



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL
ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS
APLICADAS**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA DE CONTROL
NUMÉRICO COMPUTARIZADO CON MOVIMIENTOS EN TRES
EJES**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

ESTEBAN ANDRÉS CARRILLO RIVERA

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS PARRA, MSc.

Quito, Mayo 2015

DECLARACIÓN

Yo, ESTEBAN CARRILLO declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mí autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

Esteban Andrés Carrillo Rivera

C.I. 1717179376

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por ESTEBAN ANDRÉS CARRILLO RIVERA, bajo mi supervisión.

ING. JUAN CARLOS PARRA

C.I. 1802313781

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mi Padre, por el valor y el coraje que has tenido para levantarte ante cualquier adversidad, por las enseñanzas que me has dado, y por darme ánimos diciéndome lo orgulloso que te sientes de tu hijo, muchas gracias, papá.

A mí querida Tiali, mi segunda madre, quien ha sido y será siempre un ejemplo incuestionable de fortaleza, integridad, profesionalismo, sabiduría y responsabilidad; por apoyarme incondicionalmente, no tengo palabras para agradecerte.

A mi hermano Ricardo, tú que has sido mi amigo, compañero de juegos, aventuras y peleas; quien me brindó su mano amiga en los momentos difíciles, de los cuales supimos salir.

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicada a mi madre, Sandra Rivera Hidalgo, una mujer única, quien con su amor, esfuerzo, y cariño han hecho posible que yo esté terminando una etapa de mi vida. Ella, el ángel que vela por mí, es mi apoyo constante, que me brinda seguridad, confianza y fuerza, a pesar la distancia.

Gracias por ser mi guía y nunca dejarme solo, mamá.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 Motivación y problemática	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivo general	1
1.2.2 Objetivos específicos	1
1.3 Justificación.....	2
1.3.1 Justificación teórica	2
1.3.2 Justificación metodológica.....	2
1.3.3 Justificación práctica	2
1.4 Estado del arte	2
1.4.1 Control numérico computarizado (CNC)	2
1.4.2 Antecedentes históricos	3
1.4.3 Diferencias entre una máquina manual y una máquina CNC	4
1.4.4 La fresadora	4
1.4.5 Fresadora con control numérico	5
1.4.6 Mecanizado por arranque de viruta	6
1.4.7 Clasificación de los sistemas de control numérico	8
1.4.8 Controlador CNC.....	8
1.4.8.1 Unidad de entrada y salida de datos	8
1.4.8.2 Unidad de memoria interna e interpretación de órdenes	9
1.4.8.3 Unidad de cálculo.....	9
1.4.8.4 Enlace con la máquina-herramienta	9
1.4.9 Flujo de trabajo de una fresadora CNC	9
1.5 Fabricación de fresadoras CNC en el Ecuador.....	11
 CAPÍTULO II: ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	13
2.1 Especificaciones generales	13
2.2 Alternativas de diseño	13
2.3 Análisis de alternativas.....	14
2.3.1 Subsistema 1: Estructura	15
2.3.1.1 Alternativa 1: Pórtico de cabezal móvil	15
2.3.1.2 Alternativa 2: Pórtico de mesa móvil	15
2.3.1.3 Alternativa 3: Bancada móvil o multiejes	16

2.3.1.4 Criterios de selección para el primer subsistema	16
2.3.1.5 Selección de alternativa del subsistema 1	19
2.3.2 Subsistema 2: Mecanismos.....	19
2.3.2.1 Transmisores de movimiento	19
2.3.2.2 Motores	25
2.3.2.3 Guías lineales	30
2.3.2.4 Sensores	34
2.3.3 Subsistema 3: Circuitos electrónicos	36
2.3.3.1 Driver SainSmart TB6560.....	36
2.3.3.2 Driver SainSmart TB6600.....	37
2.3.3.3 Driver SainSmart 2M542	38
2.3.3.4 Selección de alternativas de circuitos electrónicos	39
2.3.4 Subsistema 4: Software CNC	39
2.3.4.1 Mach 3	39
2.3.4.2 Emc2 o Linux CNC	40
2.3.4.3 TurboCNC	41
 CAPÍTULO III: CÁLCULOS Y DISEÑO DE LA MÁQUINA.....	42
3.1 Diseño mecánico.....	42
3.1.1 Modelo de estructura de la máquina	42
3.1.2 Cálculo de columnas	42
3.1.2.1 Cálculos de cargas	43
3.1.3 Cálculo de vigas según los ejes	49
3.1.3.1 Vigas del eje Y	50
3.1.3.2 Vigas del eje X	56
3.1.3.3 Vigas del eje Z	59
3.1.4 Tornillo de potencia	59
3.1.4.1 Cálculo del diámetro del tornillo.....	60
3.1.4.2 Tornillos de bolas recirculantes	62
3.1.4.3 Cálculo del par de giro requerido.....	62
3.1.4.4 Cálculo de la velocidad crítica	64
3.2 Sistema de control.....	65
3.2.1 Driver para el motor paso a paso NEMA 17 genérico.....	66
3.2.2 Placa de control	67
3.2.3 Límites del volumen de trabajo.....	67
3.2.4 Botón de paro de emergencia	68

CAPÍTULO IV: CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	69
4.1 Construcción de la estructura mecánica	69
4.1.1 Construcción del eje X	71
4.1.2 Construcción del eje Y	74
4.1.3 Construcción de eje Z	77
4.2 Montaje	79
4.2.1 Ensamblaje de la mesa X.....	79
4.2.2 Ensamblaje del sistema de movimiento del eje X.....	81
4.2.3 Ensamblaje del sistema de movimiento del eje Y.....	85
4.2.4 Ensamblaje del sistema de movimiento del eje Z.....	87
4.2.5 Ensamblaje del soporte para los motores paso a paso	89
4.2.6 Ensamblaje electrónico	91
4.3 Software.....	94
4.3.1 Características del software	94
4.3.2 Requerimientos mínimos para instalar Mach 3.....	95
4.3.3 Proceso de instalación	95
4.3.4 Configuración del software Mach 3	97
4.3.4.1 Configuración de las señales de salida	99
4.3.4.2 Configuración de las señales de entradas.....	101
4.3.5 Configuración de los motores paso a paso.....	102
4.3.6 Límites y cero máquina	105
 CAPÍTULO V: COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS	107
5.1 Análisis de costos	107
5.1.1 Costo de diseño	107
5.1.2 Costo de los componentes seleccionados.....	107
5.1.3 Costo de fabricación.....	108
5.1.4 Costo de implementación del sistema	108
5.1.5 Costo total de la máquina fresadora CNC	109
5.2 Pruebas y resultados.....	109
5.2.1 Pruebas en MDF	110
5.2.2 Pruebas en balsa	113
5.2.3 Pruebas en acrílico.....	115
5.2.4 Pruebas en aluminio.....	117
5.2.5 Temperatura de los motores paso a paso	118
5.2.6 Resultados	121

CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 ¿Qué es el fresado?.....	5
Figura 1.2 Arquitectura general de un CNC.	6
Figura 1.3 Sistema de ejes de una Fresadora.....	7
Figura 1.4 Sistemas de control numérico	8
Figura 1.5 Diagrama de flujo de funcionamiento de una fresadora CNC	10
Figura 1.6 Máquinas-herramienta del fabricante Supra.....	12
Figura 2.1 Estructura de pórtico de cabezal móvil	15
Figura 2.2 Estructura de pórtico de mesa móvil	16
Figura 2.3 Estructura bancada móvil o multiejes	16
Figura 2.4 Tornillo de bolas recirculantes y tuerca	20
Figura 2.5 Polea y correa dentada	21
Figura 2.6 Piñón y cremallera	22
Figura 2.7 Motor a paso a paso	26
Figura 2.8 Servomotor con Encoder.....	26
Figura 2.9 Guías lineales y patines	30
Figura 2.10 Eje y Rodamiento lineal.....	31
Figura 2.11 Fin de Carrera OsiSense ATEX D - Modelo XCKJ	35
Figura 2.12 Sensor capacitivo de proximidad OsiSense XS6.....	35
Figura 2.13 Driver TB6560	37
Figura 2.14 Driver SainSmart TB6600	38
Figura 2.15 Driver SainSmart 2M542	38
Figura 2.16 Software Mach 3	40
Figura 2.17 Software EMC2	40
Figura 2.18 Software TurboCNC	41
Figura 3.1 Modelo de Máquina Fresadora CNC	42
Figura 3.2 Columnas de la estructura	43
Figura 3.3 Sección transversal de la columna.	46
Figura 3.4 Diagrama de la columna	47
Figura 3.5 Modelación de las vigas que soportan los componentes del eje Z	51
Figura 3.6 Diagrama de cuerpo libre de la viga X.....	52
Figura 3.7 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flexionantes (viga Y).	53

Figura 3.8 Diagrama de deflexión del eje Y.....	56
Figura 3.9 Modelo de las vigas del Eje X	56
Figura 3.10 Deflexión máxima de la viga del eje X.....	59
Figura 3.11 Modelo de las vigas del Eje Z.....	59
Figura 3.12 Diagrama de cuerpo libre, fuerzas cortantes y momentos flexionantes	61
Figura 3.13 Circuito de recirculación de las bolillas en la tuerca.	62
Figura 3.14 Diagrama del sistema de control de la máquina	66
Figura 3.15 Esquema de funcionamiento de los fines de carrera	68
Figura 3.16 Botón de paro de emergencia	68
Figura 4.1 Fotografía del material MDF en crudo.	69
Figura 4.2 Fotografía de la sierra escuadradora.....	70
Figura 4.3 Refuerzos de aluminio.....	70
Figura 4.4 Piezas de sistema del eje X.	71
Figura 4.5 Piezas del sistema del eje Y.....	74
Figura 4.6 Piezas del sistema del eje Z.....	77
Figura 4.7 Piezas necesarias para el montaje de la mesa X	79
Figura 4.8 Fotografía de la mesa X acoplada al ángulo de aluminio.	80
Figura 4.9 Fotografía de los rodamientos lineales de 12mm SCS12UU acoplados a la mesa X.....	80
Figura 4.10 Fotografía de la tuerca y el tornillo de bolas acoplados al ángulo de aluminio.	81
Figura 4.11 Piezas necesarias para ensamblar la base de la fresadora.....	81
Figura 4.12 Fotografía de los ángulos de aluminio acoplados a la base de la máquina	82
Figura 4.13 Fotografía de la base frontal ensamblada	82
Figura 4.14 Fotografía de las bases laterales derecha e izquierda	83
Figura 4.15 Fotografía de la base de la máquina ensamblada.	83
Figura 4.16 Fotografías de la base acoplada con la mesa X.	84
Figura 4.17 Fotografía del rodamiento axial acoplado al tornillo de bolas.	84
Figura 4.18 Fotografía del sistema de movimiento X.....	84
Figura 4.19 Piezas necesarias para ensamblar el sistema de movimiento Y	85
Figura 4.20 Fotografía del espaldar Y acoplado al ángulo de refuerzo.....	85

Figura 4.21 Fotografías de las columnas acopladas al espaldar.	86
Figura 4.22 Fotografías de los ejes del sistema Y	86
Figura 4.23 Fotografía del sistema de movimiento del eje Y	87
Figura 4.24 Piezas necesarias para ensamblar el sistema de movimiento Y	87
Figura 4.25 Fotografía de los rodamientos lineales SC12UU de 12mm acoplados al espaldar Z.....	88
Figura 4.26 Fotografía de los ángulos acoplados al espaldar Z	88
Figura 4.27 Fotografía del montaje de los ejes de 12mm, rodamientos 608ZZ y tornillo de bolas recirculantes	89
Figura 4.28 Fotografía del motor DC acoplado al sistema de movimiento Z.....	89
Figura 4.29 Piezas necesarias para los soportes de los motores paso a paso	90
Figura 4.30 Fotografía del motor paso a paso anclada a la base	90
Figura 4.31 Fotografía del motor paso a paso	90
Figura 4.32 Fotografía de la fresadora CNC ensamblada	91
Figura 4.33 Diagrama de conexión de los elementos electrónicos	92
Figura 4.34 Fotografía de los dispositivos electrónicos instalados en la fresadora CNC	92
Figura 4.35 Fotografía del posicionamientos de los fines de carrera para el eje X.....	93
Figura 4.36 Fotografía del posicionamiento de los fines de carrera para los límites positivo, negativo y home del eje Y	94
Figura 4.37 Fotografía del posicionamiento de los fines de carrera para los de los límites positivo, negativo y home del eje Z	94
Figura 4.38 Ventana de instalación del software Mach3 Versión 3.042.020	95
Figura 4.39 Ventana de aceptación de licencia.	96
Figura 4.40 Ubicación del software	96
Figura 4.41 Proceso de instalación del mach3	97
Figura 4.42 Finalización de la instalación del software mach3	97
Figura 4.43 Interfaz Mach3	98
Figura 4.44 Configuración de los pines del puerto paralelo	99
Figura 4.45 Ventana de configuración de la máquina.....	99
Figura 4.46 Configuración de los pines para los motores paso a paso.....	100
Figura 4.47 Configuración de la señales de salida.	101
Figura 4.48 Configuración de los pines para los límites y home	102

Figura 4.49 Configuración del pin de paro de emergencia	102
Figura 4.50 Configuración de los motores paso a paso.....	105
Figura 4.51 Configuración de límites y cero máquina.....	105
Figura 5.1 Cuadrado modelado en CAD	110
Figura 5.2 Fotografía de las pruebas de maquinado en MDF.....	111
Figura 5.3 Gráfico de velocidad con respecto al recorrido de la pieza de MDF ..	112
Figura 5.4 Fotografía de las pruebas de maquinado con 1mm de penetración en MDF	113
Figura 5.5 Fotografía de las pruebas de maquinado en balsa.....	113
Figura 5.6 Gráfico de velocidad con respecto al recorrido de la pieza de balsa .	114
Figura 5.7 Fotografía de las pruebas de maquinado con 2mm de penetración en balsa	115
Figura 5.8 Fotografía de las pruebas de maquinado en acrílico	116
Figura 5.9 Gráfico de velocidad con respecto al recorrido de la pieza de acrílico	117
Figura 5.10 Fotografía de las pruebas de maquinado en aluminio.	118
Figura 5.11 Fotografía de piezas fabricadas para toma de temperatura	119
Figura 5.12 Perfiles internos de las piezas.....	119
Figura 5.13 Perfiles externos de las piezas	120
Figura 5.14 Curva de temperatura vs tiempo	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Diferencias entre máquina convencional y máquina CNC.	4
Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de una fresadora CNC	11
Tabla 2.1 Subsistemas que comprenden la fresadora CNC.	14
Tabla 2.2 Criterio de selección del subsistema 1	17
Tabla 2.3 Subsistema 1 – Criterio de evaluación: Rigidez.....	17
Tabla 2.4 Subsistema 1 – Criterio de evaluación: Costo	18
Tabla 2.5 Subsistema 1 – Criterio de evaluación: Disponibilidad de manufactura	18
Tabla 2.6 Subsistema 1 – Criterio de evaluación: Ensamblaje	18
Tabla 2.7 Prioridad de las alternativas del subsistema 1	19
Tabla 2.8 Ventajas y desventajas de varilla roscada y tuerca	20
Tabla 2.9 Ventajas y desventajas de polea y correa dentada.....	21
Tabla 2.10 Ventajas y desventajas de piñón y cremallera	22
Tabla 2.11 Criterios de selección para los transmisores de movimiento	23
Tabla 2.12 Subsistema 2 - Transmisores de movimiento – Criterio de evaluación: Precisión	23
Tabla 2.13 Subsistema 2 - Transmisores de movimiento – Criterio de evaluación: Costo	24
Tabla 2.14 Subsistema 2 - Transmisores de movimiento – Criterio de evaluación: Disponibilidad.....	24
Tabla 2.15 Subsistema 2 - Transmisores de movimiento – Criterio de evaluación: Ensamblaje	24
Tabla 2.16 Selección de alternativas de los transmisores de movimiento	25
Tabla 2.17 Cuadro comparativo de ventajas Motor paso a paso vs Servomotores	27
Tabla 2.18 Criterios de selección de los motores	28
Tabla 2.19 Subsistema 2 – Motores – Criterio de evaluación: Precisión	28
Tabla 2.20 Subsistema 2 – Motores – Criterio de evaluación: Torque.....	28
Tabla 2.21 Subsistema 2 – Motores – Criterio de evaluación: Control	29
Tabla 2.22 Subsistema 2 – Motores – Criterio de evaluación: Costo.....	29
Tabla 2.23 Subsistema 2 – Motores – Criterio de evaluación: Disponibilidad.....	29
Tabla 2.24 Selección de alternativas del subsistema 2 Motores	30
Tabla 2.25 Cuadro comparativo rodamientos lineales vs guías lineales y patines	31

Tabla 2.26 Criterios de selección para guías lineales	32
Tabla 2.27 Subsistema 2 - Guías Lineales – Criterio de evaluación: Precisión	32
Tabla 2.28 Subsistema 2 - Guías Lineales – Criterio de evaluación: Peso	33
Tabla 2.29 Subsistema 2 - Guías Lineales – Criterio de evaluación: Costo.....	33
Tabla 2.30 Subsistema 2 - Guías Lineales - Criterio de evaluación: Disponibilidad	33
Tabla 2.31 Selección de alternativas del subsistema 2 Guías Lineales.....	34
Tabla 2.32 Cuadro comparativo fines de carrera vs sensores de proximidad.....	36
Tabla 2.33 Cuadro comparativo entre los drivers TB6560/TB6600/2M542.....	39
Tabla 3.1 Piezas de la Estructura en MDF	43
Tabla 3.2 Peso de las piezas de MDF	45
Tabla 3.3 Peso de los elementos mecánicos especificados por los fabricantes ...	45
Tabla 3.4 Carga total que soportan las columnas	46
Tabla 3.5 Peso de las Piezas en MDF que soportan las vigas del eje Y.	50
Tabla 3.6 Peso de los elementos mecánicos del eje Y.....	50
Tabla 3.7 Carga total que soportan las Vigas.....	51
Tabla 3.8 Peso de las Piezas en MDF que soportan las vigas del eje X	57
Tabla 3.9 Peso total que soporta las vigas del eje X.	57
Tabla 3.10 Tipo de control y número de paso/revolución	66
Tabla 3.11 Diferencias entre una placa fabricada caseramente vs una fabricada industrialmente.....	67
Tabla 4.1 Piezas del sistema del eje X.....	71
Tabla 4.2 Piezas del sistema del eje Y.....	75
Tabla 4.3 Piezas del sistema del eje Z.....	78
Tabla 4.4 Código de colores para los cables de conexión.....	91
Tabla 4.5 Pines del puerto paralelo y su funcionalidad.....	98
Tabla 4.6 Número de pasos necesarios dependiendo del control	103
Tabla 5.1 Materiales utilizados en la construcción de la fresadora CNC	107
Tabla 5.2 Costo de fabricación de piezas en MDF y torneado de los tornillos de bolas	108
Tabla 5.3 Costo de implementación del sistema	109
Tabla 5.4 Costo total de la máquina.....	109
Tabla 5.5 Dimensiones de las piezas de prueba en MDF y tiempos de corte.....	111

Tabla 5.6 Dimensiones de las piezas de prueba en balsa y tiempos de corte	114
Tabla 5.7 Dimensiones de las piezas de prueba en acrílico	116
Tabla 5.8 Límites de trabajo según el material utilizado	118
Tabla 5.9 Valores de temperatura cada 5 minutos	120
Tabla 5.10 Resultados de trabajo.....	122

RESUMEN

El presente proyecto de titulación muestra el diseño y la construcción de un prototipo de fresadora con control numérico computarizado; se trata de una fresadora con desplazamientos automáticos en tres diferentes ejes (X, Y, Z), permitiendo realizar movimientos complejos como círculos, líneas, curvas, diagonales entre otros, mediante el uso de motores paso a paso con su respectivo driver de control y tornillos de bolas recirculantes para la transmisión de movimiento.

La estructura de la máquina se fabricó con MDF y ángulos de aluminio; tiene un volumen de trabajo de 30 cm en el eje X, 28 cm en el eje Y y 10 cm en el eje Z; se implementó fines de carrera para referenciar la posición cero de la máquina y establecer límites de recorrido, para mayor seguridad y evitar daños al operador como a la máquina.

El control de la máquina se realizó a través del software Mach3, que permite controlar la velocidad, aceleración y posición de los motores paso a paso. El software lee e interpreta el lenguaje de programación de maquinado (Código G), y de forma automática convierte esos datos en señales de salida que por medio del puerto paralelo (LPT1) la máquina recibe las instrucciones como el encendido y apagado, giro del husillo, desplazamiento de la pieza o de la herramienta, etc. Lo que permite el mecanizado de piezas con mayor precisión, una mejor calidad de acabado y fabricar una mayor cantidad en menor tiempo que una fresadora manual.

ABSTRACT

This dissertation shows the design and construction of a router prototype with computer numerical control; it is a milling machine with automatic movements in three axes (X, Y, Z), allowing complex movements such as circles, lines, curves, diagonals among others, using stepper motors with their respective driver and ball screws for transmitting move.

The machine structure is manufactured with MDF and angles of aluminum; has a working volume of 30 cm on the X axis, 28 cm in the Y axis and 10 cm in the Z axis; limit switches was implemented to reference the zero position of the machine and limits set for safety and protection for the operator and the machine.

The machine control is done through the Mach3 software, which controls the speed, acceleration and position of stepper motors. The software reads and interprets the programming language machining (G Code) and automatically converts that data into output signals, via the parallel port (LPT1) the machine receives instructions as turning on and off, turn the spindle, move the piece or the tool, etc. This allows the machining of parts with greater precision, better quality finished, more quantity in less time than a manual milling machine.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 MOTIVACIÓN Y PROBLEMÁTICA

Hoy en día, en la industria, el control numérico computarizado es ampliamente usado para la creación y moldeado de piezas complejas de manera rápida y precisa. Esto permite que los índices de productividad y calidad aumenten considerablemente; el uso del control numérico computarizado también ayuda a disminuir los costos y tiempo de producción, es por eso que, estas máquinas-herramienta deben ser manipuladas eficazmente por el Ingeniero Mecatrónico.

A nivel nacional, el desarrollo tecnológico en esta área de automatización de máquinas es bajo por lo que los costos de adquisición son considerablemente altos. A esto se suman gastos de mantenimiento, capacitación para el personal que va a utilizar la máquina, entre otros.

El proyecto propone diseñar y construir una fresadora con control numérico computarizado que permita efectuar operaciones de maquinado de manera automática, obteniendo piezas de formas complejas, con precisión y buenos acabados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una Fresadora de Control Numérico Computarizado con movimientos en tres ejes.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y evaluar las alternativas de diseño mediante el método ordinal corregido de criterios ponderables para escoger la mejor opción para la construcción de la fresadora CNC.
- Establecer un volumen de trabajo de 30 cm en el eje X, 30 cm en el eje Y y 10 cm en el eje Z.
- Diseñar la máquina estableciendo una resolución de 0.01 mm en el proceso de maquinado de materiales como madera, acrílico o aluminio.

- Elaborar un prototipo virtual mediante la ayuda de un software de diseño asistido por computadora para evaluar, planear y proyectar la mejor alternativa de construcción.
- Implementar un sistema de control modular y analizar cuál es la mejor alternativa de interface para establecer la comunicación Hardware–Software.
- Implementar sistemas de seguridad necesarios para la máquina.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El desarrollo del proyecto contempla el diseño y construcción de una fresadora CNC, además de una investigación sobre las características principales, la programación y la operación básica de una fresadora de control numérico computarizado, al mismo tiempo que implica la capacitación en el manejo adecuado de un programa de dibujo asistido por computadora, en el cual se diseñarán las piezas a ser elaboradas.

1.3.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

El proyecto permitirá desarrollar una herramienta de bajo costo con relación a los sistemas de fresado existentes en el mercado local. Esta herramienta ayudará a realizar procesos de maquinado y moldeo de piezas complejas de manera rápida y precisa, además de permitir realizar prácticas sobre la programación textual o códigos G.

1.3.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

El proyecto a realizar permitirá dar una solución a la elaboración de piezas que son difíciles de maquinar en el mercado ecuatoriano sin la ayuda de una máquina CNC, además de contribuir con el desarrollo y destrezas de la programación y control de máquinas CNC.

1.4 ESTADO DEL ARTE

1.4.1 CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)

En general, CNC se refiere a la utilización de un computador, la electrónica especializada, y motores para controlar una máquina de una manera precisa y

reproducibles. El control numérico aprovecha varias tecnologías diferentes, incluyendo software, electrónica, dispositivos mecánicos y electromecánicos especializados. Las aplicaciones son numerosas, y se utiliza ampliamente en la industria, tanto para la creación de prototipos (el desarrollo de una parte) y de producción (producción de esa parte en grandes cantidades). [1]

1.4.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Años 50:

- John C. Parsons y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) desarrollaron la primera máquina fresadora de control numérico, construida con bulbos y usando cartas perforadas, con el fin de fabricar aquellas piezas de los aviones de guerra de especial dificultad y alta precisión.
- El gobierno norteamericano apoya la iniciativa para el desarrollo de una fresadora de tres ejes en contorno mandado por control digital; el MIT utiliza por primera vez el término "Control Numérico".
- La U.S.A.F (Fuerza Aérea de los Estados Unidos) realiza una solicitud de 170 máquinas de Control Numérico a tres grandes constructores norteamericanos Cincinnati Milling Machine Company, Giddin & Levis y Kearney & Trecker. A partir de este acontecimiento algunos constructores se interesan por el desarrollo de máquinas más simples para trabajos complejos como taladrado, mandrilado y punteado, que no requieren ningún movimiento continuo, pero sí un posicionamiento con precisión.

Años 60:

- Se empiezan a construir los circuitos integrados y se empieza a construir computadores en forma comercial.
- Se realizaron los primeros ensayos de Control Numérico Directo (DNC). Las funciones de control se efectuaban mediante programas en la memoria del computador y enviando los comandos directamente a la máquina [2].

Años 70:

- Entran en funcionamiento los microprocesadores o micro-chips haciendo posible las interpolaciones rectas y curvas entre ejes.

Años 80:

- Se desarrollaron los primeros sistemas flexibles de manufactura (FMS). Es un sistema integrado por máquinas herramientas enlazadas mediante un sistema de manejo de materiales automatizado, estas son operadas automáticamente con tecnología convencional o al menos por un control número computarizado.
- Se desarrollaron los primeros sistemas de manufactura integrada por computadora CIM. Esta tecnología permite incrementar la capacidad de manufacturar piezas usando el mismo grupo de máquinas; esta integra información de las distintas áreas de una empresa a través de sistemas informáticos [3].

1.4.3 DIFERENCIAS ENTRE UNA MÁQUINA MANUAL Y UNA MÁQUINA CNC

En la Tabla 1.1 se muestran las diferencias que existen entre una máquina convencional y una con control numérico computarizado.

Tabla 1.1 Diferencias entre máquina convencional y máquina CNC.

CONVENCIONAL	CNC
Se opera por una sola persona.	Una persona puede operar varias máquinas.
El operario debe tener en cuenta el dimensionamiento.	El software CAD/CAM localiza el dimensionamiento de manera automática.
El operario tiene el control de profundidad, avance, velocidad, etc.	El programa tiene el control de los parámetros de corte
Existen piezas imposibles de mecanizar	Si se puede realizar virtualmente se puede realizar cualquier pieza

1.4.4 LA FRESADORA

Una fresadora es una máquina - herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta, la pieza que posteriormente va a ser mecanizada, se desplaza con movimientos previamente establecidos a lo largo de los ejes X, Y y Z; a la herramienta de corte o fresa se le aplica un movimiento de rotación alrededor

de su propio eje y mediante el choque mecánico entre la pieza y la herramienta se da lugar al mecanizado por fresado [4]; así se puede obtener formas diversas, desde superficies planas a otras más complejas, la Figura 1.1 muestra características de lo que implica el proceso de fresado. En la actualidad existe una gran variedad de máquinas con diferentes mecanismos de control, por eso es necesario personal capacitado, para el manejo de las fresadoras.



Figura 1.1 ¿Qué es el fresado?

1.4.5 FRESADORA CON CONTROL NUMÉRICO

Al acoplar una fresadora con el control numérico computarizado se puede producir piezas de manera rápida, eficaz y con mayor exactitud. En la actualidad, se han implementado programas CAD/CAM que facilitan considerablemente la operación de las máquinas CNC. Los programas CAD (Diseño Asistido por Computador), se utiliza para modelar la pieza que se quiere fabricar en 2D o 3D. El programa CAM (Manufactura Asistida por Computador) permite establecer todos los parámetros de maquinado necesarios para generar el lenguaje de programación de maquinado conocido como código G. La Figura 1.2 muestra la arquitectura general para fabricar una pieza en una máquina CNC.

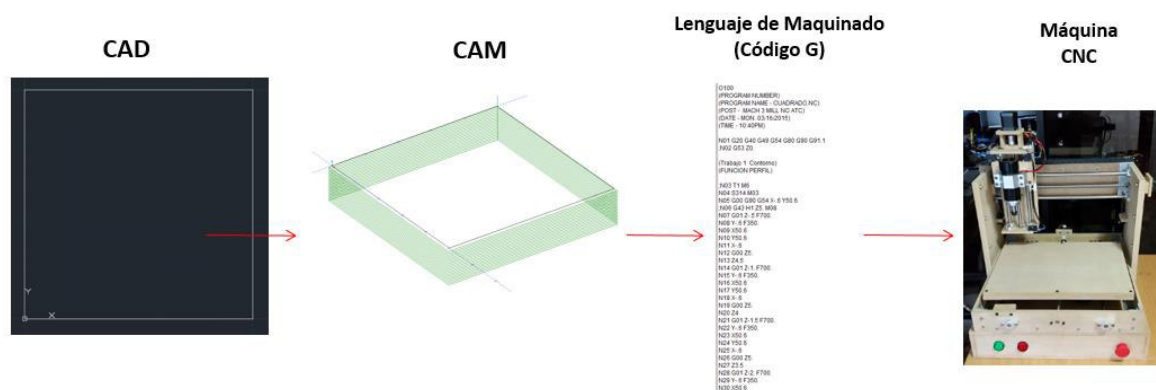


Figura 1.2 Arquitectura general de un CNC.

En una fresadora CNC, a diferencia de una fresadora convencional o manual, un computador controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Esto permite realizar movimientos complejos como círculos, líneas curvas, líneas en diagonal entre otros; el computador lee e interpreta el código G y controla el movimiento de los ejes X, Y y Z. Una vez establecido el código G la máquina ejecuta por si sola todas las operaciones programadas, sin necesidad del operador, con lo cual este mismo puede manipular varias máquinas a la vez, mejorando el tiempo de producción [5].

Algunas de las principales áreas en las que el mecanizado mediante CNC puede presentar beneficios son:

- Reducción del tiempo de instalación
- Manipulación en la reducción del tiempo de maquinado
- Precisión y la repetitividad
- Contorno de formas complejas
- Simplificado en cambio de herramienta
- Tiempo de corte consistente
- Aumento general de la productividad
- Seguridad
- Reducción de controles y desechos

1.4.6 MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Es el proceso por el cual se desprende material de un semiproducto previamente fabricado, mediante el uso de herramientas como fresas, estas herramientas generalmente tienen uno o más filos de corte que ayudan a desprender el exceso de material en forma de viruta, este proceso generalmente se lo realiza en varias

pasadas para conseguir la geometría de la pieza deseada. Existen varios tipos de procesos por arranque de viruta, uno comúnmente utilizado es el de desbaste que consiste en eliminar la mayor cantidad de material con poca precisión; otro es el proceso de acabado, este elimina de manera precisa el material restante y su objetivo principal es dar el acabado superficial que se requiera a las distintas superficies de la pieza [6].

El proceso de mecanizado por arranque de viruta se realiza por la penetración de una herramienta, cuyo material es de mayor dureza que el de la pieza a cortar; dentro de este proceso intervienen tres diferentes movimientos:

- **Movimiento de corte:** es el que permite que la herramienta penetre en el material, produciendo viruta. Se lo identifica como el parámetro de velocidad de corte.
- **Movimiento de avance:** es el responsable del arranque continuo del material, marcando la trayectoria que debe seguir la herramienta. Se lo identifica como el parámetro de velocidad de avance.
- **Movimiento de alimentación:** es con el que se consigue cortar un espesor de material, se lo identifica como el parámetro de profundidad de pasada.

Cada uno de estos movimientos lo puede tener la pieza o la herramienta según las características que tenga la máquina [7], la Figura 1.3 muestra los movimiento que puede realizar una fresadora.

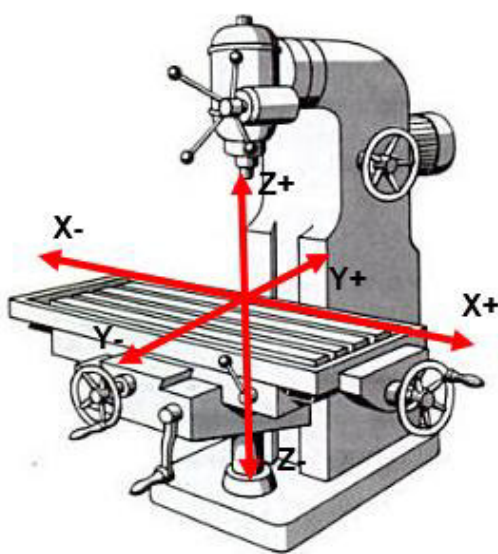


Figura 1.3 Sistema de ejes de una Fresadora

Fuente: Herramientas Máquinas Trabajo [8].

1.4.7 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL NUMÉRICO

Los sistemas de control se clasifican en:

- Equipos de control numérico de posicionamiento o punto a punto.
- Equipos de control numérico de contorno.

En un sistema punto a punto, el objetivo principal es alcanzar el siguiente punto de manera rápida y precisa sin importar la trayectoria realizada como se muestra en la Figura 1.3a y Figura 1.3b, en cambio en los sistemas de contorno el programa no sólo rige posición final sino también el movimiento en cada instante de los ejes en los cuales se realiza la interpolación. En las máquinas donde se va a realizar trabajos de contorno es necesario que exista una sincronización perfecta entre los motores de los distintos ejes. Estos sistemas son comúnmente utilizados en fresados complejos donde se realizan trabajos en dos o tres ejes a la vez como se muestra en la Figura 1.4 (c) y (d).

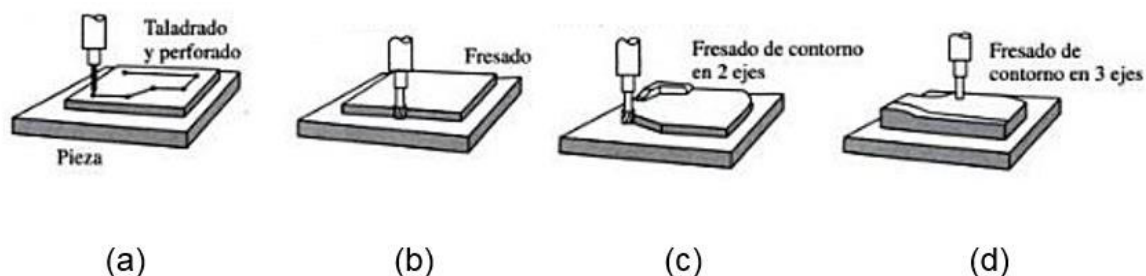


Figura 1.4 Sistemas de control numérico. (a) Punto a punto. (b) Punto a punto y línea recta. (c) Contorneado en dos ejes con plano cambiante. (d) Trayectoria continua en 3 ejes.

Fuente: Manufactura, Ingeniería y tecnología [9].

1.4.8 CONTROLADOR CNC

El controlador CNC permite la calibración, configuración y el control de la fresadora. Es el encargado de procesar cada línea del programa de maquinado (código G) para que la máquina ejecute los movimientos necesarios para fabricar la pieza. Un software controlador CNC ejecuta cuatro parámetros de procesamiento de control numérico.

1.4.8.1 Unidad de entrada y salida de datos

La unidad entrada de datos sirve para introducir los programas de mecanizado en el equipo de control numérico.

1.4.8.2 Unidad de memoria interna e interpretación de órdenes

La unidad de memoria almacena el programa de maquinado, los datos máquina y las compensaciones, una vez almacenado el programa, este inicia su lectura para su posterior ejecución. Los bloques se van leyendo secuencialmente. En estos se encuentra toda la información necesaria para la ejecución de una operación de mecanizado.

1.4.8.3 Unidad de cálculo

Esta unidad se encarga de crear el conjunto de órdenes que serán utilizadas para gobernar la máquina-herramienta.

1.4.8.4 Enlace con la máquina-herramienta

La función principal de un control numérico es gobernar los ejes de una máquina-herramienta de forma automática [10]. Para gobernar el movimiento de los ejes, la máquina CNC precisa de diferentes elementos que se pueden clasificar en dos grupos:

Parte mecánica: en este grupo entran los motores (motores paso a paso o servomotores), husillos, actuadores en general.

Parte electrónica: Encargada de calcular las posiciones mediante sensores, circuitos electrónicos encargados de gobernar a los motores.

1.4.9 FLUJO DE TRABAJO DE UNA FRESADORA CNC

Hay un flujo de trabajo común para el diseño y la fabricación de una pieza mediante CNC como se muestra en la Figura 1.5.

1. Se diseña una pieza en un programa CAD (Computer Aided Design).
2. La pieza se carga en un programa de CAM (Computer Aided Machining).
3. Se escogen los tipos de mecanizados que se van a realizar y que acabado se requiere para la fabricación de la pieza.
4. Se simula la mecanización de la pieza para ver su estado final.
5. El programa CAM traduce en instrucciones llamadas de código G.
6. El código G se comprueba si es correcto y se fija si es necesario.
7. Las instrucciones en código G son las se encargan de enviar señales a los circuitos electrónicos que controlan los motores en la máquina CNC.
8. La máquina CNC corta la pieza de un bloque de material.

Si todo está configurado de manera adecuada, el material mantenido firmemente, la posición de inicio de la máquina, y demás parámetros necesarios, la pieza se crea de manera exitosa.

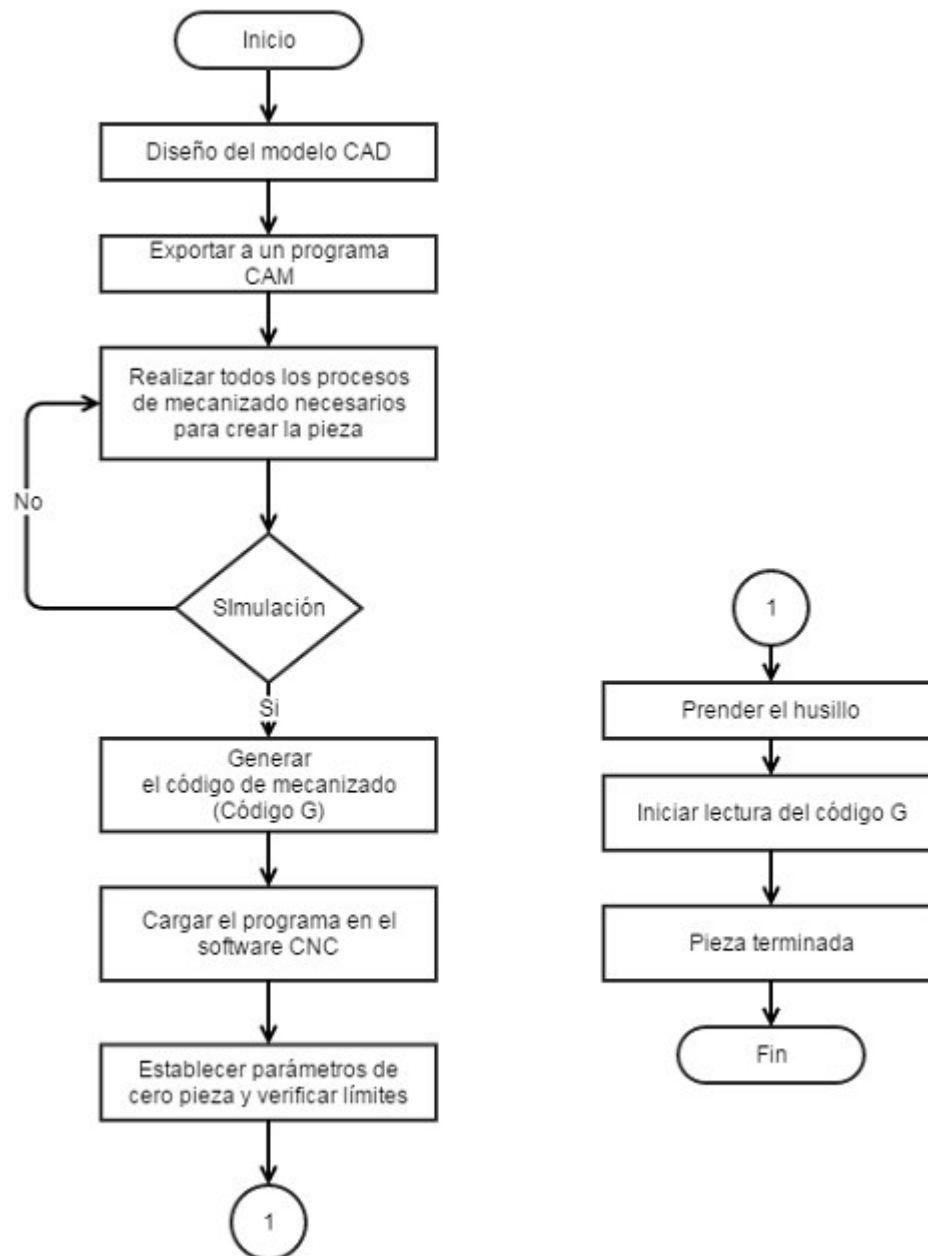


Figura 1.5 Diagrama de flujo de funcionamiento de una fresadora CNC

La Tabla 1.2 muestra las ventajas y desventajas al aplicar la tecnología del control numérico computarizado en una máquina fresadora.

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de una fresadora CNC

Ventajas	Desventajas
• Mayor precisión y mejor calidad de productos. • Mayor uniformidad en los productos producidos. • Un operario puede manejar varias máquinas a la vez, no se requiere experiencia previa y se reduce la fatiga del operador. • Fácil procesamiento de productos de apariencia complicada. • Flexibilidad para el cambio en el diseño y en modelos en un tiempo corto. • Fácil control de calidad. • Mayor seguridad en las labores. • Aumento del tiempo de trabajo en corte por maquinaria. • Permite simular el proceso de corte a fin de verificar que este sea correcto.	• Alto costo de la maquinaria. • Falta de opciones o alternativas en caso de fallas. • Los costos de mantenimiento aumentan, ya que el sistema de control es más complicado y surge la necesidad de entrenar al personal de servicio y operación. • Es necesario programar en forma correcta la selección de las herramientas de corte y la secuencia de operación para un eficiente funcionamiento. • Es necesario mantener un gran volumen de producción a fin de lograr una mayor eficiencia de la capacidad instalada.

1.5 FABRICACIÓN DE FRESADORAS CNC EN EL ECUADOR

En el Ecuador existe una gran variedad de empresas importadoras de máquinas CNC, tanto de marcas alemanas, norteamericanas, chinas, etc; a diferencia de SupraCNC, que es una empresa conocida por diseñar, fabricar, y poner a disposición del usuario, máquinas-herramienta fabricadas en Ecuador.

SupraCNC es una empresa dedicada a la fabricación de máquinas herramienta, integrando el control numérico computarizado. Es una empresa ecuatoriana conformada en el año 2007 con la intención de generar producción nacional de alta calidad promoviendo a la industria ecuatoriana. Dentro de los productos de

SupraCNC existen cortadoras plasma CNC (Figura1.6a), cortadoras láser CNC (Figura1.6b), y fresadoras CNC de pequeño y gran formato (Figura1.6c).



Figura 1.6 Máquinas-herramienta del fabricante Supra CNC. a) Cortadora plasma. b) Cortadora laser. c) Fresadora CNC de SupraCNC

Fuente: SupraCNC [11].

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1 ESPECIFICACIONES GENERALES

Las especificaciones consisten básicamente en un listado de lo que se desea lograr con el proyecto. Estas especificaciones indican los parámetros que debe tener la fresadora CNC.

- Estructura modular de fácil montaje.
- El sistema debe permitir un posicionamiento manual y automático.
- El sistema podrá transmitir movimiento a través de los ejes cartesianos.
- Volumen de trabajo de 30cm x 30cm x 10cm correspondientes a cada eje de un sistema cartesiano.
- Resolución de 0.01mm.
- Botón de emergencia.
- Mantenimiento accesible.
- Límites en los tres ejes cartesianos.

2.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para cumplir con los requerimientos del proyecto, se dividirá a la máquina en varios subsistemas con el fin de abarcar más a detalle cada uno de ellos. El primer subsistema se basará en la estructura de la máquina, para este se utilizará un material liviano y fácil de manipular, además la estructura debe mantener una rigidez adecuada para absorber las vibraciones generadas por los motores y la herramienta.

El segundo subsistema consistirá en los mecanismos a utilizar para transmitir el movimiento necesario en los tres ejes. Dentro de estos mecanismos se seleccionarán motores, guías, sensores y trasmisores de movimiento.

El tercer subsistema se refiere al sistema de control necesario para la fresadora CNC, aquí se seleccionará los circuitos electrónicos que son requeridos para su funcionamiento.

En el cuarto subsistema se seleccionará el software más apropiado para la fresadora CNC, éste debe contar con una interfaz amigable con el usuario para que la máquina sea sencilla de operar.

Para cada subsistema se considerará un mantenimiento accesible de bajo costo, y disponibilidad de repuestos en el mercado comercial ecuatoriano. Además, la apariencia estética también será un factor importante para la toma de decisiones. La Tabla 2.1 muestra los subsistemas que conforman la fresadora CNC.

Tabla 2.1 Subsistemas que comprenden la fresadora CNC.

SUBSISTEMA	CARACTERÍSTICAS
1: Estructura	Tipo de material Fácil de manipular Rígida
2: Mecanismos	Motores Guías Sensores Transmisores de movimiento
3: Sistemas de control	Circuitos electrónicos
4: Software	Amigable para el usuario

2.3ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Para el análisis de alternativas se utilizará el método ordinal corregido de criterios ponderados, consiste en el desarrollo de diversas tablas, donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

- 1 : Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas.
- 0,5 : Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (=) al de las columnas.
- 0 : Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas.

A continuación, para cada criterio, se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios, al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna, se calculan los valores ponderados para cada criterio. Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos del valor ponderado de cada criterio, por el valor ponderado de cada alternativa de solución [12].

2.3.1 SUBSISTEMA 1: ESTRUCTURA

El diseño de la estructura de la máquina fresadora CNC debe ser rígido para que no existan vibraciones cuando ésta trabaje. El objetivo principal de la estructura es proporcionar un soporte estable para los elementos fijos y móviles, para que funcionen de una manera adecuada.

2.3.1.1 Alternativa 1: Pórtico de cabezal móvil

La Figura 2.1 muestra una máquina de pórtico con cabezal móvil. Esta estructura utiliza un puente con los ejes Y, Z que se desplaza a lo largo del eje X. Se suele utilizar dos mecanismos de tracción en los extremos laterales para evitar que se desalinee el puente.

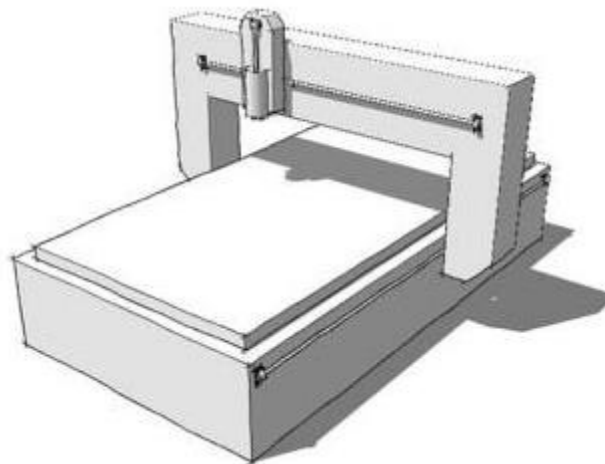


Figura 2.1 Estructura de pórtico de cabezal móvil

Fuente: *Understanding CNC Routers: Demystifying CNC Wood Router Technology* [13]

2.3.1.2 Alternativa 2: Pórtico de mesa móvil

La estructura de mesa móvil es similar a la anterior, en esta estructura el puente es fijo y la mesa es la que se desplaza a lo largo del eje x como se muestra en la Figura 2.2. Esta estructura es una solución para mecanizados robustos y de grandes dimensiones.

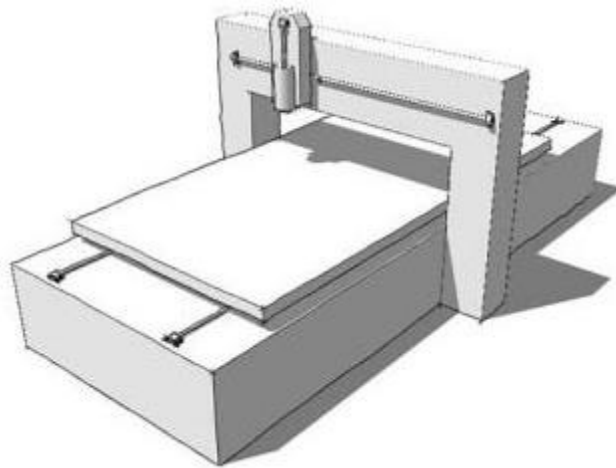


Figura 2.2 Estructura de pórtico de mesa móvil

Fuente: *Understanding CNC Routers: Demystifying CNC Wood Router Technology* [13]

2.3.1.3 Alternativa 3: Bancada móvil o multiejjes

Estas son las más habituales en el mercado comercial, tienen una estructura robusta adecuada para mecanizar materiales duros, la Figura 2.4 muestra una fresadora con bancada móvil. Estas máquinas son bastante pesadas y los movimientos son más lentos.

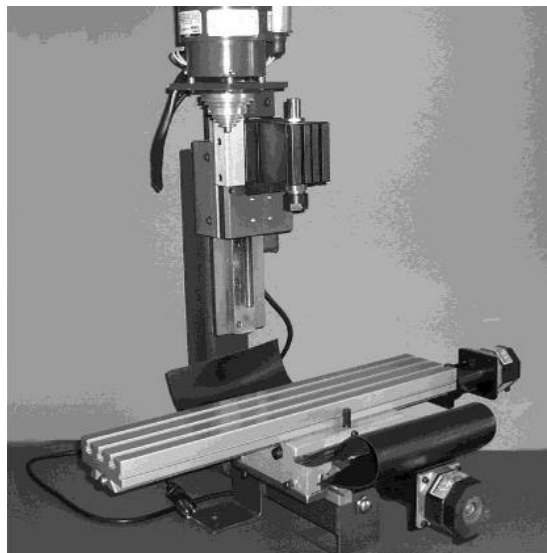


Figura 2.3 Estructura bancada móvil o multiejjes

Fuente: *The CNC Cookbook* [1]

2.3.1.4 Criterios de selección para el primer subsistema

Los principales factores a tomar en cuenta para evaluar la mejor alternativa de la estructura serán:

- **Ensamblaje.-** La máquina debe ser de fácil montaje y desmontaje para mantenimiento.
- **Rigidez.-** Que no existan vibraciones y así no se pierdan pasos al maquinar.
- **Costo.-** Uno de los objetivos del proyecto es que la máquina sea de menor costo que las existentes en el mercado comercial.
- **Disponibilidad de manufactura.-** Las piezas necesarias para la estructura se puedan fabricar fácilmente.

$$\text{Rigidez} > \text{Costo} > \text{Disponibilidad de manufactura} = \text{Ensamblaje}$$

La Tabla 2.2 muestra la comparación entre los diferentes criterios de selección según su importancia.

