

# Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROUTER CNC DE 3  
EJES CON UN ÁREA DE TRABAJO DE 850 X 550 X 80 MM, PARA TRABAJOS  
EN MADERA”**

**Tesis presentada por el Bachiller:**

Laura Huarcaya, Richard Nelson

**Para optar por el Título Profesional de:**

Ingeniero Mecatrónico

**Asesor:**

Castro Valdivia, Jorge

**Arequipa – Perú**

**2018**

*Universidad Católica de Santa María*

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ [ucsm@ucsm.edu.pe](mailto:ucsm@ucsm.edu.pe) 🌐 <http://www.ucsm.edu.pe> Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

**INFORME DICTAMINATORIO**

**VISTO**

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE  
ROUTER CNC DE 3 EJES CON UN AREA DE  
TRABAJO DE 850 MM x 550 MM x 80 MM, PARA  
TRABAJOS EN MADERA”**

Presentado por el Bachiller:

**LAURA HUARCAYA RICHARD NELSON**

Nuestro **DICTAMEN** es:

*Para a sustentación*

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Arequipa, *12 Diciembre* 2018

  
\_\_\_\_\_  
**ING. JORGE CASTRO VALDIVIA**

  
\_\_\_\_\_  
**ING. MARCO CARPIO RIVERA**

## DEDICATORIA

Dedico de manera especial este trabajo a mis padres, pues ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentaron en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, en ellos tengo el espejo en el cual me quiero reflejar, pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarlos cada día más.

Gracias a Dios por concederme los mejores padres.

A mis hermanos y amigos, que son personas que me han ofrecido el amor y la calidez de una familia, dentro y fuera de mi hogar.

## RESUMEN

El constante avance de la tecnología, requiere procesos de manufactura mucho más rápidas y de mayor calidad, siendo estos procesos parte fundamental en el desarrollo tecnológico de muchos procesos de fabricación.

Uno de los sistemas en la automatización más conocido para distintas máquinas herramientas es el sistema CNC (control numérico computarizado), la cual permite el incremento de productividad, precisión, rapidez y flexibilidad de las máquinas herramientas. El uso de éstas ha permitido la mecanización de piezas muy complejas que difícilmente se hubieran podido fabricar de forma manual en un tiempo corto obteniendo un producto final de calidad.

En la actualidad existen diversas máquinas de control número con múltiples configuraciones y funciones que permiten la realización de distintos procesos, Teniendo una característica común, el elevado coste económico y su difícil acceso a estas.

Este proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo Router CNC de 850 x 550 x 80 MM de area de trabajo, que permitira principalmente la invistigacion del sistema CNC en maquinas herramienta, asi como la posibilidad de realizar distintas aplicaciones, tales como fresado, perforado y grabado en madera. Por ello al ser una máquina de control numérico, el usuario podrá realizar el diseño en computadora y tendrá la posibilidad de programar el proceso de corte o alguna otra operación anteriormente mencionada, teniendo una máquina profesional accesible a un bajo costo.

**Palabras claves:** Diseño, fabricación, prototipo, Router CNC.

## ABSTRACT

The constant advance of technology requires much faster manufacturing processes and higher quality, these processes being a fundamental part in the technological development of many manufacturing processes.

One of the most well-known automation systems for different machine tools is the CNC system (computerized numerical control), which allows the increase of productivity, precision, speed and flexibility of the machine tools. The use of these has allowed the mechanization of very complex pieces that could hardly have been manufactured manually in a short time getting a final quality product.

Nowadays there are several number control machines with multiple configurations and functions that allow the realization of different processes, having a common characteristic, it is expensive and difficult access to these.

This project consists of the design and building of a CNC Router prototype 850 x 550 x 80 MM working area, which will allow mainly the investigation of the CNC system in machine tools, as well as the possibility of making different applications, such as milling, perforated and engraved in wood.

Therefore, being a numerical control machine, the user will be able to design the computer and will have the possibility of programming the cutting process or some other operation mentioned above, having a professional machine accessible at a low cost.

**Keywords:** Design, manufacturing, prototype, CNC Router.

## INDICE

DEDICATORIA .....	i
RESUMEN .....	ii
ABSTRACT .....	iii
INDICE .....	iv
INDICE DE FIGURAS .....	ix
INDICE DE TABLAS .....	xiv
CAPITULO I .....	1
MARCO METODOLOGICO .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.4. OBJETIVOS .....	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	3
1.4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.5. ALCANCE .....	4
1.6. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.7. METODOLOGÍA .....	5
1.8. LIMITACIONES .....	7
CAPITULO II .....	8
MARCO TEORICO .....	8

2.1.	PROCESOS DE MECANIZADO POR FRESADO .....	8
2.2.	LA MÁQUINA CNC.....	9
2.3.	FRESADORA VS ROUTER .....	11
2.4.	TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA .....	12
2.4.1.	Tipos y Composición .....	12
2.4.2.	Características Físicas de los Tableros .....	13
2.4.3.	Características Mecánicas de los tableros.....	14
2.5.	¿QUE ES UN CNC ROUTER?.....	15
2.5.1.	Clasificación de Router CNC .....	16
2.5.2.	Componentes mecánicos de un Router CNC .....	18
2.6.	SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL.....	26
2.6.1.	Componentes del sistema de control CNC.....	27
2.6.2.	El Softwares .....	31
2.7.	ESTADO DEL ARTE.....	34
CAPITULO III.....		43
PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN .....		43
3.1.	LISTA DE EXIGENCIAS .....	43
3.2.	ELABORACIÓN DEL BLACK BOX .....	46
3.3.	DETERMINAR LA SECUENCIA DE OPERACIONES .....	47
3.4.	ESTRUCTURA DE FUNCIONES .....	49

3.5. MATRIZ MORFOLÓGICA .....	51
3.6. PROYECTOS PRELIMINARES .....	52
3.6.1. Alternativa 1 .....	53
3.6.2. Alternativa 2 .....	56
3.6.3. Alternativa 3 .....	59
3.6. EVALUACION TÉCNICO-ECÓNOMICA .....	61
CAPITULO IV .....	63
PROYECTAR SISTEMA MECANICO .....	63
4.1. DETERMINAR EL PROYECTO .....	63
4.2. SELECCIÓN DE ESPESOR DE MDF .....	64
4.2.1. Masa Soportada por la Mesa de Trabajo .....	66
4.2.3. Simulación de Esfuerzos .....	75
4.3. SELECCIÓN DE MÉTODO DE UNIÓN 2 PIEZAS DE MDF .....	79
4.3.1. Método 1: Cross Dowel .....	80
4.3.2. Método 2: Perno y Tuerca .....	81
4.4. DISEÑO 3D .....	82
4.4.1. Mesa de trabajo .....	82
4.4.2. Carro Eje Z .....	95
4.4.3. Carro Eje Y .....	107
4.4.4. Carro Eje X .....	113

4.4.4. Ensamble Router CNC.....	119
CAPITULO V.....	121
PROYECTAR SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO.....	121
5.1. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL CONTROL CNC .....	121
5.1.1. Tarjeta de interface CNC .....	122
5.1.2. Driver Motores Paso.....	130
5.1.3. Motores paso .....	131
5.1.4. Sensores límite de carrera .....	133
5.1.5. Spindle (Tupí) .....	134
5.2. DISEÑO DE CUADRO DE CONTROL Y MANDO.....	135
5.2.1. Requerimiento del Sistema .....	136
5.2.2. Diagrama de Control.....	137
5.2.3. Diagrama de Potencia .....	142
CAPITULO VI .....	148
APLICACIÓN DEL PROGRAMA MACH3 .....	148
6.1. EL SOFTWARE MACH3.....	148
6.2. CONFIGURACIÓN.....	149
6.3. AUTO CALIBRACIÓN.....	153
6.4. CALIBRACIÓN DE VELOCIDAD Y ACELERACIÓN .....	158
CAPITULO VII.....	159
COSTOS DE DESARROLLO DEL PROYECTO .....	159

7.1 . COSTOS DIRECTOS.....	159
7.2. COSTOS INDIRECTOS.....	165
7.3. COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	166
CAPITULO VIII.....	167
PRUEBAS Y RESULTADOS .....	167
8.1. PRUEBAS EN VACÍO.....	167
8.2. PRUEBA CORTE DE MATERIA PRIMA.....	170
8.3. RESULTADOS .....	174
CONCLUSIONES .....	176
RECOMENDACIONES .....	178
BIBLIOGRAFIA.....	180
ANEXOS.....	182
PLANOS .....	217

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Operaciones de Fresado .....	9
Figura N° 2. Flujo de Procesamiento de CNC .....	11
Figura N° 3. Maquinado de Metal y Madera,.....	12
Figura N° 4. Scorpion CNC Router. ....	16
Figura N° 5. Router CNC de 5 ejes.....	17
Figura N° 6. Router CNC y Aplicaciones. ....	18
Figura N° 7. Guía Lineal y Rodamiento. ....	20
Figura N° 8. Guía Lineal de Precisión SKF. ....	21
Figura N° 9. Guía Lineal Soportada. ....	21
Figura N° 10. Eje Lineal. ....	22
Figura N° 11. Perfil con Ranura en V.....	22
Figura N° 12. Husillo de Bolas.....	23
Figura N° 13. Cremallera y Piñón. ....	24
Figura N° 14. Tornillo y Tuerca Acme. ....	25
Figura N° 15. Correa Dentada. ....	25
Figura N° 16. Piñón y Cadena. ....	26
Figura N° 17. Diagrama de Bloques del Sistema de Control CNC. ....	27
Figura N° 18. Tarjeta de Interface CNC NVEM. ....	29
Figura N° 19. Driver de Motor Paso HY-DIV268N-5A.....	30
Figura N° 20. Servomotor. ....	30
Figura N° 21. Software CAD - SolidWorks.....	32
Figura N° 22. Software CAM - SolidCAM.....	33

Figura N° 23. Código G. ....	33
Figura N° 24. Router CNC - Distribuidora MULTICAM. ....	35
Figura N° 25. Router CNC 4'x8' Heavy Duty - CNC Machine Kit (greenBull 4X).35	
Figura N° 26. Ooznest WorkBee CNC Router.....	36
Figura N° 27. Router CNC - BobsCNC. ....	37
Figura N° 28. Router CNC Winter-Holztechnik. ....	38
Figura N° 29. Tarjetas Ramps 1.4 y CNC Shield Arduino ....	39
Figura N° 30. Mach3 - Software de Control CNC ....	41
Figura N° 31. Black - Box (Caja Negra) del Diseño. ....	46
Figura N° 32. Estructura de Funciones de Diseño.....	50
Figura N° 33. Alternativa de Solución 1. ....	54
Figura N° 34. Bosquejo - Alternativa de Solución 2. ....	57
Figura N° 35. Bosquejo - Alternativa de Solución 3. ....	60
Figura N° 36. Bosquejo - Alternativa de Solución 2. ....	64
Figura N° 37. Mesa de Trabajo Para Análisis de Espesor. ....	65
Figura N° 38. Dirección y Tipo de Fuerzas que Actúan Sobre la Mesa de Trabajo.75	
Figura N° 39. Gráfica de Tensiones (von Mises) – espesor 9mm. ....	77
Figura N° 40. Gráfica de Desplazamiento – Espesor 9mm.....	77
Figura N° 41. Gráfica de Desplazamiento – Espesor 18 mm.....	79
Figura N° 42. Fijación de 2 Tableros con Tornillo de Carpintería. ....	80
Figura N° 43. Unión de dos Tableros con Cross Dowel. ....	81
Figura N° 44. Unión de dos tableros con Perno y Tuerca.....	81
Figura N° 45. Bosquejo Mesa de Trabajo. ....	83

Figura N° 46. Diseño 3D Mesa de Trabajo. ....	83
Figura N° 47. Simulación de Desplazamiento Máximo de la Mesa de Trabajo. ....	84
Figura N° 48. Fuerzas Puntuales y Distribuidas Mesa de Trabajo. ....	85
Figura N° 49. Bastidor de Mesa, Esfuerzos Sometidos. ....	88
Figura N° 50. Cargas Puntuales. ....	89
Figura N° 51. Para Cargas Distribuidas. ....	90
Figura N° 52. Bosquejo Carro Eje Z. ....	96
Figura N° 53. Diseño 3D Conjunto carro Eje Z. ....	97
Figura N° 54. Simulación de Tensiones – Conjunto Carro Eje Z. ....	97
Figura N° 55. Simulación de Desplazamiento – Conjunto carro eje Z v1.0 .....	98
Figura N° 56. Diseño 3D – Conjunto Carro eje Z. ....	99
Figura N° 57. Simulación de Desplazamientos – Conjunto Carro eje Z v2.0. ....	100
Figura N° 58. Abrazadera Porta Herramienta – Diagrama de Cuerpo Libre .....	101
Figura N° 59. Diagrama de Momentos. ....	103
Figura N° 60. Carro Z. ....	107
Figura N° 61. Bosquejo – Conjunto Carro Y. ....	107
Figura N° 62. Diseño 3D Carro Y / Ensamble Carro Z y Carro Y .....	108
Figura N° 63. Base de Tuerca Acme del Carro Z. ....	109
Figura N° 64. Base de la tuerca Acme y Esfuerzos Sometidos. ....	109
Figura N° 65. Bosquejo – Conjunto Carro X .....	113
Figura N° 66. Diseño 3D– Conjunto Carro X .....	114
Figura N° 67. Sistema de Transmisión Carro X .....	114
Figura N° 68. Ensamble Carro X y Sistema de Transmisión. ....	115

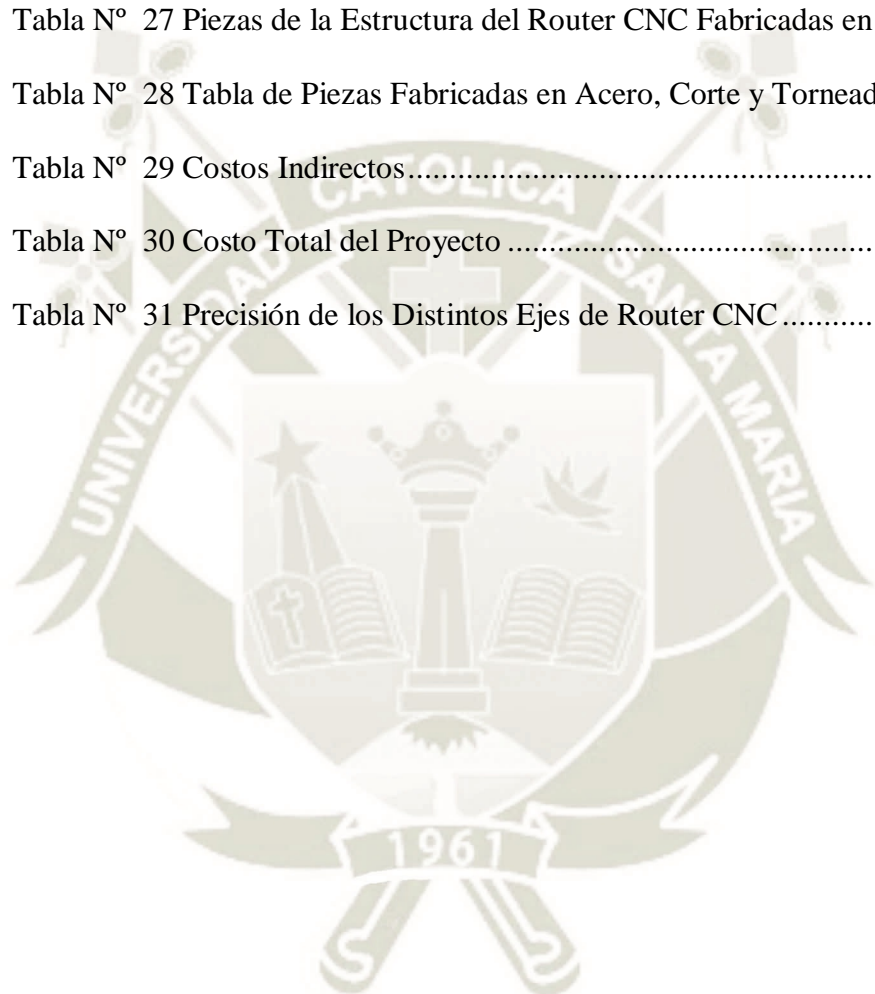
Figura N° 69. Router CNC Ensamble Final. ....	119
Figura N° 70. Área de trabajo / Router CNC .....	120
Figura N° 71. Diagrama de Bloques del Sistema de Control CNC. ....	121
Figura N° 72. 5 Axis CNC Breakout Board Interface Mach3.....	124
Figura N° 73. Driver Stepper Motor TB6600. ....	130
Figura N° 74. Configuración de Driver TB6600.....	131
Figura N° 75. Torsión Requerida en Tornillos de Potencia. ....	132
Figura N° 76. Tupí Makita RT0700C. ....	135
Figura N° 77. Distribución de Tarjeta Breakout Board Mach3.....	138
Figura N° 78. Diagrama de Conexión (Fusible de Protección). ....	141
Figura N° 79. Diagrama de Conexión de Motor Paso y Driver Motor. ....	141
Figura N° 80. Circuito de Alimentación – Fuente de 24 V / 10 A. ....	143
Figura N° 81. Circuito de Potencia Alimentación de Tupi. ....	145
Figura N° 82. Circuito de Mando (Diagrama de Potencia) – Anexo.....	147
Figura N° 83. Artsoft (2017). Mach 3 program.....	148
Figura N° 84. Configuración Motor Outputs. ....	149
Figura N° 85. Configuración Input Signals (Mach3) .....	150
Figura N° 86. Configuración Motor Eje X.....	151
Figura N° 87. Configuración Motor Eje Y.....	152
Figura N° 88. Configuración Motor Eje Z. ....	153
Figura N° 89. Calibración eje X (Router CNC). ....	154
Figura N° 90. Mach3 (Posición eje Y).....	155
Figura N° 91. Step Steps per Unit (auto calibración) .....	155

Figura N° 92. Step Steps per Unit (Desplazamiento de 250 mm). .....	156
Figura N° 93. Step Steps per Unidad (Desplazamiento de 249mm). .....	157
Figura N° 94. Step Steps per Unit (Desplazamiento de 249mm). .....	157
Figura N° 95. Soporte de Motor Eje X, Corte de plasma de Acero 1/8” .....	163
Figura N° 96. Ejes de Transmisión de Carro X (Fabricación). .....	165
Figura N° 97. Diseño de prueba en vacío / Software de prueba ArtCam. ....	168
Figura N° 98. Prueba en Vacío / Software de Prueba Mach3. ....	169
Figura N° 99. Prueba en Vacío y Resultados. ....	170
Figura N° 100. Parámetros de Corte en Base a Herramienta de Corte. ....	171
Figura N° 101. Diseño de Corte de Materia Prima (1ra Prueba). ....	172
Figura N° 102. Diseño 3D de Corte de Materia Mprima (1ra Prueba). ....	173
Figura N° 103. Código G de Corte de Materia Prima (1ra Prueba). ....	173
Figura N° 104. Corte de Materia Prima. ....	174

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Densidad y Dureza de Tableros .....	14
Tabla N° 2 Resistencia Característica de Tableros Derivados de la Madera .....	15
Tabla N° 3 Router CNC del Mercado .....	42
Tabla N° 4 Lista de Exigencias. ....	44
Tabla N° 5 Matriz Morfológica .....	52
Tabla N° 6 Alternativa 1 .....	53
Tabla N° 7 Alternativa 2 .....	56
Tabla N° 8 Alternativa 3 .....	59
Tabla N° 9 Selección de Solución Óptima.....	62
Tabla N° 10 Características de Tablero MDF .....	65
Tabla N° 11 Masa Soportado por Mesa de trabajo.....	66
Tabla N° 12 Tabla de Presión Específica de Corte Kso Para Fresado.....	72
Tabla N° 13 Fuerzas que Actúan Sobre la Mesa de Trabajo.....	74
Tabla N° 14 Tipos de Fuerzas. ....	74
Tabla N° 15 Análisis de Espesores en Tableros MDF.....	78
Tabla N° 16 Coeficientes en Función de los Lados de una Sección Rectangular ...	91
Tabla N° 17 Resolución Microstep.....	128
Tabla N° 18 Cuadro Comparativo de Sensores de Posición. ....	133
Tabla N° 19. Tabla de Comparación de Velocidades de Spindle Tupí.....	134
Tabla N° 20. Tabla de Especificación de Tupí.....	135
Tabla N° 21 Entradas y Salidas de Tarjeta CNC Breackout Board Interface .....	139
Tabla N° 22 Datos Técnicos de Motores Paso .....	140

Tabla N° 23 Velocidades de Router CNC.....	158
Tabla N° 24 Costo de Tornillería.....	160
Tabla N° 25 Costos de Elementos del Sistema de Transmisión.....	160
Tabla N° 26 Evaluación Económica, Sistema Eléctrico y Electrónico.....	161
Tabla N° 27 Piezas de la Estructura del Router CNC Fabricadas en MDF .....	162
Tabla N° 28 Tabla de Piezas Fabricadas en Acero, Corte y Torneado de Ejes.....	164
Tabla N° 29 Costos Indirectos.....	165
Tabla N° 30 Costo Total del Proyecto .....	166
Tabla N° 31 Precisión de los Distintos Ejes de Router CNC .....	175



## CAPITULO I

### MARCO METODOLOGICO

#### 1.1. INTRODUCCIÓN

El interés propio en realizar este proyecto surge con la gran tendencia en la fabricación de piezas en base a la tecnología de equipos de manufactura automatizada en la industria actual, tenemos por ejemplo las impresoras 3D, Tornos CNC, Fresadoras CNC, etc.

Como estudiante de ingeniería Mecatrónica una de las grandes necesidades de estas máquinas de manufactura automatizada son para la elaboración de prototipos de nuestras investigaciones y proyectos, permitiéndonos la fabricación de distintos mecanismo en base a ideas y diseños apoyados con software CAD como por ejemplo (SolidWork, AutoCad, ArtCam, Fusion 360, etc), por otra parte también el costo elevado al contratar dicho servicio de manufactura en la industria actual.

A un nivel más profesional a futuro, se planea seguir con la investigación para hacer de esta herramienta una máquina de manufactura multifuncional donde se puedan realizar trabajos de impresión 3D, fresado y torneado, haciendo de éste un equipo de manufactura versátil.

Cabe resaltar que la versatilidad mencionada es una muestra del gran potencial que encierra esta tecnología de automatización, motivado por la versatilidad y acceso a esta tecnología en un futuro próximo se pretende realizarlo a gran escala.

## **1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El problema surge a partir de la necesidad de realizar trabajos de fresado en madera de forma automatizada, para mejorar la precisión del trabajo, acelerar el proceso de manufactura y la flexibilidad de usar un Software de diseño CAD para la realización de prototipos de investigación.

## **1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Como toda tecnología avanzada en este caso una fresadora CNC, tienen un costo elevado, debido a que realizan trabajo de alta precisión 2d y 3d en diversos materiales como la madera, metal, plásticos, etc. Por este motivo lo que se pretende lograr con este proyecto es construir una máquina que realice funciones similares orientadas a realizar trabajos de carpintería como fresado y perforado, las cuales cubran las necesidades de trabajos domésticos de un taller en el hogar, trabajos de un universitario de ingeniería, o la de algún negocio pequeño que incluya el uso de esta máquina herramienta.

El fresador es una máquina eléctrica rotativa en la que se coloca la herramienta de corte (llamada fresa) y debido al movimiento giratorio que esta adquiere, con el movimiento longitudinal que le damos se logra hacer un labrado en la pieza a fresar; como vemos el fresado es un trabajo netamente artesanal, como la mayoría de trabajos de carpintería. Este proceso es de una elevada precisión, lo cual demanda mucho tiempo y esfuerzo, lograrlo manualmente en trabajos anteriormente mencionados.

Para mejorar este proceso, tanto su precisión y acelerar el tiempo de fabricación de cualquier diseño se implementará un sistema automático CNC de bajo costo que realice el trabajo de fresado de madera y tener la flexibilidad de diseñar en un software CAD y pre visualizar el diseño, teniendo la opción de configurar de acuerdo al requerimiento deseado del producto. De esta manera se obtendrá una máquina herramienta a mano, y así optimizar el diseño con mayor comodidad para realizar los distintos prototipos de investigaciones futuras.

#### **1.4. OBJETIVOS**

##### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un prototipo de Router CNC de 3 ejes con un área de trabajo de 850 X 550 X 80 MM, para realizar trabajos de gravado, perforación y corte en madera no mayor a 12 mm de espesor.

##### **1.4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y construir de un prototipo de bajo costo.
- Seleccionar y adecuar sistemas mecánicos que permitan el libre desplazamiento del posicionado del área de trabajo X, Y y Z.
- Seleccionar actuadores, dispositivos de control y protección necesarios para el funcionamiento de la fresadora CNC en base a una metodología de diseño.
- Diseñar un Sistema de comunicación para controlar su funcionamiento y su programación mediante un software CNC
- Realizar pruebas y ajustes para el funcionamiento de la máquina.

## 1.5. ALCANCE

- El presente proyecto tiene por alcance. Diseñar e implementar un prototipo 3D de una máquina Router CNC para corte de tableros derivados de la madera, siendo este capaz de realizar trabajos de grabado, perforado y corte, estos mismos trabajos realizados para pruebas y estudios del sistema CNC. La metodología de diseño será adaptada parcialmente de la norma VDI 2221.
- Generar planos mecánicos, eléctricos y electrónicos para su construcción.
- Para la selección de los componentes y materiales de la estructura del sistema mecánico, eléctrico y electrónico, se dará preferencia a los encontrados en el mercado y/o de fácil alcance.
- El Software de control CNC será comercial y compatible con los distintos componentes electrónicos existentes de fácil acceso en el mercado, el mismo que contará con una interface de usuario intuitiva que permita importar archivos CAD como por ejemplo (SolidWork, Vision 360, Autocad, Art Cam, etc).
- La evaluación de costos solo está centrado en la fabricación y sus detalles del proceso, no se contemplan los costos financieros ni evaluación por inversión de capital.

## 1.6. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad en nuestro país la tecnología de Máquinas Herramientas automatizadas como las Fresadoras CNC, Tornos CNC e Impresoras 3D, no abundan en el mercado de manufactura, por lo que acceder a estos procesos generalmente suele ser

difícil adquirirlos y a un elevado costo, siendo éste el problema principal que se pretende solucionar.

El proyecto de Diseño y Construcción de un prototipo Router CNC surge de la necesidad de uno como estudiante, poder construir prototipos de investigación en la rama de la ingeniería, minimizando así los costos de fabricación, tiempo y aumentado la precisión de dichos trabajos.

Por otra parte, este proyecto permitirá al usuario pasar los diseños de un software Cad (SolidWorks, Autocad, Vision 360, Art Cam, etc.) a un software Cam, para así poder visualizar el diseño digitalizado, teniendo la posibilidad de modificación y programación de maquinado para su fabricación.

Debido a que no se cuenta con basta información sobre la fabricación de máquinas herramientas automatizadas de este tipo, el presente trabajo es conveniente para afianzar y animar a futuros investigadores para la fabricación de máquinas automatizadas a gran escala a un bajo costo y con un acabado de calidad competitiva en el mercado actual.

La investigación busca proporcionar información que será útil a toda la comunidad educativa para mejorar el conocimiento sobre la tecnología de automatización y CNC (Control Numérico Computarizado), y no basándonos simplemente en la manipulación de estas máquinas herramientas.

## 1.7. METODOLOGÍA

Primero, se iniciará con la investigación de los distintos Maquinas Router CNC que existen en el mercado y la tecnología usada para su fabricación; luego de tener toda esta información, se procederá a seguir una metodología de diseño en donde generaremos

nuestra lista de exigencias de diseño, análisis de nuestro Black- Box, desarrollo de una matriz morfológica en la cual se elegirá la opción preliminar óptima de acuerdo a nuestra lista de exigencias y el análisis de las funciones que deberá cumplir el proyecto a desarrollarse.

Segundo, se desarrollará un bosquejo del proyecto, del cual se iniciará el diseño y dibujo 3D en el software SolidWorks, para posteriormente ser analizado por elementos finitos, con el software integrado en el SolidWorks llamado SolidWorks Simulation, también apoyados de cálculos analíticos en algunos casos. El Software utilizado nos permitirá determinar las características del material y el diseño óptimos sin perder la estética, teniendo una vista preliminar del producto final en todo momento para su modificación.

Tercero, ya que el proyecto será diseñado y simulado en el software SolidWorks, En este mismo programa se procederá a realizar los planos para la fabricación de todas las piezas que constituirán el producto final.

Cuarto, se procederá al ensamble de todos los componentes de acuerdo a nuestro diseño de SolidWorks, y la integración del sistema eléctrico para realizar las primeras pruebas y ajustes para su posterior funcionamiento y evaluación.

Quinto, se procederá con la programación, calibración y ajuste de todos los componentes electrónicos como motores, drivers y sensores.

Finalmente, como anexos se presentarán los documentos usados para el desarrollo de la presente tesis.

## 1.8. LIMITACIONES

Las limitaciones del presente proyecto, son las siguientes:

La limitante principal del Router CNC, es que sólo maquinará o realizará trabajos de fresado principalmente en tableros derivados de madera (materiales blandos), para el cual se realizará su estudio y diseño basándonos en dicho material para la fabricación de la máquina. Esta limitante se genera por estructura y materiales de fabricación, ya que la rigidez y estabilidad cambiarían para maquinar distintos materiales, así como también en la potencia de motores y componentes electrónicos y mecánicos de mayor potencia.

El área de trabajo, está limitada de acuerdo al diseño del Router CNC.

La velocidad de corte, debido a que esto va amarrado a las características de los motores que usaremos, como se pretende construir una máquina de bajo costo, se evaluará una velocidad similar o por debajo de los routers existentes en el mercado, esto sin perjudicar el corte de la materia prima.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

Dado que el presente trabajo se centrará en el diseño y la construcción de un Router de control numérico computarizado, resulta fundamental algunas definiciones y teorías para la evaluación previa del problema antes de todo análisis y evaluación para desarrollar un diseño óptimo.

#### 2.1. PROCESOS DE MECANIZADO POR FRESADO

El proceso de Mecanizado por Fresado consiste en la remoción de material el cual se mecaniza con la ayuda de una herramienta rotativa dotada de varios filos, que se llaman dientes, labios o plaquitas de metal duro llamada fresa, ésta ejecuta el movimiento en un plano de 3 dimensiones, desplazándose en una mesa la cual fija la pieza a mecanizar.

El número de ejes en una fresadora es lo que determina las posibilidades de movimiento de la máquina herramienta. Así, a mayor número de ejes, mayores posibilidades de movimiento o mayor grado de libertad.

El mecanizado por fresado es una operación mecánica, realizada con una máquina denominada fresadora, que permite labrar superficies planas o con distintos perfiles, así como perforar y canalizar piezas mecánicas como se puede observar en la Figura N° 1.

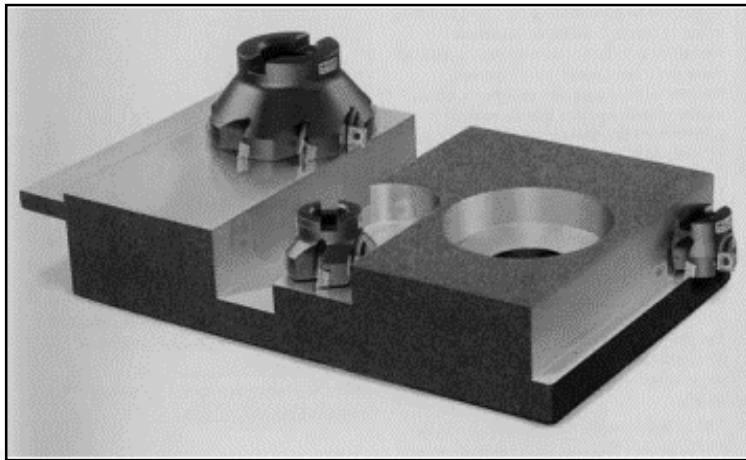


Figura N° 1. Operaciones de Fresado

## 2.2. LA MÁQUINA CNC

Control numérico (CN) es el término original de esta tecnología, actualmente es intercambiable con el término Control Numérico por Computadora (CNC).

Como concepto general el CNC es un “Interpolador”, el cual genera trayectorias y descompone a estas en tantos ejes (o grados de libertad) en cada intervalo de tiempo, dependiendo de la aplicación donde se incorpore.

El CN ha sido uno de los avances tecnológicos más importantes en los procesos de manufactura en los últimos 50 años. Desarrollando nuevas técnicas de producción, incrementando la calidad de los productos y la enorme reducción en los costos de producción.

Otro punto muy importante son las ventajas que brinda el proceso de control numérico frente al proceso convencional, siendo esta la precisión de los prototipos, cumplimiento de especificaciones, reducción de la dificultad para la manufactura de

partes, todas estas beneficiadas al diseño de piezas. Las ventajas frente a la manufactura son:

- Permite una mejor planeación de las operaciones.
- Se incrementa la flexibilidad de maquinado.
- Reducción en tiempo de programación.
- Mejor control del proceso y tiempos de maquinado.
- Disminución en los costos por herramientas.
- Se incrementa la seguridad para el usuario.
- Reducción del tiempo de flujo de material.
- Reducción del manejo de la pieza de trabajo.
- Aumento de productividad.
- Aumento en precisión.

Como vemos el CNC es un control automatizado de procesos convencionales, por tanto, deberá controlar todo el proceso de mecanización de la pieza diseñada previamente en un software CAD, gestionando la velocidades y desplazamiento de los ejes en tiempo real, en la Figura N° 2 veremos el flujo de procesamiento que sigue una máquina dotada de esta tecnología.

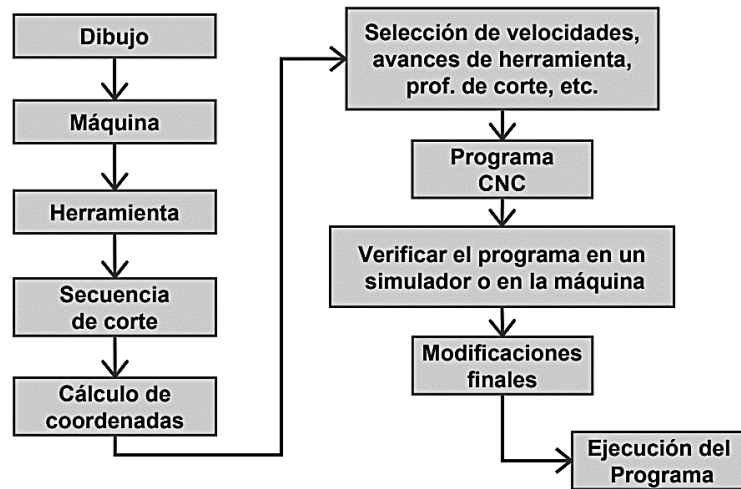


Figura N° 2. Flujo de Procesamiento de CNC

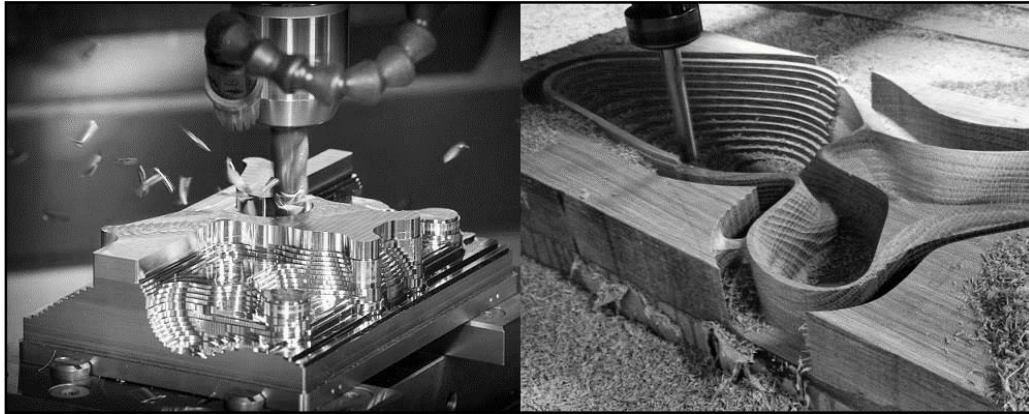
### 2.3. FRESADORA VS ROUTER

El trabajo de Routeado consiste en el desbaste de un material a maquinar, realizando operaciones de corte, perforado o cajeadado, entre otros. Todos estos trabajos mencionados son posibles con una herramienta eléctrica llamado Fresadora Router, Spindle ó Tupí, el cual está dotado de una fresa con filos que gira sobre un eje vertical a una gran velocidad al mismo tiempo que se mueve de forma paralela en la pieza a maquinar.

En comparación con la fresadora la única similitud entre estas dos herramientas es que ambas desbastan y cortan a partir de la superficie de un material (Figura N° 3), en los Routers CNC el tablero u hoja del material se coloca de forma horizontal mientras que, en la fresadora, dependiendo de la configuración de la máquina (si es vertical o horizontal) se colocará el material a maquinar.

Las diferencias en estas herramientas es que el Router está diseñada para cortes de materiales “suaves”, considerandos materiales blando a aquellos cuyo corte es mucho más

fácil de cortar como por ejemplo la madera, plásticos, acrílicos, entre otros. La fresadora en su diferencia está diseñada para cortar materiales mucho más duros como el acero, esto debido a su rigidez, estabilidad y potencia de la máquina.



*Figura N° 3. Maquinado de Metal y Madera,*  
Fuente: <http://blog.330ohms.com/2017/03/28/diferencia-entre-router-y-fresadora/>

## 2.4. TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA

Ya que el presente proyecto pretende construir un Máquina Router CNC para el corte de tableros derivados de la madera, en esta sección se detallará los tipos; su composición y las propiedades físicas de las cuales están dotadas las mismas.

### 2.4.1. Tipos y Composición

Los tableros de uso en nuestro país son los tableros alistonados, los contrachapados, los de partículas, comúnmente llamados aglomerados y los tableros de fibras, la composición de estos es lo siguiente:

**Tablero Alistonado SWP:** Es un tablero construido por listones de madera de distintas anchuras variables, unidas estos mediante pegamentos comúnmente de acetato de polivinilo o de úrea formaldehído.

**Tablero Contrachapado:** Es un tablero formado por un número impar de chapas de madera, de apenas décimas de milímetros de espesor, dispuestas consecutivamente con fibra cambiada 90° y encoladas entre sí con adhesivos termoendurecibles.

**Tablero de Fibras:** Es un tablero formado a base de madera desfibrada u otros materiales fibrosos, sometidos a alta presión y temperatura con el uso de cola o aglutinante, conformando un tablero duro y consistente. La aglomeración se realiza prensando el tablero, según las tres calidades siguientes:

- De baja densidad: si la densidad es menor a  $0.7 \text{ gr/cm}^3$ .
- De media densidad MDF: si la densidad oscila entre 0.7 y  $0.9 \text{ gr/cm}^3$ .
- De alta densidad o más frecuentemente llamados tableros de fibras duro HD: si la densidad es superior a  $0.9 \text{ gr/cm}^3$ .

**Tablero de Partículas:** Es un tablero formado de pequeñas piezas de madera encolada y presionadas, es el producto más barato de fabricación, porque utiliza todos los restos de desechos de madera.

#### 2.4.2. Características Físicas de los Tableros

Los tableros derivados de la madera tienen propiedades físicas como mecánicas parecidas a la madera, aunque sus valores no son exactamente iguales.

Así, en relación con el agua (humedad atmosférica) los tableros son hidrocópicos, igual que la madera, hinchando y mermando según tome o ceda agua. En cuanto a la densidad y dureza Monnin, detallado en la (Tabla N° 1)

*Tabla N° 1*  
Densidad y Dureza de Tableros

Tipo de material	Densidad	Dureza
Madera maciza	0,5	2
T. Contrachapado y alistonado	0,55	2
T. partículas	0,65	3 a 4
T. fibras MDF	0,70	4 a 5
T. fibras duro	0,90	5 a 6

*Fuente:* Tomado de “Tegnologia de la Madera - 3ra Ed.”, por Santiago Peña .V, Isaac Martínez R. 2005, p.279.

Como puede apreciarse, la dureza de los tableros es superior al de la madera maciza, lo que supone mayores dificultades de manufactura de las mismas.

#### **2.4.3. Características Mecánicas de los tableros.**

En cuanto a las características mecánicas, al igual que la madera, los tableros tienen un comportamiento elástico-plástico. En esfuerzos de larga duración la resistencia puede verse disminuida, característica propia de los tableros.

La característica de los tableros se calcula sin tener en cuenta la influencia de la duración de la carga, la resistencia característica varía con los espesores del tablero, para tableros estructurales de ambientes secos y de 19 mm, la resistencia es la indicada en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2  
*Resistencia Característica de Tableros Derivados de la Madera*

	Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )		Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )		Tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )		Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	R	E	R	E	R	E	R	E
T. contrachapado	234	62.78	210	62.78	115	66.94	15	1.8
T. particulas	125	29.4	105	17	79	17	61	8.3
T. fibras MDF	210	30	125	27	125	27	65	8
T. fibras duro	350	48	270	48	260	48	180	20

*Fuente:* Tomado de “Tegnologia de la Madera - 3ra Ed.”, por Santiago Peña .V, Isaac Martínez R. 2005, p.280.

- R=Resistencia
- E=Modulo Elástico

Se puede apreciar en esta tabla que la resistencia característica de los tableros no tiene una diferencia notable respecto de sus valores medios de resistencia.

## 2.5. ¿QUE ES UN CNC ROUTER?

Un Router CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como: círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales. Es una herramienta capaz de realizar cortes de madera y gran variedad de materiales blandos como son: acrílico, mdf, aluminio, latón, bronce, etc. El alcance que posee esta máquina es muy amplio ya que puede ser usada en artesanías, publicidad, manufactura de muebles, hobbies, investigación, entre otros (Figura N° 4).



*Figura N° 4. Scorpion CNC Router.*  
Fuente: <https://ez-router.com/>

### 2.5.1. Clasificación de Router CNC

Dentro de la gama de Router en el mercado se clasifican según:

#### a) Número de ejes

Estas máquinas tienen una gran variedad de aplicaciones por lo que la complejidad de dicha herramienta automatizada depende de los grados de libertad o ejes del cual está dotado. Por ejemplo:

- Dos ejes: Una broca sujeta por el cabezal únicamente se mueve en dirección "X" y "Z".
- Tres Ejes: Fresado Básico, se mueve en "X", "Y" y "Z".
- Cuatro Ejes: Un cabezal indexado.
- Cinco Ejes, Un cabezal indexado con pivote hacia arriba y abajo.

Siendo la más compleja la de cinco ejes, la misma que se muestra en la figura N° 5, esta máquina está dotada de 4 movimientos prismáticos y un eje de movimiento angular, el que se denomina eje con pivote hacia arriba y abajo.

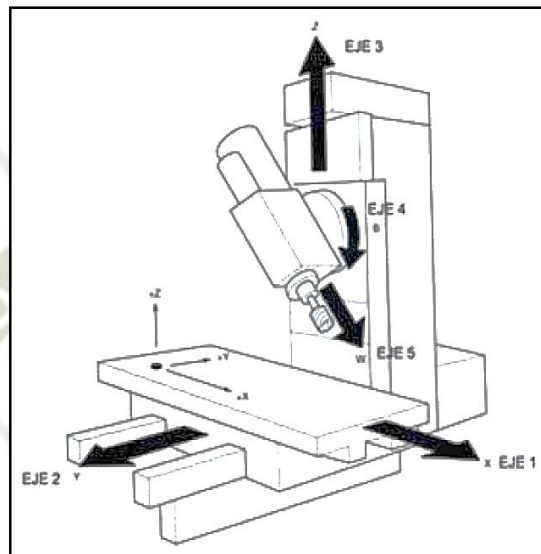


Figura N° 5. Router CNC de 5 ejes.

#### b) Material de trabajo

Los Router CNC se caracterizan por el maquinado a materiales blandos, entre ellos los más comunes son el plástico, la madera, metales blandos.

Algunos Router CNC son diseñados específicamente para un material a maquinar como por ejemplo el Router CNC PCV, el cual está diseñado para la creación de placas PCV electrónicas, si bien es una máquina capaz de cortar madera, la limita su spindle, el tamaño y su estructura, pero a su vez la precisión esta potenciada para ese tipo de trabajos; otro ejemplo tenemos Router CNC para grabado laser, a diferencia de la descrita anteriormente esta potencia su precisión,

velocidad y estructura liviana debido a que no tiene contacto directo con el material a maquinar.

El diseño de un Router CNC se basa principalmente en la aplicación que tendrá, ya que será el principal factor para limitar y dotar la máquina con lo necesario para cumplir dicho trabajo (Figura N° 6).

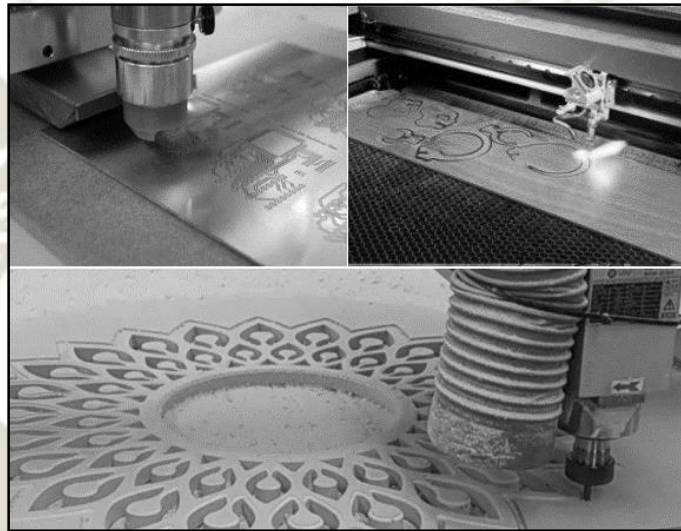


Figura N° 6. Router CNC y Aplicaciones.

Fuente: <http://www.fortex.co.uk/product/fortex-ccd2-cnc-drilling-and-isolation-routing-machine-centre/>

### 2.5.2. Componentes mecánicos de un Router CNC

Una máquina Router CNC está constituido de muchos elementos mecánicos los cuales se describirán en esta sección, estas mismas que tendrán que ser seleccionadas cuidadosamente de acuerdo a la aplicación ya que de ello dependerá su precisión y velocidad de maquinado y otros factores que influirán en el producto final.

### a) Estructura

La estructura es la parte principal, que hace que la máquina sea estable y rígida para el trabajo a realizar. Sobre esta van montadas las guías y la transmisiones, por lo que la estructura deberá de brindar una estabilidad y rigidez para absorber las vibraciones generadas por el maquinado. La estructura puede ser diseñada y fabricada de distintos materiales, entre ellos está el acrílico (como algunas impresoras 3D), madera (como algunos Routers fabricados de forma casera), de aluminio o de acero como los routers del Mercado Industrial.

Esta Estructura debe brindar la suficiente resistencia para no deformarse y contrarrestar los esfuerzos generados por el movimiento de los ejes. Existen máquinas en los cuales el esfuerzo es disminuido de acuerdo a su aplicación, entre ellas tenemos el cortador laser o un plotter en donde no existe un contacto directo con la pieza a trabajar, por lo que solo debe preocuparse de que la máquina esté hecho de un material suficientemente rígido para contrarrestar las vibraciones.

La estructura de la máquina dependerá directamente del material que se pretende maquinar, el diseñar y construcción debe ser de un material igual o más rígido que el que se pretenda maquinar, por ejemplo si queremos cortar madera debemos hacer una estructura de madera o aluminio, si queremos cortar aluminio necesitamos una estructura de aluminio o acero.

## b) Sistema de Deslizamiento

Para que una máquina CNC pueda moverse en sus diferentes ejes de acuerdo a su diseño, es necesario que este dotada de un sistema de desplazamiento. El sistema de desplazamiento es el encargado dar facilidad de desplazamiento en sentido de los ejes y al mismo tiempo soportar las diferentes cargas de la máquina, este sistema cuenta con dos elementos: las guías lineales (base de deslizamiento) y los rodamientos (Figura N° 7).

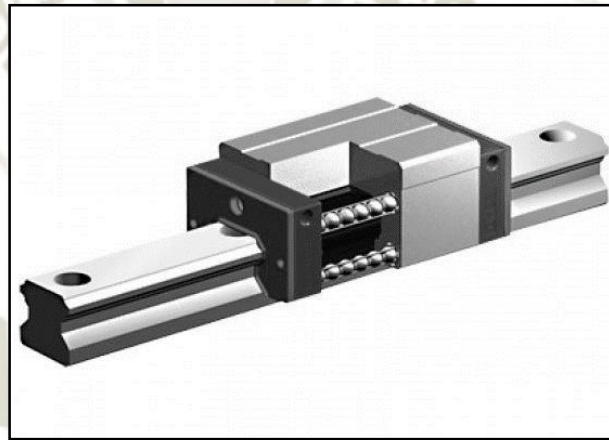


Figura N° 7. Guía Lineal y Rodamiento.

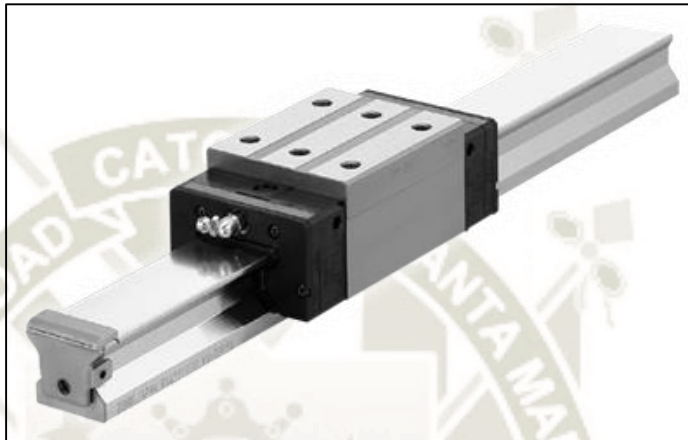
Fuente:

<http://www.grupogaes.com/productos/movimiento-lineal>

Las guías lineales son elementos colocados a lo largo de la trayectoria de los ejes, permitiendo el desplazamiento de uno de los ejes, a su vez desplazando sus cargas. Los rodamientos son elementos que se desplazan sobre las guías lineales. Existen varios tipos de este sistema de rodamientos, siendo la precisión y la eficiencia las que justifican su costo elevado. Las guías lineales más conocidas son:

### c) Guía Lineal de Precisión

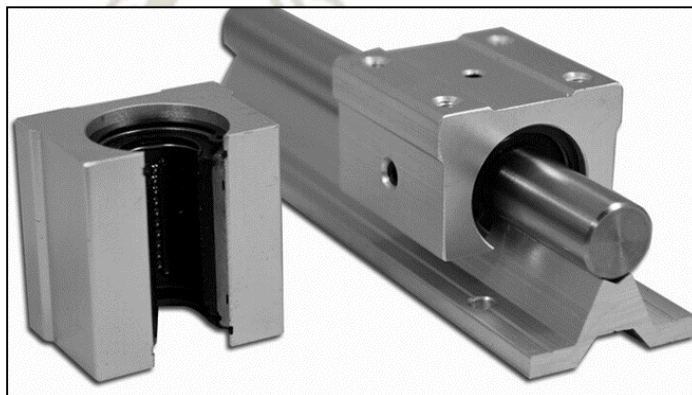
Uno de los sistemas de desplazamiento que por su excelencia usados por las grandes empresas de fabricación de equipos CNC, gracias a su gran precisión y eficiencia (Figura N° 8).



*Figura N° 8.* Guía Lineal de Precisión SKF.  
Fuente: <http://www.skf.com/es/products/motion-technologies/linear-guides-and-tables/profile-rail-guides/profile-rail-guide-llt/index.html>

### d) Guía Lineal Soportada

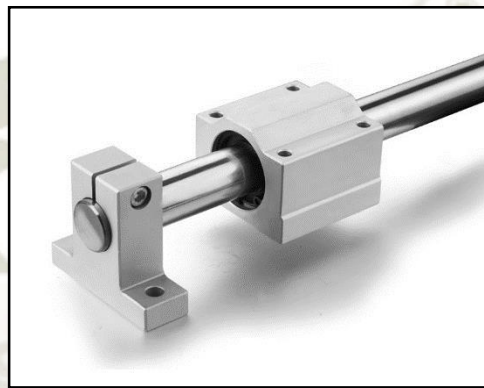
Estas guías lineales ofrecen un buen trabajo en cuanto a la precisión y eficiencia a un precio considerablemente bajo (Figura N° 9).



*Figura N° 9.* Guía Lineal Soportada.

**e) Eje Lineal**

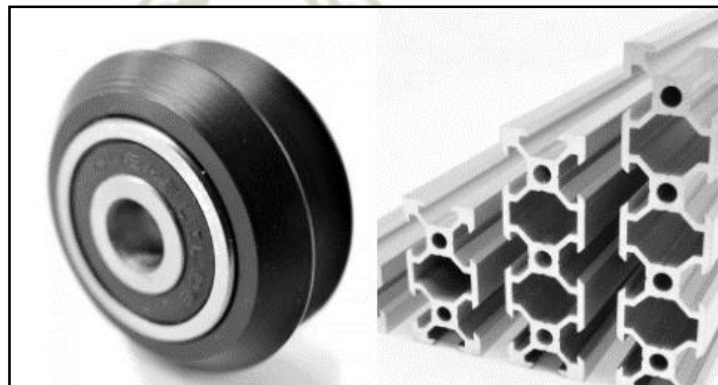
Estos sistemas son ideales para máquinas o aplicaciones que no suponga ejercer mucho esfuerzo en la estructura, todo esto debido a que tienden a pandearse, sistema muy común usado en impresoras 3D, grabado a laser, entre otros (Figura N° 10).



*Figura N° 10. Eje Lineal.*

**f) Perfil con Ranura en V**

Este sistema está formado por un perfil con ranura en V usado de guía lineal (Figura N° 11) y sobre el se desplaza un rodamiento llamado V Wheels, obteniendo un movimiento lineal.



*Figura N° 11. Perfil con Ranura en V.*

### g) Sistema de Transmisión

El sistema de transmisión es la parte que se encarga de convertir el movimiento rotativo de los motores a un movimiento lineal, todo esto sobre el sistema de desplazamiento.

Existen muchos tipos de transmisión, se describirán los principales:

#### ✓ Husillo de bolas

El Husillo de bolas es un sistema mecánico que convierte el movimiento de rotación (motor) en movimiento lineal con pocas pérdidas por fricción, siendo este el más preciso de todos los sistemas existentes, una de las desventajas es su elevado costo como todos los elementos de alta precisión debido a su manufactura (Figura N° 12).

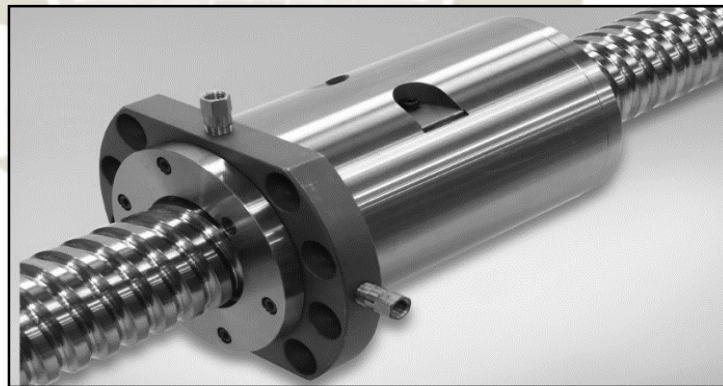


Figura N° 12. Husillo de Bolas.

Fuente: <http://www.skf.com/es/products/motion-technologies/linear-guides-and-tables/profile-rail-guides/profile-rail-guide-llt/index.html>

### ✓ Cremallera y Piñón

Este sistema es popular debido a que se le encuentra en máquinas industriales, gracias a su buen trabajo en máquinas de gran tamaño, teniendo una increíble precisión utilizando un engranaje reductor; en comparación con el husillo de bolas, es una buena alternativa y de un costo menor, teniendo la desventaja del ruido elevado que emite a comparación de los otros sistemas (Figura N° 13).

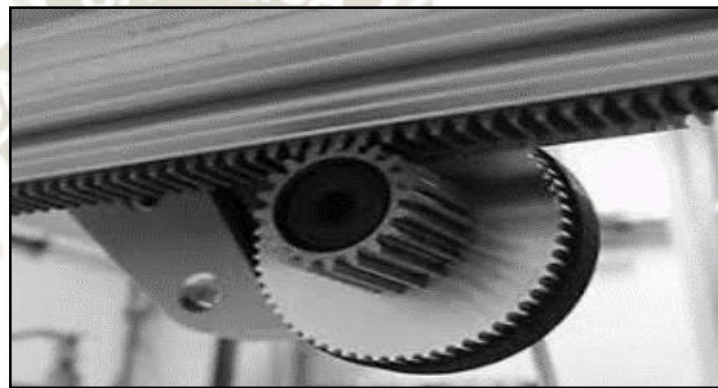
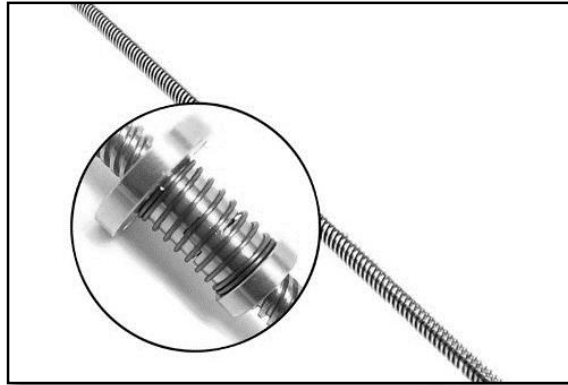


Figura N° 13. Cremallera y Piñón.

### ✓ Tornillo y Tuerca Acme

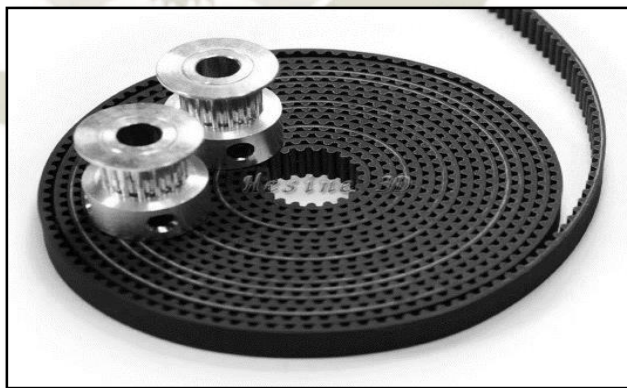
Este sistema de transmisión cuenta con dos elementos un tornillo y una tuerca con un ángulo de  $29^{\circ}$ , es muy bajo en eficiencia y precisión en comparación con el husillo de bolas, esto debido al efecto backlash, pero el bajo costo lo hace una alternativa potencial (Figura N° 14).



