máquina

Anexo6 Anexos del proyecto