Tabla 2.2 Criterio de selección del subsistema 1

Criterio	Rigidez	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	$\Sigma+1$	Ponderación
Rigidez	-	1	1	1	4	0.4
Costo	0	-	1	1	3	0.3
Disponibilidad	0	0	-	0.5	1.5	0.15
Ensamblaje	0	0	0.5	-	1.5	0.15
				Suma	10	1

La Tabla 2.3 evalúa el criterio de rigidez de la estructura entre las 3 alternativas propuestas.

$$\text{Alternativa 3} > \text{Alternativa 2} > \text{Alternativa 1}$$

Tabla 2.3 Subsistema 1 – Criterio de evaluación: Rigidez

Rigidez	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	0	1	0.167
Alternativa 2	1	-	0	2	0.333
Alternativa 3	1	1	-	3	0.5
			Suma	6	1

La Tabla 2.4 evalúa el criterio del costo de fabricación de cada una de las 3 alternativas propuestas.

$$\text{Alternativa 1} = \text{Alternativa 2} > \text{Alternativa 3}$$

Tabla 2.4 Subsistema 1 – Criterio de evaluación: Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0.5	1	2.5	0.417
Alternativa 2	0.5	-	1	2.5	0.417
Alternativa 3	0	0	-	1	0.167
			Suma	6	1

La Tabla 2.5 evalúa la disponibilidad de manufactura en el mercado local entre las tres alternativas propuestas.

$$\text{Alternativa 1} > \text{Alternativa 2} > \text{Alternativa 3}$$

Tabla 2.5 Subsistema 1 – Criterio de evaluación: Disponibilidad de manufactura

Disponibilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0.5
Alternativa 2	0	-	1	2	0.333
Alternativa 3	0	0	-	1	0.167
			Suma	6	1

La Tabla 2.6 evalúa el criterio de ensamblaje, entre las tres alternativas propuestas.

$$\text{Alternativa 2} > \text{Alternativa 1} > \text{Alternativa 3}$$

Tabla 2.6 Subsistema 1 – Criterio de evaluación: Ensamblaje

Ensamblaje	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	2	0.333
Alternativa 2	1	-	1	3	0.5
Alternativa 3	0	0	-	1	0.167
			Suma	6	1

2.3.1.5 Selección de Alternativa del Subsistema 1

La Tabla 2.7 muestra los valores ponderados de cada criterio multiplicado por el valor ponderado de la importancia de cada alternativa.

Tabla 2.7 Prioridad de las alternativas del subsistema 1

Conclusión	Rigidez	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	Σ	Prioridad
Alternativa 1	$0.167 \cdot 0.4$	$0.417 \cdot 0.3$	$0.5 \cdot 0.15$	$0.333 \cdot 0.15$	0.317	2
Alternativa 2	$0.333 \cdot 0.4$	$0.417 \cdot 0.3$	$0.333 \cdot 0.15$	$0.5 \cdot 0.15$	0.383	1
Alternativa 3	$0.5 \cdot 0.4$	$0.167 \cdot 0.3$	$0.167 \cdot 0.15$	$0.167 \cdot 0.15$	0.300	3

De esta manera se concluye que la alternativa 2 (pórtico de mesa móvil) es la mejor. Está situada a un punto de distancia de la alternativa 1 (pórtico de cabezal móvil), y dos puntos de la alternativa 3 (bancada móvil o multiejes).

La alternativa de pórtico de mesa móvil es la más apropiada para cumplir con los objetivos propuestos en el proyecto de titulación, ya que permitirá maquinar materiales blandos; además, el costo de fabricación de las piezas necesarias, es menor que las dos alternativas restantes.

2.3.2 SUBSISTEMA 2: MECANISMOS

Para que la máquina fresadora CNC funcione correctamente se seleccionará diferentes tipos de mecanismos que permitan transmitir y transformar el movimiento. Los mecanismos que se analizarán son:

- Transmisores de movimiento
- Actuadores
- Guías
- Sensores

2.3.2.1 Transmisores de movimiento

Estos elementos son los encargados de transmitir el movimiento entre el eje de entrada y el eje de salida de la máquina. De las siguientes alternativas se seleccionará la mejor.

2.3.2.1.1 Alternativa 1: Tornillo de bolas recirculantes y tuerca

Es el mecanismo más común y simple utilizado por los sistemas CNC. Este mecanismo consiste en hacer girar la varilla roscada en su propio eje, evitando que

la tuerca gire. La tuerca se desplazará proporcionalmente al giro de la varilla roscada. Se le fija un carro a la tuerca permitiendo que este se desplace junto con la tuerca, la Figura 2.4 muestra un tornillo de bolas recirculantes y sus partes.



Figura 2.4 Tornillo de bolas recirculantes y tuerca

Fuente: Diseño de elementos de máquinas [14]

La Tabla 2.8 señala algunas ventajas y desventajas que presenta el tornillo de bolas recirculantes.

Tabla 2.8 Ventajas y desventajas de varilla roscada y tuerca

Ventajas	Desventajas
• Gran precisión. • Alto rendimiento. • Funcionamiento silencioso. • Ocupa poco espacio.	• Necesita lubricación. • Costo de producción elevado. • Velocidad limitada (depende del paso de la varilla roscada).

2.3.2.1.2 Alternativa 2: Polea y correa dentada

Este mecanismo posee dos ejes: el conductor y conducido. Al eje conductor se le acopla un motor que da movimiento a una polea dentada, la cual se encarga de transmitir el movimiento a la correa. Se fija a la correa un carro permitiendo que este se mueva en forma lineal, como se muestra en la Figura 2.5.

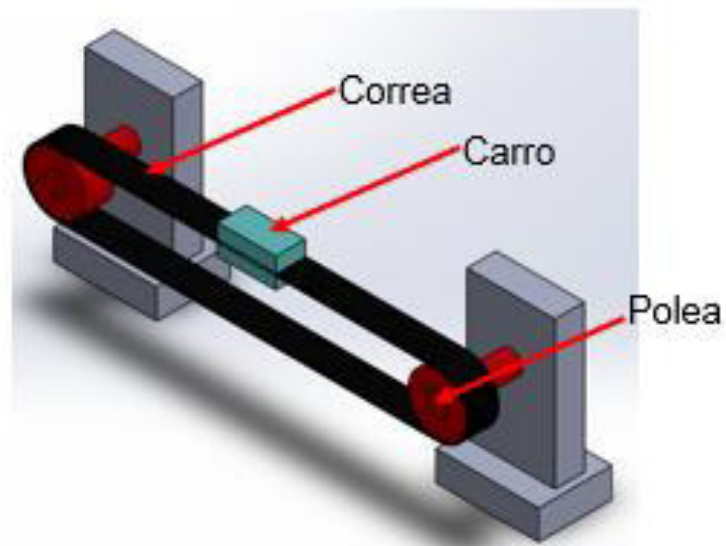


Figura 2.5 Polea y correa dentada

La Tabla 2.9 muestra las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa.

Tabla 2.9 Ventajas y desventajas de polea y correa dentada

Ventajas	Desventajas
• No necesita lubricación. • Bajo costo. • Funcionamiento silencioso. • El sistema es liviano.	• Cuando la tensión es muy alta la correa puede llegar a salirse de la polea y llegar a causar daño. • Se pueden perder pasos en el mecanizado. • Compleja de instalación. • Necesita constante mantenimiento.

2.3.2.1.3 Alternativa 3: Piñón y cremallera

Este mecanismo está formado por un piñón o rueda dentada que engrana en una cremallera, el piñón esta acoplado al motor y cuando éste gira, sus dientes empujan los de la cremallera provocando el desplazamiento lineal como se muestra en la Figura 2.6.

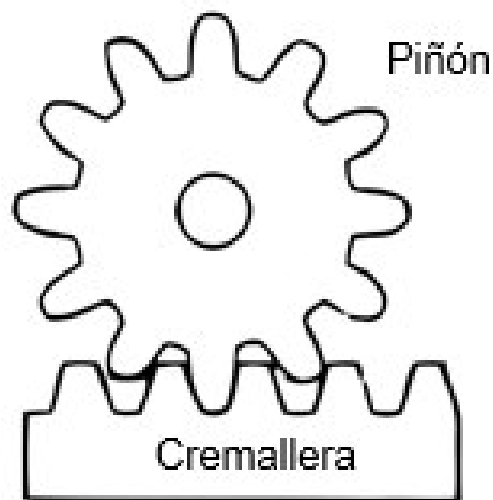


Figura 2.6 Piñón y cremallera

La Tabla 2.10 indica las ventajas y desventajas que presenta este sistema.

Tabla 2.10 Ventajas y desventajas de piñón y cremallera

Ventajas	Desventajas
• El sistema no patina, al momento de trabajar con motores paso a paso no se pierden pasos. • Excelente reductor de velocidad. • La precisión depende mucho del paso del piñón y la cremallera.	• Costo de producción elevado puede llegar a costar el triple que los dos anteriores. • Necesita lubricación. • Velocidad limitada. • Sistema ruidoso. • Extremadamente pesado.

2.3.2.1.4 Criterios de Selección para los transmisores de movimiento

Los principales factores a tomar en cuenta para evaluar la mejor alternativa del transmisor de movimiento son:

- **Precisión.-** Uno de los objetivos del proyecto es que la máquina tenga una precisión moderada, resulta primordial la importancia de este factor.
- **Disponibilidad de manufactura o disponibilidad comercial.-** Se debe tomar en cuenta si los mecanismos se los pueden fabricar, adquirir en el mercado nacional o impórtalos de manera sencilla.

- **Costo.-** Uno de los objetivos del proyecto es que la máquina tenga un costo menor a las máquinas existentes en el mercado comercial ecuatoriano.
- **Ensamblaje.-** La máquina tiene que ser fácil de montar y desmontar para mantenimiento.

Precisión > Disponibilidad de manufactura > Costo > Ensamblaje

Según la importancia de cada criterio se obtiene el valor ponderado como se muestra en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Criterios de selección para los transmisores de movimiento

Criterio	Precisión	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	$\Sigma+1$	Ponderación
Precisión	-	1	1	1	4	0.4
Costo	0	-	0	1	2	0.2
Disponibilidad	0	1	-	1	3	0.3
Ensamblaje	0	0	0	-	1	0.1
				Suma	10	1

La Tabla 2.12 evalúa la mejor alternativa para la transmisión de movimiento en cuanto al criterio de precisión.

Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2

Tabla 2.12 Subsistema 2 - Transmisores de movimiento – Criterio de evaluación: Precisión

Precisión	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	0.5	2.5	0.417
Alternativa 2	0	-	0	1	0.167
Alternativa 3	0.5	1	-	2.5	0.417
			Suma	6	1

La Tabla 2.13 evalúa la mejor alternativa en cuanto al costo de adquisición sea en el mercado local importado.

Alternativa 2 > Alternativa 1 > Alternativa 3

Tabla 2.13 Subsistema 2 - Transmisores de movimiento – Criterio de evaluación: Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	2	0.333
Alternativa 2	1	-	1	3	0.5
Alternativa 3	0	0	-	1	0.167
			Suma	6	1

La Tabla 2.14 evalúa el criterio de la disponibilidad de manufactura o disponibilidad comercial de las tres alternativas propuestas.

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

Tabla 2.14 Subsistema 2 - Transmisores de movimiento – Criterio de evaluación: Disponibilidad

Disponibilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0.5
Alternativa 2	0	-	1	2	0.333
Alternativa 3	0	0	-	1	0.167
			Suma	6	1

La Tabla 2.15 evalúa la mejor alternativa para el criterio del ensamblaje de la transmisión de movimiento.

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

Tabla 2.15 Subsistema 2 - Transmisores de movimiento – Criterio de evaluación: Ensamblaje

Ensamblaje	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0.5
Alternativa 2	0	-	1	2	0.333
Alternativa 3	0	0	-	1	0.167
			Suma	6	1

2.3.2.1.5 Selección de Alternativa de los transmisores de movimiento

La Tabla 2.16 muestra los valores ponderados de cada criterio multiplicado por el valor ponderado de la importancia de cada alternativa.

Tabla 2.16 Selección de alternativas de los transmisores de movimiento

Conclusión	Rigidez	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	Σ	Priori
Alternativa 1	0.417*0.4	0.333*0.2	0.5*0.3	0.5*0.1	0.43	1
Alternativa 2	0.167*0.4	0.5*0.2	0.333*0.3	0.333*0.1	0.3	2
Alternativa 3	0.417*0.4	0.167*0.2	0.167*0.3	0.167*0.1	0.26 7	3

De esta manera, se concluye que la alternativa 1 (tornillo de bolas recirculantes y tuerca) es la mejor opción a implementar ya que en la alternativa 2 (polea y correa dentada) si la correa se sale puede causar mucho daño a la máquina, y la alternativa 3 (piñón cremallera) es muy costosa de implementar y no permitiría cumplir con el objetivo de que el costo de la máquina sea menor a las máquinas disponibles en el mercado ecuatoriano.

2.3.2.2 Motores

Un componente crítico de la máquina CNC es el motor, dentro de la selección de motores se considerara dos tipos: servomotores y motores a paso.

2.3.2.2.1 Alternativa 1: Motor paso a paso

Los motores paso a paso son los más utilizados dentro de la fabricación de CNCs, por su alta precisión. Este tipo de motores poseen una cualidad especial: se lo puede posicionar fácilmente con el movimiento de un paso o hasta una secuencia interminable de micropasos, dependiendo de la cantidad de pulsos que el usuario aplique al motor. Existen dos tipos de motores paso a paso los unipolares y los bipolares.

Los motores unipolares suelen tener 6 o 5 cables de salida dependiendo de su conexionado interno, y sus 4 cables reciben los pulsos que indican al motor la secuencia y la duración de los pasos, y los cables restantes sirven como alimentación al motor.

Los motores bipolares generalmente tienen 4 cables de salida como se muestra en la Figura 2.7 estos necesitan ciertas manipulaciones para ser controlados, debido a que requieren del cambio del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Además, es necesario de un

control de puente H para cada bobina del motor [15], esto le permite al motor invertir los voltajes y así girar en ambos sentidos.



Figura 2.7 Motor a paso a paso

Fuente: Motores de corriente continua [15]

2.3.2.2.2 Alternativa 2: Servomotor

Es un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición y mantenerse estable en dicha posición. Posee una caja reductora, un encoder y un circuito de control que mediante la modulación por ancho de pulso (PWM) controla la dirección y posición del motor [16].



Figura 2.8 Servomotor con Encoder

Fuente: Motores de corriente continua [16]

La Tabla 2.17 muestra las ventajas y desventajas que presentan los motores paso a paso y los servomotores.

Tabla 2.17 Cuadro comparativo de ventajas Motor paso a paso vs Servomotores

Motor a Pasos	Servomotor
Bajo Costo	Costo elevado
Control sencillo de implementar	El control es difícil de realizar, además, se necesita un encoder para manipular el posicionamiento
Se puede enclavar el motor activando sus bobinas	No se mantienen estables en una posición
Se puede controlar de varias maneras (paso entero, medio paso, micro pasos) obteniendo una gran precisión	No consume mucha energía
Tiene una gran desventaja por no tener un control de lazo cerrado	Control de lazo cerrado
Gran disponibilidad comercial	Baja disponibilidad comercial de estos motores en el mercado nacional

2.3.2.2.3 Criterios de Selección de motores

Los principales factores a tomar en cuenta para evaluar la mejor alternativa de motores son:

- **Precisión.-** Uno de los objetivos del proyecto es que la tenga una precisión moderada, por lo que resulta primordial la importancia de este factor.
- **Disponibilidad comercial.-** Se debe tomar en cuenta si se pueden adquirir los motores en el mercado ecuatoriano o importarlos de manera sencilla.
- **Costo.-** Uno de los objetivos del proyecto de titulación manifiesta que la máquina sea de precio moderado.
- **Torque.-** Los motores deben poder mover los mecanismos de la máquina sin tener problema alguno.
- **Control.-** Debe ser sencillo de implementar ya que puede elevar el costo de la máquina.

<i>Precisión > Torque = Control > Costo > Disponibilidad Comercial</i>

La Tabla 2.18 muestra la importancia de cada criterio para selección de los motores.

Tabla 2.18 Criterios de selección de los motores

Criterio	Precisión	Torque	Control	Costo	Disponibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Precisión	-	1	1	1	1	5	0.333
Torque	0	-	0.5	1	1	3.5	0.233
Control	0	0.5	-	1	1	3.5	0.233
Costo	0	0	0	-	1	2	0.133
Disponibilidad	0	0	0	0	-	1	0.066
					Suma	15	1

La Tabla 2.19 evalúa el criterio de selección con respecto a la precisión de los motores.

Alternativa 1 = Alternativa 2

Tabla 2.19 Subsistema 2 – Motores – Criterio de evaluación: Precisión

Precisión	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0.5	1.5	0.5
Alternativa 2	0.5	-	1.5	0.5
		Suma	3	1

Elaboración: El Autor

La Tabla 2.20 evalúa el criterio de selección con respecto al torque que tienen los motores.

Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 2.20 Subsistema 2 – Motores – Criterio de evaluación: Torque

Torque	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	0.333
Alternativa 2	1	-	2	0.666
		Suma	3	1

Elaboración: El Autor

La Tabla 2.21 evalúa el criterio de selección del tipo de control a implementar.

<i>Alternativa 1 > Alternativa 2</i>

Tabla 2.21 Subsistema 2 – Motores – Criterio de evaluación: Control

Control	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	2	0.666
Alternativa 2	0	-	1	0.333
		Suma	3	1

La Tabla 2.22 evalúa el criterio de selección del costo de las dos alternativas propuestas.

<i>Alternativa 1 > Alternativa 2</i>

Tabla 2.22 Subsistema 2 – Motores – Criterio de evaluación: Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	2	0.666
Alternativa 2	0	-	1	0.333
		Suma	3	1

La Tabla 2.23 evalúa el criterio de selección con respecto a disponibilidad comercial de los motores.

<i>Alternativa 1 > Alternativa 2</i>

Tabla 2.23 Subsistema 2 – Motores – Criterio de evaluación: Disponibilidad

Disponibilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	2	0.666
Alternativa 2	0	-	1	0.333
		Suma	3	1

2.3.2.2.4 Selección de Alternativa del Subsistema 2 Motores

La Tabla 2.24 muestra los resultados según su importancia para cada alternativa.

Tabla 2.24 Selección de alternativas del subsistema 2 Motores

Conclusión	Precisión	Torque	Control	Costo	Disponibilidad	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.167	0.333	0.155	0.089	0.666	0.79	1
Alternativa 2	0.167	0.155	0.078	0.044	0.022	0.47	2

De esta manera se concluye que la alternativa 1 (motor paso a paso) es la mejor opción a implementar, se pierde un poco con el torque del motor, pero su disponibilidad en mercado comercial nacional a un bajo costo es alta o se los puede importar de manera sencilla; este cuenta con la precisión requerida para cumplir con los objetivos de este proyecto.

2.3.2.3 Guías lineales

Estos elementos permiten el desplazamiento lineal del carro donde se encuentra la herramienta (fresa), en los ejes cartesianos. Además sirven de soporte para la mesa, donde se coloca la materia prima a ser maquinada.

2.3.2.3.1 Alternativa 1: Guías lineales y patines

Estas guías se componen de patines con recirculación de bolas, un carro de guiado y carriles guía, La Figura 2.9 muestra tres tipos de guías lineales y patines. Pueden soportar cargas elevadas, a pesar de ser pequeños. Se pueden ajustar sin juego y son adecuadas para recorrer largas distancias e ilimitadas. Al carro con recirculación a bolas se puede montar directamente en un la herramienta o mesa de trabajo.

**Figura 2.9** Guías lineales y patines

Fuente: Schaeffler [17]

2.3.2.3.2 Alternativa 2: Rodamientos Lineales y Ejes

Los rodamientos lineales a bolas están formados por placas cerradas o abiertas y segmentos de acero independientes, con pistas de rodadura para las bolas. Los segmentos se regulan de forma independiente de acuerdo con las características del eje [18]. La Figura 2.10 muestra el rodamiento lineal con su respectivo eje.



Figura 2.10 Eje y Rodamiento lineal

Fuente: Schaeffler [19]

La Tabla 2.25 compara las guías lineales y patines contra los rodamientos lineales y eje.

Tabla 2.25 Cuadro comparativo rodamientos lineales vs guías lineales y patines

Guías lineales y patines	Eje y Rodamiento lineal
• Costo elevado • Fácil de instalar • Alta capacidad de carga • Larga vida de funcionamiento • Agujeros para reengrase • Peso alto	• Económico • Fácil de instalar • Capacidad de carga moderada • Larga vida de funcionamiento • Lubricación manual • Liviano

2.3.2.3.3 Criterios de Selección del Subsistema 2 Guías Lineales

Los principales factores a tomar en cuenta para evaluar la mejor alternativa de guías lineales son:

- **Precisión.-** Uno de los objetivos del proyecto es que la máquina tenga una precisión moderada, resulta primordial la importancia de este factor.
- **Disponibilidad comercial.-** Se debe tomar en cuenta si se pueden adquirir en el mercado ecuatoriano o sea fácil de importar.
- **Costo.-** Uno de los objetivos del proyecto de titulación indica que la máquina sea de menor precio con respecto a las máquinas existentes en el mercado ecuatoriano.
- **Peso.-** La máquina no debe tener un peso elevado para que sea transportable.

La Tabla 2.26 evalúa cada criterio de selección según su importancia.

$$\text{Precisión} > \text{Peso} > \text{Costo} = \text{Disponibilidad Comercial}$$

Tabla 2.26 Criterios de selección para guías lineales

Criterio	Precisión	Peso	Costo	Disponibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Precisión	-	1	1	1	4	104
Peso	0	-	1	1	3	0.3
Costo	0	0	-	0.5	1.5	0.15
Disponibilidad	0	0	0.5	-	1.5	0.15
				Suma	10	1

La Tabla 2.27 evalúa el criterio de precisión entre las dos alternativas planteadas.

$$\text{Alternativa 1} = \text{Alternativa 2}$$

Tabla 2.27 Subsistema 2 - Guías Lineales – Criterio de evaluación: Precisión

Precisión	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0.5	1.5	0.5
Alternativa 2	0.5	-	1.5	0.5
		Suma	3	1

La Tabla 2.28 evalúa el criterio del peso de las guías entre las dos alternativas planteadas.

Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 2.28 Subsistema 2 - Guías Lineales – Criterio de evaluación: Peso

Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	0.333
Alternativa 2	1	-	2	0.666
		Suma	3	1

La Tabla 2.29 evalúa el criterio del costo de adquisición de cada una de las alternativas planteadas.

Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 2.29 Subsistema 2 - Guías Lineales – Criterio de evaluación: Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	0.333
Alternativa 2	1	-	2	0.666
		Suma	3	1

La Tabla 2.30 evalúa el criterio de disponibilidad comercial para la adquisición de las guías entre las dos alternativas planteadas.

Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 2.30 Subsistema 2 - Guías Lineales – Criterio de evaluación: Disponibilidad

Disponibilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	0.333
Alternativa 2	1	-	2	0.666
		Suma	3	1

2.3.2.3.4 Selección de Alternativa del Subsistema 2 Guías Lineales

La Tabla 2.31 muestra los resultados según su importancia para cada alternativa.

Tabla 2.31 Selección de alternativas del subsistema 2 Guías Lineales

Conclusión	Precisión	Peso	Costo	Disponibilidad	Σ	Priori
Alternativa 1	0.2	0.1	0.05	0.05	0.4	2
Alternativa 2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.6	1

De esta manera se concluye que la alternativa 2 (eje y rodamientos lineales) es la mejor opción a implementar. Es un sistema liviano y accesible en el mercado comercial ecuatoriano en relación a la alternativa 1 (guía lineal y patín) en la cual el costo es elevado.

2.3.2.4 Sensores

Para implementar límites en la fresadora CNC se necesitan sensores, se considerará dos tipos de sensores que son:

- Fines de carrera
- Sensores de proximidad

2.3.2.4.1 Alternativa 1: Fin de Carrera

Se trata de un dispositivo de conmutación, se activa al momento en que una palanca hace contacto con una superficie permitiendo al contacto interno cerrarse (normalmente abierto) o abrirse (normalmente cerrado), Figura 2.11. Los finales de carrera, por lo general, trabajan con la placa de control para proporcionar los límites de trabajo de la máquina CNC. Cuando el carro llega a un límite de cualquier eje, el interruptor se activa y el computador detiene la máquina automáticamente. Estos también pueden ser utilizados para informar al equipo de la posición inicial o posición cero de la máquina.



Figura 2.11 Fin de Carrera OsiSense ATEX D - Modelo XCKJ

Fuente: Schneider Electric [20]

2.3.2.4.2 Alternativa 2: Sensores capacitivos de proximidad

Estos sensores de proximidad, Figura 2.12, pueden ser utilizados como interruptor de la máquina CNC para establecer límites o encontrar la posición inicial de la máquina, con mucha mayor repetitividad y fiabilidad que el interruptor regular de fin de carrera; este se activa al momento de que un objeto metálico o no metálico se acerca y señala un cambio de estado, mediante la variación de la capacitancia disparando el circuito de salida y cerrando el interruptor.



Figura 2.12 Sensor capacitivo de proximidad OsiSense XS6

Fuente: Schneider Electric [21]

La Tabla 2.32 compara los fines de carrera contra los sensores de proximidad.

Tabla 2.32 Cuadro comparativo fines de carrera vs sensores de proximidad

Fines de carrera	Sensores de proximidad
Se establece o se interrumpe un contacto eléctrico por medio de un fuerza externa	Ausencia de contacto con el objeto a detectar, rango de detección de 1mm a 20mm dependiendo del tipo de sensor
Vida útil 10 millones de ciclos	Número ilimitado de ciclos de conmutación
Tiempos de conmutación entre 1 y 10ms	Tiempo de conmutación 0.3ms
Pueden existir rebotes en los contactos	Su sensibilidad depende del tipo de material
Resistente a la presencia de polvo o viruta	Puede existir mal funcionamiento por la presencia de polvo o viruta
Bajo costo	Costo elevado

2.3.2.4.3 Selección de alternativa de sensores

Se utilizará finales de carrera para la implementación de límites en la fresadora CNC, se tomará esta decisión ya que uno de los objetivos del proyecto de titulación, es que la máquina fresadora CNC sea de bajo costo y los sensores de proximidad son altamente costosos, pueden llegar a costar hasta un 1000% sobre el costo de un fin de carrera.

2.3.3 SUBSISTEMA 3: CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

Del punto 2.3.2.2 se concluyó que para el sistema a implementar se utilizará motores paso a paso, para controlar estos motores es necesario un circuito electrónico denominado driver, este genera la secuencia en que debe conmutarse cada una de las bobinas del motor para generar un paso; otra característica que posee el driver es que permite cambiar el sentido de giro solamente invirtiendo la secuencia en que las bobinas son conmutadas.

2.3.3.1 Driver SainSmart TB6560

Es un controlador de los motores paso a paso bipolares, Figura 2.13, se caracteriza por un traductor interno que puede trabajar de paso entero hasta 1/16 micro pasos,

con un máximo de 3 amperios por fase y 34 voltios de la fuente alimentación, tiene un PWM interno, impulsado por el habitual control de step/dir, donde el driver recibe la señal del sentido en el cual debe girar (0v o 5V) y el número de pasos que debe dar para llegar a la posición requerida. En el Anexo A se incluye información técnica de este dispositivo.

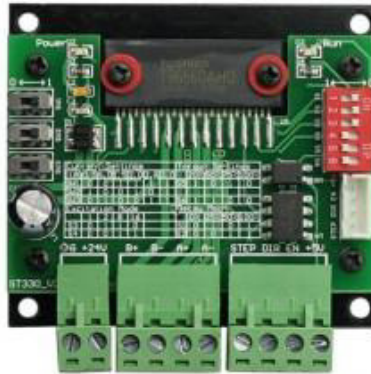


Figura 2.13 Driver TB6560

Fuente: SainSmart [22]

2.3.3.2 Driver SainSmart TB6600

Es un controlador mejorado al driver SainSmart TB6560; se caracteriza por un traductor interno que puede trabajar de paso entero es decir girar el máximo de grados para dar una paso, o hasta 1/16 micro pasos, con un máximo de 4.5 amperios por fase y 40 voltios de la fuente alimentación, tiene un PWM interno, impulsado por el habitual control de step/dir, la Figura 2.14 muestra el driver SainSmart TB6600.



Figura 2.14 Driver SainSmart TB6600

Fuente: SainSmart [23]

2.3.3.3 Driver SainSmart 2M542

El driver M542, Figura 2.15, permite el control de los motores a paso de 16 formas diferentes de paso completo hasta 1/51200 micro pasos, este controlador está basado en la tecnología de control de corriente sinusoidal pura. Con esta tecnología el driver tiene un auto ajuste de los parámetros de corriente permitiendo trabajar a los motores con menor ruido, se calientan menos, tienen movimientos suaves y mejor rendimiento a mayor velocidad que los dos anteriores.

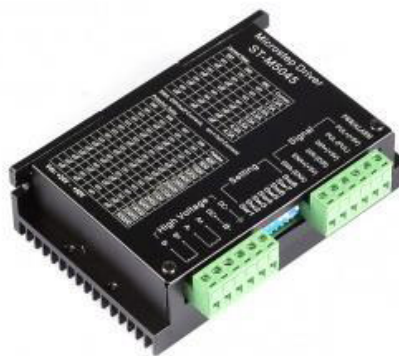


Figura 2.15 Driver SainSmart 2M542

Fuente: SainSmart [23]

En la Tabla 2.33 se realiza una comparación entre los tres drivers propuestos.

Tabla 2.33 Cuadro comparativo entre los drivers TB6560/TB6600/2M542

TB6560	TB6600	2M542
• Se puede controlar un motor paso a paso de 1 a 1/16 micro pasos • Se puede controlar la corriente del motor (torque) en 25%, 50%, 75%, 100% • Control sencillo para la dirección y número de pulsos del motor • Corriente de salida de 0.5A - 3.5A • Driver opto acoplado que garantiza que no exista pérdida de pasos • Costo entre 10 a 15 dólares	• Se puede controlar un motor paso a paso de 1 a 1/16 micro pasos • Se puede controlar la corriente del motor (torque) desde 0.6A hasta 4.5A. Control sencillo para la dirección y número de pulsos del motor • Corriente de salida de 0.6A – 4.5A • Driver opto acoplado que garantiza que no exista pérdida de pasos • Costo entre 30 a 40 dólares	• Se puede controlar un motor paso a paso de 1 a 1/51200 micro pasos • Utiliza la tecnología sinusoidal pura; se puede controlar la corriente desde 1 hasta 4.5A. • Control sencillo para la dirección y número de pulsos del motor • Corriente de salida de 0.5A – 4.5A • Driver opto acoplado que garantiza que no exista pérdida de pasos • Costo entre 35 a 40 dólares

2.3.3.4 Selección de alternativas de circuitos electrónicos

Se utilizará el driver SainSmart TB6560 para la implementación electrónica de la fresadora CNC, se tomará esta decisión ya estos drivers poseen las características necesarias para que los motores de la máquina trabajen sin ningún problema, además de que este driver permite un ahorro del 75% con respecto a los de mayor valor.

2.3.4 SUBSISTEMA 4: SOFTWARE CNC

El software CNC permite la conexión con la fresadora. Este permite la calibración, configuración y el control de la máquina. Es el que se encarga de leer las líneas de código, procesarlas y enviar los datos para que la máquina ejecute los movimientos necesarios para fabricar la pieza.

2.3.4.1 Mach 3

Mach3 es uno de los programas de control numérico computarizado más utilizado a nivel mundial. Es un programa CNC que contiene una gran cantidad de funciones para realizar trabajos de mecanizado. Este software convierte un computador en

un controlador de máquinas CNC muy sencillo de utilizar, tiene un interfaz amigable para que cualquier persona pueda manejar maquinas con control numérico, funciona bajo el sistema operativo Windows. Es necesario de un software CAD/CAM para crear programas de código G que después se cargaran en el Mach3 donde este interpreta el programa y envía las señales necesaria por medio del puerto paralelo para controlar los motores pasos a paso o servomotores [24].



Figura 2.16 Software Mach 3

Fuente: ArtSoft [24]

2.3.4.2 EMC2 o Linux CNC

Enhanced Machine Controller EMC2 o Linux CNC, Figura 2.17, es un programa basado en el sistema operativo Linux, destinado al control de máquinas-herramienta, el programa es distribuido libremente, es decir no necesita licencia. Este programa permite programar y controlar motores paso a paso o servomotores mediante el procesamiento del lenguaje de mecanizado “código G”.

El hardware del sistema sólo requiere de un PC y de una tarjeta de control, que actúa sobre una etapa de potencia conectada directamente a la máquina-herramienta [25].

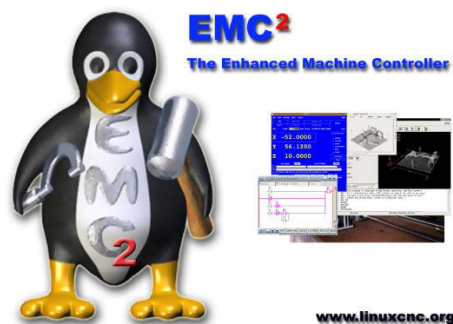


Figura 2.17 Software EMC2

Fuente: LinuxCNC [25]

2.3.4.3 TurboCNC

Turbo CNC, Figura 2.18, 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 RAM, 500k de memoria en disco y un procesador de 66MHz. Su interfaz gráfica es muy sencilla, permite controlar motores paso a paso y servomotores mediante el puerto paralelo, es necesario un licencia de registro para una completa funcionalidad.



Figura 2.18 Software TurboCNC

Fuente: DAK Engineering [26]

2.3.2.4.4 Selección del Subsistema 4 Software

Se escoge el software Mach3 ya que es uno de los programas de control numérico más completos y con una interfaz gráfica amigable para los usuarios inexpertos, en los otros dos programas es necesario contar con el conocimiento de temas relacionados con el sistema operativo Linux y MSDOS. El proyecto está enfocado a que cualquier persona pueda utilizar la fresadora.

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y DISEÑO DE LA MÁQUINA

3.1 DISEÑO MECÁNICO

En el diseño mecánico se determinarán los cálculos necesarios con el propósito de obtener una estructura estable y rígida. Se analiza y efectúa el cálculo de columnas, ejes y transmisión de movimiento a través de tornillos de bolas recirculantes. Con el análisis realizado se considera los esfuerzos determinados en los cálculos para realizar una selección de materiales y componentes mecánicos de forma que se garantice un diseño óptimo para la máquina.

3.1.1 MODELO DE ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

El diseño de la estructura de la fresadora CNC inicia de un modelo preliminar como se muestra en la Figura 3.1, para posteriormente, por medio de cálculos, comprobar que el diseño es rígido y estable para cumplir con los objetivos del proyecto. El modelo se realiza en el software CAD Inventor 2015 de Autodesk, con licencia de prueba.

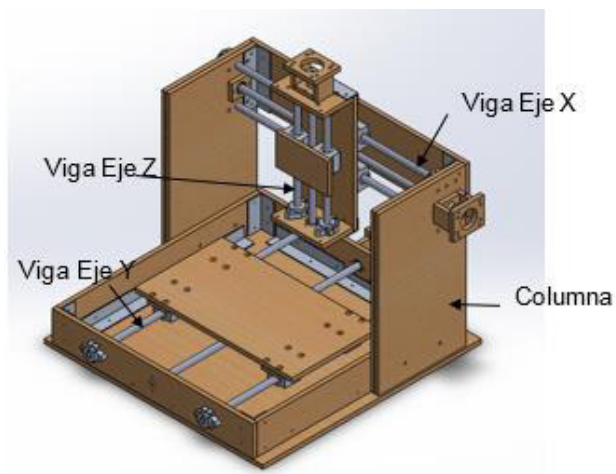


Figura 3.1 Modelo de Máquina Fresadora CNC

3.1.2 CÁLCULO DE COLUMNAS

Las columnas a implementar se muestran en la Figura 3.2, donde se puede observar que cada columna mide 0.20 m x 0.36 m y están separadas a una distancia de 0.496 m.

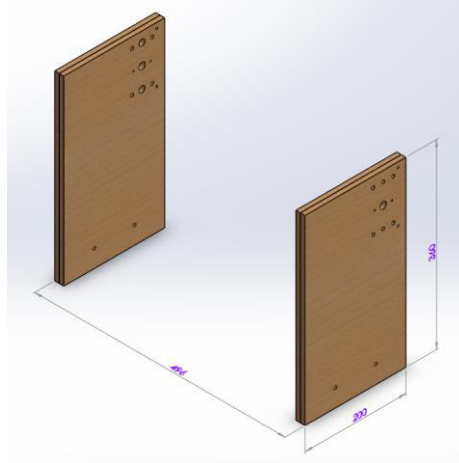


Figura 3.2 Columnas de la estructura

3.1.2.1 Cálculos de cargas

La carga que soporta cada una de las columnas corresponde al peso total de los elementos del modelo diseñado del eje X y del eje Z. Para encontrar el peso de cada elemento es necesario primero obtener el volumen de cada pieza, la Tabla 3.1 muestra el volumen en metros cúbicos de cada elemento.

Tabla 3.1 Piezas de la Estructura en MDF

Elemento	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Volumen (mm ³)	Volumen (m ³)
Soporte Rodamientos	43	36	9	13932	0,000014
Soporte Ejes z	118	70	9	74340	0,000074
Sujetadores Motores	42	36	9	13608	0,000014
Espaldar Eje z	268	118	9	284616	0,000285
Sujetador Husillo	120	70	9	75600	0,000076
Base Motores	70	60	9	37800	0,000038
Espaldar	496	120	9	535680	0,000536

Para calcular el peso de las piezas de la estructura en MDF, se toma como ejemplo la primera pieza y se parte de (3.1). En el Anexo B.1 se muestra las especificaciones técnicas para el material MDF.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

Donde:

ρ : Densidad [kg/m³]

m : Masa [kg]

V : Volumen [m³]

Se despeja la masa en (3.1):

$$m = \rho * V$$

La densidad del MDF es de 700 kg/m³, por lo tanto considerando el volumen de cada pieza de la estructura:

$$m = 700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,000014 \text{m}^3$$

$$m = 0.0096 \text{Kg}$$

Para encontrar el peso se multiplica por la gravedad, 9.8 m/s², reemplazando en (3.2):

$$W = m * g \tag{3.2}$$

$$W = 0.0096 \text{Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 0.094 \text{ N}$$

En la Tabla 3.2 se muestran los pesos de los elementos en MDF que conforman los ejes Y y Z.

Tabla 3.2 *Peso de las piezas de MDF*

Elemento	Volumen (mm ³)	Masa (kgf)	Peso (N)	Cantidad	Peso Total (N)
Soporte de los rodamientos	13932	0,010	0,096	4	0,38
Soporte ejes z	74340	0,052	0,510	2	1,02
Soporte de los motores	13608	0,010	0,093	4	0,37
Espaldar eje z	284616	0,199	1,952	1	1,95
Soporte del tornillo de bolas recirculantes	75600	0,053	0,519	1	0,52
Base motores	37800	0,026	0,259	2	0,52
Espaldar	535680	0,375	3,675	1	3,67
				Total	8,44

En el cálculo de las columnas también intervienen los pesos de los elementos mecánicos que conforman la estructura de la máquina. Los elementos son adquiridos en el mercado local o importados, la Tabla 3.3 se lista las especificaciones del fabricante con respecto al peso.

Tabla 3.3 *Peso de los elementos mecánicos especificados por los fabricantes*

Elemento	Peso (kgf)	Peso (N)	Cantidad	Peso Total (N)
Eje X	0,44	4,312	2	8,62
Eje Z	0,22	2,156	2	4,31
Tornillo X	1,5	14,7	1	14,70
Tornillo Z	1	9,8	1	9,80
Motores Nema 17	0,34	3,332	2	6,66
Motor DC	1,5	14,7	1	14,70
Ángulos de Aluminio	0,54	5,292	4	21,17
Rodamientos Lineales SCS12UU	0,19	1,862	6	11,17
Rodamientos	0,1	0,98	2	1,96
Sujetadores de ejes	0,1	0,98	8	7,84
Acoples Flexibles	0,02	0,196	2	0,39
			Total	101,33

Se toma en cuenta otros pesos adicionales como el apoyo de una persona, herramientas olvidadas en la máquina y otros; la Tabla 3.4 muestra la sumatoria de todas las cargas que van a soportar las columnas de la máquina.

Tabla 3.4 Carga total que soportan las columnas

Tipo de carga	Peso (kgf)	Peso (N)
Piezas en MDF	0.86	8,44
Elementos mecánicos	10.33	101,33
Peso de una persona promedio	85	833
Pesos adicionales	50	490
Total		1432.77

Según Mott [27], para el cálculo de las columnas se considera el número de columnas, por lo tanto se divide la carga de 1432.77 N para 2, que es el número de columnas que soportarán todos los elementos de los ejes X y Z, con lo que se toma una carga de 716.38 N para el cálculo.

La Figura 3.3 muestra la sección transversal que tiene la columna a diseñar.

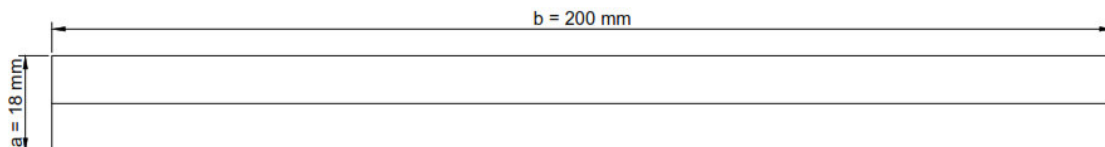


Figura 3.3 Sección transversal de la columna.

Donde:

b : Base = 0.20 [m]

a : Ancho = 0.018 [m]

Se considera que la columna se encuentra empotrada en sus dos extremos, tal como se muestra en la Figura 3.4, con una altura L de 0.36 m.

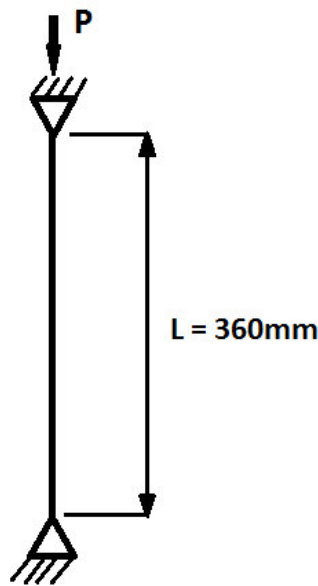


Figura 3.4 Diagrama de la columna

Inicialmente, se calcula la longitud efectiva de la columna, con el factor de fijación de los extremos K:

$$Le = KL \quad (3.3)$$

Donde, K = 1 por estar empotrada en sus dos extremos, reemplazando K y L en (3.3)

$$Le = 1 * 0.36$$

$$Le = 0.36\text{m} = 360\text{mm}$$

El valor mínimo de radio de giro, para una sección transversal rectangular, se obtiene a partir de (3.4):

$$r = \frac{b}{\sqrt{18}} \quad (3.4)$$

$$r = \frac{0.20\text{m}}{\sqrt{18}}$$

$$r = 0.04714\text{m} = 47.14\text{mm}$$

Con la longitud efectiva y el valor mínimo de radio de giro, se calcula la relación de esbeltez en (3.5):

$$SR = \frac{Le}{r} \quad (3.5)$$

$$SR = \frac{0.36\text{m}}{0.04714\text{m}}$$

$$SR = 7.63$$

La constante de la columna se calcula a partir de (3.6):

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}} \quad (3.6)$$

Dónde:

E: Módulo de elasticidad [MPa]

S_y : Límite de fluencia [MPa]

C_c : Constante de la columna

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 1800\text{MPa}}{4.5\text{MPa}}}$$

$$C_c = 88.86$$

Se compara la relación de esbeltez con la constante de la columna para obtener el tipo de columna; si SR es mayor a C_c la columna es larga o si SR es menor a C_c la columna es corta.

$$C_c = 88.86 > 7.63 = SR$$

Se observa que C_c es mayor a la relación de esbeltez entonces se conoce que es una columna corta, por lo tanto se utiliza la ecuación de J.B. Johnson (3.7).

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{L_e}{r} \right)^2}{4 * \pi^2 * E} \right] \quad (3.7)$$

Dónde:

P_{cr} : Carga crítica [N]

A: Área de la sección transversal de la columna [m²]

S_y : Límite a la fluencia

L_e : Longitud efectiva de la columna [m]

r : Valor mínimo de radio de giro [m]

E : Módulo de elasticidad [MPa]

$$A = 0.018\text{m} * 0.20\text{m}$$

$$A = 0.0036\text{m}^2$$

Remplazando los valores en 3.7:

$$P_{cr} = 0.0036\text{m}^2 * 4.5\text{MPa} \left[1 - \frac{4.5\text{MPa} \left(\frac{0.36\text{m}}{0.04714\text{m}} \right)^2}{4 * \pi^2 * 1800\text{MPa}} \right]$$

$$P_{cr} = 16.14 \text{ kN}$$

Se calcula la carga permisible con un factor diseño que sugiere Mott de 3, por la incertidumbre de las propiedades del material:

$$P_p = \frac{16.14 \text{ kN}}{3}$$

$$P_p = 5.38\text{kN}$$

$$P_p = 5.38\text{kN} > 0.72 \text{ kN}$$

Se puede observar que la carga permisible es mayor que la carga que se va a ejercer en las columnas de la máquina. Con lo cual las columnas del modelo diseñado satisfacen la necesidad de la máquina y garantizan un buen dimensionamiento.

3.1.3 CÁLCULO DE VIGAS SEGÚN LOS EJES

En esta sección se calcularán los diámetros requeridos para los ejes de la máquina. Tomando en cuenta que para cumplir con el volumen de trabajo propuesto los ejes deben tener una longitud de 0.46m en los ejes X y Y y para el eje Z una longitud de 0.25m.

3.1.3.1 Vigas del eje Y

La Tabla 3.5 lista el peso de todas las piezas en MDF que soportará las vigas del eje Y.

Tabla 3.5 *Peso de las Piezas en MDF que soportan las vigas del eje Y.*

Elemento	Volumen (mm ³)	Masa (kg)	Peso (N)	Cantidad	Peso Total (N)
Soporte Rodamientos	13932	0,010	0,096	2	0,19
Soporte Ejes z	74340	0,052	0,510	2	1,02
Sujetadores Motores	13608	0,010	0,093	2	0,19
Espaldar Eje z	284616	0,199	1,952	1	1,95
Sujetador Husillo	75600	0,053	0,519	1	0,52
Base Motores	37800	0,026	0,259	1	0,26
				Total	4,13

La Tabla 3.6 se lista las especificaciones del fabricante con respecto al peso de los elementos mecánicos que conforman el eje Y.

Tabla 3.6 *Peso de los elementos mecánicos del eje Y*

Elemento	Peso (kgf)	Peso (N)	Cantidad	Peso Total (N)
Eje Z	0,22	2,156	2	4,312
Tornillo Z	1	9,8	1	9,8
Motores Nema 17	0,34	3,332	1	6,664
Motor DC	1,5	14,7	1	14,7
Ángulos de Aluminio	0,54	5,292	2	10,584
Rodamientos Lineales SCS12UU	0,19	1,862	6	11,172
Rodamientos	0,1	0,98	2	1,96
Sujetadores de ejes	0,1	0,98	4	3,92
Acoples Flexibles	0,02	0,196	1	0,196
			Total	63,308

Para el cálculo de las vigas se tomará pesos adicionales que se pueden producir por factores externos como el apoyo de una persona, herramientas olvidadas, etc. La Tabla 3.7 muestra la suma de todas las cargas que van a soportar las vigas.

Tabla 3.7 Carga total que soportan las Vigas

Tipo de carga	Peso(kgf)	Peso(N)
Piezas MDF	0.42	4,13
Elementos mecánicos	6.46	63,31
Pesos adicionales	10	98
Total		165.44

Según Mott [28] para el cálculo de las vigas se divide la carga total de 165.44 N para el número de vigas que soportarán todos los elementos del eje Z, en este caso 2, por lo tanto se considera una carga de 82.72 N para el cálculo.

La Figura 3.5 muestra las vigas que serán a diseñadas para soportar el peso de los componentes del eje Z.

*Figura 3.5 Modelación de las vigas que soportan los componentes del eje Z*

La Figura 3.6 muestra el diagrama de cuerpo libre de la viga que se va a diseñar.

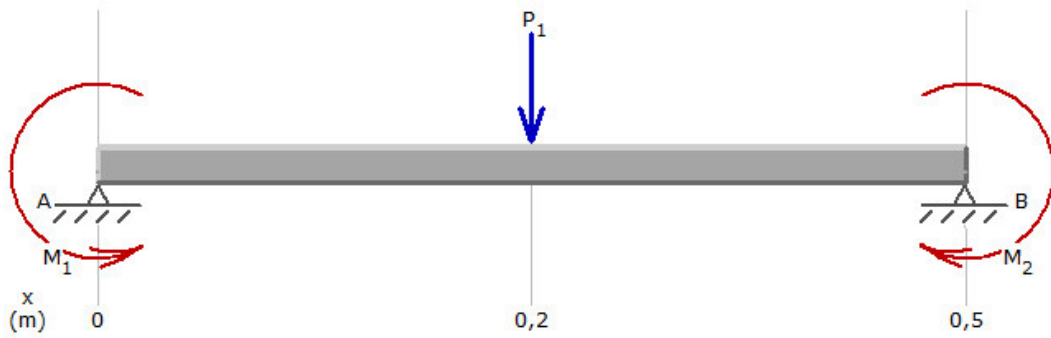


Figura 3.6 Diagrama de cuerpo libre de la viga X

Fuente: Software MDSolids 3.5 [29]

Se calcula las reacciones y los momentos en cada extremo:

Sumatoria de momentos en el punto A:

$$\sum M_A = 0$$

$$0 = -P(L/2) + R_b(L)$$

$$0 = -82.72\text{N}(0.229\text{m}) + R_b(0.458\text{m})$$

$$R_b = 41.36 \text{ N}$$

Sumatoria de momentos en el punto B:

$$\sum M_B = 0$$

$$0 = +P(L/2) - R_b(L)$$

$$0 = -82.72\text{N}(0.229\text{m}) + R_a(0.458\text{m})$$

$$R_a = 41.36 \text{ N}$$

Se comprueba que las reacciones se encuentran correctas, para lo cual se suman todas las fuerzas en el eje Y y éstas deben ser igual a 0.

$$\sum F_y = 0$$

$$0 = R_a - P + R_b$$

$$0 = 41.36 - 82.72 + 41.36$$

Para calcular los momentos se utiliza (3.8):

$$M = \frac{PL}{8} \quad (3.8)$$

Por lo tanto:

$$M_A = M_B = M_P = \frac{PL}{8}$$

$$M_A = \frac{82.72\text{N} * 0.458\text{m}}{8}$$

$$M_A = 4.74 \text{ [N * m]} = M_B = M_P$$

La Figura 3.7 muestra los diagramas de las fuerzas cortantes y los momentos flexionantes de la viga diseñada en el software MDSolids 3.5.