*Figura N° 14. Tornillo y Tuerca Acme.*

### ✓ **Correa Dentada**

Este sistema es uno de los más usados en impresoras 3d y máquinas hobbistas, su costo es bajo, no requiere mantenimiento y es silencioso. Su principal problema es que no es conveniente usarlo en máquinas grandes y de gran torque ya que tiende a estirarse al ser sometido a cargas medias perdiendo precisión (Figura N° 15).



*Figura N° 15. Correa Dentada.*

✓ **Cadena**

Este sistema es usado para máquinas que generen mayores esfuerzos, tiene un bajo costo, una desventaja sería el ruido que genera en el choque de los piñones y la cadena en movimiento (Figura N° 16).



*Figura N° 16. Piñón y Cadena.*

## 2.6. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

En una máquina CNC así como el sistema mecánico ofrece la rigidez y estabilidad, el sistema de automatización y control está encargado de coordinar el movimiento de la máquina, interactuar con el usuario, recibir y enviar datos. Los siguientes elementos eléctricos son lo más importante de una máquina CNC (Figura N° 17).

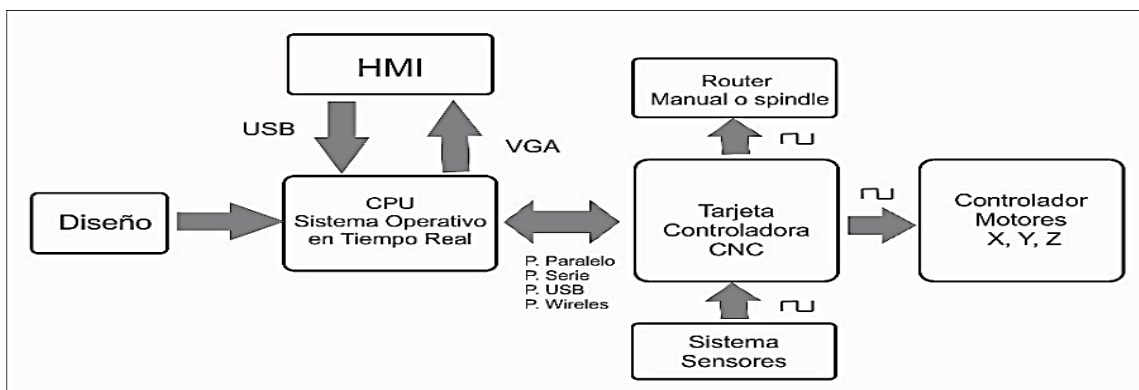


Figura N° 17. Diagrama de Bloques del Sistema de Control CNC.  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.6.1. Componentes del sistema de control CNC

- **CPU o Procesador**

Componente principal del sistema CNC, el cual deberá cumplir los requisitos mínimos de un procesador básico para cada aplicación, en caso de querer colocar un procesador de mejores características, no tendría inconveniente alguno (mejor procesamiento de datos y velocidad).

El CPU es el que realiza la lectura del diseño realizado previamente por el usuario, procesando así todos los cálculos para la generación de trayectorias, esto implica la generación de perfiles de movimiento, dando como resultado señales en forma de pulsos para el control de los motores de los distintos ejes del Router CNC, así como también la señal para la herramienta de corte (spindle).

Es muy importante contar con un procesador de buenas características, debido a que la generación de trayectorias demanda una buena capacidad de procesamiento (velocidad alta). Como se mencionó anteriormente la máquina trabaja en tiempo real, para lo cual el sistema operativo instalado deberá cumplir con las características de

procesamiento en tiempo real (TR), teniendo sistemas operativos alternativos como Windows, DOS y Linux siendo los más comerciales y conocidos en el medio.

- **Tarjeta Controladora CNC**

La tarjeta controlada CNC o Tarjeta de interface CNC como la conocen en el mercado, es una tarjeta PCI (Interconexión de Componentes Periféricos) de alta velocidad, que desempeña la función de interfaz entre el CPU o procesador con los sensores y los actuadores como se ve en la Figura N° 18 (Spindle, Motores paso y sistema de sensores).

La información enviada por el CPU al PCI son trenes de pulsos, los cuales fueron procesados del código G, esta es la forma en que ingresa la información de los diseños a todo el sistema Router CNC, al igual como se envía la información a los actuadores (Spindle, Motores paso y sistema de sensores).

La velocidad de las tarjetas de interface PCI transmiten la información a una velocidad de 33MHz, que es la velocidad a la que trabaja un procesador de una PC, siendo esta la razón por la que se le denomina tarjetas de alta velocidad.

En el mercado actual existen muchas tarjetas de Interface CNC, describiremos alguna de ellas.

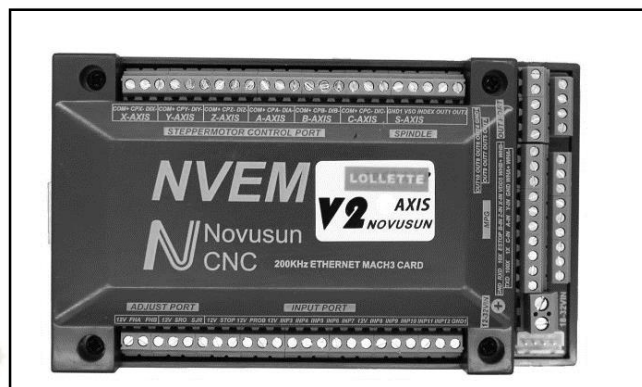


Figura N° 18. Tarjeta de Interface CNC NVEM.

Fuente: <https://www.nvcnc.net/nvem.html>

- **Controlador de Motores**

Los controladores de Motor o Drivers (Figura N° 19) son los encargados de recibir la información de la tarjeta de interface CNC, los cuales son plasmados en el movimiento de los ejes trazando la trayectoria generada por el CPU a través de los motores. Los drivers son distintos para cada tipo de motor (motor paso, servomotor, motor DC, motor AC, etc), ya que el funcionamiento es distinto en los distintos actuadores.

Los drivers van conectados a los motores, pues dependiendo de la potencia de los motores, el consumo de corriente de los drivers será mayor. La característica de estos drivers son la configuración de corriente que se les puede hacer y la configuración del micro-paso (división de pasos de un motor) en el caso de un motor de pasos.



Figura N° 19. Driver de Motor Paso HY-DIV268N-5A.

- **Motores**

Los motores son los encargados de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, permitiendo así el movimiento del sistema de transmisión de cualquier mecanismo, apoyados siempre de un driver de motor, el cual le suministra corriente y señales de dirección, velocidad, y posición previamente calculadas por el CPU y enviadas por el PCI.

En los Router CNC los motores más usados son los motores de paso, pero también pueden lograrse con otros sistemas, como por ejemplo los servomotores, motores DC, entre otros (Figura N° 20).

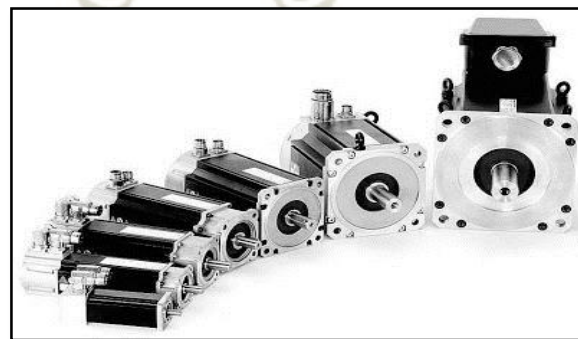


Figura N° 20. Servomotor.

- **Sensores**

Los sensores que componen principalmente un Router CNC, son los que limitan la carrera de los motores en sus diferentes ejes, evitando la colisión de la herramienta de corte con la estructura de la máquina; otra función que tienen estos mismos sensores es dar el punto de inicio de la herramienta referencial configurada por el usuario.

Existen muchos sensores que pueden hacer esta función, por lo que se nombrarán los usados en estas máquinas CNC:

- Sensores de Proximidad.
- Sensores de Contacto.

### 2.6.2. El Softwares

Existen 3 formas para la generación de código G de la pieza a maquinar. La más usada es que el usuario mediante un software CAD diseñe la pieza y luego con un programa CAM procese el maquinado. Otra manera es usando un software CAD/CAM, en los cuales uno puede diseñar y programar la secuencia de maquinado, describiremos el significado de cada uno y el lenguaje G usado en las máquinas CNC.

- **Software CAD**

Las siglas CAD significan en español (Diseño Asistido por Computadora o Computer-Aided Design en inglés). Un software CAD es un software que

permite al usuario la creación de diseños en 2D y 3D. Algunos programas CAD son: Autocad, SolidWork, Turbo Draw, etc. (Figura N° 21).

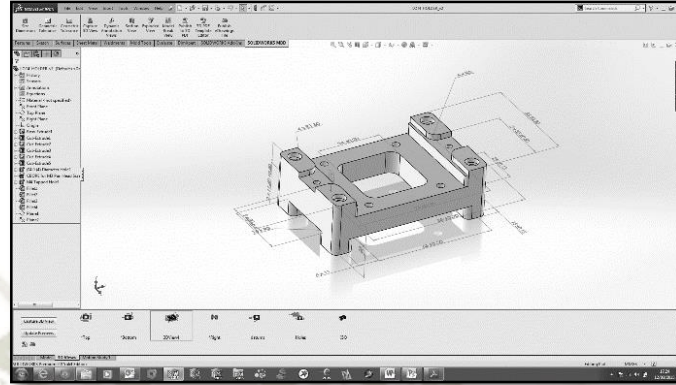


Figura N° 21. Software CAD - SolidWorks.

- **Software CAM**

Las siglas CAM significan (Manufactura Asistida por Computadora o Computer aided manufacturing en inglés), una vez creada la pieza en el software CAD debe ser procesada en un software CAM, en este software es donde el usuario ingresa las características para el mecanizado de la pieza o su diseño, asimismo el tipo de herramienta de corte, material usado, área de trabajo, etc. El software CAM es el encargado de calcular las trayectorias de acuerdo a las características programadas, para luego generar el Código G.

Los softwares CAM más conocidos son: SolidCAM, CAMWorks, CATIA, Vision 360, ArtCAM, etc. (Figura N° 22)

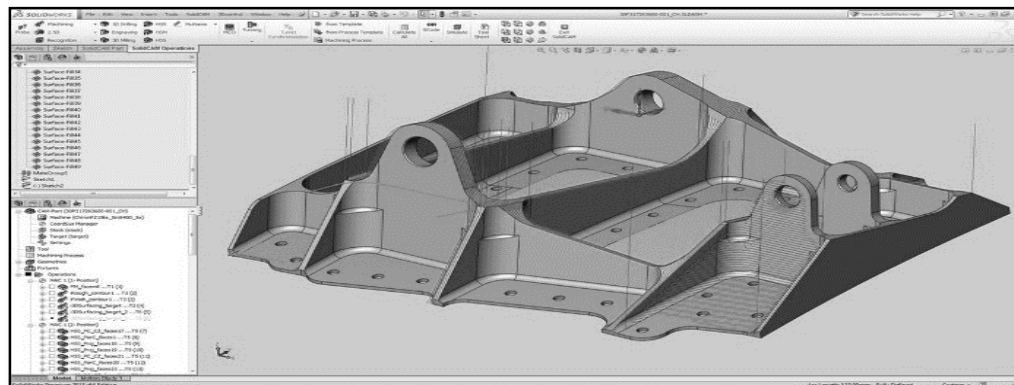


Figura N° 22. Software CAM - SolidCAM.

- **Los Códigos “G” y “M”**

Estos son los nombres que reciben el lenguaje de programación para las máquinas de control numérico computarizado. Estos códigos son lenguajes de tipo vectorial que describen el movimiento y las diferentes operaciones que la máquina debe realizar, por ejemplo, segmento de rectas y arcos de circunferencia, de la misma manera que describen parámetros de maquinado, como la velocidad, tamaño de fresa, entre otras (Figura N° 23).

G-Code words			
<b>G0</b>	Rapid Linear Motion	<b>G59.2</b>	Select Coordinate System 8
<b>G1</b>	Linear Motion at Feed Rate	<b>G59.3</b>	Select Coordinate System 9
<b>G2</b>	Arc at Feed Rate	<b>G80</b>	Cancel Modal Motion
<b>G3</b>	Arc at Feed Rate	<b>G81</b>	Canned Cycles – drilling
<b>G4</b>	Dwell	<b>G82</b>	Canned Cycles – drilling with dwell
<b>G10</b>	Set Coordinate System Data	<b>G83</b>	Canned Cycles – peck drilling
<b>G17</b>	X-Y Plane Selection	<b>G85</b>	Canned Cycles – boring, no dwell, feed out
<b>G18</b>	Z-X Plane Selection	<b>G86</b>	Canned Cycles – boring, spindle stop, rapid out
<b>G19</b>	Y-Z Plane Selection	<b>G88</b>	Canned Cycles – boring, spindle stop, manual out
<b>G20</b>	Length Unit inches	<b>G89</b>	Canned Cycles – boring, dwell, feed out
<b>G21</b>	Length Unit millimeters	<b>G90</b>	Set Distance Mode Absolute
<b>G28</b>	Return to Home	<b>G91</b>	Set Distance Mode Incremental
<b>G30</b>	Return to Home	<b>G92</b>	Coordinate System Offsets
<b>G53</b>	Move in Absolut Coordinates	<b>G92.1</b>	Coordinate System Offsets
<b>G54</b>	Select Coordinate System 1	<b>G92.2</b>	Coordinate System Offsets
<b>G55</b>	Select Coordinate System 2	<b>G92.3</b>	Coordinate System Offsets
<b>G56</b>	Select Coordinate System 3	<b>G93</b>	Set Feed Rate Mode units/minutes
<b>G57</b>	Select Coordinate System 4	<b>G94</b>	Set Feed Rate Mode inverse time
<b>G58</b>	Select Coordinate System 5	<b>G98</b>	Set Canned Cycle Return Level
<b>G59</b>	Select Coordinate System 6	<b>G99</b>	Set Canned Cycle Return Level
<b>G59.1</b>	Select Coordinate System 7		

Figura N° 23. Código G.

## 2.7. ESTADO DEL ARTE

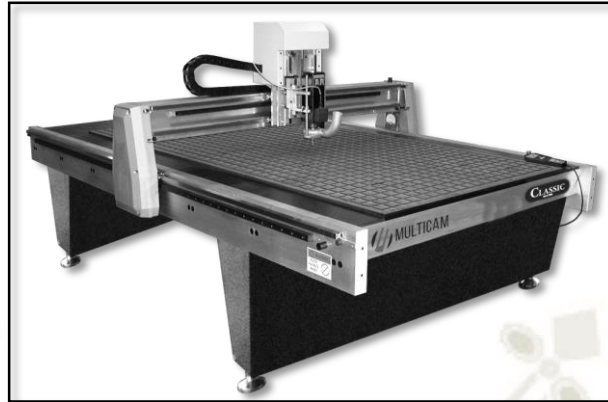
Previo al diseño el diseñador debe de informarse de la tecnología existente ya que le ayudará a tener claro los mecanismos y sistemas que se usan actualmente, así poder elegir la opción más beneficiosa de acuerdo a la aplicación de lo que se pretende diseñar. Sabiendo esto se hizo una investigación de lo que existe en el mercado industrial y las recientes investigaciones sobre la fabricación de los Router CNC para poder estudiar sus mecanismos, sistemas y componentes usados, con la finalidad de poder elegir la opción óptima para nuestro diseño.

El principal motor de búsqueda ha sido internet (Base de datos, buscadores, patentes, empresas distribuidoras de máquinas de manufactura, entre otros).

En la figura 24 se puede apreciar un Router CNC como la mayoría en venta en el mercado para el maquinado de materiales blandos como la madera, plásticos, acrílico, entre otros.

Los mecanismos que resaltan en esta máquina es que utilizan como sistema deslizante las guías lineales de precisión, un sistema de transmisión por cremallera, motores paso, spindle refrigerado por agua. Se puede observar también que es una mesa robusta para asegurar la estabilidad y rigidez, cuenta con un mando de calibración y posicionamiento de herramienta.

Otra característica es el material de fabricación de las piezas de la máquina, la cual es aluminio y acero, ayuda en su rigidez y estabilidad para el tamaño industrial, comúnmente usada para la fabricación de puertas, muebles, entre otros. (Figura N° 24).



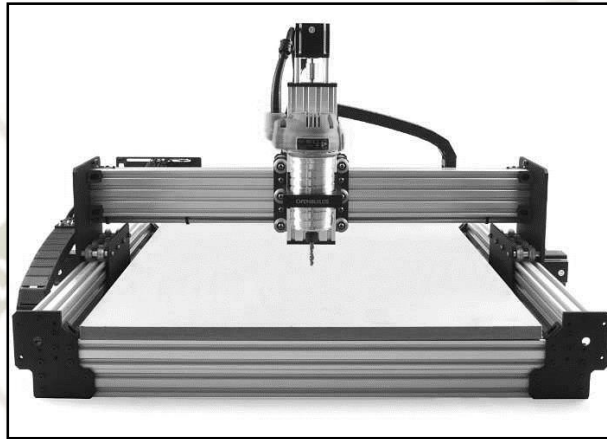
*Figura N° 24.* Router CNC - Distribuidora MULTICAM.  
Fuente: <http://www.multicam.com/classic-cnc-router/>

En la Figura N° 25 se puede apreciar un Router CNC fabricado por la empresa “Buildyourcnc” de Tablero derivado de Madera, este es un diseño económico por el material, cuenta también con el sistema de transmisión de cadena, sistema de desplazamiento sobre perfiles de aluminio con rodajes grove V, un sistema de extracción de partículas por aspiración, motores paso y spindle manual.



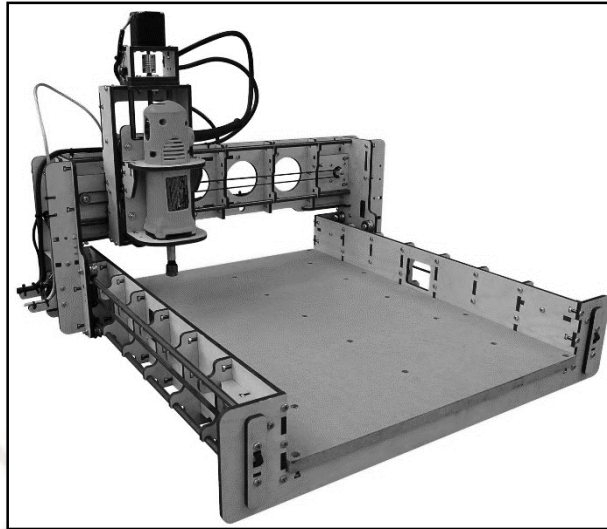
*Figura N° 25.* Router CNC 4'x8' Heavy Duty - CNC Machine Kit (greenBull 4X).  
Fuente: <https://buildyourcnc.com/Item/cnc-machine-greenBull-v4-4X-milling>

En la Figura N° 26 se puede observar un Router CNC construido completamente de perfiles de aluminio conjuntamente con rodamientos V Wheels, un sistema de transmisión de husillo de bolas, spindle manual, motores pasos. Cabe resaltar que es un tamaño de la maquina es mediano.



*Figura N° 26. Ooznest WorkBee CNC Router.*  
Recuperado de: <https://www.geeky-gadgets.com/ooznest-workbee-cnc-router-26-09-2017/>

En la Figura N° 27 se puede observar un Router CNC fabricado con tablero derivado de madera, el cual tiene un sistema de deslizamiento usando tubos y rodamiento U, dos sistemas de transmisión por tornillo y tuerca Acme y a su vez para otro eje el uso de fajas, un spindle manual y el uso de motores paso, de un precio económico.



*Figura N° 27. Router CNC - BobsCNC.*  
Fuente: <https://www.bobscnc.com/products/e3-cnc-engraving-kit>

En la Figura N° 28 se puede observar un Router CNC con maquinados más complejos debido a que la herramienta de corte tiene rotación, el área de trabajo en el eje Z es mucho mayor para tallado de esculturas o piezas de mayor tamaño. En su estructura tenemos las guías líneas de precisión, en el sistema de transmisión por cremallera, motores de paso, spindle refrigerado por aire, y una estructura sólida, rígida y estable gracias a que se fabricó en acero y aluminio.



*Figura N° 28. Router CNC Winter-Holztechnik.*  
Fuente: <https://winter-holztechnik.pl/maszyny/winter-centrum-obrobcze-cnc-routermax-a-axis-1325-deluxe/>

Otro gran conjunto necesario para la investigación del estado del arte, es el sistema eléctrico, electrónico y de control. Estos sistemas no son incluidos en la investigación de las distintas máquinas antes descritas, para lo cual se hará una descripción detallada individual de los demás dispositivos.

- **La Tarjetas de Interface CNC**

En el mercado existen muchas tarjetas de Interface de control CNC, en las cuales difieren en la comunicación con el PC o procesador (conexión Tarjeta con Procesador), unas cuentan con una conexión USB, puerto serial, puerto paralelo y otras con conexión inalámbrica (bluetooth y wifi). De los mencionados anteriormente el más usado son el puerto paralelo (bajo costo) y el puerto USB (alto Costo), como este trabajo tiene como uno de los puntos de diseño relevante el bajo costo, se optará por el puerto paralelo (Figura N° 18).

Otro sistema común usado también para máquinas CNC pequeñas son los microcontroladores Arduino con un módulo CNC y driver de motor paso muy

conocidos como las tarjetas Ramps 1.4 y CNC Shield para Arduino (Figura N° 29). Si bien es una buena opción por el costo, se busca una máquina de mediano tamaño no es conveniente su uso por la potencia de los motores, ya que estos drivers soportan bajos amperajes.

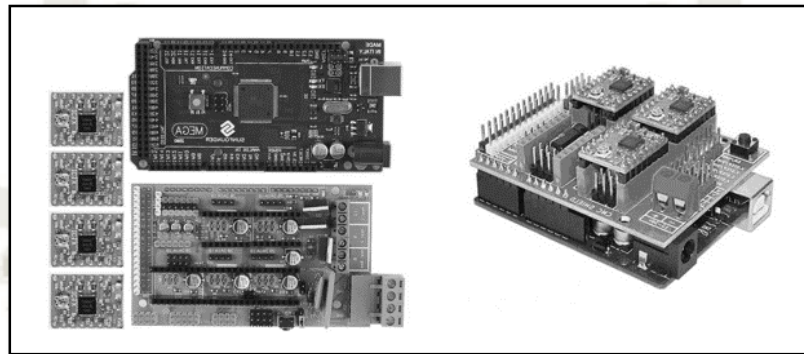


Figura N° 29. Tarjetas Ramps 1.4 y CNC Shield Arduino

- **Herramienta de Corte**

Otro elemento fundamental es la herramienta de corte, para esto se hizo una investigación de las herramientas que se usan para este proceso y son herramientas llamadas router manual o spindle cuya velocidad sobrepasan los 20000 RPM.

Los más utilizados en la industria son:

- Spindle refrigerado por agua.
- Spindle refrigerado por aire.
- Router manual.

Las tres herramientas de corte descritas son usadas en distintas máquinas, la característica principal es la alta velocidad sobrepasando los 20 000 RPM, la

diferencia que se encontró entre ellas el costo, siendo el router manual el más económico. Un dato muy importante es que las spindle refrigerados ya sea por agua o aire se encuentran en las máquinas industriales debido al tiempo de trabajo que funcionan sin parar. Como nuestro diseño será un Router de tamaño medio y uso no industrial se optará por un Router manual.

- **Motor**

En las opciones de motores usados en los Router CNC, casi todos esos equipos usan los motores de paso debido a la compatibilidad con las tarjetas de interface CNC, ya que están diseñadas para ese tipo de motores.

#### Software

En la investigación de la tecnología que se hizo, las más usada es el software de control CNC llamado Mach3. A su vez el microcontrolador Arduino tiene su propio programa también usado como impresora 3D. Cabe resaltar que algunos fabricantes y diseñadores de estas máquinas tienen su propio software o usan la interface de las tarjetas mucho más desarrolladas. Siempre teniendo en cuenta que se necesita 3 tipos de software: un programa de CAD para crear un dibujo, un programa de CAM para crear las trayectorias de herramienta y salida G-code y un programa que traduce el código G y controla el router, en este caso sería el Mach3.

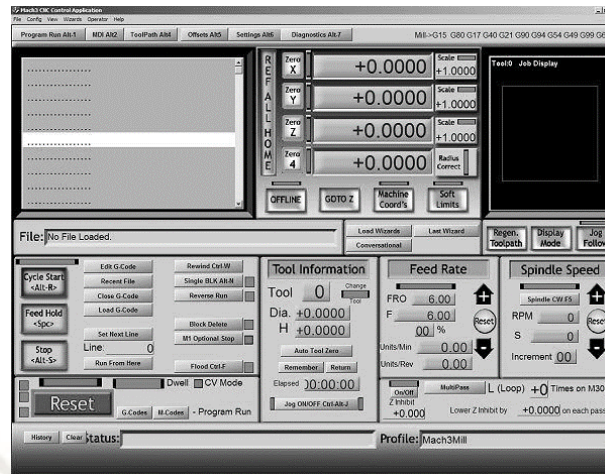


Figura N° 30. Mach3 - Software de Control CNC

- **Parámetros y Costo en el Mercado**

Como otro punto importante para nuestro diseño, y tener posibilidad de llevar un control de gastos y parámetros, se hizo una pequeña investigación de los equipos en el mercado, recopilando información del costo de las máquinas, marcas y los distintos parámetros de trabajo, tal como: Área de trabajo, velocidad en vacío, resolución, velocidad de Spindle, etc.

Estos parámetros permitirán que nuestro diseño tenga las características competitivas con las distintas máquinas en el mercado, teniendo en todo momento referencia de los rangos de trabajo para nuestro diseño próximo en este proyecto.

Tabla N° 3  
*Router CNC del Mercado*

ITEM	ROUTER CNC	AREA DE TRABAJO (mm)			RESOLUCIÓN (mm)	VELOCIDADES (mm/min)	PRECIO (USD)	V. USILLO (RPM)
		X	Y	Z				
1	AMAN 3040CH80	300	400	80	0.125	3000 mm/min	1500	5000-24000
2	Bungard CCD / MTC	325	495	38	0.001	9000 mm/min	2000	3000 - 63000
3	FIRM FM6090T	600	900	100	0.01	7000 mm/min	2700	24000
4	SANYOU SY-4040	400	400	100	0.0001	5500 mm/min	3000	18000
5	JFT CNC6090Z-A	600	900	110	0.01	4000 mm/min	2400	24000

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla N° 3, se tiene una descripción de las distintas maquinas Router CNC en el mercado, en donde se detalla sus parámetros como su precio, esto nos ayudara a realiza una comparativa al final de este proyecto para lo cual es importante tenerlo como referencia, apoyándonos siempre de estos parámetros.

## CAPITULO III

### PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN

#### 3.1. LISTA DE EXIGENCIAS

En esta sección ya iniciando en lo que consiste el diseño, se recibe una descripción de una situación problemática o una serie de exigencias, refiriéndonos al manejo y conocimientos de la técnica, tecnología y ciencia, así como también el uso de los recursos humanos y materiales que se usarán para alcanzar resultados exitosos, generando una lista de exigencias que deberá ser dotado en nuestro proyecto.

La formulación de las exigencias debe ser neutral frente a la solución del problema. Haremos una serie de preguntas que nos encaminarán a la obtención de exigencias de nuestro diseño, siempre teniendo en claro nuestro tema, el cual es el diseño y construcción de un Router CNC para tableros derivados de madera esencialmente. Las preguntas que responderemos son:

- ¿Qué finalidad tiene que satisfacer la solución?
- ¿Qué propiedades debe tener esta solución?
- ¿Qué propiedades no debe tener esta solución?

Las preguntas anteriores nos ayudarán en la creación de nuestra lista de exigencias para nuestro diseño, nos guiaremos siempre de la información del marco teórico y estado del arte, ver las tendencias y tecnologías existentes en la actualidad (Tabla N° 4).

Tabla N° 4  
*Lista de Exigencias.*

<b>LISTA DE EXIGENCIAS.</b>		
Nombre del Proyecto:		Diseño y Construcción de un prototipo de Router CNC de 3 ejes
Responsable:		Richard Nelson Laura Huarcaya
<b>Características</b>	<b>Deseos o Exigencias</b>	<b>Descripción</b>
Geometría	<b>E</b>	Deberá tener un área de trabajo de 550 X 850 X 80 mm
	<b>E</b>	Deberá tener un tamaño máximo de 900 X 1250 x 750 mm
Cinemática	<b>E</b>	Deberá ser de 3 dimensiones automatizadas
	<b>E</b>	Deberá tener una versatilidad de corte capaz de hacer cortes rectos y curvos.
Fuerzas	<b>D</b>	Deberá tener un Peso no mayor a 60 kg.
Energía	<b>E</b>	Deberá funcionar con una tensión de alimentación de 220 V AC, 60 HZ
Material	<b>E</b>	Deberá ser capaz de maquinar tableros derivados de madera de 12 mm de espesor como máximo.
Ergonomía	<b>E</b>	Deberá tener un Computadora con una interface de Manipulación
Fabricación	<b>E</b>	La fabricación de sus piezas se realizaran en la localidad.
Control	<b>E</b>	Deberá tener una interfaz Usuario/ Maquina
	<b>D</b>	Deberá Tener Fácil acceso al material de trabajo y control intuitivo a través de botones.
	<b>E</b>	Deberá tener una precisión no menor de 1 mm
	<b>E</b>	Deberá tener un control de movimientos mediante Código G por software
	<b>D</b>	Deberá contar con un control Manual de posicionamiento de herramienta y pieza y permitir su calibración
Seguridad	<b>D</b>	Deberá aceptar información grafica compatible con software Solidwork, CorelDraw, ArtCam.
	<b>E</b>	Deberá tener límites de carrera para proteger la colisión con la estructura del mismo.
Montaje	<b>E</b>	Deberá tener un botón físico de paro de Emergencia.
	<b>E</b>	Deberá ser Desmontable en todas sus piezas, para su traslado.
Transporte	<b>E</b>	Deberá ser Transportable ensamblado y desensamblado.
Costos	<b>D</b>	Deberá ser de bajo costo

*Fuente:* Elaboración Propia.

En la Tabla N° 4 generada para nuestro diseño se detalla:

**Deseo o Exigencia:** Se colocó un E (Exigencia) cuando son exigencias fijas que el proyecto deba de tener o una D (Deseo) si se trata solo de aspiraciones sin consecuencias contradictorias con el objetivo del diseño.

**Descripción:** Se detallan las características de los deseos o exigencias solicitadas, las cuales deben considerarse durante el diseño y deberá tener la máquina, los títulos en la descripción son en total responsabilidad del diseñador, pues es el encargado de evaluar los distintos áreas de conocimientos relacionados que intervendrán durante el desarrollo del proyecto.

**Responsable:** Se nombra al responsable de que la característica (sea exigencia o deseo) sea transmitida al diseño.

Debido a que el diseño y construcción del Router CNC es un proyecto personal, las exigencias de características geométricas y de montaje fueron limitadas por el lugar que se cuenta para su construcción (tamaño reducido) y la movilidad para su transporte, más adelante se pretenderá expandir el diseño para una aplicación industrial, para las demás exigencias se tomó como referencia los mecanismos y tecnologías existentes en el mercado.

### 3.2. ELABORACIÓN DEL BLACK BOX

Cualquier función ó función total puede ser representada en forma de una caja negra (Black-Box), en donde solo se visualizan y se tienen en cuenta tres magnitudes básicas: señal, energía y materia.

Al interior de la Caja Negra "Black-Box" ocurre un proceso técnico, es decir una transformación de las propiedades antes descritas.

El objetivo de la realización de una caja negra es la estimulación del pensamiento creativo, tratando de incrementar el flujo de ideas, eliminando los bloqueos mentales que inhiben la creatividad o amplía el área de búsqueda de soluciones.

Sabiendo eso se procede a la evaluación y creación de nuestra Black – Box evaluando la entrada y salida de nuestro Diseño (Figura N° 31).



*Figura N° 31.* Black - Box (Caja Negra) del Diseño.

Fuente: Elaboración propia.

- **Parámetros de entrada**

**Señal:** La información del usuario que deberá poder ingresar información de su diseño previo diseño en un Software CAD a la máquina.

**Energía:** Energía de tipo eléctrica para la alimentación de los actuadores eléctricos y el control electrónico.

**Materia:** Tablero derivado de madera para el maquinado.

- **Parámetros de salida**

**Señal:** La información mostrada por el software de usuario del estado de maquinado.

**Energía:** Vibraciones debido al funcionamiento de la máquina, calor emitido por los motores, ruido de los actuadores (motores y herramienta de corte).

**Materia:** Partículas de madera en forma de polvo, la pieza maquinada (cortada).

### 3.3. DETERMINAR LA SECUENCIA DE OPERACIONES

Para poder transformar las magnitudes de entrada de nuestra caja negra (Black- Box) es necesario seleccionar principios tecnológicos que logren la transformación deseada para nuestro diseño.

Esta transformación ocurre por una serie de operaciones, las secuencias de estas son decididas por la tecnología existente.

Entonces la determinación de los principios tecnológicos es el inicio para estructurar los principios técnicos, los procedimientos de trabajos que se llevarán a cabo y su secuencia.

Con el objetivo principal de solucionar el problema que esencialmente es el maquinado de tableros derivados de la madera, se han estudiado los pasos a seguir para lograr dicho propósito.

Se presenta a continuación una lista con la secuencia de operaciones necesarias que debe cumplir la máquina para poder realizar dicho proceso, iniciando desde la máquina colocando la materia prima, hasta el término con el forjado de la pieza.

**Sujeto de Materia Prima:** La sujeción será realizada por el operario, pero se debe recalcar que para en el diseño se considerará un sistema donde el usuario pueda sujetar la materia prima para evitar el movimiento al ser maquinado.

**Acondicionar voltaje de alimentación:** Es una operación que realizará la máquina ya que será alimentada con un voltaje domiciliario de 220V, pero este mismo debe de ser acondicionado para los distintos voltajes que se usen para el sistema de control y los distintos actuadores de la máquina.

**Envío de información:** El envío de información (diseño CAD/CAM) del CPU al sistema de control de CNC debe de ser enviado mediante alguna comunicación entre ellas, esta se considerará en el diseño ya que es parte fundamental para el funcionamiento.

**Control CNC:** Este control de trayectorias y velocidades es realizada mediante un programa y un tarjeta de interface, el cual se toma como parte del diseño y selección.

**Ejecución de trayectorias:** La ejecución de trayectoria está constituida por el sistema de deslizamiento, sistema de transmisión de potencia y también el sistema que se usará para convertir el movimiento angular de los motores a un movimiento lineal.

**Maquinado:** El maquinado se realizará mediante un actuador, se evaluará la mejor opción para nuestro diseño, pero deberá estar incluida en el diseño ya que dependerá mucho de las características de esta para partir con el diseño.

### 3.4. ESTRUCTURA DE FUNCIONES

La elaboración de la estructura de funciones, no es más que la evaluación de nuestro Black-Box internamente, conjuntamente con nuestra secuencia de funciones, la manera más fácil de representarla es en bloques ya que es más práctico el establecer las uniones.

Prosiguiendo con el diseño, para esta parte del proyecto se ha logrado discernir los problemas en el diseño de esta máquina, clasificando y agrupando las funciones en bloques e interrelacionándolos para tener una idea clara del trabajo técnico de su funcionamiento, para posteriormente evaluar las opciones que satisfaga nuestro diseño.

Nuestra estructura de funciones se logró en base al estado del arte, lista de exigencias, Black-Box y la secuencia de funciones (Figura N° 32).

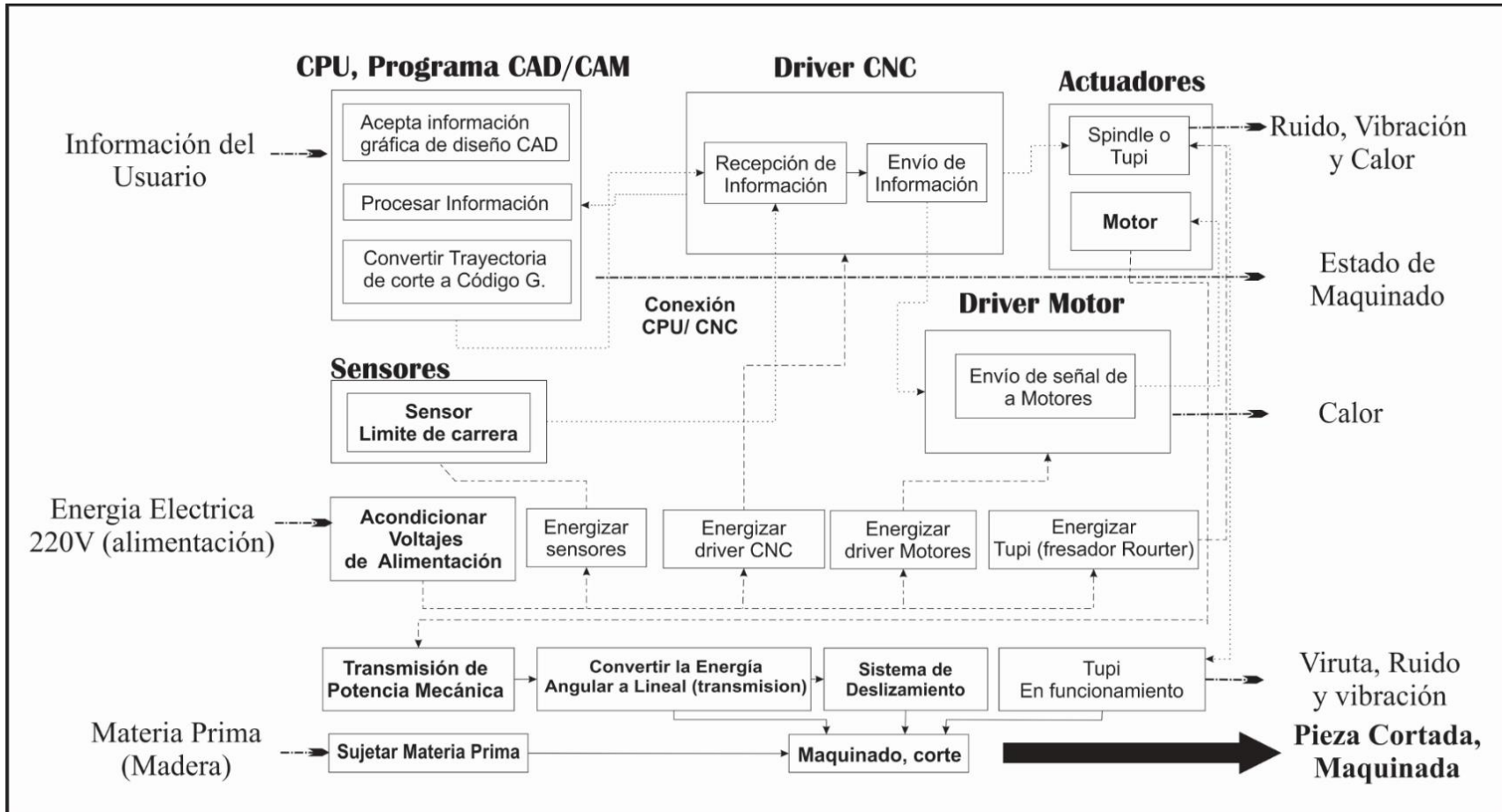


Figura N° 32. Estructura de Funciones de Diseño.  
Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la Figura N° 32 la estructura de funciones de nuestro diseño, basándonos en las 3 magnitudes evaluadas en nuestro Black - Box y así elaborar la parte técnica que interviene para el proceso deseado, permitiéndonos tener una idea clara de su funcionamiento y abriéndonos a las posibles soluciones que se evaluarán más adelante.

### 3.5. MATRIZ MORFOLÓGICA

Al confeccionar nuestra estructura de funciones hemos logrado dividir el proceso técnico (función total) en funciones parciales, en esta etapa transformaremos la estructura de funciones, a través de principios de solución para cada una de las funciones, con ayuda de nuestra secuencia de funciones y estructura de funciones realizada anteriormente.

Las opciones que se analizarán parten principalmente de nuestro estudio del arte, ya que ahí se hace un análisis de la tecnología, mecanismos y sistemas usados actualmente.

Esencialmente se trata de la búsqueda de las soluciones posibles para nuestro diseño. Lo que aquí se presenta es una de las formas de llegar a las soluciones con la ayuda de un esquema ordenado (Tabla N° 5):

Tabla N° 5  
Matriz Morfológica

MATRIZ MORFOLÓGICA							
Nº	Funciones Parciales (o elementales)	Sub - Funciones Parciales (o elementales)		Alternativas De defectos, de portadores, de principios de solución, de formas, de grupos funcionales, de bloques funcionales			
				a	b	c	d
1	Sujetar Materia Prima	Sistema de Sujeción de Pieza	-	Pernos y uñas	Carriles de sujeción		
2	Envío de Información	Conexión CPU/CNC	-	WiFi	Bluetooth (Puerto Serial)	Puerto Paralelo (LPT)	USB
3	Control CNC	Driver CNC	-	PIC	ATmega (Arduino)	CNC Interface Adapter Breakout Board	PC
		Driver Motor	-	Puente H	Driver Motor de Paso	Control Triac	Stepper Driver CNC Shield
		Sensor Limites de Carrera	-	Capacitivo	Inductivo	Switch de Contacto	-
6	Acondicionamiento de Voltaje de Alimentación	Etapas de potencia	-	Fuente de 220V - (X) V Fijo	Circuitos Integrados de Potencia	-	-
5	Ejecución de Trayectoria	Motores	-	Servomotores	Motores de Paso	Motor DC	Motor AC
		Transmisión de Potencia Mecánica	Motor X	Acople Flexible	Acople Rígido	Ejes	Pitones/ poleas
			Motor Y				
			Motor Z				
		Convertir Movimiento angular a Lineal	Carro X	Husillo de Bolas	Cadena	Faja	Tornillo y Tuerca Acme
			Carro Y				
Carro Z							
Sistema de Deslizamiento	-	Perfil L/ Rodaje V	Guía Lineal soportada	Guía lineal de Precisión	-		
6	Estructura	Estructura de cnc	-	MDF	Aluminio	Acero	Plástico
7	Maquinado	Maquinado. Cortar Madera	-	Air Cooled Spindle	Water-Cooled Spindle	Router Trimmer	-













Fuente: Elaboración Propia.

### 3.6. PROYECTOS PRELIMINARES

En base en nuestra matriz morfológica se determinaron 3 alternativas de solución denominadas proyectos preliminares, los cuales se evaluarán a detalle generando su bosquejo para su evaluación posterior.

### 3.6.1. Alternativa 1

Tabla N° 6  
Alternativa 1

Nº	Funciones Parciales (o elementales)	Sub - Funciones Parciales (o elementales)		SOLUCION 1
1	Sujetar Materia Prima	Sistema de Sujeción de Pieza	-	Carriles de sujeción 
2	Envío de Información	Conexión CPU/CNC	-	PUERTO USB 
3	Control CNC	Driver CNC	-	CNC Interface Adapter Breakout Board 
		Driver Motor	-	Driver Motor de Paso 
		Sensor Limites de Carrera	-	Switch de Contacto 
6	Acondicionar Voltaje de Alimentación	Etapas de potencia	-	Fuente de 220V - (X) V Fijo 
5	Ejecución de Trayectoria	Motores	-	Motores de Paso 
		Transmisión de Potencia Mecánica	Motor X	Acople Flexible 
			Motor Y	
			Motor Z	
Convertir Movimiento angular a Lineal	Carro X	Husillo de Bolas 		
	Carro Y			
	Carro Z			
	Sistema de Deslizamiento	-	Guía lineal de Precisión 	
6	Estructura	Estructura de cnc	-	Aluminio 
7	Maquinado	Maquinado, Cortar Madera	-	Air Cooled Spindle 

Fuente: Elaboración Propia.

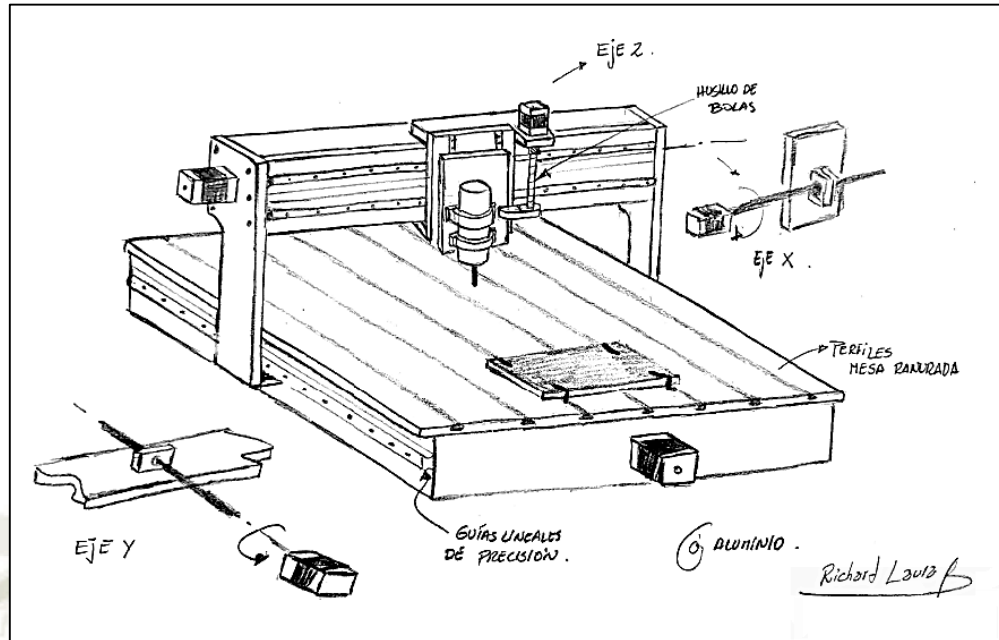


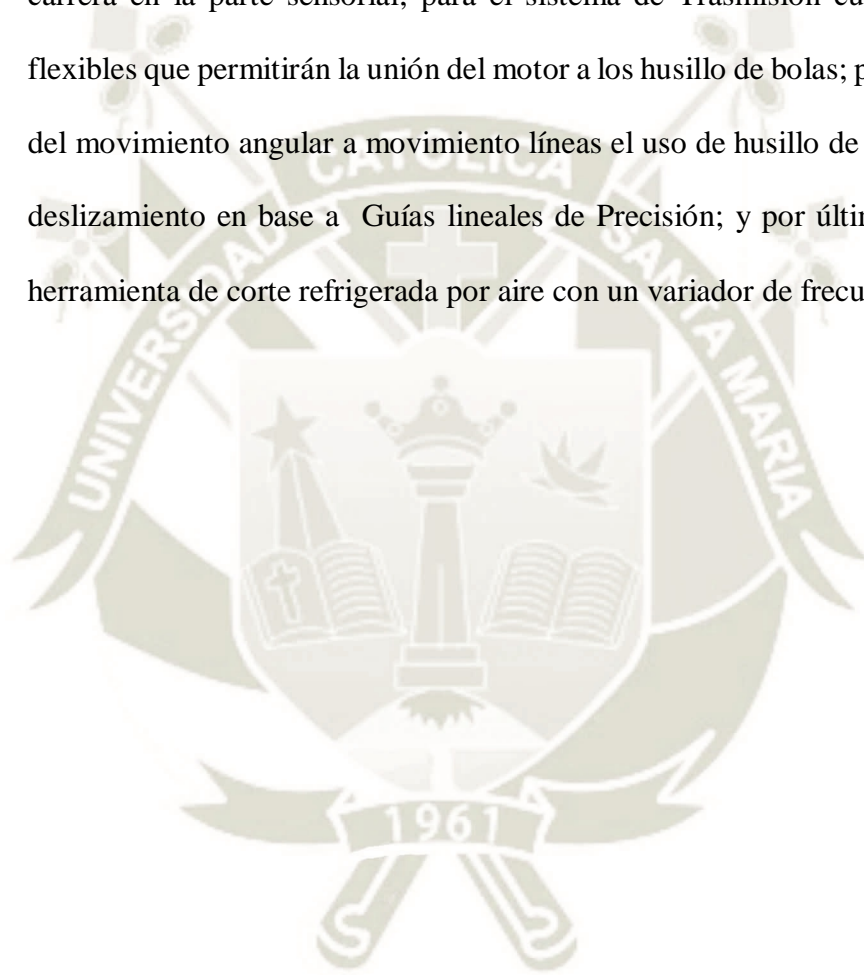
Figura N° 33. Alternativa de Solución 1.  
Fuente: Elaboración Propia

Para la alternativa de solución uno se generó un Bosquejo (Figura N° 33) en el cual podemos observar los distintos mecanismos y sistemas seleccionados en nuestra matriz morfológica, las mismas que fueron seleccionadas gracias a la información obtenida en nuestro estado del Arte y demás pasos anteriores a este.

Se puede decir a rasgos generales que esta máquina tiene el mayor costo de fabricación y construcción, debido a los materiales que usa y los sistemas de transmisión de potencia de alta precisión de las cuales dispone, siendo estos elementos los encargados de garantizar una máquina rígida y estable de una buena precisión.

Como se puede observar en el bosquejo la máquina está fabricada en su mayor parte de Planchas de aluminio maquinadas; sistema de sujeción mediante

perfiles de aluminio ranurado; si bien no se puede observar en este bosque el sistema eléctrico y electrónico, está conformados por una tarjeta de control CNC con conexión puerto paralelo y driver de motores paso, siendo alimentados por una fuente de poder fija de 220 AC a (x) DC, dispuesta también de sensores límites de carrera en la parte sensorial; para el sistema de Trasmisión cuenta con acoples flexibles que permitirán la unión del motor a los husillo de bolas; para la conversión del movimiento angular a movimiento líneas el uso de husillo de bolas; sistema de deslizamiento en base a Guías lineales de Precisión; y por último el uso de una herramienta de corte refrigerada por aire con un variador de frecuencia.



### 3.6.2. Alternativa 2

Tabla N° 7  
Alternativa 2

N°	Funciones Parciales (o elementales)	Sub - Funciones Parciales (o elementales)		SOLUCION 1	
1	Sujetar Materia Prima	Sistema de Sujeción de Pieza	-	Pernos y uñas	
2	Envío de Información	Conexión CPU/CNC	-	Puerto Paralelo (LPT)	
3	Control CNC	Driver CNC	-	CNC Interface Adapter Breakout Board	
		Driver Motor	-	Driver Motor de Paso	
		Sensor Limites de Carrera	-	Switch de Contacto	
6	Acondicionar Voltaje de Alimentación	Etapas de potencia	-	Fuente de 220V - (X) V Fijo	
5	Ejecución de Trayectoria	Motores	-	Motores de Paso	
		Transmisión de Potencia Mecánica	Motor X	acople flexible / Ejes	
			Motor Y		
			Motor Z		
Convertir Movimiento angular a Lineal	Carro X	Cadena / Tornillo y Tuerca Acme			
	Carro Y				
	Carro Z				
	Sistema de Deslizamiento	-	Perfil L/ Rodaje V groove		
6	Estructura	Estructura de cnc	-	MDF	
7	Maquinado	Maquinado, Cortar Madera	-	Router Trimmer	

Fuente: Elaboración Propia.

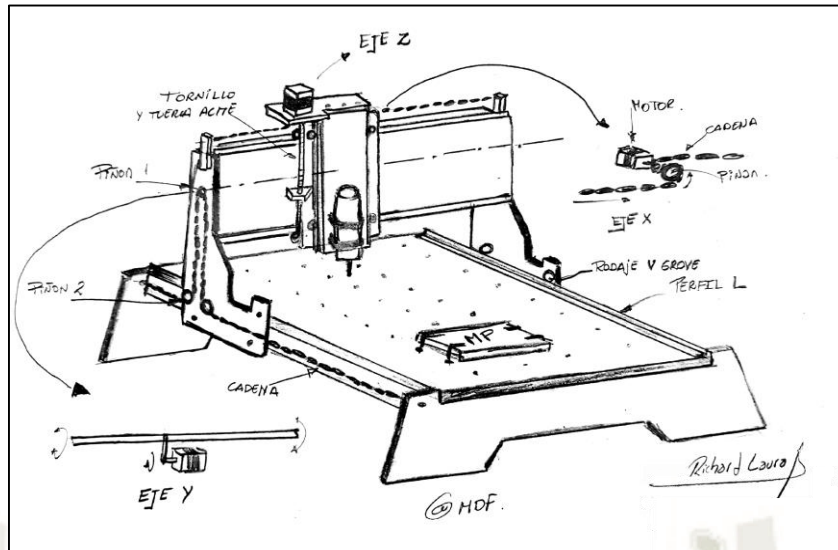


Figura N° 34. Bosquejo - Alternativa de Solución 2.  
Fuente: Elaboración Propia.

Para la alternativa de solución 2 se generó un Bosquejo (Figura N° 34) en el cual podemos observar los distintos mecanismos y sistemas seleccionados en nuestra matriz morfológica, las mismas que fueron seleccionadas gracias a la información obtenida en nuestro estado del arte y demás pasos anteriores a este.

Se puede decir a rasgos generales que esta máquina tiene un bajo costo de fabricación y construcción, debido a los materiales que usa y los sistemas de transmisión de potencia de los cuales dispone, con el único inconveniente del ruido excesivo que este genera por este sistema de transmisión.


Como se puede observar en el bosquejo la máquina está fabricada en su mayor parte de tableros derivados de madera; sistema de sujeción mediante pernos y uñas; si bien no se puede observar en este bosquejo el sistema eléctrico y electrónico, está conformados por una tarjeta de control CNC con conexión puerto paralelo y driver de motores paso, siendo alimentados por una fuente de poder fija de 220 AC a (x)

DC, dispuesta también de sensores límites de carrera en la parte sensorial; para el sistema de transmisión cuenta con acoples flexibles que permitirán la unión del motor al tornillo de potencia, así como también el uso de piñones y poleas para la transmisión de los distintos ejes; para la conversión del movimiento angular a movimiento líneas el uso de cadena y tornillo de potencia; sistema de deslizamiento en base a Guías lineales de Precisión; y por último el uso de una herramienta de corte manual acondicionada para el uso automatizado.



### 3.6.3. Alternativa 3

Tabla N° 8  
Alternativa 3

N°	Funciones Parciales (o elementales)	Sub - Funciones Parciales (o elementales)		SOLUCION 3
1	Sujetar Materia Prima	Sistema de Sujeción de Pieza	-	Carriles de sujeción 
2	Envío de Información	Conexión CPU/CNC	-	PUERTO USB 
3	Control CNC	Driver CNC	-	ATMega (Arduino) 
		Driver Motor	-	Stepper Driver CNC Shield 
		Sensor Limites de Carrera	-	Switch de Contacto 
6	Acondicionar Voltaje de Alimentación	Etapas de potencia	-	Fuente de 220V - (X) V Fijo 
5	Ejecución de Trayectoria	Motores	-	Motores de Paso 
		Transmisión de Potencia Mecanica	Motor X	Acople Flexible 
			Motor Y	
			Motor Z	
Convertir Movimiento angular a Lineal	Carro X	Tornillo y Tuerca Acme 		
	Carro Y			
	Carro Z			
	Sistema de Deslizamiento	-	Guía Lineal soportada 	
6	Estructura	Estructura de cnc	-	Aluminio 
7	Maquinado	Maquinado, Cortar Madera	-	Water-Cooled Spindle 

Fuente: Elaboración Propia.

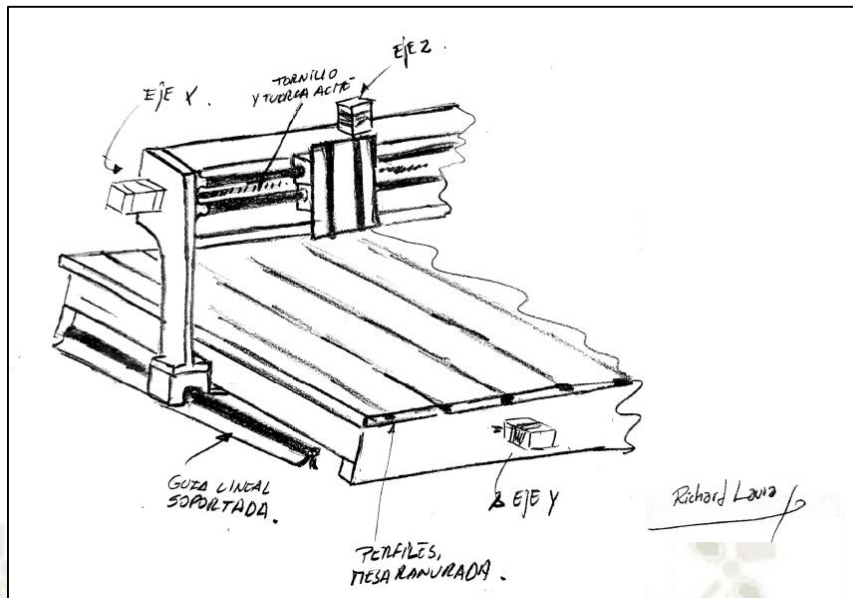


Figura N° 35. Bosquejo - Alternativa de Solución 3.  
Fuente: Elaboración Propia

Para la última alternativa de solución se generó un Bosquejo (Figura N° 35) en el cual podemos observar los distintos mecanismos y sistemas seleccionados en nuestra matriz morfológica, las mismas que fueron seleccionadas gracias a la información obtenida en nuestro estado del arte y demás pasos anteriores a este.

Se puede decir a rasgos generales que esta máquina tiene un bajo costo de fabricación y construcción, debido a los materiales que usa y los sistemas de transmisión de potencia de los cuales dispone. Una característica de esta alternativa de solución es que sólo se usó para la construcción de máquinas de tamaño pequeño debido al sistema de control que usa.

Como se puede observar en el bosquejo, la máquina está fabricada en su mayor parte de planchas de aluminio maquinadas, su sistema de sujeción está dotado mediante perfiles de aluminio ranurado; si bien no se puede observar en este

bosquejo, el sistema eléctrico y electrónico están conformados por una tarjeta de control CNC-Arduino con conexión puerto USB y un shield de drivers de motores paso, siendo alimentados por una fuente de poder fija de 220 AC a (x) DC, dispuesta también de sensores límites de carrera en la parte sensorial; para el sistema de transmisión cuenta con acoples flexibles que permitirán la unión del motor a los tornillos de potencia; para la conversión del movimiento angular a movimiento lineales el uso de tornillos de potencia en los 3 ejes; sistema de deslizamiento en base a guías lineales soportadas; y por último el uso de una herramienta de corte refrigerada por agua con un variador de frecuencia.

### **3.6. EVALUACION TÉCNICO-ECÓNOMICA**

En esta parte de la elaboración del proyecto se hace una evaluación técnica y económica valorando las alternativas de solución antes seleccionadas.

Realizaremos una serie de preguntas en base a nuestra lista de exigencia, la seguridad de la máquina, la factibilidad de su fabricación, y demás interrogantes que propondremos para una buena selección (Tabla N° 9).