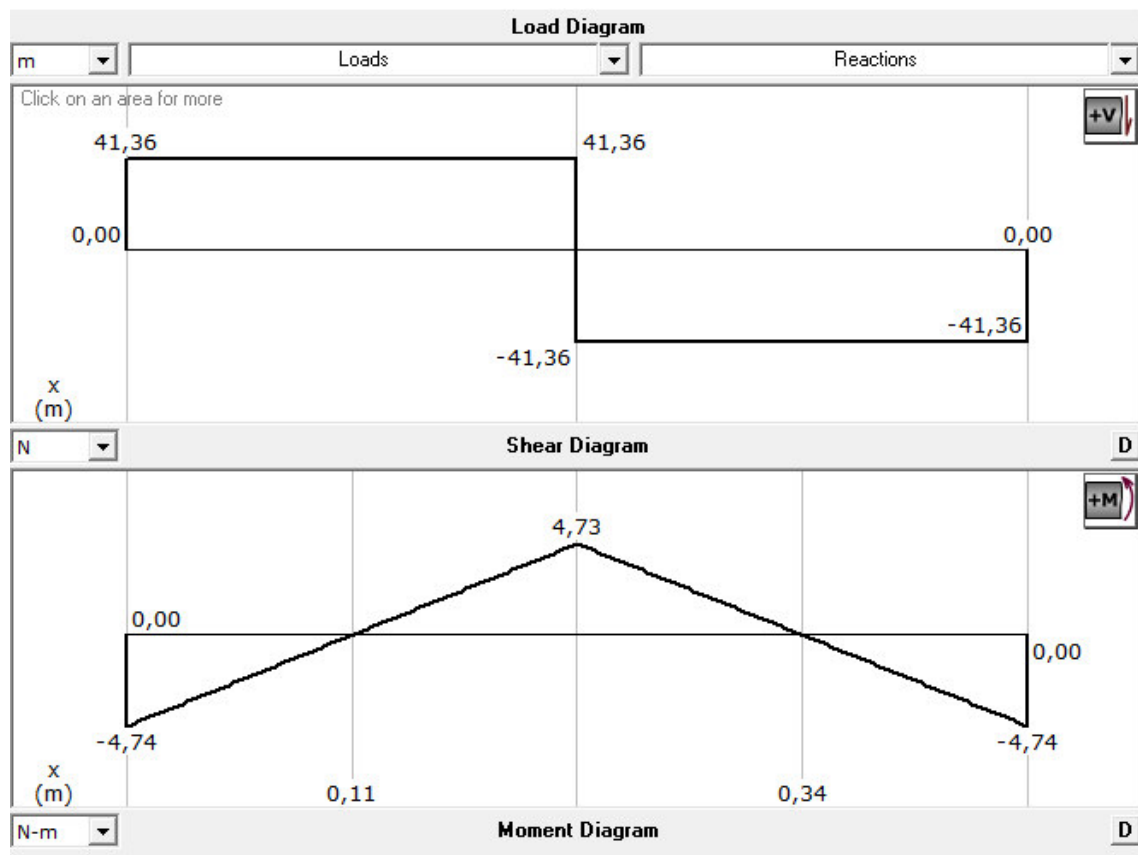


Figura 3.7 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flexionantes (viga Y).

Fuente: Software MDSolids 3.5 [29]

Una vez que se obtiene el valor de las fuerzas cortantes y momentos flexionantes, se determina el diámetro del eje que se utilizará como viga. El factor principal para el diseño de las vigas será la rigidez. Los ejes que se puede conseguir de manera en el mercado nacional o importarlos de manera sencilla son de acero inoxidable de grado 440C, se toma este material para el cálculo de las vigas (ver Anexo B.2). Para que la máquina cumpla con los objetivos planteados, ésta debe ser diseñada para una precisión moderada [30]. Mott señala que para que exista una precisión moderada, la deflexión máxima de la viga debe encontrarse en un rango de 0.00001 a 0.0005 mm/mm de longitud de la misma.

La deflexión máxima de una viga, doblemente empotrada, se obtiene a partir de (3.9):

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{-PL^3}{192EI} \quad (3.9)$$

Dónde:

$y_{m\acute{a}x}$: Deflexión máxima [m]

P : Carga [N]

L = Longitud de la viga [m]

E = Módulo de elasticidad de la viga [GPa]

I = Momento de inercia [m⁴]

El módulo de elasticidad para el acero 440C es 200GPa (Anexo B.2) y el momento de inercia de una sección circular se calcula con (3.10):

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad (3.10)$$

Como lo señala mott se toma la deflexión de:

$$\frac{y_{m\acute{a}x}}{L} = 0.0005$$

$$y_{m\acute{a}x} = 0.0005 * 0.458\text{m}$$

$$y_{m\acute{a}x} = 0.229 * 10^{-3}\text{m} = 0.229\text{mm}$$

Remplazando en (3.9):

$$y_{\max} = \frac{-PL^3}{192EI}$$

$$0.229 * 10^{-3} \text{m} = \frac{-82.72 \text{N} * (0.458 \text{m})^3}{192 * (200 * 10^9) * I}$$

$$0.229 * 10^{-3} \text{m} = \frac{-7.95 \text{Nm}^3}{(3.84 * 10^{13} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}) * I}$$

$$I = \frac{-7.95 \text{Nm}^3}{(0.229 * 10^{-3} \text{m}) * (3.84 * 10^{13} \frac{\text{N}}{\text{m}^2})}$$

$$I = \frac{-7.95 \text{Nm}^3}{8.79 * 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}}}$$

$$I = 0.90 * 10^{-9} \text{m}^4$$

Remplazando I en (3.10):

$$I = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$0.90 * 10^{-9} \text{m}^4 = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$D = \sqrt[4]{\frac{0.90 * 10^{-9} \text{m}^4 * 64}{\pi}}$$

$$D = 11.65 * 10^{-3} \text{m} = 11.65 \text{mm}$$

Finalmente se considera un diámetro de 12mm aproximado, valor estándar disponible en el mercado al que se determinó mediante los cálculos.

Se comprueba el diseño con el software MDSolids 3.5 para una viga doblemente empotrada de longitud de 0.458m y un diámetro de 12mm, donde se obtiene la deflexión máxima como se muestra en la Figura 3.8:

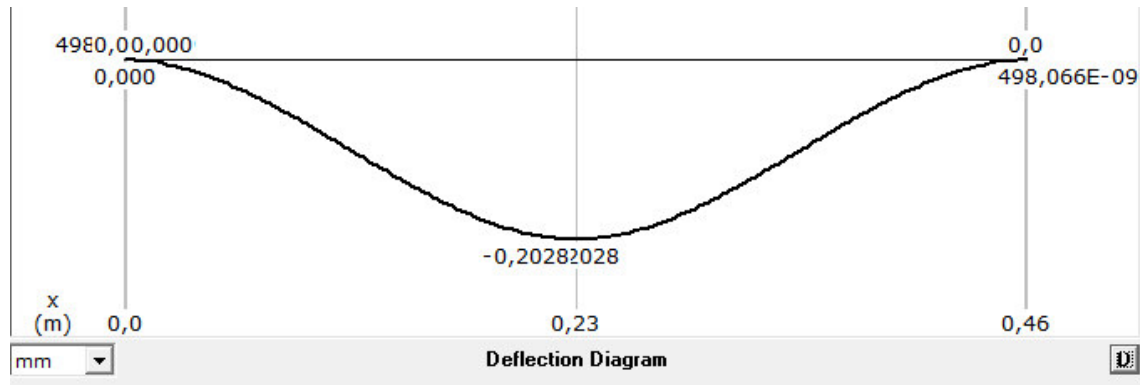


Figura 3.8 Diagrama de deflexión del eje Y.

Fuente: Software MDSolids 3.5 [29]

La deflexión máxima de una viga de 12mm de diámetro se encuentra el rango requerido para máquinas de precisión moderada como lo señala Mott en [30].

$$0.2028mm < 0.229mm$$

3.1.3.2 Vigas del eje X

La Figura 3.9 muestra el modelo de las vigas para el eje X, soportan el peso de la mesa y el peso de la pieza que se va a maquinar. Además, soportan una carga extra que es el empuje que realiza el husillo sobre el material a fresar.

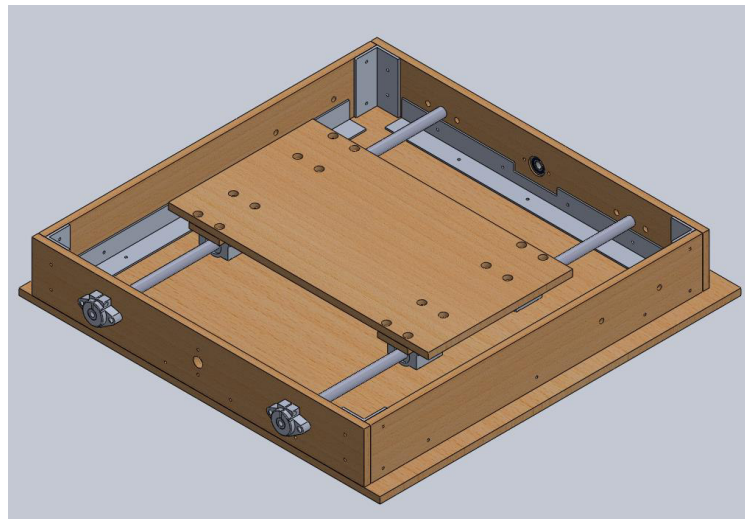


Figura 3.9 Modelo de las vigas del Eje X

La Tabla 3.8 lista las piezas en MDF que soportarán las vigas del eje X.

Tabla 3.8 *Peso de las Piezas en MDF que soportan las vigas del eje X*

Elemento	Volumen (mm ³)	Masa (kg)	Peso (N)	Cantidad	Peso Total (N)
Mesa	648000	0,45	4,44	1	4,44
Soporte Mesa	23436	0,016	0,16	4	0,64
Total					5,09

El peso de las piezas en MDF tiene un total de 5,09N, a éste se le suma el peso de la pieza a maquinar, que para mejor referencia se toma el peso de una pieza de acrílico de 30cm por lado con un espesor de 9mm, que equivale a 1 kg, el peso del sistema de movimiento Z que se ejerce al momento de realizar trabajos de maquinado de 52.1N; además de pesos adicionales como en las vigas del eje Y, la Tabla 3.9 muestra todos los pesos que soportarán las vigas del eje X.

Tabla 3.9 *Peso total que soporta las vigas del eje X.*

Elemento	Peso Total (N)
Piezas en MDF	5,09
Pieza	10
Fuerza del husillo	52.2
Pesos Adicionales	98
Total	165.29

De igual manera, en las vigas del eje Y, se realizará un diseño de la viga por rigidez teniendo en cuenta que el material es acero inoxidable de grado 440C, con un módulo de elasticidad de 200GPa, y que la sección trasversal es circular.

$$\frac{y_{\max}}{L} = 0.0005$$

$$y_{\max} = 0.0005 * 0.458\text{m}$$

$$y_{\max} = 0.229 * 10^{-3}\text{m}$$

Entonces despejando I en (3.9):

$$0.229 * 10^{-3} \text{m} = \frac{-PL^3}{192EI}$$

$$0.229 * 10^{-3} \text{m} = \frac{-82.645 \text{N}(0.458 \text{m})^3}{192 * \left(200 * 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) * I}$$

$$I = \frac{-7.94 \text{Nm}^3}{(0.229 * 10^{-3} \text{m}) * 3.84 * 10^{13} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$I = \frac{-7.94 \text{Nm}^3}{8.79 * 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}}}$$

$$I = 0.90 * 10^{-9} \text{m}^4$$

Remplazando I en (3.10):

$$0.90 * 10^{-9} \text{m}^4 = \frac{\pi D^4}{64}$$

Despejando D:

$$D = \sqrt[4]{\frac{0.90 * 10^{-9} \text{m}^4 * 64}{\pi}}$$

$$D = 11.64 * 10^{-3} \text{m} = 11.64 \text{mm}$$

Se toma el diámetro de 12mm, valor estándar aproximado al que se determinó mediante cálculos.

Se comprueba el diseño mediante el software MDSolid 3.5 como me muestra en la Figura 3.10, para una viga doblemente empotrada con una sección transversal circular de 12mm de diámetro. Donde se obtiene una deflexión máxima de 0.2016 mm que es menor a la requerida para máquinas de precisión moderada como lo señala Mott en [30].

$$0.2016 \text{mm} < 0.229 \text{mm}$$

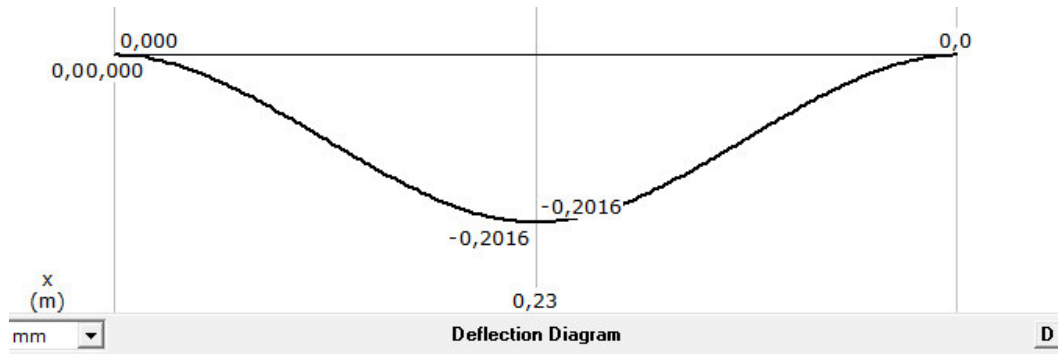


Figura 3.10 Deflexión máxima de la viga del eje X

Fuente: Software MDSolids 3.5 [29]

3.1.3.3 Vigas del eje Z

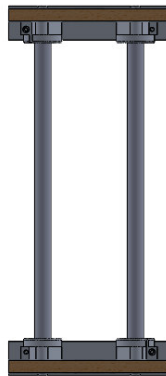


Figura 3.11 Modelo de las vigas del Eje Z

Para las vigas del eje Z se toma un diámetro de 12mm debido a que dicho diámetro fue satisfactorio para los cálculos de los otros dos ejes. Por lo tanto, la máquina tendrá en sus tres ejes, vigas con sección transversal circular de 12mm de diámetro cuyos ejes X, Y tendrán una longitud de 458mm y el eje Z que tiene un recorrido menor, tendrá una longitud de 250mm, estas dimensiones de las vigas permiten a la máquina cumpla con el volumen de trabajo establecido.

3.1.4 TORNILLO DE POTENCIA

Los tornillos de transmisión de potencia son dispositivos que permiten cambiar el movimiento angular por movimiento lineal, estos tornillos permiten obtener un posicionamiento preciso de un movimiento axial.

3.1.4.1 Cálculo del diámetro del tornillo

Para el cálculo del diámetro del tornillo se realiza un análisis a flexión del tornillo del eje Y puesto que este eje soporta la mayor carga de los elementos montados en la máquina. Dicho esto se parte de la ecuación (3.9):

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.11)$$

Donde:

σ : Esfuerzo a flexión [N /m²]

M : Momento flector [Nm]

C : Distancia del eje neutro a la fibra a analizar [m]

I : Momento de inercia [m⁴]

Para que el esfuerzo admisible sea menor se incluye un factor de seguridad n como se muestra en la ecuación (3.12)

$$\sigma = \frac{Sy}{n} \quad (3.12)$$

Momento de inercia para una sección circular viene dado por la ecuación (3.10).

El análisis se debe orientar a la parte externa de la circunferencia, por lo tanto la distancia se toma al diámetro sobre 2 (3.13):

$$c = \frac{d}{2} \quad (3.13)$$

Remplazando (3.10) y (3.13) en (3.11):

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (3.14)$$

El esfuerzo a deflexión debe ser menor o igual que el esfuerzo admisible:

$$\frac{32M}{\pi d^3} \leq \sigma_a$$

Remplazando (3.12) en (3.14) y despejando el parámetro d :

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M * n}{\pi * S_y}}$$

El material del tornillo de bolas es acero AISI 52100 con un límite a la fluencia de 2033 MPa, en el Anexo B.3 se encuentra las especificaciones técnicas para el material AISI 52100, una longitud total de 500mm con sus apoyos en los extremos, un factor de seguridad 2.5 como lo sugiere Mott en [31], la carga que soporta el tornillo de bolas recirculantes será de 165.44 N por todas las piezas que se listan en la Tabla 3.7, más una carga adicional por seguridad de 500 N que es el peso aproximado del apoyo de una persona.

La Figura 3.12 muestra el diagrama de cuerpo libre con sus fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

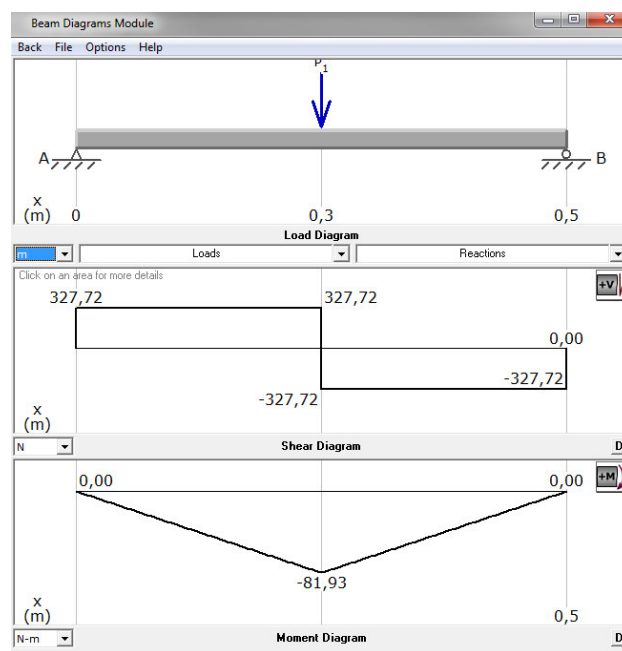


Figura 3.12 Diagrama de cuerpo libre, fuerzas cortantes y momentos flexionantes

Fuente: Software MDSolids 3.5 [29]

Se obtiene que el momento flector tiene un valor de 81.93 Nm, reemplazando en (3.14):

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 81.93\text{Nm} * 2.5}{\pi * 2033\text{Mpa}}}$$

$$d = 10.08 * 10^{-3} \text{m} = 10.09 \text{mm}$$

Se considera diámetro de 12mm, valor estándar aproximado al que se determinó mediante los cálculos. En el Anexo C se encuentran las especificaciones técnicas del tornillo de bolas seleccionado.

3.1.4.2 Tornillos de bolas recirculantes

La transmisión de los tornillos de bolas recirculantes es un conjunto que convierte el movimiento rotatorio en movimiento lineal. Comprende de un tornillo, una tuerca y un conjunto de bolas como se muestra en la Figura 3.12. El movimiento se realiza mediante las bolas, que ruedan en pistas que concuerdan entre el tornillo y la tuerca con las bolas. La transmisión por medio del tornillos de bolas recirculantes tiene un coeficiente de fricción sumamente bajo y tiene típicamente una eficiencia del 90%. Las fuerzas transmitidas se distribuyen entre un gran número de bolillas, lo cual, comparativamente, produce una carga relativa baja por bola.

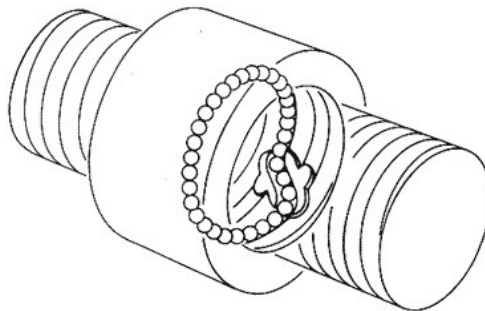


Figura 3.13 Circuito de recirculación de las bolillas en la tuerca.

Fuente: Aspiro Rodamientos [32]

3.1.4.3 Cálculo del par de giro requerido

La Tabla 3.10 muestra el diámetro del tornillo de bolas recirculantes, la longitud y la carga que se va a desplazar en cada eje de la máquina.

Tabla 3.10 Diámetro, longitud y carga para cada eje de la máquina.

EJE	DIÁMETRO	LONGITUD	CARGA
Eje x	12mm	500mm	665.44
Eje y	12mm	500mm	663.1
Eje z	12mm	30mm	618

Para determinar el par del motor requerido para vencer las cargas axiales de trabajo, se utiliza (3.15), teniendo en cuenta que se toma la eficiencia del tornillo de bolas recirculantes de $e = 0.90$ [33], dicha eficiencia equivale al 90% del tornillo de bolas recirculantes y un paso del tornillo de 4mm por revolución:

$$T = \frac{P * p}{2 * \pi * e} \quad (3.15)$$

Donde:

T : Par de torsión motriz [Nm]

P = Carga [N]

p = Paso [m]

e = Eficiencia de un tornillo de bolas

Remplazando los valores de cada eje en (3.15), el par del motor requerido para el eje X es de:

$$Tx = \frac{665.44N * 0.004m}{2 * \pi * 0.90}$$

$$Tx = 0.47Nm$$

El par del motor requerido para el eje Y es de:

$$Ty = \frac{663.1 * 0.004m}{2 * \pi * 0.90}$$

$$Ty = 0.469Nm$$

El par del motor requerido para el eje Z es de:

$$Tz = \frac{518N * 0.004m}{2 * \pi * 0.90}$$

$$Tz = 0.37Nm$$

Los valores de T_x , T_y y T_z corresponden al par requerido para desplazar los carros instalados en cada eje. Se considera un motor a paso a paso NEMA 17 de 0.50Nm de par torsional, valor aproximado al calculado.

3.1.4.4 Cálculo de la velocidad crítica

Para que no exista vibraciones en el tonillo de bolas Mott en [34] sugiere que el husillo trabaje a 0.80 veces la velocidad crítica. La velocidad crítica del tornillo de bolas se la calcula mediante la siguiente ecuación:

$$n_c = \frac{4.76 \cdot 10^6 d_r K_s}{(SF)L^2} \quad (3.16)$$

Donde,

n_c : Velocidad crítica [rpm]

d_r : Diámetro de raíz = 0.010m = [0.39in]

K_s : Factor de empotramiento en los extremos

L = Longitud entre los soportes = 0.500m = [19.66in]

SF = Factor de servicio

Para encontrar el diámetro de raíz es necesario el diámetro de paso del tornillo de bolas recirculantes con $d = 12\text{mm}$. El diámetro de paso se obtiene de la siguiente ecuación (3.17):

$$d_p = \frac{d + d_r}{2} \quad (3.17)$$

Donde:

d_p : Diámetro de paso [mm]

d : Diámetro del tornillo de bolas recirculantes [mm]

d_r : Diámetro de raíz [mm]

El diámetro de raíz se obtiene mediante la ecuación (3.18):

$$d_r = d - \frac{p}{2} \quad (3.18)$$

Donde p es igual a 4mm que es el paso del tornillo de bolas recirculantes, reemplazando p en (3.18) se obtiene:

$$d_r = 12\text{mm} - \frac{4}{2}$$

$$d_r = 10\text{mm}$$

Reemplazando d_r en (3.17):

$$d_p = \frac{12\text{mm} + 10\text{mm}}{2}$$

$$d_p = 11\text{mm}$$

Reemplazando d_r , $K_S = 1$ y $SF = 3$ en (3.17):

$$n_c = \frac{(4.76 * 10^6)(0.39)(1)}{(3) * (19.66)^2}$$

$$n_c = 1600.97 \text{ rpm}$$

$$n_{\text{máx recomendable}} = n_c * 0.80 = 1280.78 \text{ rpm}$$

La velocidad máxima recomendable es de 1280 rpm para que en el tornillo de bolas recirculantes no existan vibraciones.

3.2 SISTEMA DE CONTROL

La Figura 3.12 muestra el sistema de control para la máquina. El control es el encargado de recibir las instrucciones del computador y enviar las señales a los diferentes drivers de cada eje, para estos, accionar los motores paso a paso y posicionar la herramienta donde se requiera. También se encarga de recibir las señales de los límites de seguridad de cada eje y de la posición 0 máquina.

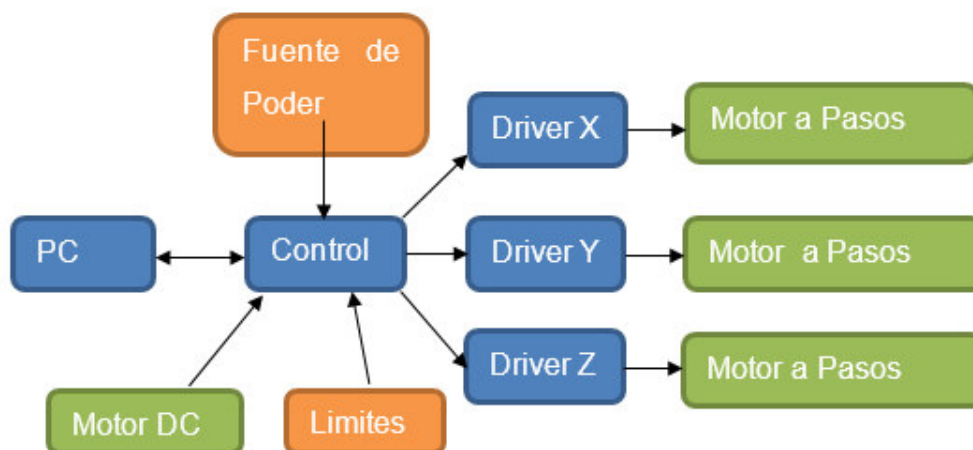


Figura 3.14 Diagrama del sistema de control de la máquina

3.2.1 DRIVER PARA EL MOTOR PASO A PASO NEMA 17 GENÉRICO

El driver para controlar los motores paso a paso es el driver SainSmart TB6560, este recibe las señales de dirección (0V – horario; 5V - antihorario) y el número de pasos que debe girar el motor para llegar a una posición requerida. El driver permite controlar el motor de varias maneras, a paso completo es decir que cada paso equivale a 1.8 grados de revolución o hasta micropasos de 1/16, la Tabla 3.10 muestra el tipo de control y el número de pasos requeridos para girar una revolución del motor. En el Anexo D se indican las especificaciones técnicas de un motor paso a paso NEMA 17 genérico. El esquema del circuito se muestra el Anexo E, plano D02 – 002.

Tabla 3.10 Tipo de control y número de paso/revolución

Control	Pasos por revolución	Grados por paso
Paso completo	200	1.8
Medio paso	400	0.9
1/8	1600	0.225
1/16	3200	1.1125

Estos drivers son utilizados comúnmente en las máquinas herramienta con control numérico computarizado; existe una gran variedad de drivers fabricados por distintas empresas a nivel mundial.

En la Tabla 3.11 se muestra un cuadro comparativo donde se puede observar la diferencia entre una placa realizada caseramente a una fabricada industrialmente.

Tabla 3.11 Diferencias entre una placa fabricada caseramente vs una fabricada industrialmente.

TB6560AHQ CASERA	TB6560AHQ INDUSTRIAL
• Para la fabricación de la placa es necesario adquirir cada circuito integrado por separado, esto eleva el costo. • Las pistas de cobre no son nítidas. • La placa sólo tiene una capa de pistas • Con el tiempo los componentes se desprenden de la placa. • El proceso de fabricación se lo realiza desprendiendo el cobre con ácido férrico. • El tiempo de manufacturación es bastante alto. • El integrado TB6560 de Toshiba se debe manipular de una manera delicada ya que este se puede dañar con facilidad al momento de ser soldado. • En el mercado el integrado por sí solo, tiene un costo de 8 a 10 dólares; en su totalidad la manufacturación del driver tiene un costo de 40 dólares.	• La producción en masa abarata el costo. • Presencia de máscara de soldadura que no permite que se oxide el cobre • Es más robusto en sistema de protección. • El driver tiene una placa con 4 capas de pistas que reduce la presencia de puentes. • Rígido para mantener los componentes • No absorbe humedad • Disipa el calor de mejor manera por las láminas que le aplican • Constante dieléctrica baja para tener pocas pérdidas • El proceso de fabricación es mediante máquinas de control numérico de hasta tres ejes para desprender el cobre. • La placa fabricada a nivel industrial tiene un costo de 13 a 15 dólares en su totalidad.

3.2.2 PLACA DE CONTROL

La placa de control es aquella que permite la comunicación entre el software y la máquina. La comunicación se la realiza por el puerto paralelo; el puerto paralelo es una interfaz entre el computador y un periférico (fresadora), por este puerto se envían datos permitiendo activar y desactivar los motores paso a paso. El esquema de la placa de control se muestra en el Anexo E, plano D02 - 002

3.2.3 LÍMITES DEL VOLUMEN DE TRABAJO

Para limitar el recorrido de la máquina es necesario colocar sensores en cada eje de la misma. Se implementó 6 fines de carrera, 2 por cada eje, además de 3 fines

de carrera adicionales para obtener el “0 máquina” de la fresadora (posición inicial) al momento de realizar trabajos. La Figura 3.15 muestra cómo se conectan los diferentes fines de carrera, para los límites de los ejes X, Y y Z se conectan en serie el positivo y negativo de cada eje, de esta manera cuando cualquiera de estos se active, la máquina se detendrá automáticamente; para la obtención de la “posición 0” se conectan tres fines de carrera en serie, al momento de que el carro activa uno de estos interruptores el motor gira en reversa hasta desactivarlo, este proceso se realiza para cada eje de la máquina.

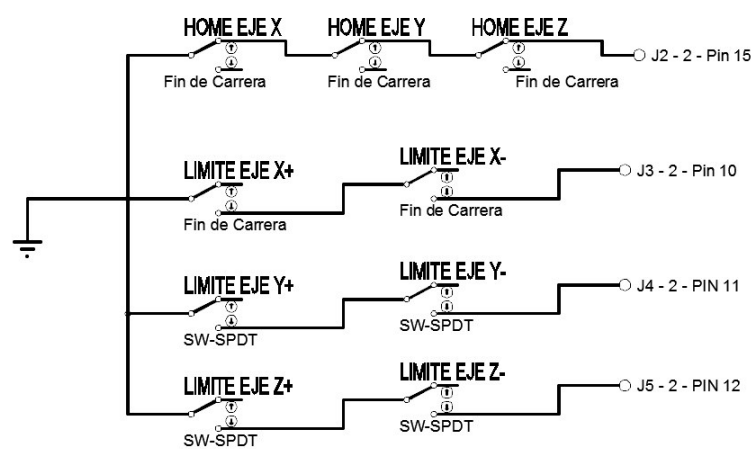


Figura 3.15 Esquema de funcionamiento de los fines de carrera

3.2.4 BOTÓN DE PARO DE EMERGENCIA

Por motivo de seguridad se instaló un botón de paro de emergencia, consiste en un botón de color rojo de fácil acceso al operario de la máquina, con dimensiones de 4 cm de diámetro; el cual al ser pulsado este se mantiene presionado “se enclava” y desconecta toda energía de la máquina, previniendo daños al usuario o a la máquina.



Figura 3.16 Botón de paro de emergencia

Fuente: Schneider Electric [35]

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se describe la construcción de todas las piezas que son necesarias para la implementación de la fresadora CNC, de acuerdo a los cálculos, y planos expuestos en el Anexo E.

4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA

Los elementos que conformarán la estructura de la máquina serán fabricados en madera MDF (tablero de fibra de densidad media) de 9mm de espesor, como muestra la Figura 4.1.



***Figura 4.1** Fotografía del material MDF en crudo.*

Una vez realizado los planos de construcción de la máquina, se corta la plancha de 2.40m x 2.44m de MDF con una sierra escuadradora (Figura 4.2), para obtener una alta precisión al momento de realizar los cortes.



Figura 4.2 Fotografía de la sierra escuadradora.

Para reforzar la estructura de la máquina se utilizan ángulos de aluminio en las uniones de las piezas de MDF, como muestra la Figura 4.3.

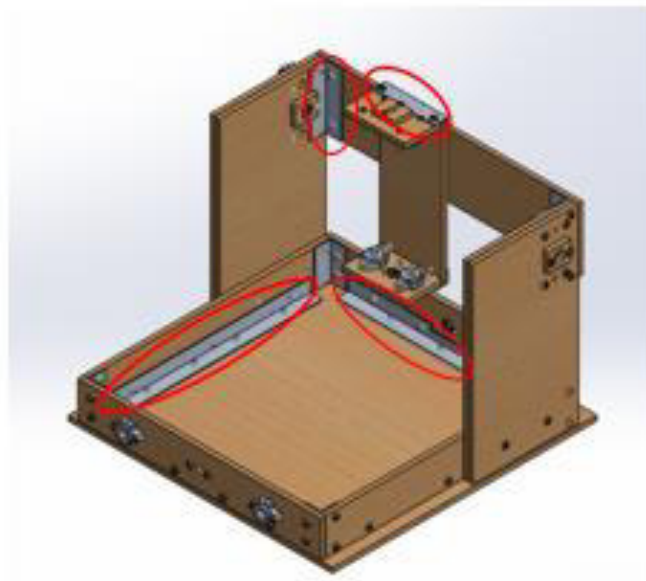


Figura 4.3 Refuerzos de aluminio

4.1.1 CONSTRUCCIÓN DEL EJE X

Para una mejor referencia las piezas se encuentran numeradas; en el manual de ensamblaje se muestra una lista de todas las piezas con su respectiva numeración. La Figura 4.4 muestra las piezas necesarias que conforman la base de la máquina (eje X).

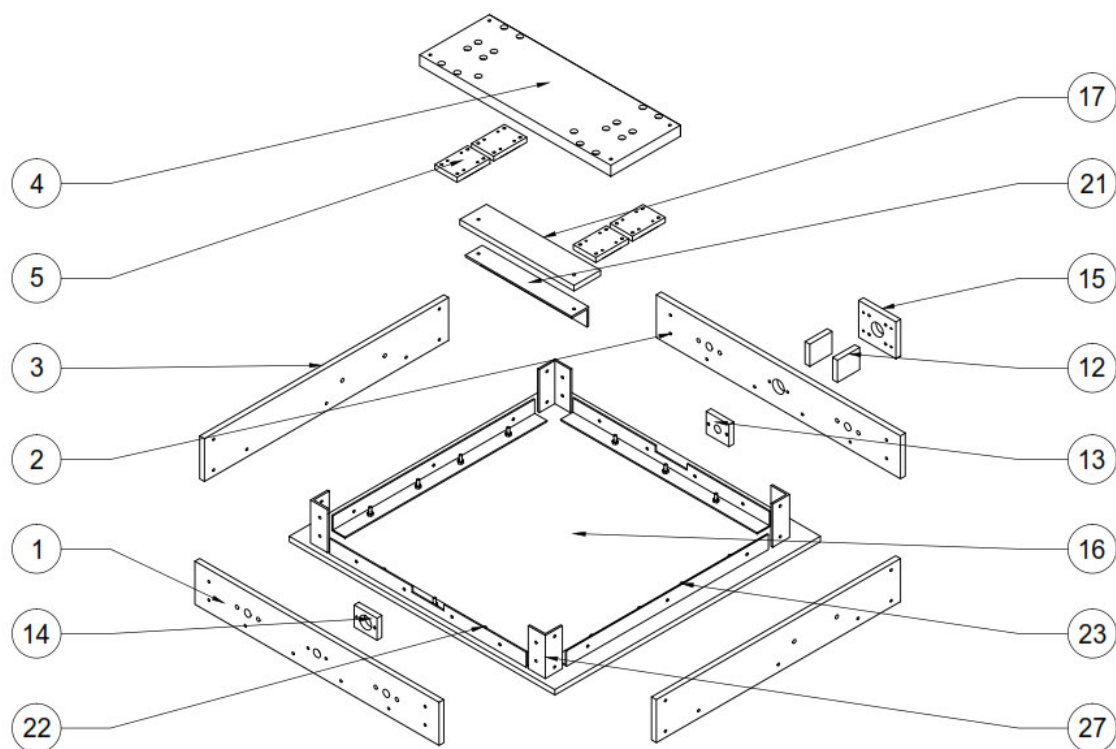
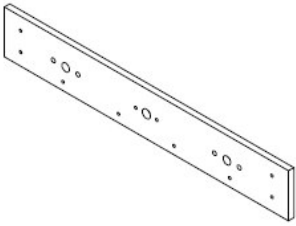
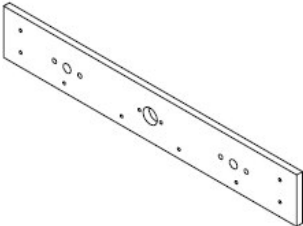
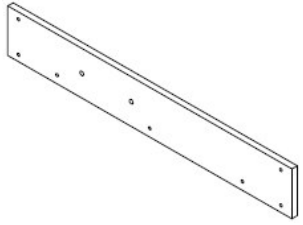
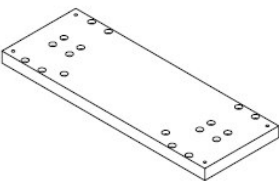
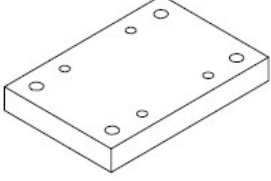
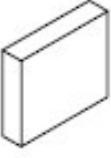
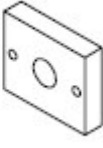
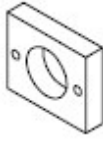


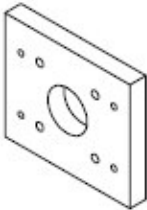
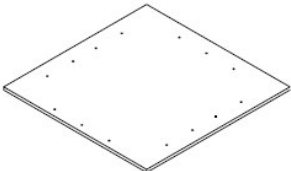
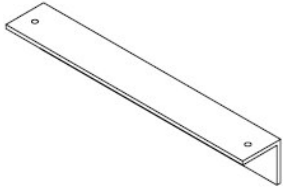
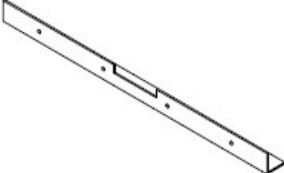
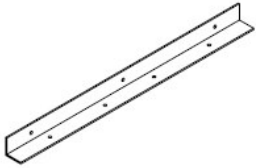
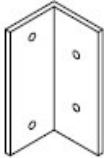
Figura 4.4 Piezas de sistema del eje X.

La Tabla 4.1 lista las piezas necesarias para la construcción del sistema que permitirá el movimiento en el eje X. Además de los procesos necesarios para la construcción de éstas.

Tabla 4.1 Piezas del sistema del eje X.

Nº	Nombre	Pieza Simulada	Fabricación
1	Base inferior frontal		1. Corte con sierra escuadradora. 2. Taladrado 3. Lijado

2	Base inferior posterior		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
3	Base inferior lateral izquierdo y derecho		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
4	Mesa X		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
5	Soporte para los rodamientos lineales		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
12	Soporte laterales para los motores		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
13	Tope para el rodamiento de 8mm		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
14	Soporte para los rodamientos de 8mm		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado

15	Base para los motores paso a paso		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
16	Base de la máquina		1. Corte con sierra escuadradora. 2. Taladrado 3. Lijado
17	Refuerzo para la mesa X		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
21	Ángulo para sujetar la tuerca X		1. Corte con sierra de mano 2. Taladrado 3. Lijado
22	Ángulo para las bases inferiores frontal y posterior		1. Corte con sierra de mano 2. Taladrado 3. Lijado
23	Ángulo para las bases laterales		1. Corte con sierra de mano 2. Taladrado 3. Lijado
27	Ángulo para las uniones inferiores		1. Corte con sierra de mano 2. Taladrado 3. Lijado

4.1.2 CONSTRUCCIÓN DEL EJE Y

Las piezas necesarias que conforman el sistema del eje Y se muestran en la Figura 4.5.

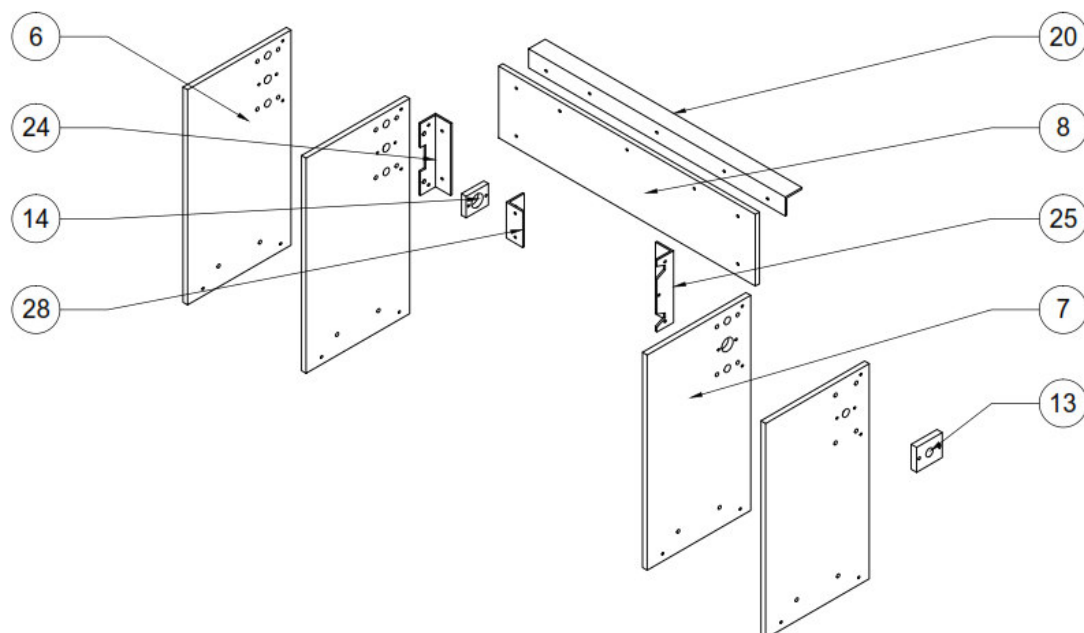
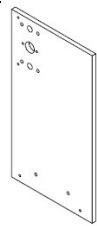
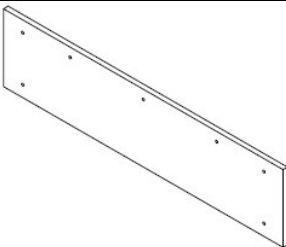
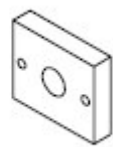
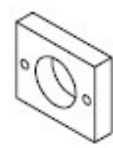
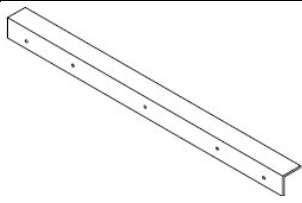
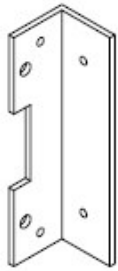
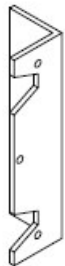
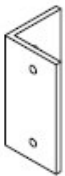


Figura 4.5 Piezas del sistema del eje Y

La Tabla 4.2 lista las piezas necesarias para la construcción del sistema, que permitirá el movimiento en el eje Y. Además de los procesos necesarios para la construcción de estas.

Tabla 4.2 Piezas del sistema del eje Y.

Nº	Nombre	Pieza Simulada	Fabricación
6	Columna con tope para rodamiento de 8mm		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
7	Columna con soporte para rodamiento de 8mm		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
8	Espaldar Y		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
13	Tope para el rodamiento de 8mm		4. Corte con sierra escuadradora 5. Taladrado 6. Lijado
14	Soporte para rodamiento de 8mm		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
20	Ángulo para el espaldar Y		1. Corte con sierra de mano 2. Taladrado 3. Lijado

24	Ángulo espaldar – columna izquierda		1. Corte con sierra de mano 2. Taladrado 3. Lijado
25	Ángulo espaldar – columna derecha		1. Corte con sierra de mano 2. Taladrado 3. Lijado
28	Ángulo para la tuerca de bolas Y		1. Corte con sierra de mano 2. Taladrado 3. Lijado

4.1.3 CONSTRUCCIÓN DE EJE Z

Las piezas necesarias que conforman el sistema del eje Z se muestran en la Figura 4.6.

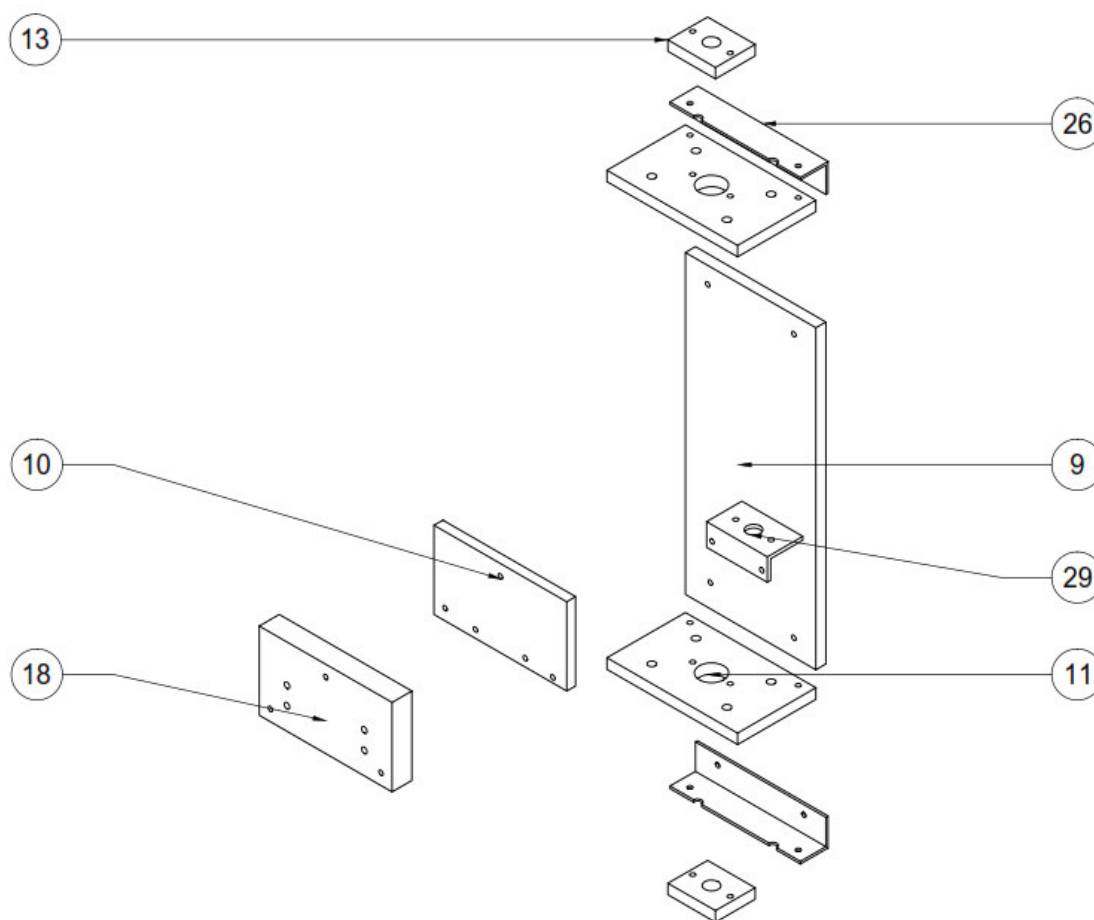
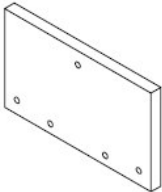
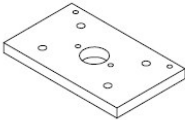
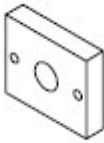
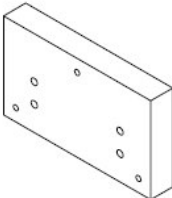
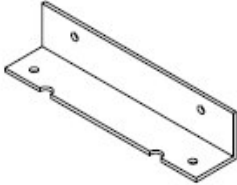
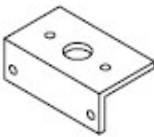


Figura 4.6 Piezas del sistema del eje Z

La Tabla 4.3 muestra las piezas necesarias para la construcción del sistema, que permitirán el movimiento en el eje Z. Además de los procesos necesarios para la construcción de éstas.

Tabla 4.3 Piezas del sistema del eje Z

Nº	Nombre	Pieza Simulada	Fabricación
9	Espaldar Z		1. Corte con sierra escuadradora. 2. Taladrado 3. Lijado
10	Mesa Z		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
11	Soporte para el espaldar y las guías Z		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
13	Tope para rodamiento de 8mm		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
18	Soporte para el motor DC		1. Corte con sierra escuadradora 2. Taladrado 3. Lijado
26	Angulo para el espaldar y el soporte de guías Z.		1. Corte con sierra de mano. 2. Taladrado 3. Lijado
29	Angulo para la tuerca de bolas Z		1. Corte con sierra de mano. 2. Taladrado 3. Lijado

4.2 MONTAJE

Para el montaje de la máquina se dividirá en 5 subensamblajes, estos son:

- Ensamblaje de la mesa X, Y.
- Ensamblaje del sistema de movimiento del eje X.
- Ensamblaje del sistema de movimiento del eje Y.
- Ensamblaje del sistema de movimiento del eje Z.
- Ensamblaje de los soportes para los motores.

4.2.1 ENSAMBLAJE DE LA MESA X

La Figura 4.7 muestra todas las piezas requeridas para realizar el montaje de la mesa X, donde se colocará la pieza en bruto para realizar los procesos de fresado.

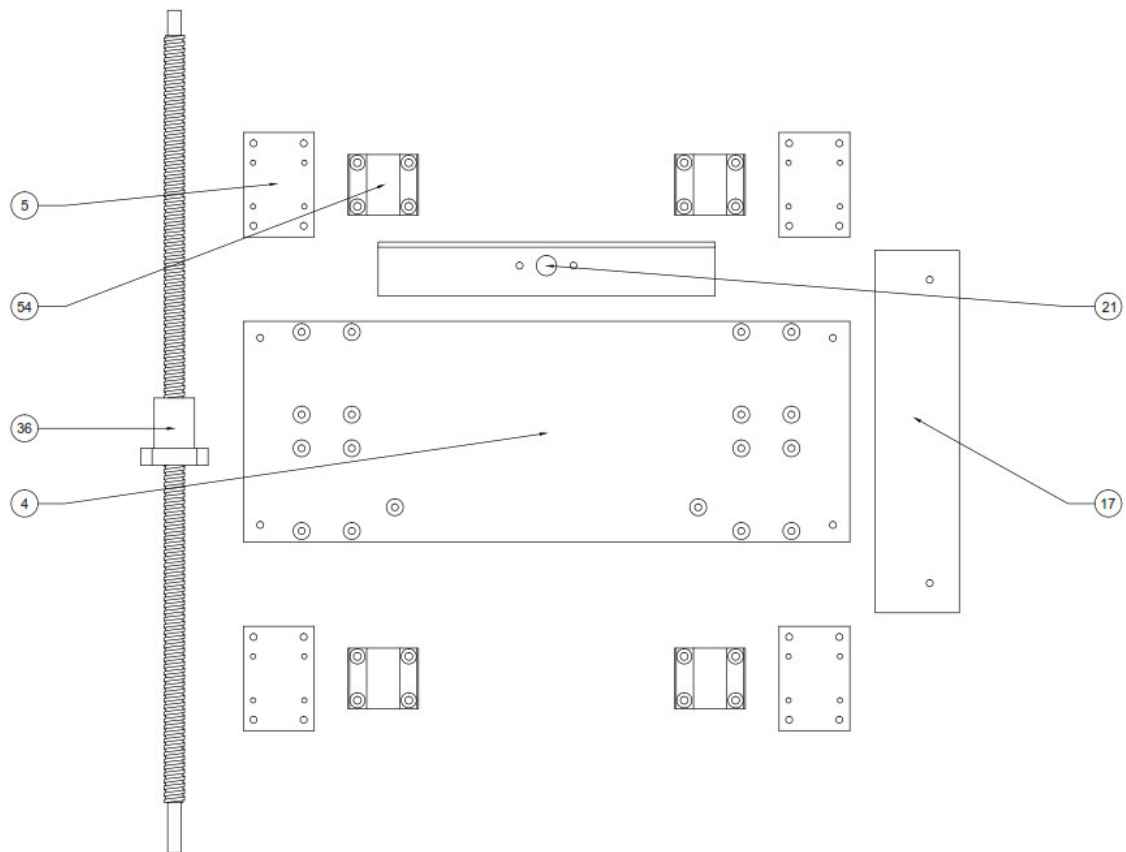


Figura 4.7 Piezas necesarias para el montaje de la mesa X

Para el ensamblaje de la mesa se toma la mesa X (pieza 4), el ángulo de aluminio donde se acoplará la tuerca de bolas (pieza 21) y el refuerzo de la mesa (pieza 17). Estos se unen por medio de dos pernos M4x25mm, como muestra la Figura 4.8.



Figura 4.8 Fotografía de la mesa X acoplada al ángulo de aluminio.

A continuación, se toman los rodamientos lineales SCS12UU con sus respectivos soportes (pieza 6) y se los acoplan a la mesa con pernos M4x25mm, como se muestra en la Figura 4.9.



Figura 4.9 Fotografía de los rodamientos lineales de 12mm SCS12UU acoplados a la mesa X.

Después, se toma el tornillo de bolas recirculantes y se lo ajusta con el ángulo de aluminio, como muestra la Figura 4.10. Además, se acoplan los dos rodamientos axiales de 8mm de radio interno.



Figura 4.10 Fotografía de la tuerca y el tornillo de bolas acoplados al ángulo de aluminio.

4.2.2 ENSAMBLAJE DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO DEL EJE X

Una vez armada la mesa X, se procede con el ensamblaje de la base de máquina. La Figura 4.11 muestra todas las piezas necesarias para ensamblar la base de la máquina.

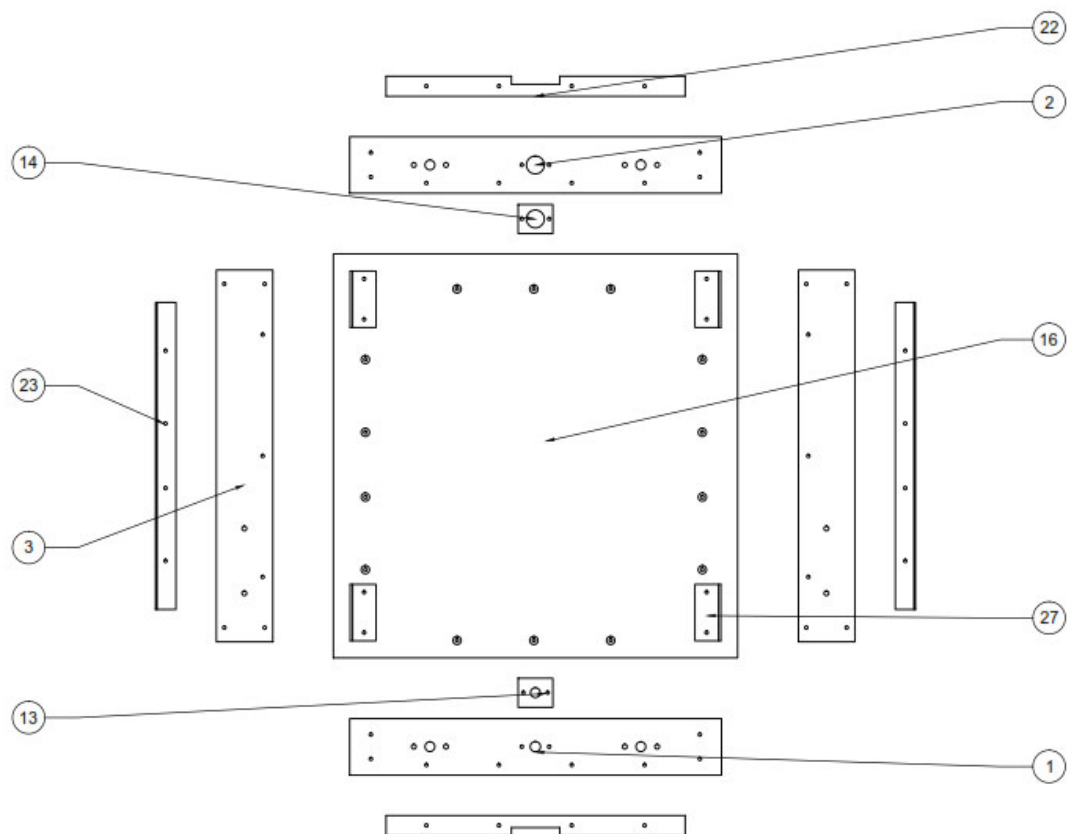


Figura 4.11 Piezas necesarias para ensamblar la base de la fresadora

Una vez obtenidas todas las piezas de la base. Se procede a ajustar los ángulos de aluminio (piezas 22 y 23), que sirven de refuerzo y acoples para las bases

laterales, frontal y posterior de la máquina, con la (pieza 16) base de la máquina, estas se unen mediante pernos M4x12mm como se observa en la Figura 4.12.

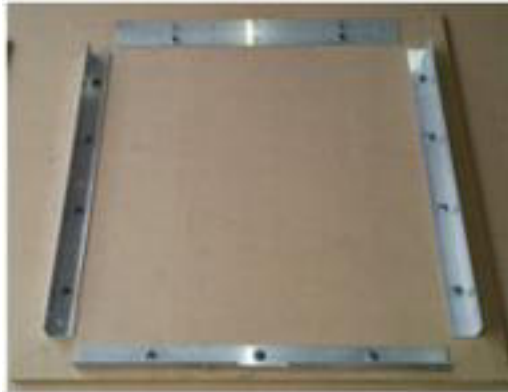


Figura 4.12 Fotografía de los ángulos de aluminio acoplados a la base de la máquina

Después de haber ajustado los ángulos de aluminio, se continúa con el ensamblaje de las bases frontal (pieza 1), posterior (pieza 2) que funcionan como soportes para las guías de la mesa X. A estas piezas también se les acopla los ángulos de aluminio de 70 mm de longitud (pieza 27) como se muestra en la Figura 4.13, permitiendo a la bases tener mayor fijación para que no existan vibraciones al momento de realizar procesos de maquinado.



Figura 4.13 Fotografía de las bases ensambladas

A continuación se unen las bases laterales inferiores de la máquina (pieza 3), las mismas que sirven de soporte para el sistema de movimiento del eje Y. En la Figura 4.14 se pueden observar las dos bases laterales con sus pernos M4x20mm respectivamente.



Figura 4.14 Fotografía de las Bases laterales derecha e izquierda.

Una vez ensambladas las bases, se obtiene un cajón como se muestra en la Figura 4.15.

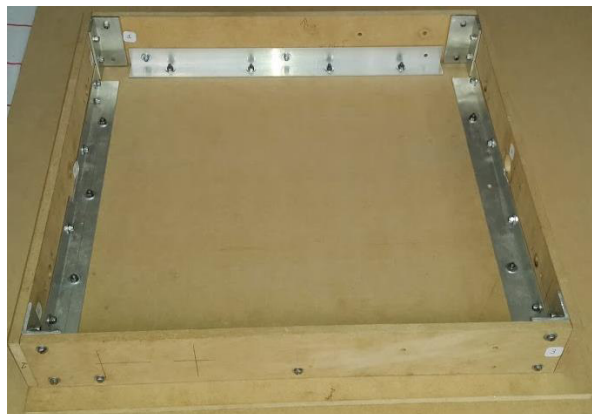


Figura 4.15 Fotografía de la base de la máquina ensamblada.

A esta base ensamblada, se le acoplan los soportes de las guías y los ejes de 12mm de diámetro que sirven como guías, donde se desplaza la mesa X, como se muestra en la Figura 4.16a. La Figura 4.16b muestra a la mesa X ensamblada con el sistema de movimiento X.

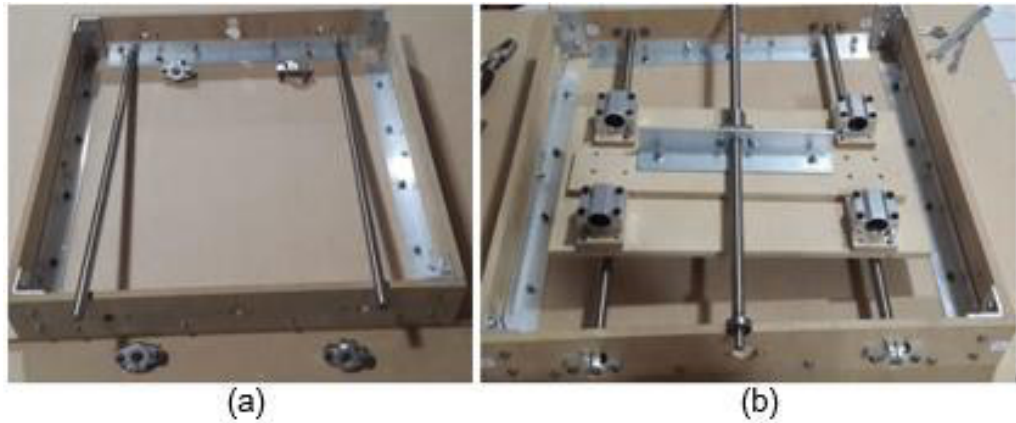


Figura 4.16 Fotografías de la base acoplada con la mesa X a) Soportes y ejes de 12mm. b) Base y mesa X ensambladas.

Los rodamientos axiales se insertan en sus respectivos soportes (pieza 14) y éstos se ajustan con 2 pernos M4x25mm, como se muestra en la Figura 4.17.



Figura 4.17 Fotografía del rodamiento axial acoplado al tornillo de bolas.

Una vez ajustados todos los pernos se obtiene el sistema de movimiento del eje X, como se puede observar en la Figura 4.18.

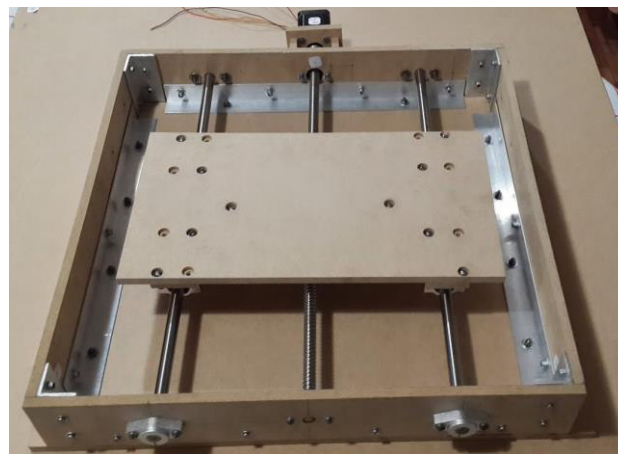


Figura 4.18 Fotografía del sistema de movimiento X.

4.2.3 ENSAMBLAJE DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO DEL EJE Y

La Figura 4.19 muestra las piezas necesarias para el ensamblaje del sistema de movimiento Y.

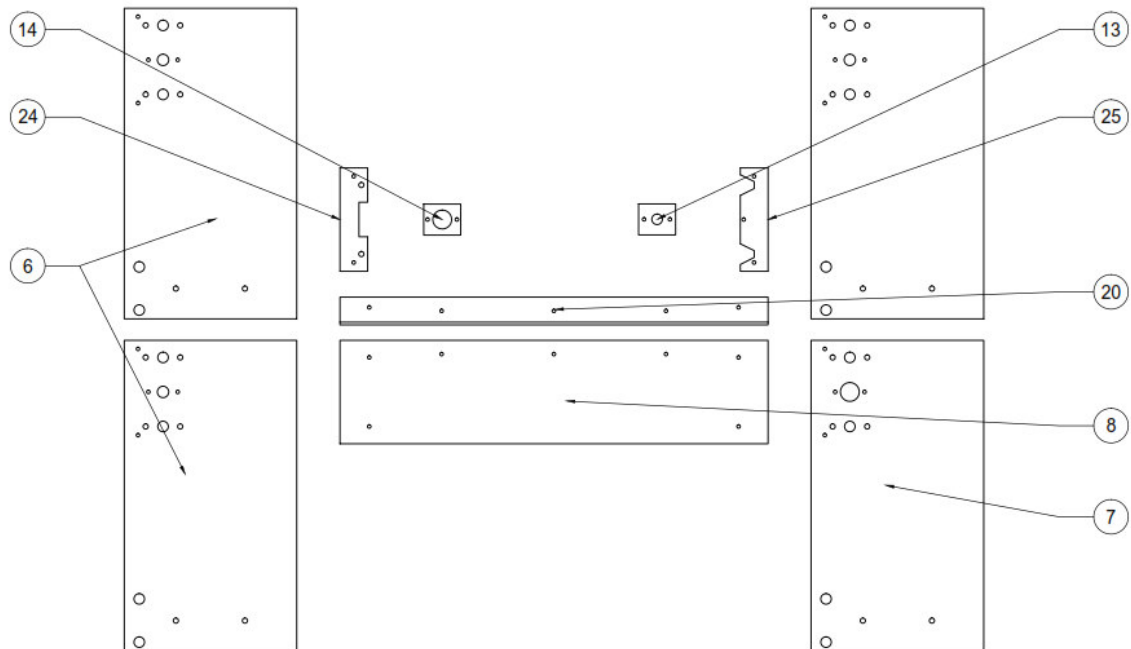


Figura 4.19 Piezas necesarias para ensamblar el sistema de movimiento Y

Para el montaje del sistema de movimiento Y, se toma el espaldar Y (pieza 8), y el ángulo de refuerzo (pieza 20), se acoplan con tornillos M4 x 25mm como se muestra en la Figura 4.20.



Figura 4.20 Fotografía del espaldar Y acoplado al ángulo de refuerzo

Una vez armado el espaldar, a este se le acopla los ángulos que sirven de uniones para las columnas de la máquina (pieza 24 y 25), mediante pernos M4x25mm como

se observa en la Figura 4.21a. Las columnas (piezas 6 y 7) se acoplan a los ángulo mediante pernos M4 x 35mm como se muestra en la Fotografía 4.21b.



(a)



(b)

Figura 4.21 Fotografías de las columnas acopladas al espaldar. a) Ángulos de uniones. b) Columnas

A las columnas se acoplan los soportes para las guías como se muestra en la Figura 4.22a y los ejes de 12mm de diámetro que sirven como guías en la Figura 4.22b. Los soportes de las guías para los rodamientos lineales se los ajusta con tornillos M6 x 38mm.



(a)



(b)

Figura 4.22 Fotografías de los ejes del sistema Y. a) Soportes para las guías. b) Ejes de 12mm de diámetro

Al terminar de ajustar toda la estructura se obtiene el sistema de movimiento Y como se muestra en la Figura 4.23.



Figura 4.23 Fotografía del sistema de movimiento del eje Y

4.2.4 ENSAMBLAJE DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO DEL EJE Z

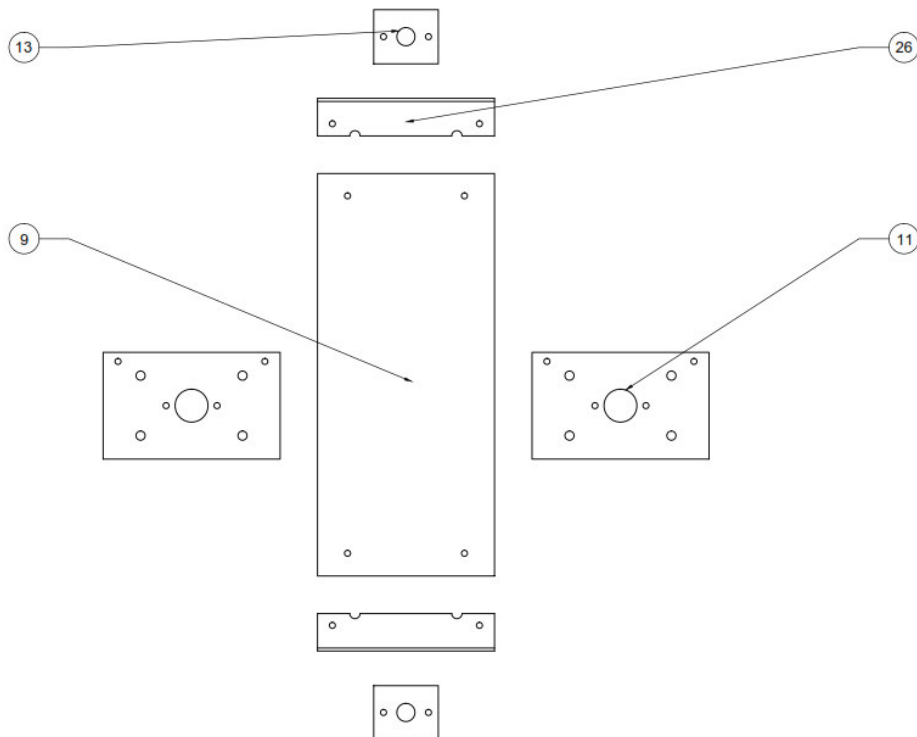


Figura 4.24 Piezas necesarias para ensamblar el sistema de movimiento Y

Para el ensamblaje del sistema de movimiento Z, se toma el espaldar Z (pieza 9) y 4 rodamientos lineales SC12UU, estos se los acopla con tornillos de madera auto perforantes de 1 pulgada. Al espaldar también se acopla el ángulo donde se sujetara la tuerca del tornillo de bolas recirculantes, esta se sujeta con 2 tornillos M4 x 25mm, como se muestra en la Figura 4.25.



Figura 4.25 Fotografía de los rodamientos lineales SC12UU de 12mm acoplados al espaldar Z

A continuación al espaldar se le acoplan los ángulos (pieza 26) que sirven como uniones entre espaldar Z y los soportes para las guías lineales (pieza 11), como se muestra en la Figura 4.26.



Figura 4.26 Fotografía de los ángulos acoplados al espaldar Z

Posteriormente, al sistema se le acoplan los soportes para las guías y los ejes de 12mm de diámetro que sirven como guías para los rodamientos lineales. Los soportes se sujetan por medio de 2 perno M6 x 36mm, a su vez se coloca el tornillo de bolas recirculantes con su tuerca y los rodamientos 608ZZ de 8 mm de diámetro interno, como muestra la Figura 4.27.



Figura 4.27 Fotografía del montaje de los ejes de 12mm, rodamientos 608ZZ y tornillo de bolas recirculantes

Una vez armada la estructura del eje Z se acopla el motor DC que sujetará la herramienta (fresa) como se muestra en la Figura 4.28.



Figura 4.28 Fotografía del motor DC acoplado al sistema de movimiento Z

4.2.5 ENSAMBLAJE DEL SOPORTE PARA LOS MOTORES PASO A PASO

La Figura 4.29 muestra todas las piezas necesarias para ensamblar el soporte para los motores paso a paso.

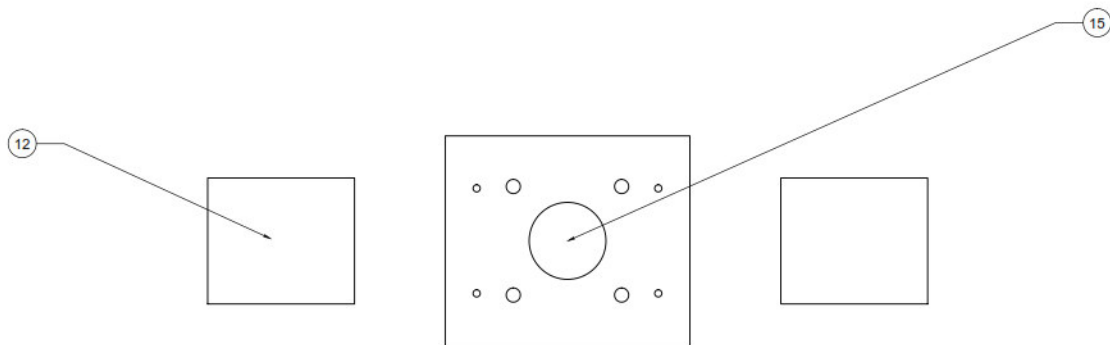


Figura 4.29 Piezas necesarias para los soportes de los motores paso a paso

El motor de paso a paso se ancla a la base para los motores (pieza 15) por medio de tornillos avellanados M3x15mm como se muestra en la Figura 4.30.



Figura 4.30 Fotografía del motor paso a paso anclada a la base

A la base del motor se le acopla dos soportes laterales (pieza 12) y un tope para el rodamiento de 8mm (Pieza 13) por medio de tornillos de madera M3x15mm como se muestra en la Figura 4.31a. Al eje del motor se le ajusta el acople flexible de 5mm a 8mm de diámetro como se muestra en la Figura 4.31b.

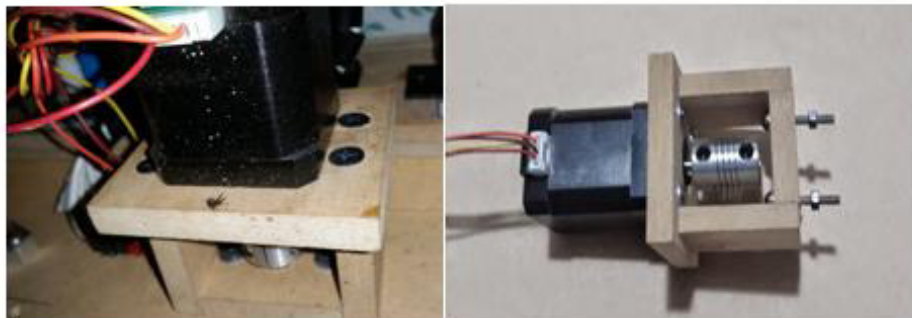


Figura 4.31 Fotografía del motor paso a paso. a) Montaje de los soportes laterales. b) Acople flexible

Una vez armada toda la fresadora CNC, esta se deberá ver como en la Figura 4.32.

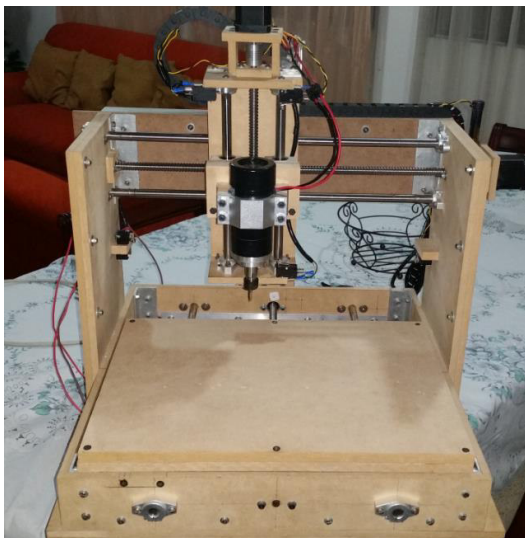


Figura 4.32 Fotografía de la fresadora CNC ensamblada

4.2.6 ENSAMBLAJE ELECTRÓNICO

Para el ensamblaje electrónico es necesario de una fuente de poder de 24V, 3 drivers TB6560 SainSmart, una placa de control y 9 fines de carrera. La Figura 4.33 muestra un diagrama de cómo se debe conectar los circuitos electrónicos. La Tabla 4.4 muestra el código de colores para cada cable utilizado en la conexión de los circuitos electrónicos.

Tabla 4.4 Código de colores para los cables de conexión

Descripción	Color
Alimentación de 24V	Rojo
Alimentación de 5V	Naranja
Tierra "Gnd"	Negro
Señal de número de paso "Step"	Amarillo
Señal de dirección "Dir"	Verde
Señal para activar el motor "En"	Azul

Los colores de los cables de los motores paso a paso viene dado por el fabricante en este caso el color café es la bobina A+, el color naranja la bobina A- , el color amarillo es la bobina B+ y el color rojo es la bobina B-.

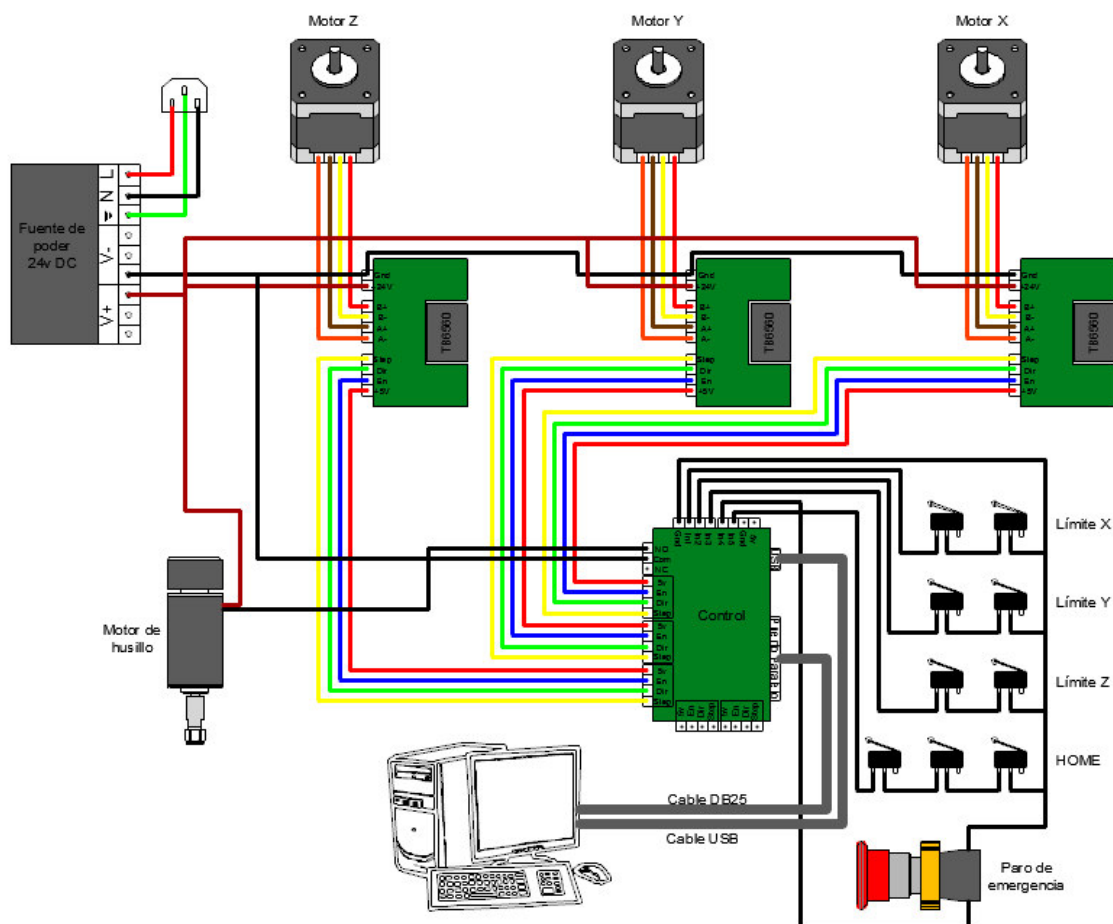


Figura 4.33 Diagrama de conexión de los elementos electrónicos

La Figura 4.34 muestra los dispositivos electrónicos instalados en la fresadora CNC.

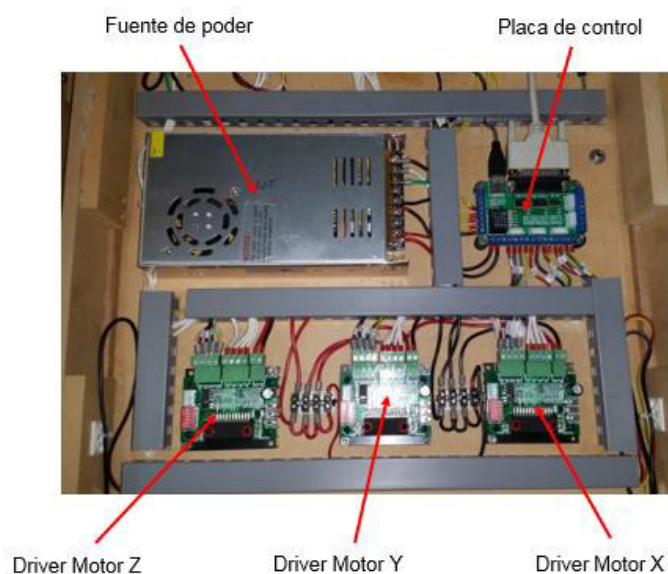


Figura 4.34 Fotografía de los dispositivos electrónicos instalados en la fresadora CNC

Los límites de cada eje utilizan dos fines de carrera conectados en serie, y para obtener el cero máquina se requiere de tres fines de carrera de igual manera conectados en serie. Para los límites del eje X se encuentran instalados en la parte inferior de la mesa X, la Figura 4.35a y Figura 4.35b muestran donde se encuentran instalados los fines de carrera para los límites positivo y negativo de eje X, la Figura 4.35c muestra el fin de carrera instalado para encontrar el home del eje X.

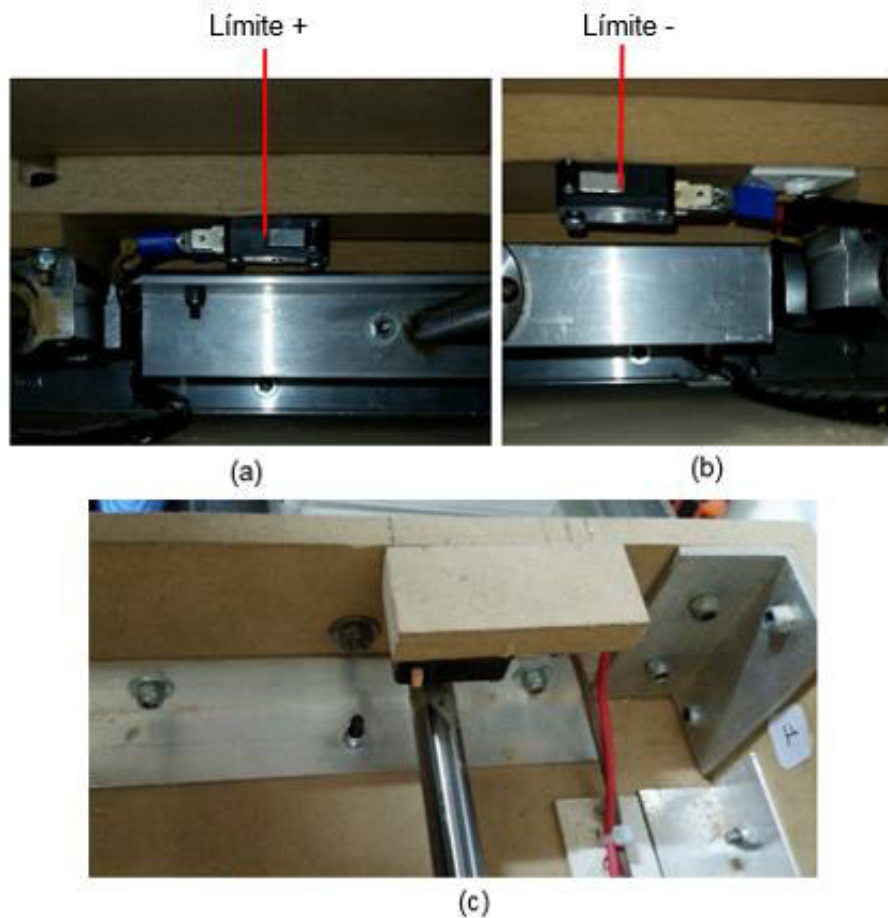


Figura 4.35 Fotografía del posicionamientos de los fines de carrera para el eje X. a) Límite positivo del eje X. b) Límite negativo del eje X. c) Fin de carrera para obtener el home X

La Figura 4.36 indica donde se encuentran instalados los fines de carrera que sirven como límites y home del eje Y.

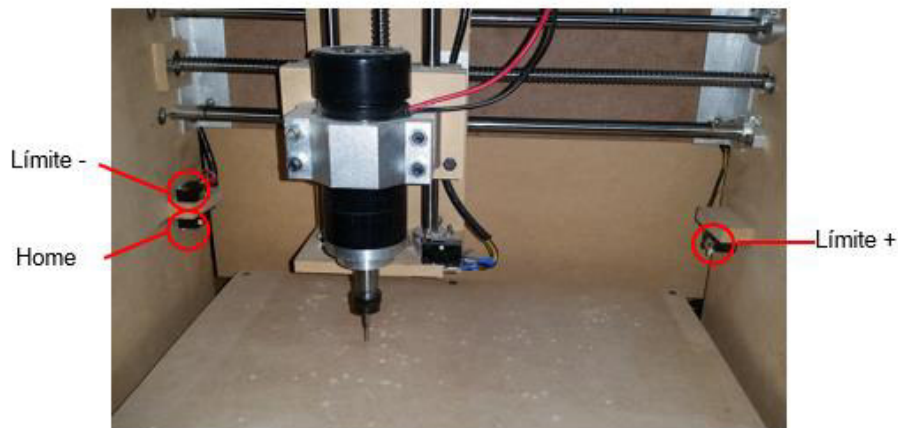


Figura 4.36 Fotografía del posicionamiento de los fines de carrera para los límites positivo, negativo y home del eje Y

Los fines de carrera que se encuentran instalados para los límites y home del eje Z se muestran en la Figura 4.37.

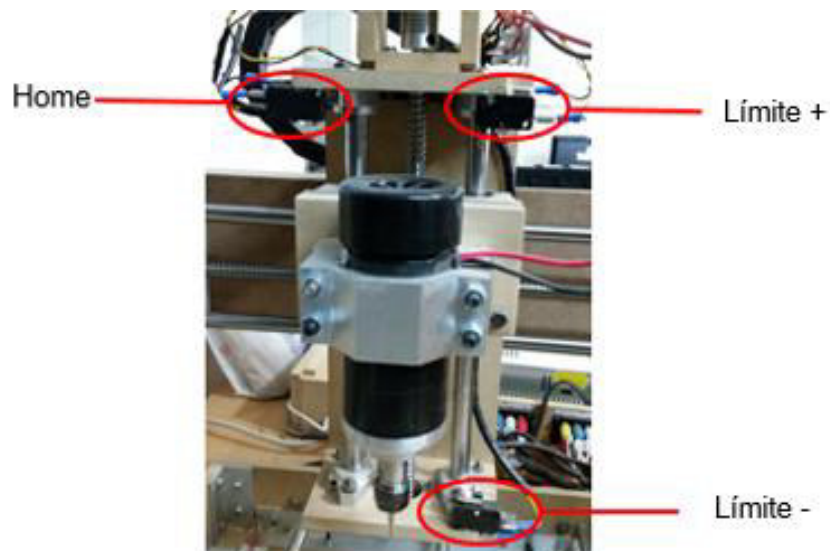


Figura 4.37 Fotografía del posicionamiento de los fines de carrera para los de los límites positivo, negativo y home del eje Z

4.3 SOFTWARE

4.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE

Mach3 es un software CNC que se ejecuta sobre un computador y lo convierte en un controlador de máquina muy completo. Las características generales del software son:

- Convierte un PC estándar a un controlador CNC de 6 ejes con todas las funciones

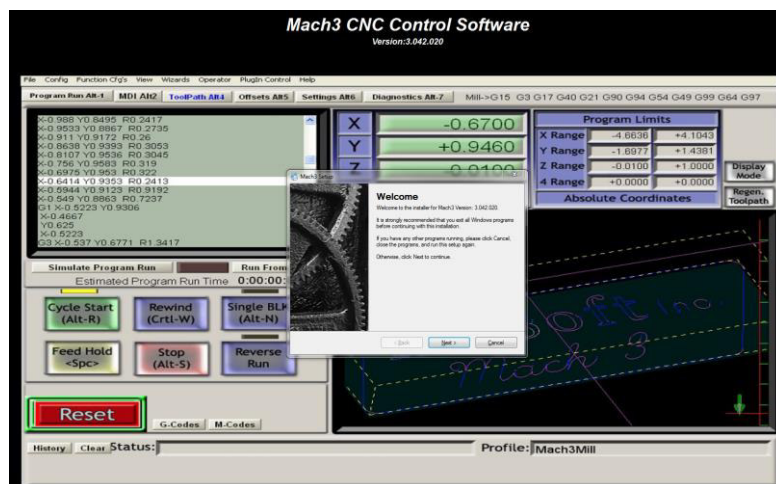
- Representación visual del código G
- Interfaz completamente personalizable
- M-códigos y macros personalizados con VBScript.
- Control de la velocidad del husillo
- Relé de control múltiple
- Generación de impulsos

4.3.2 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA INSTALAR MACH3

Para poder ejecutar el software CNC Mach3 es necesario un computador con un sistema operativo Windows XP de 32 Bits; un procesador de 1GHz; una resolución de pantalla de 1024 x 768 pixeles; 512MB de memoria RAM, además debe tener instalado un puerto paralelo para comunicación y una tarjeta de video dedicada de 32MB.

4.3.3 PROCESO DE INSTALACIÓN

Para instalar el software Mach3 se hace doble clic en Mach3Version3.042.020 y aparece la siguiente ventana como se muestra en la Figura 4.38.



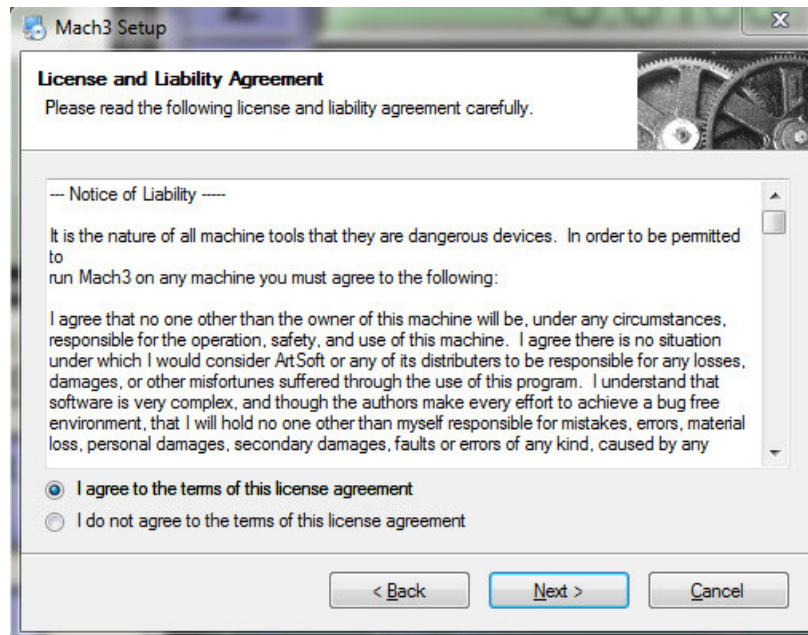


Figura 4.39 Ventana de aceptación de licencia.

Fuente: Software Mach 3 [36]

Se especifica el directorio de destino donde va a ser instalado el software como se muestra en la Figura 4.40.

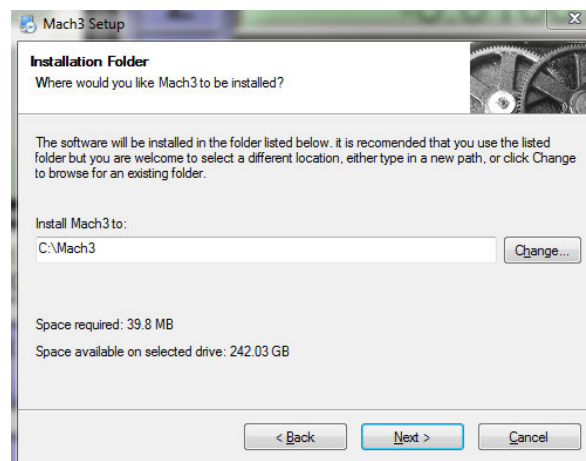


Figura 4.40 Ubicación del software

Fuente: Software Mach 3 [36]

Una vez ubicado el directorio, se inicia el asistente de instalación de software como se muestra en la Figura 4.41.

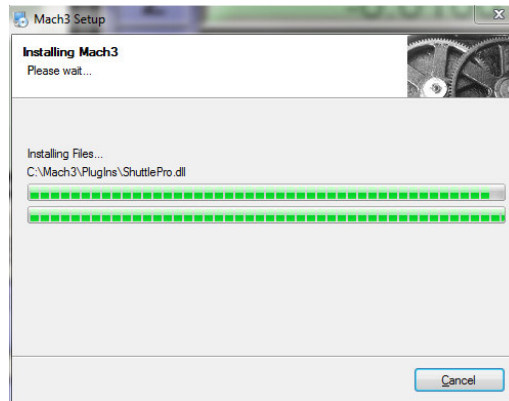


Figura 4.41 Proceso de instalación del mach3

Fuente: Software Mach 3 [36]

La Figura 4.42 muestra la ventana donde el software ha completado el proceso de instalación todo está correcto.

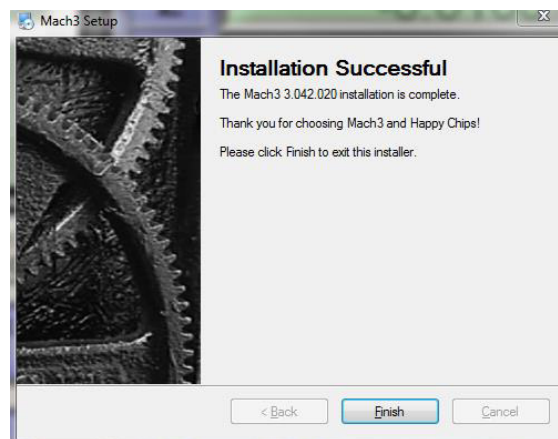


Figura 4.42 Finalización de la instalación del software mach3

Fuente: Software Mach 3 [36]

4.3.4 CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE MACH3

Al abrir el software (Mach3) aparece la interfaz principal para el control de la máquina como se muestra en la Figura 4.43, en esta ventana se podrá observar el recorrido que efectúa la herramienta al momento de realizar el fresado, además, también se observa en qué línea del código G se encuentra el programa.



Figura 4.43 Interfaz Mach3

Fuente: Software Mach 3 [36]

La configuración de la máquina parte de los pines del puerto paralelo que utiliza la placa de control para enviar y recibir las señales de control. La Tabla 4.5 muestra el número del pin del puerto paralelo y su funcionalidad.

Tabla 4.5 Pines del puerto paralelo y su funcionalidad

SEÑALES DE SALIDA (OUTPUT)		
PIN	Nombre	Definición
1	Enable	Activa los motores paso a paso
2	Step Y	Número de pasos que debe girar el motor Y
3	Dir Y	Dirección del motor paso a paso del eje Y
4	Step X	Número de pasos que debe girar el motor X
5	Dir X	Dirección del motor paso a paso del eje X
6	Step Z	Número de pasos que debe girar el motor Z
7	Dir Z	Dirección del motor paso a paso del eje Z
14	Relé	Prende/Apaga el relé
SEÑALES DE ENTRADA (INPUT)		
PIN	Nombre	Definición
10	Limite X	Controla los límites de la máquina en el eje X
11	Limite Y	Controla los límites de la máquina en el eje Y
12	Limite Z	Controla los límites de la máquina en el eje Z
13	Paro de emergencia	Contrala el paro de la máquina de manera manual
15	Cero máquina	Permite controlar la posición cero de cada eje de la máquina

4.3.4.1 Configuración de las señales de salida

Para configurar a través de qué pin se va a enviar la señal, se selecciona en la barra de herramientas Config → Ports and Pins, como se muestra en la Figura 4.44.

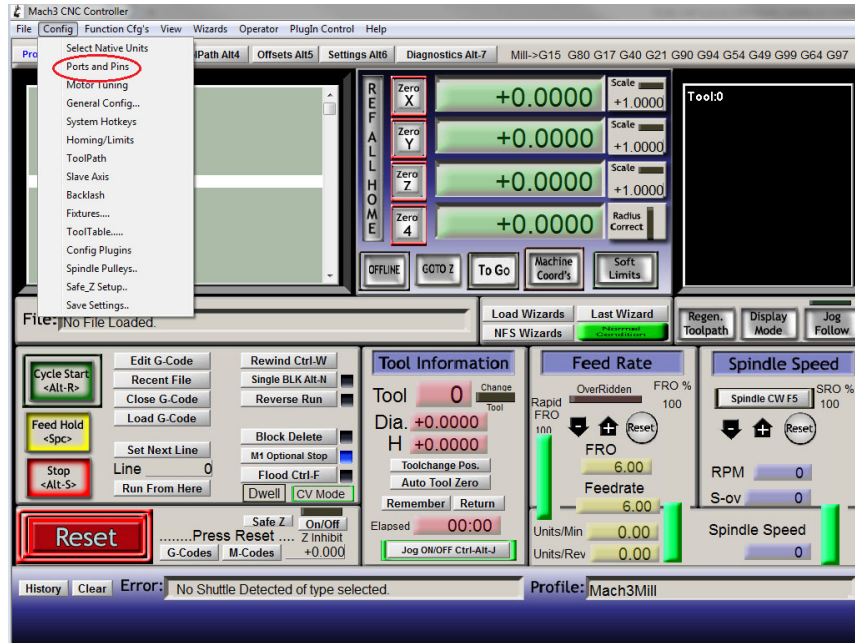


Figura 4.44 Configuración de los pines del puerto paralelo

Fuente: Software Mach 3 [36]

A continuación se despliega ventana de configuración de la máquina. En esta ventana se configura el puerto por donde se van a enviar y recibir las señales de control. Para la comunicación entre la fresadora y el computador se utiliza el puerto paralelo número 1 (0x378) como se muestra en la Figura 4.45.

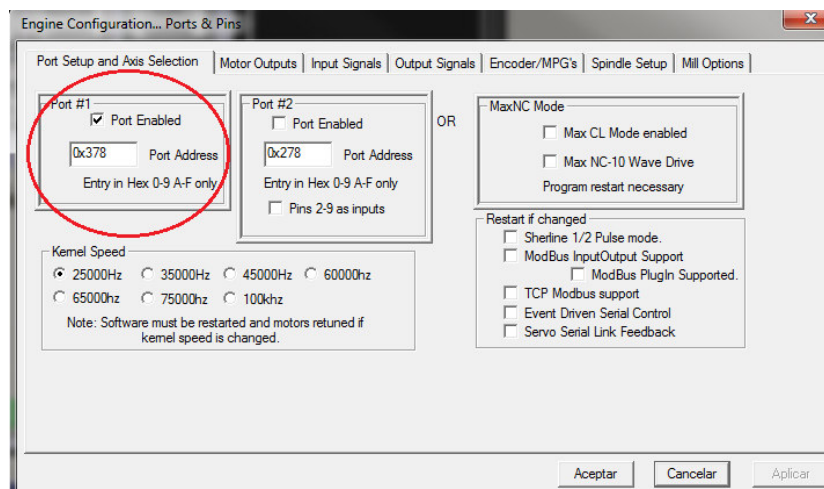


Figura 4.45 Ventana de configuración de la máquina

Fuente: Software Mach 3 [36]

Para la configuración de los motores paso a paso se selecciona la pestaña “Motor Outputs”, donde se configura: el número de ejes (X, Y, Z) que tiene la máquina, el puerto por donde se van a transmitir los datos, y el número de pin por cual se van a enviar las señales de control. A partir de la Tabla 4.4 se obtienen los pines a utilizar para la dirección de movimiento y el número de pasos. Para habilitar los ejes X, Y, Z se activa el parámetro “enable” en los casilleros de cada eje, los pines 2/4/6 se utilizan para enviar la señal que contiene el número de pasos necesarios para desplazarse en cada uno de los ejes. Los pines 3/5/7 se utilizan para enviar la dirección en la que se desplazan los carros de los tres ejes. Los parámetros “Step Port” y “Dir Port” son el puerto por el cual se enviará la señal. La Figura 4.46 muestra la configuración necesaria para el correcto funcionamiento de los motores paso a paso.

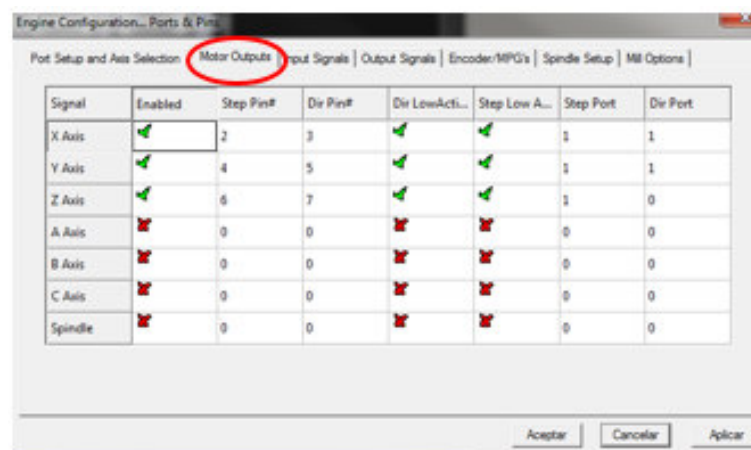
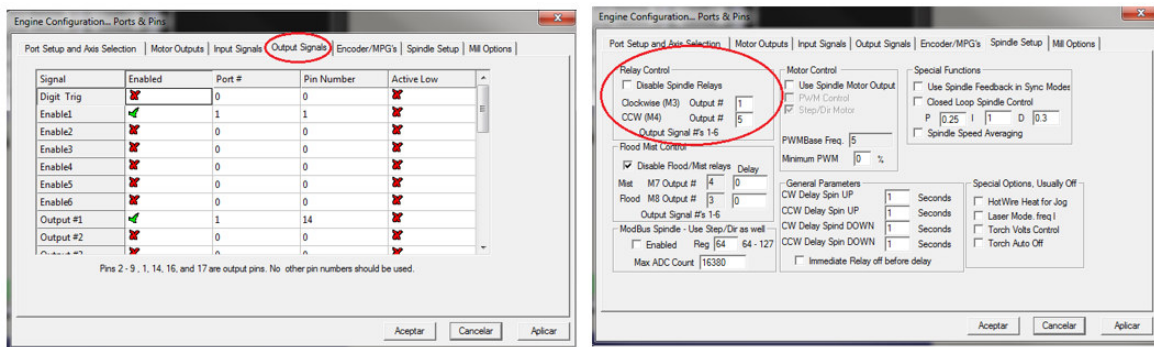


Figura 4.46 Configuración de los pines para los motores paso a paso

Fuente: Software Mach 3 [36]

Los drivers de los motores paso a paso se activan mediante el pin número 1 del puerto paralelo y el motor que sostiene la herramienta se prende y apaga por medio del pin número 14 como se muestra en la Figura 4.47a, además es necesario que en la pestaña “Spindle Setup” se deshabilite la casilla “Disable Spindle Relays”, y se configure el número de output por donde se envía la señal de prendido o apagado como se muestra en la Figura 4.47b.



(a)

(b)

Figura 4.47 Configuración de la señales de salida. a) Output Signals. b) Husillo

Fuente: Software Mach 3 [36]

4.3.4.2 Configuración de las señales de entradas

En la ventana de configuración de la máquina, la pestaña “Input Signals” permite configurar las señales de entrada, estas señales son:

- Límites del volumen de trabajo de la máquina: estos son implementados mediante el uso de seis fines de carrera, dos para cada eje; estos límites permite a la máquina tener mayor seguridad al momento de realizar trabajos de maquinados, se activan solamente si fallan los límites que se establecen mediante el software.
- Cero máquina (home): obtiene la posición inicial de cada eje en referencia a las coordenadas de la máquina.
- Botón de paro de emergencia: detiene y apaga la máquina en cualquier momento.

Se habilitan los casilleros de límites “enable” y de cero máquina “home”. Los pines 10/11/12 se utilizan para los límites de los ejes X, Y, Z respectivamente, ya que existen sólo cinco pines para señales de entrada en el puerto paralelo. El “home” de los tres ejes se conecta en serie en el pin número 15. La Figura 4.48 muestra la configuración necesaria para las señales de entrada de los límites y del cero máquina.

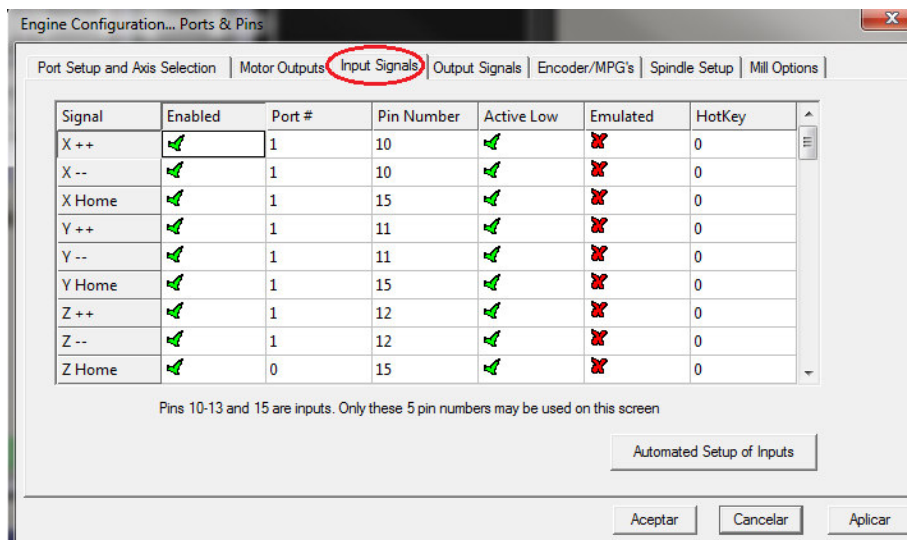


Figura 4.48 Configuración de los pines para los límites y home

Fuente: Software Mach 3 [36]

El botón de paro de emergencia se conecta al pin número 13 de igual manera con la habilitación de la casilla “enable” y colocando el puerto por donde se va a recibir la señal. En la Figura 4.49 se muestra la configuración del botón de paro de emergencia.