Tabla N° 9  
*Selección de Solución Óptima*



Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la tabla de selección de la solución óptima se tomó criterios relevantes para el diseño en base a toda la información y documentación obtenida a lo largo del desarrollo de este proyecto, teniendo como resultado final la alternativa tres como solución óptima.

La selección de esta solución óptima nos permitirá iniciar el desarrollo del diseño con todos los sistemas y mecanismo seleccionados, teniendo en cuenta en todo momento las características de nuestra lista de exigencias. También nos permitirá proceder a realizar los cálculos necesarios para la elaboración de toda la estructura mecánica, eléctrica y electrónica necesaria para la realización completa del proyecto propuesto.

## CAPITULO IV

### PROYECTAR SISTEMA MECANICO

#### 4.1. DETERMINAR EL PROYECTO

Los datos más relevantes para esta etapa de nuestro diseño son el bosquejo preliminar (óptimo) y todos los documentos generados a lo largo de las elaboraciones anteriores a esta etapa.

En esta parte de nuestro diseño debemos limpiar el proyecto preliminar escogido, logrando una completa descripción del diseño, aspirando en todo momento que sea el definitivo.

La elaboración de un diseño complejo se resuelve con una demostración a través de un cálculo de resistencia de materiales. Sin embargo, la problemática es mucho más complicada, para iniciar con las ideas claras tendremos siempre en mente nuestra lista de exigencias, por lo que será una guía de los límites o restricciones que asumiremos para nuestro diseño, así como también las propiedades que se tendrán que incluir en ella.

Se procederá al diseño mecánico del Router CNC con ayuda del software CAD SolidWork, se usará tanto en su diseño estructural como las distintas pruebas de resistencia tomadas en cuenta para nuestro diseño.

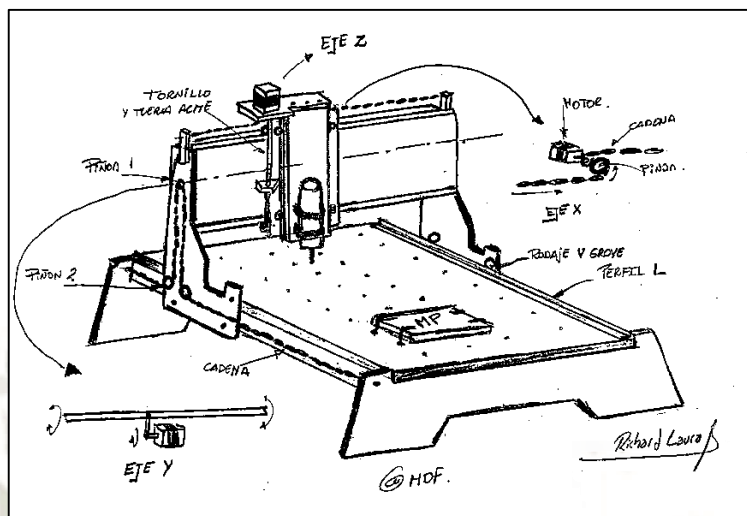


Figura N° 36. Bosquejo - Alternativa de Solución 2.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a nuestro bosquejo (Figura N° 36) se dividirá el diseño en 3 partes principales: la mesa de trabajo, el carro deslizante X, carro deslizante Y, y la porta herramienta que sería el carro deslizante Z.

#### 4.2. SELECCIÓN DE ESPESOR DE MDF

Para el diseño de nuestro proyecto se usará MDF (tablero de fibra de densidad media) como el material seleccionado en el concepto óptimo antes elegido, pero este material tiene distintas configuraciones para lo cual iniciaremos el diseño con la selección de las mejores propiedades en este material. Como se puede observar en la Tabla N° 10 existen en el mercado distintos espesores como formatos de este material.

Luego de hacer una investigación se trabajará en base a un tablero de MDF liviano (comercial en la localidad) por sus propiedades físicas, tamaño de tablero 2.44 X 2.14 metros y la evaluación del espesor se obtendrá en base a simulación con el software CAD SolidWorks.

Tabla N° 10  
*Características de Tablero MDF*

**Formatos:**

	Ancho				Largo
Metros	1.22	1.52	1.83	2.15	2.44
Pies	4	5	6	7	8

**Espesores (mm):**

3 | 4.7 | 5.5 | 9 | 12 | 15 | 18 | 25 | 30

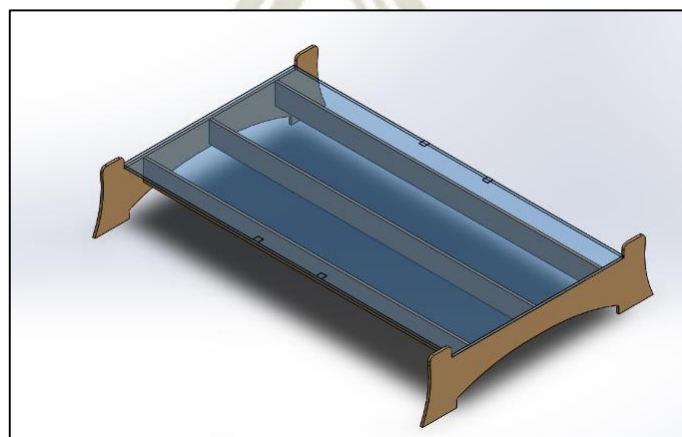
**Clasificación según densidad:**

Estándar | Liviano | Ultraliviano | Delgado

Fuente: [www.masisa.com](http://www.masisa.com)

Iniciaremos con el diseño previo de la mesa de trabajo, ya que soportará todo el peso del carro de deslizante X, carro deslizante Y, carro deslizante Z (porta herramienta) y demás componentes de Router CNC.

Para poder analizar el espesor adecuado de tablero MDF nos apoyaremos con el software CAD SolidWork Simulation para realizar las simulaciones con los distintos espesores (Tabla N° 10) para determinar al mejor. La selección del espesor uniforme para toda la máquina se realiza debido a que se pretende economizar y fabricar todas las piezas de un mismo tablero por corte CNC ya sea por Laser o Fresado.



*Figura N° 37. Mesa de Trabajo Para Análisis de Espesor.*  
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N° 37 se puede observar el diseño de la mesa de trabajo en MDF, sin incluir los perfiles donde deslizará el carro X según nuestro bosquejo óptimo seleccionado.

Para determinar el espesor dividiremos esta sección en 3 partes: Identificación de las fuerzas que actúan sobre la mesa de trabajo, el análisis de estas fuerzas sobre la mesa de trabajo y por último la simulación para determinar el espesor del tablero MDF.

#### 4.2.1. Masa Soportada por la Mesa de Trabajo

Para realizar el análisis se deberá identificar las fuerzas que actúan sobre la mesa de trabajo. Para determinar estas fuerzas se consideraron los elementos con mayor masa que soportará la mesa de trabajo, en la Tabla N°11 se puede observar las distintas masas consideradas, los cuales se describirán a detalla y su cálculo pertinente.

*Tabla N° 11  
Masa Soportado por Mesa de trabajo.*

N°	Componentes
1	Materia prima (espesor 30 mm)
2	Fuerza de Corte (calculada)
3	Estructura de Maquina (1/3 de tablero MDF 25mm)
4	Stepper Motor (3 motores)
5	Router Manual
6	Cadena
7	Varios

Fuente: Elaboración propia.

- **Materia Prima**

La materia prima se considera debido a que es el material a maquinar y aporta un peso a la mesa de trabajo, para este caso se considera como materia prima un tablero de espesor máximo 30 mm (tabla 4.1) y un tamaño máximo soportado por nuestra máquina diseñada que es de 60 x 125 cm. Cabe recalcar que esta carga es distribuida por toda la mesa la cual se debe considerar en la simulación. El cálculo para hallar este peso es el siguiente:

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

Donde:

$$\rho = 700 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Densidad del tablero MDF (Tabla N° 1)}$$

$$m = ? \text{ kg} \quad \text{Masa buscada}$$

$$V = 0.0225 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen de tablero MDF}$$

Despejando m (kg) tenemos:

$$m = V \cdot \rho \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$m = (0.6 \times 1.25 \times 0.03) \cdot 700 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$m = 15.75 \text{ Kg}$$

- **Fuerza de Corte**

Si bien la fuerza no es una masa se hará el correspondiente cálculo en esta sección para hallar la fuerza de corte que debe soportar la mesa de trabajo, para posteriormente ser considerada como una fuerza.

Como se mencionó anteriormente los cálculos realizados serán para el fresado específico de MDF (Medium Density Fibreboard).

Se considerarán los siguientes parámetros iniciales para el cálculo de la fuerza de corte necesaria para el fresado de MDF.

Datos:

$a = 5 \text{ mm}$  Profundidad de corte de fresa por pasada

$b = 6 \text{ mm}$  Ancho de fresado (tamaño de fresa)

$V' = 150 \frac{\text{cm}^3}{\text{kWmin}}$  Potencia Específica de Viruta para MDF

La Fresadora Router o Tupí es seleccionada de acuerdo a la investigación previa del tipo de máquinas utilizadas para el maquinado de madera, y la disponibilidad de su compra en el mercado local.

La fresadora seleccionada tiene los siguientes datos: 710W y 10000–30000 RPM de velocidad en vacío, para estos cálculos asumiremos la velocidad de 20000 RPM ya que la velocidad máxima de placa es en vacío.

Se transforma la potencia del Tupí a KW                      0.71 kW

Iniciamos hallando cantidad máxima de viruta  $V$  [ $\text{cm}^3/\text{min}$ ], usaremos la siguiente expresión.

$$V = V' \cdot P \quad \text{Ec. 1}$$

En donde:

$$V' = 150 \frac{\text{cm}^3}{\text{kWmin}} \text{ Cantidad admisible de viruta para MDF}$$

$$P = 0.71 \text{ kW} \quad \text{Potencia de Tupí en kW (dato de placa)}$$

Remplazando:

$$V = \left(150 \frac{\text{cm}^3}{\text{kWmin}}\right) \cdot (0.71 \text{ kW}) = 106.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

La velocidad de Avance  $S'$  [ $\text{mm}/\text{min}$ ] se calcula con la siguiente expresión.

$$S' = \frac{1000 \cdot V}{a \cdot b} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$$V = 106.5 \text{ cm}^3/\text{min} \text{ Cantidad máxima de viruta}$$

$$a = 5 \text{ mm} \quad \text{Profundidad de corte de fresa por pasada}$$

$$b = 6 \text{ mm} \quad \text{Ancho de fresado (tamaño de fresa)}$$

Reemplazando:

$$S' = \frac{1000 \times 106.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{5 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm}} = 3550 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

El avance por revolución  $s'$  [ $\text{mm}/\text{rev}$ ] se calcula con la siguiente expresión.

$$s' = \frac{S'}{n}$$

Ec. 3

En donde:

$$S' = 3550 \text{ mm/min} \quad \text{Velocidad de Avance}$$

$$n = 20000 \text{ RPM} \quad \text{Velocidad de Tupí}$$

Reemplazamos:

$$s' = \frac{3550 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}{20000 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} = 0.1775 \text{ mm/rev}$$

El área de Corte (AC) [mm<sup>2</sup>/rev] la obtenemos con la siguiente expresión.

$$AC = \frac{s' \cdot b}{2}$$

Ec. 4

En donde:

$$s' = 0.1775 \text{ mm/rev} \quad \text{Avance}$$

$$b = 6 \text{ mm} \quad \text{Ancho de fresado}$$

Remplazamos:

$$AC = \frac{0.1775 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \times 6 \text{ mm}}{2} = 0.5325 \frac{\text{mm}^2}{\text{rev}}, \quad \text{o solo } 0.5325 \text{ mm}^2$$

El espesor de viruta por revolución (e) [mm/rev] la obtenemos con la siguiente expresión.

$$e = \left( \frac{S'}{Z \cdot n} \right) \cdot \sqrt{\frac{a}{b}}$$

Ec. 5

En donde:

$$S' = 3550 \text{ mm/min} \quad \text{Velocidad de Avance}$$

$Z = 2$	Numero de cuchillas de broca
$n = 20000$ RPM	Velocidad de Tupí
$a = 5$ mm	Profundidad de corte de fresa
$b = 6$ mm	Ancho de fresado (tamaño de fresa)

Reemplazando:

$$e = \left( \frac{3550 \text{ mm/min}}{2 \times 20000 \text{ rev/min}} \right) \cdot \sqrt{\frac{5 \text{ mm}}{6 \text{ mm}}} = 0.081 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}, \quad \text{o solo } 0.081 \text{ mm}$$

La fuerza de Corte  $F$  [N] se calcula con la siguiente expresión.

$$F = K \cdot AC \quad \text{Ec. 6}$$

En donde:

$$K = ? \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad \text{Constante de proporcionalidad}$$

$$AC = 0.5325 \text{ mm}^2/\text{rev} \quad \text{Número de cuchillas de broca}$$

Para el cálculo de la fuerza iniciaremos obteniendo el valor de  $K$  [N/mm<sup>2</sup>], la cual se calcula con la siguiente expresión.

$$K = K_{SO} \cdot e^{-z} \quad \text{Ec. 7}$$

En donde:

$$K_{SO} = 19 \quad \text{Presión específica de corte (Tabla N° 12), se toman los valores para plásticos debido a ser el material más cercano al MDF}$$

$$e = 0.081 \quad \text{Espesor de viruta}$$

$$z = 0.3 \quad \text{Factor de corrección (tabla)}$$

Tabla N° 12  
*Tabla de Presión Específica de Corte K<sub>s0</sub> Para Fresado.*

MATERIAL	k <sub>s0</sub> da N/mm <sup>2</sup>	z
Cobre	78	0.3
Bronce	124	0.3
Latón	54	0.3
Plásticos	19	0.3

Fuente: Kalpakjian & Schmid, 2000 - Kalpakjian, Schmid; Manufacturing engineering and Technology; Prentice Hall, 2000

Reemplazando:

$$K = \left(19 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) \times 0.081^{-0.3} = 40.38 \text{ N/mm}^2$$

Por último reemplazando en la ecuación (ec. 6) para hallar la fuerza.

$$F = 40.38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 0.5325 \text{ mm}^2 = 21.5 \text{ N}$$

- **Estructura de Máquina**

Esta comprende las distintas piezas en MDF que conformarán la máquina CNC aparte de la mesa de trabajo, ya que no se tiene las medidas concretas para poder calcular su volumen y masa, asumiremos 1/3 de la masa de un tablero MDF (2.44x2.14 metros) y un espesor de 25 mm para este cálculo, ya que estos datos se determinarán en esta sección.

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

Donde:

$$\rho = 700 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Densidad del tablero MDF (Tabla N° 1)}$$

$$m = ? \quad \text{kg} \quad \text{Masa buscada}$$

$$V = 0.1305 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen de tablero MDF}$$

Despejando m (kg) tenemos:

$$m = V \cdot \rho \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$m = (2.44 \times 2.14 \times 0.025) \cdot 700 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$m = 91.38 \text{ Kg}$$

Obtenemos 1/3 del Tablero de MDF

$$m1 = 91.38 / 3 \text{ Kg}$$

$$m1 = 30.5 \text{ Kg}$$

Luego de haber determinado los cálculos pertinentes para hallar las masas mediante cálculo, hoja de datos o experimentalmente se procede calcular las fuerzas (multiplicados por la gravedad) en la siguiente Tabla N° 13.

Tabla N° 13  
*Fuerzas que Actúan Sobre la Mesa de Trabajo.*

N°	Componentes	Peso (Kg)	Fuerza (N)
1	Materia prima (espesor 30 mm)	15.75	154.51
2	Fuerza de Corte (calculada)	-	21.50
3	Estructura de Maquina (1/3 de tablero MDF 25mm)	30.50	299.21
4	Stepper Motor (3 motores)	3.00	29.43
5	Router Manual	1.77	17.36
6	Cadena	0.89	8.77
7	Varios	8.00	78.48
	<b>total:</b>	59.91	609.26

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la Tabla N° 13, se consideraron los componentes con mayor peso de la máquina y los de menor peso se asume en el ítem número 7 como “VARIOS”, dentro de este ítem están considerados: pernos, tuercas, rodamientos, ejes, cables, entre otros, las cuales no se pueden dejar de lado para la simulación.

#### 4.2.2 Análisis de Fuerzas

Para el análisis de cualquier componente ya sea por un software o analíticamente se deben identificar las fuerzas que actúan sobre el elemento a analizar y la forma en que estas actúan, sabiendo ello se procede en la identificación del tipo de fuerzas que actúan sobre la mesa de trabajo (Tabla N° 14).

Tabla N° 14  
*Tipos de Fuerzas.*

N°	Componentes	Tipo	Fuerza (N)	Fuerza Total (N)	Color de F
1	Materia prima (espesor 30 mm)	Distribuida	154.51	155	
2	Fuerza de Corte (calculada)	Puntual	21.50	22	
3	Estructura de Máquina (1/3 de tablero MDF 25mm)		299.21	433	
4	Stepper Motor (3 motores)		29.43		
5	Router Manual		17.36		
6	Cadena		8.77		
7	Varios		78.48		
	<b>Total:</b>		609.26	609	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° 14 podemos observar que la única fuerza distribuida que actúa sobre la mesa de trabajo es la fuerza que ejerce la materia prima a maquinarse, la cual se considerará de esta manera para la simulación, y el resto de fuerzas como fuerzas puntuales.

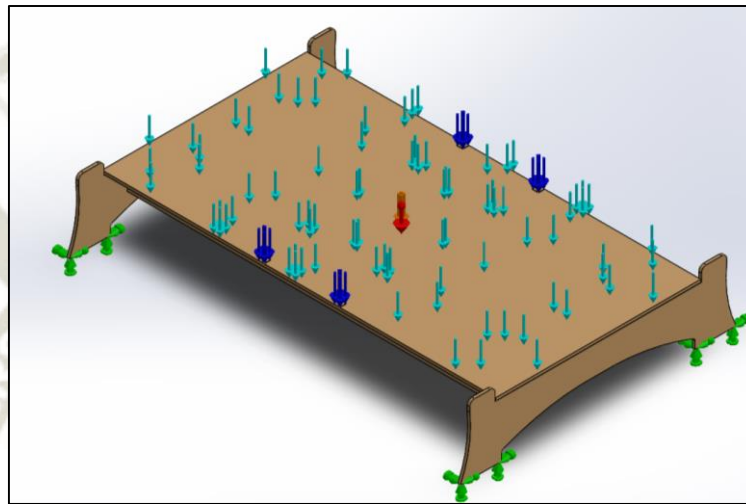


Figura N° 38. Dirección y Tipo de Fuerzas que Actúan Sobre la Mesa de Trabajo.

Fuente: Elaboración Propia/Software SolidWork

En la Figura N° 38 podemos observar las fuerzas descritas en la Tabla N° 14 aplicadas de acuerdo a su tipo y la dirección que estas siguen para el análisis de esfuerzos. Para esta simulación se consideraron las patas de la mesa como fijas, la acción de la gravedad sobre nuestro diseño y como punto crítico la mitad de la mesa.

#### 4.2.3. Simulación de Esfuerzos

Para la simulación de esfuerzos se tendrá en cuenta las propiedades del MDF (tablero de fibra de densidad media, del inglés medium density fibreboard), estas mismas que fueron obtenidas del libro “Tecnología de la Madera” descrita en el Marco teórico (Tablas N° 1 y 2), las propiedades de este material se incluirán en el software SolidWorks ya que no están incluidas en su librería de materiales y así poder

analizar y evaluar su comportamiento a los esfuerzos sometidos de acuerdo a nuestro diseño.

El objetivo de esta simulación es determinar el espesor ideal para iniciar nuestro diseño, para ellos se procede con una evaluación de espesores y conseguir el óptimo. Se inició con la evaluación aleatoria de un tablero de 9 mm para lo cual se generó un diseño en este formato y se procedió a su análisis.

Se puede observar en las Figuras N° 39 - 40 los resultados obtenidos de la simulación frente a los esfuerzos sometidos según la Tabla N° 14. Se puede observar que la tensión máxima en el diseño está dentro del límite de tensión del material (MDF) seleccionado para el diseño.

Todo indica que un tablero de 9mm sería el indicado para realizar este diseño partiendo solo del análisis de tensiones, pero se debe tener en cuenta que al ser una máquina de precisión, como característica debe tener una rigidez y estabilidad alta. Teniendo estos parámetros claros se deberá hacer un análisis de desplazamiento en los puntos críticos, ya que la deformación que sufra en el momento de maquinado influirá en la precisión de la máquina.

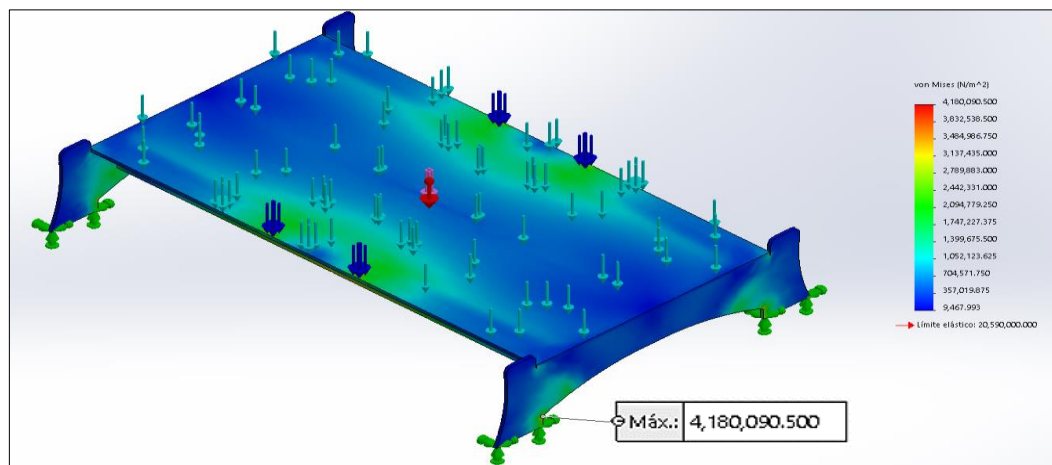


Figura N° 39. Gráfica de Tensiones (von Mises) – espesor 9mm.  
Fuente: Elaboración Propia.

Para ello se hizo un análisis de desplazamiento con el tablero MDF de 9mm de espesor y se tuvo un desplazamiento máximo de 3.54 mm como se observa en la figura N° 40, desplazamiento ubicado en la posición media donde soportará todo el peso del carro Y, carro X, carro Z (portaherramientas).

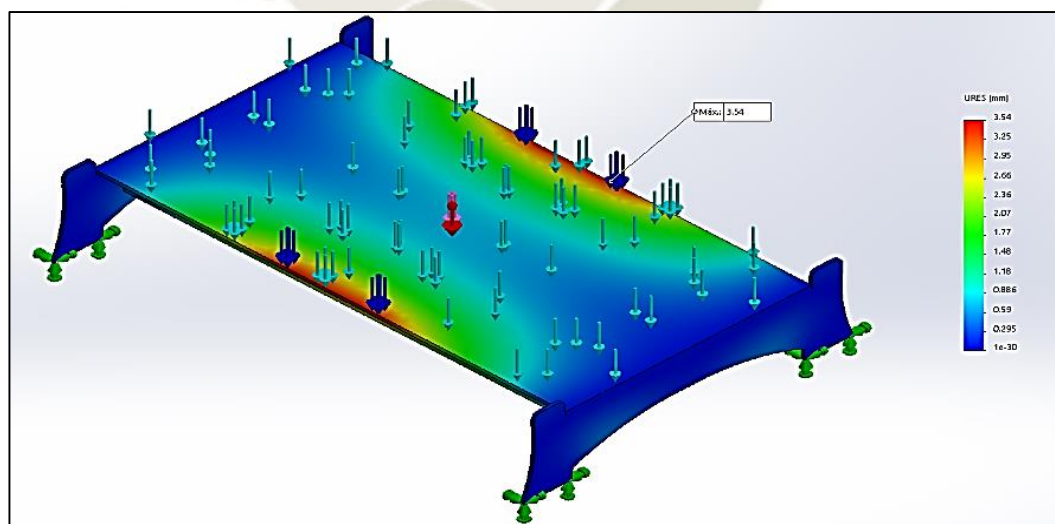


Figura N° 40. Gráfica de Desplazamiento – Espesor 9mm.  
Fuente: Elaboración Propia.

Una exigencia para nuestro diseño (Tabla N° 4) es que la precisión sea menor a 0.5 mm, la deformación de 3.54 mm supondría no poder cumplir con esta exigencia, por tanto, se procede a seguir realizando análisis con distintos espesores según la Tabla N° 10.

Para el análisis de los siguientes espesores de tablero MDF se generó la Tabla N° 15 para poder ver el comportamiento de la tensión y el desplazamiento que sufre en los puntos críticos del diseño frente a los esfuerzos sometidos descrito anteriormente. Podemos observar que a mayor espesor el desplazamiento se reduce, para lo cual con 18 mm tendríamos un desplazamiento de 0.552 mm estando cerca a la precisión que deseamos. No se analizó el espesor de 25 o 30 mm debido a que haría de la máquina muy robusta y se pretende hacer una máquina de tamaño mediano y peso liviano según nuestra lista de exigencias, por lo que estamos limitados con ello.

Tabla N° 15  
*Análisis de Espesores en Tableros MDF*

	ESPESOR			
	9mm	12mm	15mm	18mm
<b>Tensiones (N/m<sup>2</sup>)</b>	4,180,090.500	3,173,904.500	2,854,628.250	2,587,360.250
<b>Desplazamiento (mm)</b>	3.540	2.060	1.010	0.552

Fuente: Elaboración Propia.

Analizando los distintos espesores disponibles se selecciona el tablero MDF de 18 mm de espesor con un desplazamiento máximo de 0.552 mm (Figura N° 41), este mismo desplazamiento se reducirá aún más debido a que no se considera para el análisis los perfiles en L, para el deslizamiento del carro X-Y, el cual reforzará la zona crítica evaluada.

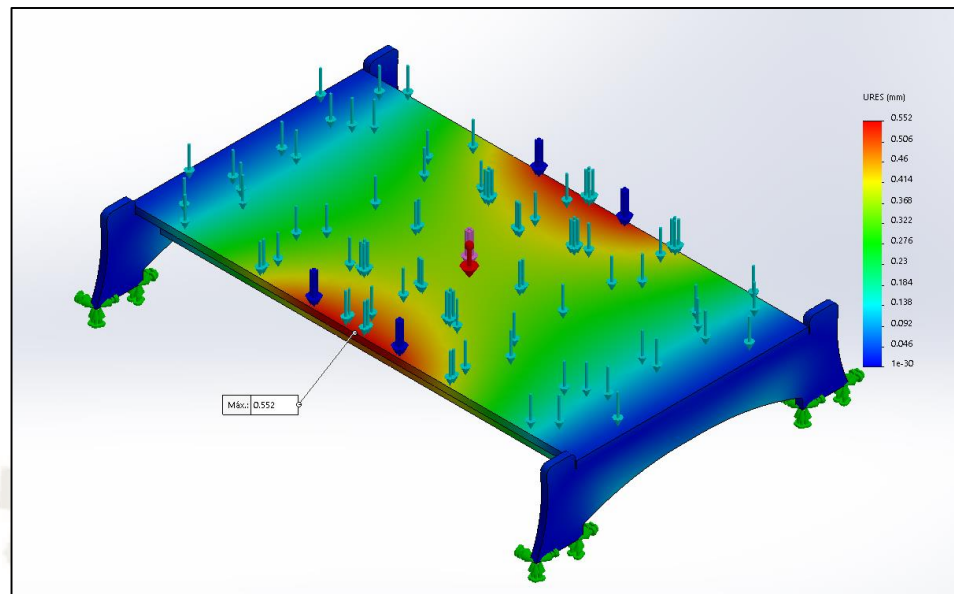


Figura N° 41. Gráfica de Desplazamiento – Espesor 18 mm.  
Fuente: Elaboración Propia.

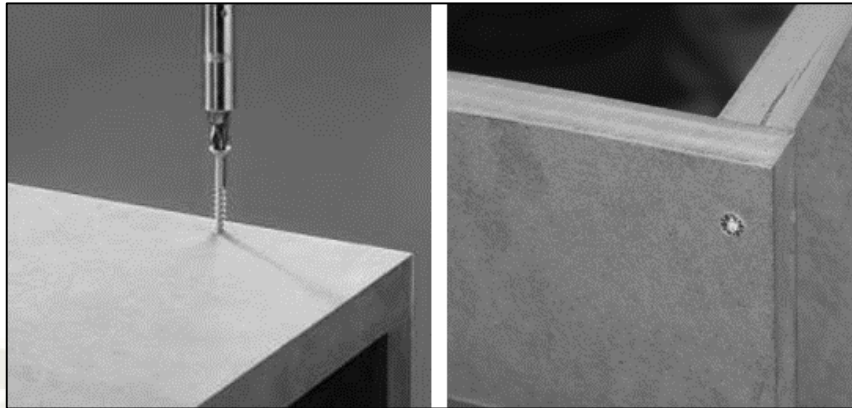
#### 4.3. SELECCIÓN DE MÉTODO DE UNIÓN 2 PIEZAS DE MDF

Una vez obtenido el espesor del tablero iniciaremos con el diseño 3D, pero antes deberemos elegir un método para poder unir las distintas piezas de nuestro diseño, por lo cual en esta sección se evaluará ello para iniciar con el diseño 3D.

Una de las características de nuestro diseño es que deberá ser desmontable en su totalidad. En comparación con el aluminio, el MDF (tablero de densidad media) no se puede maquinar un hilo en la superficie para la fijación de dos tableros a través de un perno como se haría en el aluminio o acero.

El método usado para esta unión generalmente suele ser el empleo de los tornillos de carpintería, como se puede observar en la Figura N° 42, esto daña el material, y cuando uno quiere desmontar y volver a montar los tableros quedan estropeados y no tienen la

misma fijación que en su primer ajuste. Así que en esta sección se evaluará algunos métodos para la solución a esta exigencia. (Tabla N° 4).



*Figura N° 42.* Fijación de 2 Tableros con Tornillo de Carpintería.  
Fuente: <https://www.celo-apollo.es/es/tornillos-rosca-madera-para-aglomerado/2754-tornillo-punta-broca-para-madera-mdf.htm>

#### 4.3.1. Método 1: Cross Dowel

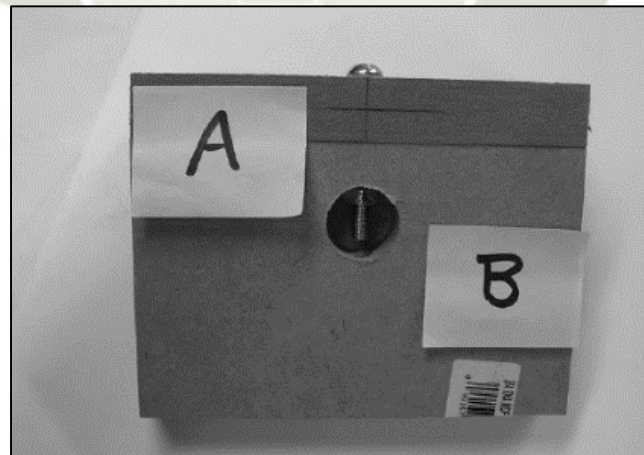
En este método se usarán los famosos Cross Dowel, que no es más que un perno y tuerca cilíndrica, el cual se usa para el ensamble de muchos muebles de hogar u oficina desmontables. Como se puede observar en la Figura N° 43 la unión del tablero A y B se logran con un Cross Dowel, se deberá hacer dos perforaciones en el Tablero B: una perforación con el tamaño de la tuerca cilíndrica y otra perforación perpendicular del tamaño del perno en el lateral del tablero B y cara del tablero A que se usará debidamente como se observa en la ilustración. Este método da una fijación estable, rígida y la posibilidad de su desmontaje por lo que es una opción muy aceptable.



*Figura N° 43. Unión de dos Tableros con Cross Dowel.*  
Fuente: Patrick Hood- Daniel, James Floyd Kelly. (2009). Build Your Own CNC Machine. USA: Damon Larson.

#### 4.3.2. Método 2: Perno y Tuerca

Para este método solo basta con el uso de un perno y tuerca para la fijación de los dos tableros, la diferencia con el método anterior es que la perforación para la tuerca de fijación será excesivamente grande como se observa en la Figura N° 44.



*Figura N° 44. Unión de dos tableros con Perno y Tuerca.*  
Fuente: Patrick Hood- Daniel, James Floyd Kelly. (2009). Build Your Own CNC Machine. USA: Damon Larson.

Luego de hacer el análisis de los métodos para la fijación de las distintas piezas podemos concluir la selección del método de uso de los Cross Dowel debido a la estética que otorgará al diseño y también el costo que tiene a comparación del tiempo en maquinar las perforaciones del segundo método.

#### **4.4. DISEÑO 3D**

El diseño 3D se realizará en el software CAD SolidWorks, partiendo de nuestro bosquejo (Figura N° 34) el cual tendrá las características ya seleccionadas anteriormente como: Espesor de tablero MDF de 18mm, Uniones Cross Dowel, los mecanismos y elementos seleccionados en nuestro concepto óptimo a partir de nuestra matriz morfológica.

##### **4.4.1. Mesa de trabajo**

La mesa de trabajo se trabajó con el diseño antes realizado para establecer el espesor del tablero de MDF, en esta sección se reforzará el diseño partiendo de nuestro bosquejo (Figura N° 34).

Se generó un nuevo bosquejo individual de la mesa de trabajo del cual partiremos para el diseño en 3D (Figura N° 45). Podemos notar en el bosquejo algunos detalles como el tamaño máximo que debe tener (no mayores a 900 X 1250 mm), los cuales son detallados en la lista de exigencias, otro detalle es incluir los Cross Dowel los cuales nos permitirá la unión de las distintas piezas que lo conformarán.

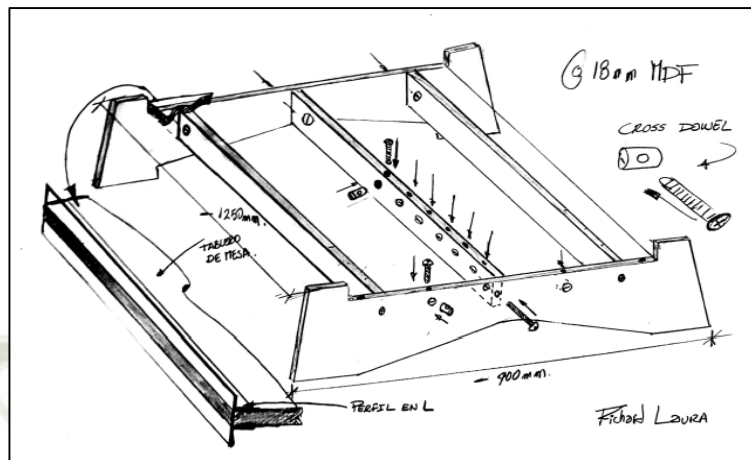


Figura N° 45. Bosquejo Mesa de Trabajo.  
Fuente: Elaboración Propia

Partiendo del nuevo bosquejo se generó el siguiente Diseño en 3D (Figura N° 46). Como se puede observar en la imagen se incluyeron los perfiles L para el deslizamiento del carro del eje X, se modificó estéticamente partes del diseño. Un detalle incluido para las uniones Cross Dowel como se observa en la figura 3D es la de hacer una perforación para dejar la cabeza del perno al nivel de la superficie del tablero, esto hecho con el objetivo de dejar la superficie del área de trabajo a un mismo nivel.

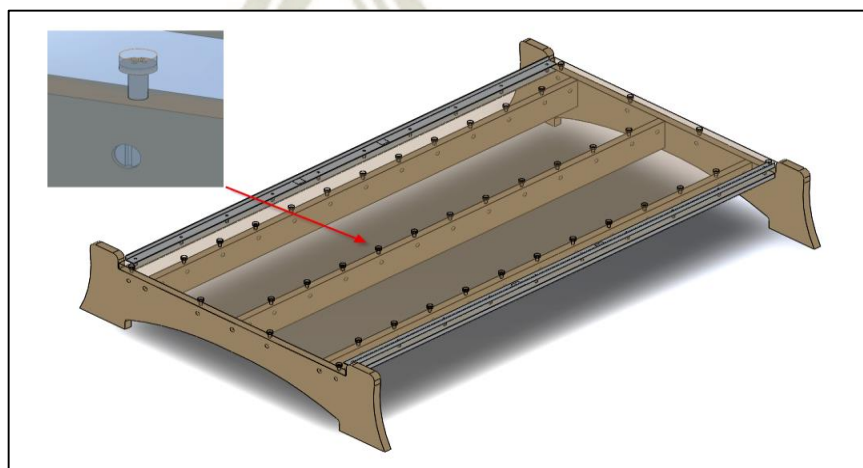


Figura N° 46. Diseño 3D Mesa de Trabajo.  
Fuente: Elaboración Propia

La parte de la simulación de este diseño ya se hizo anteriormente, pero esta vez se hará sumando los perfiles en L de 2mm de aluminio los cuales se encontraron en el mercado. Para esta simulación se considerarán las fuerzas calculadas y asumidas de la Tabla N° 14. Al igual que la simulación anterior el parámetro a analizar con mayor énfasis es el desplazamiento generado en las partes críticas debido a la precisión que deberá tener la máquina.

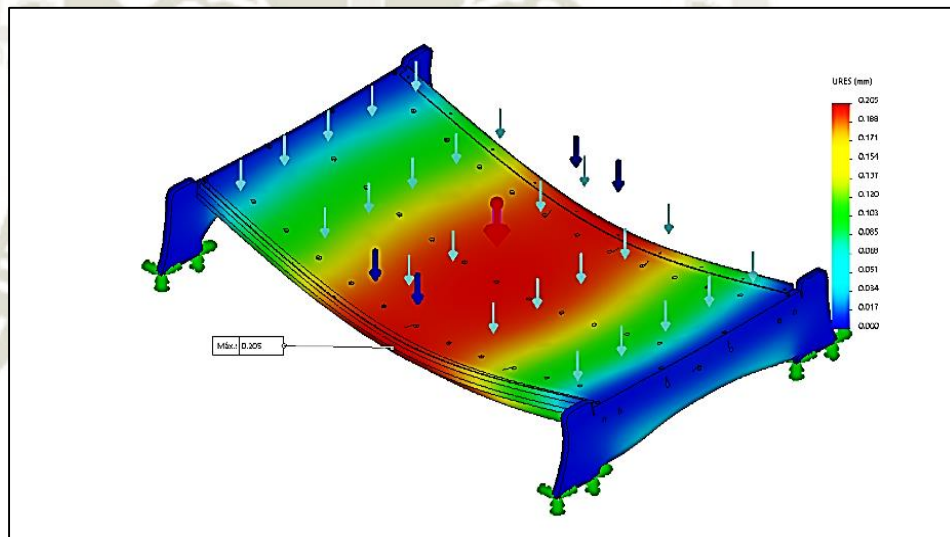


Figura N° 47. Simulación de Desplazamiento Máximo de la Mesa de Trabajo.  
Fuente: Elaboración Propia.

Como podemos observar en la Figura N° 47 la simulación obtenida que vemos tiene un desplazamiento máximo en la zona crítica de 0.205 mm, lo cual es permitido para el requerimiento del diseño. Estos valores de deformación serán reflejados en la precisión de la máquina, es por esa razón que son evaluados detalladamente para este diseño, si esta simulación antes hecha no satisface lo deseado se vería la manera de adicionar perfiles o refuerzos para cumplir con los requerimientos del diseño.

El análisis de tensión máxima obtenidos no se muestran debido a que ya fueron analizados anteriormente y están dentro de los parámetros del material utilizado (tablero MDF). Para lo cual en esta sección no es relevante.

Se realizará una comprobación mediante cálculos analíticos de uno de los bastidores laterales para verificar el esfuerzo de flexión así como la deflexión que sufre.

Como se analizó anteriormente mediante simulación, se procederá a realizar un análisis de cálculo analítico para medir la deflexión de uno de los bastidores de la mesa de trabajo. Se tomarán los datos anteriormente asumidos para este análisis (Tabla N° 14).

Se identificarán las cargas que soporta la mesa como se muestra en la Figura N°48.

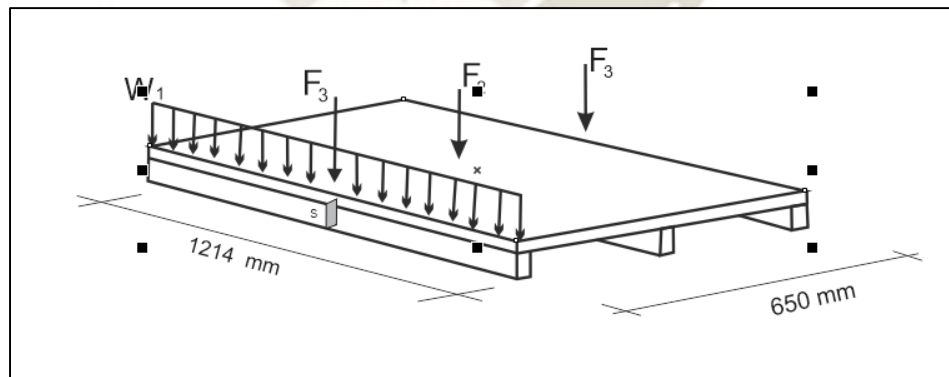


Figura N° 48. Fuerzas Puntuales y Distribuidas Mesa de Trabajo.

Fuente: Elaboración Propia

Los pesos distribuidos para hallar el  $W_1$  obtenidos de la Tabla N° 14.

$$W_1 = MP + C + V$$

Donde:

$W_1 = ? \quad N/m$                       Pesos Distribuidos

$MP = 154.0 \text{ N}$                       Materia Prima (Tabla N° 14)

$C = 8.77 \text{ N}$                           Cadenas (Tabla N° 14)

$V = 78.48 \text{ N}$                       Elementos Varios (Tabla N° 14)

Remplazando

$$W_1 = 154.51 \text{ N} + 8.77 \text{ N} + 78.48 \text{ N}$$

$$W_1 = 241.25 \text{ N}$$

Este peso distribuido a lo largo del bastidor como se observa en la Figura N° 48 se tiene:

$$W_1 = \frac{241.25 \text{ N}}{1.214 \text{ m}} = 198.72 \text{ N/m}$$

La fuerza puntual  $F_3$  (Peso de Estructura) posicionada en el punto más crítico como se observa en la Figura N° 48 y Tabla N° 14.

$$F_3 = \frac{229.21 \text{ N}}{2} = 114.6 \text{ N}$$

$F_2$  son las cargas puntuales generadas por el carro Eje Z en el punto más crítico como se muestra en la Figura N° 48.

$$F_2 = FC + MT + R$$

Donde:

$F_2 = ? \quad N$                       Fuerza puntual (Figura N°48)

$FC = 21.5 \, N$                       Fuerza de corte vertical

$MT = 29.43 \, N$                       Pesos de 3 motores paso

$R = 17.36 \, N$                       Peso de Router manual (Tupí)

Remplazando:

$$F_2 = 21.5 \, N + 29.43 \, N + 17.36 \, N$$

$$F_2 = 68.29 \, N$$

Esta fuerza resultante  $F_2$  es distribuida por el puente a los dos bordes de la mesa para lo cual se dividirá dicha fuerza en dos puntos.

$$F_2 = \frac{68.29 \, N}{2}$$

$$F_2 = 34.15 \, N$$

La fuerza  $F_2$  a la vez genera un momento torsor a los extremos de la mesa de trabajo, el cual se obtiene multiplicando la distancia de la fuerza al borde de la mesa por la fuerza  $F_2$ . (Figura N° 49)

$$M_t = 34.15 \, N * \frac{0.65 \, m}{2}$$

$$M_t = 11.1 \, N.m$$

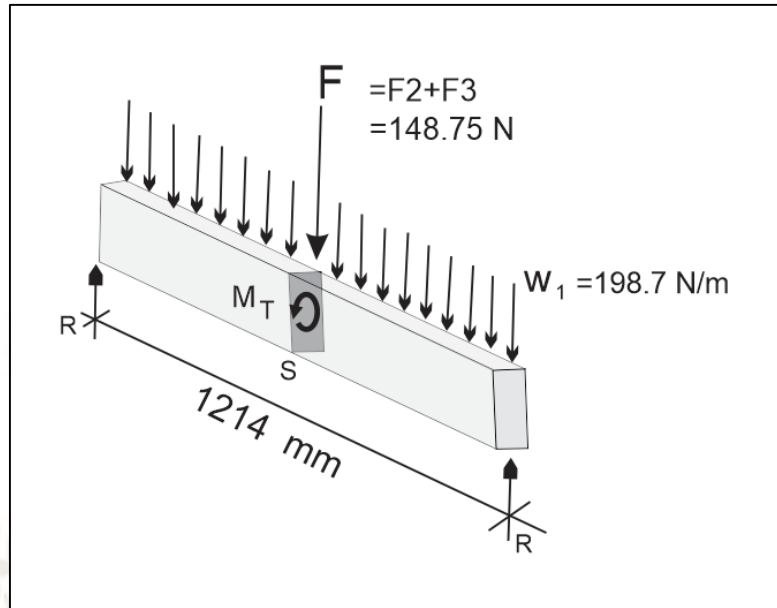


Figura N° 49. Bastidor de Mesa, Esfuerzos Sometidos.  
Fuente: Elaboración Propia.

Haciendo un análisis a la Figura N° 49 se pueden observar las distintas fuerzas que se evaluarán ( $F_2 + F_3$ ), así como el momento torsor generado por la fuerza  $F_2$  y la fuerza distribuida  $W_1$  hallados anteriormente, estas mismas que influyen en la sección del bastidor evaluado.

#### Por superposición de efectos para la deflexión máxima

Haciendo un análisis por superposición de efectos en la sección del bastidor de la mesa de trabajo se tiene:

##### a) Para Cargas Puntuales (Figura N° 50)

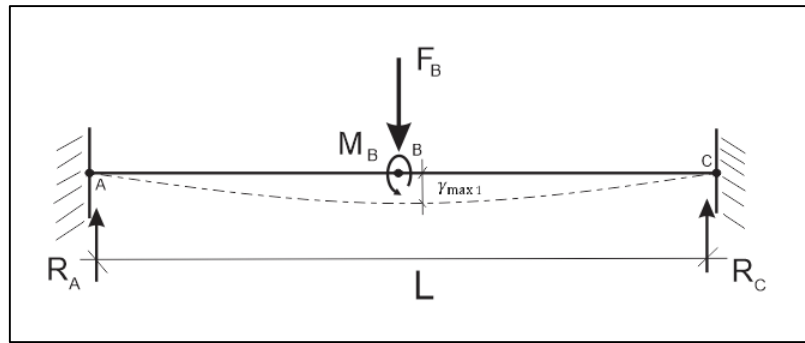


Figura N° 50. Cargas Puntuales.

Fuente: Elaboración propia.

$$R_A = R_C = \frac{F}{2}$$

Ec.1

$$M_{B1} = \frac{FL}{8}$$

Ec.2

$$\gamma_{max 1} = \frac{FL^3}{192.E.I}$$

Ec.3

Donde:

$R_A = [N]$  Fuerza de Reacción Punto A

$R_C = [N]$  Fuerza de Reacción Punto C

$F_B = [N]$  Fuerza Puntual

$M_{B1} = [N.m]$  Momento Torsor Punto B

$L = [m]$  Longitud AC

$\gamma_{max 1} = [m]$  Deflexión máxima 1

$E = [MPa]$  Módulo Elástico

$I = [m^4]$  Momento de inercia

b) Para Cargas Distribuidas (Figura N° 51)

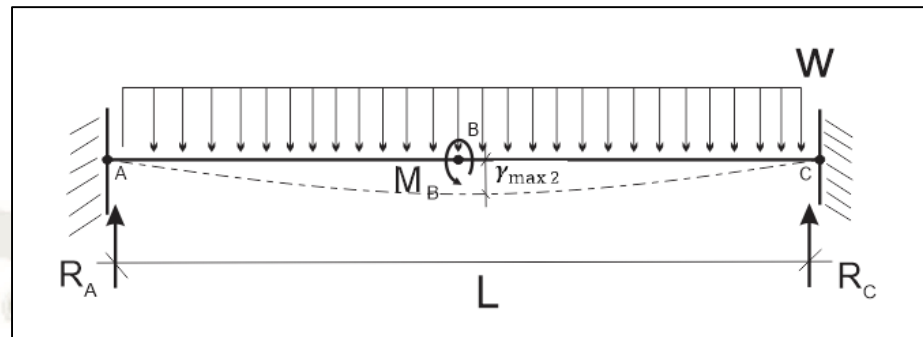


Figura N° 51. Para Cargas Distribuidas.  
Fuente: Elaboración Propia.

$$R_A = R_C = \frac{WL}{2} \quad \text{Ec.4}$$

$$M_{B2} = \frac{WL^2}{12} \quad \text{Ec.5}$$

$$y_{\max 2} = \frac{FL^4}{384.E.I} \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

$R_A = [N]$  Fuerza de Reacción Punto A

$R_C = [N]$  Fuerza de Reacción Punto C

$W = [N/m]$  Fuerza Distribuida

$M_{B2} = [N.m]$  Momento Torsor Punto B

$L = [m]$  Longitud AC

$y_{\max 2} = [m]$  Deflexión máxima 2

$E = [MPa]$  Módulo Elástico

$I = [m^4]$  Momento de Inercia

Los efectos producidos por el momento de torsión pueden calcularse mediante las fórmulas (Ec. 7) y (Ec. 8). Los coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , que son funciones de la relación de lados a/b, pueden obtenerse de la Tabla N° 16

$$\tau_{ZY_{Max}} = \frac{Mt}{\alpha \cdot h \cdot b^2} \quad Ec.7$$

$$\tau_{ZX_{Max}} = \gamma \cdot \tau_{ZY_{Max}} \quad Ec.8$$

Tabla N° 16  
*Coefficientes en Función de los Lados de una Sección Rectangular*

a/b	1	1.5	1.75	2	2.5	3	4	6	8	10	$\infty$
$\alpha$	0.208	0.231	0.239	0.246	0.258	0.267	0.282	0.299	0.307	0.313	0.333
$\beta$	0.141	0.196	0.214	0.229	0.249	0.263	0.281	0.299	0.307	0.313	0.333
$\gamma$	1.00	0.859	0.820	0.795	0.766	0.753	0.745	0.743	0.742	0.742	0.742

Fuente: [http://ing.unne.edu.ar/mecap/Apuntes/Estabilidad\\_2/Cap05-Torsion.pdf](http://ing.unne.edu.ar/mecap/Apuntes/Estabilidad_2/Cap05-Torsion.pdf)

Donde:

$$\tau_{ZY} = ? \text{ [KN/m]} \quad \leftarrow \text{Esfuerzo Cortante}$$

$$Mt = 11.1 \text{ [N. m]} \quad \text{Momento Torsor}$$

$$\alpha = 0.2863 \quad \text{Constante Tablas (Tabla N° 16)}$$

$$h = 180 \text{ m} \quad \text{Altura de Sección}$$

$$b = 80 \text{ m} \quad \text{Base de Sección}$$

Remplazando en la Ec. 7

$$\tau_{ZY_{Max}} = \frac{11.1 \text{ N.m}}{0.2863 * 0.08 \text{ m} * (0.018 \text{ m})^2}$$

$$\tau_{ZY_{Max}} = 149.58 \text{ KPa}$$

Reemplazando en la *Ec. 8*

$$\tau_{ZX_{Max}} = 0.7445 * 149.58 \text{ KPa} \approx 111.36 \text{ KPa}$$

Hallando el esfuerzo cortante equivalente, producido por los dos esfuerzos en las direcciones ZX y ZY como se muestra en la Figura N° 51.

$$\tau_{Eq} = \sqrt{\tau_{ZY_{Max}}^2 + \tau_{ZX_{Max}}^2} = \sqrt{149.58^2 + 111.36^2}$$

$$\tau_{Eq} = 186.48 \text{ KPa}$$

De las fórmulas a y b de superposición de efectos, para hallar los momentos.

Reemplazamos *Ec. 2*

$$M_{B1} = \frac{FL}{8}$$

$$M_{B1} = \frac{148.75 \text{ N} * 1.214 \text{ m}}{8}$$

$$M_{B1} = 22.57 \text{ N.m}$$

Reemplazamos en la *Ec. 5*

$$M_{B2} = \frac{WL^2}{12}$$

$$M_{B2} = \frac{198.7 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 1.214 \text{ m}^2}{12}$$

$$M_{B2} = 24.4 \text{ N.m}$$

Sumaremos ambos momentos por efecto de la fuerza puntual y distribuida que actúa en el bastidor.

$$M_B = M_{B1} + M_{B2}$$

$$M_B = 46.97 \text{ N.m}$$

Para hallar el esfuerzo máximo que soporta tendremos.

$$\sigma_{max} = \frac{M_B \cdot C}{I}$$

*Ec.10*

Donde:

$$\sigma_{max} = ? \text{ [KN/m}^2\text{]} \quad \text{Esfuerzo máximo de flexión}$$

$$M_B = 46.97 \text{ [N.m]} \quad \text{Momento}$$

$$C = 0.04 \text{ m} \quad \text{Distancia al eje neutro}$$

$$I = 7.68 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inercia}$$

Reemplazando en *Ec. 10*

$$\sigma_{max} = \frac{55.06 \text{ N.m} * 0.04 \text{ m}}{7.68 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{max} = 2447 \text{ KN/m}^2$$

Usando la fórmula de Mohr

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{2447 \text{ KPa}}{2} + \sqrt{\left(\frac{2447 \text{ KPa}}{2}\right)^2 + (186.48 \text{ KPa})^2}$$

$$\sigma_{max} = 2461 \text{ KPa}$$

$$\sigma_{max} = 2.46 \text{ MPa}$$

Como se puede apreciar el resultado del esfuerzo de flexión equivalente en la sección evaluada es de 2.46 MPa el cual es menor a 20 MPa del MDF el cual se está verificando datos obtenidos del MDF (Tabla N° 2, Resistencia Característica de Tableros Derivados de la Madera).

### Deflexión Máxima

Para hallar la deflexión máxima sufrida por los esfuerzos a los cuales es sometido el bastidor, se sumarán las ecuaciones 2 y 6 las fuerzas distribuidas y puntuales analizadas que actúan sobre el bastidor.

$$\gamma_{max} = \gamma_{max 1} + \gamma_{max 2}$$

$$\gamma_{max} = \frac{FL^3}{192.E.I} + \frac{FL^3}{384.E.I}$$

$$\gamma_{max} = \frac{148.75 \text{ N} * (1214 \text{ mm})^3}{192 * 2500 \text{ N/mm}^2 * 768000 \text{ mm}^4} + \frac{198.7 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (1.214 \text{ m})^4}{384.2500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 768000 \text{ mm}^4}$$

$$* \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

$$\gamma_{max} = 0.7 \text{ mm} + 0.59 \text{ mm}$$

$$\gamma_{max} = 1.29 \text{ mm}$$

Luego de haber obtenido la deflexión máxima a lo largo del bastidor evaluado, este significa un 0.1% de deflexión porcentual, el cual es menor que 0.2% usada en máquinas de precisión (Diseño en ingeniería en mecánica de Shigley - 9a Edición - McGraw-Hill).

Notemos que esta deflexión obtenida, es de la mesa y el puente conjuntamente, ya que la deflexión es en conjunto o relativa, por lo que no será una deflexión que repercute en su totalidad en el material de trabajo. En el peor de los casos sería la mitad de la deflexión máxima para lo cual tendríamos un 0.65 mm. Siendo la deflexión  $0.65 \text{ mm} / 1.214 \text{ m} = 0.54 \text{ mm/m}$  la deflexión permisible obtenida para nuestro diseño, el mismo que cumple según la norma ASME el cual recomienda un valor no máximo a 0.83 mm/m para máquinas herramientas (Norma ANSI/ASME B-106.1M, 1985).

#### 4.4.2. Carro Eje Z

Luego de haber diseñado la mesa de trabajo se continuará con el diseño del Carro Z o porta herramienta, este conjunto de elementos está constituido principalmente del motor que suministrará la fuerza para su desplazamiento, los carriles que permitirán el deslizamiento a lo largo del eje Z y el tupí (Router manual) encargado del corte de la materia prima.

Al igual que la mesa de trabajo se generó un bosquejo a detalle para iniciar con el diseño en 3D de este conjunto (Figura N° 52).

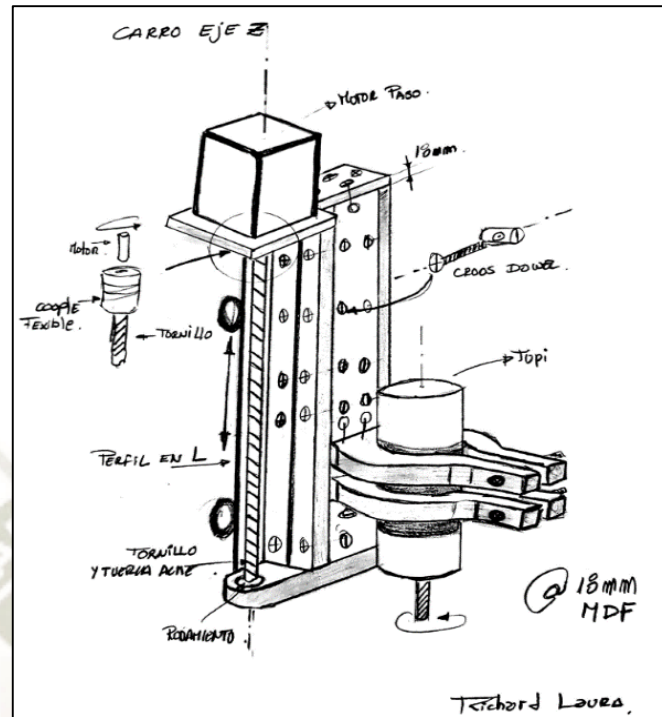


Figura N° 52. Bosquejo Carro Eje Z.  
Fuente: Elaboración Propia.

Partiendo de este bosquejo se considerarán los elementos ya antes seleccionados, uso de motor paso, sistema de transmisión por tornillo y tuerca Acme, Cross Dowel para el ensamble de ello, también el acople flexible, el tupí para el corte de materia prima y por último los perfiles en L para el deslizamiento del conjunto a lo largo del eje Z (Figura N° 53).