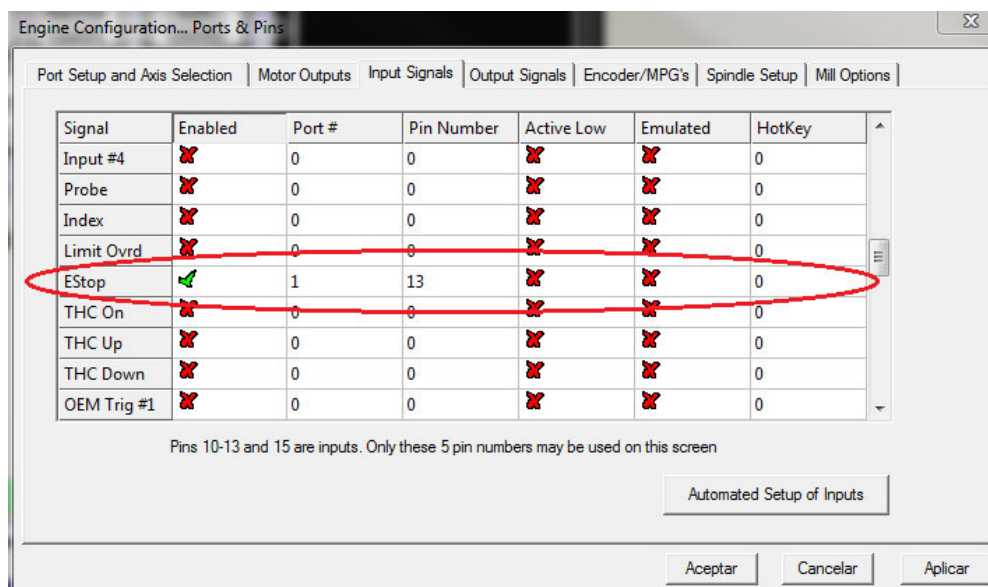


Figura 4.49 Configuración del pin de paro de emergencia

Fuente: Software Mach 3 [36]

4.3.5 Configuración de los motores paso a paso

Los parámetros principales para la configuración de los motores paso a paso son:

- Número de pasos

- Velocidad
- Aceleración

El cálculo del número de pasos necesarios para que el tornillo de bolas recirculantes avance una unidad es:

$$\text{Tornillo de bolas recirculantes} \left(\frac{\text{Revoluciones}}{\text{mm}} \right) * \text{Motor} \left(\frac{\# \text{ pasos}}{\text{revolucion}} \right) = \frac{\# \text{ pasos}}{\text{mm}} \quad (4.1)$$

Dónde:

Tornillos de bolas recirculantes:

$$1 \text{ revolución} = 4\text{mm} = \text{paso del tornillo}$$

Se trabaja a medio paso, es decir a 0.9° por paso:

$$\frac{360 \text{ grados}}{0.9 \frac{\text{grados}}{\text{paso}}} = 400 \text{ pasos}$$

Son necesarios 400 pasos para que gire una revolución el motor.

Remplazando en (4.1):

$$\left(\frac{1 \text{ rev}}{4 \text{ mm}} \right) * \left(\frac{400 \text{ pasos}}{1 \text{ rev}} \right) = \frac{100 \text{ pasos}}{\text{mm}}$$

La Tabla 4.6 muestra el número de pasos necesarios para mover 1mm el carro según la configuración del driver a paso completo, medio paso, 1/8 de paso y 1/16 de paso.

Tabla 4.6 Número de pasos necesarios dependiendo del control

Paso (rev/mm)	Micro pasos	Motor(# de pasos/revolución)	# de pasos/mm
4	1	200	50
4	1/2	400	100
4	1/8	1600	400
4	1/16	3200	800

La velocidad y la aceleración de los motores son parámetros fundamentales para que la fresadora trabaje adecuadamente. La velocidad recomendable del tornillo de bolas recirculantes calculada en la sección 3.1.4.4 es de 1200 rpm, luego de realizar varias pruebas con esta velocidad, los motores paso a paso hacían mucho ruido así perjudicando el oído humano, por lo que se redujo la velocidad en un 50% para los motores de los ejes X y Y es decir trabajan a 600rpm, y en un 75% al motor del eje Z que gira a 300rpm, con esto los motores trabajan con menor ruido sin dañar el oído humano.

Para configurar la velocidad de avance en cada eje la máquina es necesario convertir las rpm a mm/min, la velocidad de avance se calcula con (4.2):

$$Va = p * N \quad (4.2)$$

Donde:

p: Paso del tornillo de bolas recirculantes [mm/rev]

N: Velocidad de rotación del motor paso a paso [rpm]

El paso del tornillo de bolas recirculantes es de 4 mm/rev y la velocidad de rotación del motor es de 600rpm para los ejes X y Y, remplazando en (4.2):

$$Va_{x,y} = 4 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} * 600 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

$$Va_{x,y} = 2400 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Para el eje Z la velocidad de rotación es de 300rpm, remplazando en (4.2):

$$Va_z = 4 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} * 300 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

$$Va_z = 1200 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Los desarrolladores del software Mach 3 recomiendan realizar pruebas prácticas para encontrar el valor de la aceleración adecuada, teniendo en cuenta el sonido que generan los motores paso a paso. La Figura 4.50a indica la configuración

necesaria para los motores de los ejes X y Y y la Figura 4.50b para los motores del eje Z.

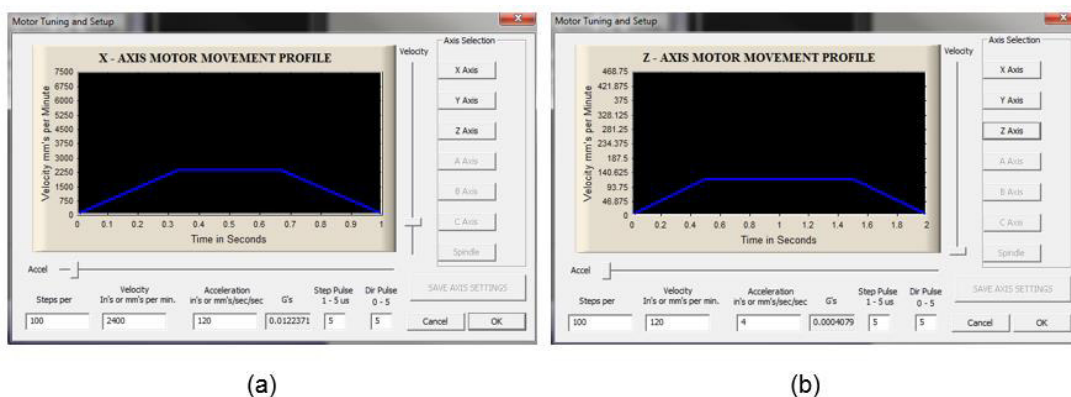


Figura 4.50 Configuración de los motores paso a paso. a) Número de pasos, velocidad y aceleración en el eje X y Y. b) Número de pasos, velocidad y aceleración en el eje Z

Fuente: Software Mach 3 [36]

4.3.6 LÍMITES Y CERO MÁQUINA

Para configurar los límites y el cero máquina se selecciona en la barra de herramientas *Config* → *Homing/Limits*, a continuación se desplegará una ventana como se muestra en la Figura 4.51.

Axis	Reversed	Soft Max	Soft Min	Slow Zone	Home Off.	Home N...	Auto Zero	Speed %
X	☒	280	0.00	0.00	0.0000	☒	☒	20
Y	☒	280	0.00	0.00	0.0000	☒	☒	20
Z	☒	0.00	-100.00	0.00	0.0000	☒	☒	20
A	☒	100.00	-100.00	1.00	0.0000	☒	☒	20
B	☒	100.00	-100.00	1.00	0.0000	☒	☒	20
C	☒	100.00	-100.00	1.00	0.0000	☒	☒	20

G28 home location coordinates

X	0	A	0
Y	0	B	0
Z	0	C	0

OK

Figura 4.51 Configuración de límites y cero máquina

Fuente: Software Mach 3 [36]

En los parámetros “Soft Max” y “Soft Min” se escriben los valores máximos del volumen de trabajo de la máquina; por medio de los sensores instalados en la fresadora, se obtiene la posición cero de la máquina, ya que al momento de accionar “home”, los motores paso a paso comienzan a desplazarse en los tres diferentes ejes hasta encontrar el sensor instalado. Al instante que el carro se

encuentra con el sensor el software lo reconoce como la posición 0 (posición inicial), desde esta posición el software le permite al carro recorrer 28 cm en el eje X, 28 cm en el eje Y y 10 cm en el eje Z.

CAPÍTULO V

COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE COSTOS

Para el análisis del costo total de la fabricación de la fresadora CNC es preciso desglosar los costos de diseño, de los elementos utilizados en la fabricación de la máquina y de la mano de obra.

5.1.1 COSTO DE DISEÑO

El costo de diseño se establece a través del tiempo empleado para el diseño de la máquina. Se utilizó un total de 160 horas de trabajo para realizar el diseño de la máquina, con un costo de 5 dólares la hora; obteniendo un total de 800 dólares.

5.1.2 COSTO DE LOS COMPONENTES SELECCIONADOS

La Tabla 5.1 describe todos los materiales y dispositivos que serán adquiridos para la construcción de la máquina fresadora CNC.

Tabla 5.1 Materiales utilizados en la construcción de la fresadora CNC

Descripción	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
Tablero de MDF de 2,44 x 2,40 e = 9mm	27,90	1	27,90
Ángulo de aluminio, aleta = 31mm, e = 3mm	23,00	1	23,00
Ángulo de aluminio, aleta = 25.4mm, e = 1.6mm	14,00	1	14,00
Eje de acero inoxidable d = 12mm, L = 250mm	12,30	2	24,60
Eje de acero inoxidable d = 12mm, L = 500mm	15,70	4	62,80
Tornillo de bolas recirculantes SFU1204 con tuerca d = 12mm, L = 300	41,99	1	41,99
Tornillo de bolas recirculantes SFU1204 con tuerca d = 12mm, L = 500	62,99	2	125,98
Acoples motor – tornillo de d1= 5mm, d2 = 8mm	6,80	3	20,40
Cadena para cables	10,50	1	10,50
Guías lineales de aluminio Vktech de 12mm SC12UU	4,72	10	47,20
Soportes para ejes de 12mm SHF12	2,89	12	34,68
Motor DC + Montura	126,00	1	126,00

Descripción	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
Motor paso a paso Nema 17	30,96	3	92,88
Driver TB6560 SainSmart	16,80	3	50,40
Placa de control SainSmart	19,80	1	19,80
Fuente de poder 24V DC 15A/360W	24,90	1	24,90
Pernos y accesorios	100,00	1	100,00
Cable 18 AWG varios colores 50 metros	9,00	1	9,00
Led de 24V	2,68	2	5,36
Botón de paro de emergencia	4,78	1	4,78
Final de carrera	1,18	6	7,08
Terminales para cables	0,05	100	5,00
Canaleta para cableado industrial	3,68	1	3,68
Licencia de Mach3	175,00	1	175,00
TOTAL			1056,93

5.1.3 COSTO DE FABRICACIÓN

La fabricación de las piezas necesarias para la construcción de la máquina fresadora CNC se detallan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Costo de fabricación de piezas en MDF y torneado de los tornillos de bolas

Descripción	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
Cortes de la plancha de MDF según planos	20,00	1	20,00
Torneado de tornillos de bolas recirculantes	9,00	3	27,00
TOTAL			47,00

5.1.4 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

La tabla 5.3 muestra los costos necesarios para la implementación de la máquina, en este rubro entra el costo de ensamblaje, implementación electrónica y las pruebas de funcionamiento.

Tabla 5.3 Costo de implementación del sistema

Descripción	Precio Unitario por hora (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
Ensamblado	5,00	8 horas	40,00
Implementación electrónica	5,00	6 horas	30,00
Pruebas	5,00	20 horas	100,00
TOTAL			170,00

5.1.5 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA FRESADORA CNC

El costo total de la máquina fresadora CNC es de 2073.93 USD que corresponden a la suma de todos los rubros antes mencionados como se muestra en Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Costo total de la máquina

Descripción	Costo Total
Componentes	881,93
Diseño	800,00
Fabricación	47,00
Implementación	170,00
Licencia de software	175,00
TOTAL	2073,93

La inversión realizada en la construcción de la máquina es de 1103.93 USD, este rubro corresponde únicamente a los materiales, componentes y costos de maquinados, sin considerar costos de mano de obra.

5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS

Para las pruebas se consideró cuatro materiales diferentes: MDF (madera de media densidad), balsa, acrílico y aluminio. En cada uno de estos materiales se tomó una muestra de 10 diferentes maquinados. Se realizó pruebas con diferentes penetraciones y velocidades de corte. Para los tres primeros materiales se realizaron pruebas fabricando una pieza cuadrada de 4cm por lado, y en el material

restante se grabó un cuadrado de 2cm por lado; primero se crea el modelo de la pieza a fabricar con un programa CAD, la Figura 5.1 muestra un cuadrado de 4cm de lado; este modelo se lo pasa a un programa CAM, donde se coloca las operaciones de maquinado y parámetros de corte necesarios para fabricar la pieza, una vez creado el recorrido de la herramienta se genera el código G que la máquina interpreta para fabricar la pieza.

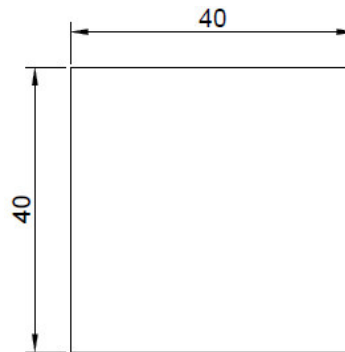


Figura 5.1 Cuadrado modelado en CAD

Luego de haber fabricado las diferentes piezas se midió cada una de estas con un micrómetro de exterior KEX de 25 - 50mm.

5.2.1 PRUEBAS EN MDF

Las pruebas se realizaron en MDF de 5mm de espesor, con una fresa plana de 1.2mm de diámetro y una velocidad de avance en corte de 400mm/min, una profundidad de corte de 0.5mm por pasada. La Figura 5.2 muestra las 10 piezas fabricadas en MDF.

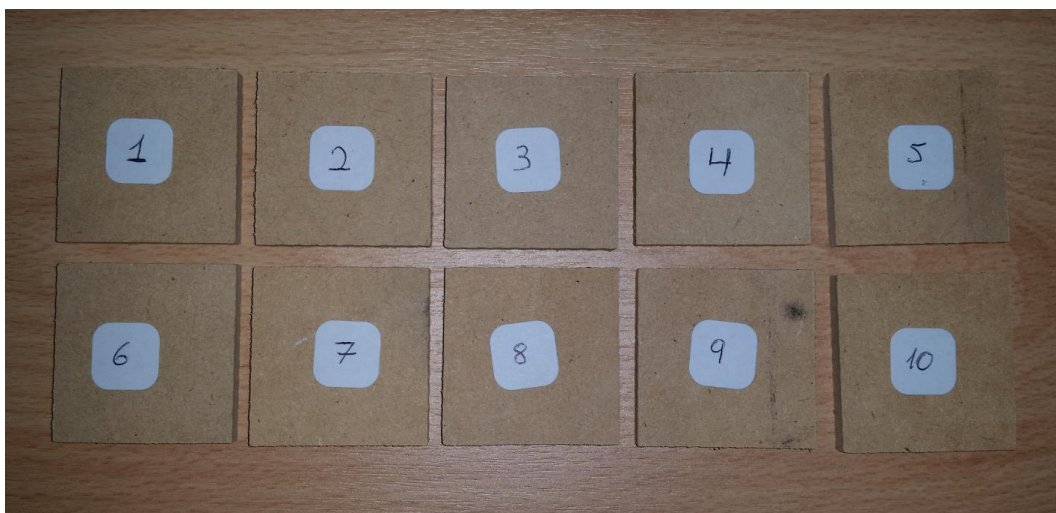


Figura 5.2 Fotografía de las pruebas de maquinado en MDF

En el Anexo G.1 se muestran las fotografías de todas las piezas en MDF medidas con el micrómetro. En la Tabla 5.5 listan las dimensiones obtenidas por la fabricación de las diez diferentes piezas en MDF.

Tabla 5.5 Dimensiones de las piezas de prueba en MDF y tiempos de corte

Nº de prueba	Dimensiones en mm		Tiempo de corte (min)	Tiempo promedio por pasada (segundos)
	Longitud X	Longitud Y		
1	40.07	40.07	4.13	24.8
2	40.14	40.05	4.15	24.9
3	40.13	40.10	4.13	24.8
4	40.15	40.10	4.13	24.8
5	40.12	40.12	4.12	24.7
6	40.10	40.11	4.13	24.8
7	40.08	40.15	4.13	24.8
8	40.15	40.14	4.15	24.9
9	40.09	40.09	4.13	24.8
10	40.05	40.12	4.12	24.7
Promedio	40.10	40.10	4.13	24.8
Resolución	0.10	0.10		

Para realizar una pasada, la herramienta debe recorrer 160mm, es decir el perímetro del cuadrado, a una velocidad de 400mm/min. El tiempo teórico que debe demorarse en realizar una pasada es de 24 segundos; el tiempo promedio real que se demora en efectuar el recorrido es de 24.7 segundos, el mismo que aumenta porque la velocidad no es constante.

La Figura 5.3 muestra que la velocidad de avance no es constante; al fabricar la pieza la velocidad se reduce al momento de maquinarse las esquinas del cuadrado; después de cada pasada la herramienta sube a una posición Z seguro y los motores X y Y se detienen, por lo que en la figura se observa que al terminar una pasada la velocidad es cero; el conjunto de todos estos factores genera que el tiempo por pasada se retrase 0.8 segundos más que el tiempo teórico.

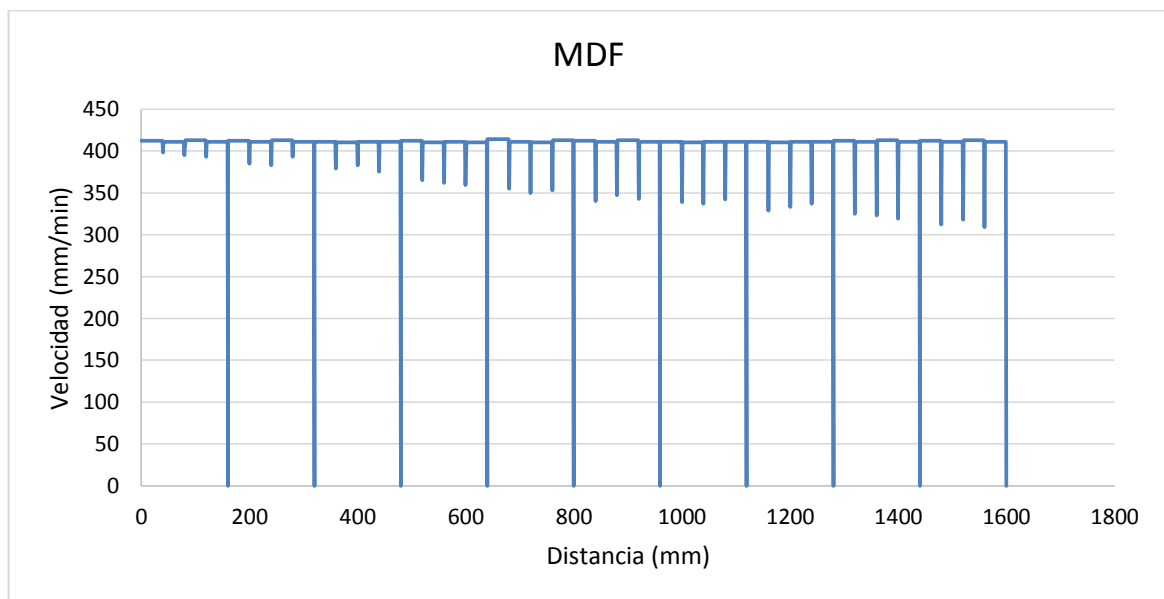


Figura 5.3 Gráfico de velocidad con respecto al recorrido de la pieza de MDF

Esta prueba permitió evidenciar, que la máquina tiene una resolución aproximada de 0.10mm, en la fabricación de piezas en MDF, con una profundidad de corte de 0.5mm por pasada y una velocidad de avance en corte aproximada a 400mm/min; la resolución podría mejorar si se disminuye la velocidad de avance; otra forma de mejorar la resolución de la máquina sería implementando un control de lazo cerrado, ya que el propuesto en el proyecto es de lazo abierto y no existe una corroboración de la distancia al momento de realizar trabajos de maquinado.

Se realizaron pruebas con una penetración de 1mm por pasada y una velocidad de avance en corte de 400mm/min; el cabezal de la máquina se forzó y no se cumplió con las dimensiones requeridas (Figura 5.4a), disminuyendo la velocidad de avance en corte a 200mm/min, posteriormente la pieza se fabricó sin ningún problema.

(Figura 5.4b), con 2mm de penetración y un velocidad de avance en corte; la fresa supero sus límites de trabajo y se rompió.



Figura 5.4 Fotografía de las pruebas de maquinado con 1mm de penetración en MDF.
a) Maquinado a una velocidad de 400 mm/min. b) Maquinado a una velocidad de 200 mm/min

5.2.2 PRUEBAS EN BALSA

De igual manera que con MDF, se toma un cuadrado de 4cm por lado; como la balsa es un material suave las pruebas se realizaron con una velocidad de avance en corte de 500mm/min y una penetración de 1mm. La Figura 5.5 muestra las diez piezas fabricadas en balsa.

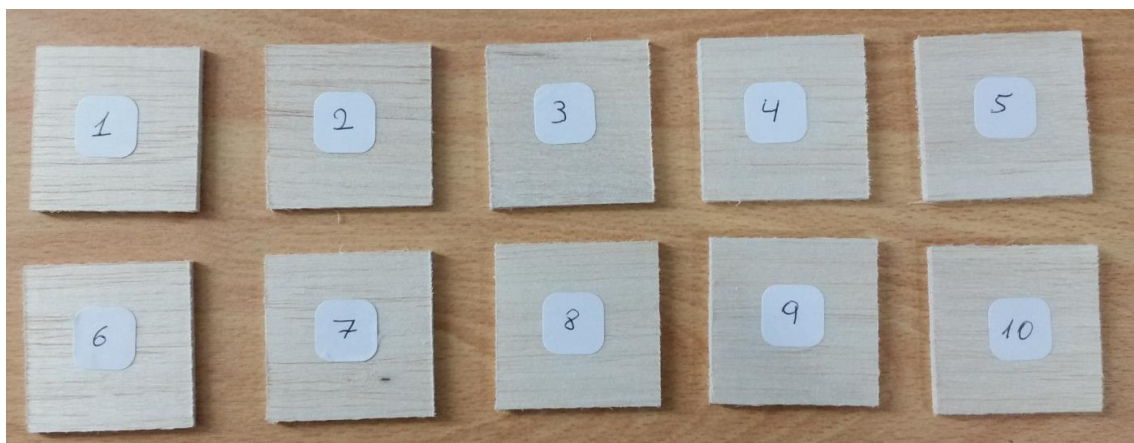


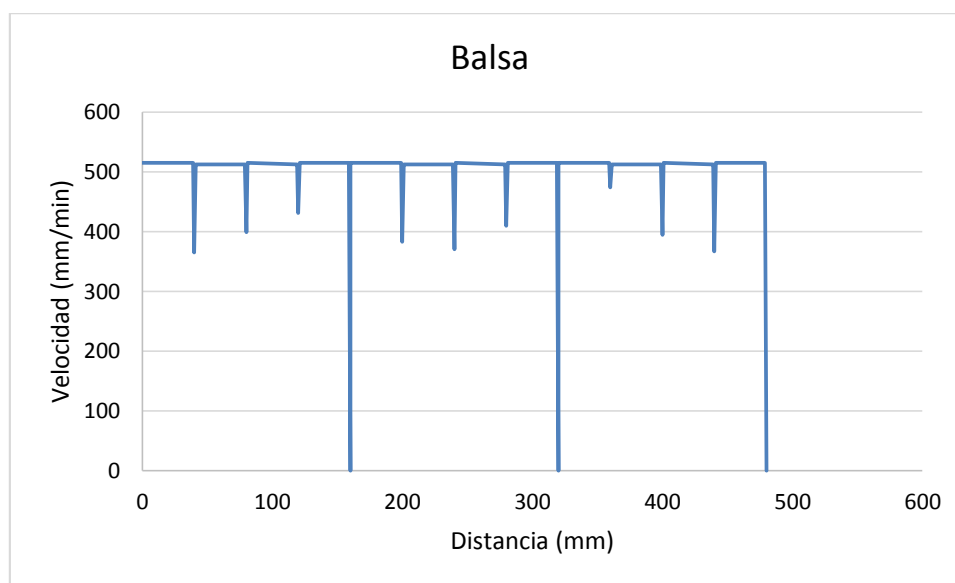
Figura 5.5 Fotografía de las pruebas de maquinado en balsa

En la Tabla 5.6 se listan las dimensiones obtenidas por la fabricación de las diez diferentes piezas en balsa. en el Anexo G.2 se puede observar todas las piezas en balsa medidas con el micrómetro.

Tabla 5.6 Dimensiones de las piezas de prueba en balsa y tiempos de corte

Nº de prueba	Dimensiones en mm		Tiempo de corte (min)	Tiempo promedio por pasada (segundos)
	Longitud X	Longitud Y		
1	39.91	39.95	1.00	20
2	39.95	40.01	1.00	20
3	39.96	40.03	1.00	20
4	39.93	39.94	1.02	20.4
5	39.90	39.95	1.00	20
6	39.89	39.90	1.00	20
7	39.88	39.97	1.00	20
8	39.90	40.00	1.00	20
9	39.92	39.98	1.02	20.4
10	39.92	39.91	1.02	20.4
Promedio	39.92	39.96	1.023	20.12
Resolución	0.08	0.04		

A una velocidad de 500mm/min el tiempo teórico de corte de una pasada es de 19.2 segundos; el tiempo promedio real que se demora en realizar el recorrido es de 20.12 segundos, de igual manera que en la prueba en MDF el tiempo aumenta ya que al momento de maquinar la velocidad no es constante como se puede observar en la Figura 5.6.

**Figura 5.6** Gráfico de velocidad con respecto al recorrido de la pieza de balsa

Se pudo observar que la resolución es aproximadamente 0.08mm; la resolución de las piezas se puede mejorar si se disminuye la velocidad de corte.

Se realizó pruebas con uno y dos milímetros de penetración a una velocidad de corte de 500mm/min. Al tratarse de un material suave, la pieza se fabrica sin ningún problema para la herramienta como se muestra en la Figura 5.7, por otra parte, con una mayor penetración a la misma velocidad, la resolución de la pieza aumentó a 0.1mm aproximadamente.



Figura 5.7 Fotografía de las pruebas de maquinado con 2mm de penetración en balsa

5.2.3 PRUEBAS EN ACRÍLICO

Se toma el cuadrado de 4 cm de lado, empleado en las pruebas anteriores; se realiza pruebas con una penetración de 0.5mm por pasada con una velocidad de corte de 250mm/min, al momento de las pruebas se observó que con esta penetración no existía una buena eliminación de viruta, ya que esta se adhería a la pieza; después de realizar varias pasadas y al no desprenderse la viruta, la herramienta superó sus límites de trabajo y se rompió. La segunda prueba se realizó con una penetración de 0.3mm, con esta penetración la viruta que genera la herramienta se elimina con facilidad, y permite fabricar la pieza de forma adecuada. La Figura 5.8 muestra las diez piezas fabricadas en acrílico.

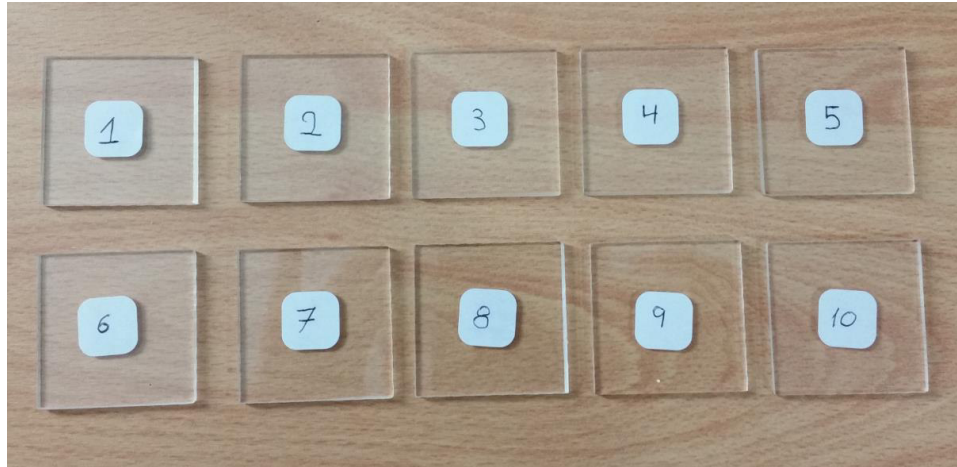


Figura 5.8 Fotografía de las pruebas de maquinado en acrílico

La Tabla 5.7 muestra las dimensiones obtenidas por las pruebas realizadas, en el Anexo G.3 se puede observar todas las piezas en acrílico medidas con el micrómetro.

Tabla 5.7 Dimensiones de las piezas de prueba en acrílico

Nº de prueba	Dimensiones en mm		Tiempo de corte (min)	Tiempo promedio por pasada (segundos)
	Longitud X	Longitud Y		
1	39.92	39.90	6.65	39.9
2	39.95	40.09	6.63	39.78
3	40.10	40.14	6.63	39.78
4	39.98	40.15	6.63	39.78
5	40.00	40.00	6.65	39.9
6	39.96	39.95	6.65	39.9
7	40.01	40.03	6.65	39.9
8	40.13	40.12	6.65	39.9
9	39.95	39.98	6.65	39.9
10	40.00	39.95	6.63	39.78
Promedio	40.00	40.03	6.64	39.85
Resolución	0.00	0.03		

A una velocidad de 250mm/min el tiempo teórico de corte de una pasada es de 38.4 segundos; el tiempo promedio real en realizar el recorrido de una pasada es de 39.85 segundos, el tiempo por pasada aumenta en un promedio de 1.45 segundos ya que la velocidad no es constante como se muestra en la Figura 5.9.

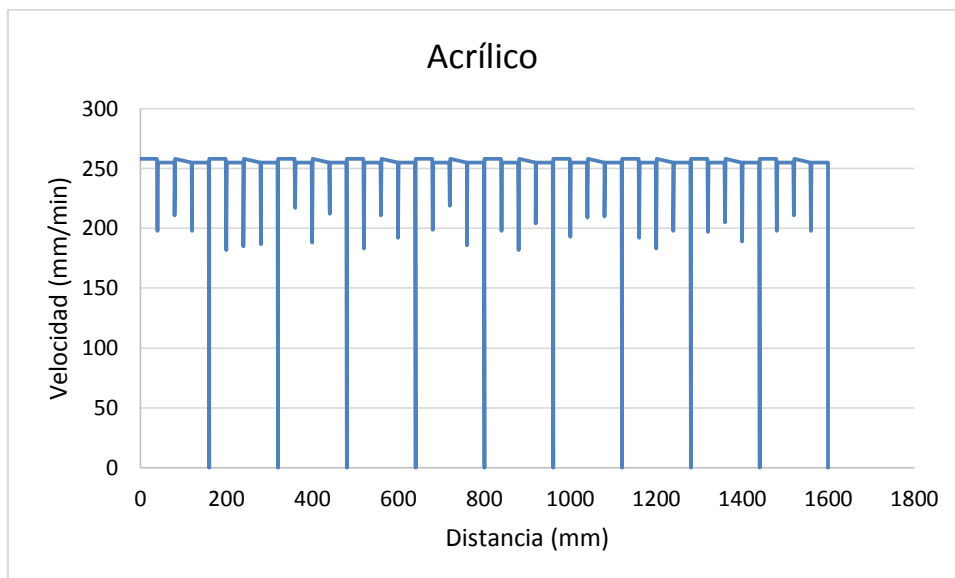


Figura 5.9 Gráfico de velocidad con respecto al recorrido de la pieza de acrílico

La resolución en acrílico es menor que en los otros dos materiales, esto es a causa de la mayor cantidad de pasadas que se necesitan para fabricar la pieza. No se realizó pruebas con penetraciones mayores a 0.5mm, ya que con esta profundidad existieron problemas con la eliminación de la viruta.

5.2.4 PRUEBAS EN ALUMINIO

El aluminio es un material duro y para realizar cortes requiere fresas especializadas propias para el aluminio. Por lo que en este material se realizó pruebas de grabado (tallado) de figuras geométricas, en este caso un cuadrado de 2 cm por lado. Las pruebas se realizaron con una fresa para grabado cónica de 0.1mm con una sola flauta de corte. Se utilizó una velocidad de corte de 200mm/min con diferentes penetraciones. En la Figura 5.10a se puede observar que, con una profundidad de corte de 1mm no se cumplió con el recorrido del perfil del cuadrado, la herramienta se forzó, por lo que se decidió detener el proceso de maquinado para evitar daños en la herramienta. En la segunda prueba se redujo la profundidad de corte a 0.5mm, en esta prueba la herramienta finalizó el recorrido del perfil del cuadrado, pero este, no se grabó de forma correcta como se muestra en la Figura 5.10b, en la tercera prueba se redujo la profundidad de corte a 0.2mm, el cuadrado de 2cm por lado se grabó de forma correcta, como se observa en la Figura 5.10c; se realizó una prueba con una profundidad de corte de 0.4mm, como se puede observar en la Figura 5.10d. Se obtiene una gran mejoría en comparación de las dos primeras pruebas, pero el grabado del cuadrado no fue correcto.

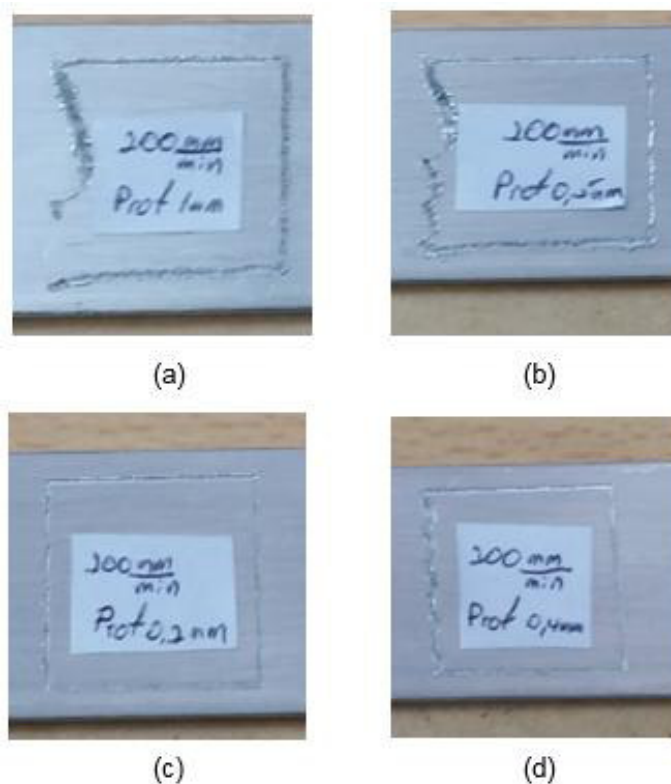


Figura 5.10 Fotografía de las pruebas de maquinado en aluminio. (a) Profundidad de corte 1mm. (b) Profundidad de corte 0.5mm. (c) Profundidad de corte 0.2mm. (d) Profundidad de corte 0.4mm.

La Tabla 5.8 muestra las penetraciones y velocidades recomendadas para fabricar piezas de una mejor manera sin tener problema alguno en diferentes materiales.

Tabla 5.8 Límites de trabajo según el material utilizado

Material	Velocidad	Penetración
MDF	400mm/min	0.5mm
	200mm/min	1mm
Balsa	500mm/min	Hasta 3mm
Acrílico	250mm/min	0.3mm
Aluminio	200mm/min	0.2mm para grabado

5.2.5 TEMPERATURA DE LOS MOTORES PASO A PASO

Las pruebas de temperatura se realizaron fabricando diferentes piezas en MDF de 3mm de espesor como se muestra en la Figura 5.11.



Figura 5.11 Fotografía de piezas fabricadas para toma de temperatura

Se utilizó una fresa plana de 1,2 mm de diámetro con 2 flautas de corte a una velocidad de avance de 400mm/min, profundidad de corte de 0.5 mm; se mecanizan primero los perfiles internos de las piezas como se indica en la Figura 5.12, en un tiempo de 15 minutos.

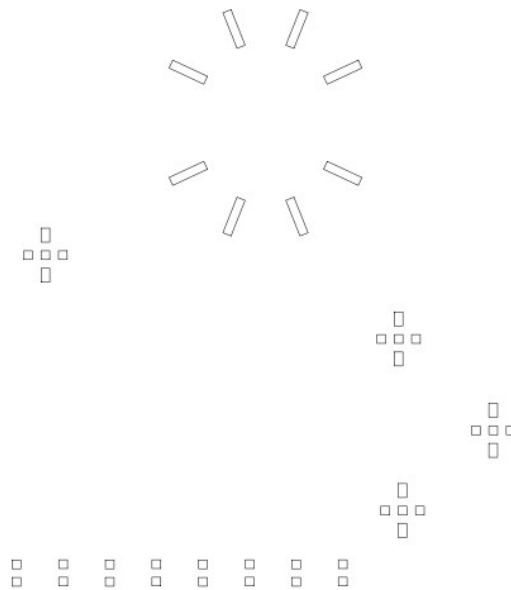


Figura 5.12 Perfiles internos de las piezas

Luego de haber terminado los perfiles internos, se comienza a mecanizar los perfiles externos, Figura 5.13; toma un tiempo de 55 minutos cortar las 30 piezas.

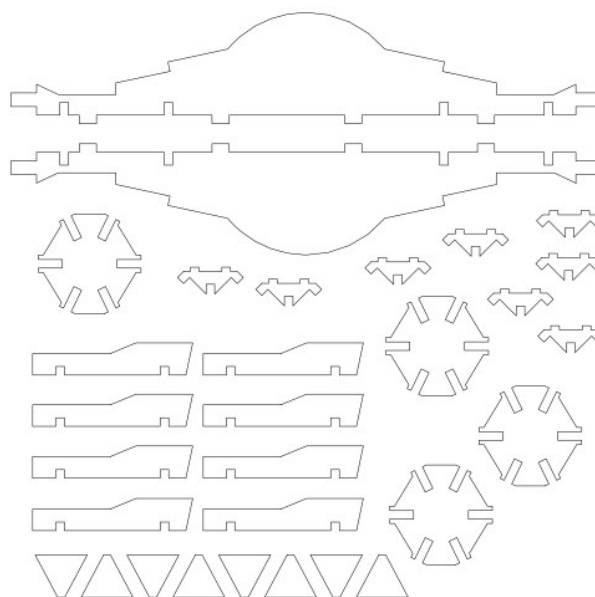


Figura 5.13 Perfiles externos de las piezas

Se mide la temperatura de cada uno de los motores con un pirómetro Radio Shack cada cinco minutos, los valores medidos se listan en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Valores de temperatura cada 5 minutos

Tiempo (min)	Temperatura (°C)		
	Motor X	Motor Y	Motor Z
0	18	18	18
5	22,6	22,8	24
10	26,4	27,4	26
15	31	30,8	27
20	34,4	31,4	25,6
25	39,2	34,8	25,2
30	41,8	35,8	25
35	44	36,8	25,2
40	45,2	38,8	25,4
45	48,4	41,8	24,8
50	49,2	43,6	24,8
55	49,6	44,8	24,6
60	51,6	45,2	24,2
65	51,8	45,2	23,6
70	51,2	45,2	23,4

En la Figura 5.11 se puede observar la curva de temperatura de los 3 motores paso a paso en relación al tiempo; inicialmente se maquinan los perfiles internos; ya que

estos tiene un área pequeña, el motor del eje Z trabaja a la par con los otros dos motores, por lo que en la gráfica se evidencia un aumento de temperatura en los tres motores de forma similar.

Para la mecanización de los perfiles externos, cuyos trazos son más largos; los motores de los ejes X y Y trabajan durante mayor tiempo que el motor Z, el cual se mantiene en reposo durante el recorrido del perfil de la pieza; la temperatura de los motores X y Y sigue en aumento y la del motor Z comienza a disminuir, como se muestra en la Figura 5.14.

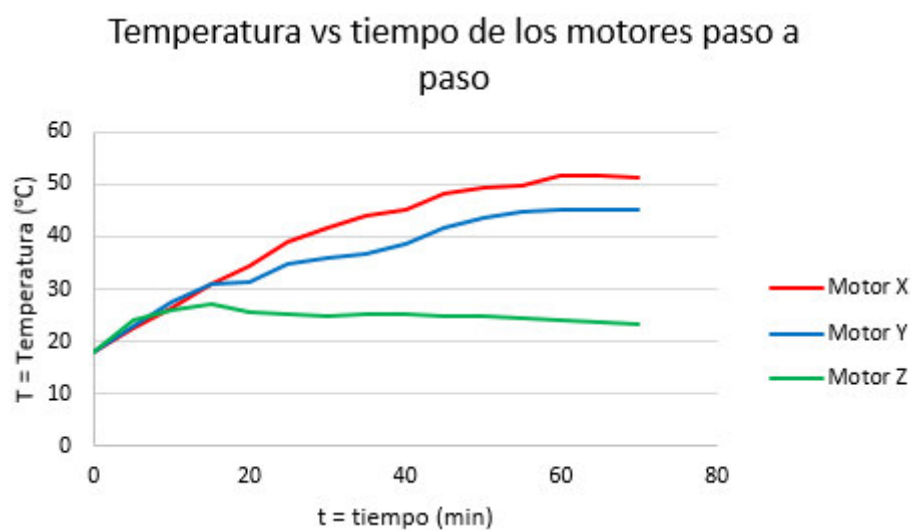


Figura 5.14 Curva de temperatura vs tiempo

Luego de trabajar 4 horas seguidas el motor X alcanza una temperatura máxima de 65°C; es recomendable implementar un ventilador individual a cada motor para que la temperatura se disipe de mejor manera.

5.2.6 RESULTADOS

Una vez realizado las diferentes pruebas, con varias penetraciones y en diferentes materiales, los valores obtenidos a través del pirómetro Radio Shack y multímetro Truper MUT-830 se registran en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10 Resultados de trabajo

Definición	Valor Obtenido
Voltaje de los motores paso a paso	4.2V - DC
Corriente de los motores paso a paso	400mA
Voltaje del motor de husillo (motor de la fresa)	24V - DC
Temperatura máxima después de 4 horas de trabajo	65 °C

El voltaje de trabajo de los motores paso a paso es de 4.2V, con una corriente de 400 mA; el husillo gira a una velocidad de 8000rpm a un voltaje de 24V. La temperatura máxima alcanzada por los motores después de 4 horas seguidas de trabajo es de 65°C.

El tiempo de vida útil de la máquina-herramienta es de tres años en un ambiente seco, puesto que el MDF absorbe humedad y tiende a romperse fácilmente; la herramienta que viene integrada con la máquina, tiene una vida útil de 2000 horas, en condiciones de trabajo, establecidos en la diferentes pruebas previamente descritas.

Se debe realizar un ajuste de todos los pernos de la máquina-herramienta cada 100 horas de uso, para que esta no tenga problemas al momento de maquinar.

CONCLUSIONES

- El diseño y construcción de fresadoras CNC ayuda al desarrollo tecnológico a nivel nacional, lo que permite implementar estas máquinas herramienta en la industria y así obtener grandes beneficios que brinda el control numérico.
- Se diseñó una fresadora CNC en madera, con una estructura rígida que absorbe las vibraciones generadas por los motores paso a paso, permitiendo realizar trabajos de maquinado con una resolución de hasta 0.07mm en materiales como MDF, acrílico, balsa y aluminio.
- La manufacturación de la fresadora CNC se realizó con materiales nacionales entre estos MDF y aluminio, de igual forma se adquirieron elementos que en el mercado nacional tienen un precio accesible, como motores, rulimanes, pernos y cables; la obtención de ejes, tornillos de bolas, rodamientos lineales, y drivers, los cuales a nivel nacional tienen un costo muy elevado, fueron importados a menor precio desde norte américa.
- El recorrido del eje Y se redujo dos centímetros, por la implementación de sistemas de seguridad, permitiendo al operador no correr ningún riesgo al momento de utilizar la fresadora CNC.
- Se implementó un sistema de control que opera los ejes de la máquina-herramienta de forma automática, siendo este de lazo abierto, ya que los motores paso a paso permiten una gran precisión al momento de realizar trabajos de maquinado.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento de mecanizado en diferentes materiales, para encontrar valores de resolución y profundidades de corte, obteniendo los siguientes resultados: en MDF la resolución es de 0.10 mm con una penetración de 0.5 mm, en acrílico la resolución es de 0.03 mm con una penetración de 0.3 mm, en balsa la resolución es de 0.04 mm con una penetración de 1 mm.
- Las velocidades para obtener un buen acabado en los diferentes materiales son: en MDF la velocidad de avance en corte es de 400 mm/min; en acrílico

es de 250 mm/min, en balsa es de 500 mm/min y para realizar grabados en aluminio es de 200 mm/min.

- La fresadora CNC consigue elaborar piezas de múltiple complejidad, en forma repetitiva y precisa, en tiempos de maquinado cortos, es así que en comparación a las piezas elaboradas por manos artesanales, que toma alrededor de 10 horas a diferencia de las 2 horas usadas para elaborar una pieza de similares características con una CNC y abaratando costos de producción, demostrando la facilidad de su uso y la eficiencia de la misma.
- La interfaz del Mach3 es amigable y fácil de usar para cualquier persona, permitiendo así, incorporar la máquina en centros educativos e instituciones de nivel superior para poder impartir conocimientos sobre el tema del maquinado.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere implementar un control de lazo cerrado, ya que este ayudaría a corroborar la distancia y la posición deseada de la fresa de una manera precisa, permitiendo que la fresadora CNC sea más confiable.
- Se recomienda adicionar un sistema de aspirado para retirar la viruta generada en el momento de la elaboración de las piezas.
- En esta fresadora CNC sería recomendable adicionar un control de corriente del motor del Husillo (motor de la fresa), para proteger la fresa y evitar roturas y un control de velocidad del mismo para maquinados de piezas con mejores acabados.
- Operar la máquina siempre y cuando se haya leído el manual de usuario para evitar cualquier tipo de riesgo.
- Tener en cuenta el material a usar; el aluminio permite realizar grabados, mas no cortes del mismo.
- Se recomienda tener un computador exclusivo para la fresadora CNC que incluya los software CAD/CAM/CNC.
- Realizar un mantenimiento preventivo de la máquina cada tres meses y verificar el ajuste de los pernos cada 100 horas de uso, para evitar desperfectos durante el mecanizado de piezas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. J. Hess, "Introduction," *The CNC Cookbook*, Estados Unidos de Norte América: Scited Publications, 2009, pp. 9-14.
- [2] D. M. M. Espinosa, *Manual de prácticas básicas del centro de mecanizado vertical CNC HAAS VF2*, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2013.
- [3] R. B. Chase, F. R. Jacobs y N. J. Alquilano, "Tecnología de Operaciones," *Administración de Operaciones*, México: McGrawHill, 2009, pp. 730 - 736.
- [4] J. M. C. Armijo, "Fresadora," *Proceso de mecanización por arranque de viruta*, Málaga: Ic Editorial, 2013, pp. 70 - 79.
- [5] A. M. Garcia, "Diseño y fabricación de una máquina-herramienta y desarrollo de su software de control CNC basado en PC para interpolación 2D," Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2015.
- [6] A. N. Alberro y X. S. Berna, "Mecanizado por arranque de viruta," *Tecnología Mecánica*, Catalunya: UPC, 2001, p. 159.
- [7] A. N. Alberro y X. S. Berna, "Mecanizado por arranque de viruta," de *Tecnología Mecánica*, Catalunya: UPC, 2001, pp. 161-162.
- [8] W. Bartsch, "Máquina fresadora Universal," *Herramientas, Máquinas, Trabajo*, Barcelona: Reverté, 2008, p. 38.
- [9] S. Kalpakjian y S. R. Schmid, "Control numérico (CN)," *Manufactura, Ingeniería y tecnología*, México: Pearson Educación, 2002, p. 1035.
- [10] A. G. Higuera y F. J. C. García, "Ingeniería de la producción I," *CIM: El computador en la automatización de la producción*, La Mancha: Ediciones de la universidad de castilla la mancha, 2007, pp. 74-79.

- [11] SupraCNC, Quito, Ecuador, "Productos," [En línea]. Disponible: <http://www.supracnc.com/>. Último acceso: 9 Marzo 2014.
- [12] C. R. Romeva, "El enmarque del diseño," *Diseño concurrente*, Barcelona: UPC, 2002, pp. 59-60.
- [13] A. Alain, "Understanding CNC Routers," *Understanding CNC Routers: Demystifying CNC Wood Router Technology*, Quebec: FPInnovations, 2011, pp. 71-72.
- [14] R. L. Mott, "Elementos con movimiento lineal," *Diseño de elementos de máquinas*, México: Pearson Educación, 2006, p. 697.
- [15] J. R. Viloría, "Motores paso a paso," *Motores de corriente continua*, Madrid: Ediciones Paraninfo SA, 2014, pp. 246-257.
- [16] J. R. Viloría, "Servomotores," *Motores de corriente continua*, Madrid: Ediciones Paraninfo SA, 2014, pp. 257-258.
- [17] Schaeffler Iberia, Barcelona , España, "Patines con recirculación a bolas," [En línea]. Disponible : http://www.schaeffler.com/content.schaeffler.es/es/products_services/inafag_products/linear_products/monorail_guidance_systems/linear_ball_bearing_units/Linear_ball_bearing_units.jsp. Último acceso: 20 Marzo 2014.
- [18] Schaeffler Iberia, Barcelona , España,"Rodamientos lineales a bolas," [En línea]. Disponible: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Rodamientos-lineales-a-bolas-INA-KS-KSO-5196.html>. Último acceso: 15 Marzo 2014.
- [19] Schaeffler Iberia, Barcelona, España,"Sistema guiado por eje," [En línea]. Disponible: http://www.schaeffler.com/content.schaeffler.es/es/products_services/inafag

products/linear_products/shaftguidance/wellenfuehrungen.jsp. Último acceso: 20 Marzo 2014.

- [20] Schneider Electric Ecuador S.A., Quito, Ecuador, "Finales de Carrera," [En línea]. Disponible: http://www.ops-ecat.schneider-electric.com/ecatalogue/browse.do?cat_id=BU_AUT_2594_L3_Z002&conf=seo&el_typ=product&nod_id=0000000009&prd_id=XCKJ390511H29EX&sc_p_id=Z002. [Último acceso: 21 Marzo 2014].

- [21] Schneider Electric Ecuador S.A., Quito, Ecuador, "Detectores de proximidad," [En línea]. Disponible: <http://www.schneider-electric.com/products/co/ls/4900-sensores-y-sistemas-rfid/4925-sensores-de-presencia-y-proximidad/515-osisense-xs-y-xt/>. Último acceso: 21 Marzo 2014.

- [22] SainSmart, Kansas, USA, "TB6560 Stepper Stepping Motor Driver Board," [En línea]. Disponible: <http://www.sainsmart.com/cnc-router-single-1-axis-tb6560-3-5a-stepper-stepping-motor-driver-board.html>. Último acceso: 22 Marzo 2014.

- [23] SainSmart, Kansas, USA, "TB6600 CNC Micro-Stepping Stepper Motor Driver,"» [En línea]. Disponible: <http://www.sainsmart.com/sainsmart-tb6600-cnc-micro-stepping-stepper-motor-driver-4-5a.html>. Último acceso: 22 Marzo 2014.

- [24] Newfangled Solutions, ArtSoft, Main, USA, "Mach3," [En línea]. Disponible: <http://www.machsupport.com/software/mach3/>. Último acceso: 16 Marzo 2014.

- [25] P. Suescun, "EMC para el control de manipuladores," [En línea]. Disponible: <http://www.imac.unavarra.es/~cnc/emc2.php>. Último acceso: 15 Marzo 2014.

- [26] DAK Engineering, New Albany, IN, USA "Turbo CNC," [En línea]. Disponible: <http://www.dakeng.com/turbocnc.html>. [Último acceso: 22 Marzo 2014].

- [27] R. L. Mott, "Columnas," *Resistencia de Materiales*, México, Pearson Educación, 2009, pp. 601-629.
- [28] R. L. Mott, "Flexión en vigas," *Resistencia de Materiales*, México, Pearson Educación, 2009, pp. 452-475.
- [29] T. A. Philpot, "MDSolids 3.5," Disponible: <http://www.mdsolids.com.>, 2009.
- [30] R. L. Mott, "Flexión de vigas," *Resistencia de materiales*, México, Pearson Educación, 2009, p. 459.
- [31] R. L. Mott, "Diseño para diferentes tipos de cargas," de *Diseño de elementos de máquinas*, México, Pearson Educación, 2006, p. 185.
- [32] Apiro Rodamientos, Buenos Aires, Argentina, "Husillo a bolas," [En línea]. Disponible: <http://www.apiro.com/husilloscatalogo.html>. Último acceso: 23 Marzo 2014.
- [33] R. L. Mott, "Elementos con movimiento lineal," *Diseño de elementos de maquinas*, México, Pearson Educación, 2006, p. 706.
- [34] R. L. Mott, "Elementos con movimiento lineal," *Diseño de elementos de máquinas*, México, Pearson Educación, 2006, p. 708.
- [35] Schneider Electric Ecuador S.A., Quito, Ecuador, "Estaciones de control colgantes," [En línea]. Disponible: <http://www.schneider-electric.com/products/co/ls/4800-pulsadores-interruptores-luces-piloto-estaciones-de-control-y-joysticks/4810-cajas-y-botoneras/660-harmony-xald-xalk/>. Último acceso: 10 Abril 2014.
- [36] Newfangled Solutions, ArtSoft, Main, USA, Mach3 V3 (2008), [En línea]. Disponible: <http://www.machsupport.com/>.

ANEXOS

ANEXO A.....ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DRIVER SAINSMART

ANEXO B.1.....PROPIEDADES FÍSICAS DEL MDF

ANEXO B.2.....PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACERO 440C

ANEXO B.3.....PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACERO ANSI 52100

ANEXO C.....CARACTERÍSTICAS DEL TORNILLO DE POTENCIA

ANEXO D.....ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA UN MOTOR PASO A
PASO NEMA 17 GENÉRICO

ANEXO E.....PLANOS

ANEXO F.1.....CÓDIGOS G

ANEXO F.2.....CÓDIGOS M

ANEXO G.1.....FOTOGRAFÍAS DE LAS MEDICIONES DE LAS PRUEBAS
REALIZADAS EN MDF

ANEXO G.2.....FOTOGRAFÍAS DE LAS MEDICIONES DE LAS PRUEBAS
REALIZADAS EN Balsa

ANEXO G.3.....FOTOGRAFÍAS DE LAS MEDICIONES DE LAS PRUEBAS
REALIZADAS EN ACRÍLICO

ANEXO A

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DRIVER SAINSMART TB6560

- Single-chip motor driver for sinusoidal microstep control of stepping motors
- Power on in indication led
- 3Amps-34Volts (Supply voltages:12-34DC)
- Full step, half step, eight step and sixteenth step(selection with dipswitches)
- torque (100%, 75%, 50%, 20%)
- work Current (0-3A selection with SW1/SW2/SW3)
- 4 Wire, 6 Wire, 8 Wire stepper motors can be used
- Two phases bipolar driver
- Easy wiring with standard screw terminals
- Step frequency up to 100khz
- fuse protection on power supply rail(protects the board, but also your power supply and motor)

ANEXO B

B.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL MDF (EDIMCA)

General properties

Designation

MDF (T)

Density	600	-	900	kg/m ³
Price	1.82	-	2.31	DKK/kg

Composition overview

Composition (summary)

Cellulose/Hemicellulose/Lignin/12%H₂O/Adhesive

Base	Other
Wood type	Composite

Mechanical properties

Young's modulus	* 1.8	-	3.2	GPa
Flexural modulus	2	-	3.5	GPa
Shear modulus	* 0.7	-	0.8	GPa
Bulk modulus	* 1.7	-	2.9	GPa
Poisson's ratio	* 0.2	-	0.3	
Shape factor	0			
Yield strength (elastic limit)	* 4.5	-	5.5	MPa
Tensile strength	8.5	-	21	MPa
Compressive strength	3	-	7	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	28	-	30	MPa
Shear strength	* 20	-	24	MPa
Rolling shear strength	* 3	-	6	MPa
Elongation	* 0.3	-	0.36	% strain
Hardness - Vickers	* 6.1	-	7.5	HV
Hardness - Brinell	* 1.7	-	3.9	MPa
Hardness - Janka	* 6.1	-	7.5	kN
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 7.4	-	10.3	MPa
Fracture toughness	* 1	-	2	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.013	-	0.02	
Differential shrinkage (radial)	0.3	-	0.5	%
Differential shrinkage (tangential)	0.6	-	0.7	%
Work to maximum strength	129	-	196	kJ/m ³

B.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACERO 440C



SERVICIO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.

Color de distinción azul claro

CARACTERÍSTICAS

SISA 440C INOX es un acero inoxidable martensítico al alto carbón, diseñado para ofrecer una combinación de alta resistencia al desgaste y una moderada resistencia a la corrosión en ambientes medios. Alcanza durezas cercanas a 60 HRC y ofrece una buena retención del filo.

COMPOSICIÓN QUÍMICA - % PROMEDIO

C	Mn	Si	Cr	Mo	S
1.05	0.45	0.40	17.50	0.70	<0.030

NORMAS

SAE / AISI	DIN	JIS
440C	1.4125	SUS 440

APLICACIONES TÍPICAS

Baleros	Cuchillería de Cocina
Herramientas Quirúrgicas	Cubiertos de Mesa
Insertos para Moldes	Cuchillas Industriales
Válvulas de Aguja	Tijeras
Partes para Bombas	

Estas son algunas de las aplicaciones típicas. No debe intentar su aplicación específica sin un estudio independiente y una evaluación de funcionalidad.

PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Elasticidad 29 X 10⁶ psi (200 GPa)
Densidad 0.275 lbs./in³ (7.62 g/cm³)

Conductividad Térmica

	BTU/hr-ft-°F	W/m-°K
210°F (100°C)	14.0	24.2

Coefficiente de Dilatación Térmica

	in/in/°F	mm/mm/°C
68-392°F (20-200°C)	5.8X10 ⁻⁶	10.0X10 ⁻⁶
68-1112°F (20-600°C)	6.2X10 ⁻⁶	11.2X10 ⁻⁶

SISA 440C INOX

ELECTROEROSIÓN Y MAQUINADO

El proceso de electroerosión forma una capa "blanca" en la superficie de la herramienta en estado templado y revenido, esta capa puede contribuir a fallas prematuras de la herramienta. Se recomienda remover esta capa rectificando o lapeando (aprox. 0.0005"-0.001"). Después del proceso de electroerosión, el acero SISA 440C INOX debe ser revenido nuevamente a 15-30°C (25-50°F) por debajo de la temperatura original de revenido. El maquinado de 440C INOX en estado recocido es similar a un P20 tratado.

SOLDADURA

Usar electrodo tipo 440C o 420 para que las propiedades del área soldada desarrollen propiedades mecánicas similares al SISA 440C INOX templado.

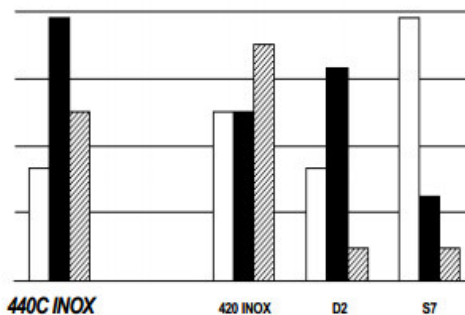
PRECAUCIÓN: Antes de cualquier reparación por soldadura, todas las fisuras deben ser completamente removidas maquinando o rectificando. El precalentado y calentado posterior son críticos.

Piezas Templadas: Precalentar a aprox. 30°C (50°F) por debajo de la temperatura original de revenido 205°C (400°F) mínimo y mantener esa temperatura durante el soldado. Dejar enfriar a 65°C (150°F) una vez terminado de soldar y revenir inmediatamente a 15-30°C (25-50°F) por debajo de la temperatura original de revenido.

Piezas Recocidas: Precalentar a 315-425°C (600-800°F) y mantener arriba de 315°C (600°F) durante el soldado. Volver a recocer inmediatamente y revenir a 705°C (1300°F) por 4 horas.

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES

□ Tenacidad ■ Resistencia al Desgaste ▨ Resistencia a Corrosión



Nota: Las propiedades indicadas en esta hoja técnica son valores típicos. Variaciones normales en la química, tamaño y condiciones de tratamiento térmico pueden producir desviaciones de estos valores. Para datos adicionales o asistencia en ingeniería metalúrgica, acudir al departamento técnico de SISA.

B.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACERO ANSI 52100



M3 Excellence Limited

www.m3tubecomponents.com

SPECIFICATIONS OF ALLOY STEEL: AISI 52100 / Gcr 15

AISI 52100 steel is a high-carbon chromium alloy steel, which is used in a variety of mechanical applications. In the annealed condition this steel is comparatively easy to machine, yet very high hardness and abrasion resistance can be developed by heat treatment to make the steel particularly suitable for applications requiring extreme wear resistance. In addition, 52100 steel can be heat treated to high levels of tensile strength and fatigue strength.

THE COMPARISON TABLE FOR EACH STANDARD:

China	ISO	USA	Japan	Germany	France	Sweden
GB		AISI	JIS	DIN	NF	
Gcr15	683/xv11	52100	SUJ2	100Cr6	100C6	SKF3

CHEMICAL COMPOSITION:

Steel No.	Symbol	Chemical Composition (Wt%)					
Gcr15	AISI 52100	C	Cr	Si	Mn	P	S
		0.95-1.05	1.30-1.65	0.15-0.35	0.25-0.45	<0.027	<0.025

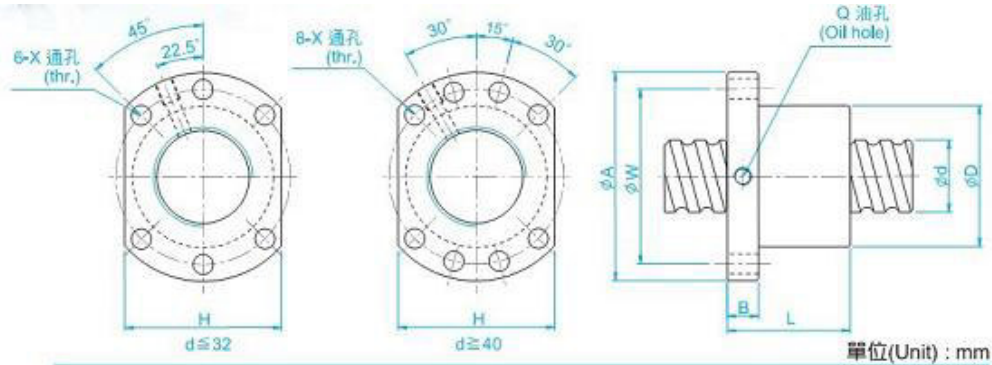
MECHANICAL PROPERTIES		Conditions	
		T (°C)	Treatment
Density ($\times 1000 \text{ kg/m}^3$)	7.7-8.03	25	
Poisson's Ratio	0.27-0.30	25	
Elastic Modulus (GPa)	190-210	25	
Hardness	60 – 67 HRC / 700 -900HV		
Density	0.283 lbs/in ³		
Tensile Strength	325,000 psi		
Yield Strength	295,000 psi		

THERMAL PROPERTIES		Conditions	
		T (°C)	Treatment
Thermal Expansion ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	11.9	0-100	annealed

Registered Office: 3rd Floor, Jonsim Place, 228 Queen's Road East, Wanchai, **Hong Kong.**
China Office: Suite #2312, Floor 23, More Commercial Tower, NO.268 Chang Qing Teng, Zhao Hui Road, Jiang Dong District, Ningbo 315040, China. **Tel:** +86-574-87795326 **Fax:** +86-574-83091907

ANEXO C

CARACTERÍSTICAS DEL TORNILLO DE BOLAS RECIRCULANTES THOMSON



I: 導程 Lead Da: 珠徑 Ball Dia. n: 珠圈數 Number of Circuits K: 剛性 Stiffness (Kgf/μm)
Ca: 動額定負荷 Basic Dynamic Rating Load (Kgf) Coa: 靜額定負荷 Basic Static Rating Load (Kgf)

型號	滾珠螺桿、螺帽之基準數據 Dimensions														
Model No.	d	l	Da	D	A	B	L	W	X	H	Q	n	Ca	Coa	K
SFU01204-4	12	4	2.5	24	40	10	40	32	4.5	30		1x4	902	1884	26
★ SFU01604-4	16	4	2.381	28	48	10	40	38	5.5	40	M6	1x4	973	2406	32
★ SFU01605-4		5	3.175	28	48	10	50	38	5.5	40	M6	1x4	1380	3052	32
★ SFU01610-3		10	3.175	28	48	10	57	38	5.5	40	M6	1x3	1103	2401	26
SFU02004-4	20	4	2.381	36	58	10	42	47	6.6	44	M6	1x4	1066	2987	38
SFU02005-4		5	3.175	36	58	10	51	47	6.6	44	M6	1x4	1551	3875	39
SFU02504-4	25	4	2.381	40	62	10	42	51	6.6	48	M6	1x4	1180	3795	43
★ SFU02505-4		5	3.175	40	62	10	51	51	6.6	48	M6	1x4	1724	4904	45
SFU02506-4		6	3.969	40	62	10	54	51	6.6	48	M6	1x4	2318	6057	47
SFU02508-4		8	4.762	40	62	10	63	51	6.6	48	M6	1x4	2963	7313	49
★ SFU02510-4	32	10	4.762	40	62	12	85	51	6.6	48	M6	1x4	2954	7295	50
SFU03204-4		4	2.381	50	80	12	44	65	9	62	M6	1x4	1296	4838	51
★ SFU03205-4		5	3.175	50	80	12	52	65	9	62	M6	1x4	1922	6343	54
SFU03206-4		6	3.969	50	80	12	57	65	9	62	M6	1x4	2632	7979	57
★ SFU03208-4		8	4.762	50	80	12	65	65	9	62	M6	1x4	3387	9622	60
★ SFU03210-4		10	6.35	50	80	12	90	65	9	62	M6	1x4	4805	12208	61
★ SFU04005-4	40	5	3.175	63	93	14	55	78	9	70	M8	1x4	2110	7988	63
SFU04006-4		6	3.969	63	93	14	60	78	9	70	M6	1x4	2873	9913	66
SFU04008-4		8	4.762	63	93	14	67	78	9	70	M6	1x4	3712	11947	70
★ SFU04010-4		10	6.35	63	93	14	93	78	9	70	M8	1x4	5399	15500	73
★ SFU05010-4	50	10	6.35	75	110	16	93	93	11	85	M8	1x4	6004	19614	85
★ SFU05020-4		20	7.144	75	110	16	138	93	11	85	M8	1x4	7142	22588	94
SFU06310-4	63	10	6.35	90	125	18	98	108	11	95	M8	1x4	6719	25358	99
SFU06320-4		20	9.525	95	135	20	149	115	13.5	100	M8	1x4	11444	36653	112
★ SFU08010-4	80	10	6.35	105	145	20	98	125	13.5	110	M8	1x4	7346	31953	109
SFU08020-4		20	9.525	125	165	25	154	145	13.5	130	M8	1x4	12911	47747	138
SFU10020-4	100	20	9.525	150	202	30	180	170	17.5	155	M8	1x4	14303	60698	162

ANEXO D

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA UN MOTOR PASO A PASO NEMA 17 GENÉRICO

Tipo	Motor paso a paso híbrido
Normalización	Size 17 series_v2
Paso angular	1,8°
Numero de fases	2
Numero de hilos	4
ΔTmax	80 grados
Clase de aislamiento	B
Resistencia de aislamiento	100 Mohm (500 Vdc)

Tipo	Nm	A	Ohm	V	mH	∅	L(mm)	Peso (Kg)
M17-0.50-1D5-E6-A	0.50	1.5	2.8	4.2	4.8	5	48	0.34

A = Corriente/bobina, Ohm = Resistencia/bobina, V = Tensión/bobina
mH= Inducción propia/bobina, L=Longitud

4 LEAD WIRES

	1	2	3	4
Color Code 1	Red	Blue	Green	Black
Color Code 2	Brown	Orange	Red	Yellow
Color Code 3	Red	Red White Stripe	Green	Green White Stripe
Bipolar Driver	A	$\bar{A}$	B	$\bar{B}$

ANEXO E

PLANOS

D03 - 001.....PLANO DE CONJUNTO

D03 - 002.....SUBCONJUNTO 1 – BASE DE LA MÁQUINA

D03 - 003.....SUBCONJUNTO 2 – MESA DE LA MÁQUINA

D03 - 004.....SUBCONJUNTO 3 – SISTEMA (Y) - COLUMNAS

D03 - 005.....SUBCONJUNTO 4 – SISTEMA (Z)

D03 - 006.....SUBCONJUNTO 5 – SOPORTE MOTOR

D03 - 007.....SUBCONJUNTO 6 – CAJA DE CIRCUITOS

ANEXO F

F.1 CÓDIGOS G

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

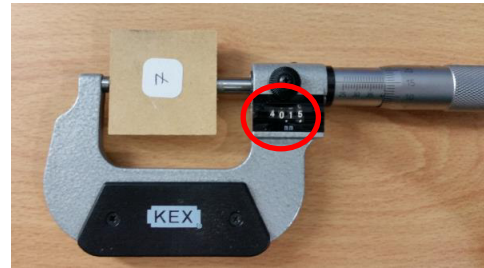
F.2 CÓDIGOS M

M00: Parada opcional
M01: Parada opcional
M02: Reset del programa
M03: Hacer girar el husillo en sentido horario
M04: Hacer girar el husillo en sentido antihorario
M05: Frenar el husillo
M06: Cambiar de herramienta
M07: Abrir el paso del refrigerante B
M08: Abrir el paso del refrigerante A
M09: Cerrar el paso de los refrigerantes
M10: Abrir mordazas
M11: Cerrar mordazas
M13: Hacer girar el husillo en sentido horario y abrir el paso de refrigerante
M14: Hacer girar el husillo en sentido anti horario y abrir el paso de refrigerante
M30: Finalizar programa y poner el puntero de ejecución en su inicio
M31: Incrementar el contador de partes
M37: Frenar el husillo y abrir la guarda
M38: Abrir la guarda
M39: Cerrar la guarda
M40: Extender el alimentador de piezas
M41: Retraer el alimentador de piezas
M43: Avisar a la cinta transportadora que avance
M44: Avisar a la cinta transportadora que retroceda
M45: Avisar a la cinta transportadora que frene
M48: Inhabilitar Spindle y Feed override (maquinar exclusivamente con las velocidades programadas)

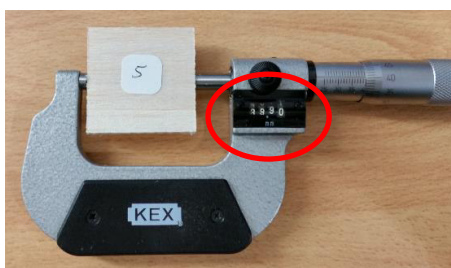
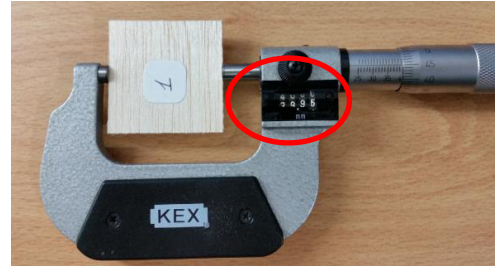
ANEXO G

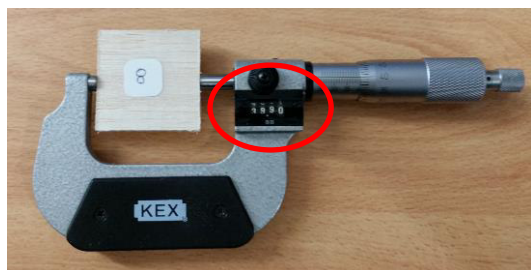
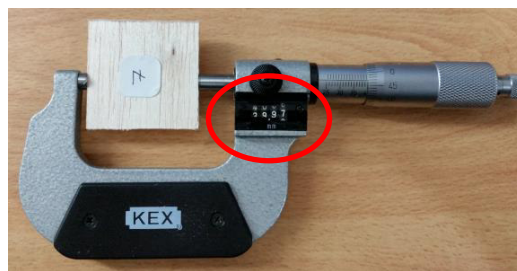
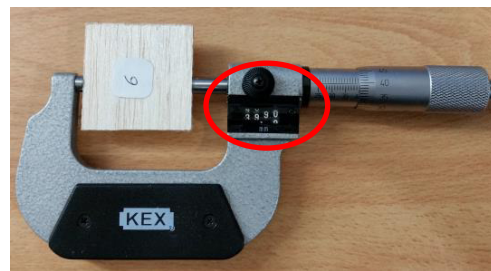
G.1 FOTOGRAFÍAS DE LAS MEDICIONES DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN MDF





G.2 FOTOGRAFÍAS DE LAS MEDICIONES DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN Balsa

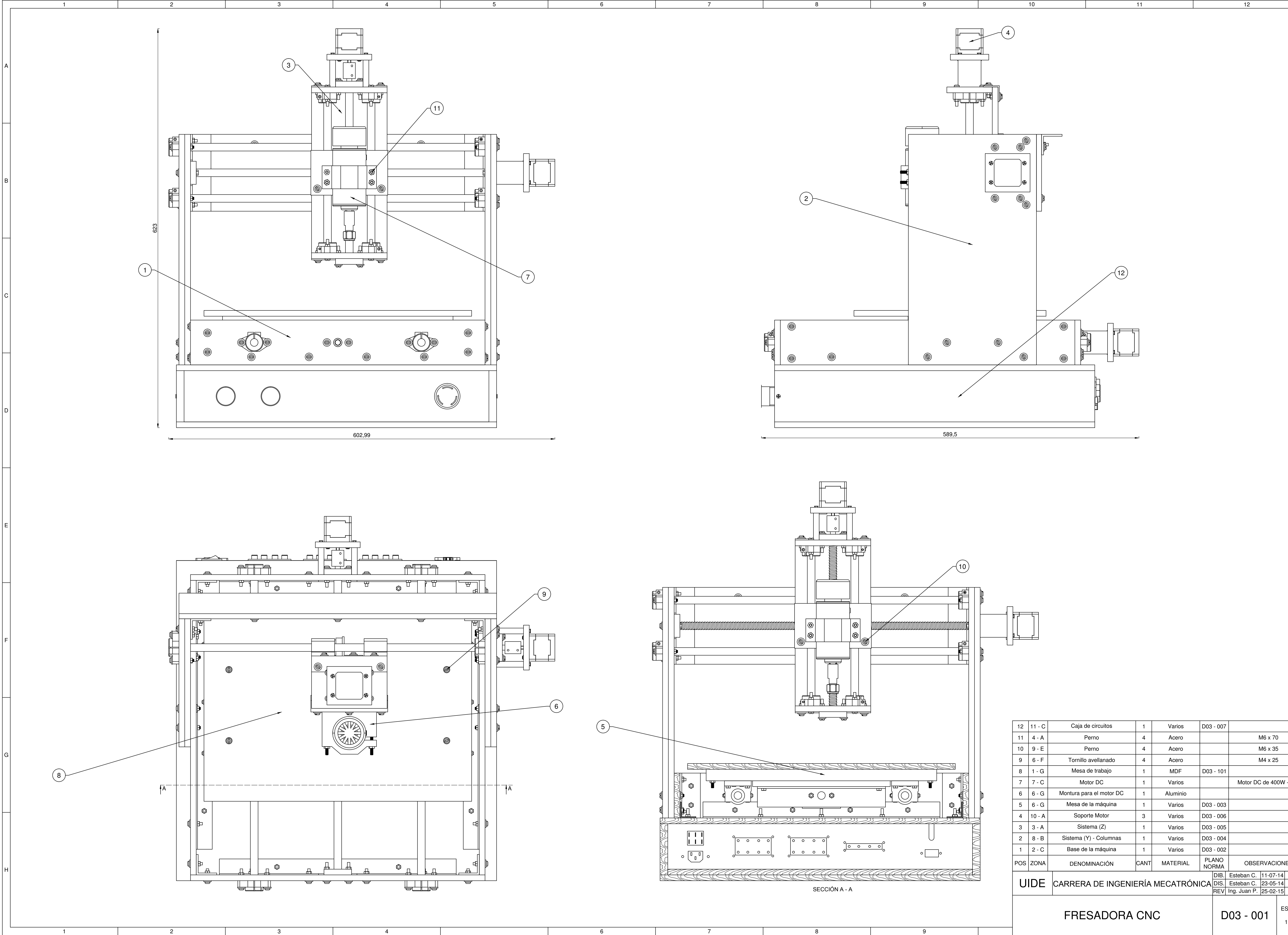




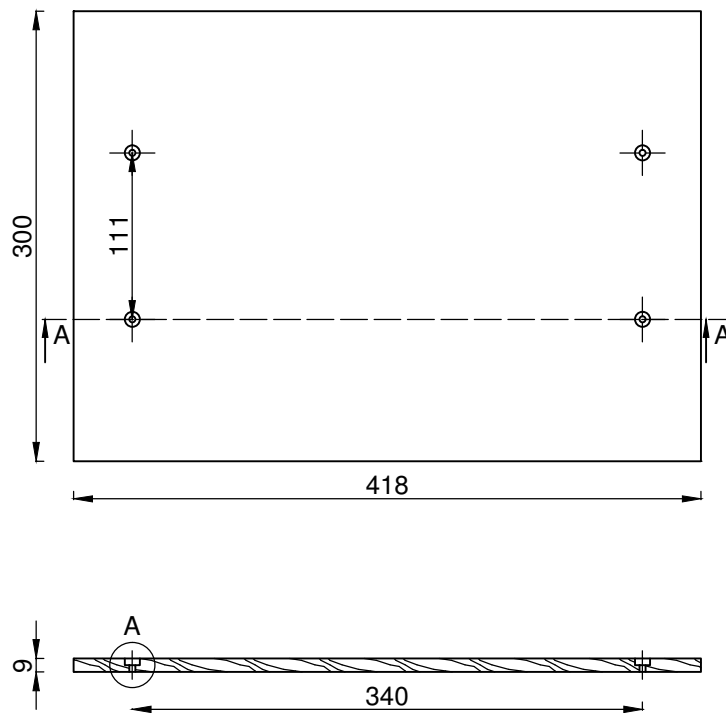
G.3 FOTOGRAFÍAS DE LAS MEDICIONES DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN ACRÍLICO



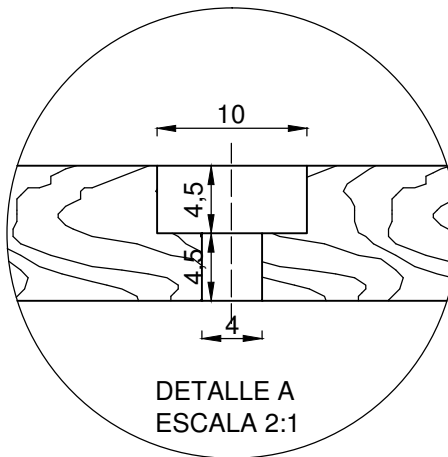




12	11 - C	Caja de circuitos	1	Varios	D03 - 007	
11	4 - A	Perno	4	Acero		M6 x 70
10	9 - E	Perno	4	Acero		M6 x 35
9	6 - F	Tornillo avellanado	4	Acero		M4 x 25
8	1 - G	Mesa de trabajo	1	MDF	D03 - 101	
7	7 - C	Motor DC	1	Varios		Motor DC de 400W - 24v
6	6 - G	Montura para el motor DC	1	Aluminio		
5	6 - G	Mesa de la máquina	1	Varios	D03 - 003	
4	10 - A	Soporte Motor	3	Varios	D03 - 006	
3	3 - A	Sistema (Z)	1	Varios	D03 - 005	
2	8 - B	Sistema (Y) - Columnas	1	Varios	D03 - 004	
1	2 - C	Base de la máquina	1	Varios	D03 - 002	
POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIAL	PLANO NORMA	OBSERVACIONES
UIDE		CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA			DIB. Esteban C.	11-07-14
					DIS. Esteban C.	23-05-14
					REV Ing. Juan P.	25-02-15
FRESADORA CNC					D03 - 001	ESCALA: 1 : 2.5

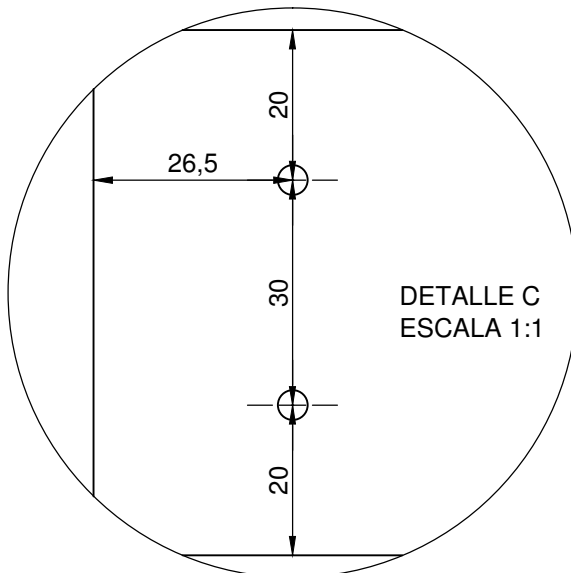
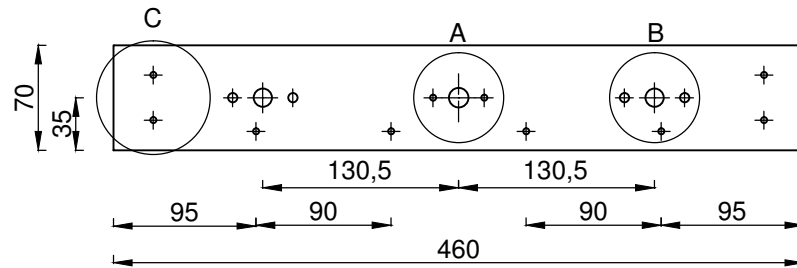
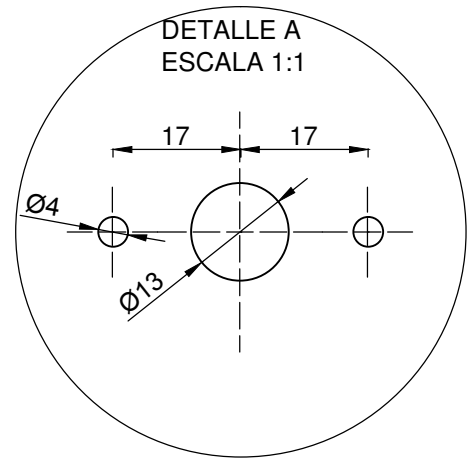
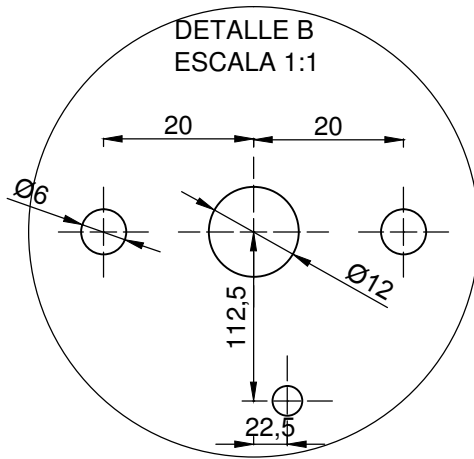


SECCIÓN A - A



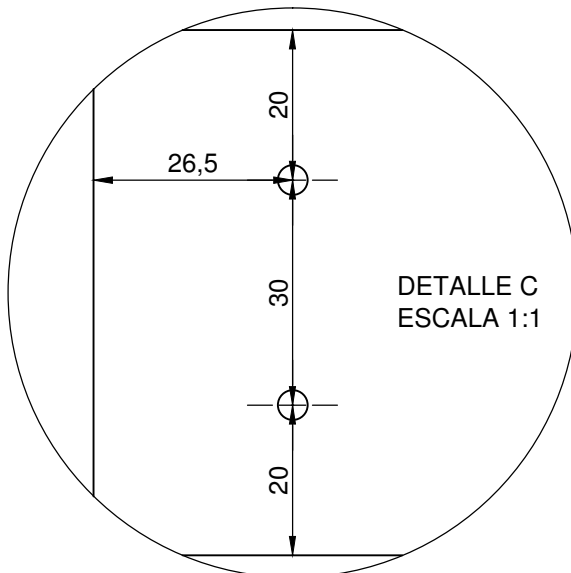
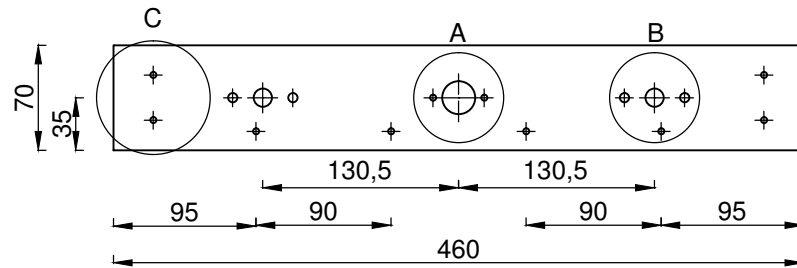
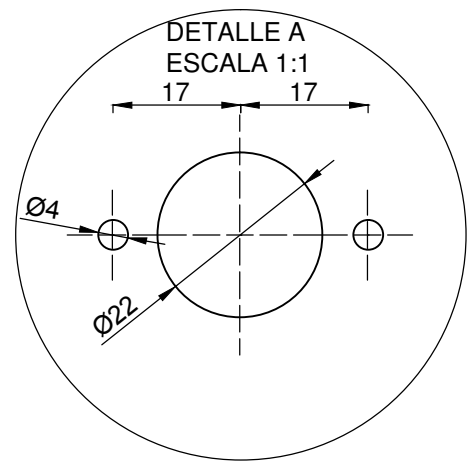
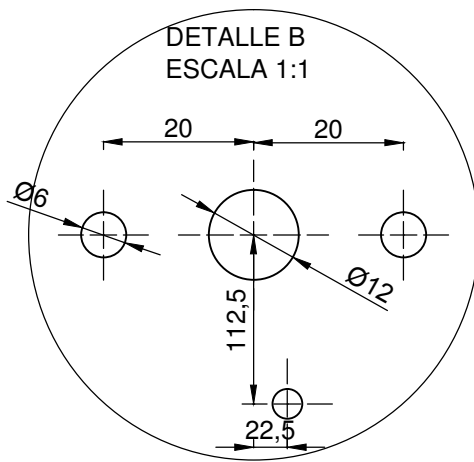
ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento						
Material: MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Juan P.	25-02-15	
MESA DE TRABAJO		D03 - 101				



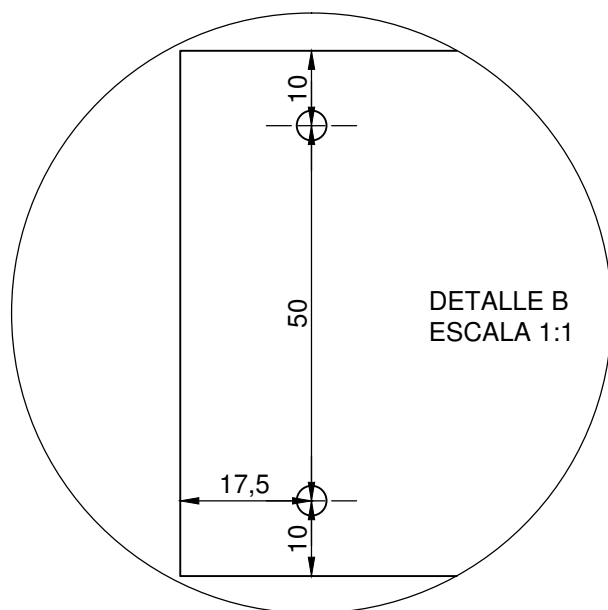
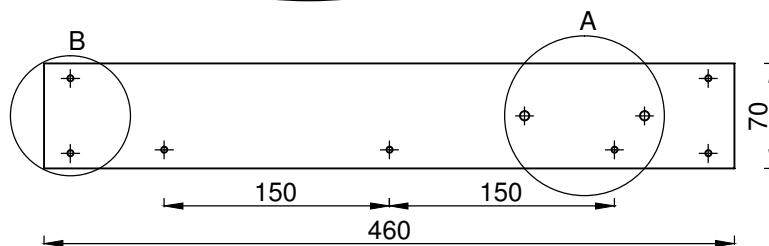
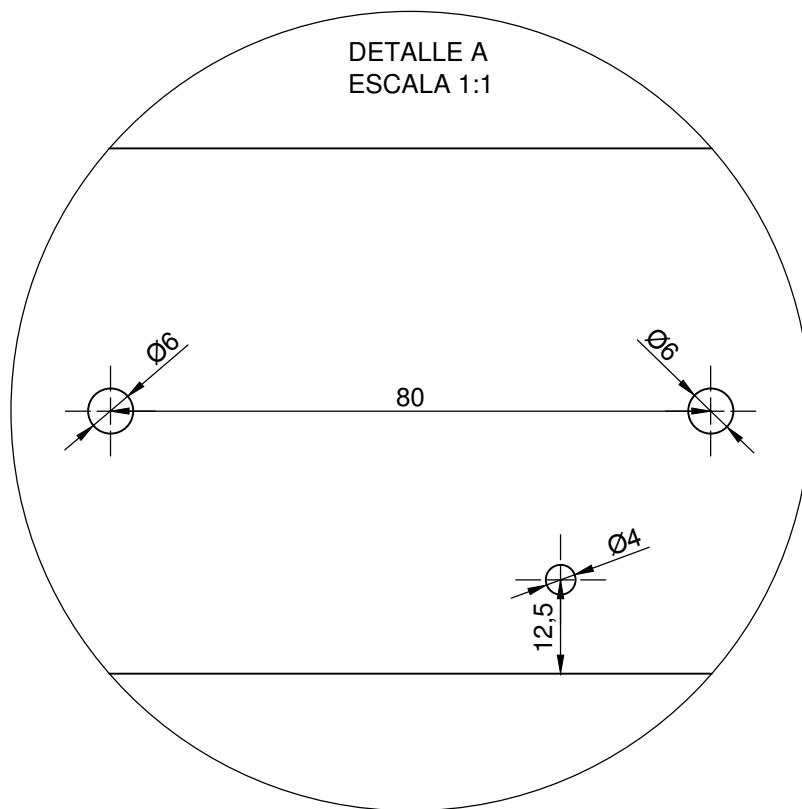
ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
BASE INFERIOR FRONTAL			D03 - 201				



ESPESOR = 9mm

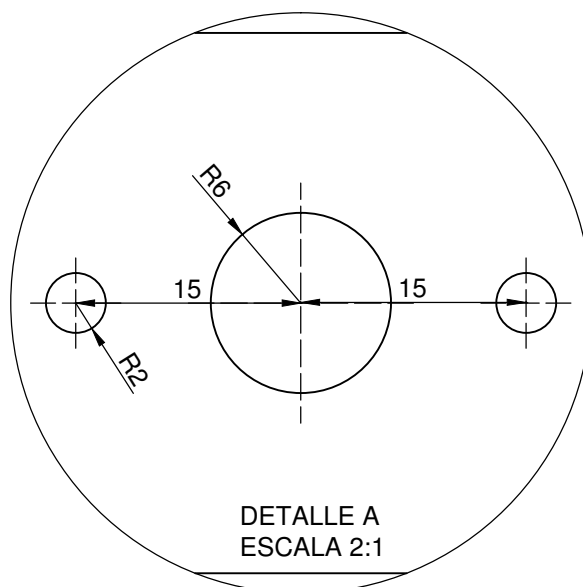
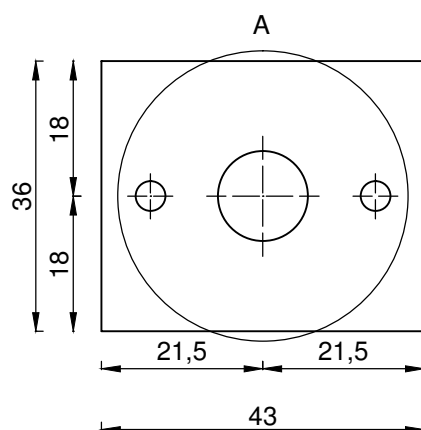
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
BASE INFERIOR POSTERIOR			D03 - 202				



ESPESOR = 9mm

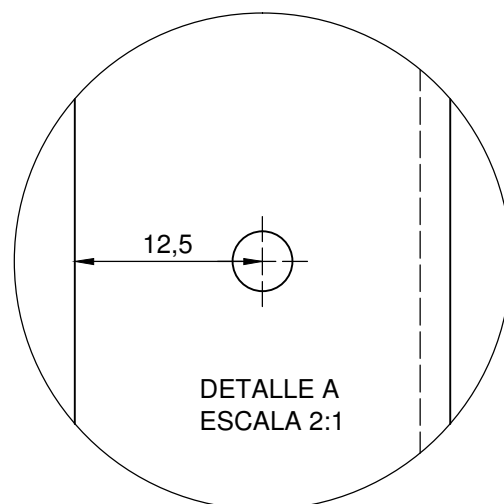
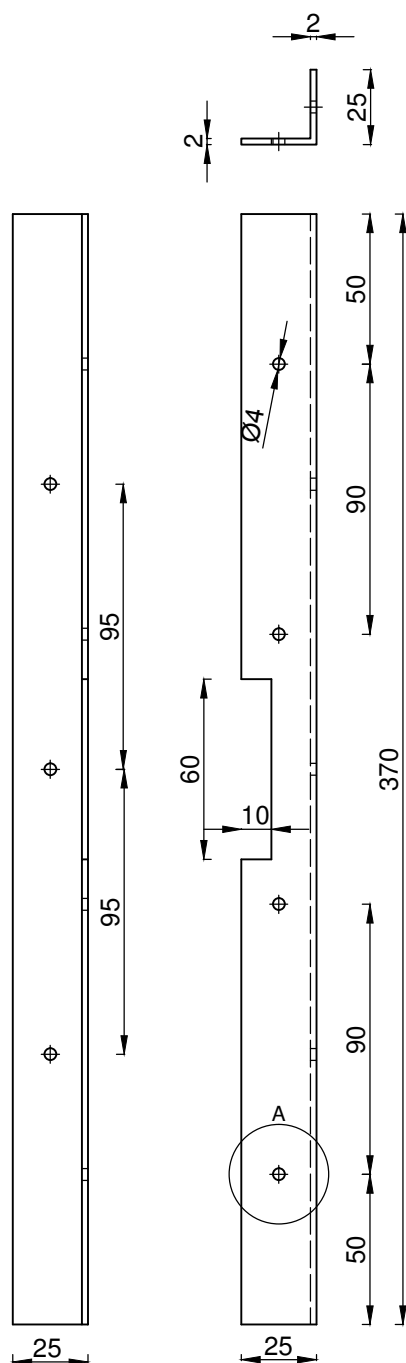
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material: MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
BASE INFERIOR DERECHA E IZQUIERDA		D03 - 203				

DETALLE A
ESCALA 1:1

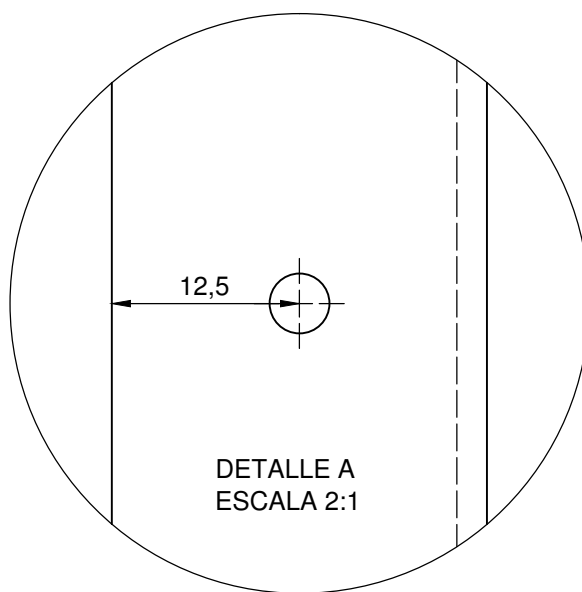
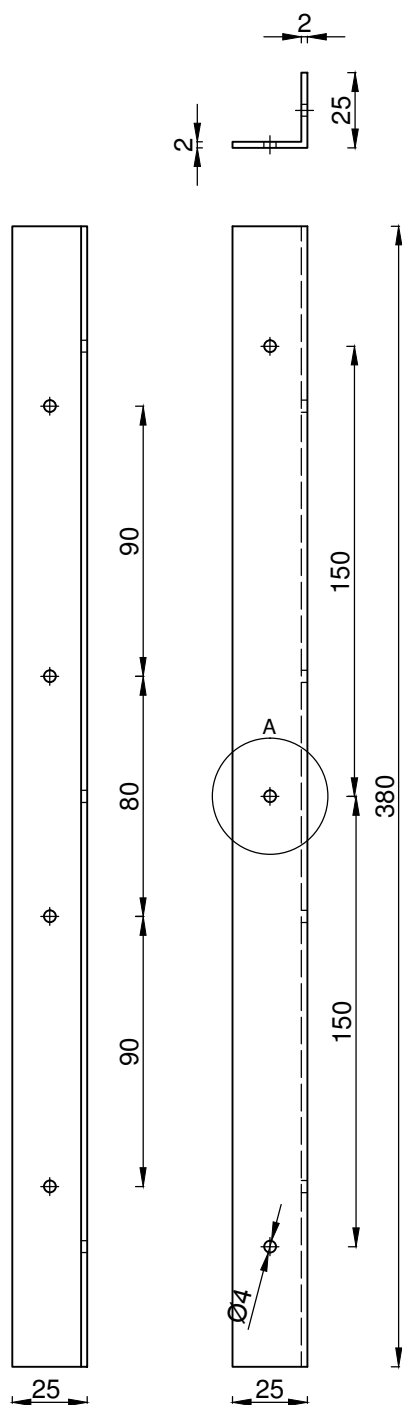


ESPESOR = 9mm

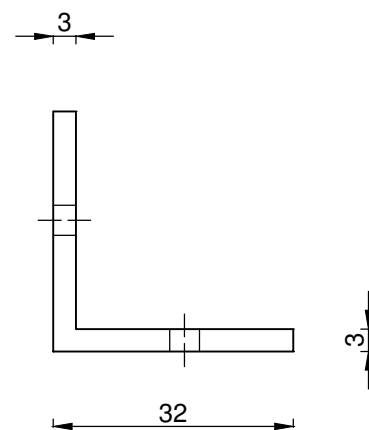
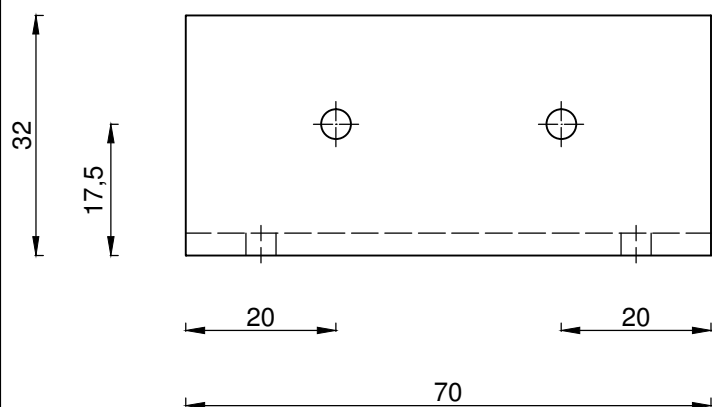
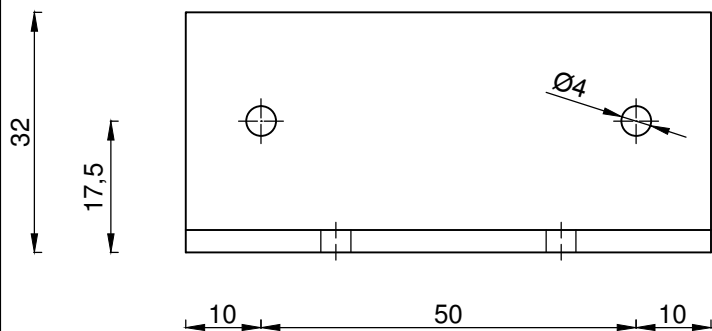
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
TOPE PARA RODAMIENTO 608ZZ			D03 - 205				



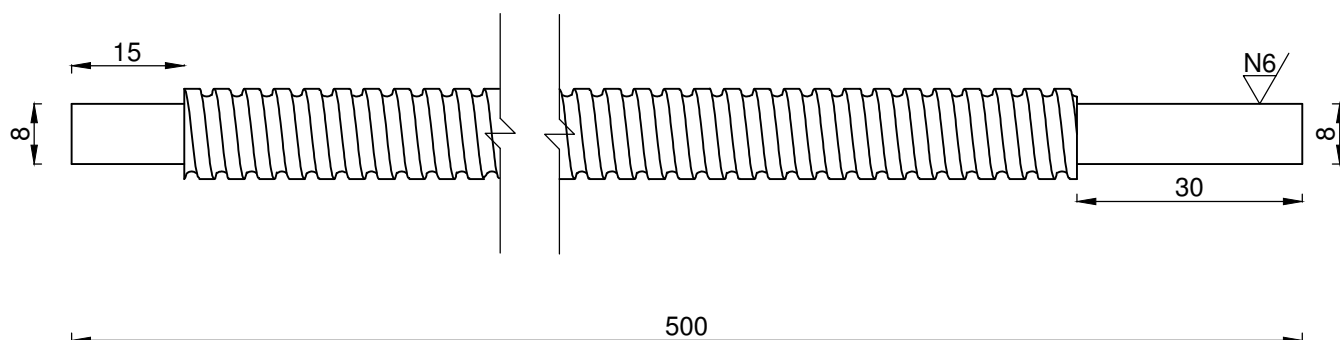
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material: Aluminio 6063	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 2.5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
ÁNGULO DE LAS BASES FRONTAL Y POSTERIOR		D03 - 207				



Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material: Aluminio 6063	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 2.5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
ÁNGULO PARALAS BASES LATERALES		D03 - 208				