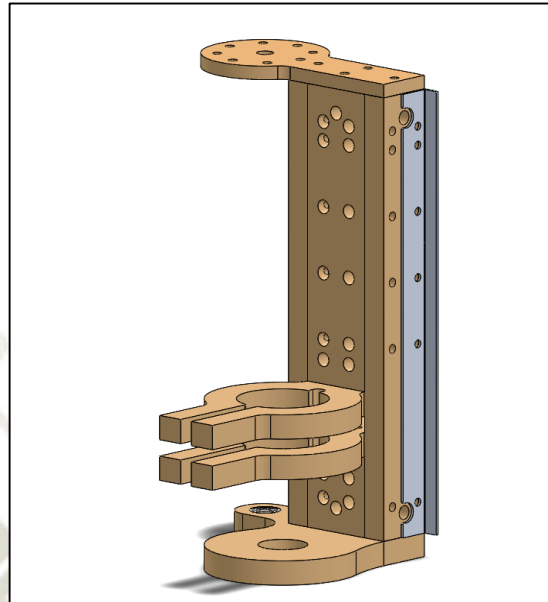


Figura N° 53. Diseño 3D Conjunto carro Eje Z.  
Fuente: Elaboración propia.

En proceso del diseño se modificaron algunos elementos estéticamente y también se dieron distribuciones de pernos aleatorios para la sujeción de las piezas del conjunto, teniendo siempre presente hacer de este conjunto: sólido y rígido a su vez. Una vez realizado el diseño 3D del conjunto se procede al análisis de esfuerzos y evaluar su comportamiento, para futuras modificaciones.

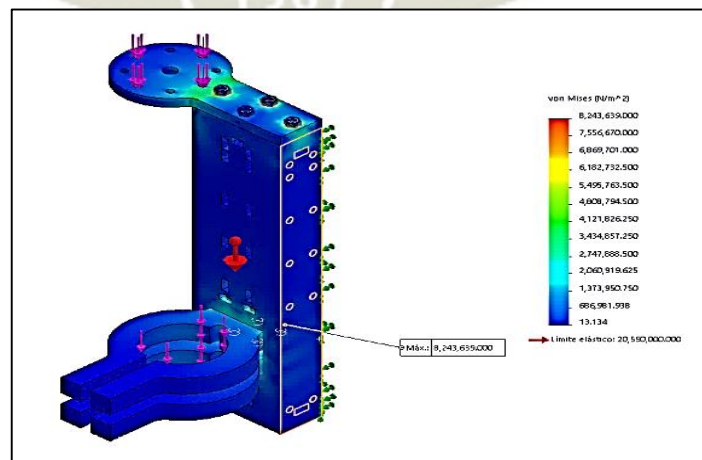


Figura N° 54. Simulación de Tensiones – Conjunto Carro Eje Z.  
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 54 se puede observar la simulación de tensiones frente a los esfuerzos generados por las masas del tupí y el motor paso que soporta este conjunto, vemos que todo el conjunto está dentro de los parámetros máximos que soporta el material de fabricación con 8,243,639.000 N/m<sup>2</sup> frente a los 20,550,000.000 N/m<sup>2</sup> máximo que soporta el tablero de MDF. Como se dijo anteriormente este material tiene buenas propiedades físicas lo cual le permite soportar estos esfuerzos. En la imagen se pudo observar dos zonas críticas, para ellos se procederá la evaluación de desplazamientos para mayor detalle.

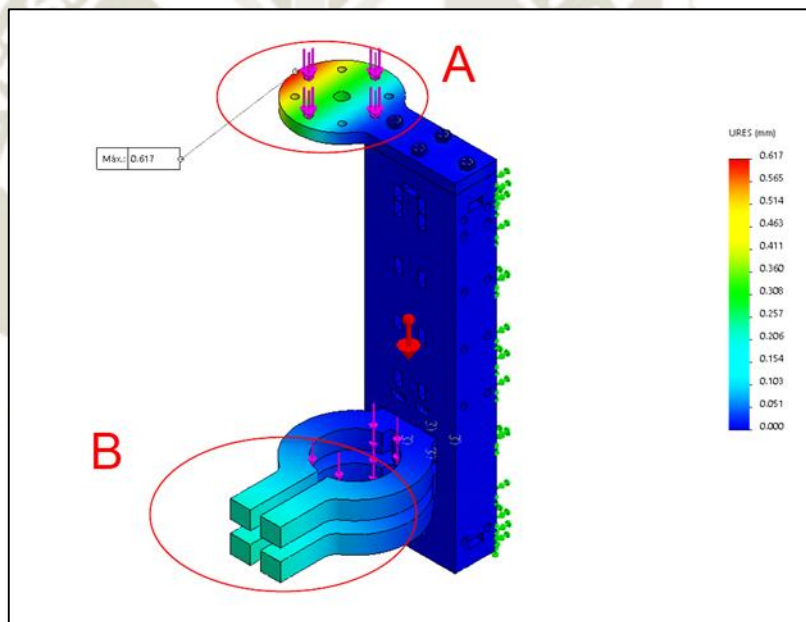


Figura N° 55. Simulación de Desplazamiento – Conjunto carro eje Z v1.0  
Fuente: Elaboración Propia.

Analizando la Figura N° 55 se puede observar dos zonas donde el desplazamiento esta entre 0.051 mm a 0.617 mm como máximo en la zona A. Evaluando los resultados de estas dos zonas podemos ver que la zona B no tiene problemas de desplazamiento significativos ya que al sujetar el tupí reducirá esos

valores mínimos que tiene; en la zona A podemos observar un desplazamiento máximo de 0.617 mm el cual evaluaremos. Para esta zona lo que se hizo es adicionar un soporte para reducir este desplazamiento y a su vez facilitar el montaje del motor paso y su acoplamiento (Figura N° 56).

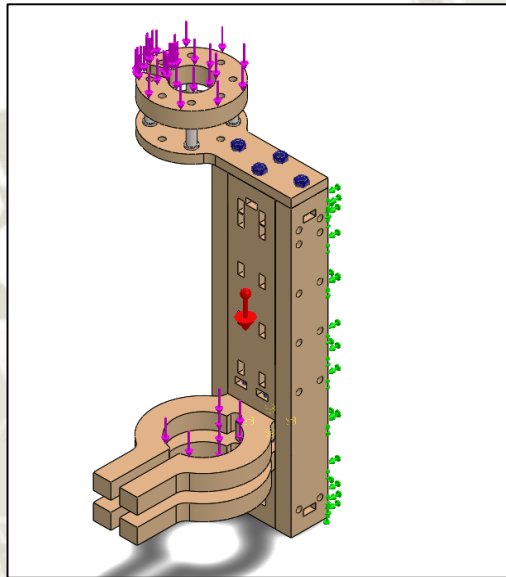


Figura N° 56. Diseño 3D – Conjunto Carro eje Z.  
Fuente: Elaboración Propia.

Con el nuevo diseño modificado se obtiene los siguientes resultados de simulación (Figura N° 57), se puede observar en la imagen como se reduce el desplazamiento de un 0.617mm a 0.165 mm, siendo este una reducción favorable para el diseño.

Esta evaluación y reducción del desplazamiento máximo modificando el diseño se realiza debido a que el desplazamiento en la zona A afectará en a la alineación del tornillo de transmisión, generando sobreesfuerzos al motor, vibración y sonido al conjunto. Si bien es cierto, se usa un acople flexible entre la unión motor y eje,

esta misma que permite compensar una desalineación, pero con esta modificación tratamos de que este desalineamiento no ocurra a fin de reducir posibles vibraciones y sonidos de la máquina.

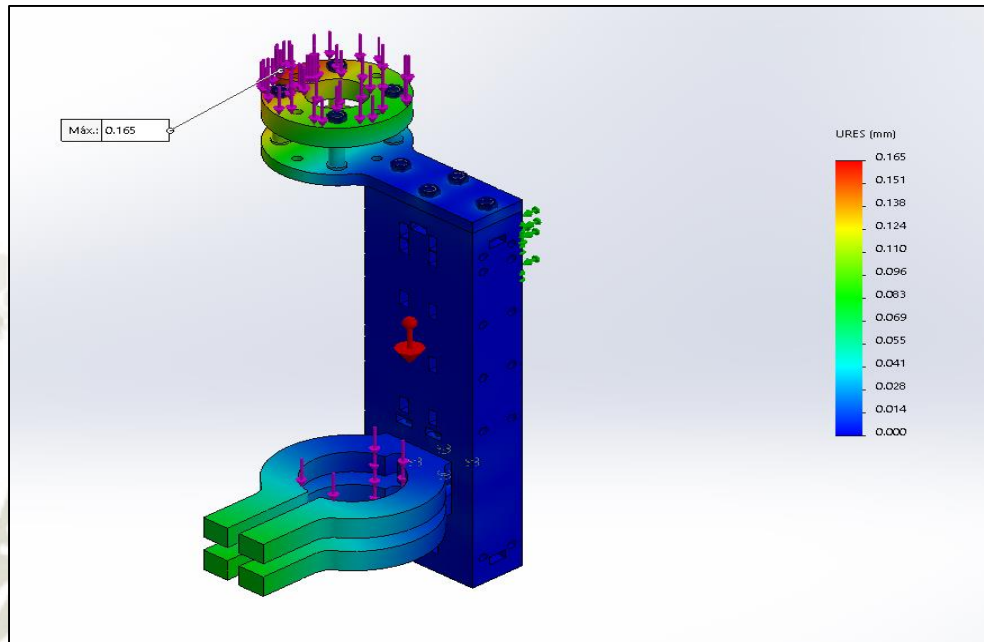


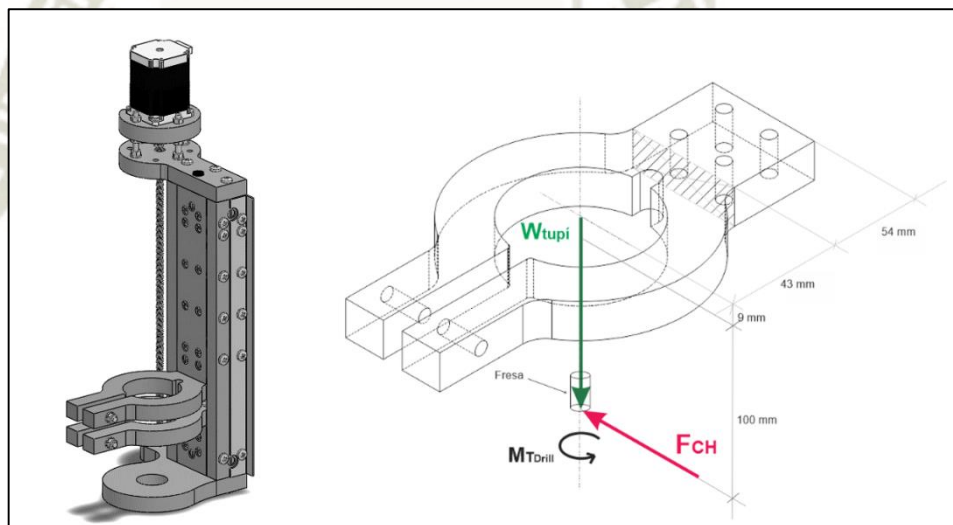
Figura N° 57. Simulación de Desplazamientos – Conjunto Carro eje Z v2.0.  
Fuente: Elaboración Propia.

Otro sistema importante para esta sección es el sistema de transmisión, el cual estará dotado de un tornillo de potencia y tuerca acme, estos mismos que no serán calculados, su selección se basará simplemente en la referencia de las distintas dimensiones de tornillos usados comúnmente en las máquinas de mediano tamaño. Esta afirmación será suficiente debido a que su uso se da en máquinas de estructuras de aluminio o acero, este material que hace que la estructura sea de mayor peso. Comúnmente se usan tornillos a partir de T8 (8mm) y si la carrera de desplazamiento es mucho más alta, se usan tornillos T10, T12 y T16. Para nuestro

prototipo es suficiente un T8 ya que la carrera de desplazamiento es muy corta y el material que usamos tiene una densidad baja por lo que su peso es reducido.

### **Análisis Analítico de Abrazadera Porta Herramienta.**

Como se puede observar en la Figura N° 58, se analizará la pieza nombrada “abrazadera porta herramienta” en nuestro diseño, la cual tiene un punto crítico a los distintos esfuerzos sometidos al momento del maquinado, evaluando tanto el peso del Tupí y las fuerzas de corte horizontal, así como también el momento torsor ( $M_{TDrill}$ ) producido por la fresa de corte.



*Figura N° 58. Abrazadera Porta Herramienta – Diagrama de Cuerpo Libre*  
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N° 58 se puede observar la sección a evaluar, esta misma a la cual se le analizará los efectos que producen las fuerzas antes mencionadas.

Hallamos el momento producido por el Drill o Fresa de corte.

$$M_{Drill} = F_C * \frac{d}{2} \quad Ec.1$$

Donde:

$M_{Drill} = ? \quad N.m$                       Momento Torsor de Drill

$d = 0.00635 \text{ m}$                       Diámetro de herramienta de corte (1/4")

$F_C = 21.5 \text{ N}$                       Fuerza de corte Vertical (Selección de Espesor)

Remplazando en la *Ec. 1*:

$$M_{Drill} = 21.5 \text{ N} * \frac{0.00635 \text{ m}}{2}$$

$$M_{Drill} = 0.0682 \text{ N.m}$$

Evaluando también el momento generado por el Tupí debido a su peso de 2.5 Kilogramos

$$M_{Tupí} = W * d_1 \quad Ec.2$$

Donde:

$M_{Tupí} = ? \quad N.m$                       Momento producido por peso de Tupí

$d_1 = 0.043 \text{ m}$                       Distancia de W a sección a evaluar

$W = 25 \text{ N}$                       Peso de Tupí

Remplazando en la *Ec. 2*:

$$M_{Tupí} = 25 \text{ N} * 0.043 \text{ m}$$

$$M_{Tupí} = 1.075 \text{ N.m}$$

Evaluando las condiciones de corte, se puede notar mediante un análisis, que el mayor esfuerzo soportado por la sección evaluada, es producido por la fuerza horizontal debido al corte de materia prima, siendo esta fuerza paralela a la sección como se puede observar en la figura N° 58. La fuerza horizontal de corte genera dos momentos ( $M_1$  y  $M_2$ ) como se muestra en la figura N° 59. Para este cálculo se asumirá una fuerza de 50 N para el corte horizontal la cual es aproximada al doble de la fuerza de corte, situado a 10 cm ( $d_2$ ) por debajo del plano horizontal de la pieza como se observa en la figura N° 58.

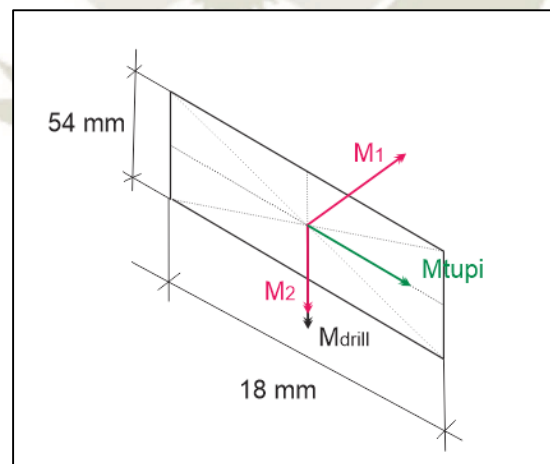


Figura N° 59. Diagrama de Momentos.  
Fuente:Elaboración propia.

Hallamos  $M_1$  y  $M_2$  con las siguientes fórmulas:

$$M_1 = F_{CH} * d_2 \quad Ec.3$$

$$M_2 = F_{CH} * d_3 \quad Ec.4$$

Donde:

$$M_1 = ? \quad N.m \quad \text{Momento Torsor}$$

$$M_2 = ? \quad N.m \quad \text{Momento Flector}$$

$$d_2 = 0.1 \, m \quad \text{Distancia de pieza a fresa o drill}$$

$$d_3 = 0.043 \, m \quad \text{Distancia de fresa o drill a área de sección}$$

$$F_{CH} = 50 \, N \quad \text{Fuerza de Corte Horizontal}$$

Reemplazando en la *Ec. 3*:

$$M_1 = 50 \, N * 0.1 \, m$$

$$M_1 = 5 \, N.m$$

Reemplazando en la *Ec. 4*:

$$M_2 = F_{CH} * d_2$$

$$M_2 = 50 \, N * 0.043 \, m$$

$$M_2 = 2.15 \, N.m$$

Comentario: Como se puede observar en la Figura N° 59 se tiene distintos momentos  $M_2$ ,  $M_{drill}$  y  $M_{tupí}$  estos mismos que son momentos paralelos a la sección y su efecto es flexionante a la sección evaluada y  $M_1$  es perpendicular y su efecto es torsional en la sección. Dicho esto se procederá con el cálculo.

Efecto del momento flector producido por el peso del Tupí.  $C_1$  (distancia al eje neutro),  $I$  (Inercia de sección evaluada).

$$\sigma_{Tupí} = \frac{M_{Tupí} \cdot C_1}{I_1}$$

$$\sigma_{Tupí} = \frac{1.075 * 0.009}{\frac{0.054 * 0.018^3}{12}}$$

$$\sigma_{Tupí} = 368656 \text{ Pa} \approx 0.37 \text{ MPa}$$

Efecto del momento flector producido por  $M_2$  y Drill

$$\sigma_{(M_2+Drill)} = \frac{(M_2 + M_{T_{Drill}}) \cdot C_2}{I_2}$$

$$\sigma_{(M_2+Drill)} = \frac{2.2182 \text{ N.m} * 0.027}{\frac{0.018 * 0.054^3}{12}}$$

$$\sigma_{(M_2+Drill)} = 253567 \text{ Pa} \approx 0.254 \text{ MPa}$$

Sumamos los esfuerzos flectores paralelos a la sección:

$$\sigma_{eq} = \sigma_{Tupí} + (\sigma_{M_2+Drill})$$

$$\sigma_{eq} = 0.37 \text{ MPa} + 0.254 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} = 0.624 \text{ MPa}$$

Los efectos producidos por el momento de torsión pueden calcularse mediante las fórmulas (Ec. 5.21) y (Ec.). Los coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , que son funciones de la relación de lados  $a/b$ , pueden obtenerse de la tabla N° 16.

$$\tau_{ZY_{Max}} = \frac{M_1}{\alpha ab^2} \quad Ec.1$$

$$\tau_{ZX_{Max}} = \gamma \cdot \tau_{ZY_{Max}} \quad Ec.2$$

Reemplazando Ec.1

$$\tau_{ZY_{Max}} = \frac{5 \text{ N.m}}{0.267(0.054)(0.018)^2} = 3.121 \text{ Pa} \approx 3.121 \text{ KPa}$$

$$\tau_{ZX_{Max}} = 0.753 * 3.121 \text{ KPa} \approx 2.35 \text{ KPa}$$

Hallamos esfuerzo equivalente

$$\tau_{Eq} = \sqrt{\tau_{ZY_{Max}}^2 + \tau_{ZX_{Max}}^2} = 3.9 \text{ Kpa}$$

Usando la fórmula de Mohr

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{0.624 \text{ MPa}}{2} + \sqrt{\left(\frac{0.624}{2}\right)^2 + (0.0039)^2}$$

$$\sigma_{max} = 0.631 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo soportado por la sección es de 0.631 MPa cual es menor a 20 MPa del MDF el cual se está verificando, datos obtenidos del MDF (Tabla N° 2)

Nuestro diseño Final se puede observar en la Figura N° 60, los detalles de cada una de las piezas, así como el conjunto de Carro Z, son anexas en este proyecto.

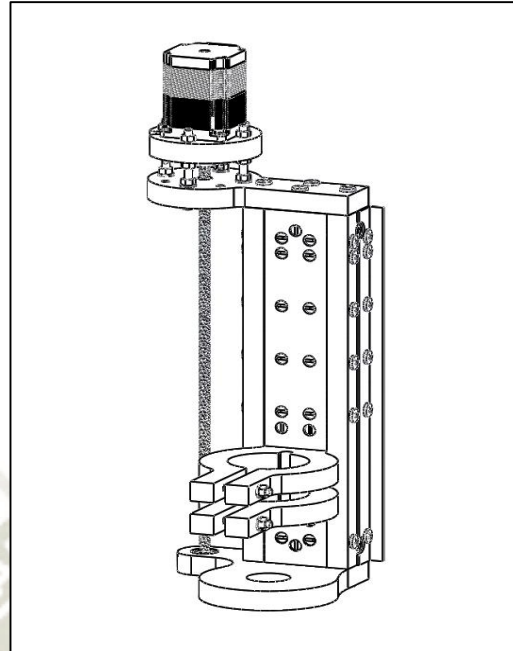


Figura N° 60. Carro Z.  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.3. Carro Eje Y

En la Figura N° 61 se puede observar el bosquejo de donde se iniciará el diseño 3D y su evaluación por simulación de las zonas críticas identificadas

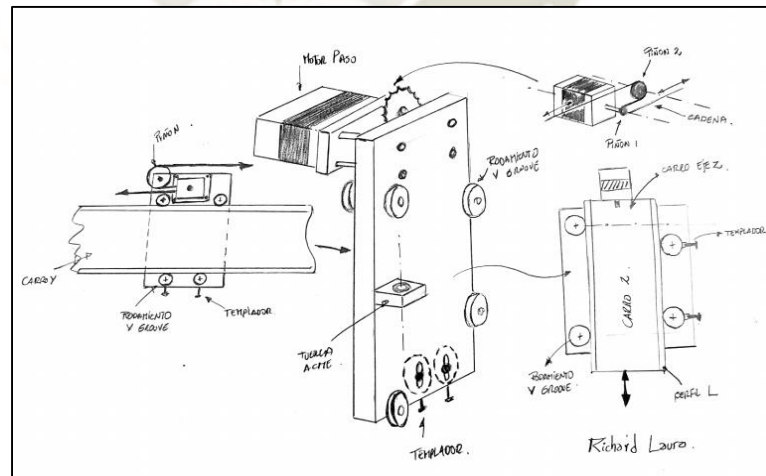
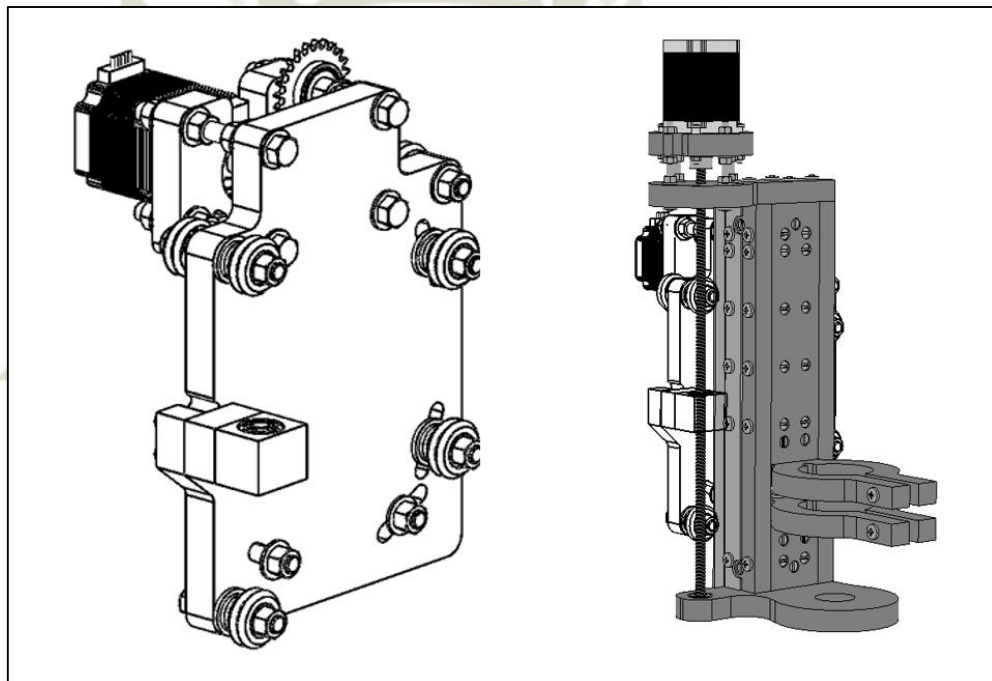


Figura N° 61. Bosquejo – Conjunto Carro Y.  
Fuente: Elaboración propia

El diseño 3D del carro eje Y se puede observar en la Figura N° 61, este mismo conjunto que está constituido por los rodamientos V Groove, el motor de paso, los piñones, cadena y la tuerca Acme.

En la Figura N° 62 podemos observar el diseño en 3D, mejorándolo estéticamente con todos los elementos mencionados en el bosquejo de diseño.



*Figura N° 62. Diseño 3D Carro Y / Ensamble Carro Z y Carro Y*  
Fuente: Elaboración Propia

Este conjunto permitirá el desplazamiento del mismo y del carro eje Z en el sentido del eje Y en un área de trabajo cartesiano tridimensional. Como se puede observar a simple vista, el punto más crítico sería la base de la tuerca acme (Figura N° 61), siendo este elemento el encargado de soportar todo el peso del conjunto del carro eje Z, debido a que la base de la tuerca acme está sujeta por 4 pernos, se

evaluará su resistencia, y comprobará el dimensionamiento otorgado para esta sujeción.

Procederemos a realizar un cálculo para comprobar la resistencia de los pernos que soportarán el peso del carro Z, con ayuda de la base de la tuerca Acme (Figura N° 63).

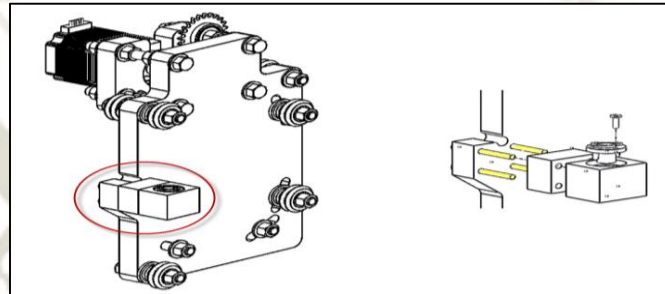


Figura N° 63. Base de Tuerca Acme del Carro Z.  
Fuente: Elaboración Propia

Para la sujeción de la base de la tuerca acme se usaron pernos 4M, estos que tienen un esfuerzo de prueba de 310 MPa, para lo cual veremos si el dimensionamiento es adecuado para soportar el peso del carro Z.

Para ello nos apoyaremos de las dimensiones de la base de la tuerca acme y el peso que deberá soportar (Figura N° 64).

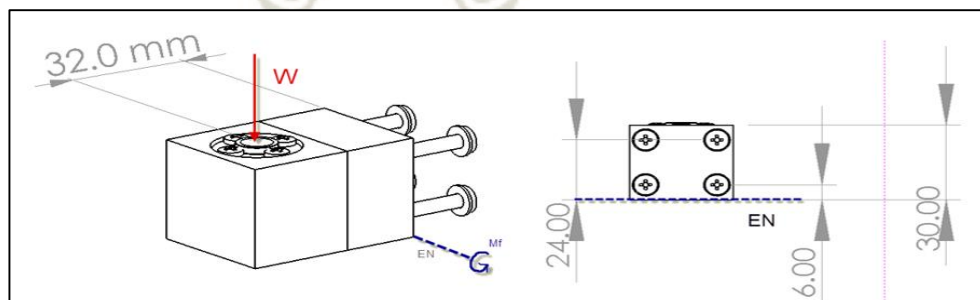


Figura N° 64. Base de la tuerca Acme y Esfuerzos Sometidos.  
Fuente: Elaboración Propia.

**Datos a considerar:**

$S_p = 310 \text{ MPa}$  Esfuerzo de prueba perno M4 clase 4.8

$W = 51.54 \text{ N}$  Peso de Carro Z (ANEXO H)

$d_1 = 32.0 \text{ mm}$  Distancia de base al peso W

$d_2 = 6.0 \text{ mm}$  Distancia al perno inferior

$d_3 = 24.0 \text{ mm}$  Distancia al perno superior

Hallamos el momento flector ( $M_f$ ) producido por el peso W en el Eje Neutro de la base de la tuerca acme como se observa en la Figura N°64, considerando los datos antes mencionados.

$$M_f = W * d_1$$

$$M_f = 51.54 \text{ N} * 0.032 \text{ m}$$

$$M_f = 1.65 \text{ N.m}$$

Esfuerzo cortante puro ( $\tau_v$ ):

$$\tau_v = \frac{W}{Ac}$$

Ec.1

Donde:

$\tau_v$ : Esfuerzo cortante puro (vertical)

W: Torsión requerida

$A_c$ : Área equivalente de Corte

Reemplazando:

$$\tau_v = \frac{51.54 \text{ N}}{\frac{\pi(0.004 \text{ m})^2}{4} * 4}$$

$$\tau_v = 1,025.36 \text{ KN}/m^2$$

Hallamos la fuerza de tracción en la cual se consideran el momento flector, área y distancias al eje neutro.

$$F_{t_i} = \frac{M_f \cdot A_i \cdot C_i}{\Sigma(A_i \cdot C_i^2)}$$

Ec.2

Reemplazando en la Ecuación 2:

$$F_{t_i} = \frac{1.65 \text{ N} \cdot m * \frac{\pi(0.004m)^2}{4} \cdot 0.024m}{2 * \frac{\pi(0.004m)^2}{4} \cdot (0.006m)^2 + 2 * \frac{\pi(0.004m)^2}{4} \cdot (0.024m)^2}$$

$$F_{t_i} = 31.37 \text{ N}$$

Hallamos el esfuerzo de flexión a un perno con ayuda de la fuerza de tracción.

$$\sigma = \frac{F_{t_i}}{A} \quad \text{Ec.3}$$

Reemplazando en la *Ec. 3*:

$$\sigma = \frac{31.37 \text{ N}}{\frac{\pi(0.004\text{m})^2}{4}}$$

$$\sigma = 2,496.35 \text{ KN/m}^2$$

Hallamos el esfuerzo total que soporta el perno M4

$$\sigma' = \sigma + \tau_v \quad \text{Ec.4}$$

Reemplazando en la *Ec. 4*:

$$\sigma' = 2,496.35 \text{ KN/m}^2 + 1,025.36 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma' = 3521.71 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} = 3.52 \text{ MPa}$$

Como podemos observar el valor obtenido no supera los 310 MPa de esfuerzo de prueba, para lo cual es un dimensionamiento de pernos correctos para la sujeción de la base del portador de la tuerca Acme.

#### 4.4.4. Carro Eje X

En la Figura 65 se puede observar el bosquejo de donde se iniciará el diseño 3D, apoyándonos siempre de los conjuntos ya antes diseñados para su ensamble final.

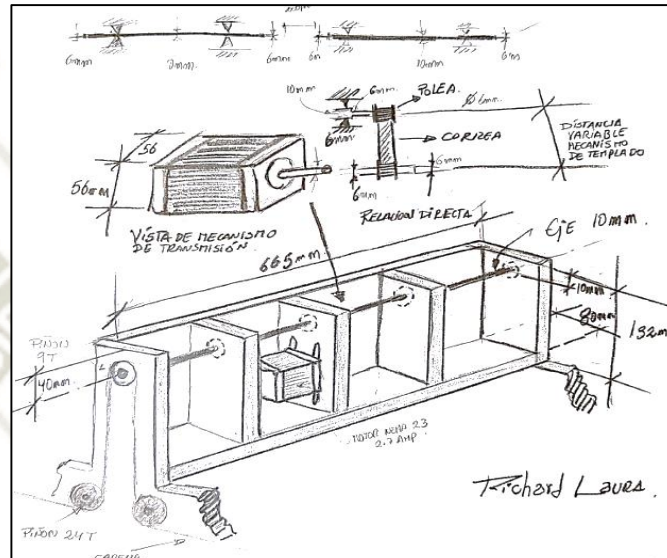
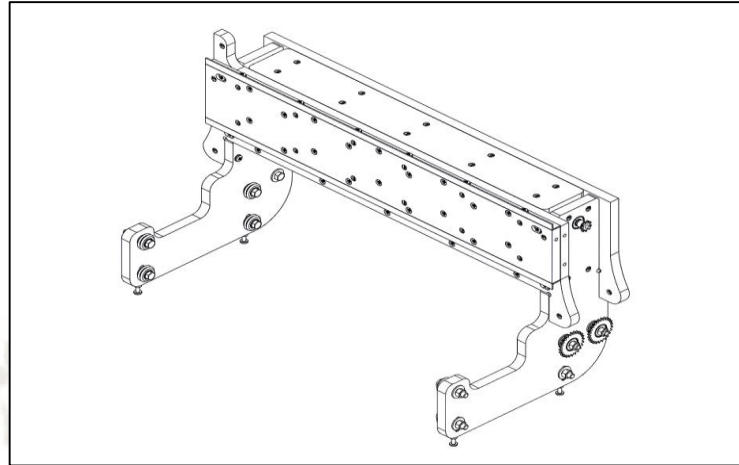


Figura N° 65. Bosquejo – Conjunto Carro X  
Fuente: Elaboración Propia.

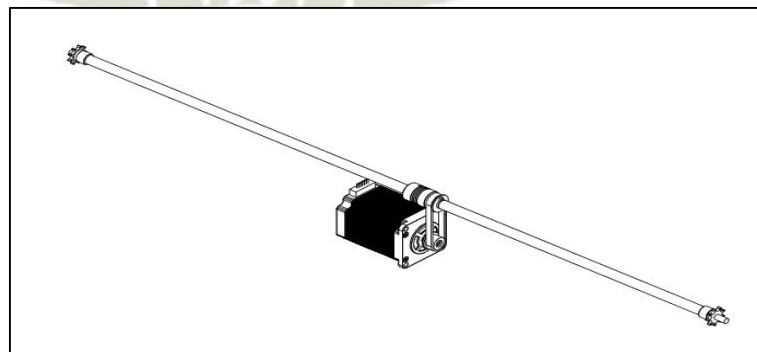
El diseño 3D del carro eje X se puede observar en la Figura N° 65, este mismo conjunto constituido por los rodamientos V Groove, el motor de paso en su interior, los piñones y ejes para su movimiento. Cabe resaltar que el Conjunto del Eje X es el que soportará el peso del “Carro Z” y “Carro Y”, para lo cual su diseño deberá ser rígida y compacta.

En la Figura N° 66 podemos observar el diseño en 3D, mejorándolo estéticamente con todos los elementos mencionados en el bosquejo de diseño, en esta sección se evaluarán parte del diseño.



*Figura N° 66.* Diseño 3D– Conjunto Carro X  
Fuente: Elaboración Propia.

Este diseño 3D se dividirá en 2 secciones, lo que es el conjunto que se observa en la Figura N° 67 y la sección de ensamble llamada “Sistema de Transmisión del Carro Eje X”, la cual se encarga de la transmisión mecánica desde la potencia otorgada por el motor de pasos, que está compuesta por poleas, correas y cadenas, permitiendo estos componentes el movimiento largo del eje X como se muestra en la Figura N° 67. Los detalles de su fabricación se mencionarán más adelante, así como también los planos de todo el conjunto.



*Figura N° 67.* Sistema de Transmisión Carro X  
Fuente: Elaboración Propia.

El sistema de transmisión permite el movimiento a lo largo del Eje X, para lo cual el conjunto del carro X cuenta con piñones y cadenas que permitirán este movimiento, como se puede observar en la Figura N° 68. Las cadenas son fijadas en la mesa de trabajo como se mostrará en el ensamble final, los detalles del diseño se pueden verificar en los planos anexos, planos de detalle y ensamble de cada conjunto.

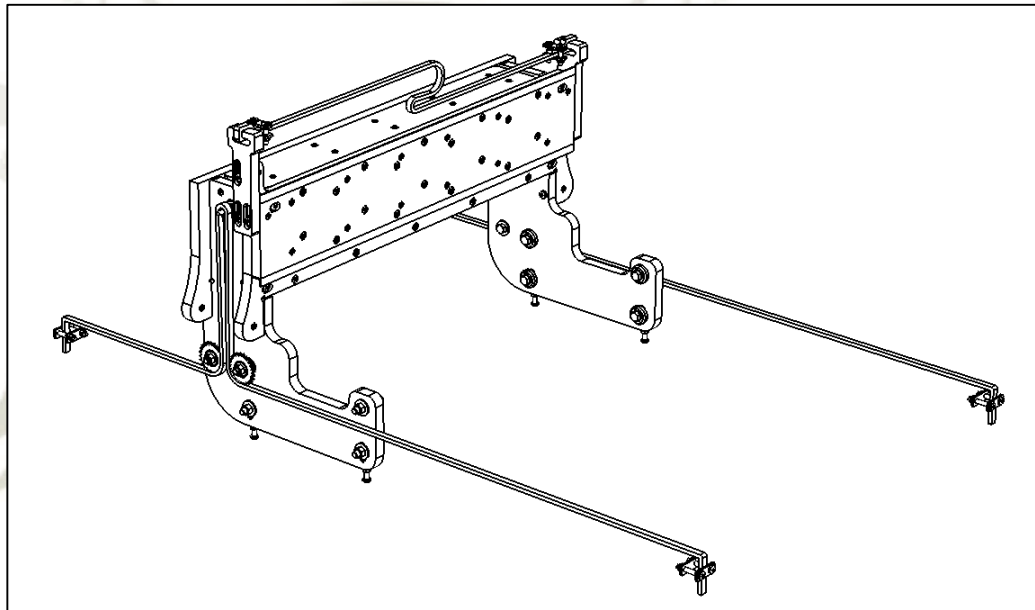


Figura N° 68. Ensamble Carro X y Sistema de Transmisión.  
Fuente: Elaboración Propia.

Al igual que en los demás diseños anteriores, el desplazamiento o deslizamiento con bajo coeficiente de fricción y fácil movilidad, se da con la ayuda del rodamiento V Groove, los mismos que permiten un auto alineamiento por su configuración V de los rodamientos apoyados en los perfiles y un deslizamiento fluido sin dar ningún tipo de resistencia brusca para el maquinado.

Para garantizar la tensión máxima soportada por la cadena que usaremos, se realizará un cálculo necesario, ya que al ser una cadena de una longitud prolongada,

no queremos que genere vibraciones o pandeos, y se procurará usar una cadena adecuada de bajo peso para este mecanismo.

Datos: para el inicio del cálculo de la tensión máxima de la cadena se debe saber que los ejes que usan este sistema de transmisión mecánica son los ejes X y Y, para lo cual se asumirá la velocidad de desplazamiento de 7000 mm/min, velocidad promedio de máquinas en el mercado.

$$v = N * p * n$$

Ec.1

Despejando

$$n = \frac{V}{N * p}$$

Donde:

$n = ?$	RPM	Velocidad de la Catarina
$N = 9$	dientes	Dientes de piñón (Catarina)
$p = 0.25$	" = 6.35 mm	Paso de Cadena ANSI 25
$V = 7000$	mm/min	Velocidad de la cadena (Y o X)

Remplazando en la Ec.1

$$n = \frac{7000 \text{ mm/min}}{9 * 6.35 \text{ mm/paso}}$$

$$n = 122.5 \text{ RPM}$$

Según Shigley 9 edición, los límites de fatiga de una cadena son debido a 2 efectos.

a. Límite a las placas del Eslabón (potencia) – ecuación 17.32 Shigley

$$H_1 = 0.004 * N_1^{1.08} * n_1^{0.9} * p^{(3-0.07p)} \quad Ec.2$$

Donde:

$H_1 = ?$  HP Límite de placas de Eslabón (potencia)

$N_1 = 9$  dientes Número de dientes en la Catarina (ANEXO G)

$n_1 = 122.5$  RPM Velocidad de Catarina RPM - Ec.1

$p = 0.25$  " = 6.35 mm Paso de cadena ANSI 25 (ANEXO F)

Reemplazando Ec.2

$$H_1 = 0.004 * 9^{1.08} * 122.5^{0.9} * 0.25^{(3-0.07*0.25)}$$

$$H_1 = 0.052 \text{ HP}$$

Límite a la Presión ejercida a los rodillos

$$H_2 = \frac{1000 * Kr * N_1^{1.5} * p^{0.8}}{n_1^{1.5}} \quad Ec.3$$

Donde:

$H_2 = ?$  HP Potencia nominal H2, limitada por los rodillos

$N_1 = 9$  dientes Número de dientes en la Catarina (ANEXO G)

$$n_1 = 122.5 \text{ RPM} \quad \text{Velocidad de Catarina RPM - Ec.1}$$

$$p = 0.25 \text{ " } = 6.35 \text{ mm} \quad \text{Paso de cadena ANSI 25 (ANEXO F)}$$

$$Kr = 29 \quad \text{Para cadenas ANSI 25}$$

Remplazando en Ec. 3

$$H_2 = \frac{1000 * 29 * 9^{1.5} * 0.25^{0.8}}{122.5^{1.5}}$$

$$H_2 = 19.05 \text{ HP}$$

Después de realizar los dos cálculos de potencia se toma el valor más crítico el cual es  $H_1 = 0.052 \text{ HP}$ , que es igual a  $387.8 \text{ W}$

Luego:

$$Pot = F * V$$

Ec.4

Remplazando en Ec. 4

$$387.8 \text{ W} = F * 7m/60sg$$

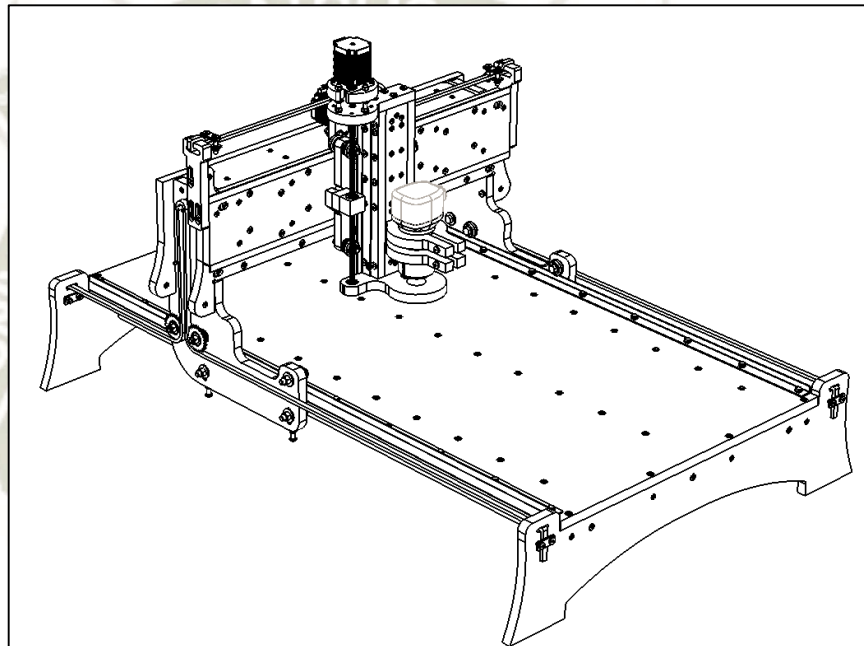
$$F = 3324 \text{ N}$$

De la tabla 17.19 shigley 9 edición (Pág. 875) la resistencia límite a la tensión es de  $3470 \text{ N}$ .

$$N < 3470 \text{ N} \quad \text{estando dentro del límite permitido.}$$

#### 4.4.4. Ensamble Router CNC

En el ensamble del Router se incluyen todos los conjuntos antes diseñados, y también los elementos como las cadenas y el Tupí. En la Figura N° 69 se muestra el conjunto, el diseño final de nuestro proyecto para posteriormente proceder con su fabricación, cada pieza y conjunto se encuentra detallado en los planos anexos para su fabricación.



*Figura N° 69. Router CNC Ensamble Final.*

Fuente: Elaboración Propia.

Nuestro diseño final concluye delimitando el área de trabajo, como podemos observar en la figura 70, el área remarcada es limitada por la estructura de la máquina, estas mismas que será protegidas mediante sensores límites de carrera, dichos sensores tienen como función la protección contra colisión de la misma estructura por acción de los motores, lo que harán que la máquina se detenga si sobrepasan sus límites de trabajo. Respecto al eje Z se tiene un límite de área de

trabajo de 80 mm como máximo, de igual manera siendo limitado por los límites de carrera.

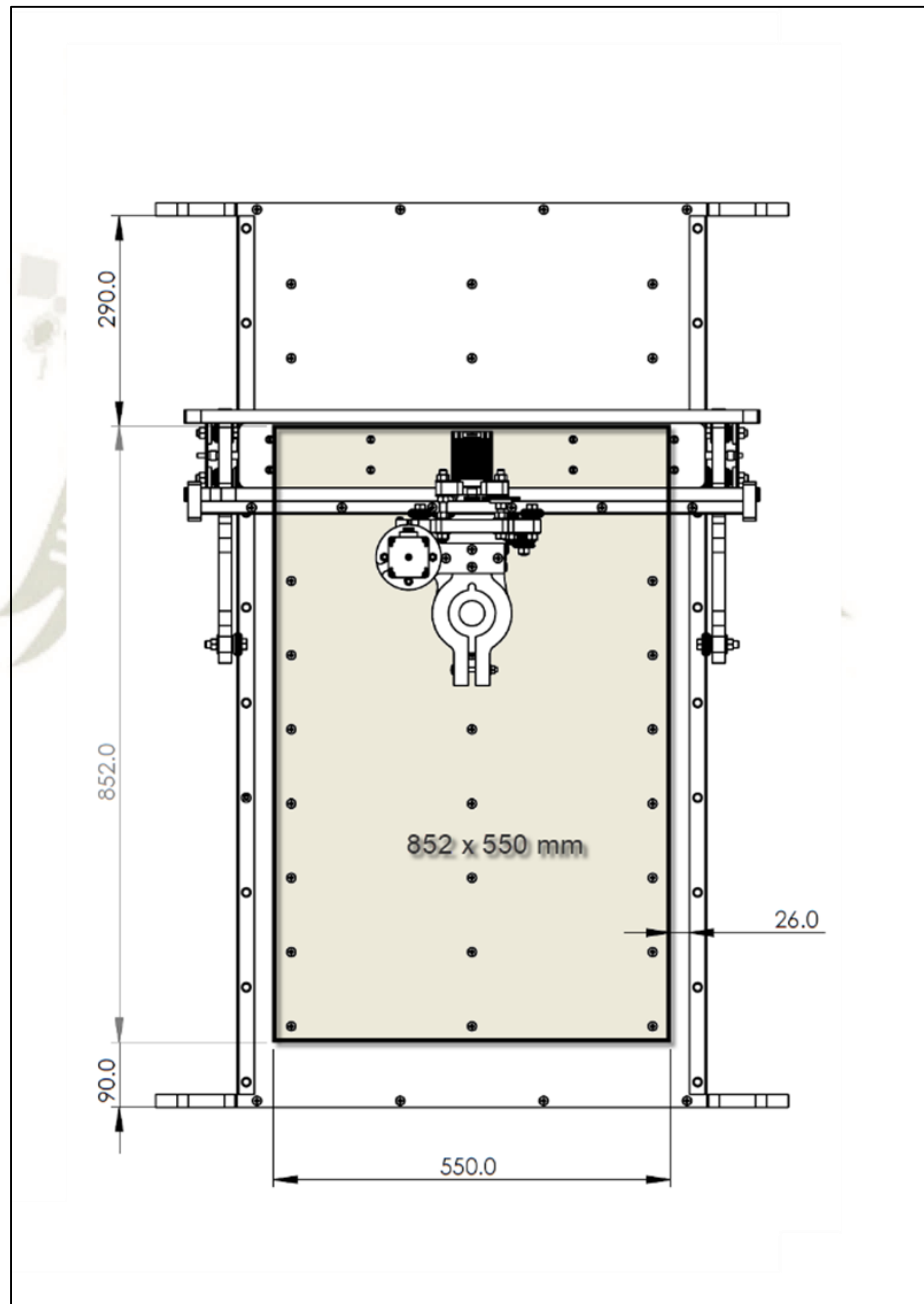


Figura N° 70. Área de trabajo / Router CNC  
Fuente: Elaboración Propia

## CAPITULO V

### PROYECTAR SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO

#### 5.1. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL CONTROL CNC

El sistema eléctrico y electrónico para la máquina se diseñará en este capítulo, los mismos que serán contenidos en una caja de arranque y control de la máquina, se describirán de igual manera los sensores de protección en caso de colisión de la máquina y los distintos componentes que conformarán este diseño.

En base a nuestro planteamiento del problema se describió los distintos métodos para realizar el control de la máquina, ya sea por una tarjeta arduino o una tarjeta de interface CNC dedicada, pero sin desviarnos del tema se eligió una propuesta de solución óptima la cual seguiremos a detalle, describiendo los componentes que se usarán, así como los programas que se usan para el control de la maquina diseñada.

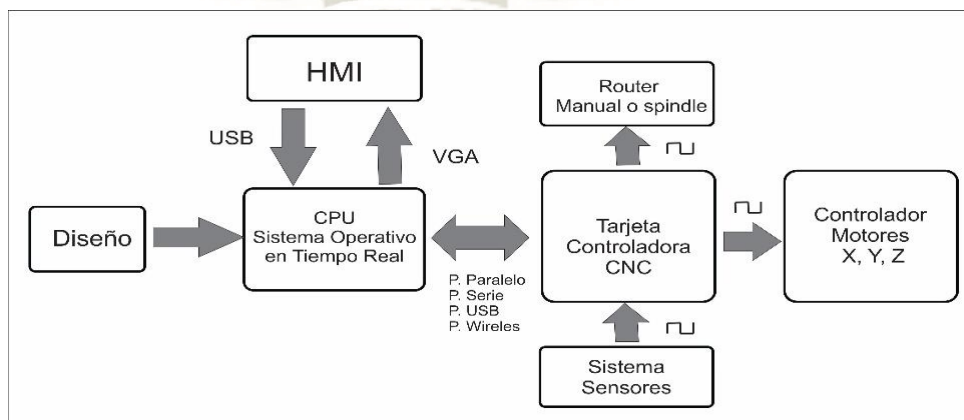


Figura N° 71. Diagrama de Bloques del Sistema de Control CNC.  
Fuente: Elaboración Propia.

Para el desarrollo, selección y diseño de las distintas partes que componen un control CNC de una máquina herramienta nos ayudaremos con un esquema de funcionamiento que se puede visualizar en la Figura N° 71. Las partes principales que conforman un sistema de control CNC son las siguientes:

- Tarjeta de interface CNC
- Driver de Motor Paso
- Motores Paso
- Sensores Límites de Carrera
- Spindle (Tupí)

#### **5.1.1. Tarjeta de interface CNC**

Existen muchas tarjetas en el mercado que permiten el control CNC de una máquina herramienta, dentro de ellas se diferencian principalmente en la velocidad de transferencia de información y el tipo de conexión con el CPU.

Para la selección de esta tarjeta se debe tener en cuenta principalmente en número de ejes de nuestra máquina y la velocidad de transmisión de pulsos por segundo para el control de los motores.

Uno de los datos para su selección sería el número de ejes, que en este proyecto vendrían a ser 3 (eje X, eje Y, eje Z), y el otro dato viene dado por la velocidad de transmisión (Khz) necesaria de la tarjeta de control para generar el movimiento de los motores paso, para ello se realizará un cálculo en base a nuestro sistema de transmisión mecánica para el desplazamiento en los distintos ejes y así seleccionar una tarjeta.

Para el cálculo de la velocidad de transmisión necesaria de la tarjeta interface de control CNC partiremos de los componentes mecánicos que permitirán el movimiento en los 3 ejes y así sacar un cálculo estimado de velocidad (Khz).

La velocidad de transmisión se puede calcular con la siguiente fórmula.

$$S = \frac{PM_x * RM_x}{60} + \frac{PM_y * RM_y}{60} + \frac{PM_z * RM_z}{60} \quad Ec.1$$

Donde:

$S = ? \quad Hz$  Velocidad de transmisión de pulsos

$PM = \text{pasos/mm}$  Pasos por milímetro

$RM = \text{mm/min}$  Recorrido por minuto (datos asumidos)

Los recorridos por minuto serán asumidos, de acuerdo a las velocidades de trabajo de las distintas máquinas en el mercado. La velocidad de recorrido de los ejes X y Y se encuentran en un rango de 3000 a 9000 mm/min para lo cual asumiremos un valor de 7000 mm/min, el valor de la velocidad para el eje Z, al ser un tornillo de potencia de un solo hilo se asumirá un valor de 500 mm/min. Cabe recalcar que es un recorrido en vacío, ya que el recorrido de corte es mucho menor, debido a que depende del material que se esté cortando.

Los valores de PM (pasos por milímetro) serán calculados individualmente para cada eje (secciones adelante).

Reemplazando en la *Ec. 1* tenemos:

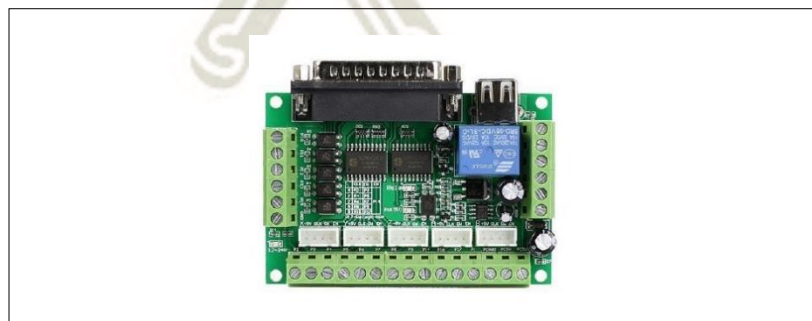
$$S = \frac{55.9936 \cdot 7000}{60} + \frac{55.9936 \cdot 7000}{60} + \frac{1600 \cdot 500}{60}$$

$$S = 26398.51 \text{ Hz}$$

$$S = 26 \text{ KHz}$$

Luego de haber realizado el cálculo respectivo tenemos los datos necesarios para la elección de nuestra tarjeta de control CNC, este proceso de selección se hizo inicialmente eligiendo tarjeta Interface CNC con conexión puerto paralelo, pero esta elección está ligada a las características necesarias para la máquina, para lo cual hay otros puertos que brindan mayor velocidad de transferencia de pulsos por segundo, pero gracias a este cálculo realizado se podrá hacer una mejor elección de ello.

Existe un gran número de tarjetas, pero para nuestro diseño se seleccionó una tarjeta con el nombre “5 Axis CNC Breakout Board Interface Mach3” el cual se puede observar en la Figura N° 72.



*Figura N° 72.* 5 Axis CNC Breakout Board Interface Mach3.

Fuente: <https://www.omc-stepperonline.com/5-axis-cnc-breakout-board-interface-mach3-cnc-router-kit-st-v2.html>

Cuenta con una velocidad de 100 Khz, siendo este mayor que el obtenido en cálculos, por otra parte el número de ejes que puede controlar es suficiente ya que esta tarjeta está diseñada para 5 ejes.

Se debe tener en cuenta que nuestra computadora deberá tener una conexión puerto paralelo o en su defecto un adaptador. Los detalles de esta tarjeta serán adjuntos en los ANEXO I.

✓ **Cálculo Pasos por Unidad del Eje X - Eje Y**

Estos dos ejes tendrán el mismo cálculo debido a que llevan el mismo sistema de transmisión mecánica, el cual está conformado por:

- Piñón y Cadena #25 - pitch 6.35 / piñón 9 dientes
- Motor Paso - 1.8° por paso (paso común)

Cálculo de los (PM) pasos por milímetro de eje X y Eje Y

$$PM_x = \frac{PR_x}{RV_x}$$

Ec.2

Donde:

$PM_x = ?$  *pasos/mmm* Pasos por milímetro

$PR_x = ?$  *pasos/rev* Pasos por Revolución

$RV_x = ?$  *mm/rev* Recorrido por vuelta de motor

Calculo de ( $PR_x$ ) :

$$PR_x = \frac{360^\circ}{p}$$

*Ec.3*

Donde:

$PR_x = ?$  *pasos/rev* Pasos por revolución

$p = 1.8^\circ$  *grados/paso* Grados por paso de motor de pasos

(paso común)

Reemplazando en *Ec. 3*:

$$PR_x = \frac{360^\circ \text{ grados/rev}}{1.8^\circ \text{ grados/ paso}}$$

$$PR_x = 200 \text{ pasos/rev}$$

Calculo de ( $RV_x$ ) :

$$RV_x = Pt * Dp$$

*Ec.4*

Donde:

$RV_x = ?$  *mm/rev* Recorrido mm por vuelta de motor

$Pt = 6.35$  *mm* Pitch de piñón y cadena #25

$Dp = 9$  *dientes* Dientes de piñón

Reemplazando en *Ec. 4*:

$$RV_x = 6.35 \frac{mm}{diente} * 9 \frac{dientes}{rev}$$

$$RV_x = 57.15 mm/rev$$

Con los datos obtenidos anteriormente procedemos a reemplazarlos en la ecuación para hallar el ( $PM_x$ ) número de pasos por milímetro de recorrido de un eje.

Reemplazando en *Ec. 2*:

$$PM_x = \frac{200 \frac{pasos}{rev}}{57.15 \frac{mm}{rev}}$$

$$PM_x = 3.4996 \frac{pasos}{mm}$$

Luego de hacer los cálculos  $PM_x$ , este puede ser variado debido a la configuración de los micro pasos que cuenta un driver de motor de pasos, que simplemente es la partición de un paso de motor en micro pasos. Existen varias configuraciones de micro pasos como se puede observar en la Tabla N° 17, la configuración más común es la de 16 micro pasos, para lo cual se hará la modificación respectiva.

Tabla N° 17  
*Resolución Microstep.*

MODE0	MODE1	MODE2	Microstep Resolution
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	1/4 step
High	High	Low	1/8 step
Low	Low	High	1/16 step
High	Low	High	1/32 step
Low	High	High	1/32 step
High	High	High	1/32 step

Fuente: <http://rigidtalk.com/wiki/index.php?title=File:DRV8825Table.jpg>.

Adicionando los micro pasos en nuestro resultado tendríamos como valor final:

$$PM_x = 55.9936 \frac{\text{pasos}}{\text{mm}}$$

Al igual que el eje X se halló  $PM_x$  el valor es igual para el  $PM_y$  debido a que es la misma transmisión mecánica.

#### ✓ Cálculo Pasos por Unidad del Eje Z

De acuerdo a nuestro diseño el eje Z cuenta como un sistema de transmisión mecánica los siguientes elementos:

- Tornillo de potencia – 2mm por vuelta
- Motor Paso - 1.8° por paso (paso común)

Cálculo de los (PM) pasos por milímetro de eje Z

$$PM_z = \frac{PR_z}{RV_z} \quad Ec.2$$

Donde:

$PM_z = ?$  *pasos/mmm* Pasos por milímetro

$PR_z = ?$  *pasos/rev* Pasos por revolución

$RV_z = 2$  *mm/rev* Recorrido por vuelta de motor

Cálculo de ( $PR_x$ ):

$$PR_z = \frac{360^\circ}{p} \quad Ec.3$$

Donde:

$PR_z = ?$  *pasos/rev* Pasos por revolución

$p = 1.8^\circ$  *grados/paso* Grados por paso de motor de pasos  
(paso común)

Reemplazando en Ec. 3:

$$PR_z = \frac{360^\circ \text{ grados/rev}}{1.8^\circ \text{ grados/paso}}$$

$$PR_z = 200 \text{ pasos/rev}$$

Con los datos obtenidos anteriormente procedemos a reemplazarlos en la ecuación para hallar el ( $PM_z$ ) número de pasos por milímetro de recorrido para el eje Z.