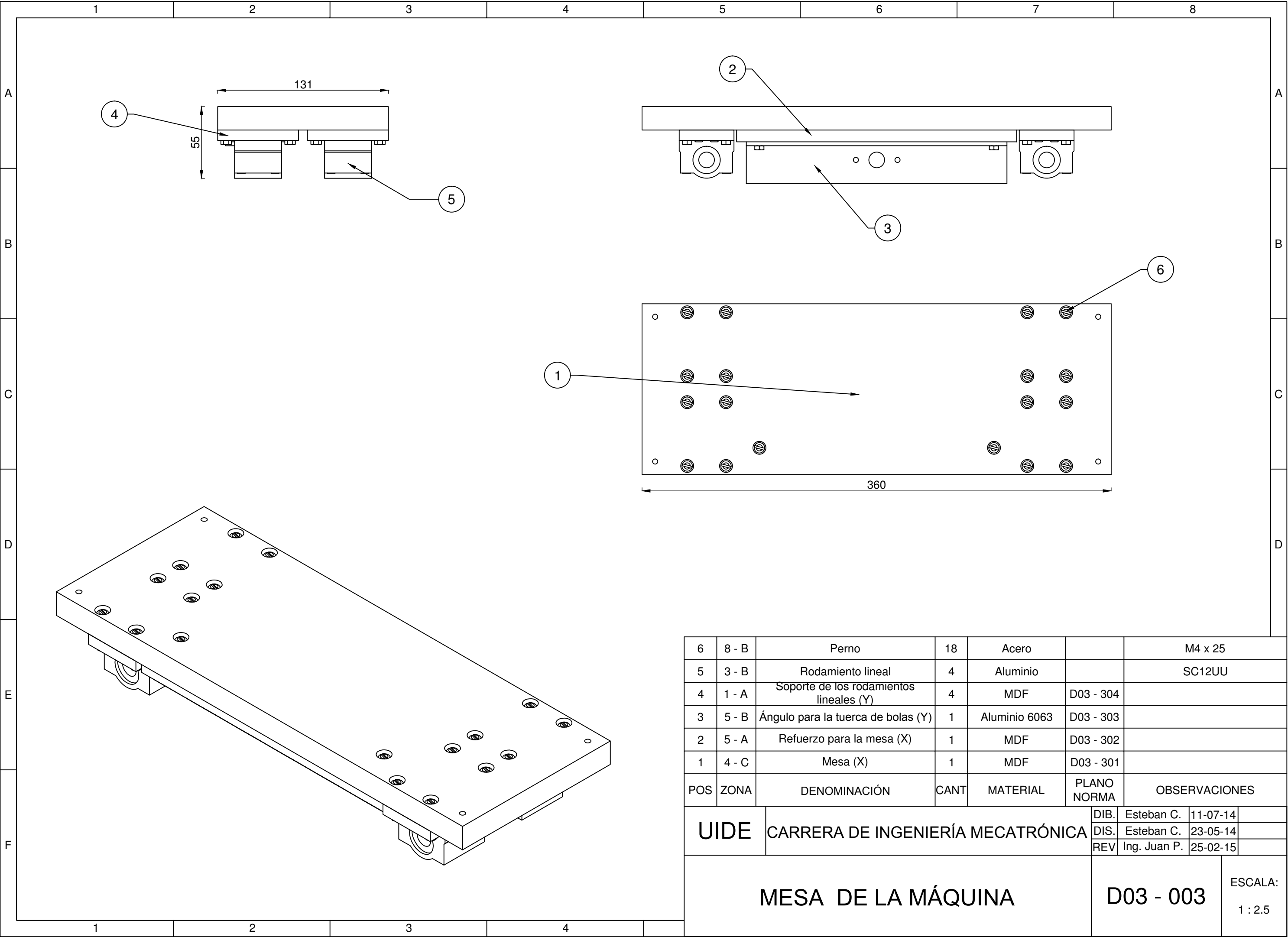


Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material: Aluminio 6063	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
ÁNGULO PARA LAS UNIONES INFERIORES		D03 - 209				

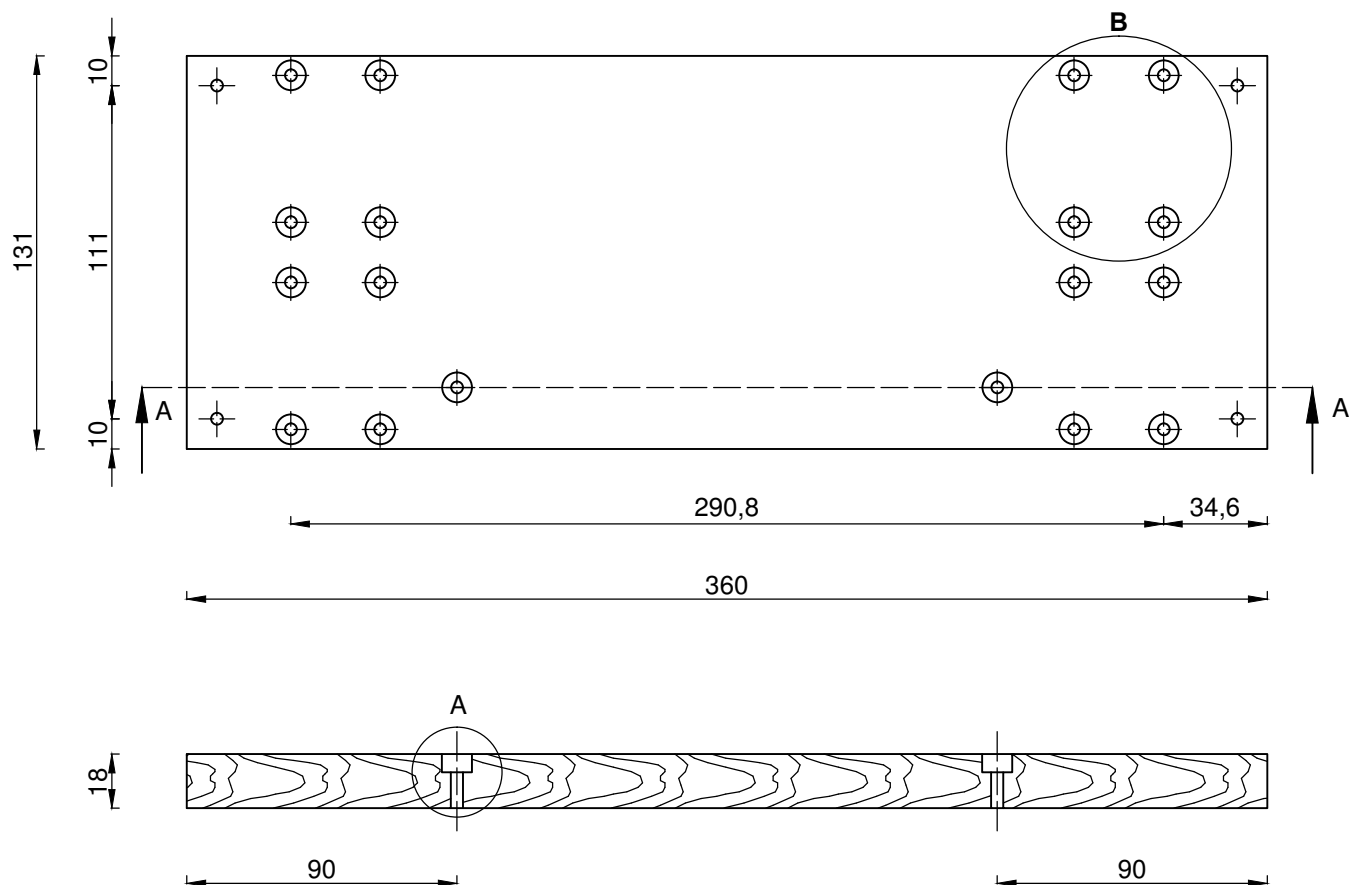
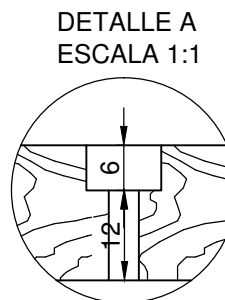
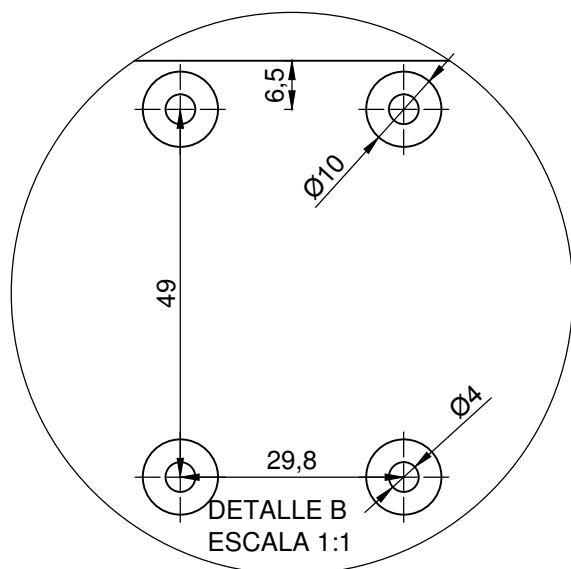


Tornillo de bolas SFU1204

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material: Acero AISI 52100	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
TORNILLO DE BOLAS RECIRCULANTES (X, Y)		D03 - 210				

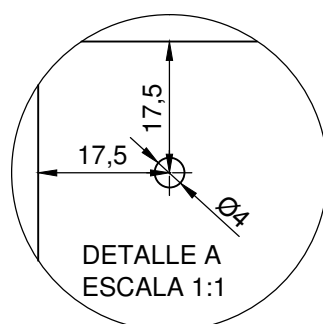
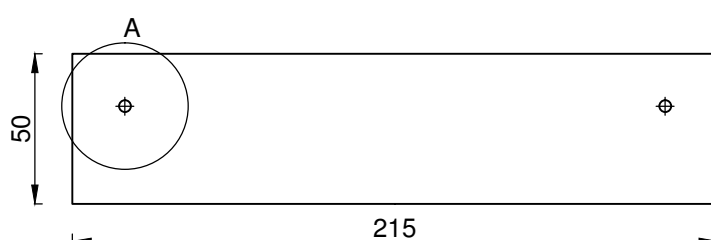


6	8 - B	Perno	18	Acero		M4 x 25		
5	3 - B	Rodamiento lineal	4	Aluminio		SC12UU		
4	1 - A	Soporte de los rodamientos lineales (Y)	4	MDF	D03 - 304			
3	5 - B	Ángulo para la tuerca de bolas (Y)	1	Aluminio 6063	D03 - 303			
2	5 - A	Refuerzo para la mesa (X)	1	MDF	D03 - 302			
1	4 - C	Mesa (X)	1	MDF	D03 - 301			
POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIAL	PLANO NORMA	OBSERVACIONES		
UIDE		CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA			DIB.	Esteban C.	11-07-14	
					DIS.	Esteban C.	23-05-14	
					REV	Ing. Juan P.	25-02-15	
MESA DE LA MÁQUINA					D03 - 003		ESCALA: 1 : 2.5	



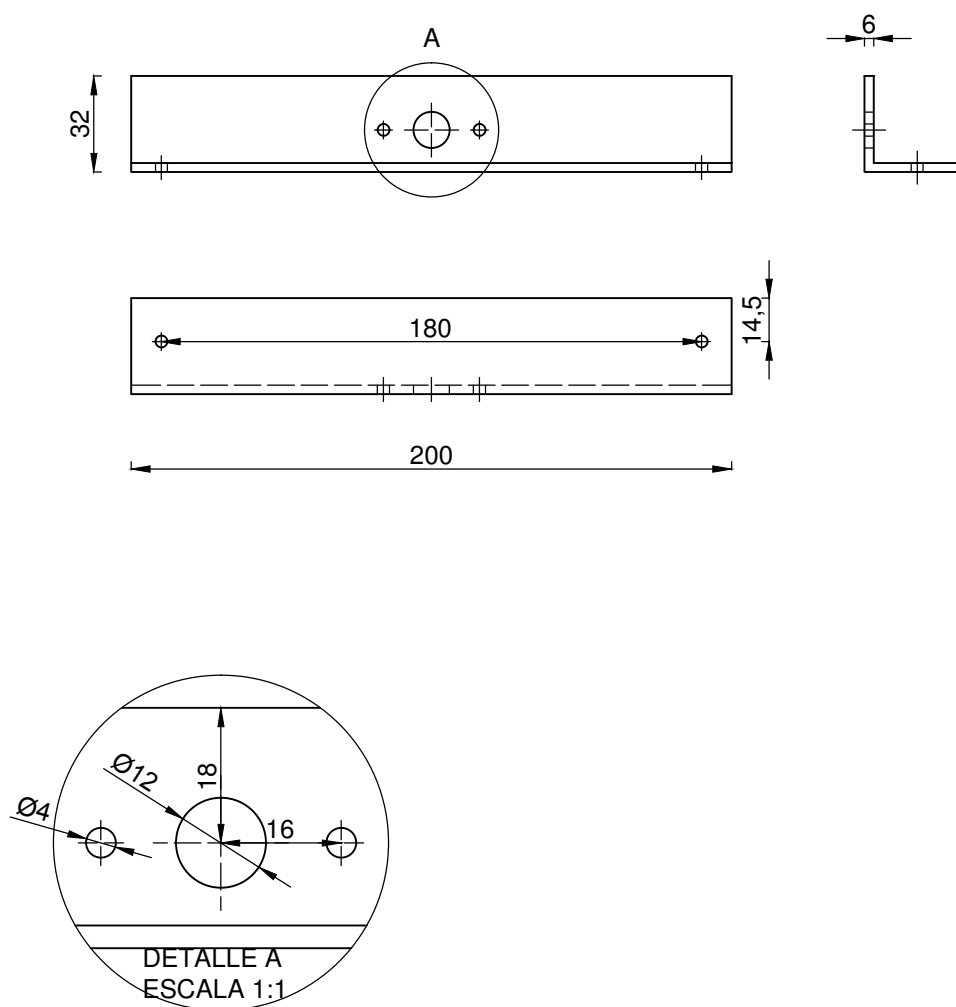
ESPESOR = 18mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA				
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 2.5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
MESA (X)			D03 - 301				

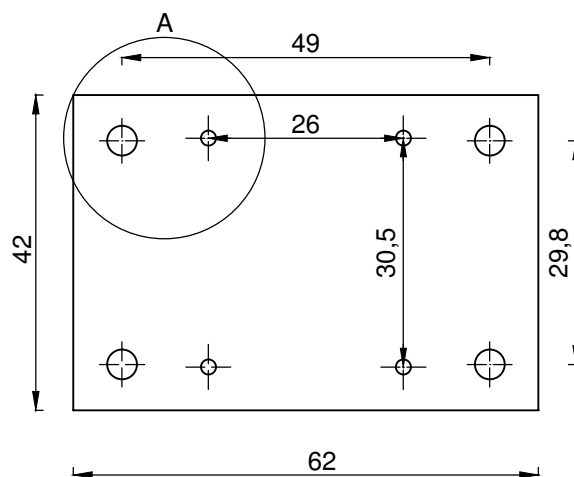


ESPESOR = 9mm

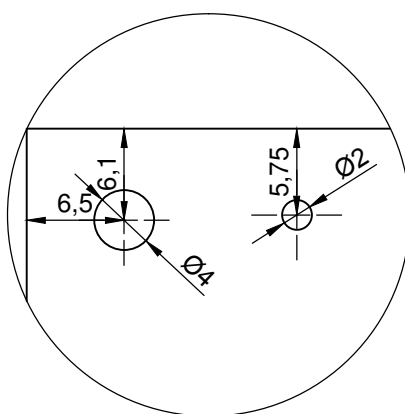
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 2.5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
REFUERZO PARA LA MESA (X)			D03 - 302				



Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material: Aluminio 6063	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 2.5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
ÁNGULO PARA LA TUERCA DE BOLAS (X)		D03 - 303				

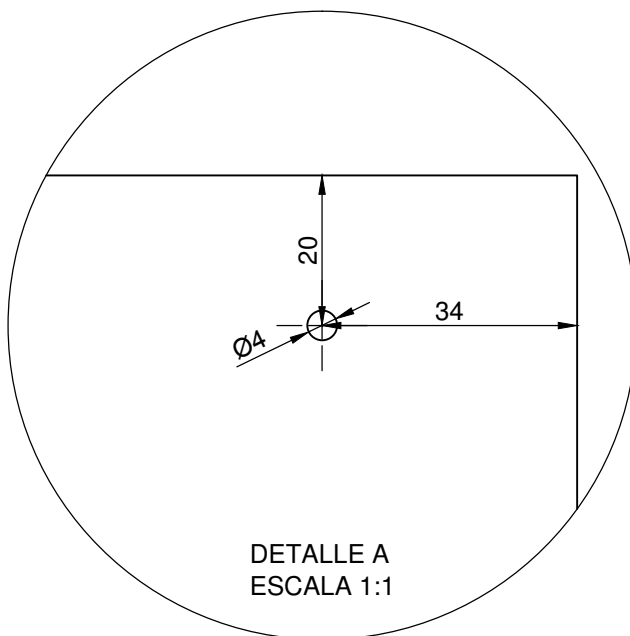
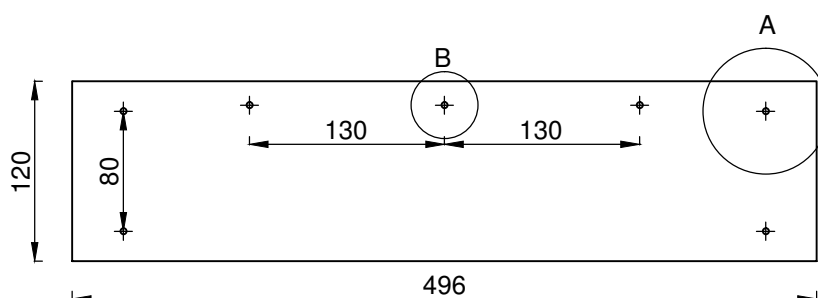
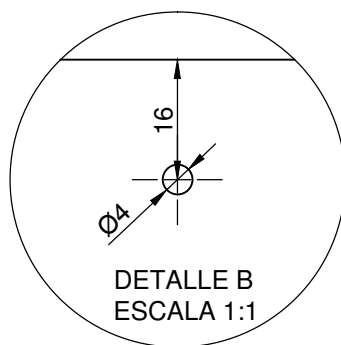


DETALLE A
ESCALA 2:1



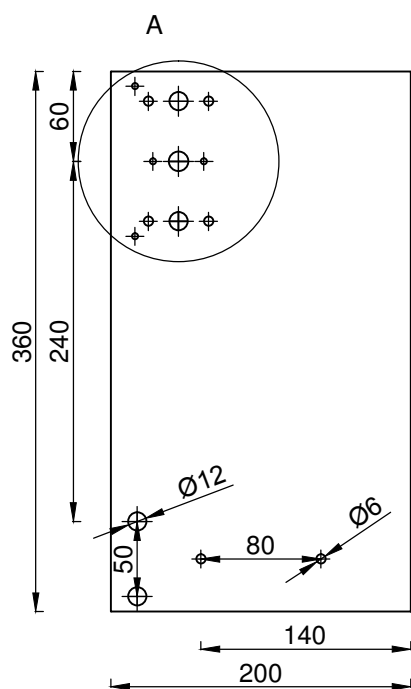
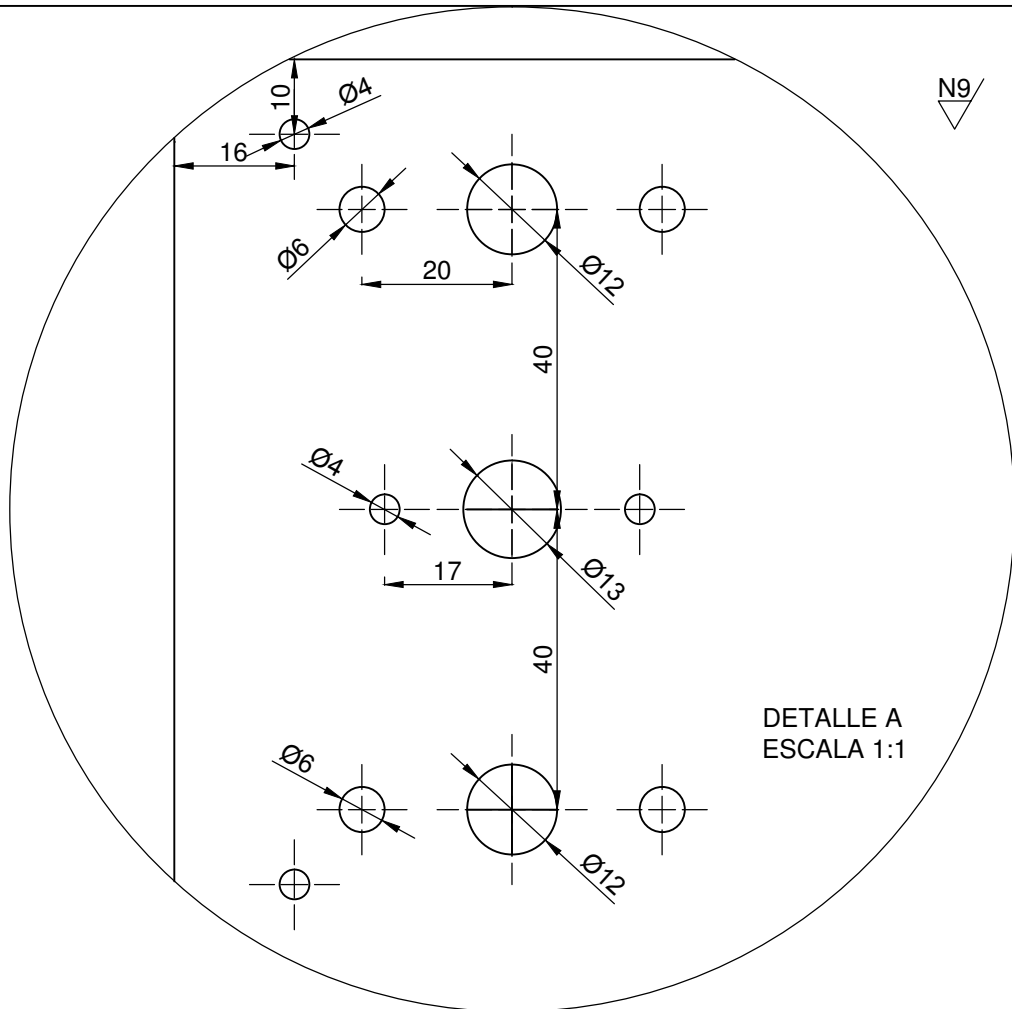
ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material:	MDF	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
SOPORTE DE LOS RODAMIENTOS LINEALES (X)		D03 - 304				



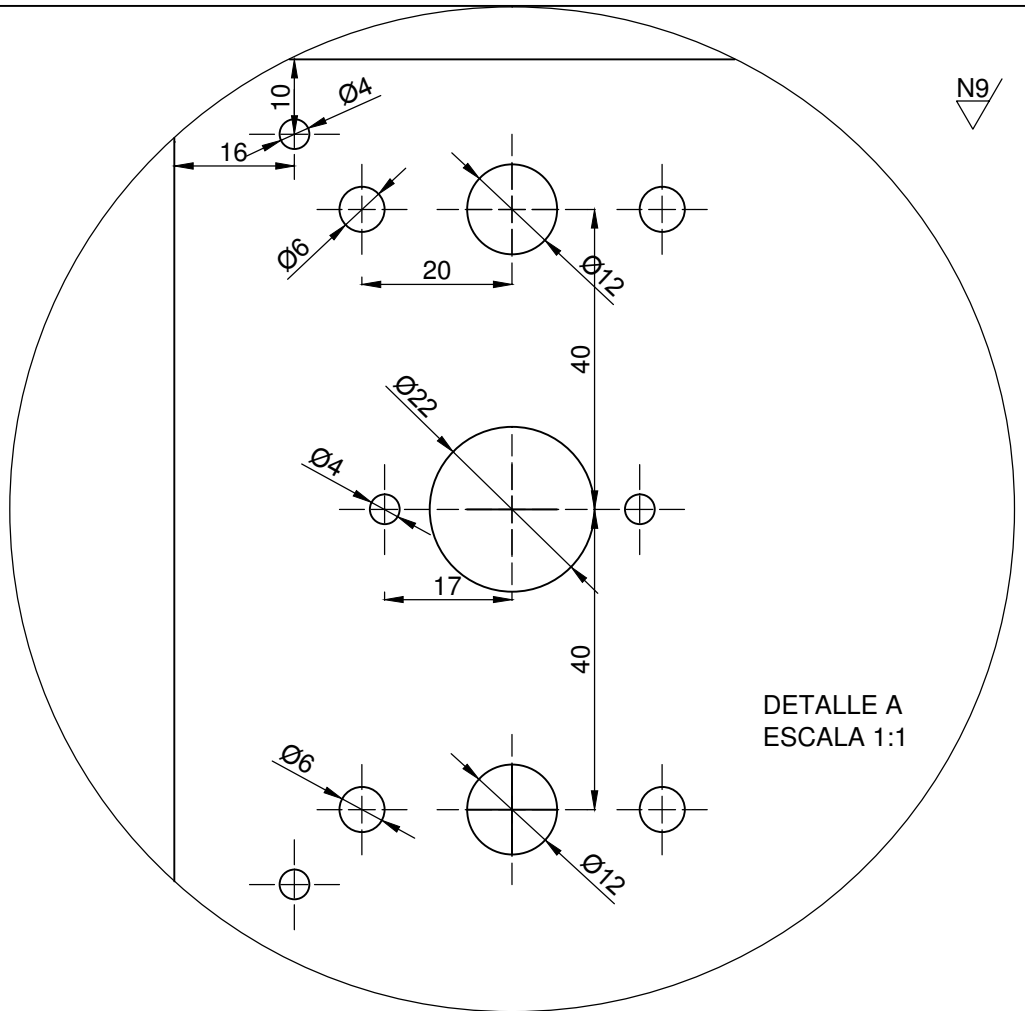
ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento						
Material: MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
ESPALDAR (Y)		D03 - 401				

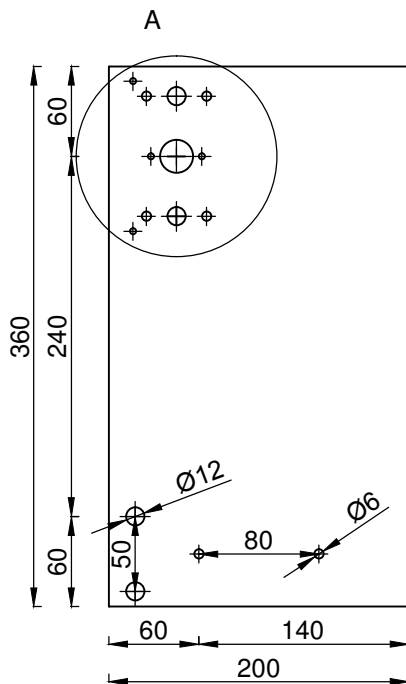


ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA				
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
COLUMNA CON TOPE PARA RODAMIENTO 608ZZ			D03 - 402				

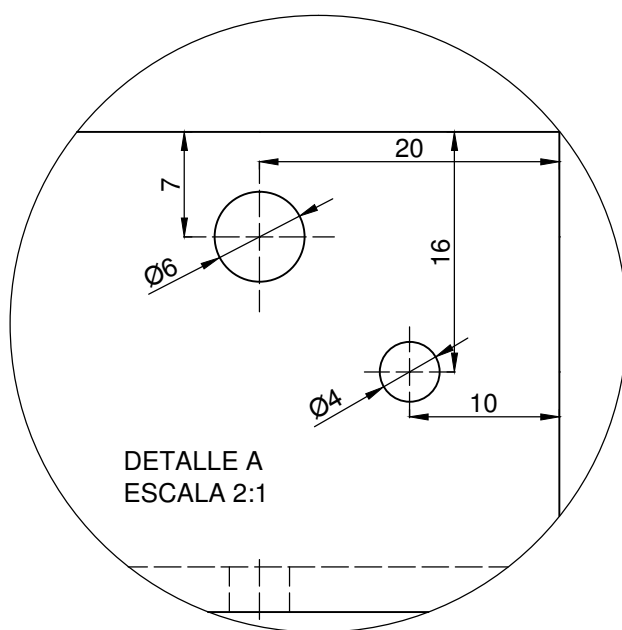
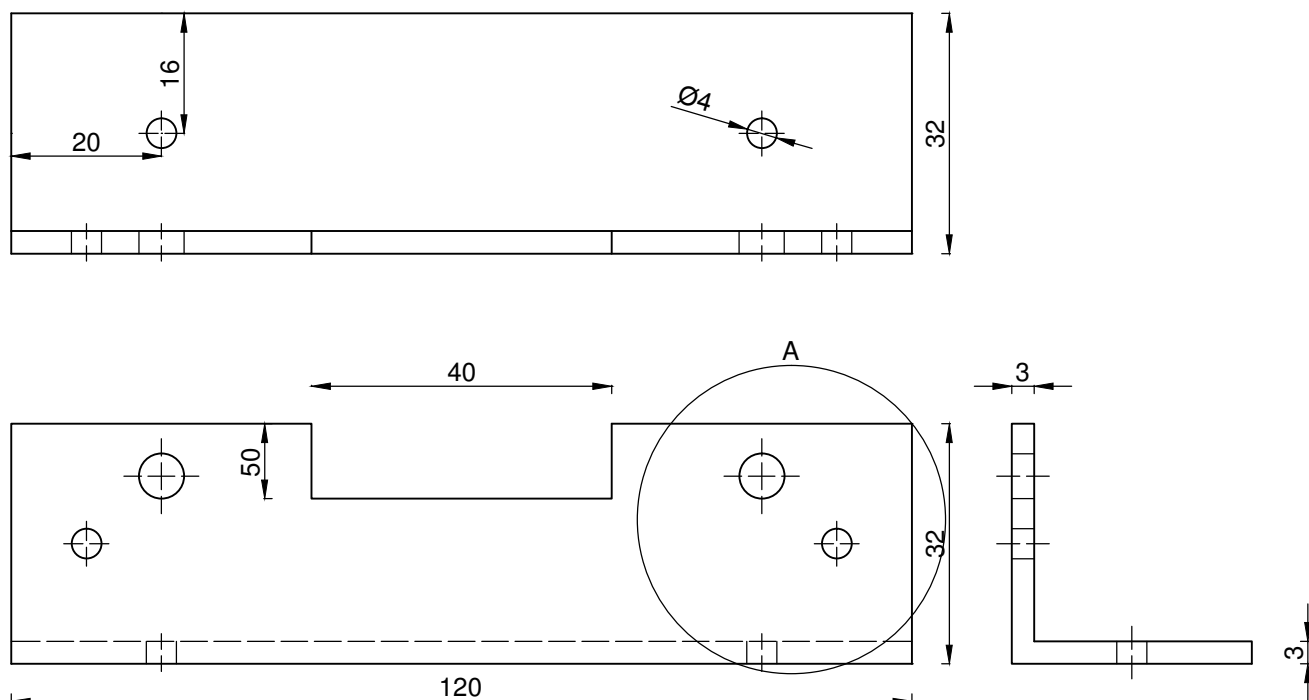


DETALLE A
ESCALA 1:1

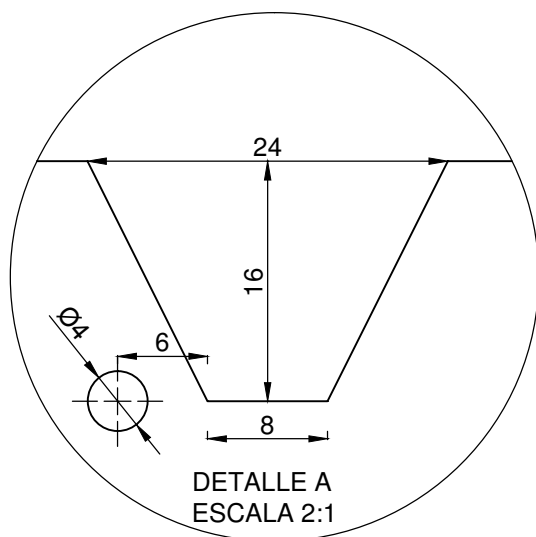
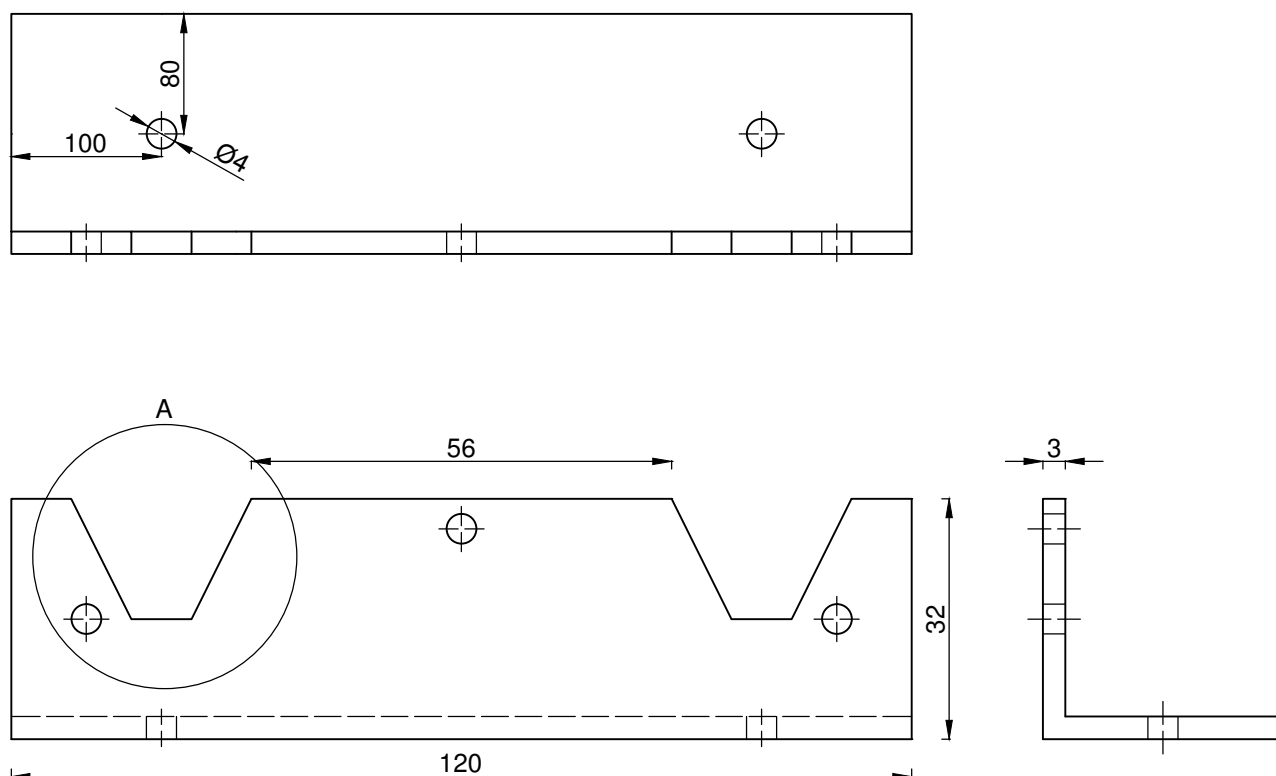


ESPESOR = 9mm

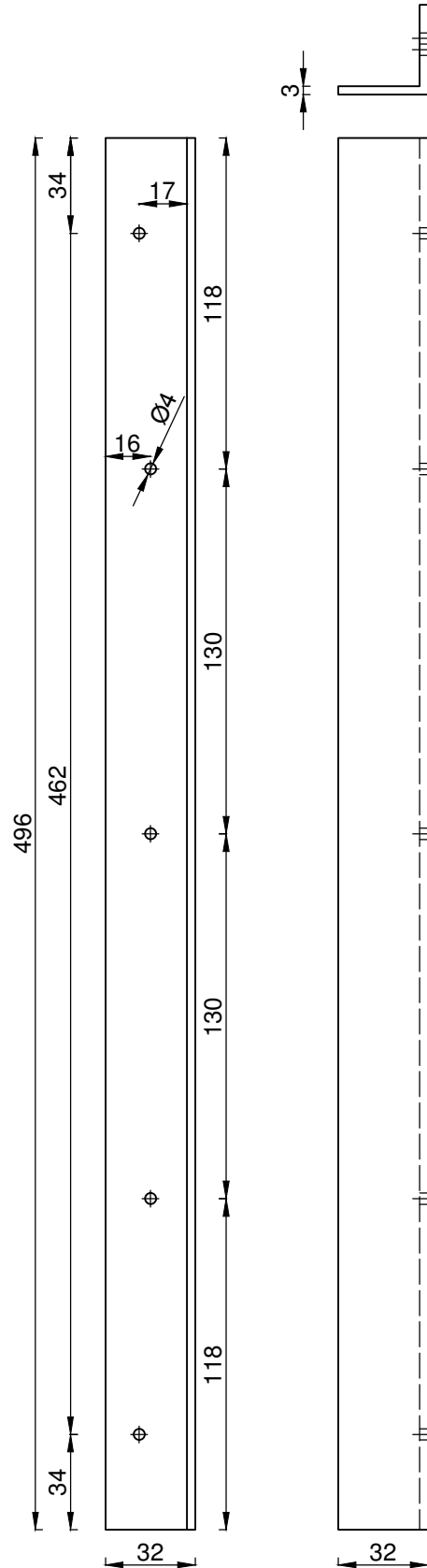
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento						
Material: MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
COLUMNA CON SOPORTE PARA RODAMIENTO 608ZZ		D03 - 403				



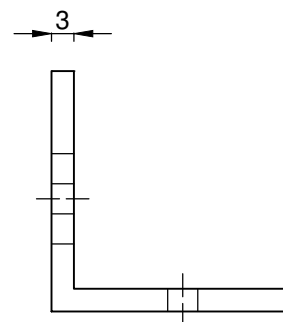
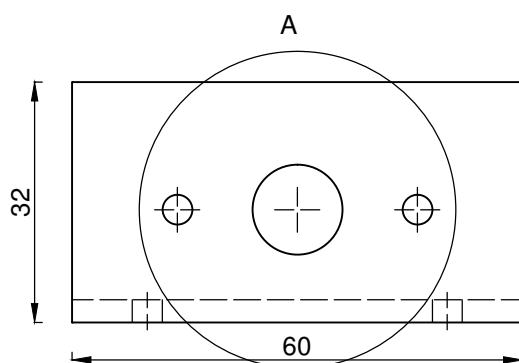
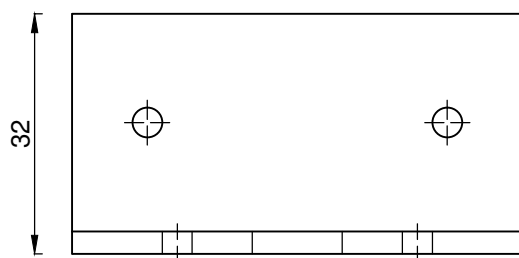
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material: Aluminio 6063	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
ÁNGULO ESPALDAR - COLUMNA IZQUIERDA		D03 - 404				



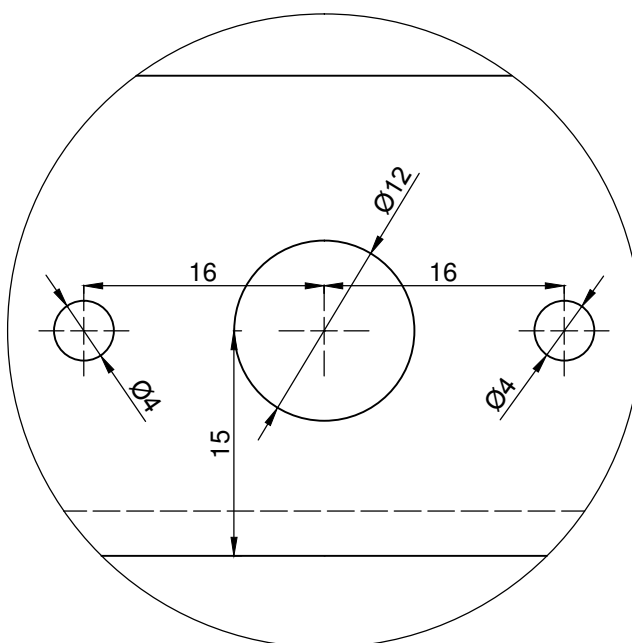
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material: Aluminio 6063	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
ÁNGULO ESPALDAR - COLUMNA DERECHA		D03 - 405				



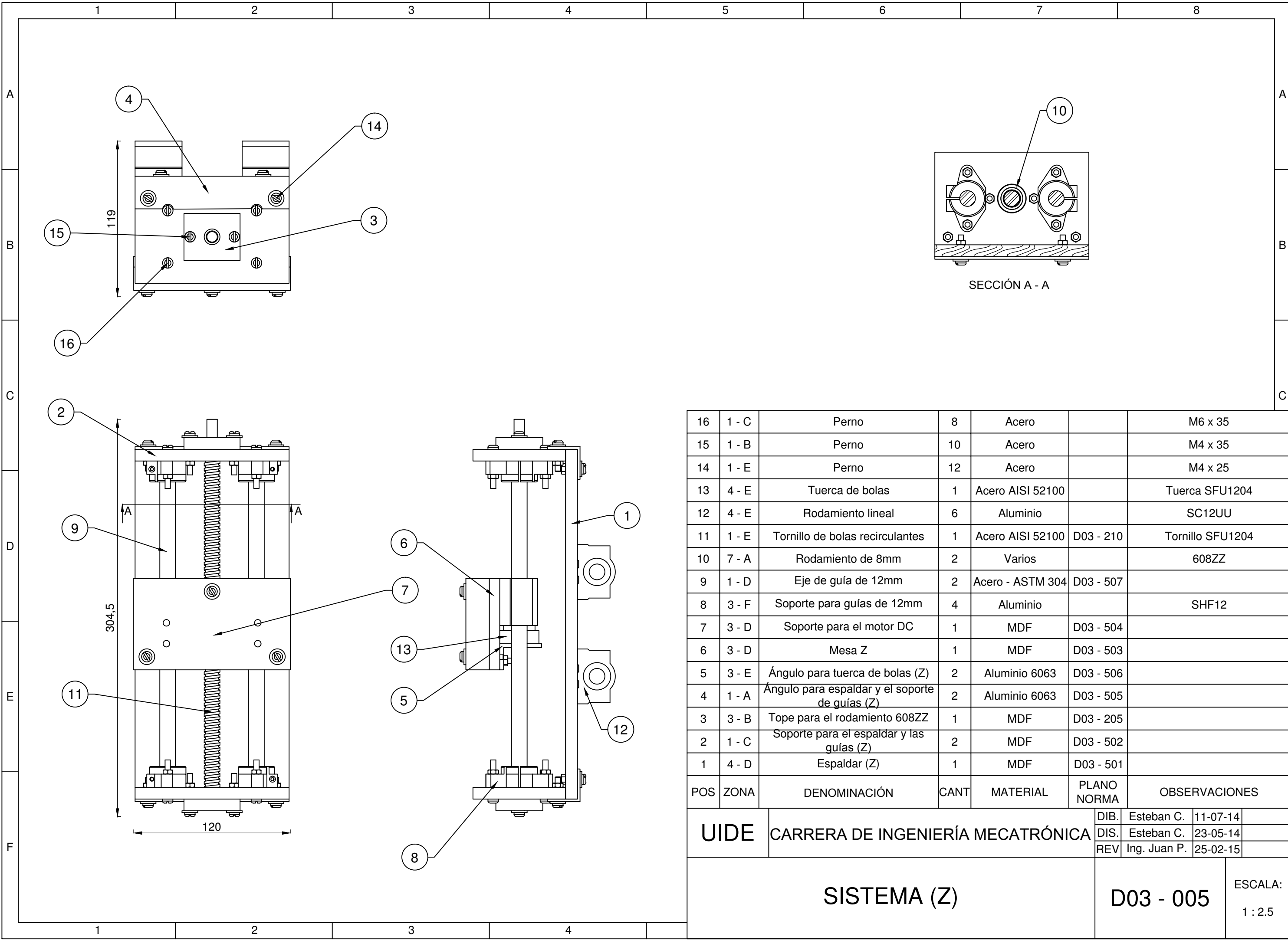
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	Aluminio 6063	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 2.5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
ÁNGULO PARA EL ESPALDAR (Y)			D03 - 406				



DETALLE A
ESCALA 2:1



Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material:	Aluminio 6063	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
ÁNGULO PARA LA TUERCA DE BOLAS (Y)		D03 - 407				



16	1 - C	Perno	8	Acero		M6 x 35
15	1 - B	Perno	10	Acero		M4 x 35
14	1 - E	Perno	12	Acero		M4 x 25
13	4 - E	Tuerca de bolas	1	Acero AISI 52100		Tuerca SFU1204
12	4 - E	Rodamiento lineal	6	Aluminio		SC12UU
11	1 - E	Tornillo de bolas recirculantes	1	Acero AISI 52100	D03 - 210	Tornillo SFU1204
10	7 - A	Rodamiento de 8mm	2	Varios		608ZZ
9	1 - D	Eje de guía de 12mm	2	Acero - ASTM 304	D03 - 507	
8	3 - F	Soporte para guías de 12mm	4	Aluminio		SHF12
7	3 - D	Soporte para el motor DC	1	MDF	D03 - 504	
6	3 - D	Mesa Z	1	MDF	D03 - 503	
5	3 - E	Ángulo para tuerca de bolas (Z)	2	Aluminio 6063	D03 - 506	
4	1 - A	Ángulo para espaldar y el soporte de guías (Z)	2	Aluminio 6063	D03 - 505	
3	3 - B	Tope para el rodamiento 608ZZ	1	MDF	D03 - 205	
2	1 - C	Soporte para el espaldar y las guías (Z)	2	MDF	D03 - 502	
1	4 - D	Espaldar (Z)	1	MDF	D03 - 501	
POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIAL	PLANO NORMA	OBSERVACIONES

UIDE

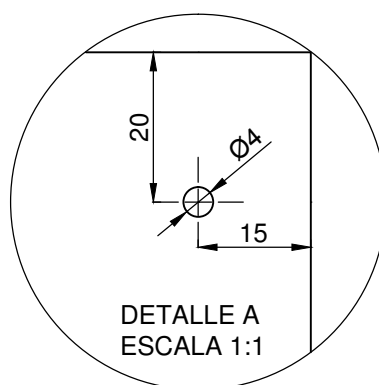
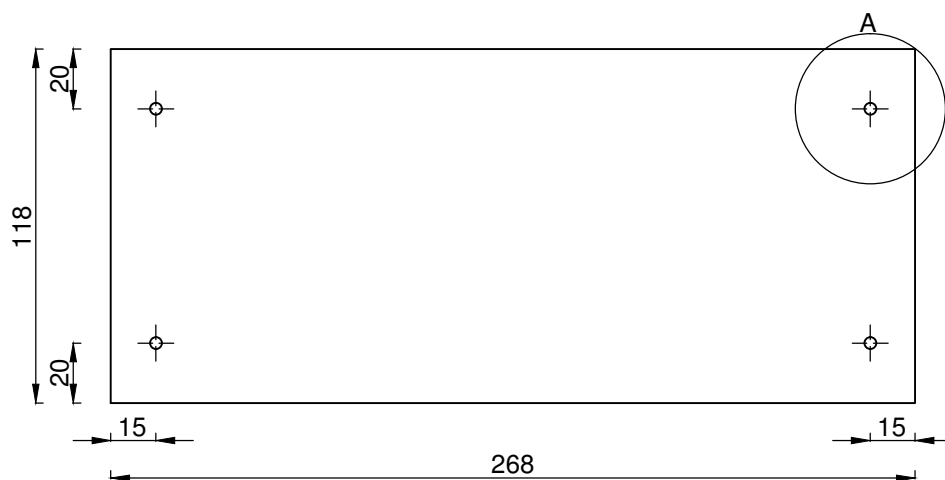
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DIB.	Esteban C.	11-07-14	
DIS.	Esteban C.	23-05-14	
REV	Ing. Juan P.	25-02-15	

SISTEMA (Z)

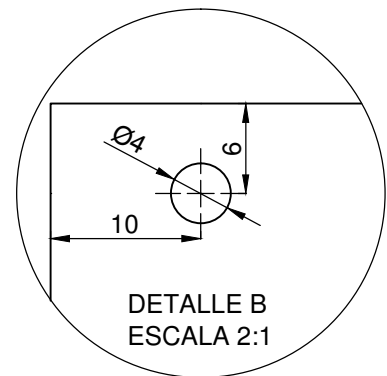
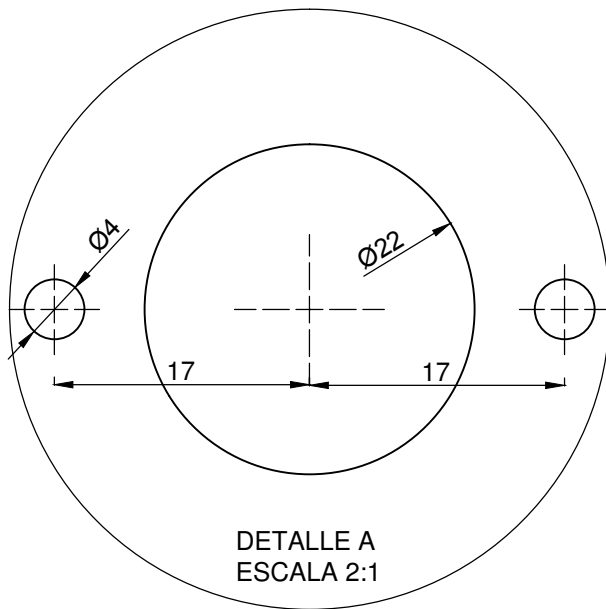
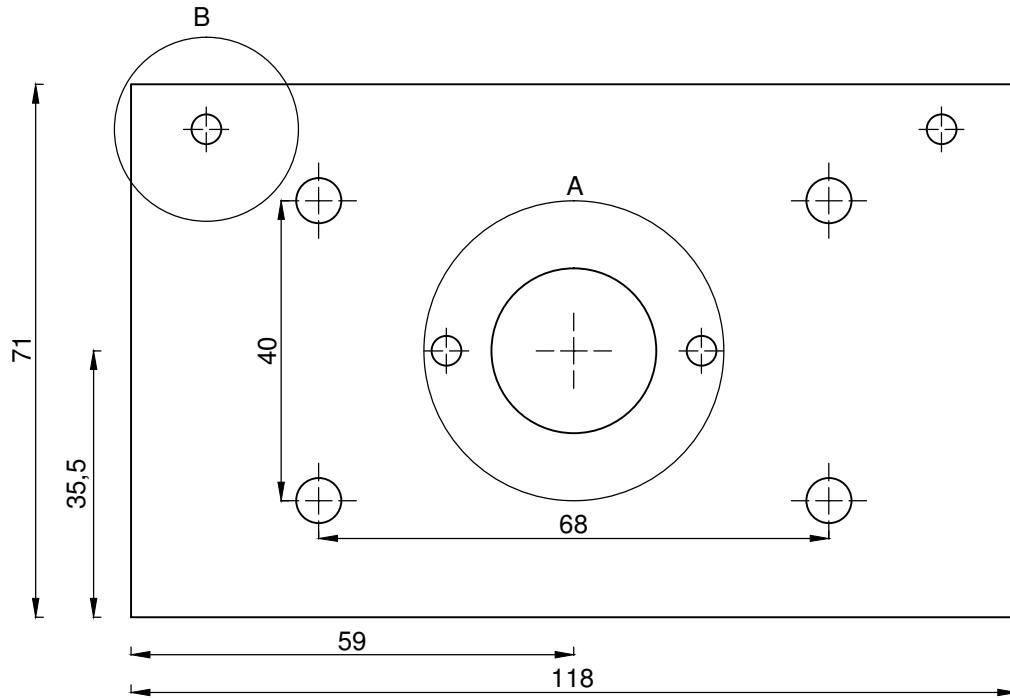
D03 - 005

ESCALA:
1 : 2.5



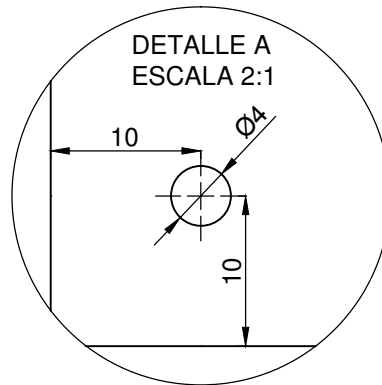
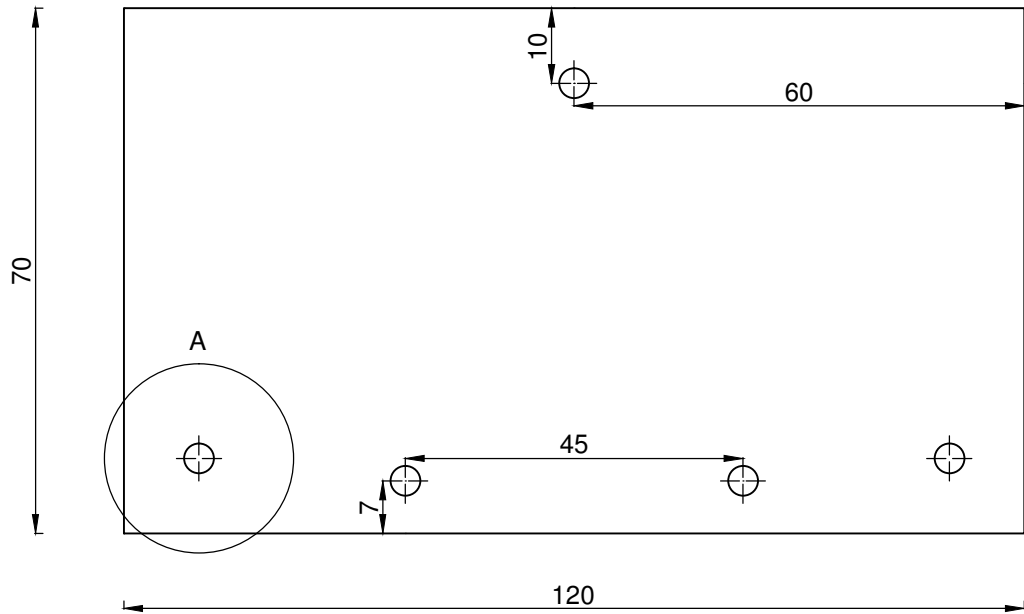
ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 2.5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
Espaldar (Z)			D03 - 501				



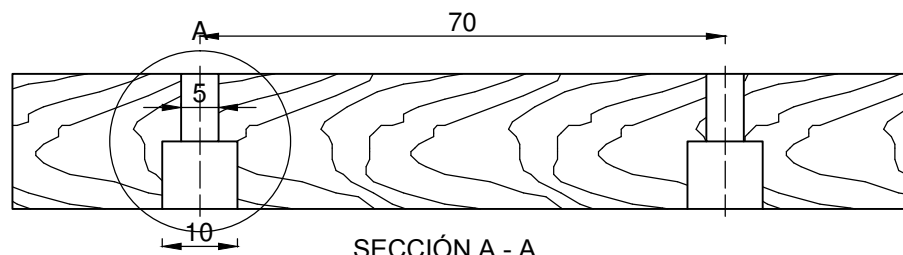
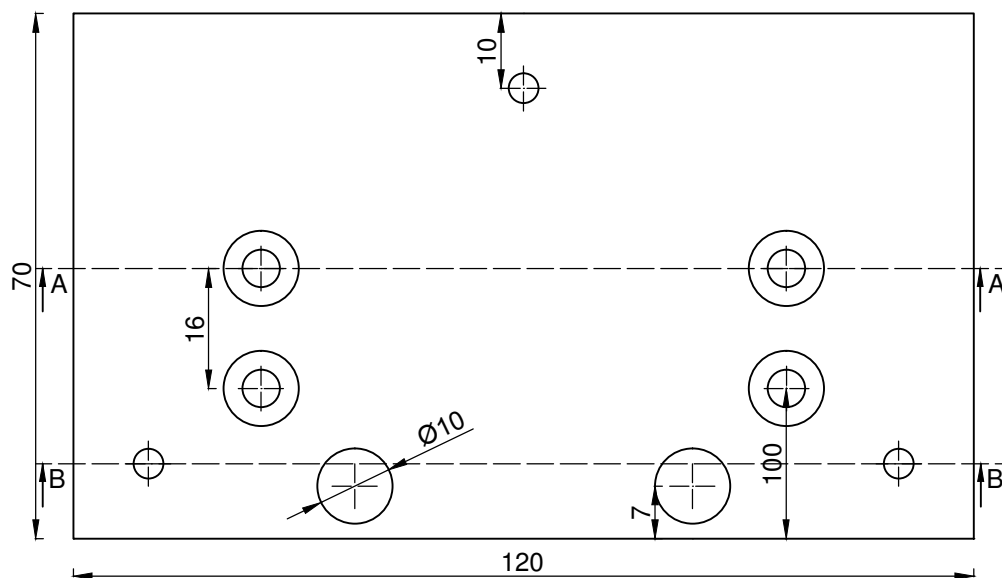
ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento						
Material:	MDF	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
SOPORTE PARA EL ESPALDAR Y LAS GUÍAS (Z)		D03 - 502				

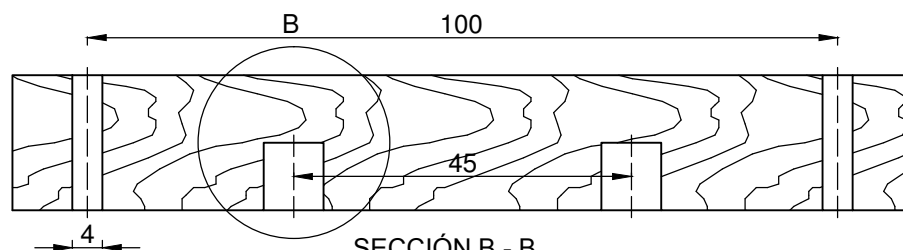


ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
MESA (Z)			D03 - 503				

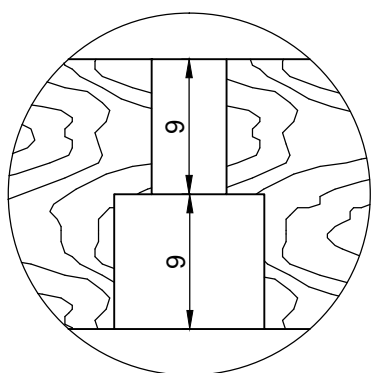


SECCIÓN A - A

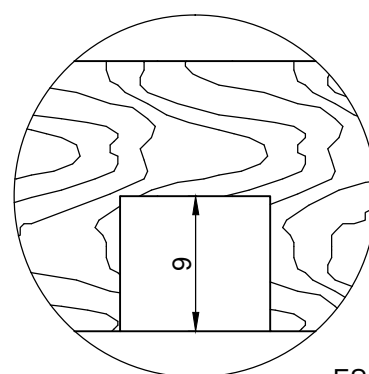


SECCIÓN B - B

DETALLE A
ESCALA 2:1

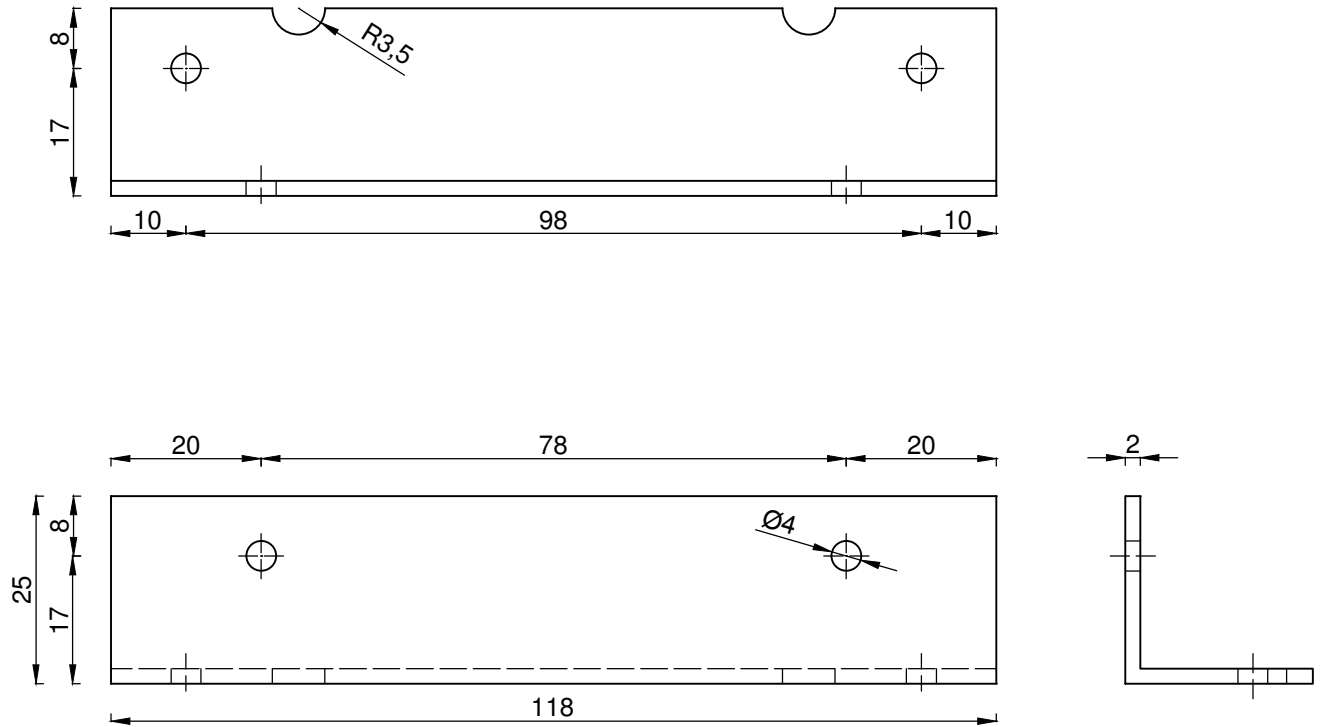


DETALLE B
ESCALA 2:1

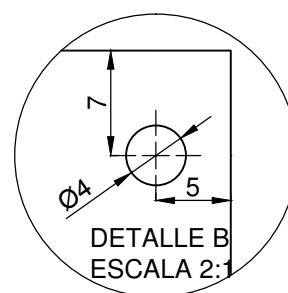
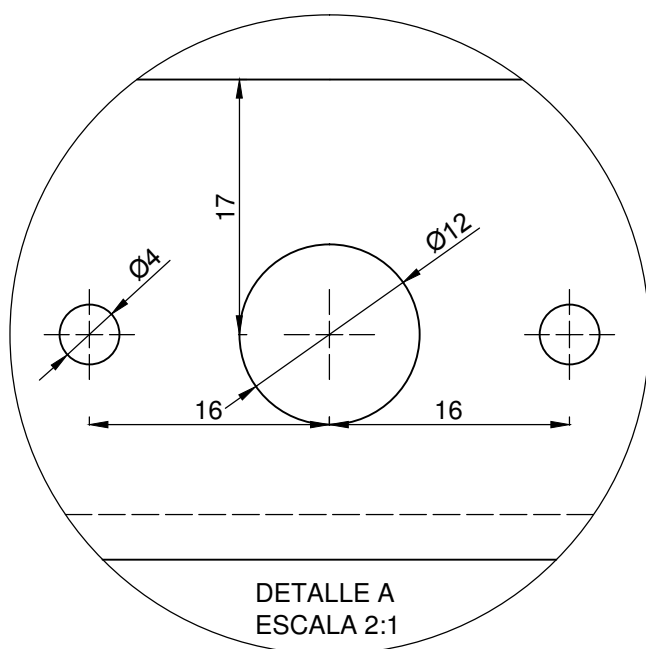
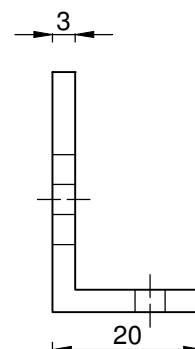
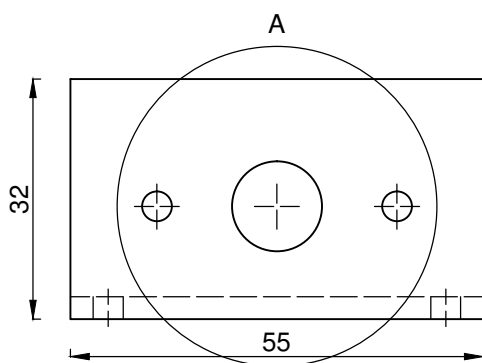
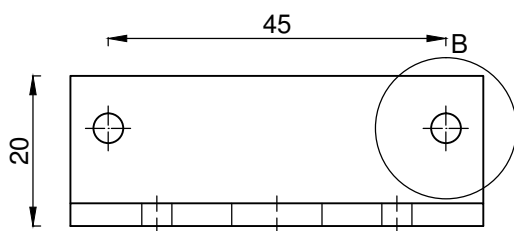


ESPESOR = 18mm

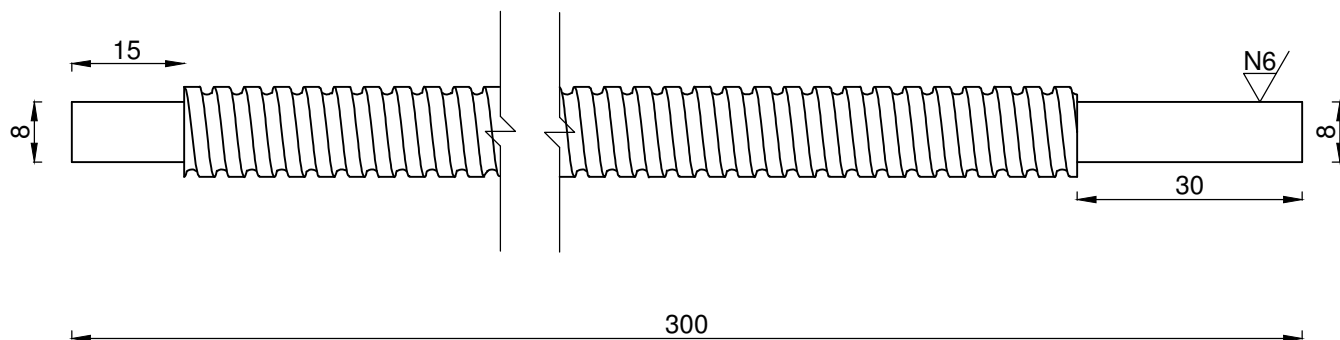
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
SOPORTE PARA EL MOTOR DC			D03 - 504				



Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento						
Material: Aluminio 6063	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
ÁNGULO PARA ESPALDAR Y SOPORTE DE GUÍAS (Z)		D03 - 505				

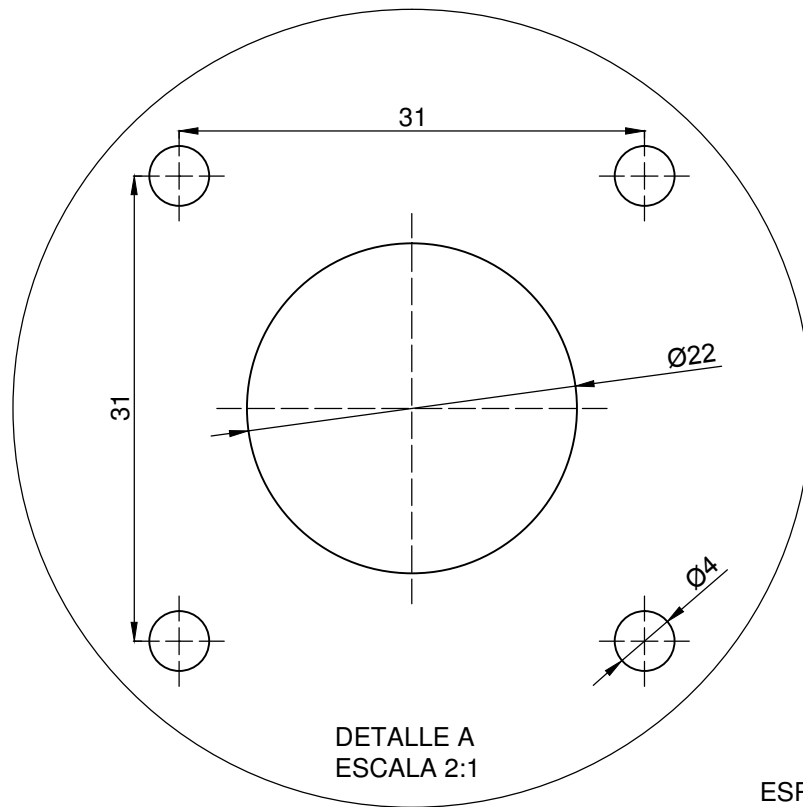
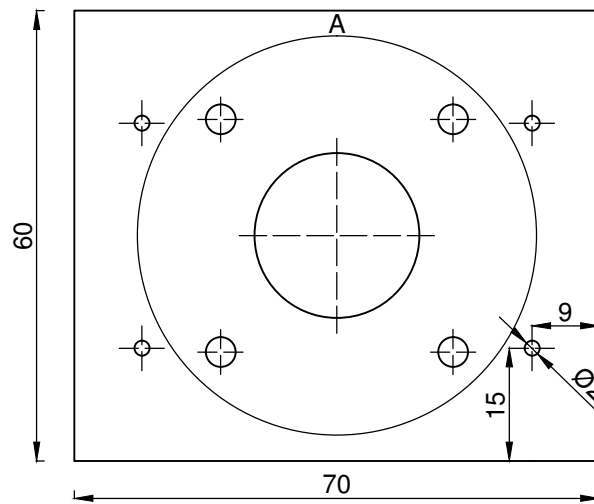


Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	Aluminio 6063	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
ÁNGULO PARA LA TUERCA DE BOLAS (Z)			D03 - 506				

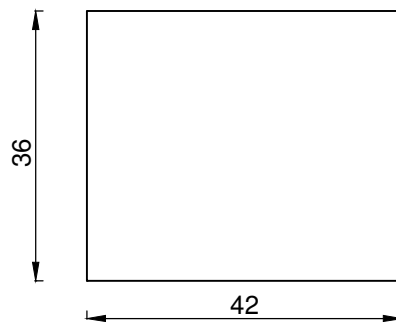


Tornillo de bolas SFU1204

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA			
Material: Acero AISI 52100	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
TORNILLO DE BOLAS RECIRCULANTES (Z)		D03 - 507				

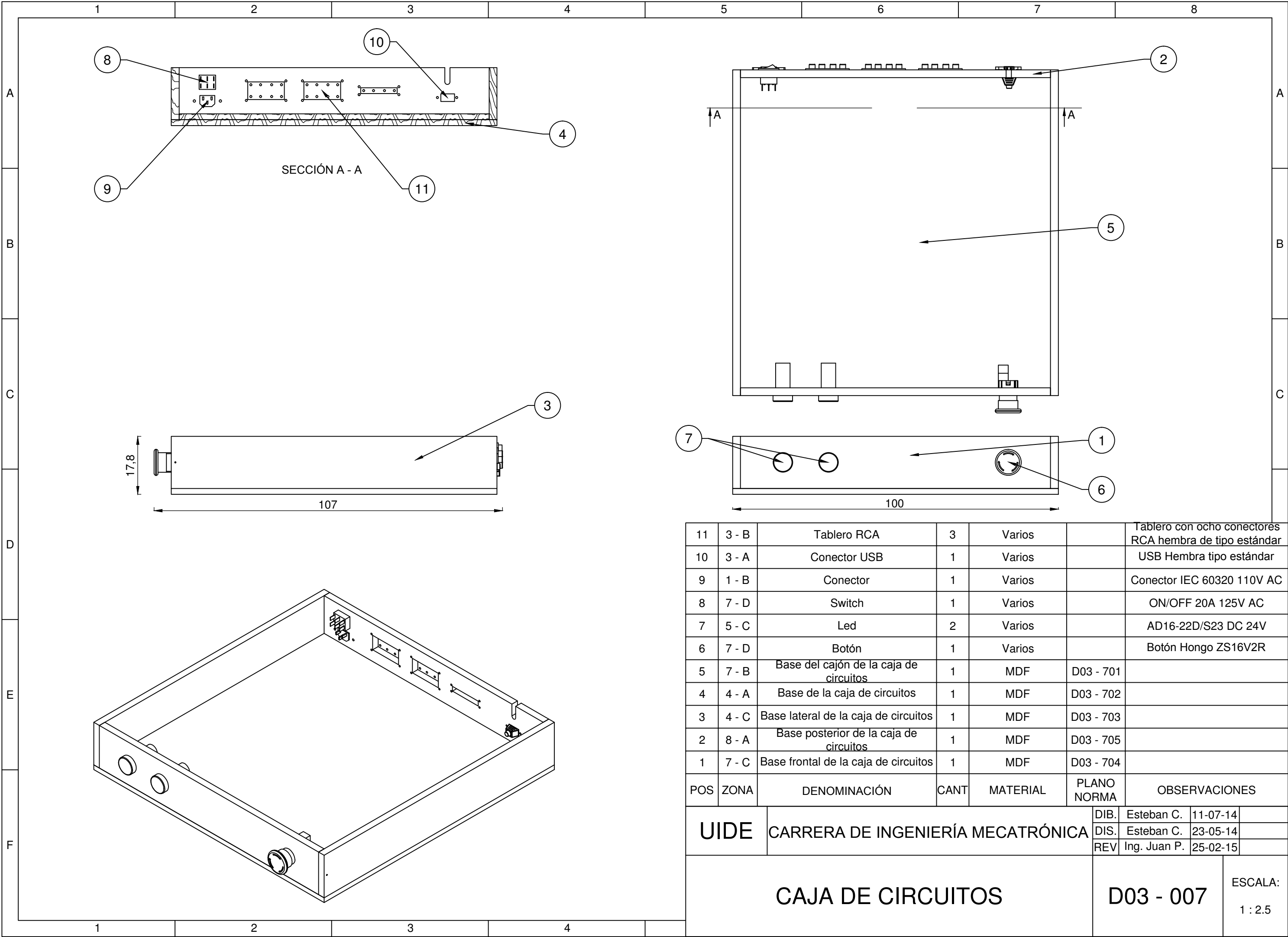


Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento						
Material:	MDF	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
BASE PARA EL MOTOR PASO A PASO		D03 - 601				



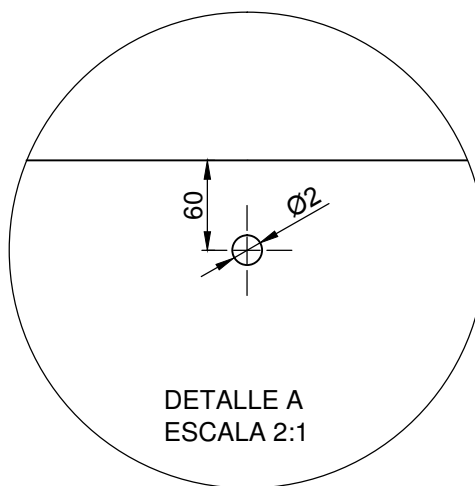
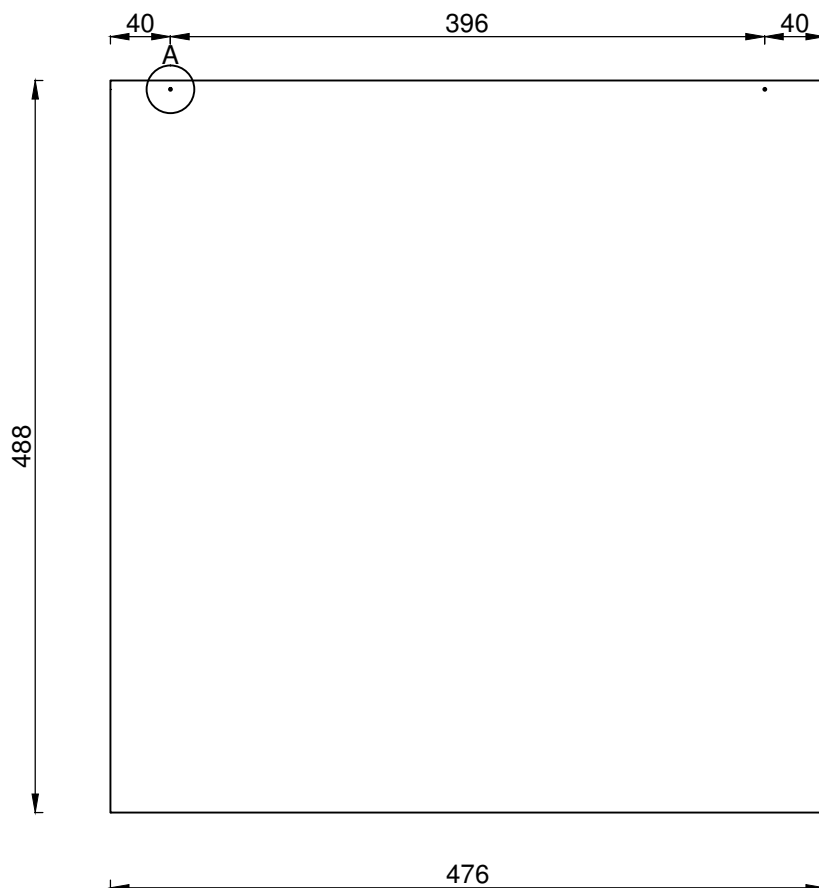
ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
Recubrimiento: Sin Recubrimiento						
Material: MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 1	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
			DIS.	Esteban C.	23-05-14	
			REV	Ing. Parra	25-02-15	
SOPORTE LATERAL DEL MOTOR PaP		D03 - 602				



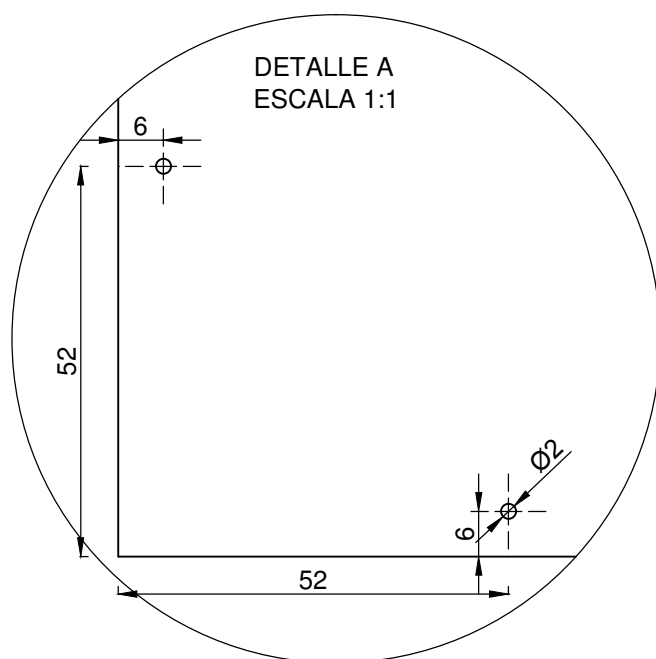
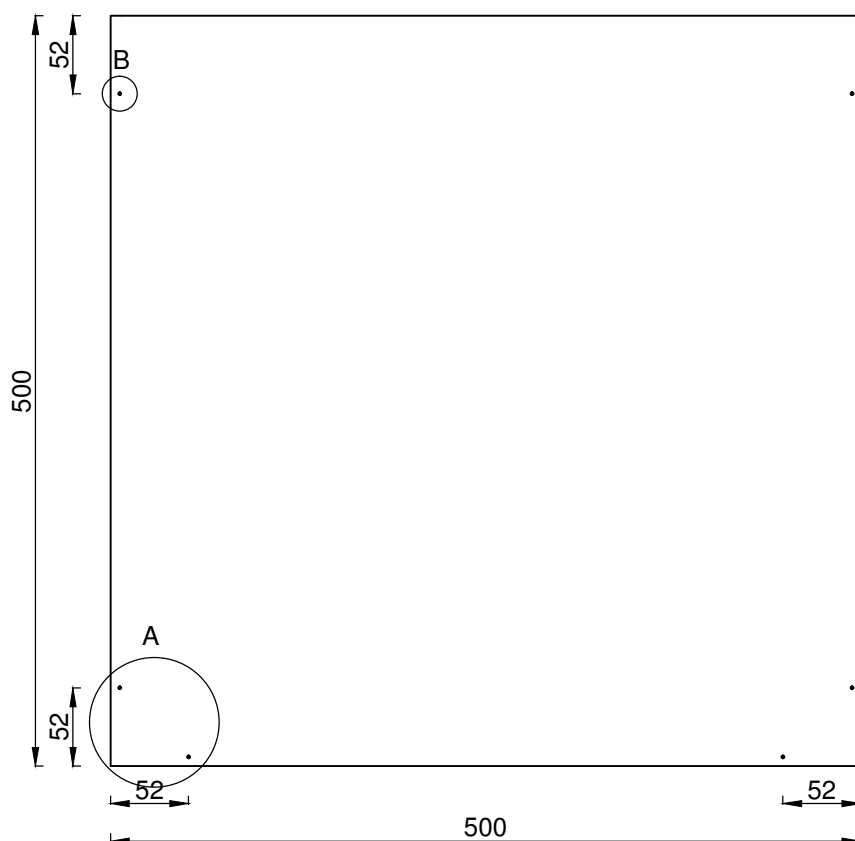
11	3 - B	Tablero RCA	3	Varios		Tablero con ocho conectores RCA hembra de tipo estándar
10	3 - A	Conector USB	1	Varios		USB Hembra tipo estándar
9	1 - B	Conector	1	Varios		Conector IEC 60320 110V AC
8	7 - D	Switch	1	Varios		ON/OFF 20A 125V AC
7	5 - C	Led	2	Varios		AD16-22D/S23 DC 24V
6	7 - D	Botón	1	Varios		Botón Hongo ZS16V2R
5	7 - B	Base del cajón de la caja de circuitos	1	MDF	D03 - 701	
4	4 - A	Base de la caja de circuitos	1	MDF	D03 - 702	
3	4 - C	Base lateral de la caja de circuitos	1	MDF	D03 - 703	
2	8 - A	Base posterior de la caja de circuitos	1	MDF	D03 - 705	
1	7 - C	Base frontal de la caja de circuitos	1	MDF	D03 - 704	
POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIAL	PLANO NORMA	OBSERVACIONES

UIDE	CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
		DIS.	Esteban C.	23-05-14	
		REV	Ing. Juan P.	25-02-15	
CAJA DE CIRCUITOS		D03 - 007			ESCALA: 1 : 2.5



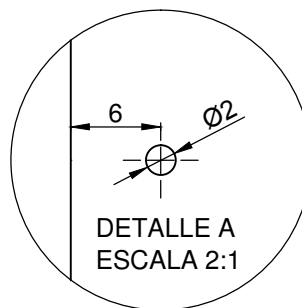
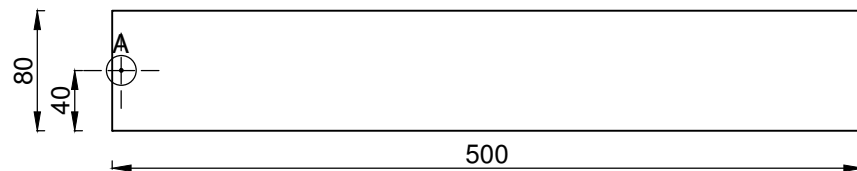
ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento			MECATRÓNICA				
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
BASE DEL CAJÓN DE LA CAJA DE CIRCUITOS			D03 - 701				



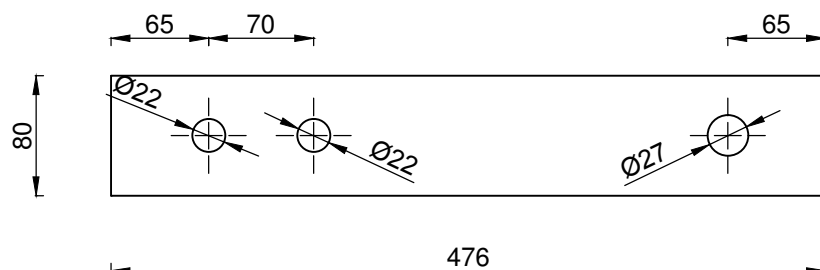
ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
BASE DE LA CAJA DE CIRCUITOS			D03 - 702				



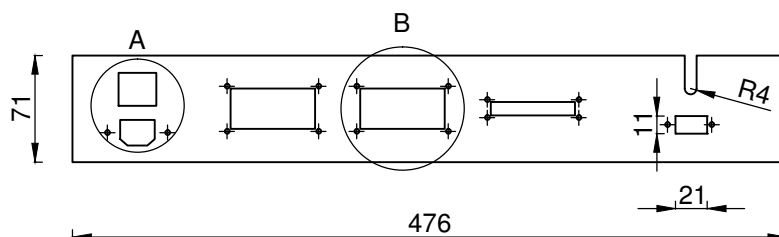
ESPESOR = 9mm

Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
BASE LATERAL DE LA CAJA DE CIRCUITOS			D03 - 703				

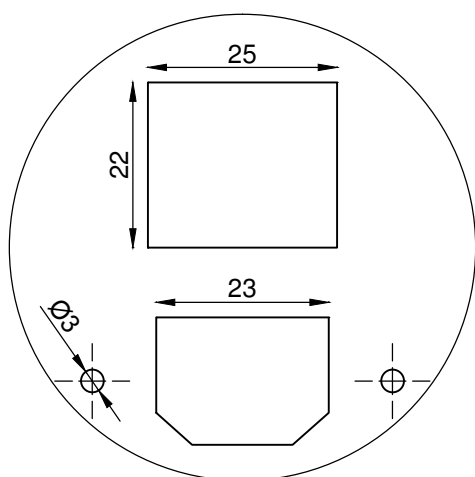


ESPESOR = 9mm

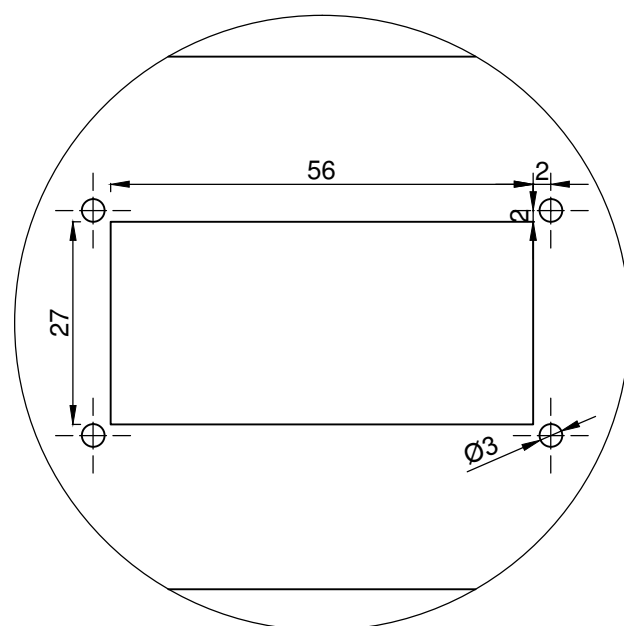
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 2.5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
BASE FRONTAL DE LA CAJA DE CIRCUITOS			D03 - 704				



DETALLE A
ESCALA 1:1

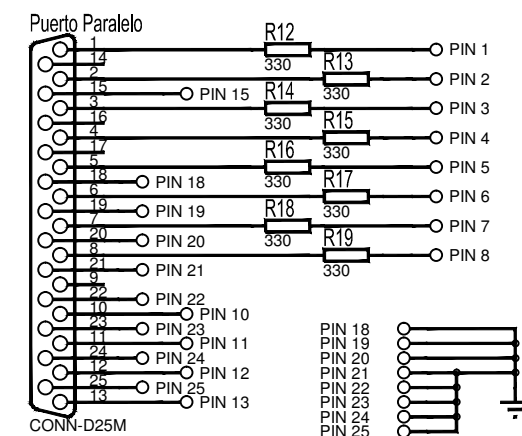
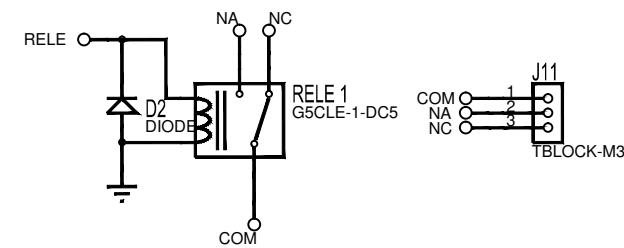
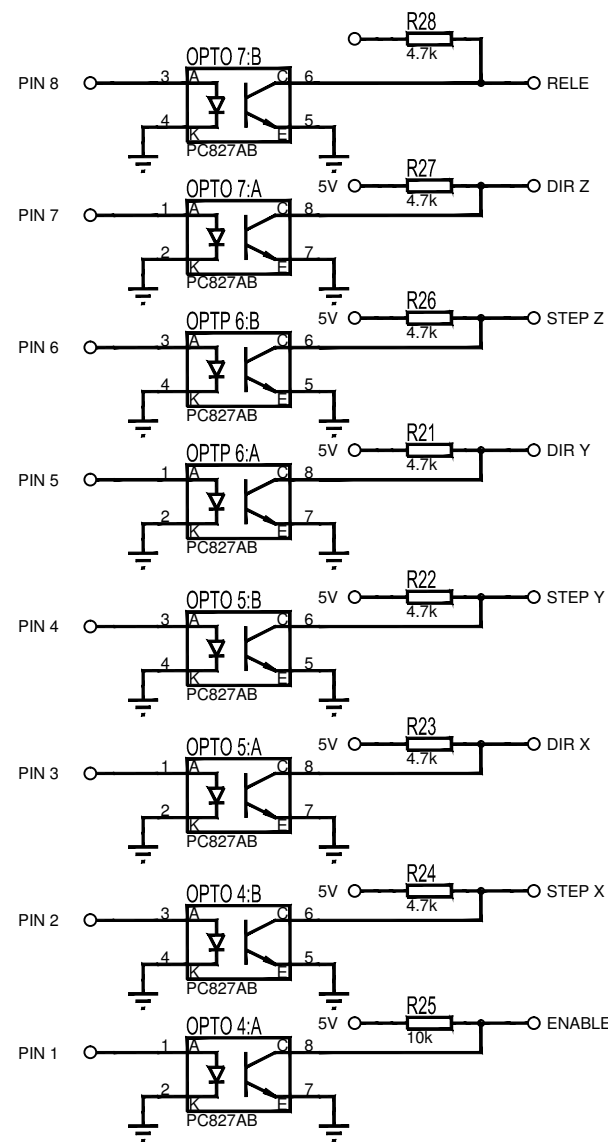
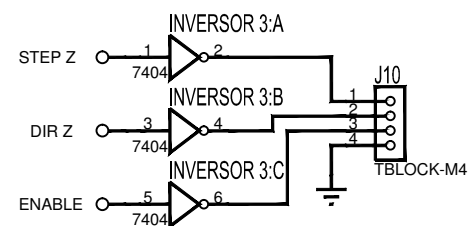
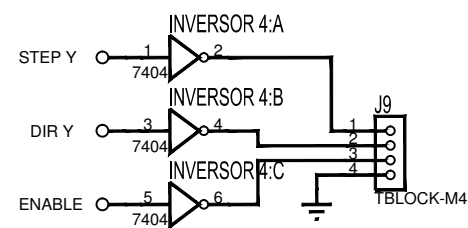
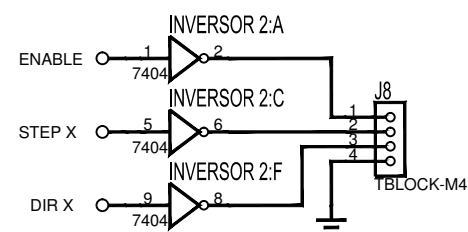
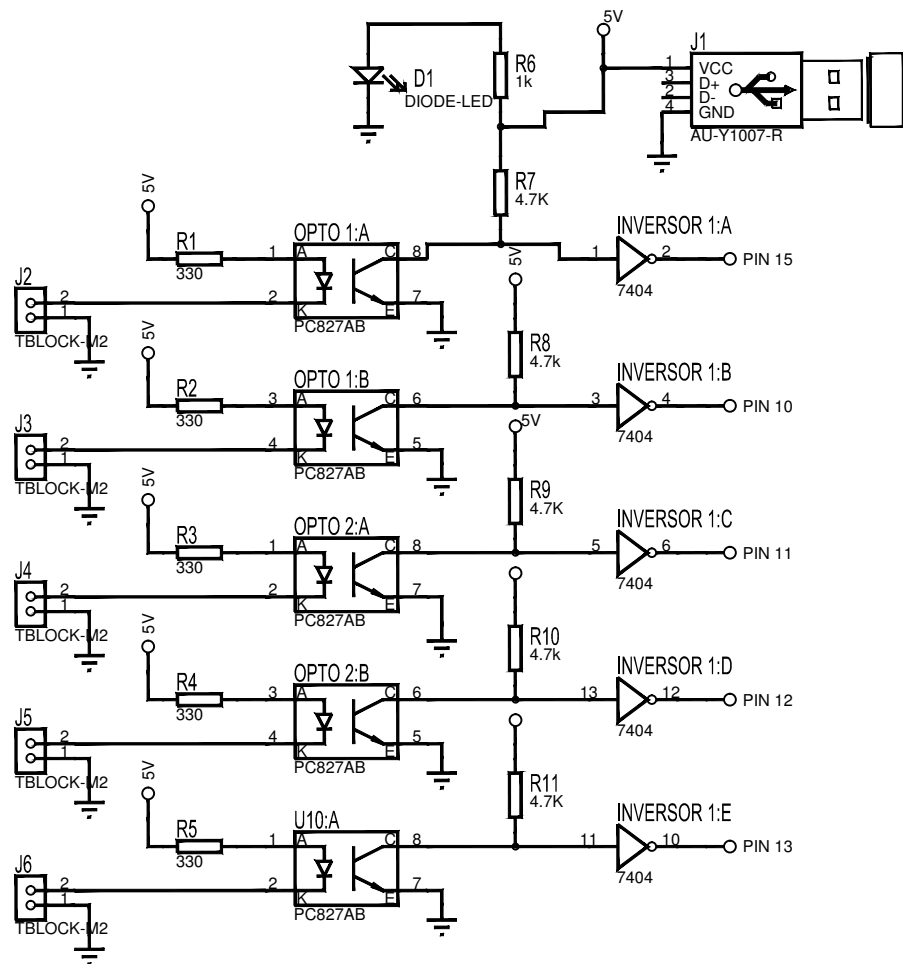


DETALLE B
ESCALA 1:1

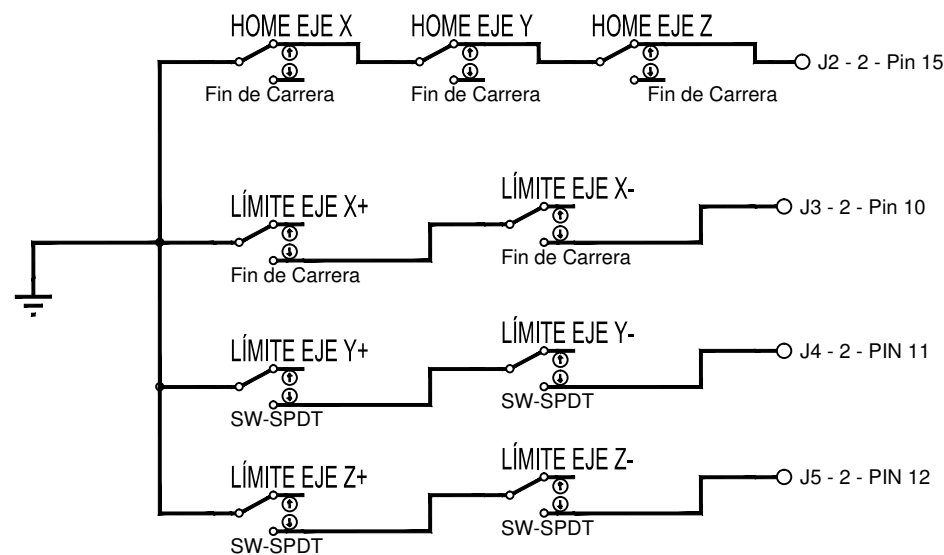
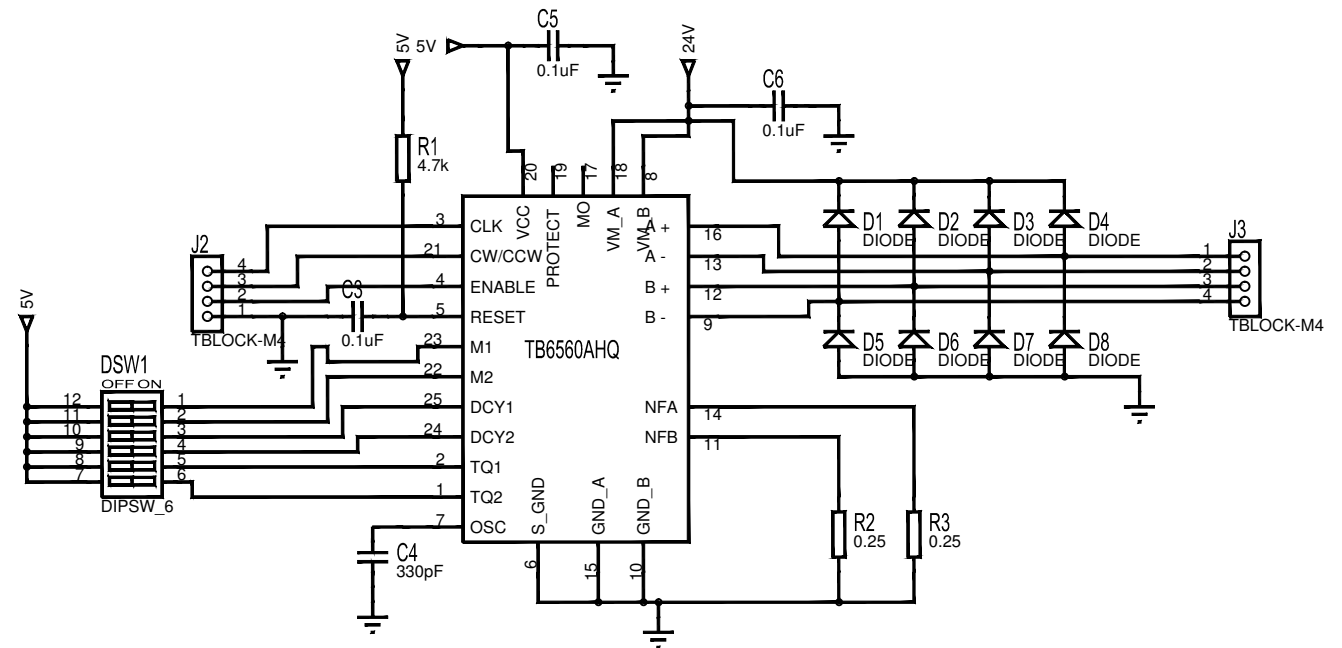
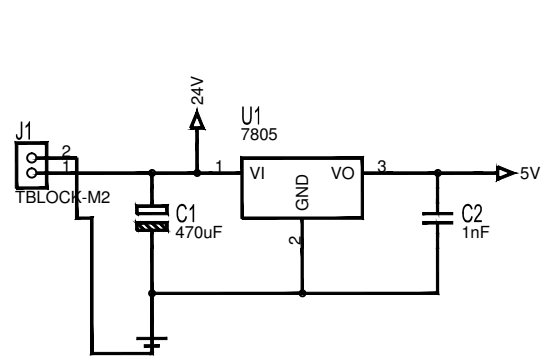


ESPESOR = 9mm

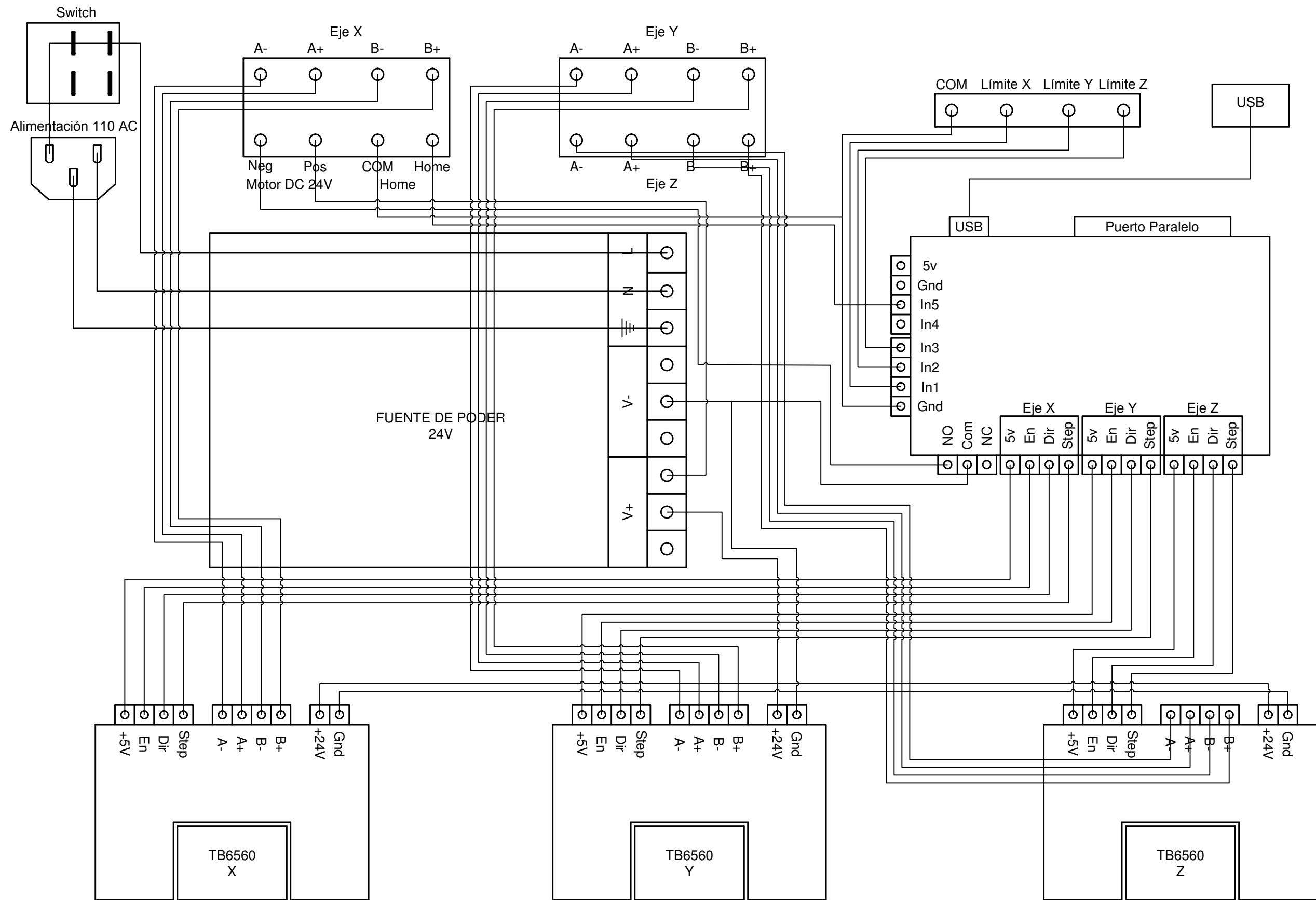
Tratamiento: Sin Tratamiento		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
Recubrimiento: Sin Recubrimiento							
Material:	MDF	Tolerancia ±1	ESCALA 1 : 2.5	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
				DIS.	Esteban C.	23-05-14	
				REV	Ing. Parra	25-02-15	
BASE POSTERIOR DE LA CAJA DE CIRCUITOS			D03 - 705				



UIDE	CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
		DIS.	Esteban C.	23-05-14	
		REV	Ing. Juan P.	25-02-15	
PLACA DE CONTROL		D02 - 001			ESCALA: N/A



UIDE	CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
		DIS.	Esteban C.	23-05-14	
		REV	Ing. Juan P.	25-02-15	
ACONDICIONAMIENTO DRIVER TB6560		D02 - 002			ESCALA: N/A



UIDE	CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	Esteban C.	11-07-14	
		DIS.	Esteban C.	23-05-14	
		REV	Ing. Juan P.	25-02-15	
DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONEXIÓN		D02 - 003			ESCALA: N/A