Reemplazando en *Ec. 2*:

$$PM_z = \frac{200 \frac{\text{pasos}}{\text{rev}}}{2 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}}$$

$$PM_z = 100 \frac{\text{pasos}}{\text{mm}}$$

Al igual que los ejes X y Y se adicionará los micro pasos en nuestro cálculo.

Teniendo como resultado final:

$$PM_z = 1600 \frac{\text{pasos}}{\text{mm}}$$

### 5.1.2. Driver Motores Paso

Cada eje es movido por un motor paso, para lo cual se debe seleccionar los drivers para que realicen dicho control. La selección de estos drivers está relacionado directamente a los motores paso que se usarán, para ello usaremos “Driver Stepper Motor TB6600” (Figura N°73), el cual puede controlar motores con una corriente hasta 4.5 Ampers, el mismo que es regulable dependiendo del motor usado para la máquina.



Figura N° 73. Driver Stepper Motor TB6600.

Fuente: <http://www.dx.com/es/p/tb6600-4-5a-cnc-single-axis-stepper-motor-driver-board-controller-418451#.Wzq7-tJKiUk>

Este dispositivo tiene una regulación de amperios y micro pasos la cual permite ser compatible con cualquier motor paso que no sobrepase los 4.5 A y alimentación de 10 – 45 Voltios. Dichas regulaciones se pueden observar en la figura N° 74. La hoja técnica a detalle puede ser revisada en el ANEXO A.

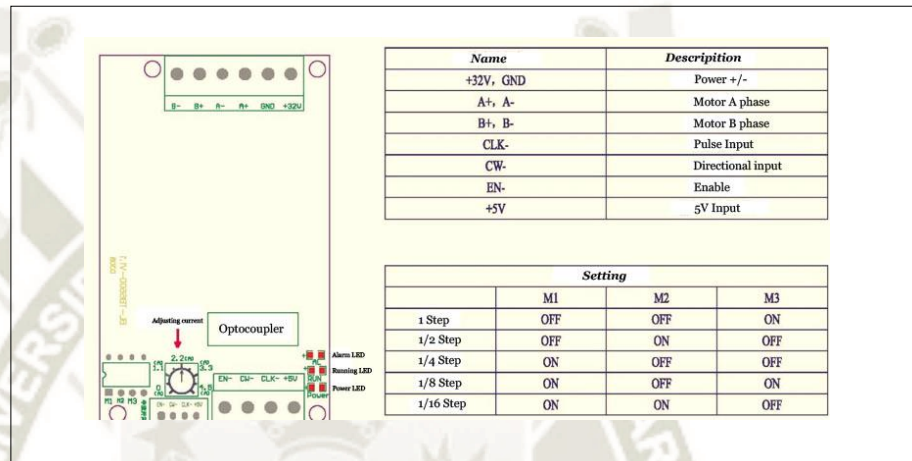


Figura N° 74. Configuración de Driver TB6600.

Fuente: <http://www.dx.com/es/p/tb6600-4-5a-cnc-single-axis-stepper-motor-driver-board-controller-418451#.Wzt4-tJKiU>

### 5.1.3. Motores paso

Los motores están distribuidos uno en cada eje, estos mismos separados en conjunto en el diseño 3D como Carros X, Y y Z. Para el dimensionamiento de estos motores se calculará solo el torque necesario de uno, en este caso el motor de pasos del carro Z, esto debido a ser el motor con el mayor esfuerzo soportado.

El tornillo de potencia deberá ser capaz de subir los 5.2 kg (masa del carro Z), se usará la siguiente fórmula que calcula el torque necesario para superar la fricción en la rosca y elevar la carga. En la fórmula se puede observar la constante  $F_c$ , esta fuerza refiere la fricción entre el tornillo y un collarín de apoyo axial, la cual no se usa en este diseño por lo cual, al ser cero no se considera.

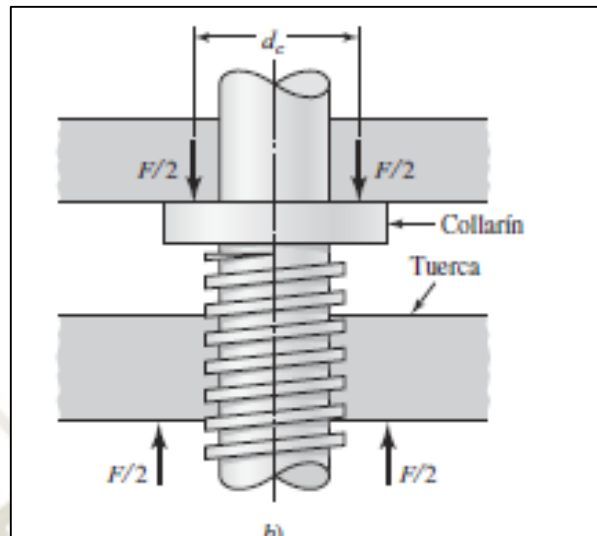


Figura N° 75. Torsión Requerida en Tornillos de Potencia.  
Fuente: Sigley 9na Ed. Pag. 399

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) + \frac{F f_c d_c}{2}$$

Donde:

$T_R = ?$  N/m Torsión requerida

$l = 2$  mm Avance

$F = 51.54$  N Peso de carro Z (ANEXO H)

$d_m = 7.5$  mm Diámetro medio de tornillo

$f = 0.15$  Coeficiente de fricción pares roscados – acero + latón (tabla 8-5 de shigley 9na Ed. Pag. 404)

$f_c = 0$  Coeficiente de fricción del collarín (sin collarín)

$V_z = 450$  mm/min Velocidad de corte promedio de Router Eje Z

Reemplazando en la ecuación la Figura N° 75.

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) + \frac{F f_c d_c}{2}$$

$$T_R = \frac{51.54 * 7.5}{2} \left( \frac{2 + \pi * 0.15 * 7.5}{\pi * 7.5 - 0.15 * 2} \right) + 0$$



$$T_R = 45.98 \text{ N.mm} = 0.04598 \text{ N.m}$$

Debido a que nuestro diseño es un prototipo se reutilizará motores paso obtenidos de impresora o fotocopiadoras industriales que superen el valor de los 0.045 N.m calculado, dándole un factor de seguridad.

#### 5.1.4. Sensores límite de carrera

Estos sensores se usarán en la máquina para distintos propósitos, pero su función principal sería la de protección contra colisión de la misma máquina, limitando el área de trabajo. Existen un sinnúmero de tipos, pero en esta sección se evaluarán dos sensores comunes usados en estos sistemas (Tabla N° 18).

Tabla N° 18  
*Cuadro Comparativo de Sensores de Posición.*

CUADRO COMPARATIVO DE SENSORES DE POSICIÓN		
	Micro switch	Sensor Inductivo
Parámetros		
Detección	Detecta todo tipo de material por medio de contacto mecánico.	No se necesita de contacto mecánico, al detectar solo materiales ferromagnéticos.
Durabilidad	Su vida útil depende del mantenimiento de las partes mecánicas.	Alta vida útil debido a que no existe contacto.
Costo	Bajo costo	Costo medio

Fuente: Elaboración Propia.

La selección de este dispositivo se basará en el costo, por lo tanto, se selecciona el Sensor Switch lo cual es ideal para nuestro prototipo.

### 5.1.5. Spindle (Tupí)

Ya que se eligió anteriormente el tipo de Spindle o (Tupí) en base al costo, se verificará las velocidades promedio que trabaja el Spindle, en la Tabla N°19, donde podemos observar que están por encima de los 18000 RMP y debajo de los 24000 RPM.

Tabla N° 19.

*Tabla de Comparación de Velocidades de Spindle Tupí.*

ITEM	ROUTER CNC	Velocidad de Spindle (Tupí)
1	AMAN 3040CH80	24000
2	Bungard CCD / MTC	63000
3	FIRM FM6090T	24000
4	SANYOU SY-4040	18000
5	JFT CNC6090Z-A	24000

Fuente: Elaboración Propia.

Luego del análisis de las velocidades de trabajo del Spindle o Tupí se optó por la compra de un tupí manual, cuyo precio es menor que los de uso industrial para estas máquinas, el cual cumple con las características principales de velocidad, solo siendo limitado por el tiempo de uso, lo cual no es prolongado en comparación de los Spindle refrigerados por agua y aire. Pero ya que su uso no será industrial, es el ideal (Figura N° 76).



Figura N° 76. Tupí Makita RT0700C.

Fuente: <https://www.amazon.es/Makita-RT0700C-Fresadora-el%C3%A9ctrica-Watios/dp/B007NZHNX2>

### Características:

Tabla N° 20.

*Tabla de Especificación de Tupí*

Especificaciones	
Identificador de producto del fabricante	RT0700C
Voltaje	220 voltios
Potencia eléctrica	710 vatios
Número de productos	1
Número de piezas	1
Velocidad	10000 - 30000 RPM
Peso	1.80 kilogramos

Fuente: <https://www.amazon.es/Makita-RT0700C-Fresadora-el%C3%A9ctricaWatios/dp/B007NZHNX2>

## 5.2. DISEÑO DE CUADRO DE CONTROL Y MANDO

En esta sección se juntará los componentes seleccionados agrupándolos dentro de un cuadro, el cual contará con un sistema de protección y arranque para su funcionamiento.

### 5.2.1. Requerimiento del Sistema

Una vez seleccionado y evaluado todos los componentes que integran el sistema de control CNC procederemos a la identificación del requerimiento para su ensamble y funcionamiento.

- **Alimentación de Breakout Board Interface CNC:** Esta tarjeta como se puede ver en sus especificaciones, es alimentada por una fuente de 24 voltios y alimentación 5V mediante USB. Para la cual se tendrá que incluir como un requerimiento para esta tarjeta.
- **Alimentación de Driver Motor:** La alimentación del driver puede ser de 10 a 45 V (según las especificaciones antes mencionadas en la selección del componente), esta misma que también debe ser incluida para el requerimiento para los 3 drivers que compondrán el sistema.
- **Fuente de 24 V:** Evaluando en requerimiento anterior vemos que necesitaremos una fuente de 24 voltios tanto para la alimentación de los Breakout Board Interface CNC y la alimentación de los drivers motor. Se seleccionará una fuente conmutada que garantiza los 24 V sin variación.
- **Alimentación de la Fuente Conmutada de 24 V:** Debido a que muchas tarjetas serán alimentadas mediante la fuente conmutada de 24 V, ésta deberá tener una alimentación para su funcionamiento, así que se necesitará una alimentación de 220 voltios para su funcionamiento.
- **Alimentación de Tupí:** La alimentación del Tupí manual marca Makita deberá ser de 220 voltios, así como también un interruptor de protección para usos en vacío.

- **Paro de Emergencia:** Un pulsador que permita detener por completo el funcionamiento de la máquina.
- **Interruptor de Conexión/Desconexión para el Encendido de la Máquina:** Permitirá energizar el sistema y desconectarlo.
- **Luces de Indicación:** Se colocarán en el panel de control, deberán indicar el estado de la máquina, así como el estado la herramienta.

### 5.2.2. Diagrama de Control

En este diagrama se incluirá los componentes seleccionados anteriormente para el control del Router CNC, describiendo a detalle los puertos y sus alimentaciones. Desarrollando un diagrama de Conexión en el PLANO – Diagrama de Conexión.

#### ✓ Tarjeta CNC Breakout Board Interface Mach3

Es el componente electrónico que maneja y procesa las señales entre la PC y demás componentes electrónicos, como sensores, controladores y actuadores.

Como consta en la parte de selección de alternativa óptima, se ha elegido la tarjeta 5 Axis CNC Breakout Board Interface Mach3, la cual cuenta con una conexión puerto paralelo entre sus características más importantes se tiene:

- Soporta como máximo el control de 5 ejes.
- Compatible con los softwares MACH3, Linux CNC (EMC2), etc.
- Conexión Puerto paralelo.
- La frecuencia máxima de paso-pulso es 100 KHz.
- Alimentación por puerto USB.
- Todas las señales están aisladas mediante optocopladores, lo que puede proteger la seguridad de tu computadora.

- 5 entradas para definir los límites de carrera, parada de emergencia, herramienta puesta cero ejes Z.
- Voltaje de alimentación en un rango de 12 – 24 V.
- Un relay de salida para el control de Spindle, bomba de agua, ventilador, etc.
- Voltaje analógico de salida de 0 a 10 V, para el control de la velocidad del spindle.

En la figura N° 77 se puede visualizar la distribución de los pines de conexión a la Breakout Board Interface Mach3, el cual se verá más adelante en un plano completo de conexión, entre los distintos dispositivos de entrada y salida (PLANO - diagrama de conexión).

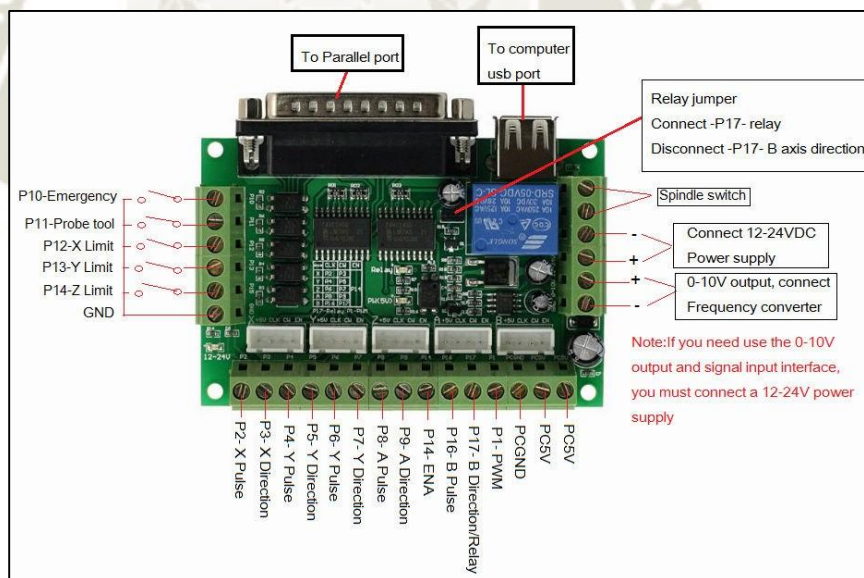


Figura N° 77. Distribución de Tarjeta Breakout Board Mach3.  
Fuente: <https://makerselectronics.com/product/mach3-interface-breakout-board-cnc-5-axis>

En la Tabla N° 21 se puede observar la identificación y el orden que tendrán el conexionado de los distintos dispositivos para el control CNC de nuestro Router

CNC. Se puede decir que no se usaron todos los pines ya que la tarjeta está diseñada para el control de 5 ejes.

Tabla N° 21  
*Entradas y Salidas de Tarjeta CNC Breakout Board Interface*

Entradas y Salidas de Tarjeta CNC Breakout Board		
Componente	Pin	
Entrada	CPU	Puerto Paralelo
	CPU	Puerto USB
	Sensor Límite de Carrera X	P12
	Sensor Límite de Carrera y	P13
	Sensor Límite de Carrera Z	P14
	Botón Paro de Emergencia	P10
Salidas	Driver Motor X	P2 - X Pulso P3 - X Dirección
	Driver Motor Y	P2 - Y Pulso P3 - Y Dirección
	Driver Motor Y	P2 - Z Pulso P3 - Z Dirección
	Driver X - Y - Z	P4 - Activación de Drivers
	Tupí	P17 - Relay

Fuente: Elaboración Propia.

✓ **Driver Motor Paso**

La tarjeta interface CNC envía al driver de motor dos señales por cada eje, una de paso y otra de dirección, estas mismas que se detalla su conexión en la Tabla N° 22, así como también en el diagrama de conexión (PLANOS - diagrama de conexión)

Los drivers de motores paso necesitarán una alimentación de 24 V continuos, para lo cual se usará una fuente conmutada. A esta tarjeta se le adicionará fusibles de protección de sobrecargas y corto circuitos, debido a que los motores paso no tienen un funcionamiento continuo, sino mediante pulsos cuadrados entregados por la tarjeta Interface CNC, estas mismas accionan las bobinas del motor paso para generar el giro del motor, debido a este tipo de funcionamiento el

consumo no es constaste, para ello la selección de los fusibles será en base a la corriente consumida de los motores paso directamente.

Para el dimensionamiento de los fusibles tomaremos como referencia la corriente consumida por los motores paso y adicionándole un factor de seguridad.

Tabla N° 22  
*Datos Técnicos de Motores Paso*

Model number		Holding torque at 2-phase energization [N·m (oz·in) min.]	Rated current A/phase	Wiring resistance Ω /phase	Winding inductance mH/phase	Rotor inertia [ $\times 10^{-4}$ kg·m <sup>2</sup> (oz·in <sup>2</sup> )]	Mass (Weight) [kg (lbs)]	Motor length (L) mm (in)
Single shaft	Dual shaft							
103H7121-0140	103H7121-0110	0.39 (55.2)	1	4.8	8	0.1 (0.55)	0.47 (1.04)	41.8 (1.65)
103H7121-0440	103H7121-0410	0.39 (55.2)	2	1.25	1.9	0.1 (0.55)	0.47 (1.04)	41.8 (1.65)
103H7121-0740	103H7121-0710	0.39 (55.2)	3	0.6	0.8	0.1 (0.55)	0.47 (1.04)	41.8 (1.65)
103H7123-0140	103H7123-0110	0.83 (117.5)	1	6.7	15	0.21 (1.15)	0.65 (1.43)	53.8 (2.12)
103H7123-0440	103H7123-0410	0.83 (117.5)	2	1.6	3.8	0.21 (1.15)	0.65 (1.43)	53.8 (2.12)
103H7123-0740	103H7123-0710	0.78 (110.5)	3	0.77	1.58	0.21 (1.15)	0.65 (1.43)	53.8 (2.12)
103H7124-0140	103H7124-0110	0.98 (138.8)	1	7	14.5	0.245 (1.34)	0.8 (1.76)	63.8 (2.51)
103H7124-0440	103H7124-0410	0.98 (138.8)	2	1.7	3.1	0.245 (1.34)	0.8 (1.76)	63.8 (2.51)
103H7124-0740	103H7124-0710	0.98 (138.8)	3	0.74	1.4	0.245 (1.34)	0.8 (1.76)	63.8 (2.51)
103H7126-0140	103H7126-0110	1.27 (179.8)	1	8.6	19	0.36 (1.97)	0.98 (2.16)	75.8 (2.98)
103H7126-0440	103H7126-0410	1.27 (179.8)	2	2	4.5	0.36 (1.97)	0.98 (2.16)	75.8 (2.98)
103H7126-0740	103H7126-0710	1.27 (179.8)	3	0.9	2.2	0.36 (1.97)	0.98 (2.16)	75.8 (2.98)

Fuente: <http://uk.rs-online.com/webdocs/13f0/0900766b813f0a13.pdf>

Los 3 motores usados para los 3 ejes son de idénticos en sus especificaciones para lo cual tienen una corriente de motor paso de 3 Amp.

Cálculo de la intensidad de corriente de fusible en la alimentación de Drivers Motor:

$$Fusible = I_{motor} * 1.25$$

$$Fusible = 3.75 A$$

Se escoge un fusible (uso general) de 4 A que es el siguiente valor comercial.

Se adicionará un fusible como se ve en la Figura N° 78, sección extraída de nuestro diagrama de conexiones final (PLANOS - diagrama de conexión).

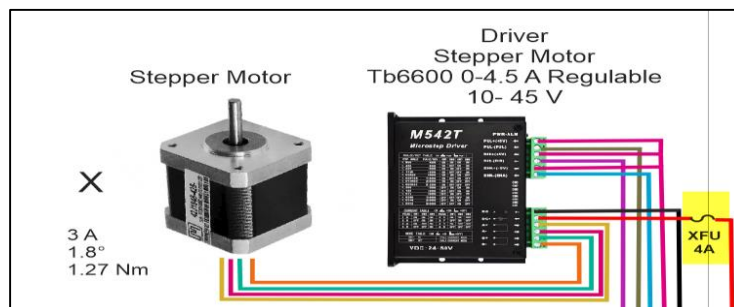


Figura N° 78. Diagrama de Conexión (Fusible de Protección).  
Fuente: Elaboración Propia.

✓ **Motor Paso**

Los motores de paso serán idénticos en sus tres ejes, cuyas especificaciones se pueden observar en la Tabla N° 22, su conexión es detallada en la Figura N° 79, tomada de nuestro diagrama de conexión final.

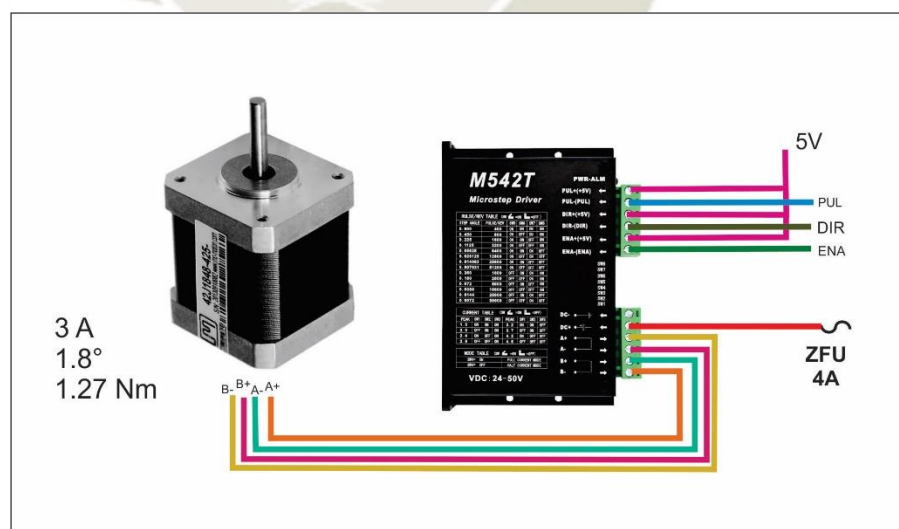


Figura N° 79. Diagrama de Conexión de Motor Paso y Driver Motor.  
Fuente: Elaboración Propia.

### ✓ **Sensores Límites de Carrera**

Los sensores límites de carrera del Router CNC, tienen como función principal la protección contra colisión entre sus partes, protegiendo así un posible fallo mecánico mediante el paro inmediato del proceso que sigue el Router CNC.

Sabiendo esto, las conexiones se realizarán en los 3 ejes que dispone nuestra máquina CNC y estas a su vez serán conectadas en nuestra tarjeta CNC Breakout Board interface que ya dispone de los puestos designados para eje (Tabla N° 21 – Figura N° 77).

### ✓ **Paro de Emergencia.**

Al igual que los sensores límites de carrera, la tarjeta CNC Breakout Board Interface tiene un puerto dedicado para su instalación como se puede observar en el los PLANOS - diagrama de conexión.

### **5.2.3. Diagrama de Potencia**

En esta sección se procederá realizando un diagrama de potencia, en la cual se hará el dimensionamiento correspondiente de los componentes que permitirán la alimentación de la máquina, el arranque de la máquina, así como la activación de los distintos componentes de la cual está compuesta y se mencionaron anteriormente.

- **Circuito de Potencia de Fuente Conmutada 24 V**

El dimensionamiento de la intensidad de corriente de la fuente conmutada será principalmente por los motores paso, los cuales tienen 3 Amp

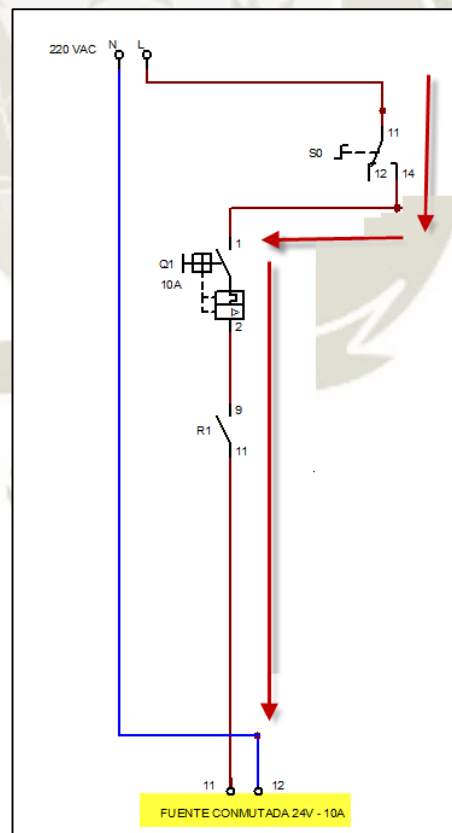
(Tabla N° 22), teniendo ese dato procederemos a hacer un cálculo para dimensionar la capacidad de corriente que deberá soportar la fuente conmutada.

$$I_{fuente\ 24V} = I_{motor\ paso} * \# \text{ motores}$$

$$I_{fuente\ 24V} = 3\ \text{Amp} * 3$$

$$I_{fuente\ 24V} = 9\ \text{Amp}$$

Debido a que los motores paso no funcionan continuamente sino por tiempos interrumpidos, no será necesario agregar un factor de seguridad para el dimensionamiento para lo cual se dispondrá de una fuente de 24 Voltios con una intensidad de corriente de 10 A (comercial).



*Figura N° 80.* Circuito de Alimentación –  
Fuente de 24 V / 10 A.  
Fuente: Elaboración propia.

Realizando el diseño con el cálculo obtenido anteriormente para el dimensionamiento de la fuente conmutada de 24V, como se puede observar en la Figura N° 80, se agregó una protección para la fuente, que consiste en un Interruptor Termomagnético (Q1 de 10 A) Unifilar, y se adicionó un selector ON/ OFF general para la activación del sistema. En la parte de parada de emergencia se puede observar en el circuito que tenemos un interruptor NA (R1) el cual es activado por una bobina de Relay que pertenece al circuito de mando que se verá más adelante.

- **Circuito de Potencia de Tupi**

Para el circuito de potencia del tupí, se hará un cálculo para dimensionar su interruptor termomagnético unifilar como se puede ver en la Figura N° 81, agregándole un factor de seguridad.

Datos de Tupí Makita:

- Potencia de 710 W
- Voltaje de Alimentación 220 V (AC)
- Corriente 3.4 Amp
- 10 000 – 30 000 RPM (Regulable)

Calculando el dimensionamiento del Termomagnético Unifilar (Q3) en base a los datos del Tupí más un factor de seguridad.

$$I_{Q3} = I_{Tupí} * FS$$

Dónde: FS es el factor de seguridad.

$$I_{Q3} = 3.4 \text{ Amp} * 1.8$$

$$I_{Q3} = 6.12 \text{ Amp}$$

Se escoge (Q3) Interruptor Termomagnético Unifilar (uso general) de 6 A que es un valor comercial.

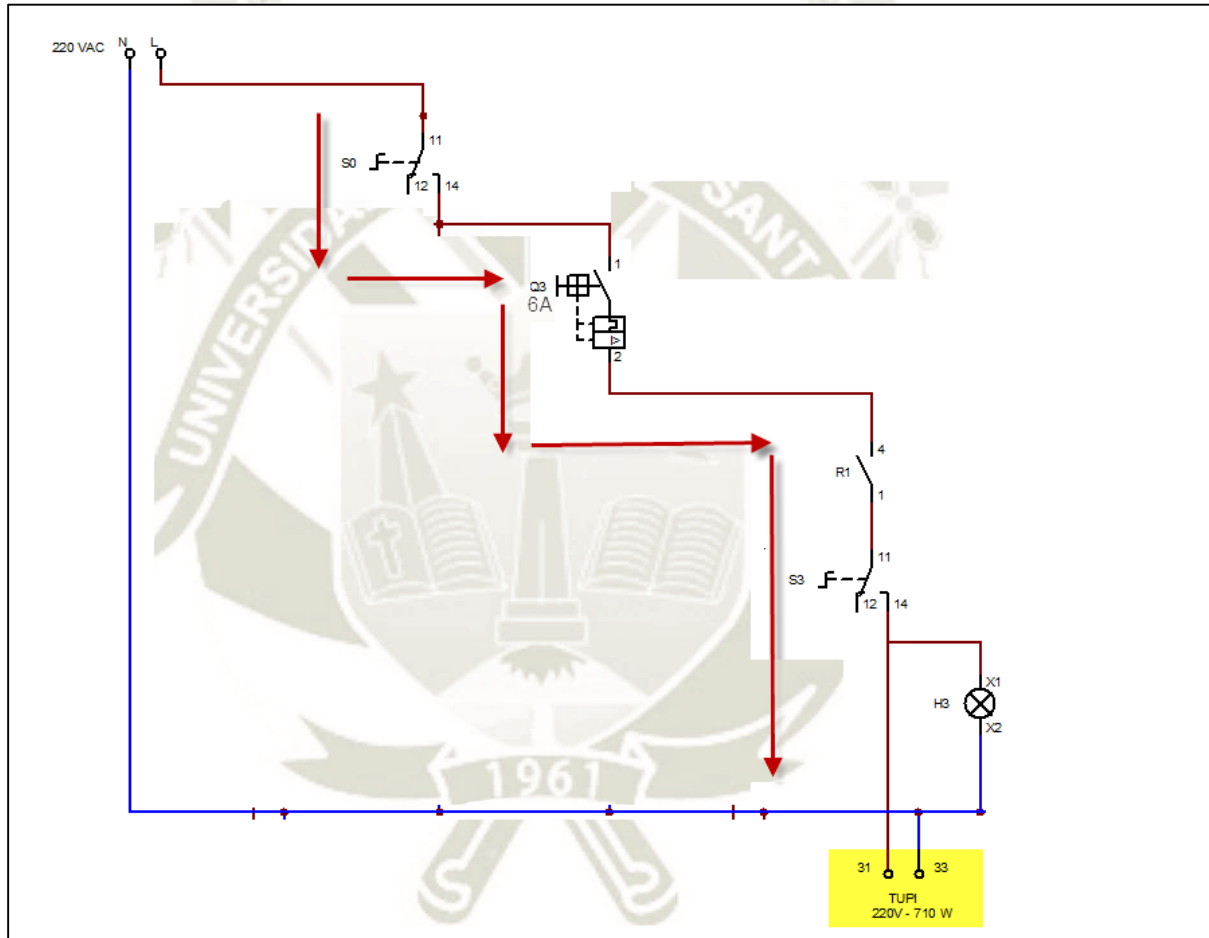


Figura N° 81. Circuito de Potencia Alimentación de Tupi.  
Fuente: Elaboración Propia.

El esquema que se muestra en la Figura N° 81 es extraída de nuestro plano general (PLANO - Sistema De Control Y Arranque) por lo que se evaluará los componentes que se adicionaron para cumplir con el requerimiento del sistema.

Todo el sistema de alimentación cuenta con un selector on/off (S0) con llave que permite activar el sistema, continuando se tiene un sistema de protección contra corto circuito y sobre carga Q3 (Interruptor Termomagnético Unifilar), ya que el sistema realiza procesos automáticos deberá tener un sistema de apagado en caso de emergencia R1 (Interruptor automático NA activada por una bobina de Relay del circuito de mando), y por ultimo S3 es otro Selector on/off que permite la desactivación del tupí para pruebas en vacío que se pueda hacer en la máquina.

- **Circuito de Mando**

En la Figura N° 82 se puede observar el circuito de mando el cual su función es el encendido del sistema de control, así como la interrupción de todo el funcionamiento mediante un botón paro de emergencia. También es el encargado de la activación de una ventiladora acondicionado en el cuadro de control donde se instalarán todos estos dispositivos, el dimensionamiento del interruptor termomagnético no procede un cálculo debido a que el consumo es mínimo, así que se instaló uno de 1 Amp (valor mínimo en el mercado) para su protección. Este plano se podrá visualizar a más detalle en el (PLANO - Sistema De Control Y Arranque).

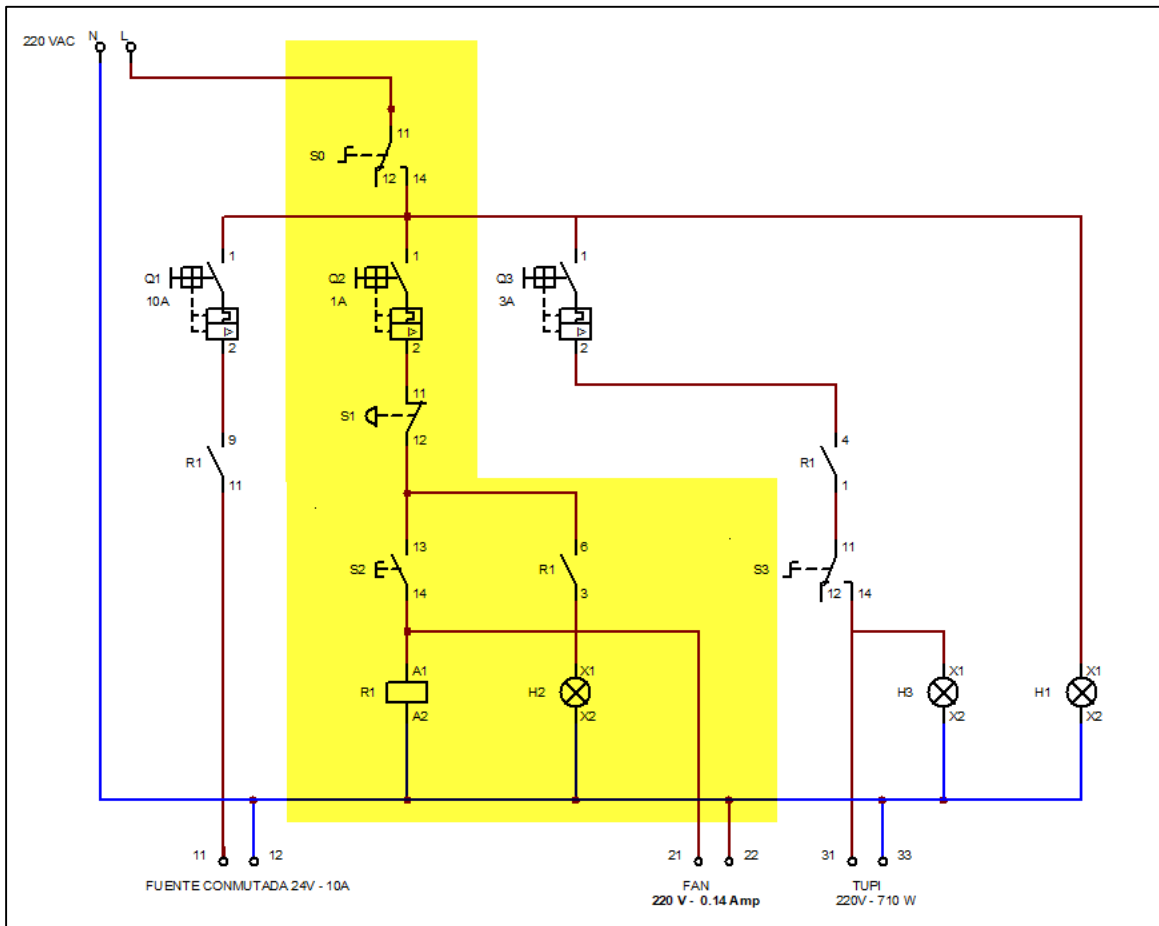


Figura N° 82. Circuito de Mando (Diagrama de Potencia) – Anexo.  
Fuente: Elaboración Propia.

## CAPITULO VI

### APLICACIÓN DEL PROGRAMA MACH3

#### 6.1. EL SOFTWARE MACH3

Como se mencionó anteriormente la Tarjeta Breakout Board Interface puede ser usada con distintos programas dentro de ellas se tiene el Mach3, Linux CNC (EMC2), etc. Para el desarrollo de nuestro proyecto se elegirá Mach3 por la basta información que se puede encontrar.

Mach 3 es un programa de computadora que permite la comunicación con los motores paso, este sistema además de ser muy complejo es muy intuitivo para su uso, este programa permite automatizar una máquina CNC, siendo este sistema uno de los controles más versátiles de la industria. Este controlador es completamente compatible con la mayoría de los sistemas CAD-CAM y máquinas en el mercado, mach3 se ejecuta de forma gratuita por un periodo limitado de tiempo como una versión de demostración (Figura N° 83).

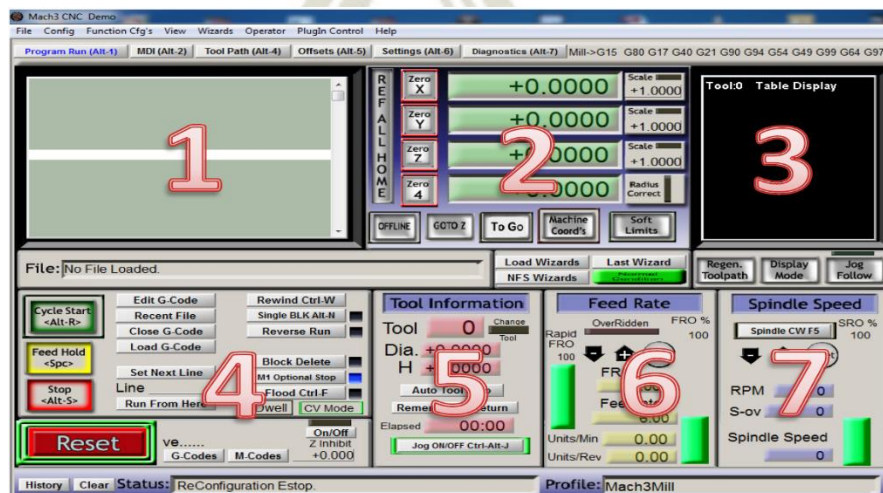


Figura N° 83. Artsoft (2017). Mach 3 program.

Fuente: [www.machsupport.com/software/mach3](http://www.machsupport.com/software/mach3)

En el punto “1”, es la ventana que muestra el código G con su respectiva barra de desplazamiento. El punto “2” corresponde al desplazamiento de los ejes X, y, Z y un cuarto eje. En el punto “3” se muestra una vista previa del trabajo a realizarse, sea en dos o tres dimensiones. En el punto “4” se muestra los botones primarios como Cycle Start, Reed Hold, Stop hasta los de modificación de código como el botón Edit G-Code, En el punto “5” se controla algunas funciones especiales como puede ser el Auto Tool Zero que mediante una sonda facilita el encontrar la altura entre el material y la herramienta. En el punto “6” se muestra todos los controles de los motores en ejes, se puede controlar tanto su velocidad, y algunas funciones extra. En el punto “7” se muestran todos los controles del Motor Spindle tanto como su velocidad, encendido y apagado, hasta es posible controlar estas funciones cuando se esté en uso.

## 6.2. CONFIGURACIÓN

Para la integración de los distintos componentes conectados en nuestra tarjeta Breakout Board Interface se requiere hacer una conexión las cuales se revisarán en esta sección.

Signal	Enabled	Step Pin#	Dir Pin#	Dir LowActi...	Step Low A...	Step Port	Dir Port
X Axis	✓	2	3	✓	✓	1	1
Y Axis	✓	4	5	✗	✓	1	1
Z Axis	✓	6	7	✗	✓	1	1
A Axis	✗	5	9	✗	✗	1	1
B Axis	✗	0	0	✗	✗	0	0
C Axis	✗	0	0	✗	✗	0	0
Spindle	✓	0	0	✗	✓	0	0

Figura N° 84. Configuración Motor Outputs.

Fuente: [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

Como podemos observar en la Figura N° 84 para nuestra la configuración usada para nuestro sistema, se debe tener en claro todos los dispositivos que necesitan una señal de salida para su funcionamiento, estos mismos que son nombrados en la pestaña de configuración de “Motor Outputs” para lo cual se debe conectar acorde a los pines designados para este mismo propósito.

En esta configuración se incluyen la habilitación de los 3 ejes (Eje X, Eje Y, Eje Z), y el control del Spindle ya que es lo que tenemos como salidas con ayuda de la Tabla N° 21.

De igual manera que para las señales de salida, para el funcionamiento de los motores y otros componentes se realizará para las entradas, en nuestro caso los sensores límites de carrera y el botón paro de emergencia, los cuales se configurarán en la pestaña (Input Signals) como se puede observar en la Figura N° 85.

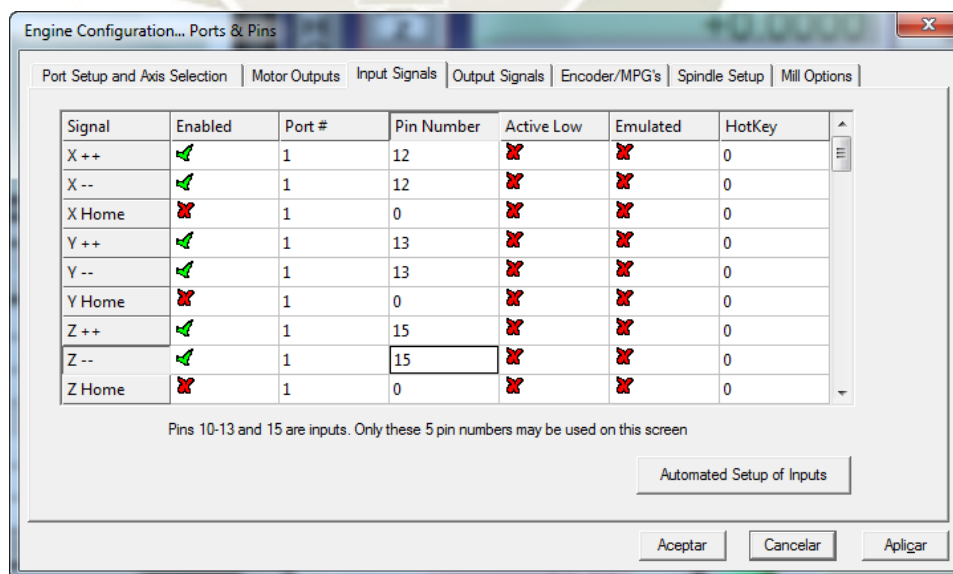


Figura N° 85. Configuración Input Signals (Mach3)  
Fuente: : [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

Otra configuración importante es para el funcionamiento de los motores, ya que se debe realizar un cálculo previo a cada uno de los ejes, esto va ligado directamente a los actuadores utilizados y sistemas mecánicos para el desplazamiento lineal que tienen los motores. Cálculo ya realizado anteriormente en el Capítulo V - Selección de Componentes – Tarjeta de Interface CNC, cálculo realizado para hallar la velocidad (Khz) de pulsos, para la selección de la tarjeta Breakout Board Interface, para lo cual solo se pasarán los cálculos a esta sección a los lugares designados (Steps per).

$$PM_x = PM_y = 55.9936 \frac{\text{pasos}}{\text{mm}}$$

$$PM_z = 1600 \frac{\text{pasos}}{\text{mm}}$$

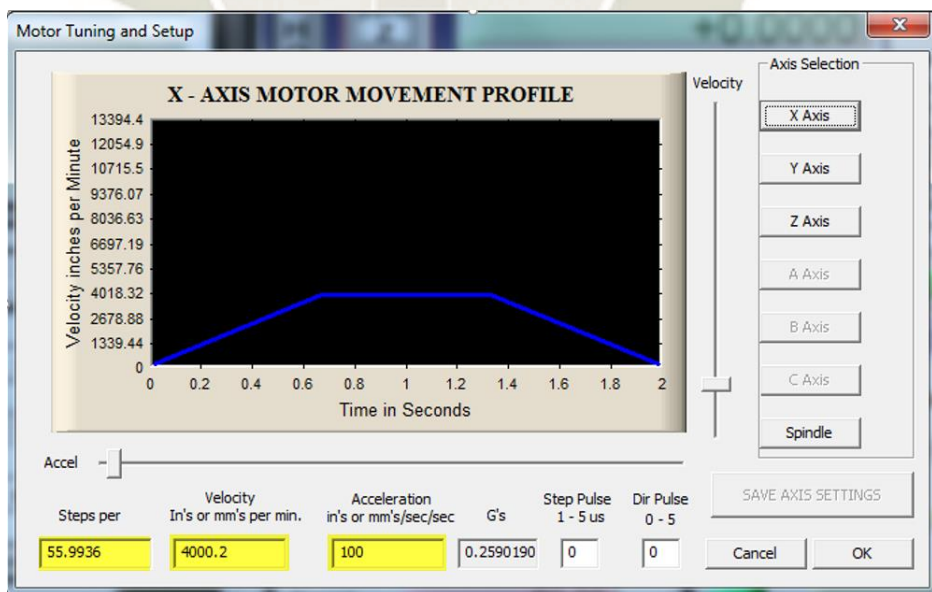


Figura N° 86. Configuración Motor Eje X.  
Fuente: [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

Como se puede observar en la Figura N° 86, en los campos modificados resaltados en amarillo, tenemos para modificar los campos de: pasos/mm (calculado), la velocidad en mm/min(asumidos), aceleración mm/sec(asumidos). Así mismo se puede ver que los valores modificados pueden ser cambiados y recalibrados con la máquina en funcionamiento, en donde dicha configuración depende de los mecanismos que usemos, reduciendo o aumentando su vibración, así como también los golpes de cambio de dirección. Para lo cual se inicia con estos valores para luego proceder a la calibración del sistema más preciso y evaluando los resultados obtenidos.

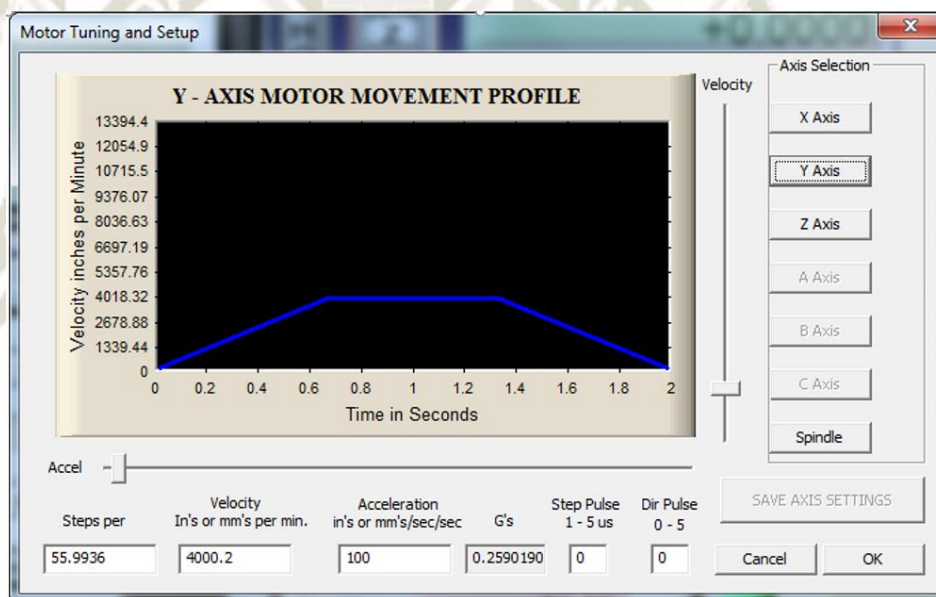


Figura N° 87. Configuración Motor Eje Y.  
Fuente: [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

Al igual que la configuración del motor X se procede de igual manera la configuración para los distintos ejes como se puede observar en las Figuras N°86 y 88, recordando que son valores iniciales que posteriormente serán modificados dependiendo de las distintas pruebas.

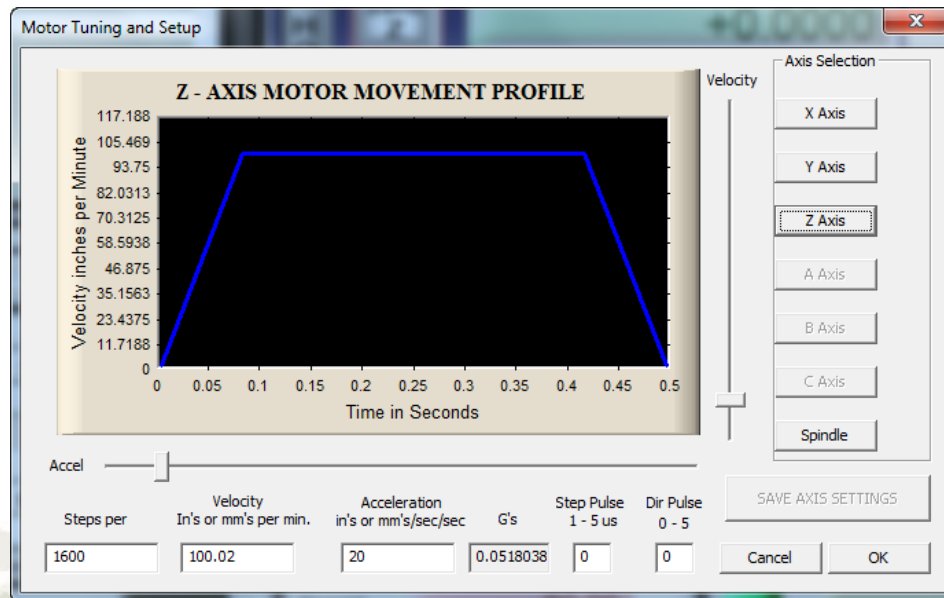


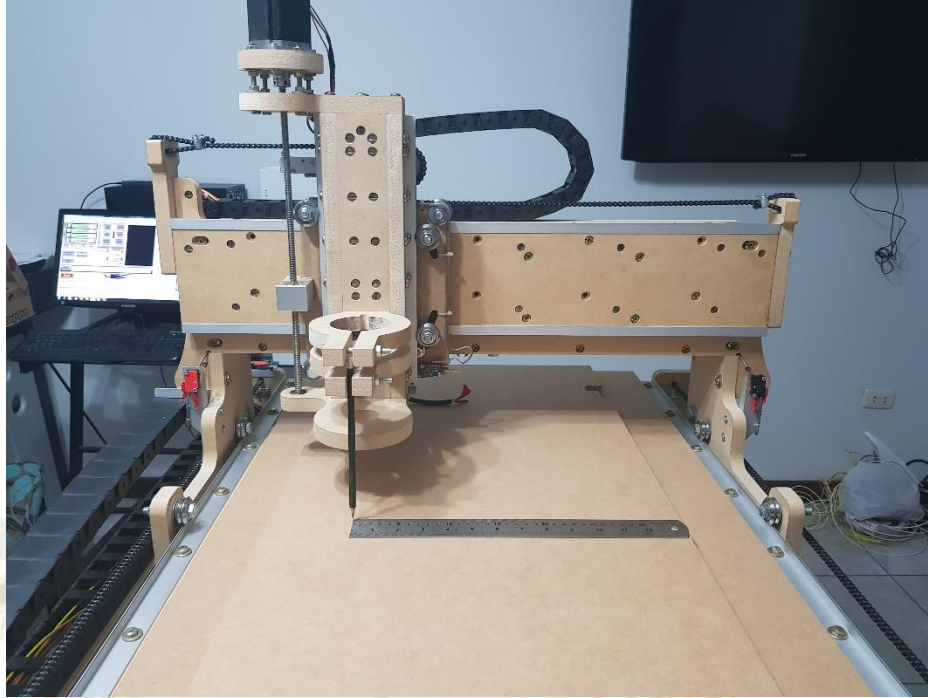
Figura N° 88. Configuración Motor Eje Z.

Fuente: : [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

### 6.3. AUTO CALIBRACIÓN

El programa Mach3 cuenta con un sistema de Auto calibración el cual mide el error en nuestra trayectoria reajustando dentro de nuestra configuración de motor los “Step per” (pasos/mm) obtenidos inicialmente por cálculo. En esta sección haremos el proceso de auto calibración y pruebas realizadas a la máquina.

Para realizar este proceso, se deberá principalmente fijar un punto de referencia para ser medio, en nuestro caso será la punta de un lápiz, ayudados con una regla metálica para ver las variaciones de exactitud que se encuentran (Figura N° 89).



*Figura N° 89. Calibración eje X (Router CNC).*  
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez posicionado la máquina en un punto de referencia, se procede con el sistema de mach3 auto calibración.

En el paso uno, debemos de posicionar como punto inicial el lugar donde se iniciará la calibración, reseteando los valores cero del mach3 al eje que calibraremos (Figura N° 90), en nuestro caso el eje Y.

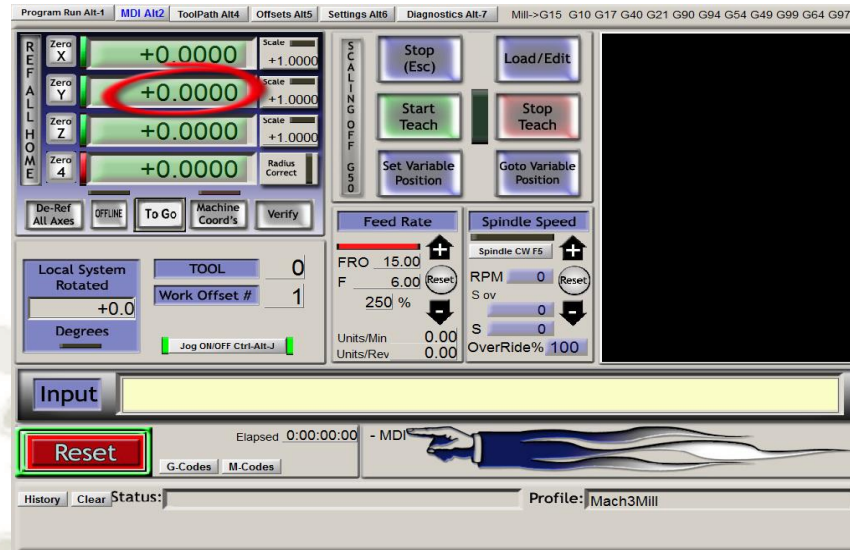


Figura N° 90. Mach3 (Posición eje Y)  
Fuente: [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

Una vez posicionado en nuestro punto de referencia cero, se procederá a la auto calibración ingresando a la opción de “Set Steps per Unit” del Mach 3 en la sección de “Settings (Alt-6)”, una vez dentro, marcamos la opción de “Y Axis” (Eje a calibrar), como se muestra en la Figura N° 91.

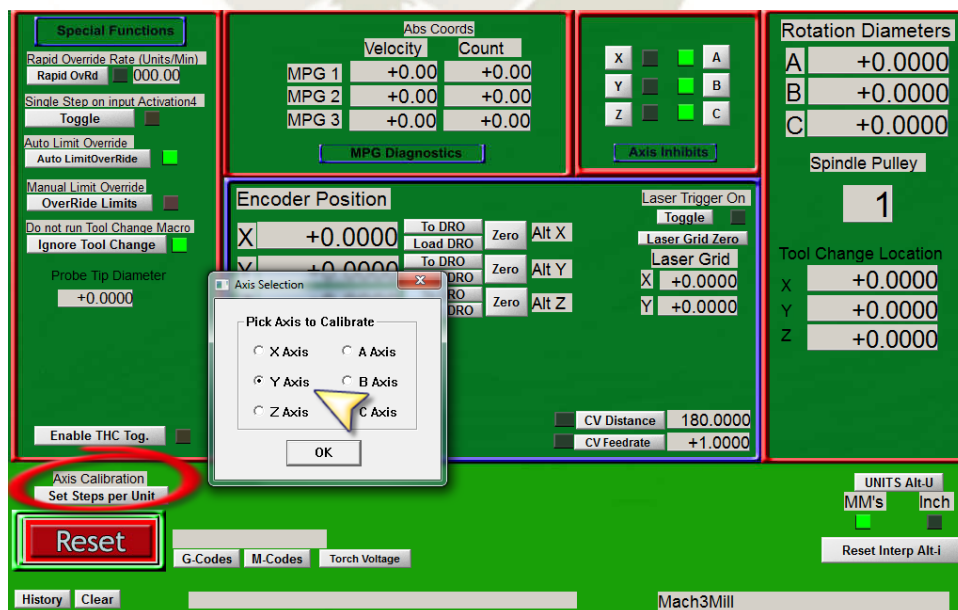


Figura N° 91. Step Steps per Unit (auto calibración)  
Fuente: [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

Prosiguiendo con el proceso nos preguntará cuanto es la distancia que queremos mover el motor Y a lo largo del Eje Y (Figura N° 92), en nuestro caso ingresaremos la cantidad de 250 mm, una vez ingresado el valor y presionado “OK”, la máquina se moverá los 250 mm marcados.

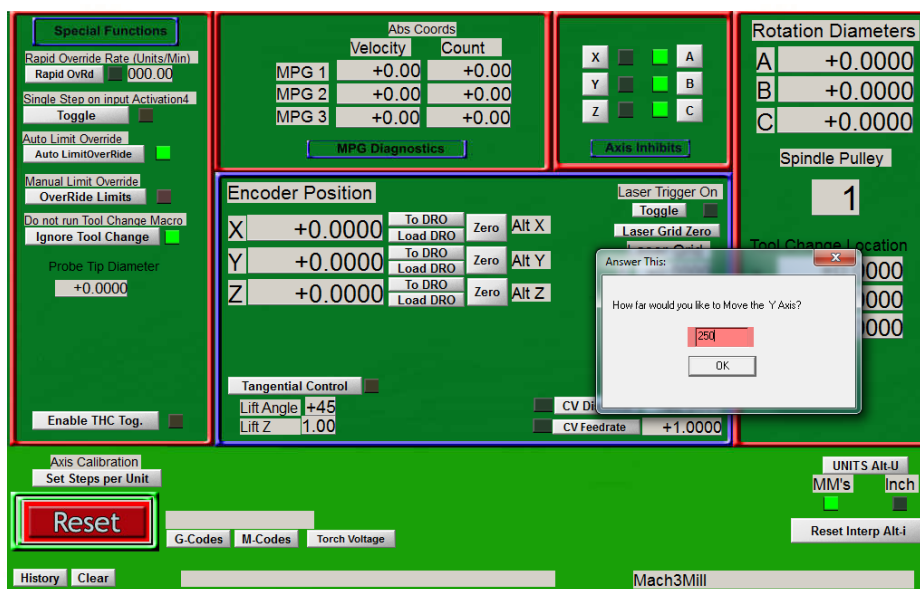


Figura N° 92. Step Steps per Unit (Desplazamiento de 250 mm).  
Fuente: [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

Luego de aceptar el ingreso de los 250 mm, se deberá comprobar cuanto fue el recorrido real de Eje en la dirección Y. En nuestro caso la posición del punto de referencia con ayuda de la regla fue la de 249 mm, una diferencia de 1 mm. Este valor visual obtenido se deberá ingresar en la siguiente pantalla donde nos piden el ingreso de la medida real (Figura N° 93).

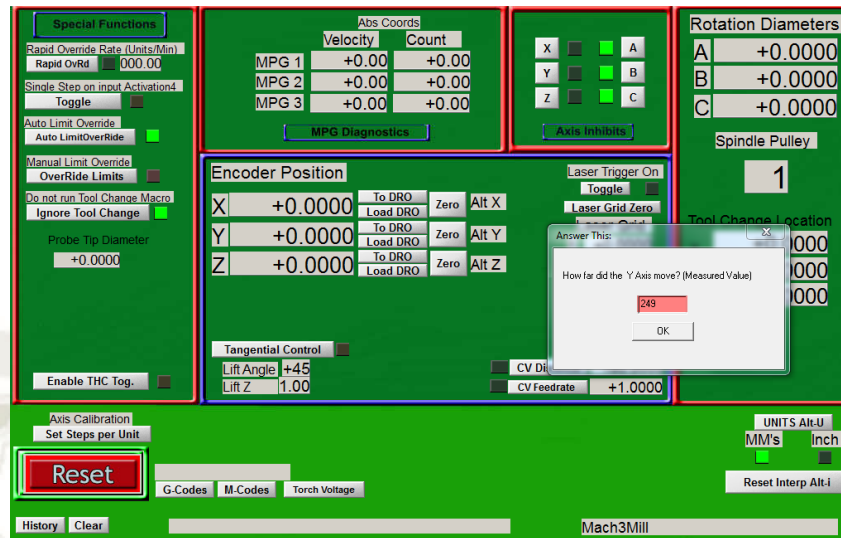


Figura N° 93. Step Steps per Unidad (Desplazamiento de 249mm).  
Fuente: : [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

Una vez ingresado el valor real que recorrió el eje a configurar, el programa de auto calibración realiza una modificación en nuestro valor “step per” ingresado antes en la configuración de nuestro motor, modificando en este caso de los 55.9936 a 56.217871, lo cual modifica y calibra el desplazamiento real (Figura N° 94).

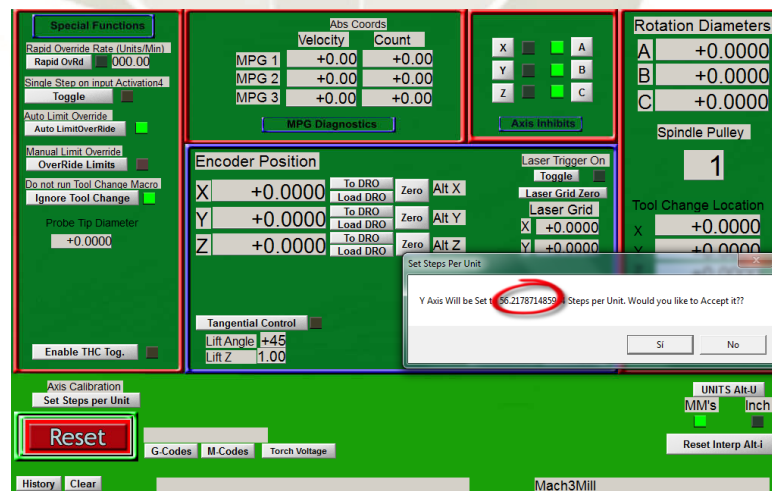


Figura N° 94. Step Steps per Unidad (Desplazamiento de 249mm).  
Fuente: [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

Este procedimiento deberá ser efectuado a los 3 ejes, para así tener una máquina calibrada.

#### 6.4. CALIBRACIÓN DE VELOCIDAD Y ACELERACIÓN

Otra calibración importante es la calibración de velocidad y aceleración, las cuales deberán ser calibradas con pruebas, ya que estas varían de acuerdo a los mecanismos que se usan para el desplazamiento de los distintos ejes. Al momento de la calibración se deberá tener en cuenta la vibración que genera, los golpes, el freno que genera la aceleración y demás.

Los valores promedio de velocidad de las máquinas en el mercado se muestran en la Tabla N° 23, estas mismas que se tomaron como referencia para el inicio de la calibración. Buscando siempre la ideal, tomando en cuenta lo mencionado anteriormente como la vibración y golpe.

Tabla N° 23  
*Velocidades de Router CNC*

ITEM	FRESADORA CNC	VELOCIDADES
1	AMAN 3040CH80	3000 mm/min
2	Bungard CCD / MTC	9000 mm/min
3	FIRM FM6090T	7000 mm/min
4	SANYOU SY-4040	5500 mm/min
5	JFT CNC6090Z-A	4000 mm/min

Fuente: Elaboración Propia.

## CAPITULO VII

### COSTOS DE DESARROLLO DEL PROYECTO

El objetivo de este capítulo es obtener el costo total tanto del diseño y la fabricación del prototipo de Router CNC. Para el cálculo de los costos del proyecto se desglosara en costos directos e indirectos.

#### 7.1 . COSTOS DIRECTOS

Consideramos como materiales, a los componentes que son de fácil adquisición en mercado nacional o internacional y que no necesitan de algún mecanizado previo para ser ensamblados en la máquina.

- Costo de Tornillería
- Costos de Elementos del Sistema de Transmisión
- Costos de componentes del Sistema Eléctrico y Electrónico
- Piezas de la Estructura del Router CNC Fabricadas en MDF
- Piezas Fabricadas en Acero, Corte y Torneado de Ejes

Tabla N° 24  
*Costo de Tornillería*

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	DOLARES	TOTAL
1	Arandela Plana biselada ANSI B 18.22.1-N 3/8"	72	0.16	11.52
2	Arandela Plana biselada ANSI B 18.22.1-W 3/8"	9	0.17	1.53
3	Tuerca Hexagonal ASME B 18.2.2 3/8 " UNC	41	0.19	7.79
4	Tornillo Hexagonal todo roscado ASME B 18.2.1 3/8" x 4.75" UNC	4	0.47	1.88
5	Tornillo Hexagonal todo roscado ASME B 18.2.1 3/8" x 3.5" UNC	4	0.34	1.38
6	Tornillo Hexagonal todo roscado ASME B 18.2.1 3/8" x 2.5" UNC	3	0.22	0.66
7	Tornillo Hexagonal todo roscado ASME B 18.2.1 3/8" x 2" UNC	11	0.19	2.06
8	Tornillo Hexagonal todo roscado ASME B 18.2.1 3/8" x 1.75" UNC	3	0.16	0.47
9	Arandela plana biselada DIN 125 A 6mm	43	0.11	4.73
10	Tuerca hexagonal DIN 934 M6 mg 5.8	55	0.12	6.60
11	Tornillo máquina - Ranura Phillips DIN 7985 M6x60 mg 5.8	21	0.19	3.94
12	Tornillo máquina - Ranura Phillips DIN 7985 M6x45 mg 5.8	8	0.17	1.38
13	Tornillo máquina - Ranura Phillips DIN 7985 M6x40 mg 5.8	135	0.16	21.09
14	Tornillo máquina - Ranura Phillips DIN 7985 M6x35 mg 5.8	26	0.14	3.66
15	Tornillo máquina - Ranura Phillips DIN 7985 M6x30 mg 5.8	10	0.13	1.25
16	Tornillo máquina - Ranura Phillips DIN 7985 M6x25 mg 5.8	6	0.11	0.66
17	Cross dowel DIN 13 M6	144	0.15	21.60
18	Arandela plana biselada DIN 125 A 4mm	12	0.03	0.38
19	Tuerca hexagonal DIN 934 M4 mg 5.8	8	0.11	0.88
20	Tornillo máquina - Ranura Phillips DIN 7985 M4x45 mg 5.8	4	0.14	0.56
21	Tornillo máquina - Ranura Phillips DIN 7985 M4x30 mg 5.8	4	0.11	0.44
22	Tornillo máquina - Ranura Phillips DIN 7985 M4x25 mg 5.8	4	0.09	0.38
23	Tornillo máquina - Ranura Phillips DIN 7985 M3x10 mg 5.8	4	0.08	0.31

**TOTAL: \$ 95.11**

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 25  
*Costos de Elementos del Sistema de Transmisión*

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	DOLARES	TOTAL
1	Tornillo de Potencia T8 / Tuerca Acme (Juego)	1	12.00	12.00
2	Sprocket 24T 04C24T #25	5	3.98	19.90
3	Sprocket 9t 04C9T #25	3	2.76	8.28
5	Rodamiento V GROOVE RM2ZZ 3/8"	16	3.77	60.32
6	Rodamiento Rígido de Bolas DIN 625 608 (8x22x7)	1	0.78	0.78
7	Rodamiento Rígido de Bolas DIN 625 6000 (10x26x8)	11	0.94	10.31
8	Carriles de deslizamiento X (Perfil L) AL 6061 - 1/2x1 (6 metros)	1	18.75	18.75
9	Cadena de Transmisión ANSI 25 (5 metros)	1	34.19	34.19
10	Acople Rígido 6.35 x 8MM	1	3.75	3.75
11	Synchro-Link STS (Neoprene) 60-S3M-144	1	4.00	4.00
12	Polea Dentada para Syncro STS 18 3M 09	2	2.00	4.00
13	Base Tuerca Acme	1	4.00	4.00

**TOTAL: \$ 276.52**

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 26  
*Costos de componentes del Sistema Eléctrico y Electrónico*

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	DOLARES	TOTAL
1	Driver Stepper Motor TB6600	3	8.00	24.00
2	Tarjeta Interface CNC Router	1	7.00	7.00
3	Switch Limit	6	1.00	6.00
4	Stepper Motor NEMA 23	3	64.30	192.90
5	Tupí - Makita RT0700C	1	180.00	180.00
6	Relay JMK3P-I AC220V 10A 11 pins	1	7.00	7.00
7	Interruptor 1 Polo 10A , NB1	1	5.00	5.00
8	Interruptor 1 Polo 6A , NB1	1	5.00	5.00
9	Interruptor 1 Polo 1A , NB1	1	5.00	5.00
10	PortaFusible 5x20 para Carril DIN 6	3	4.00	12.00
11	Fuente Conmutada de 24 V - 10 A	1	28.00	28.00
12	Conectores de Metal 4 pines, hembra y macho	8	2.50	20.00
13	Conectores RCA audio y video, hembra y macho	8	1.80	14.40
14	Manguera 2 hilos flexible de N 16 AWG	5	1.00	5.00
15	Cable flexible N 18 AWG	45	0.25	11.25
16	Interruptor paro de emergencia Z	1	2.50	2.50
17	Indicadores Luminosos 220 V	2	1.70	3.40
18	Indicadores Luminosos 24 V	1	1.75	1.75
19	Interruptor ON/OFF con llave	1	8.00	8.00
20	Interruptor ON/OFF	1	2.00	2.00
21	Boton pulsador NA	1	1.75	1.75
22	Caja de Control - Metal	1	35.00	35.00
23	Fan 220 V - 0.14 Amp	1	8.00	8.00
24	Borneras	10	0.70	7.00
			<b>TOTAL: \$</b>	<b>591.95</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Estos costos involucran todos los procesos de maquinado de los componentes, sean estructurales o elementos de máquina, para su posterior ensamble.

Las piezas que conforman toda la estructura de la máquina se describirán en esta sección, en su mayoría las piezas están fabricadas en tablero de MDF, pero para la sujeción del motor del carro X se usaron láminas de acero, la cual sujetan el motor de pasos, de igual manera la fabricación de los ejes para la transmisión del carro X. Los detalles del diseño se pueden ver en los planos mecánicos de este proyecto.

- **Corte de piezas en MDF**

La Fabricación de la mayoría de las piezas como se mencionó anteriormente son de Tablero derivado de madera en este caso MDF. En la tabla N° 26 se observa la lista de todas las piezas que forman parte de la estructura, para proceder en la fabricación se exportaron en un formato DXF las caras de cada una de las piezas desde el software SolidWorks, con todas las piezas exportadas en archivo DXF se importaron en un solo archivo en el software Corel Draw (Figura N° 94), este archivo Corel Draw como se muestra en la figura, es ordenado en la medida de nuestro tablero de 2.44 m. X 2.14m.

Tabla N° 27

*Piezas de la Estructura del Router CNC Fabricadas en MDF*

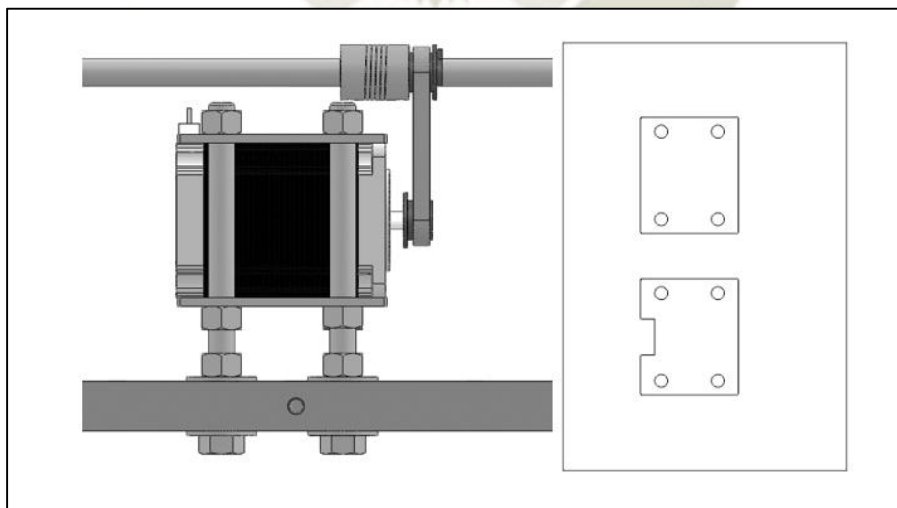
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	PRECIO
1	Regulador de altura de Cadena L MDF - 18MM	1	MDF	
2	Soporte Guía de Eje x MDF - 18MM	4	MDF	
3	Soporte Posterior de Puente MDF - 18MM	1	MDF	
4	Soporte Frontal de Puente MDF - 18MM	1	MDF	
5	Soporte Lateral de Puente MDF - 18MM	2	MDF	
6	Base de Carriles de Deslizamiento X MDF - 18MM	1	MDF	
7	Cubierta superior de puente MDF - 18MM	1	MDF	
8	Soporte inferior de puente MDF - 18MM	1	MDF	
9	Distanciador MDF - 18MM	1	MDF	
10	Soporte Motor Y MDF - 18MM	1	MDF	
11	Base Carro Deslizante Y MDF - 18MM	1	MDF	66.00
12	Base de motor MDF - 18MM	1	MDF	
13	Cubierta superior de carro MDF - 18MM	1	MDF	
14	base de carril lateral MDF - 18MM	2	MDF	
15	Base superior de carro MDF - 18MM	2	MDF	
16	Abrazadera porta herramienta MDF - 18MM	2	MDF	
17	Base inferior de carro MDF - 18MM	2	MDF	
18	Cubierta inferior de carro MDF - 18MM	1	MDF	
19	Viga de soporte MDF - 18MM	3	MDF	
20	Base de mesa MDF - 18MM	2	MDF	
21	Tablero MDF - 18MM	1	MDF	
<b>TOTAL:</b>				<b>\$ 66.00</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Las empresas de corte de tablero derivado de madera tienen un precio de corte por metro lineal, dependiendo del espesor del tablero a cortar. Para el corte de todas las piezas de la máquina, se realizó un cálculo por software obteniendo 58.91 metros lineales con un precio de USD 66.00 dólares como se observa en la Tabla N° 27, teniendo un precio de 0.28 dólares por metro lineal, como se mencionó anteriormente, el precio varía de acuerdo al espesor del tablero a ser cortado, para nuestro caso un espesor de 18 mm.

- **Corte de piezas de Acero y Fabricación de Ejes**

Al igual que el corte de MDF, existe una máquina llamada cortador de plasma que realiza cortes en planchas de acero en base a un diseño Cad. De igual manera se realizó la exportación del diseño 3D de la forma de las caras a cortar y pasadas al software de corte, el corte solo se realizó para 2 piezas como se muestra en la Figura N° 95, los detalles se pueden ver en los planos ANEXOS, estas mismas que son detalladas en la Tabla N° 28.



*Figura N° 95.* Soporte de Motor Eje X, Corte de plasma de Acero 1/8".  
Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, se fabricaron 2 ejes como se puede ver en la Figura N° 96, que permiten la transmisión de potencia del motor hacia los piñones que permiten el movimiento del carro X. la fabricación de esos ejes se hizo sobre ejes ya fabricados de longitud mayor, así asegurar la resistencia de los ejes por su material, solo trabajando la dimensión de los acoples, los detalles de fabricación están detalladas en los planos PLANOS – ROUTER CNC.

Tabla N° 28

*Piezas Fabricadas en Acero, Corte y Torneado de Ejes*

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	PRECIO
1	Soporte de Fijación Superir de Motor F-6201	1	ACERO	
2	Soporte de Fijación Inferior de Motor F-6201	1	ACERO	
3	Eje L	1	ACERO	38.00
4	Pin	1	ACERO	
5	Eje R	1	ACERO	
<b>TOTAL:</b>				<b>\$ 38.00</b>

Fuente: Elaboración Propia.

La fabricación de los ejes mencionados en la Tabla N° 28, así como también los soportes de fijación del motor, fueron fabricados por una misma empresa, para el cual los costos de ambos trabajos se detallan en dicha tabla, así como también el precio total de trabajos de corte de plasma y el torneado de ejes (Figura N° 96).

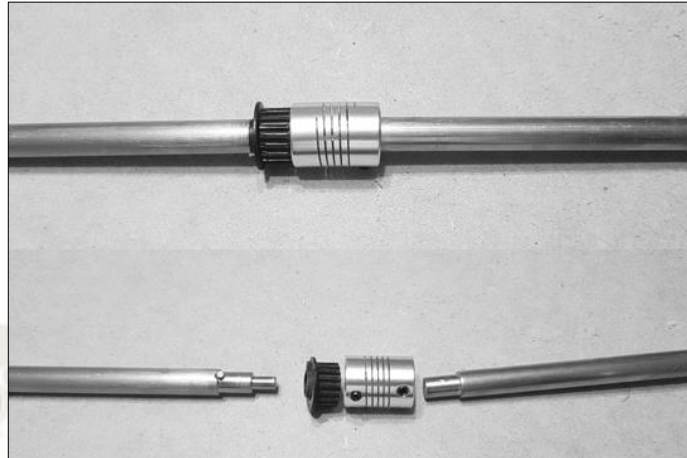


Figura N° 96. Ejes de Transmisión de Carro X (Fabricación).  
Fuente: Elaboración Propia.

## 7.2. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos refieren a los costos de mano de obra para su diseño de todos los sistemas que componen este proyecto, así como también los gastos administrativos para la compra y fabricación de cada elemento, y por último el costo de mano de obra de ensamble, montaje e instalación. Todos estos costos son referenciales ya que fueron realizados por mi persona, para lo cual estimo un precio de mercado tentativo.

Tabla N° 29  
*Costos Indirectos*

ITEM	DESCRIPCIÓN	GLOBAL	C. UNIT U\$	C. PARC. U\$
1	Diseño e Ingeniería	1.0	500	500
2	Gastos Administrativos	1.0	100	100
3	Gastos de Ensamble, Montaje e instalación	1.0	200	200
			Total:	<b>800</b>

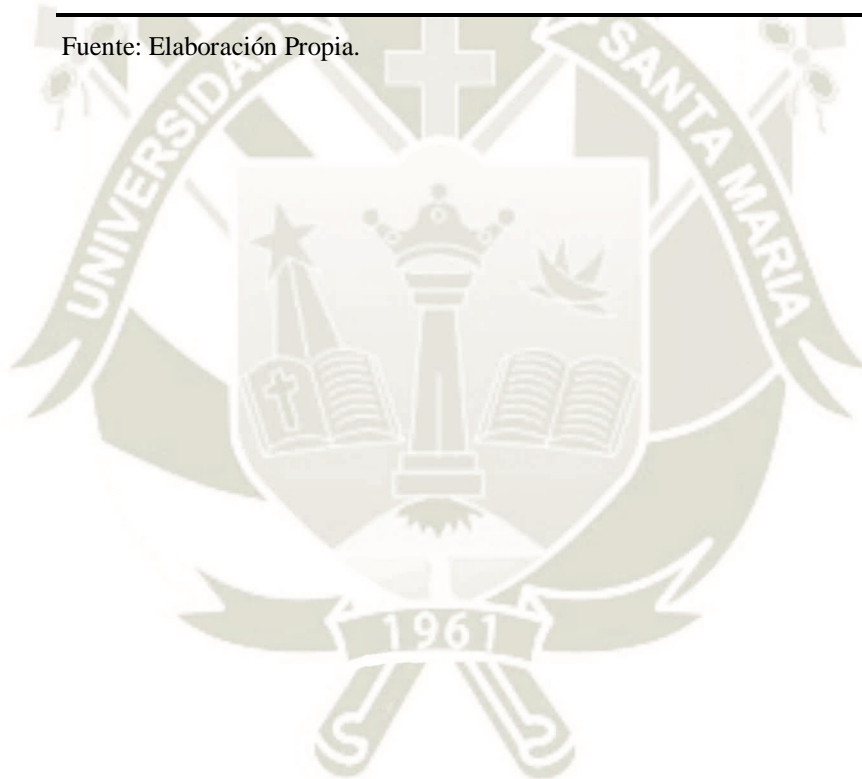
Fuente: Elaboración Propia.

### 7.3. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Tabla N° 30  
*Costo Total del Proyecto*

ITEM	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL U\$
1	Costos Directo		1067.58
	1.1 Tornillería	95.11	
	1.2 Elementos de Transmisión	276.52	
	1.3 Elementos eléctricos y Electrónicos	591.95	
	1.3 Corte CNC - MDF	66	
	1.4 Corte CNC - Acero / Torneado de Ejes	38	
2	Costos Indirectos	800	800
		<b>TOTAL</b>	<b>1867.58</b>

Fuente: Elaboración Propia.



## CAPITULO VIII

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 8.1. PRUEBAS EN VACÍO

Una vez pasado por los procesos de ensamble mecánico, instalación eléctrica y electrónica se procede a realizar las pruebas en vacío para verificar el funcionamiento correcto, antes de hacer las pruebas de corte con la materia prima. Para realizar las pruebas se usó un software CadCam especializado para trabajos en madera llamado ArtCam, en este Software tenemos la facilidad de realizar el diseño y de igual manera la transformación a código G de la trayectorias para realizar el corte mediante el software Mach3.

Se procedió realizando un diseño simple para verificar el funcionamiento de los distintos ejes, este mismo diseño que será verificado por la máquina mediante la trayectoria que dibujará con un lápiz, este método configurado como trabajo de grabado en madera en el software ArtCam como se puede observar en la Figura N° 97.

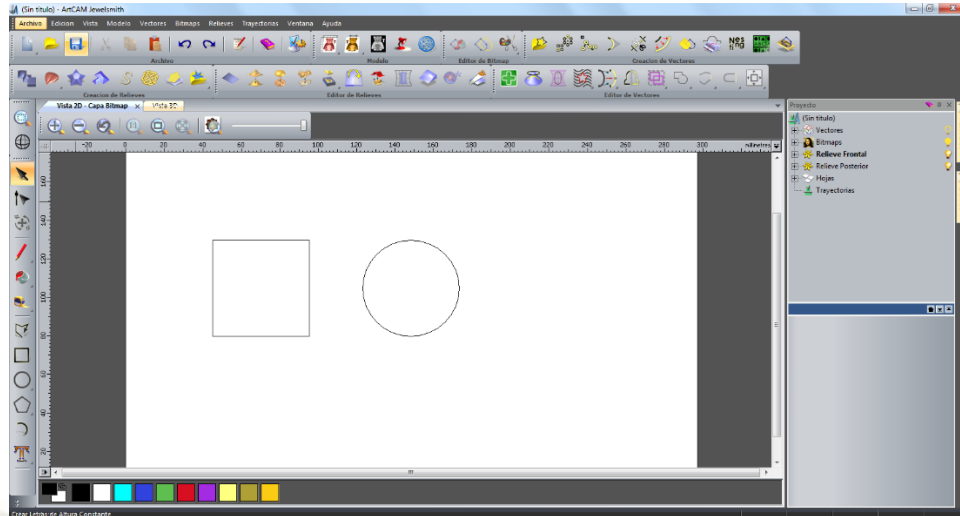


Figura N° 97. Diseño de prueba en vacío / Software de prueba ArtCam.  
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez realizado el diseño en el software ArtCam, se procedió a generar en este mismo software la transformación de las distintas trayectorias de nuestra prueba en código G, y guardándolo en formato “cnc”, formato que permite leer el archivo en el software MACH3, como se puede observar en la Figura N° 98 en donde ya podemos visualizar nuestro diseño en código G, y pre visualizar la trayectoria que seguirá la máquina en un plano tridimensional.

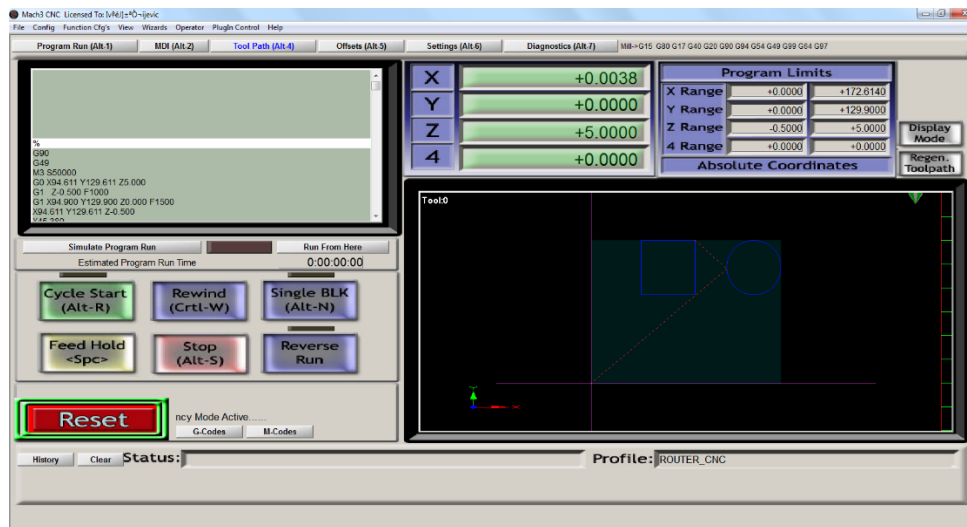
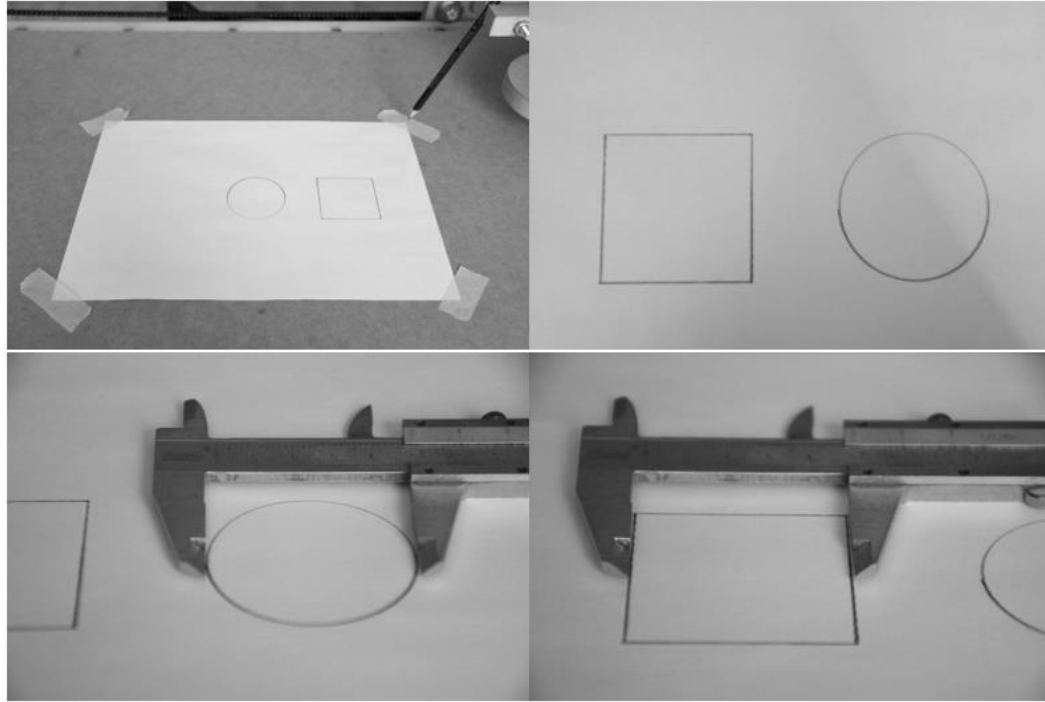


Figura N° 98. Prueba en Vacío / Software de Prueba Mach3.

Fuente: Elaboración Propia.

La realización de las pruebas en vacío, y evaluación de los resultados que se obtienen se pueden visualizar en la Figura N° 99, estas pruebas no fueron correctas desde un inicio, como se mencionó en capítulos anteriores, existe 2 tipos de calibración: la calibración mecánica y la auto calibración, mediante software para mejorar la precisión de dicha prueba se realizó la calibración a lo largo del proceso de prueba en vacío.



*Figura N° 99. Prueba en Vacío y Resultados.*  
Fuente: Elaboración Propia.

Como podemos observar en la Figura N° 99, los resultados son óptimos, y los resultados están dentro de los límites descritos en nuestra lista de exigencias de diseño, la cual era tener una precisión menor a 0.5mm, estas mismas pruebas pueden ser vistas a detalle en el ANEXO L. Con las calibraciones pertinentes se procederá a realizar las pruebas en materia prima con el mismo diseño.

## 8.2. PRUEBA CORTE DE MATERIA PRIMA

Las pruebas de corte en materia prima se realizarán de igual manera que la prueba en vacío, con la diferencia que llevará una configuración de corte para madera y los parámetros para el corte, se realizará un corte de profundidad de 6mm en una plancha de 18mm, el diseño será el mismo que el anterior (cuadrado y círculo). En esta prueba se analizará la precisión de la máquina, teniendo siempre en cuenta los parámetros

recomendados para el corte de madera como: el avance en vacío, avance con carga, paso transversal, máxima profundidad de corte, velocidad de tupí, como se puede observar en la Figura N° 100. El software ArtCam cuenta con una biblioteca de herramientas, usadas para los maquinados en madera, aluminio y acero; los parámetros de las herramientas varían en función a la dimensión de la herramienta y el material a trabajar.

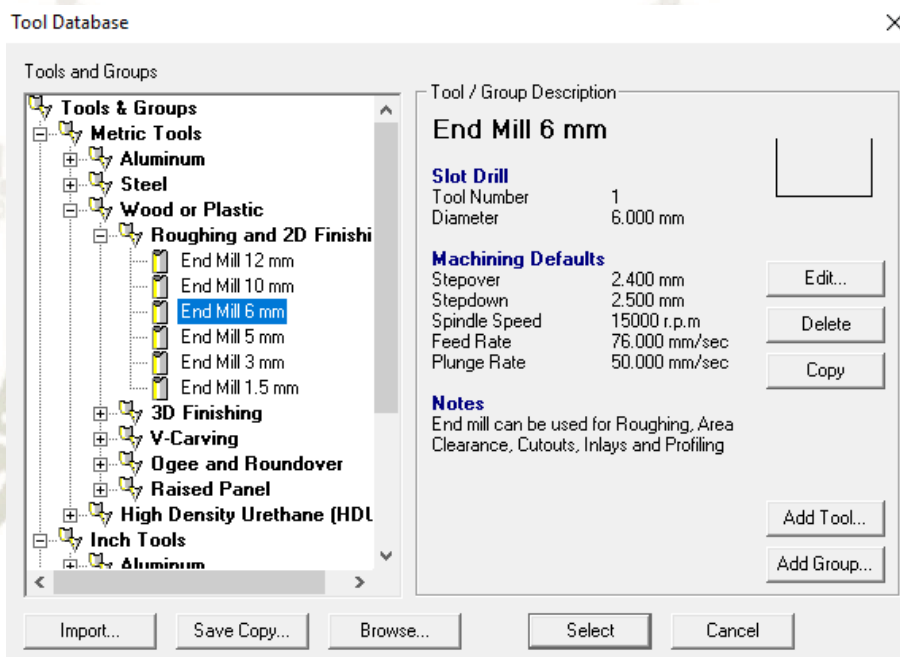


Figura N° 100. Parámetros de Corte en Base a Herramienta de Corte.  
Fuente: Software Versión de Prueba ArtCam 2008

El proceso de diseño igual que en el apruebas de vacío se realizarán en el software de prueba gratuita ArtCam, como se puede observar en la Figura N° 101, se realizó el diseño de un cuadro y círculo con las dimensiones 50mm, estos mismos fueron configurados con una herramienta de corte de 6mm, parámetro de: profundidad máxima de 2 mm, avance en vacío de 75 mm/s, avance con carga de 45 mm/sec y velocidad de

Tupí a su máxima potencia. Estos parámetros elegidos de esta manera para no forzar las configuraciones de los motores (velocidad y aceleración), dependiendo de la primera prueba se recalibrarán los motores, en caso de detectar fallas.

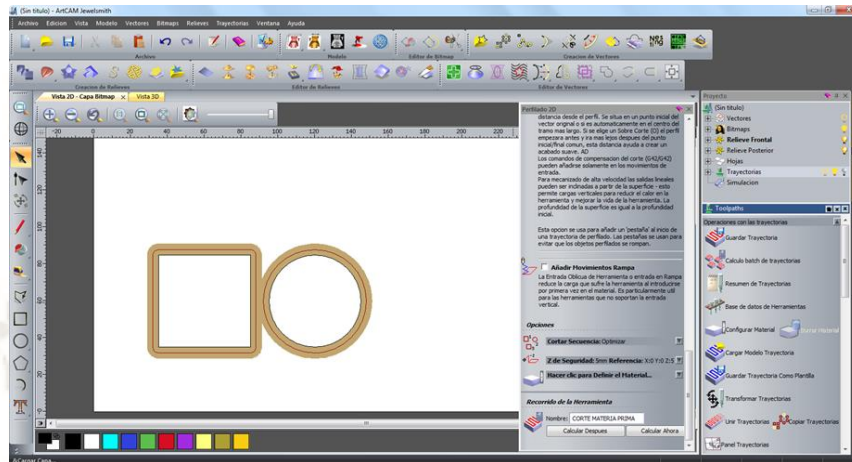


Figura N° 101. Diseño de Corte de Materia Prima (1ra Prueba).  
Fuente: Software Versión de Prueba ArtCam 2011

El software ArtCam tiene un sistema de simulación del proceso de nuestro diseño, en la Figura N° 102 podemos observar nuestro diseño en una vista tridimensional, en donde se ve el proceso y el resultado final de nuestro corte. Al igual que mucho del software de este tipo, ArtCam tiene distintas herramientas para distintos procesos, los cuales pueden ser simulados antes de proceder al corte definitivo, y corregir los distintos errores que pueden surgir en el proceso de diseño.

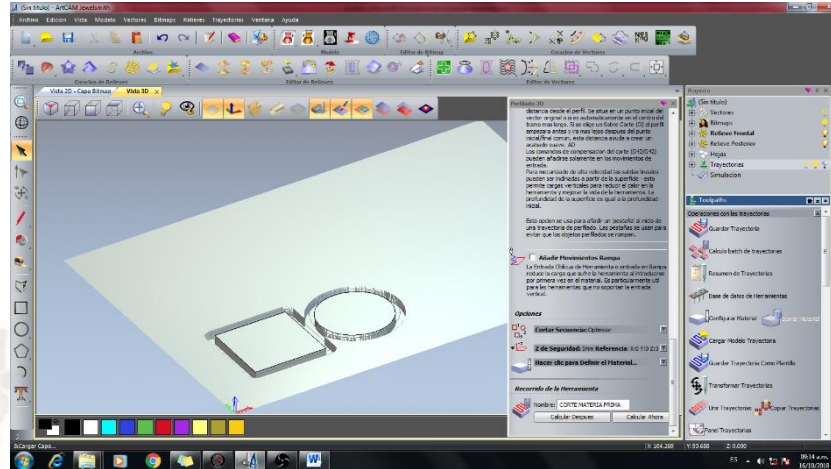


Figura N° 102. Diseño 3D de Corte de Materia Prima (1ra Prueba).  
Fuente: Software Versión de Prueba ArtCam 2011

Como proceso final de esta prueba es el corte con la máquina, en la Figura N° 103 podemos observar el proceso de corte que seguirá la máquina en el software Mach3, luego de posicionar la herramienta de corte en un punto en inicio, procede a realizar el corte siguiendo la trayectoria generada por el software Artcam, esta misma trayectoria importada en el Mach3 como código G.

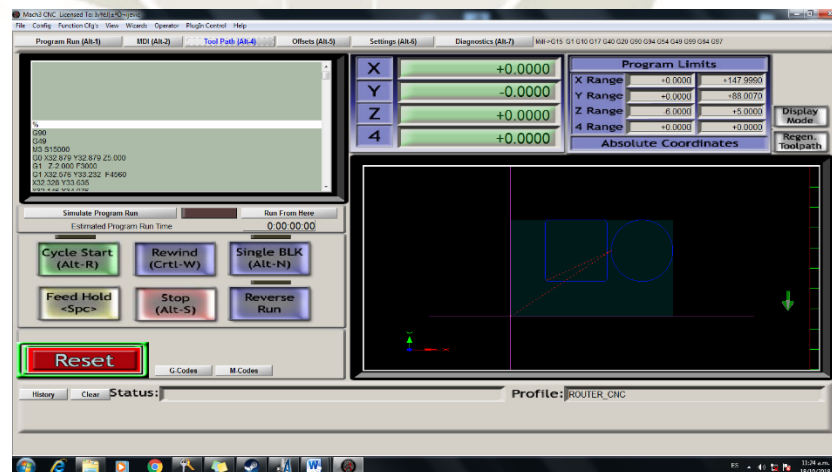
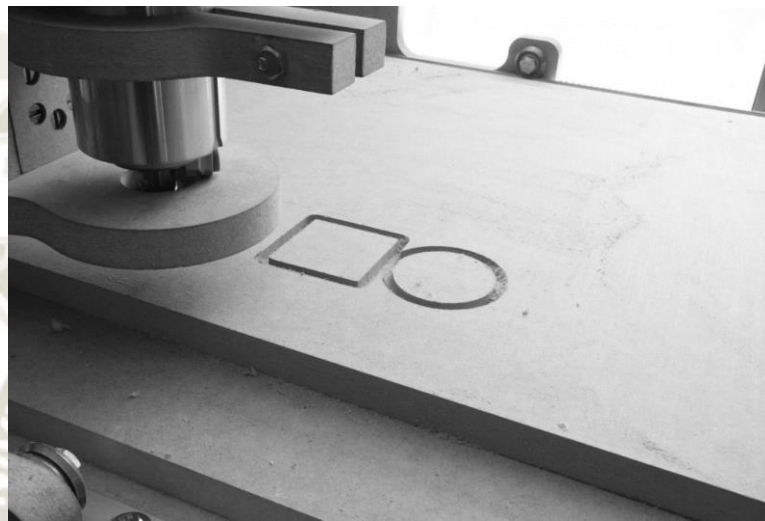


Figura N° 103. Código G de Corte de Materia Prima (1ra Prueba).  
Fuente: Software versión de prueba Mach3

Para concluir el proceso de corte, el software Mach3 ya con el Código G importado del ArtCam, sigue las trayectorias del diseño al mismo tiempo que el Router CNC

mediante su puerto de comunicación. El software Mach3 envía los parámetros de corte a los motores y herramientas de corte para realizar el proceso de maquinado.

El resultado final del proceso se puede observar en la Figura N° 104 y en el ANEXO L.



*Figura N° 104. Corte de Materia Prima.*  
Fuente: Imagen Propia

### 8.3. RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente, uno de los puntos más importantes de un router CNC, es la precisión con la que trabaja, el valor de esta precisión depende una gran parte de los materiales con los cuales se fabricó la máquina. Debido a que este diseño es un prototipo con el fin de entender el funcionamiento de un software CNC, así como su alcance y versatilidad para los maquinados en tableros derivados de madera, se verificó la precisión que logramos.

Al finalizar las pruebas del maquinado en vacío y el maquinado de un tablero de MDF, éstas se pueden revisar líneas arriba el proceso que se siguió, obteniendo los siguientes resultados (Tabla N° 31).

Tabla N° 31  
*Precisión de los Distintos Ejes de Router CNC*

	<b>Prueba en Vacío (mm)</b>	<b>Prueba de Maquinado (mm)</b>
<b>Eje X</b>	0.1	0.3
<b>Eje Y</b>	0.1	0.2
<b>Eje Z</b>	0.1	0.3

Fuente: Elaboración Propia.

Analizando los trabajos que se realizaron durante la prueba documentada y algunas pruebas posteriores a éstas, se pudo concluir con un buen acabado y una precisión aceptable de las piezas maquinadas, cumpliendo con los trabajos básicos realizados por una máquina de esta envergadura, más adelante se estudiará el desenvolvimiento para distintos trabajos, y poder ver la versatilidad de la máquina, así como un amplio conocimiento de este sistema de control y software.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó un Router CNC prototipo de 850 x 550 x 80 MM de área de trabajo, capaz de realizar los trabajos de grabado, perforado y corte de materiales derivados de la madera, con un espesor máximo de 12mm. La velocidad de corte necesaria para el corte en madera o plástico, siendo esta 50 mm/sec y velocidad en vacío de 76 mm /sec, estos parámetros recomendados por el software ARTCAM (Figura N° 100).
- La construcción del prototipo tuvo un costo total de 1867.58 USD (Tabla N° 30), este costo no es comparable con otro equipo en venta en el mercado debido a que es un prototipo, pero haciendo una comparación de tamaño, funcionamiento y capacidad al equipo más semejante tenemos el equipo FIRM FM6090T (Tabla N° 3), teniendo como resultado un costo del 70% sin considerar los gastos de importación.
- Los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos fueron seleccionados en base a la metodología de diseño VDI 2221. Construyendo una matriz morfológica permitiendonos elegir las mejores opciones para nuestro diseño. La compra de los diversor componentes, en su mayoría fueron en el mercado local. Sin embargo algunos de ellos fueron importados como las cadenas, los elementos de sujeción Cross Dowel y algunos elementos electrónicos por su bajo costo. Para los elementos de fabricación de las piezas, la manufactura de corte de MDF y acero, no se tuvo ningna dificultad.

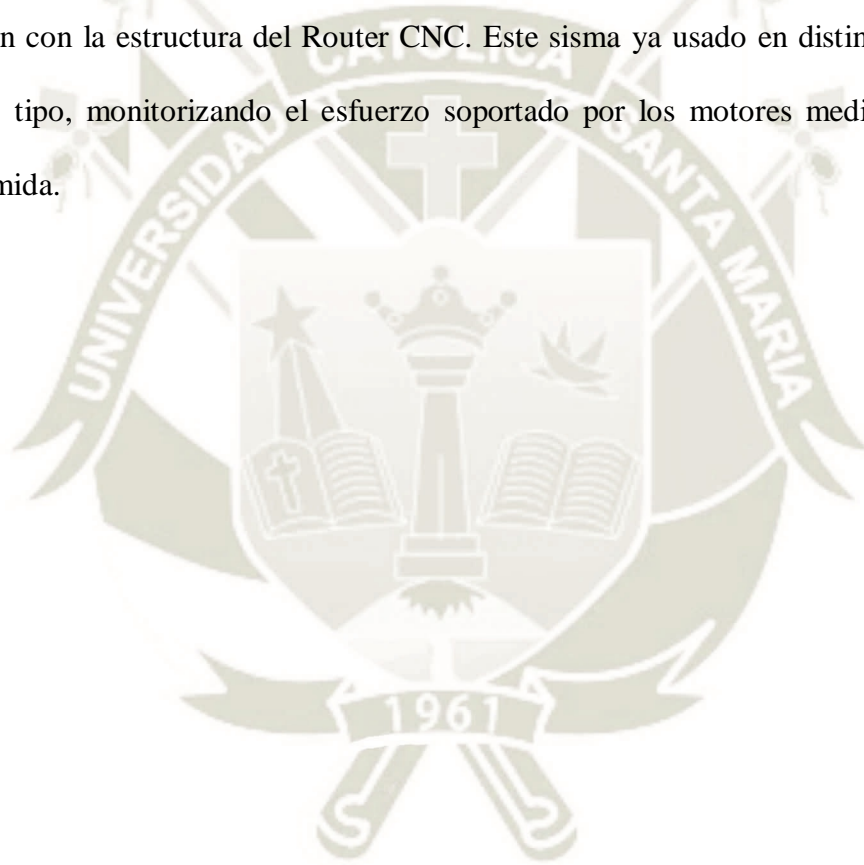
- Se diseñó un sistema de control y comunicación mediante el uso de la tarjeta 5 Axis CNC Breakout Board Interface y su propio software Mach3, como consta en el capítulo VI, con lo que se logró adaptar una interfaz flexible y de fácil acceso.
- Los ensayos realizados y cuyos resultados fueron satisfactorios constan en el capítulo VIII y el ANEXO L, El cual confirma la potencialidad de la máquina para realizar los distintos trabajos de grabado, perforado y corte con adecuada precisión y acabado.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el montaje de la maquina sea realice por una persona calificada, ya que se debe ser muy minucioso en el proceso de montaje, esto para evitar un equipo con desnivel, ejes descentrados, mala precisión, etc. Así poder conseguir una precisión buena y disminuir el tiempo en la calibración mediante software.
- Se recomienda, que la fabricación de las distintas piezas sea en equipos de corte especializados con una buena precisión, ya que hay establecimientos en donde se dedican a hacer cortes CNC de gran envergadura y sus equipos no cuentan con una precisión deseada, la cual no es buena para nuestras piezas ni para el ensamble.
- Se recomienda, dejar un margen a los sensores límites de carrera, para así la maquina tenga el rango para detenerse, esto debido a la inercia de los motores y conjuntos deslizantes del equipo.
- Se recomienda que al momento del maquinado, la materia prima sea muy bien fijada, ya que existen tableros que tienen deformaciones en la superficie por humedad, estas mismas que deberán ser detectadas antes de realizar el maquinado.
- Se recomienda verificar el área del trabajo deseado con el área de trabajo límite del Router CNC antes de realizar un trabajo, debido a que esto podría ocasionar un paro intempestivo por los sensores límites de carrera en pleno proceso de maquinado, ocasionando un reinicio dificultoso del proceso.
- Se recomienda el diseño de un sistema de extracción de partículas, debido a que este perjudica al corte y el lugar de trabajo de la máquina, por el excesivo polvo y partículas desprendidas de la materia prima maquina

- Se recomienda el acondicionamiento de un sistema de sujeción de la materia prima apropiada, de esta manera permita una estabilidad correcta al momento de realizar el corte o maquinado de cualquier trabajo en madera, teniendo en cuenta que dichos sistema de sujeción esté libre de colisión con la herramienta de corte.
- Se recomienda desarrollar o instalar un sistema de protección de sobreesfuerzo, que permita a la máquina detenerse al sobrepasar un esfuerzo determinado por mala programación o colisión con la estructura del Router CNC. Este sistema ya usado en distintas máquinas del mismo tipo, monitorizando el esfuerzo soportado por los motores mediante la corriente consumida.



## BIBLIOGRAFIA

- Vignote Peña, S. and Martínez Rojas, I. (2005). *Tecnología de la madera*. 3rd ed. Madrid: Mundi-Prensa.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2000). *Manufacturing engineering and technology*. Singapore: Pearson Education.
- Patrick Hood-Daniel, J. (2010). *Build Your Own CNC Machine*. Apress.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9a. ed.)*. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Erdman, A., & Sandor, G. (1998). *Diseño de mecanismos*. México: Prentice Hall.
- Auria Apilluelo, J., Ibanez Carabantes, P., & Ubieta Artur, P. (2008). *Dibujo industrial conjuntos y despieces*. Madrid, Espana.
- Overby, A. (2010). *CNC Machining Handbook*. New York, USA: McGraw-Hill Professional Publishing.
- Simpson, M. (2012). *Building the KRMx01 CNC*. Leesburg, Va.: Kronos Robotics.
- Hood-Daniel, P., & Jones, A. (2018). Build Your CNC - CNC, CNC Router, CNC Router Kits, CNC Machine Kits, Laser Machines, CNC Machine Tools, and CNC Cutting. Retrieved from <https://buildyourcnc.com/>
- Serrano, R. (2018). Introducción a la Metodología de Diseño Industrial. Retrieved from <http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/Metodo-t1.pdf>
- Pérez Espinoza, A. (2015). *Diseño de una cortadora láser CNC de CO2 para acrílicos y madera* (Licenciatura). Pontificia Universidad Católica Del Perú.

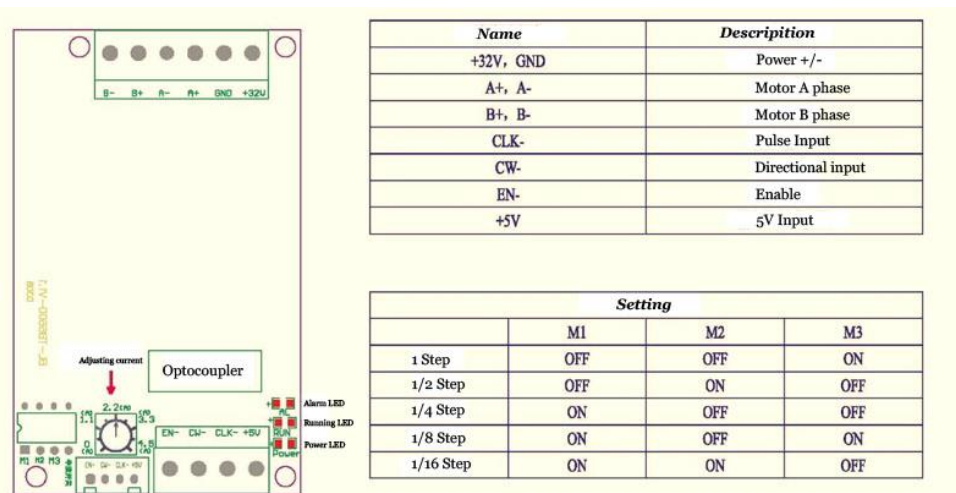
- Silva Fur, M., & Choque Condori, T. (2017). Diseño E Implementación De Un Sistema De Control Numérico Por Computadora De Una Fresadora De Madera En Tres Dimensiones (Licenciatura). Universidad Nacional Del Altiplano.
- Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste. (2018). Retrieved from [http://ing.unne.edu.ar/mecap/Apuntes/Estabilidad\\_2/Cap05-Torsion.pdf](http://ing.unne.edu.ar/mecap/Apuntes/Estabilidad_2/Cap05-Torsion.pdf)



## ANEXOS

Anexo A. Driver Stepper Motor tb6600 .....	183
Anexo B. Esfuerzo de Prueba Tornillo / Clase de Calidad .....	184
Anexo C. Perfil de Aluminio 041130 .....	185
Anexo D. Synchro – link STS (Neoprene) Timing Belt .....	186
Anexo E. Rodamiento V-Groove Guide RM2ZZ 3/8” .....	187
Anexo F. Cadena 25H – 1/04C .....	188
Anexo G. Piñón #25 .....	189
Anexo H. Masa Aproximada del Conjunto y Componentes de Router CNC .....	190
Anexo I. User Manual of 5Axis Breakout Board CNC .....	193
Anexo J. Sistema Eléctrico y Electrónico .....	205
Anexo K. Fotos Ensamble de Prototipo Router CNC .....	209
Anexo L. Pruebas de Funcionamiento Prototipo Router CNC .....	213

## Anexo A. Driver Stepper Motor tb6600



### Description:

- 1) Operating voltage DC 10V-45V. DC32V switching power supply is recommended.
- 2) High-speed optical coupling 6N137, ensure high speed without losing step.
- 3) Toshiba's new high current, high voltage TB6600HG new original chip, there are low-pressure shut-off, overheating parking and over-current protection circuit, short-circuit protection and increased compared to TB6560.
- 4) Rated maximum output reached:  $\pm 4.5A$ .
- 5) for 4.2A 42,57,86 within the two-phase / four-phase / four-wire / six-wire stepper motor.
- 6) Automatic half current function.
- 7) Subdivision: full step, half step, 1/4-step, step 1/8, 1/16-step, up to 16 segments.
- 8) Volume: Width Length 82 \* 50 \* high 35 (MM)

### Product Features:

- 1, the output current is infinitely adjustable to meet your various application requirements.
- 2, automatic half current function. And a semi-automatic flow switch, easy to use.
- 3, the use of high-speed optical coupling 6N137 ensure high-speed without losing step.
- 4, printed on the back panel are subdivided setup instructions.
- 5, used to increase the heat sink, good heat dissipation.
- 6, output short-circuit protection, the use of mind.
- 7, using common anode input mode, there are two input terminals, wiring more convenient.

## Anexo B. Esfuerzo de Prueba Tornillo / Clase de Calidad

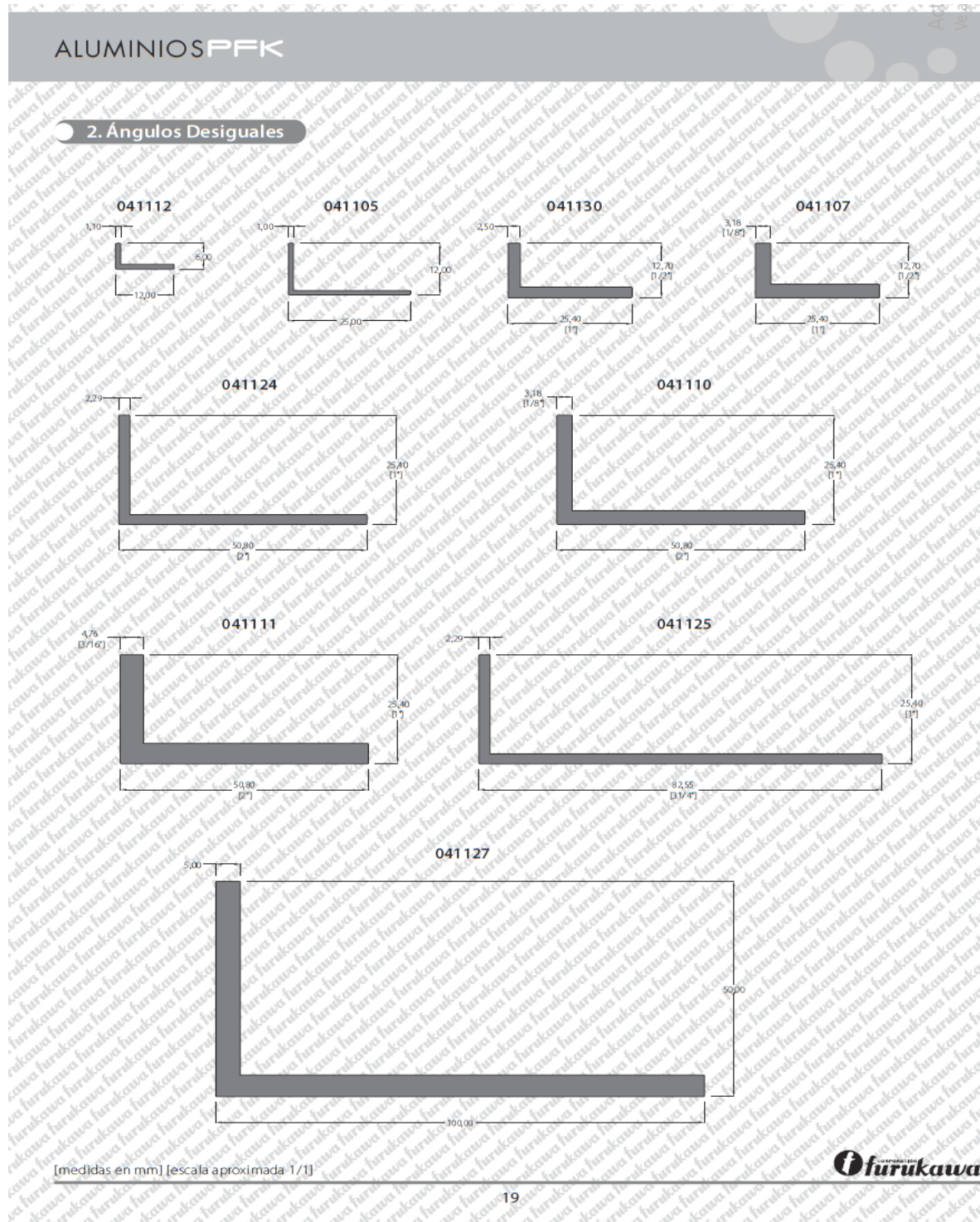
### 2.1.1 Nomenclatura de las clases de calidad.

Los símbolos de las clases de calidad consisten en dos cifras separadas por un punto; ejemplo: 10.9; con las cuales se indican las características mecánicas más importantes.

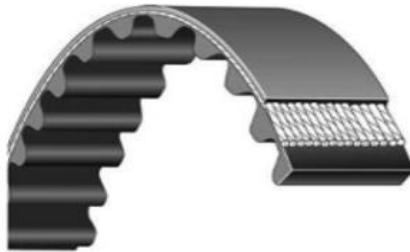
### 2.1.2 Características mecánicas de los bulones, tornillos y espárragos

Características mecánicas		Clases de calidad										
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8 <sup>1)</sup>		9.8 <sup>3)</sup>	10.9	12.9
								d < 16 mm.	d > 16 mm. <sup>2)</sup>			
Resistencia a la tracción $R_m$ <sup>4)</sup> N/mm <sup>2</sup>	nom.	300	400	400	500	500	600	800	800	900	1000	1200
	mín.	330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
Dureza Vickers HV F ≥ 98N	mín.	95	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
	máx.	250	250	250	250	250	250	320	335	360	380	435
Dureza Brinell HB F = 30 D <sup>2</sup>	mín.	90	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366
	máx.	238	238	238	238	238	238	304	318	342	361	414
Dureza Rockwell	mín.	HRB	52	67	71	79	82	89	-	-	-	-
	HRC	-	-	-	-	-	-	-	22	23	28	32
HR	máx.	HRB	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	-	-	-	-
	HRC	-	-	-	-	-	-	-	32	34	37	39
Dureza superf. HV 0,3	máx.	-	-	-	-	-	-	5)	5)	5)	5)	5)
Límite inferior de fluencia $R_{el}$ <sup>6)</sup> N/mm <sup>2</sup>	nom.	180	240	320	300	400	480	-	-	-	-	-
	mín.	190	240	340	300	420	480	-	-	-	-	-
Límite convencional de elasticidad $R_p$ 0,2 N/mm <sup>2</sup>	nom.	-	-	-	-	-	-	640	640	720	900	1080
	mín.	-	-	-	-	-	-	640	660	720	940	1100
Esfuerzo bajo carga de prueba Sp	$S_p/R_{ef}$ o $S_p/R_p$ 0,2	0,94	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88
	N/mm <sup>2</sup>	180	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970
Alargamiento después de la ruptura A5%	mín.	25	22	14	20	10	8	12	12	10	9	8
Resistencia a la tracción bajo carga de cuña	mín.	Los valores para tornillos y bulones enteros (no los espárragos) deben ser iguales a los valores mínimos de resistencia a la tracción indicados anteriormente.										
Resiliencia		-	-	-	25	-	-	30	30	25	20	15
Solidez de la cabeza		No hay rotura										
Altura mínima de la zona de rosca no descaburada, E		-	-	-	-	-	-	1/2H <sub>1</sub>	1/2H <sub>1</sub>	1/2H <sub>1</sub>	2/3H <sub>1</sub>	3/4H <sub>1</sub>
Profundidad máx. de descaburación, G		-	-	-	-	-	-	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015

### Anexo C. Perfil de Aluminio 041130



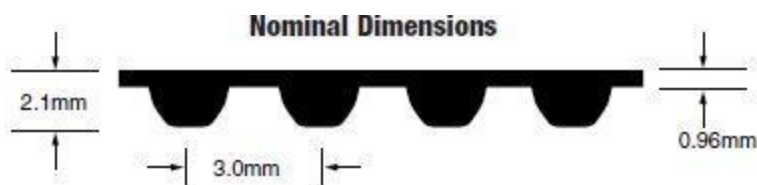
Anexo D. Synchro – link STS (Neoprene) Timing Belt



100-S3M-144 Synchro-Link  
STS (Neoprene) Timing Belt

100-S3M-144 Synchro-Link STS (Neoprene)

Manufacturer	BANDO	
BANDO Belt	100-S3M-144	
Belt Type	S3M Timing Belt	
Technical Specifications:	(Inches)	(mm)
Outside Circumference	5.67	144.00
Top Width	0.39	10.00
Belt Depth	0.08	2.11
Teeth	48	
Tooth Profile	STS	
Tooth Pitch	3 mm	
Alternative Part Number(s)	B100S3M144G	



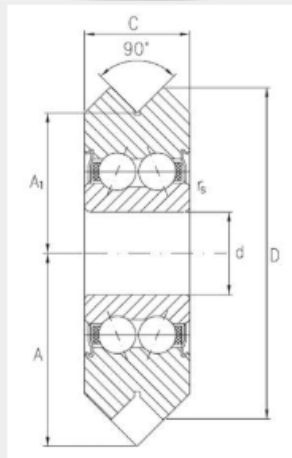
**Part Number Example**



Part number includes the width code prefix in parenthesis below. For example, a 6mm wide S3M-123 is part number 60-S3M-123.

**Anexo E. Rodamiento V-Groove Guide RM2ZZ 3/8"**

**RM2ZZ 3/8" V-Groove Guide Bearing  
One Bearing**



RM2ZZ 3/8" V Groove Guide Bearing, bearing is a Shielded

- Item: RM2ZZ Bearing
- Type: VGroove Guide Bearing
- Quantity: One bearing
- Load rating C: 8,260 N
- Load rating Co: 2,650 N
- Limiting Speed:
  - Pack#8407
  - Grease Lubrication: 6,500 RPM

Dimensions (mm)

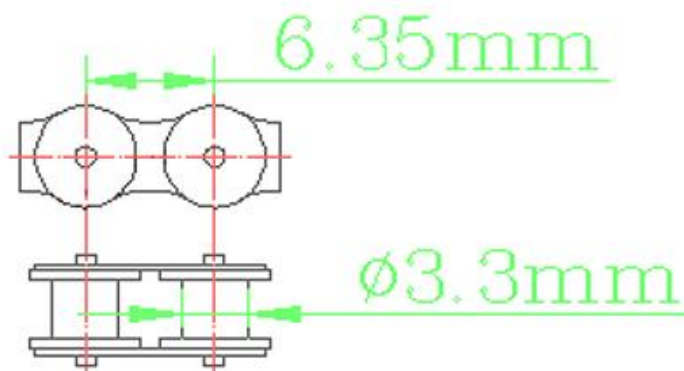
d	D	A	C	A1	rs
9.525 = 3/8"	30.73	18.24	11.1	12.7	0.3

## Anexo F. Cadena 25H – 1/04C



#25 Single Strand Roller Chain 25H-1/04C-1 Pitch 6.35mm Roller Chain x 4.7Meters
<b>Product Description</b>
<b>Specification:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Model: #25 Single Strand Roller Chain</li><li>• Pitch: 6.35mm</li><li>• Roller diameter: 3.3mm</li><li>• Pin diameter: 2.31mm</li><li>• Weight: 0.894kg</li><li>• Length: 4.7meters</li></ul>
<b>Package Including:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• #25 Single Strand Roller Chain 25H-1/04C-1 Pitch 6.35mm Roller Chain x 4.7 Meters</li></ul>

For: (04C)



## Anexo G. Piñón #25

### PIÑÓN 9 DIENTES

Product Description
<p><b>Specification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Model: 04C9T (1/4" 9 teeth) (standard)</li><li>• Material: 45 # steel</li><li>• Pitch: 6.35MM</li><li>• Tooth outer diameter: 21MM (tooth portion frequency processing)</li><li>• Stepped outer diameter: 11MM</li><li>• Step height: 12MM</li><li>• Fixing screw: 2" M5</li><li>• Tooth thickness: 3MM</li><li>• Bore: 6MM</li><li>• Total height: 15MM</li></ul> <p><b>Package Including:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Chain Drive Sprocket 9T For #25 Chain 9Tooth Pitch 6.35mm Outer Diameter 21mm x 1PCS</li></ul>

### PIÑÓN 24 DIENTES

Product Description
<p><b>Specification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Model: #25 Chain Drive Sprocket 24T (standard parts)</li><li>• Tooth: 24T</li><li>• Material: 45 # steel</li><li>• Pitch: 6.35mm</li><li>• Tooth outer diameter: 51MM</li><li>• Step outer diameter: 30MM</li><li>• Step height: 12MM</li><li>• Tooth thickness: 3MM</li><li>• Total height: 15MM</li><li>• Bore: rough machining</li></ul> <p><b>Package Including:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• #25 Chain Drive Sprocket 24T Pitch 6.35mm 04C24T Outer Dia 51mm For #25 Chain x 1Pcs</li></ul>

## Anexo H. Masa Aproximada del Conjunto y Componentes de Router CNC

### PESO DE PROTOTIPO ROUTER CNC

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO (Kg)
1	Mesa de trabajo	18.4
2	Carro eje X	11.9
3	Carro eje Y	3.2
4	Carro eje Z	5.2
Total:		38.7

En este calculo no se consideraron los pesos del cableado, ni tampoco el sistema de guía de cables.



### MESA DE TRABAJO

Marca plano	N° Piezas	Designacion y Observaciones	Norma	Material y Medidas	Volumen(mm3)	Peso (kg)	Total (kg)
	9	40 Arandela de ajuste	DIN 125 A	M6		0.0022	0.0864
	8	20 Tuerca hexagonal	DIN 934/DIN 13 (ISO 965)	M6		0.0010	0.0200
	7	20 Tornillo hexagonal rosca entera	DIN 933/DIN 13 (ISO 965)	M6x35		0.0100	0.2000
	6	47 Cross dowel	DIN 13 (ISO 965)	6M		0.0050	0.2350
	5	47 Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985/DIN 13 (ISO 965)	M6x40		0.0100	0.4700
	4	4 Carriles de deslizamiento Perfil L		AL 6061 - 1/2x1	84,414.5100	0.2195	0.8779
	3	3 Viga de soporte		MDF - 18MM	1,722,557.5000	1.2058	3.6174
	2	2 Base de mesa		MDF - 18MM	1,947,727.2100	1.3634	2.7268
	1	1 Tablero		MDF - 18MM	14,571,206.4600	10.1998	10.1998
							18.4333

Densidad del MDF 0.0007 gr/mm3

Densidad del Aluminio 0.0026 gr/mm3

### CARRO EJE X

Marca Plano	N° Pieza	Desigacion y Observaciones	Norma	Material y Medidas	Volumen(mm3)	Peso (kg)	Total (kg)
	30	40 Arandela Plana biselada	ANSI B 18.22.1-N	n3/8"		0.0100	0.4000
	29	22 Tuerca Hexagonal	ASME B 18.2.2	3/8" UNC		0.0100	0.2200
	28	4 Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 4.75" UNC		0.0800	0.3200
	27	2 Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 2.5" UNC		0.0400	0.0800
	26	8 Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 2" UNC		0.0350	0.2800
	25	33 Arandela plana biselada	DIN 125 A	n6		0.0010	0.0330
	24	9 Tuerca hexagonal	DIN 934	M6 mg 5.8		0.0022	0.0194
	23	55 Cross dowel	DIN 13	M6		0.0050	0.2750
	22	15 Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x60 mg 5.8		0.0200	0.3000
	21	8 Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x45 mg 5.8		0.0150	0.1200
	20	38 Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x40 mg 5.8		0.0100	0.3800
	19	6 Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x35 mg 5.8		0.0100	0.0600
	18	6 Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x30 mg 5.8		0.0100	0.0600
	17	6 Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x25 mg 5.8		0.0100	0.0600
	16	4 Sprocket 24T		04C24T #25	4,400.800	0.0339	0.1355
	15	1 Soporte de Fijación Superir de Motor		F-6201	19,737.560	0.1520	0.1520
	14	1 Soporte de Fijación Inferior de Motor		F-6201	20,716.820	0.1595	0.1595
	13	10 Rodamiento Riguido de bolas	DIN 625	6000 (10x26x8)		0.0200	0.2000
	12	8 Rodamiento V GROOVE		RMZZZ 3/8"		0.0350	0.2800
	11	1 Sistema de Transmision (conjunto)				-	-
11.8		1 Acople flexible		6.35 x 8MM		0.0150	0.0150
11.7		1 Stepper Motor		NEMA 23		1.0000	1.0000
11.6		1 Synchro-Link STS (Neoprene)		60-S3M-144		0.0050	0.0050
11.5		2 Polea Dentada para Syncro STS		18 3M 09		0.0100	0.0200
11.4		1 Eje L			25,285.760	0.1947	0.1947
11.3		1 Pin			26.700	0.0002	0.0002
11.2		1 Eje R			30,105.250	0.2318	0.2318
11.1		2 Sprocket 9T		04C9T	1,728.310	0.0133	0.0266
10		1 Regulador de Altura de Cadena R		MDF - 18MM	97,133.790	0.0680	0.0680
9		1 Regulador de altura de Cadena L		MDF - 18MM	93,878.040	0.0657	0.0657
8		4 Soporte Guia de Eje Y		MDF - 18MM	193,063.390	0.1351	0.5406
7		1 Soporte Posterior de Puente		MDF - 18MM	2,290,645.780	1.6035	1.6035
6		1 Soporte Frontal de Puente		MDF - 18MM	2,318,019.390	1.6226	1.6226
5		2 Soporte Lateral de Puente		MDF - 18MM	166,324.080	0.1164	0.2329
4		2 Carriles de deslizamiento X (Perfil L)		AL 6061 - 1/2x1	43,101.800	0.1121	0.2241
3		1 Base de Carriles de Deslizamiento X		MDF - 18MM	1,570,301.280	1.0992	1.0992
2		1 Cubierta superior de puente		MDF - 18MM	1,023,100.130	0.7162	0.7162
1		1 Soporte inferior de puente		MDF - 18MM	1,015,338.850	0.7107	0.7107
							<u>11.9113</u>
		Densidad del MDF		0.0007 gr/mm3			
		Densidad del Aluminio		0.0026 gr/mm3			
		Dencidad de Acero Aleado		0.0077 gr/mm3			

### CARRO EJE Y

Marca Plano	N° Pieza	Desigancion y Observaciones	Norma	Material y Medidas	Volumen(mm3)	Peso (kg)	Total (kg)
22	1	Tuerca Acme		T8		0.02	0.02
21	8	Arandela plana biselada	DIN 125 A	4mm		0.001	0.008
20	4	Tuerca hexagonal	DIN 934	M4 mg 5.8		0.002	0.008
19	4	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M3x10 mg 5.8		0.001	0.004
18	4	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M4x45 mg 5.8		0.015	0.06
17	4	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M4x25 mg 5.8		0.01	0.04
16	9	Arandela Plana biselada	ANSI B 18.22.1-W	n3/8"		0.015	0.135
15	32	Arandela Plana biselada	ANSI B 18.22.1-N	n3/8"		0.01	0.32
14	19	Tuerca Hexagonal	ASME B 18.2.2	3/8" UNC		0.01	0.19
13	4	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 3.5" UNC		0.04	0.16
12	1	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x2.5" UNC		0.035	0.035
11	3	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 2" UNC		0.035	0.105
10	3	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 1.75" UNC		0.02	0.06
9	1	Stepper Motor		NENA 23		1	1
8	1	Base Tuerca Acme				0.06421	0.06421
7	1	Rodamiento Rigido de Bolas	DIN 625	6000 (10x26x8)		0.0200	0.02
6	8	Rodamiento V GROOVE		RM2ZZ 3/8"		0.0350	0.28
5	1	Sprocket 24T		04C24T #25	4,400.800	0.033886	0.033886
4	1	Sprocket 9t		04C9T #25	1,728.310	0.013308	0.013308
3	1	Distanciador		MDF - 18MM	19727.65	0.013809	0.013809
2	1	Soporte Motor Y		MDF - 18MM	97142.46	0.068	0.068
1	1	Base Carro Deslizante Y		MDF - 18MM	767539.48	0.537278	0.537278
						TOTAL	3.175491

Densidad del MDF 0.0007 gr/mm3  
 Densidad del Aluminio 0.0026 gr/mm3  
 Densidad de Acero Aleado 0.0077 gr/mm3

### CARRO EJE Z

Marca plano	N° Piezas	Desigancion y Observaciones	Norma	Material y Medidas	Volumen(mm3)	Peso (kg)	Total (kg)
20	1	Tornillo de potencia		T8		0.0890	0.0890
19	4	Arandela plana biselada	DIN 125 A	4		0.0010	0.0040
18	4	Tuerca hexagonal	DIN 934	M4 mg 5.8		0.0020	0.0080
17	4	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M4x30 mg 5.8		0.0100	0.0400
16	42	Cross dowel	DIN 13	M6		0.0050	0.2100
15	10	Arandela plana biselada	DIN 125 A	n6		0.0020	0.0200
14	14	Tuerca hexagonal	DIN 934	M6 mg 5.8		0.0030	0.0420
13	42	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x40 mg 5.8		0.0100	0.4200
12	6	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x60 mg 5.8		0.0200	0.1200
11	2	Carriles de deslizamiento (Perfil L)	41130	AL 6061 - 1/2 x1"	22,088.8900	0.0574	0.1149
10	1	Motor Nema 23				1.0000	1.0000
9	1	Rodamiento Rigido de Bolas	DIN 625	608 (8x22x7)		0.0100	0.0100
8	1	Acople flexible		6.35 x 8MM		0.0150	0.0150
7	1	base de motor		MDF - 18MM	82,293.7800	0.0576	0.0576
6	1	Cubierta superior de carro		MDF - 18MM	173,043.9900	0.1211	0.1211
5	2	base de carril lateral		MDF - 18MM	237,087.9500	0.1660	0.3319
4	2	Base superior de carro		MDF - 18MM	190,561.1100	0.1334	0.2668
3	2	Abrazadera porta herramienta		MDF - 18MM	179,773.3600	0.1258	0.2517
2	2	Base inferior de carro		MDF - 18MM	49,210.3300	0.0344	0.0689
1	1	Cubierta inferior de carro		MDF - 18MM	274,004.3000	0.1918	0.1918
						sub total	3.3827
1	1	Tupi (Router)					1.77
						Total	5.1527

Densidad del MDF 0.0007 gr/mm3  
 Densidad del Aluminio 0.0026 gr/mm3

## Anexo I. User Manual of 5Axis Breakout Board CNC

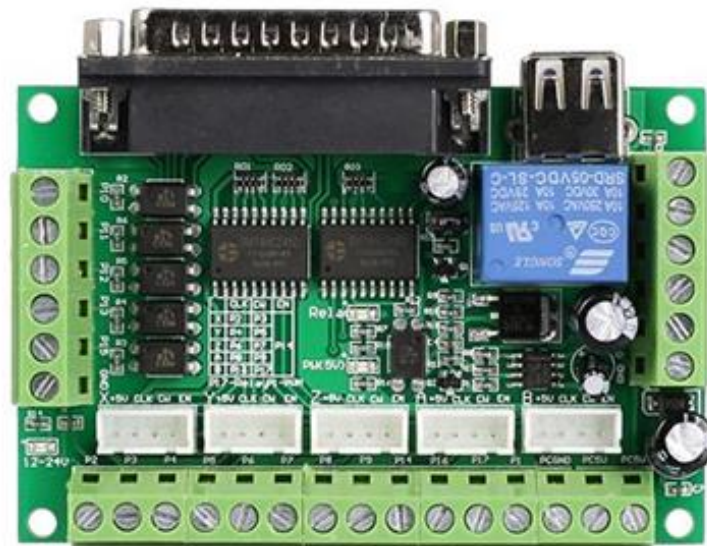
5 Axis Breakout Board Interface Adapter

ECG-SAVEBASE

EMAIL:EBAY@SAVEBASE.COM

WEB: HTTP://STORES.EBAY.CO.UK/SAVEBASE

# User Manual of 5Axis Breakout Board



## **ECG Safety Statement**

Easy Commercial Global is not liable or responsible for any accidents, injuries, equipment damage, property damage, loss of money or loss of time resulting from improper use of electrical or mechanical or software products sold on this website or other Easy Commercial Global sales resources.

Since Easy Commercial Global basically provide OEM machine builders components to build their machines for their own use or third party use it is their responsibility to maintain certify and comply the end user products built base on out components sold on this website or other Easy Commercial Global sales resources.

Assembling electrical CNC machine component like power supplies, motors, drivers or other electrical components involve dealing with high voltage like AC alternative current or DC direct current which is extremely dangerous and need high attention & essential experience and knowledge of software, electricity, electro-mechanics or mechanics.

For technical question please contact us at [ebay@savebase.com](mailto:ebay@savebase.com) before purchase.

**2011 Easy Commercial Global Technology Corporation  
Limited All Rights Reserved**

## Contents

1	Introduction and Features .....	1
1.1	Introduction .....	1
1.2	Features .....	1
2	Specifications .....	1
3	Interfaces .....	2
4	Wiring Diagram for Reference .....	3
5	MACH3 Software Settings .....	3



## 1 Introduction and Features

### 1.1 Introduction

The latest upgraded 5 axis breakout board is specially designed for the CNC single axis 2-phase stepper driver controller, such as M542, M542H, MA860H, 2M542, 2M982, DM542(A), DM860(A) etc. single axis stepper driver controller series. With this 5 axis breakout board, any 1-5 single axis stepper driver controllers can be directly controlled by the PC via the MACH3, EMC2, KCAM4, etc.

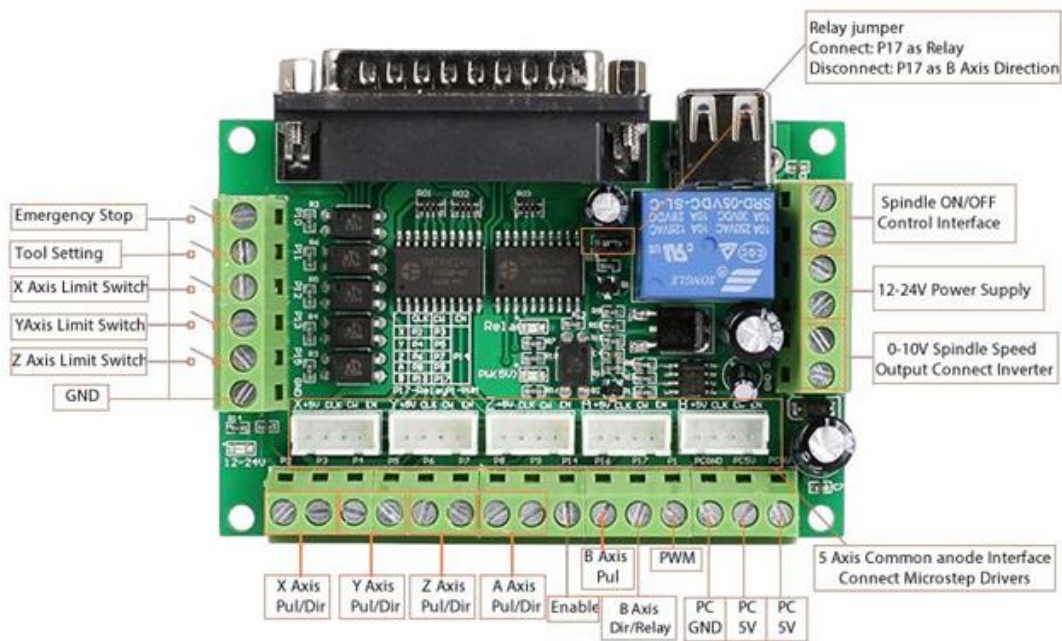
### 1.2 Features

- Maximum support 5-axis stepper motor driver controllers
- Compatible with MACH3, Linux CNC (EMC2) etc. parallel-control CNC software.
- USB power supply and peripherals powered phase are separated to protect computer security.
- All the signals are opto-isolated which can protect your computer security.
- 5-input interface to define the Limit, Emergence-Stop, Cutter alignment, etc.
- Wide input voltage range: 12-24V, and with anti-reverse function.
- One relay output control interface, accessed by the spindle motor or the air pump, water pump, etc.
- Output 0-10V analog voltage for inverter to control the spindle speed.

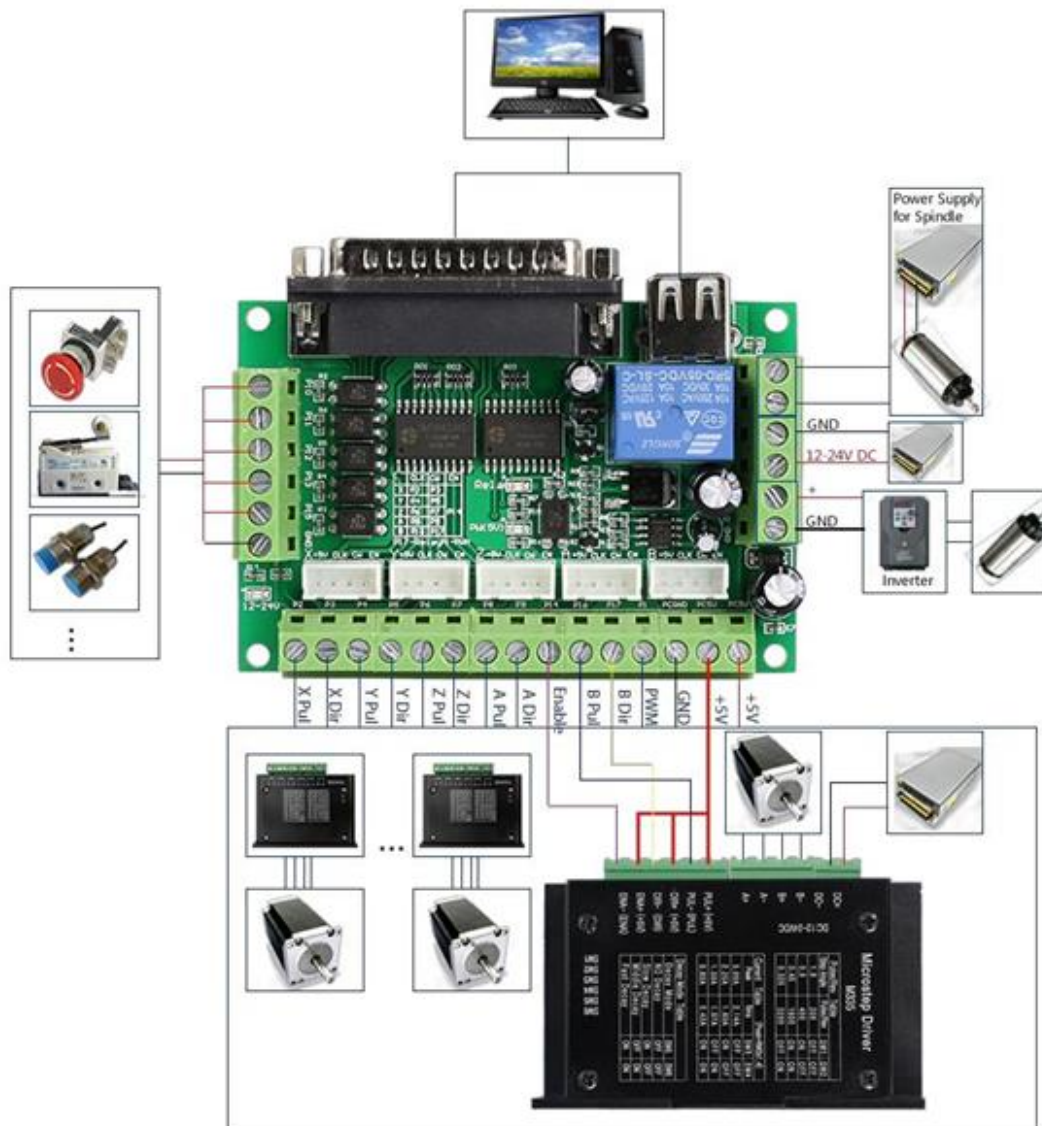
## 2 Specifications

Electrical properties (ambient temperature $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ )	
Input Power	USB port to directly get power from PC and 12-24V power supply(optional)
Compatible Stepper Motor Driver	Max 5 2-phase Microstep controllers
Driver type	Pulse and Direction signal control
Net/Total Weight	Approx 75g
Dimensions	90 * 70 * 20mm (L*W*H)

### 3 Interfaces



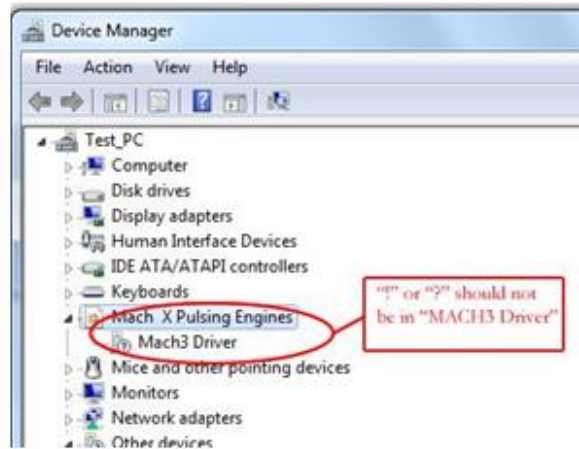
## 4 Wiring Diagram for Reference



## 5 MACH3 Software Settings

**Note:** The settings on MACH3 below is in condition that breakout board and stepper drivers are connected in common anode.

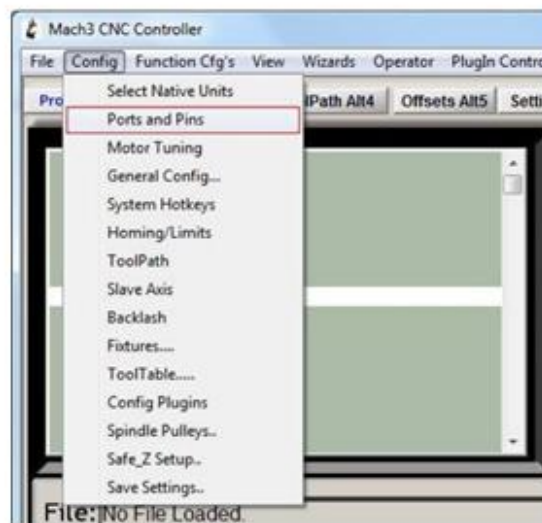
1. Check whether the MACH3 driver is installed correctly.



2. Setup Units: Choose “MM’s” in **Config->Set Default Units for Setup**



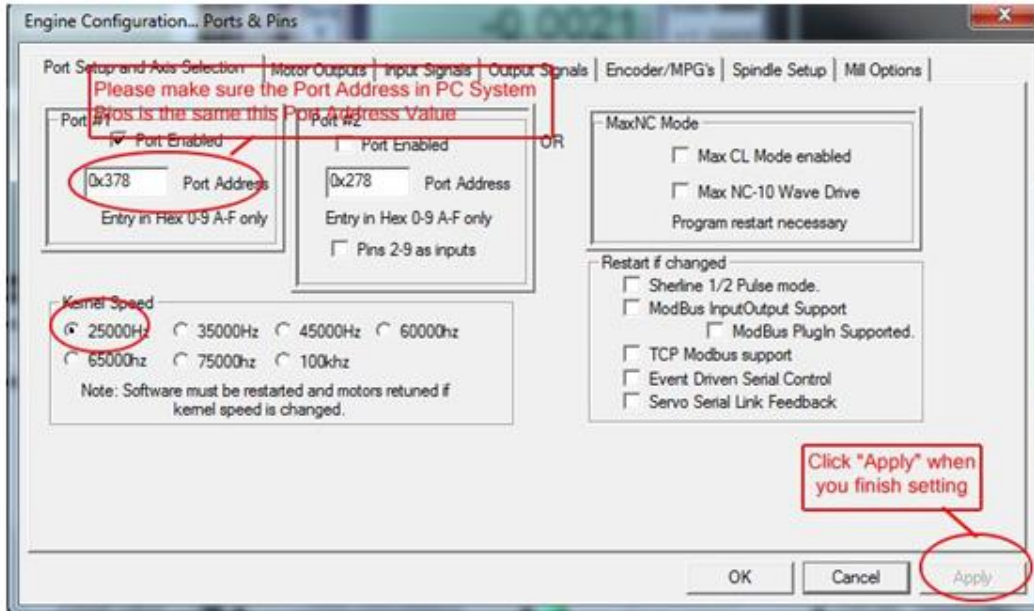
3. Click “**Config**”->”**Ports and Pins**” on Main Interface.



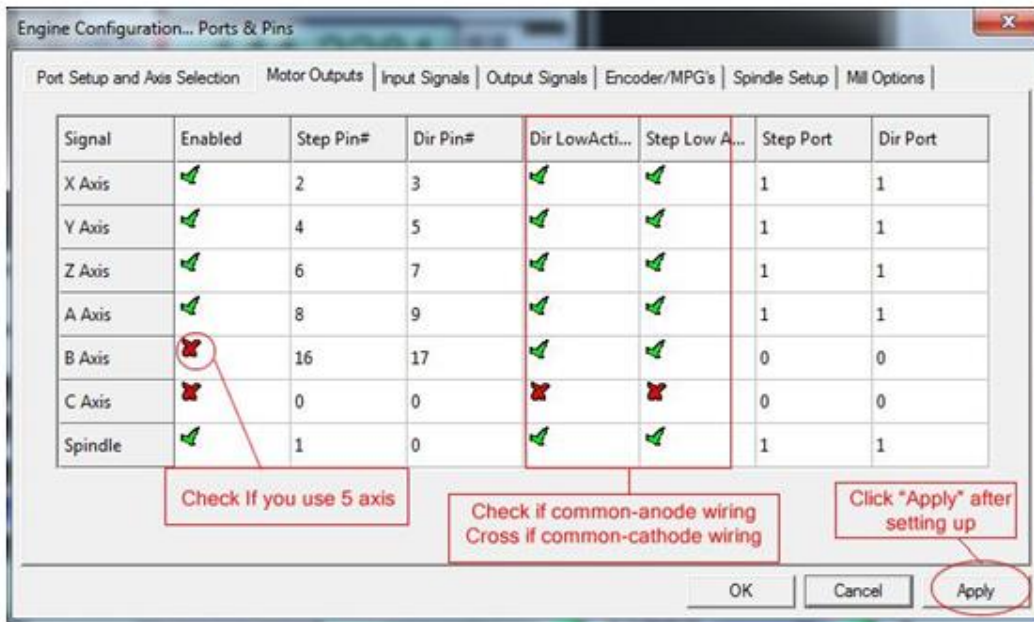
5 Axis Breakout Board Interface Adapter

ECG--SAVEBASE

4. Enter in “**Port Setup and Axis Selection**” to set “**Port#1**” and “**Kernel Speed**” shown as below.



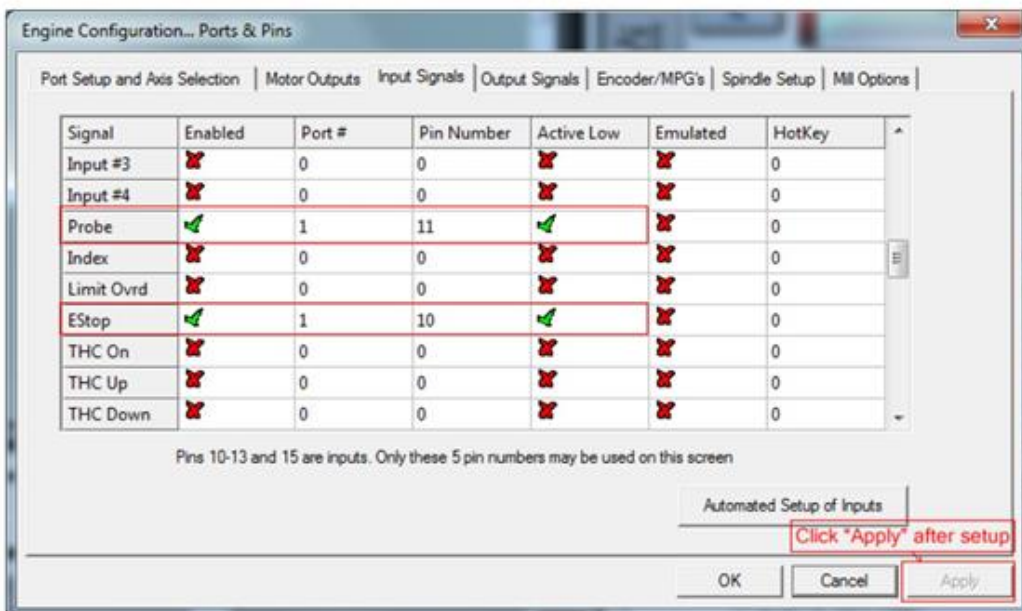
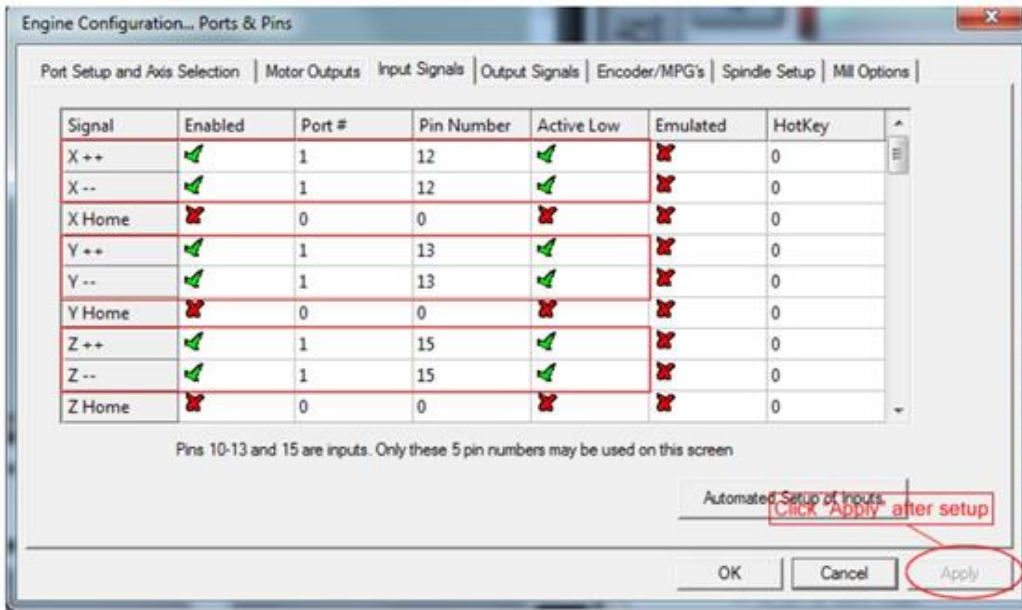
5. Click “**Motor Outputs**” to set it shown as below.



6. Click “**Input Signals**” to set it shown as below.

5 Axis Breakout Board Interface Adapter

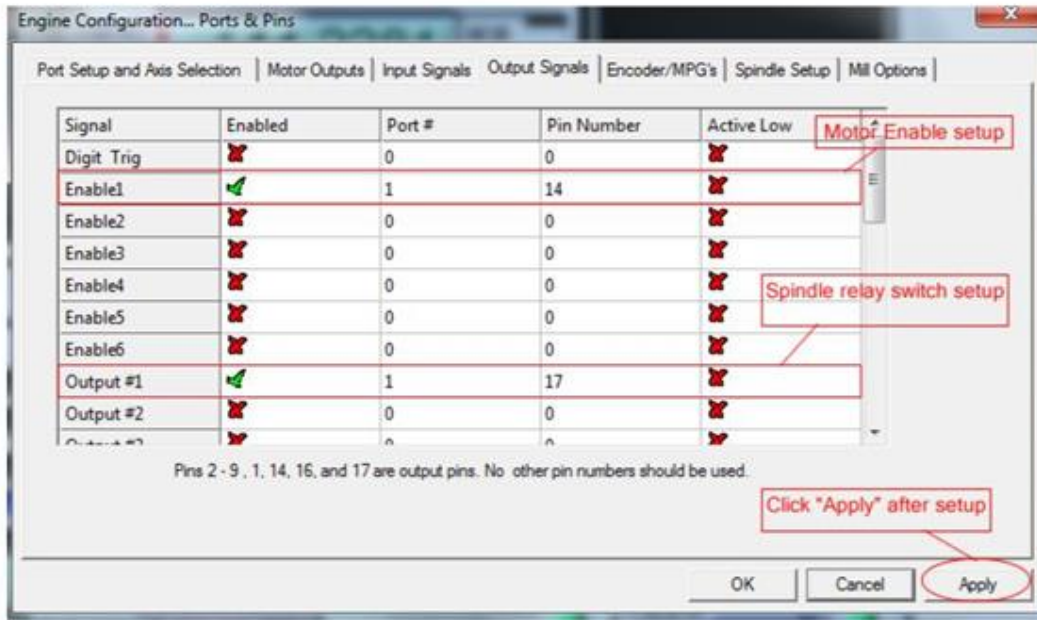
ECG--SAVEBASE



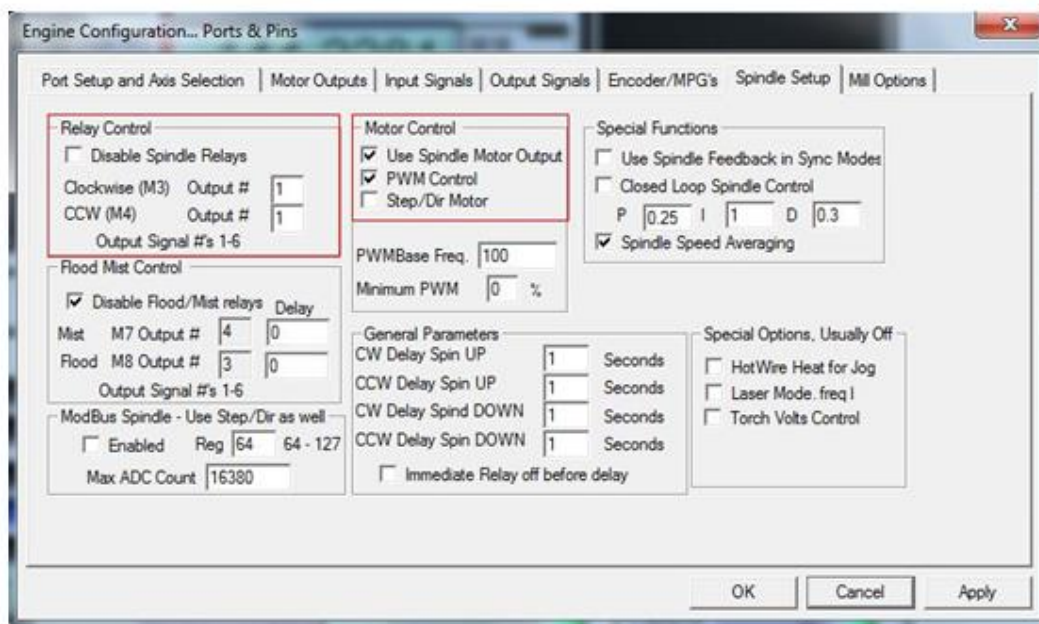
7. Click "Output Signals" to set it shown as below.

5 Axis Breakout Board Interface Adapter

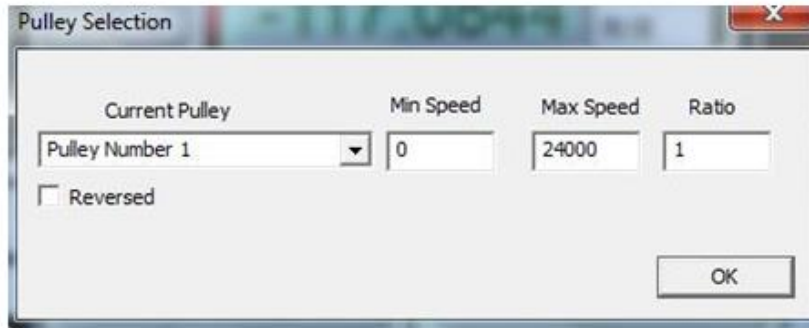
ECG--SAVEBASE



8. Click “Spindle Setup” to set it shown as below.



If you use PWM to control the spindle speed, you have to click “Pulley Selection” to set it shown as below.



9. Motor debugging. Click **Config->Motor Turning and Setup**

**X - AXIS MOTOR MOVEMENT PROFILE**

Velocity mm's per Minute

Time in Seconds

Steps per: Steps required to mobile 1 mm  
This value must be the same with the "PulE" in manual control

Velocity In's or mm's per min.

Acceleration in's or mm's/sec/sec

G's

Step Pulse 1 - 5 us

Dir Pulse 0 - 5

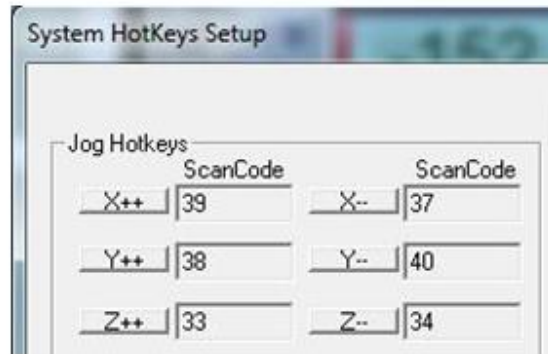
SAVE AXIS SETTINGS

Click this button after you finish each axis setting, or it will not save the data

Setup X,Y,Z,A Axis separately

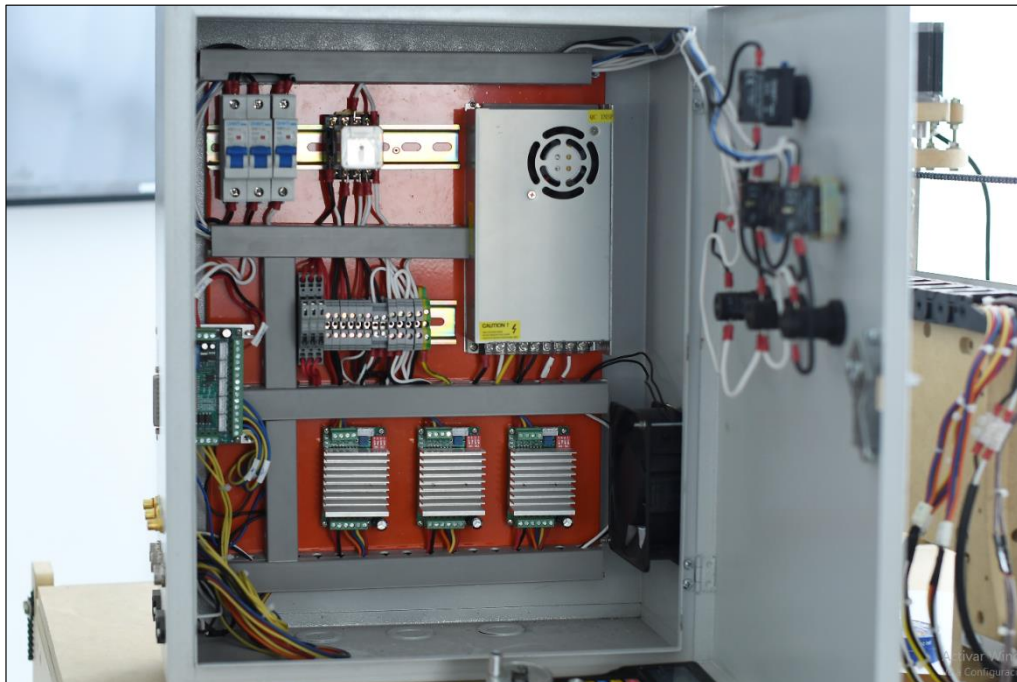
This value is calculated in the following formula:  
Steps per=(360/1.8)\*x/l; x:Microstep. l:screw pitch.  
E.G. Microstep=8, screw pitch = 5mm, then Steps per = 320

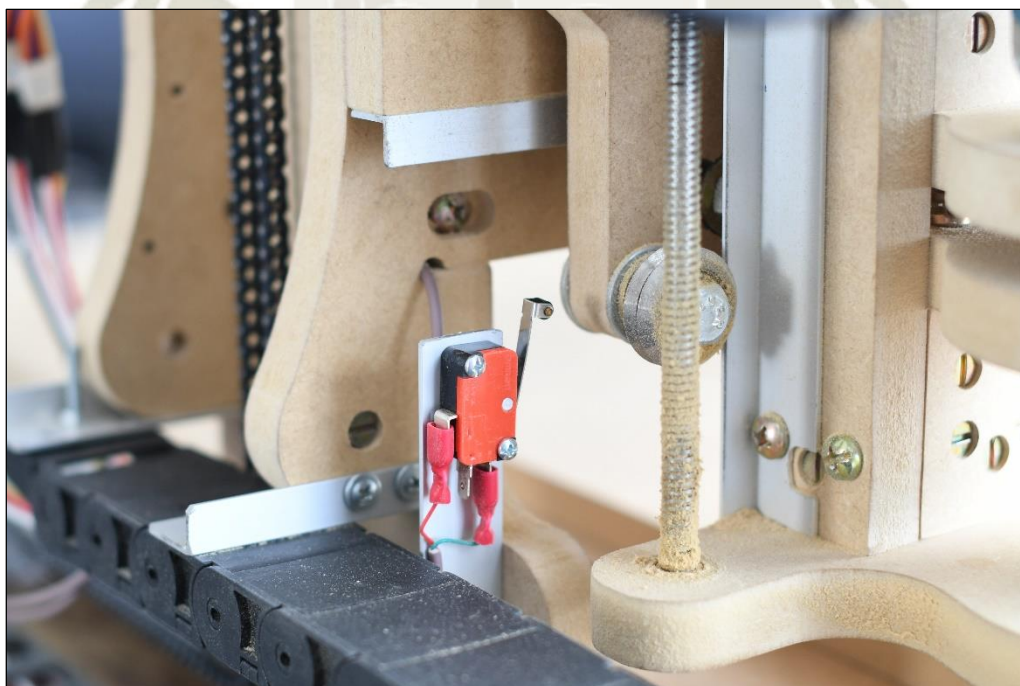
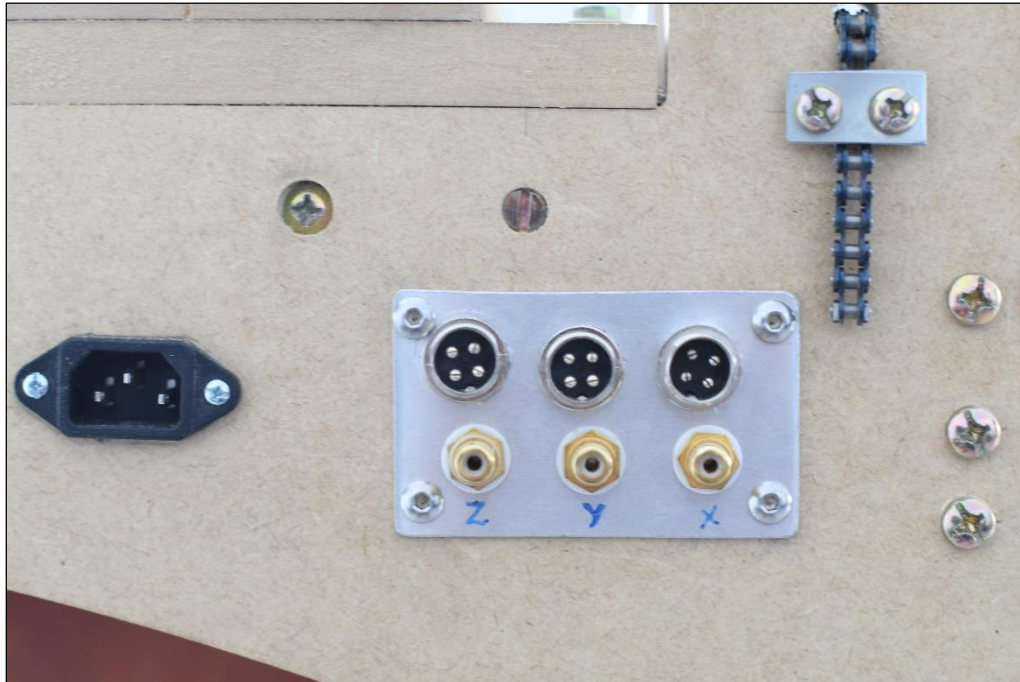
10. Click “**System HotKeys Setup**”. Set X, Y, Z axis hotkey shown as below. Then you can manual control the corresponding axis motor turning via hotkeys.

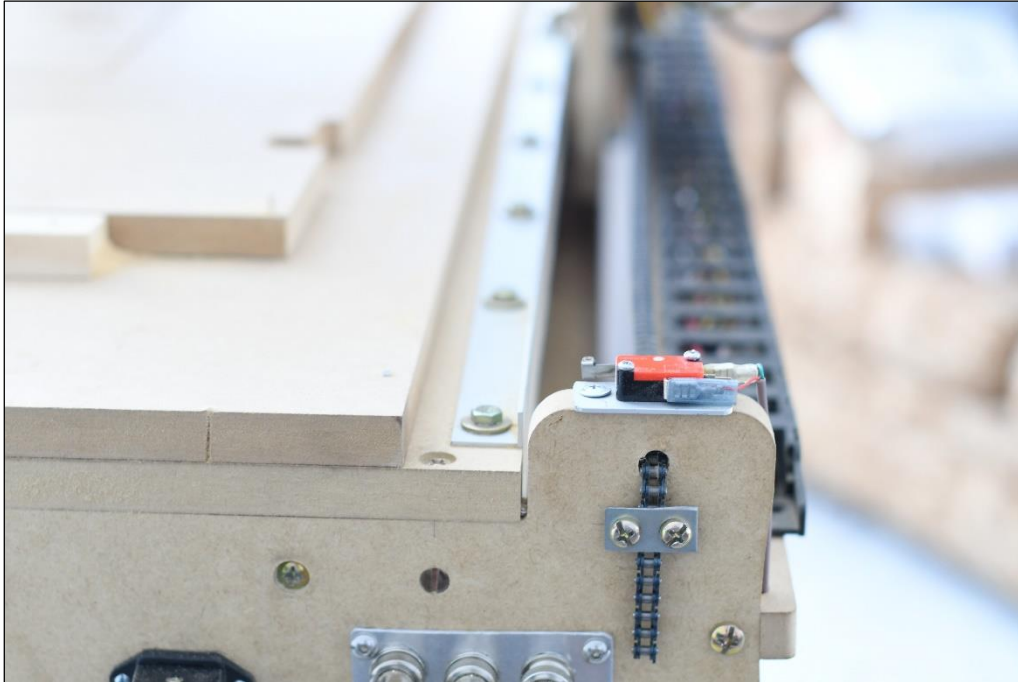


### Anexo J. Sistema Eléctrico y Electrónico

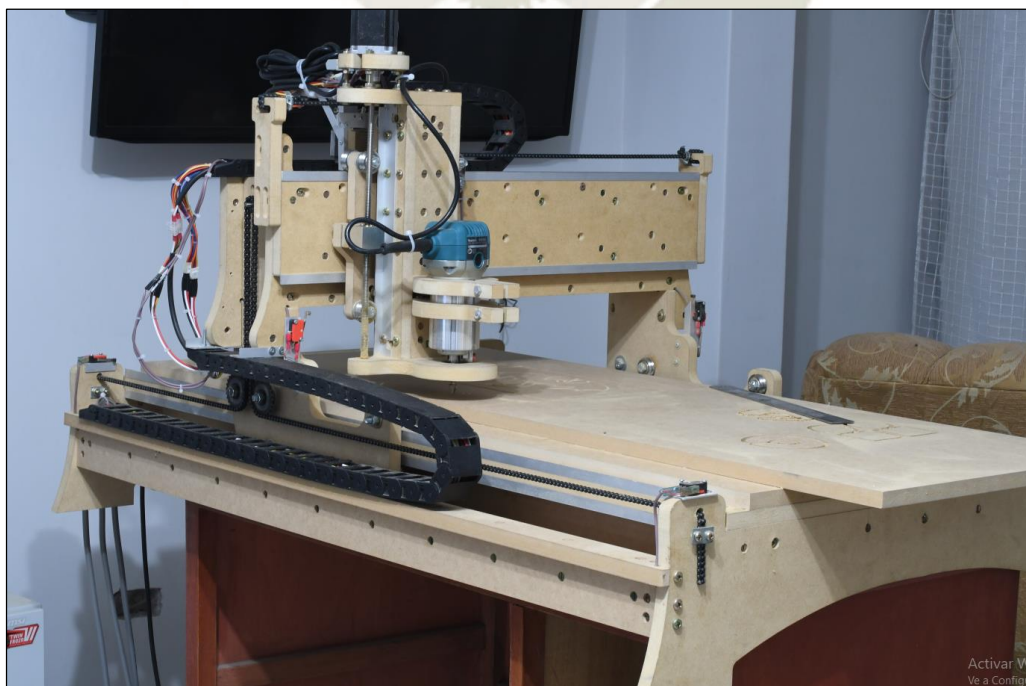
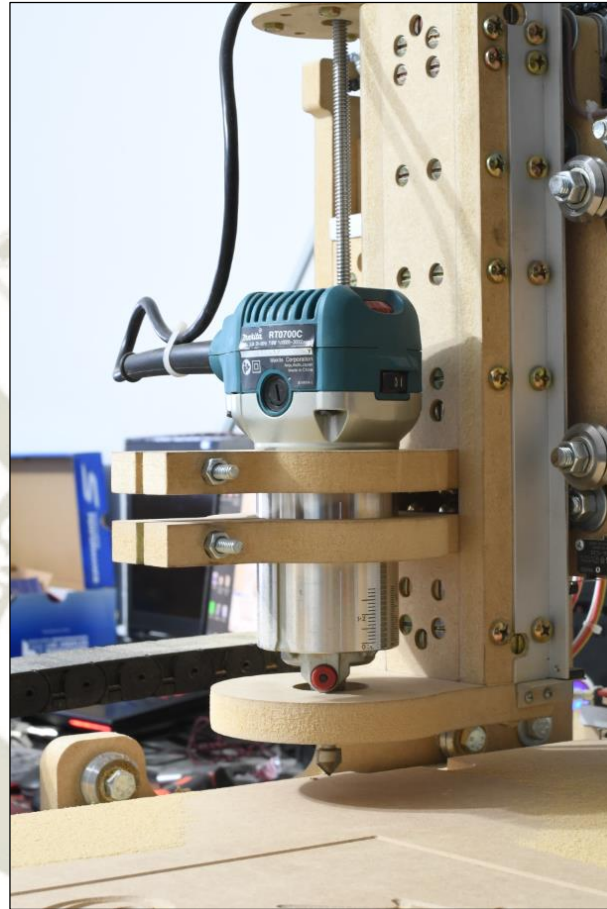


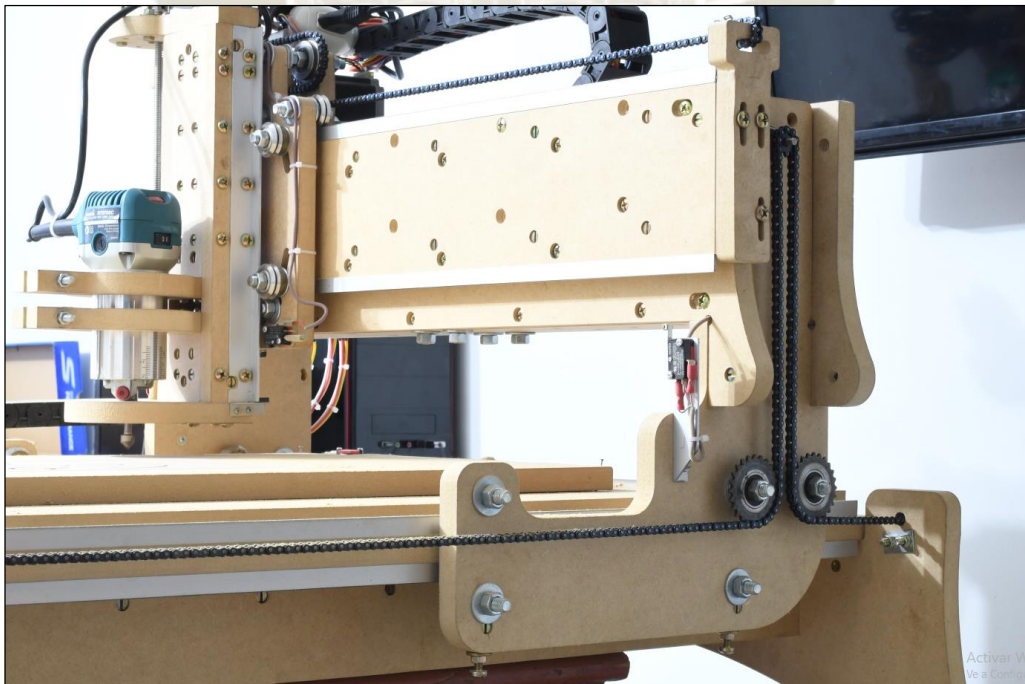
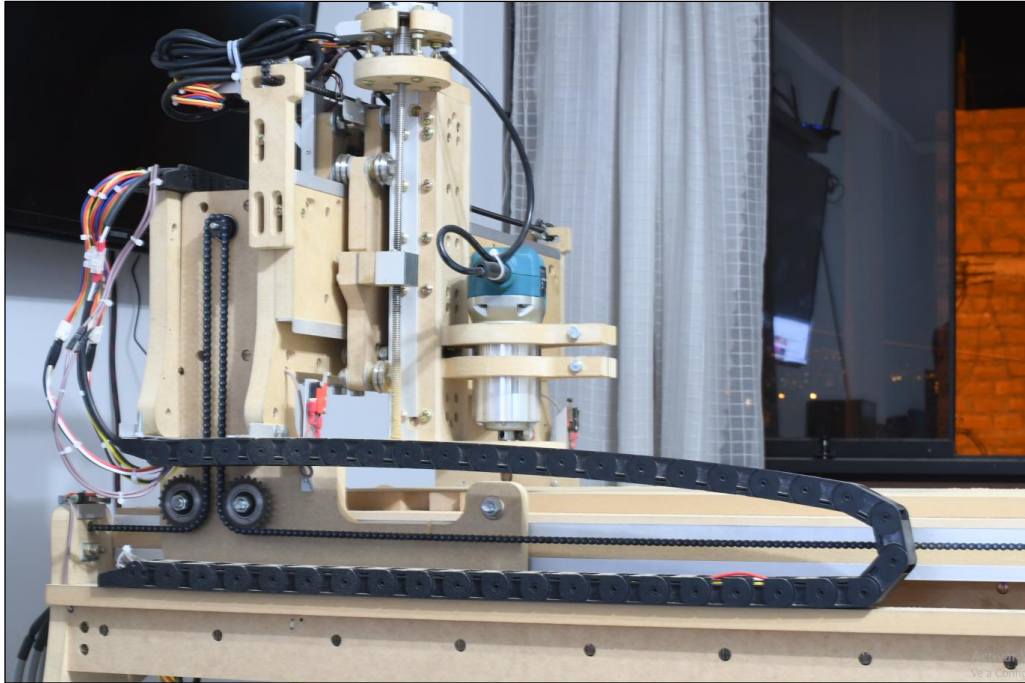


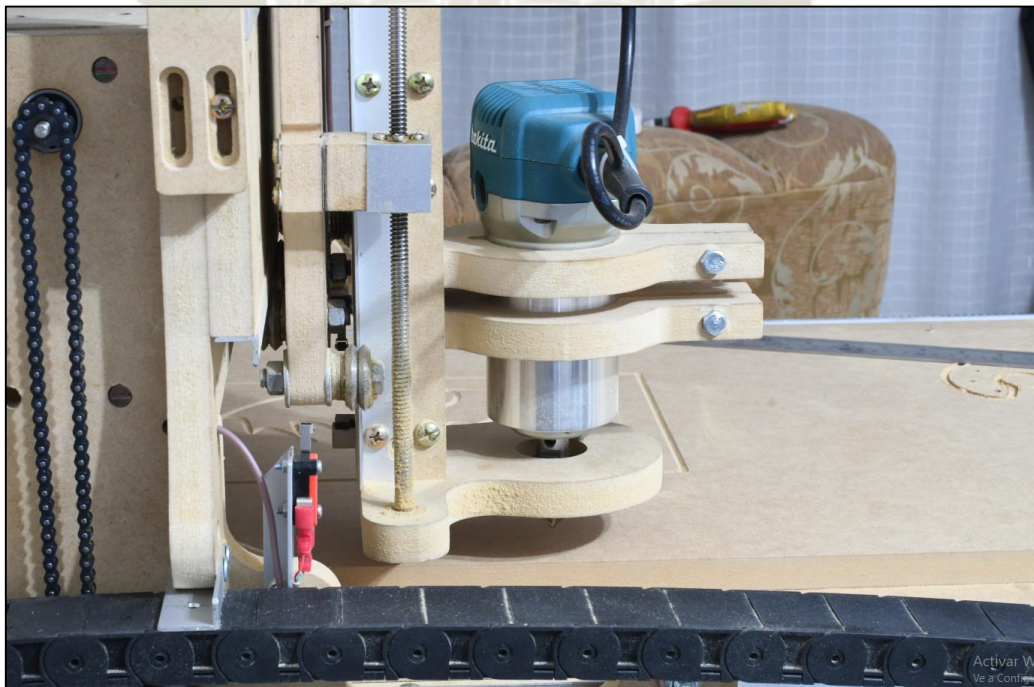
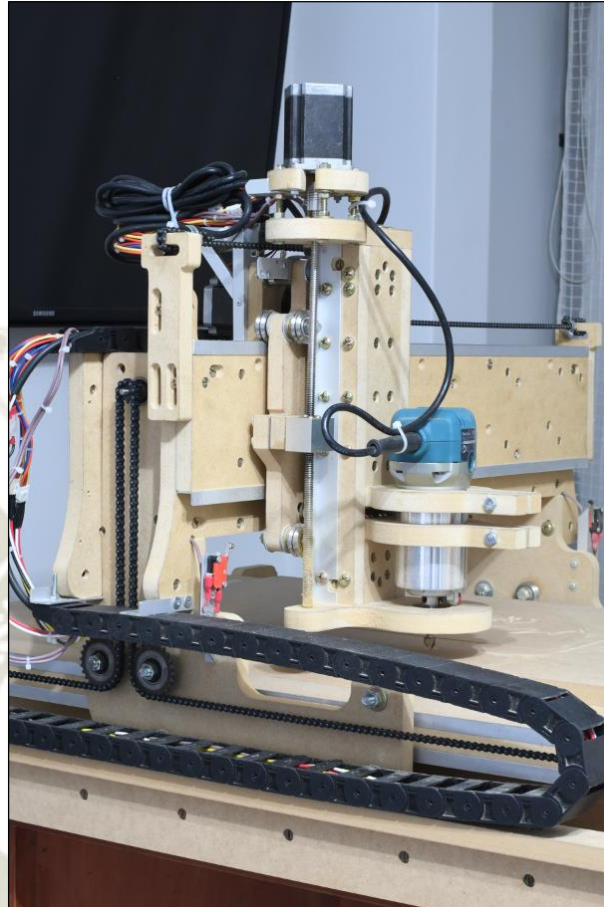


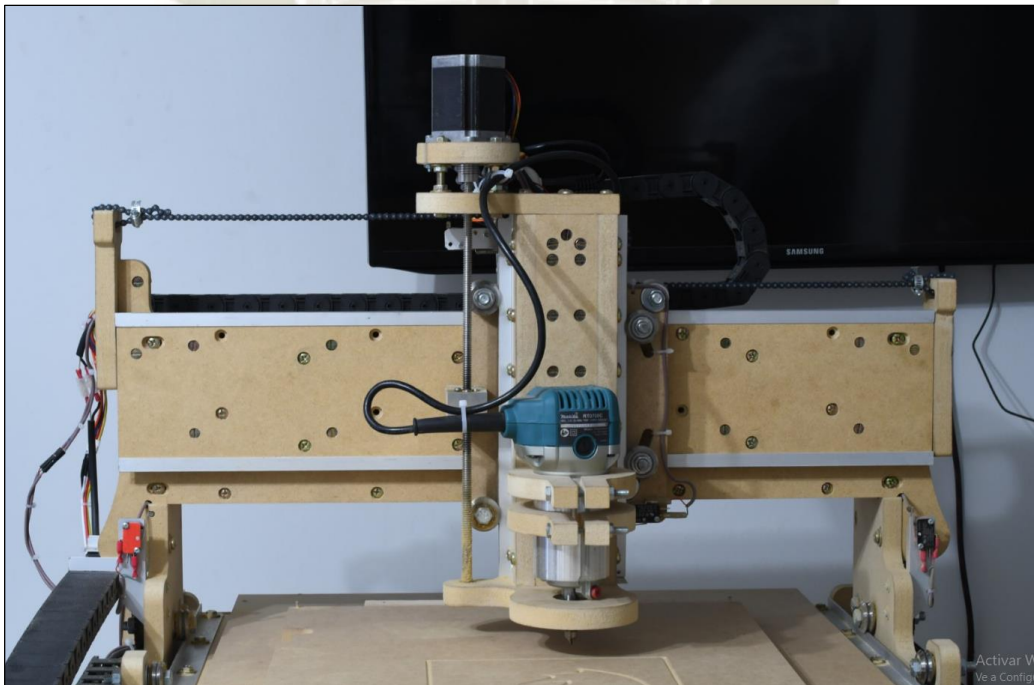
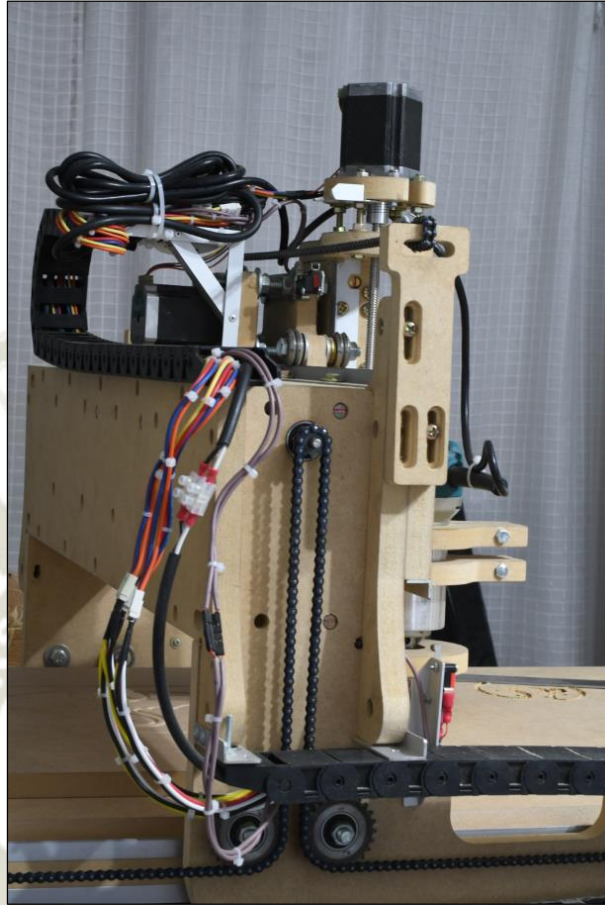


### Anexo K. Fotos Ensamble de Prototipo Router CNC

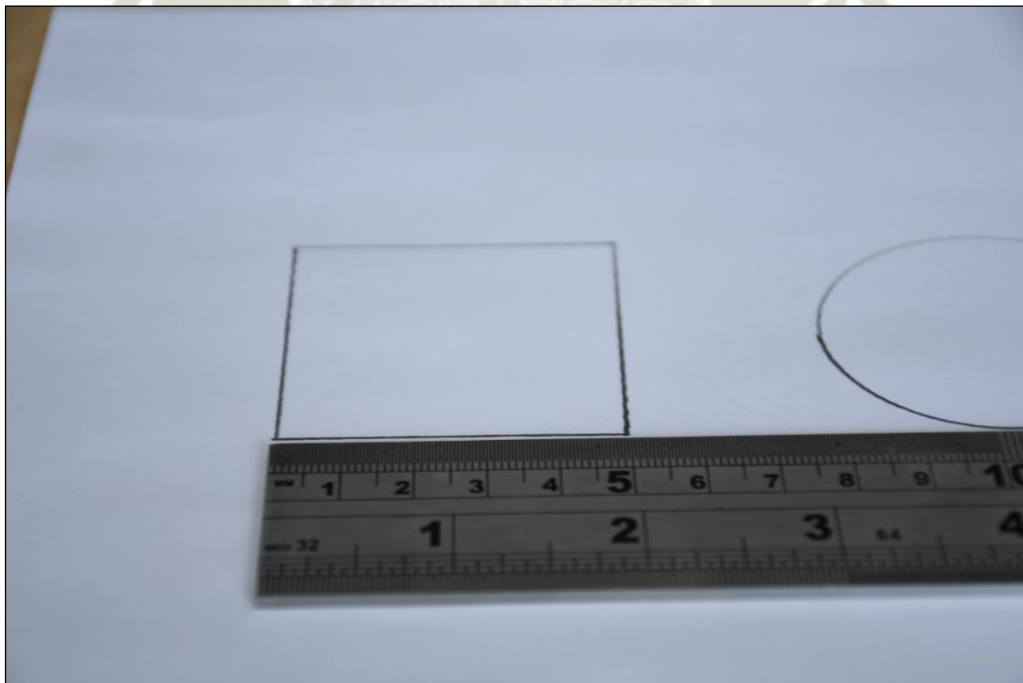
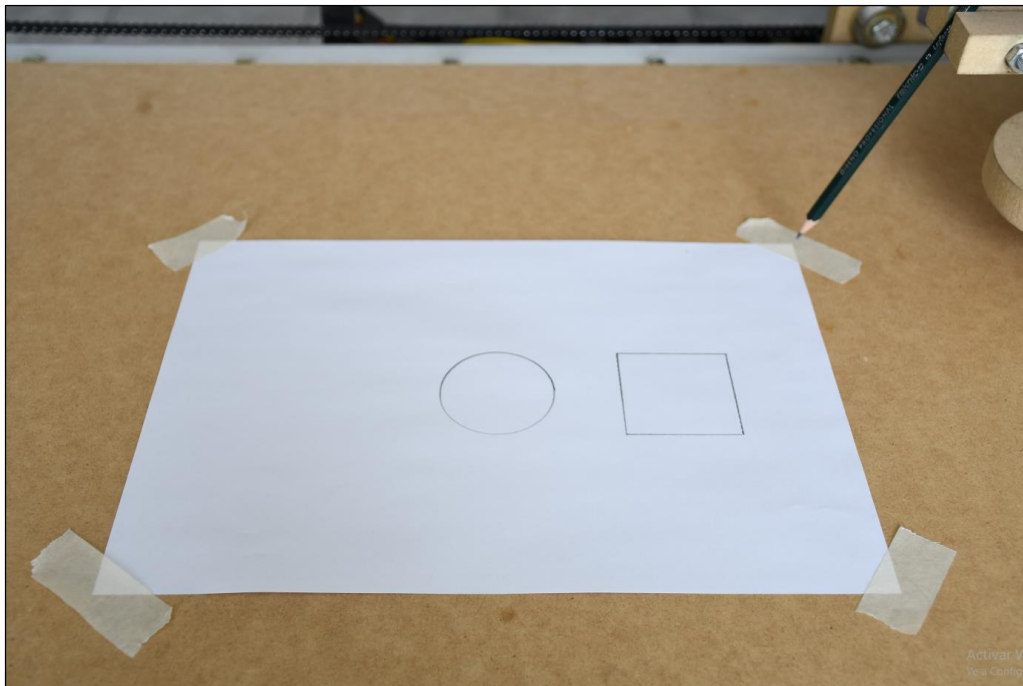


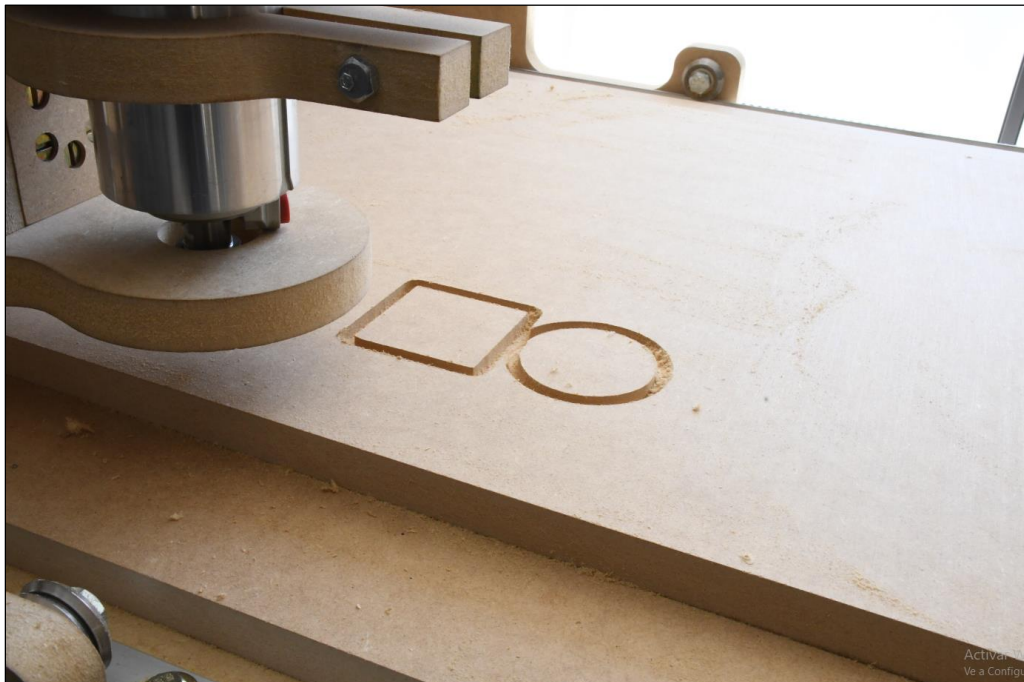


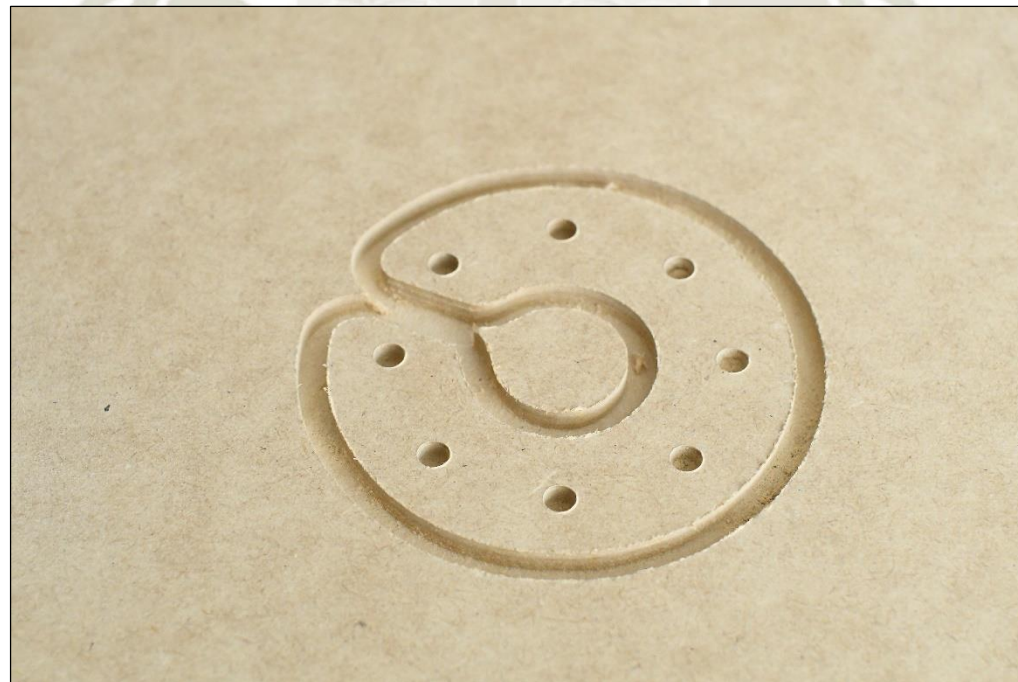




### Anexo L. Pruebas de Funcionamiento Prototipo Router CNC



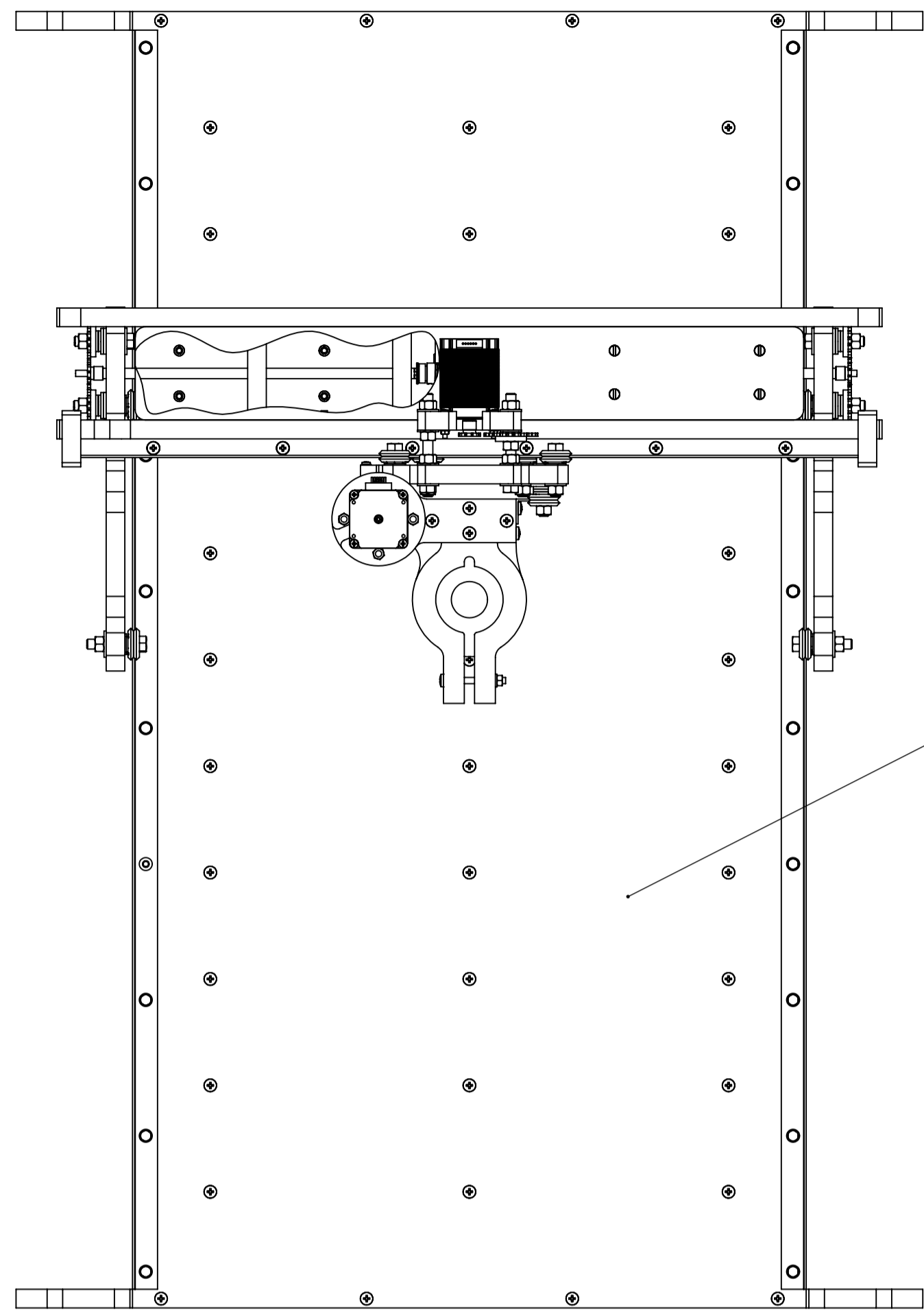




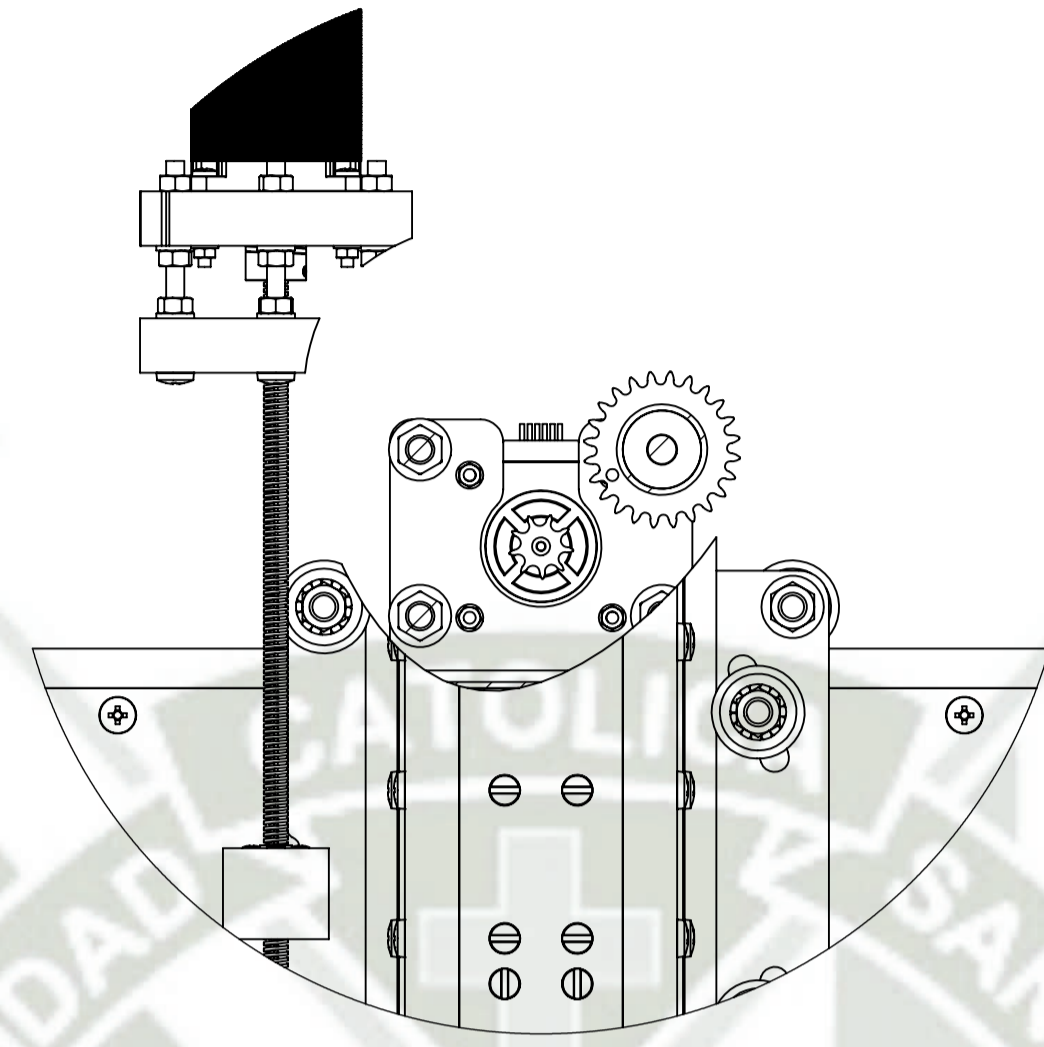




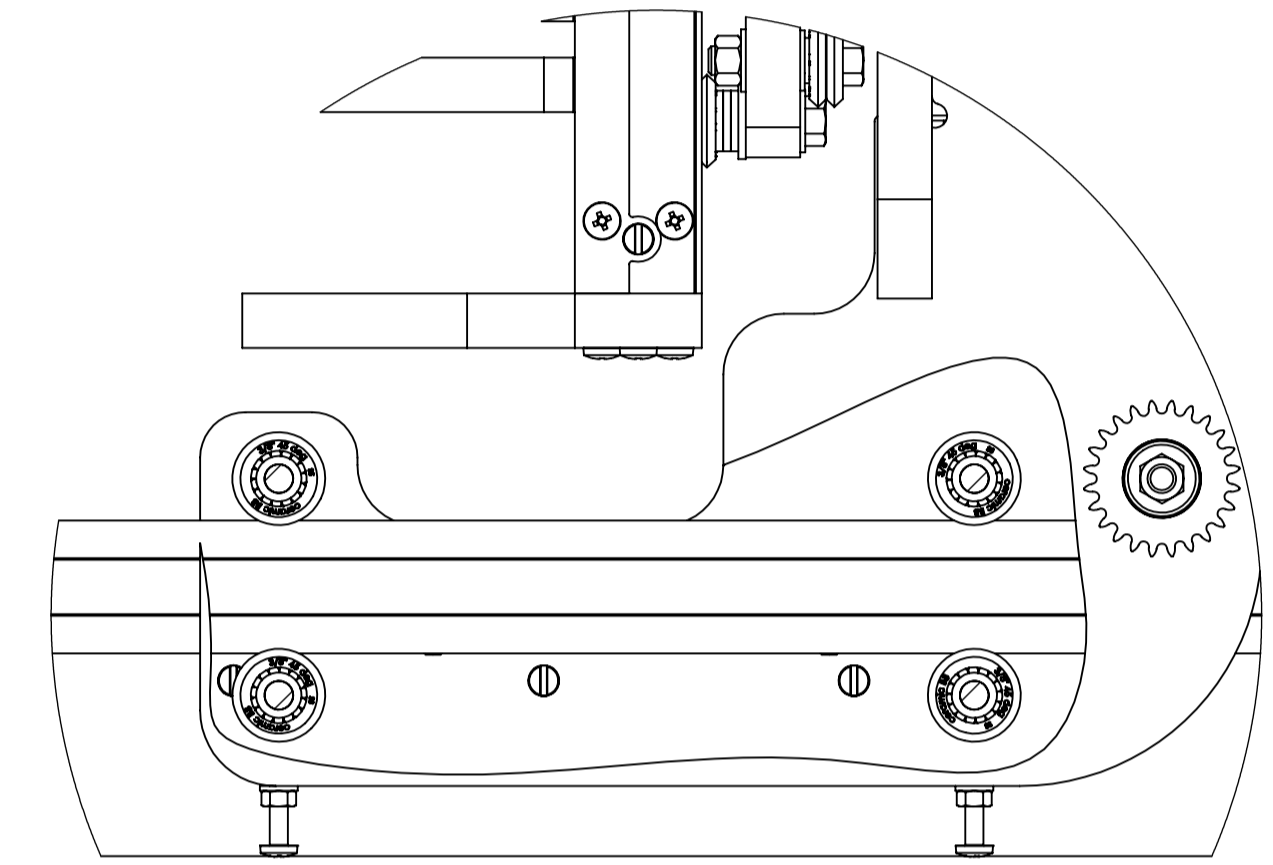
# PLANOS



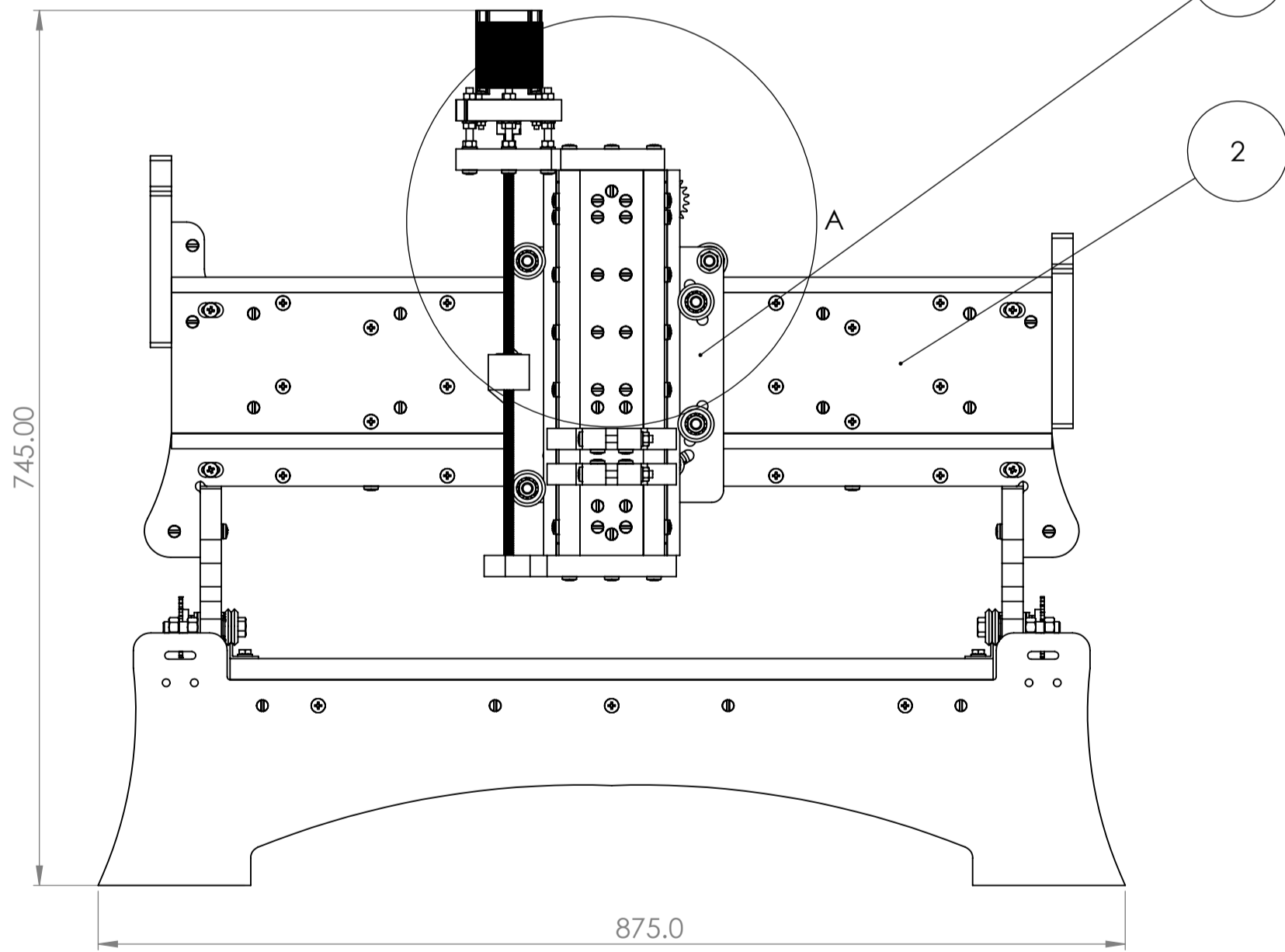
1



DETALLE A  
ESCALA 2 : 5

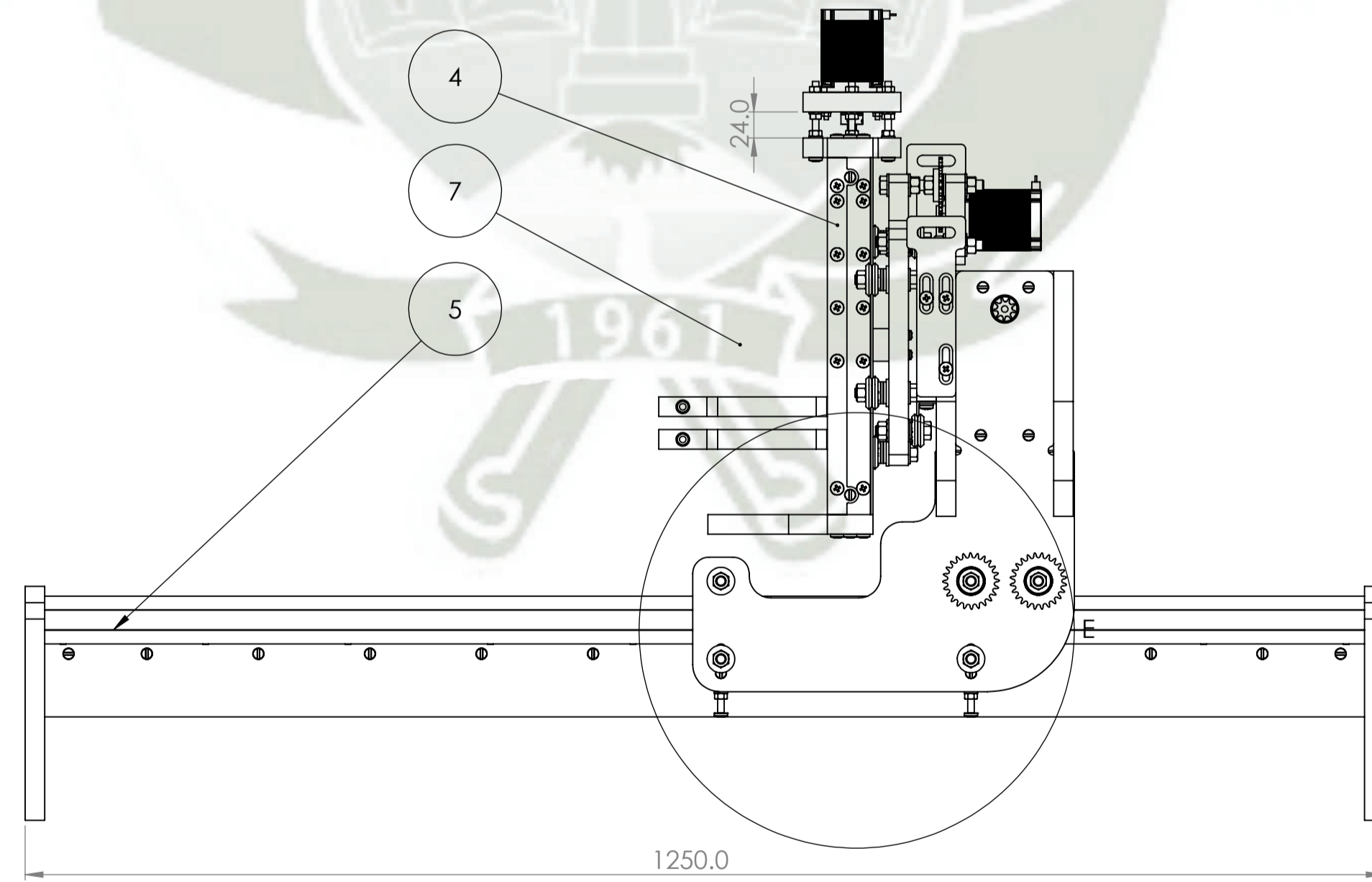


DETALLE E  
ESCALA 2 : 5



3

2

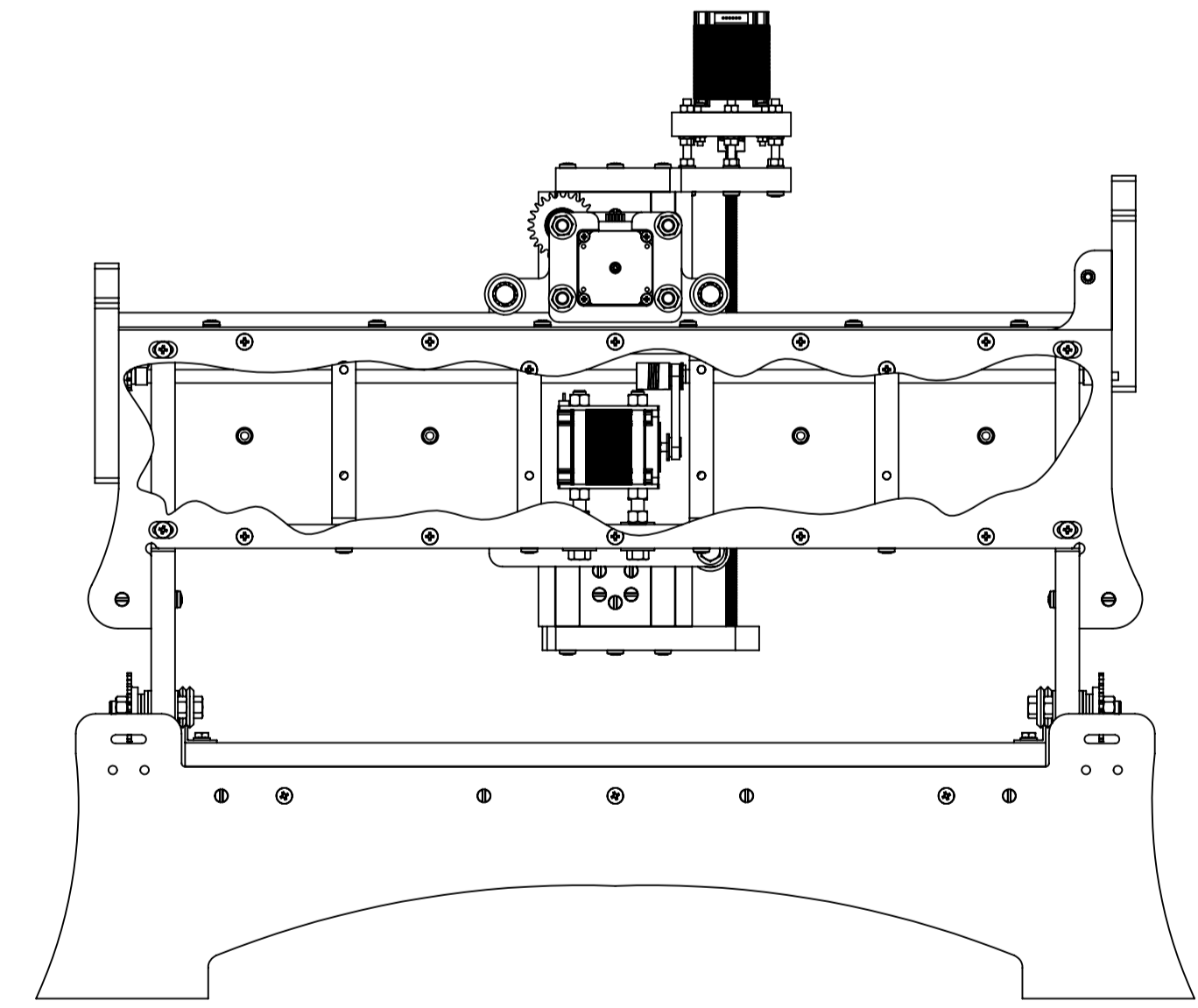


4

7

5

F



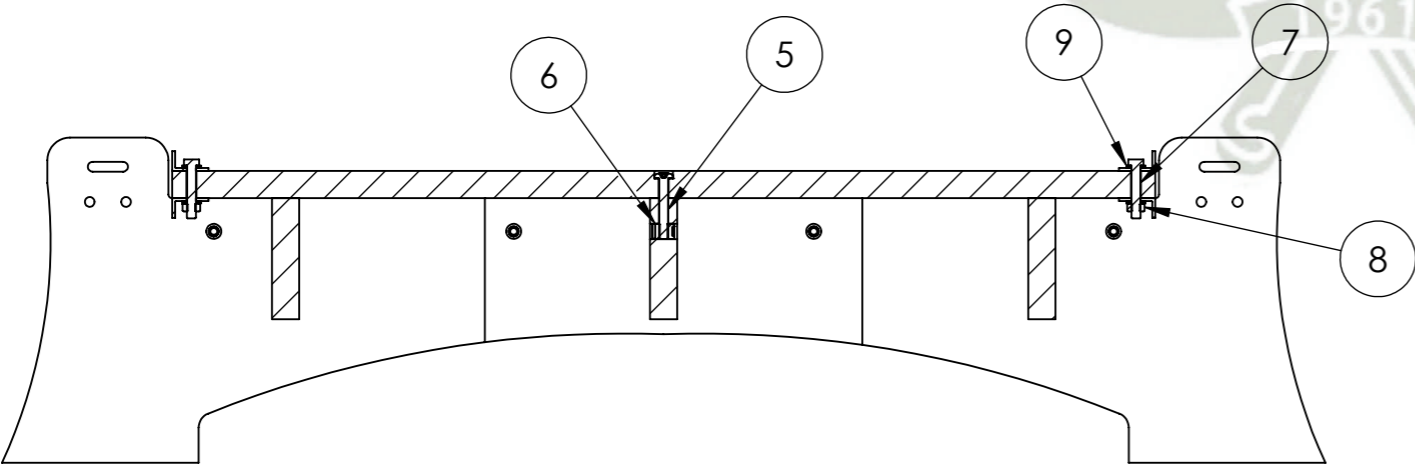
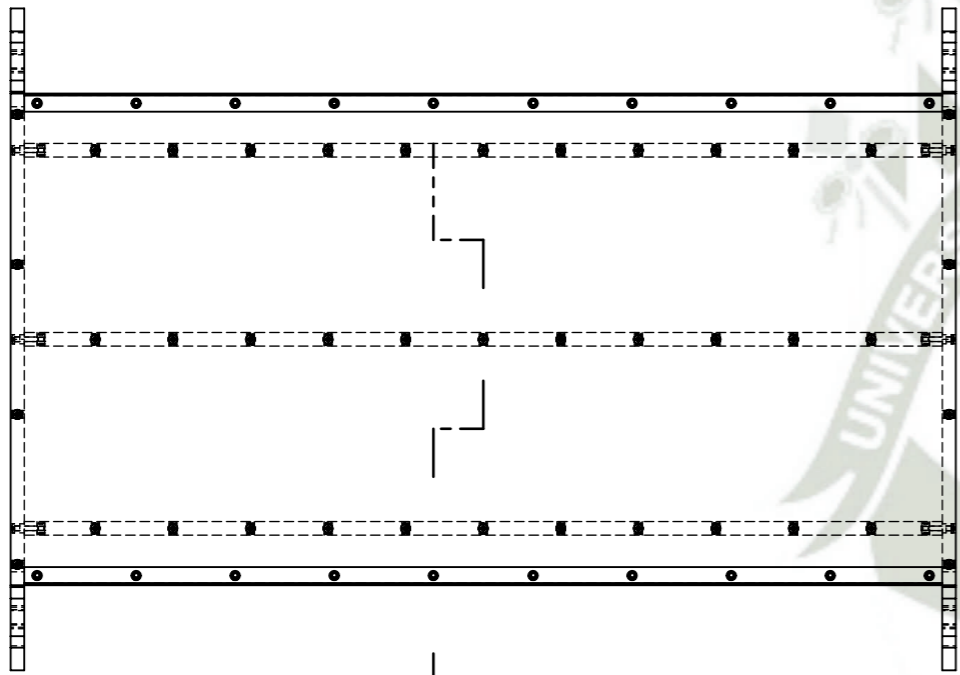
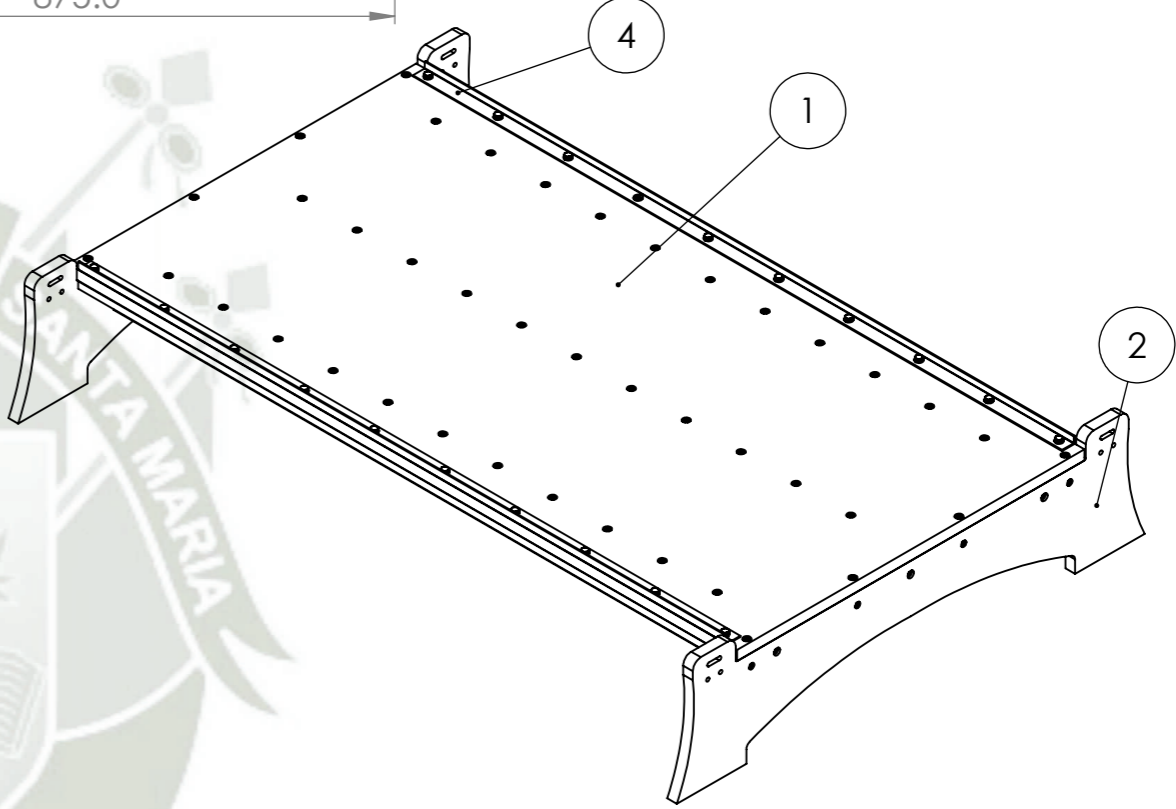
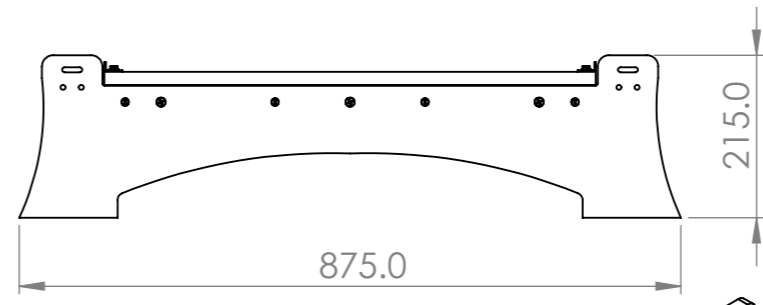
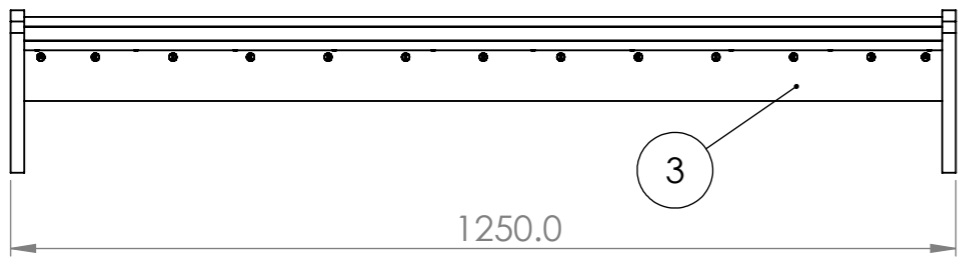
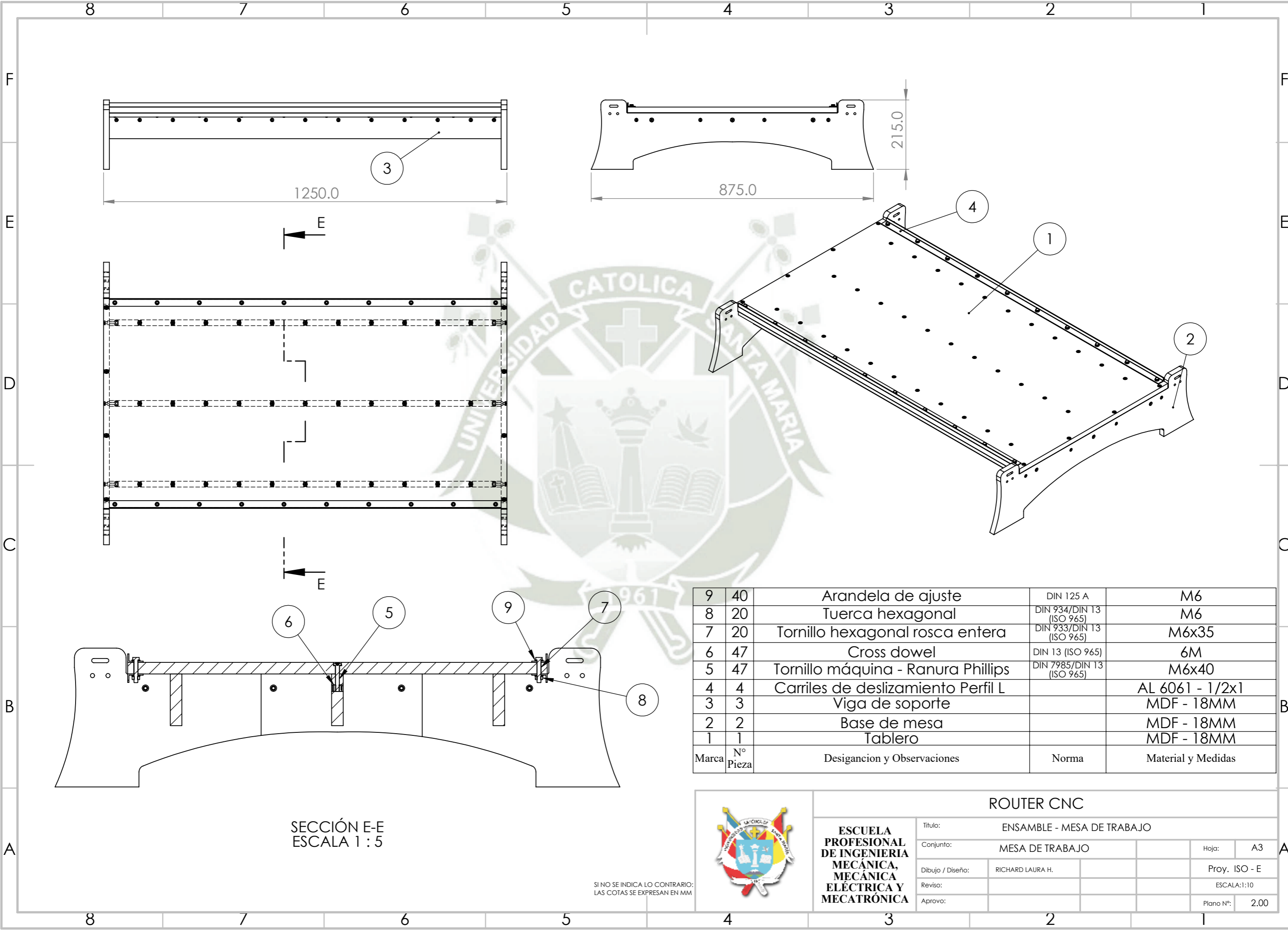
VISTA F  
ESCALA 1 : 5

11	12	Tuerca hexagonal		DIN 934	M6 mg 5.8
10	8	Tomillo máquina - Ranura Phillips		DIN 7985	M6x40 mg 5.8
9	4	Tomillo máquina - Ranura Phillips		DIN 7985	M6x30 mg 5.8
8	12	Abrazadera de cadena			
7	1	Tupi			710 W
6	1	Cadena de transmisión Y		ANSI 25	#25 x 1000 MM
5	2	Cadena de transmisión X		ANSI 25	#25 X 2000 MM
4	1	Carro eje Z	5.00		
3	1	Carro eje Y	4.00		
2	1	Carro eje X	3.00		
1	1	Mesa de Trabajo	2.00		
Mar	Nº	Desigación y Observaciones	Plano de referencia	Norma	Material y Medidas
ca	Pie				
	za				



ROUTER CNC			
Título:		ENSAMBLE - Carro eje z	
Conjunto:		Ensamble Carro eje Z	
Dibujó / Diseño:		RICHARD LAURA H.	
Revisó:			
Aprovo:			
Hoja:	A1	Proy.:	ISO - E
ESCALA:	1:10	Plano N°:	1.00

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE ESPESAN EN MM



SECCIÓN E-E  
ESCALA 1 : 5

9	40	Arandela de ajuste	DIN 125 A	M6
8	20	Tuerca hexagonal	DIN 934/DIN 13 (ISO 965)	M6
7	20	Tornillo hexagonal rosca entera	DIN 933/DIN 13 (ISO 965)	M6x35
6	47	Cross dowel	DIN 13 (ISO 965)	6M
5	47	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985/DIN 13 (ISO 965)	M6x40
4	4	Carriles de deslizamiento Perfil L		AL 6061 - 1/2x1
3	3	Viga de soporte		MDF - 18MM
2	2	Base de mesa		MDF - 18MM
1	1	Tablero		MDF - 18MM
Marca	Nº Pieza	Designacion y Observaciones	Norma	Material y Medidas

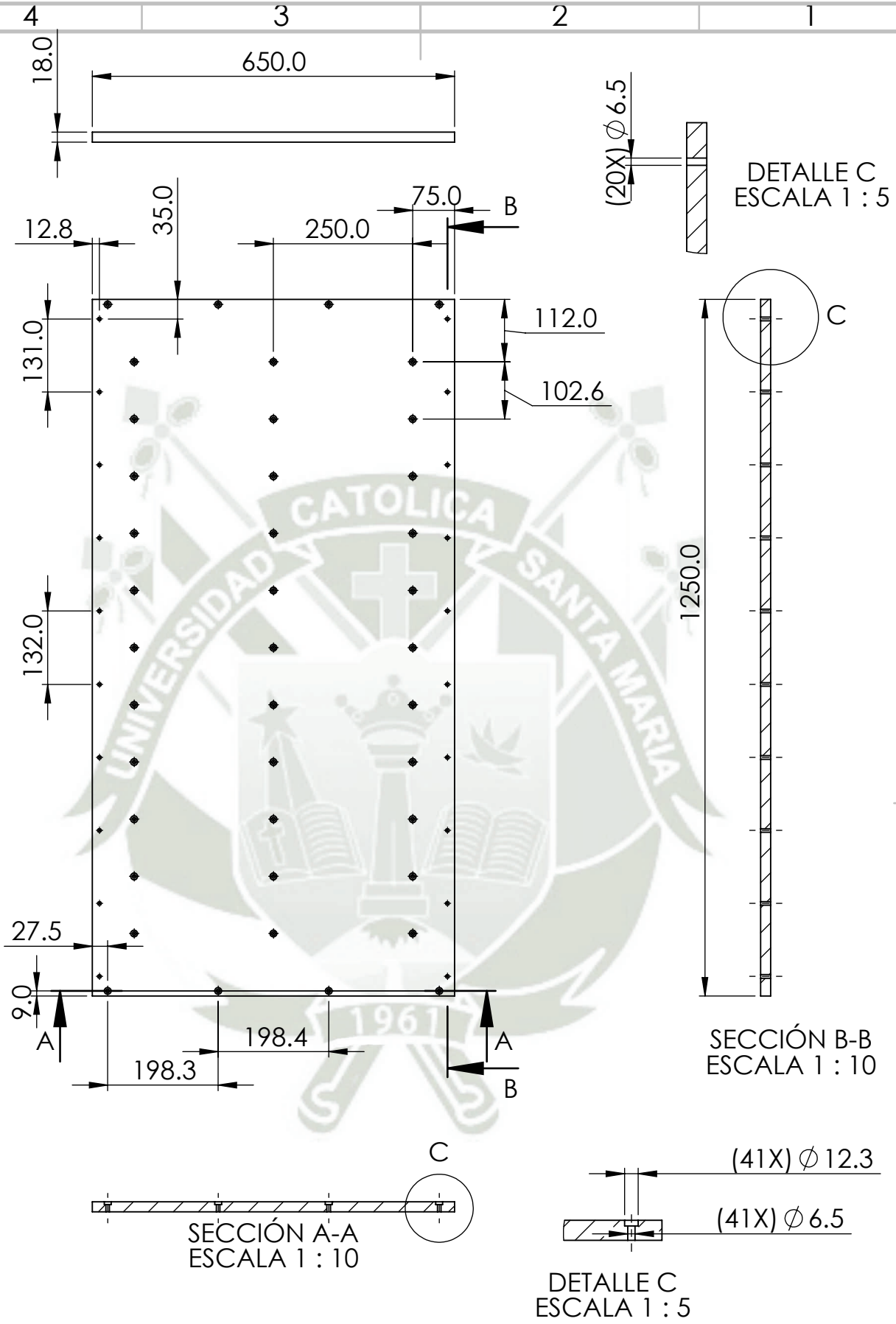
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

**ROUTER CNC**

Título:	ENSAMBLE - MESA DE TRABAJO		
Conjunto:	MESA DE TRABAJO	Hoja:	A3
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA: 1:10	
Aprovo:		Plano Nº:	2.00



DETALLE C  
ESCALA 1 : 5

SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 10

SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 10

DETALLE C  
ESCALA 1 : 5

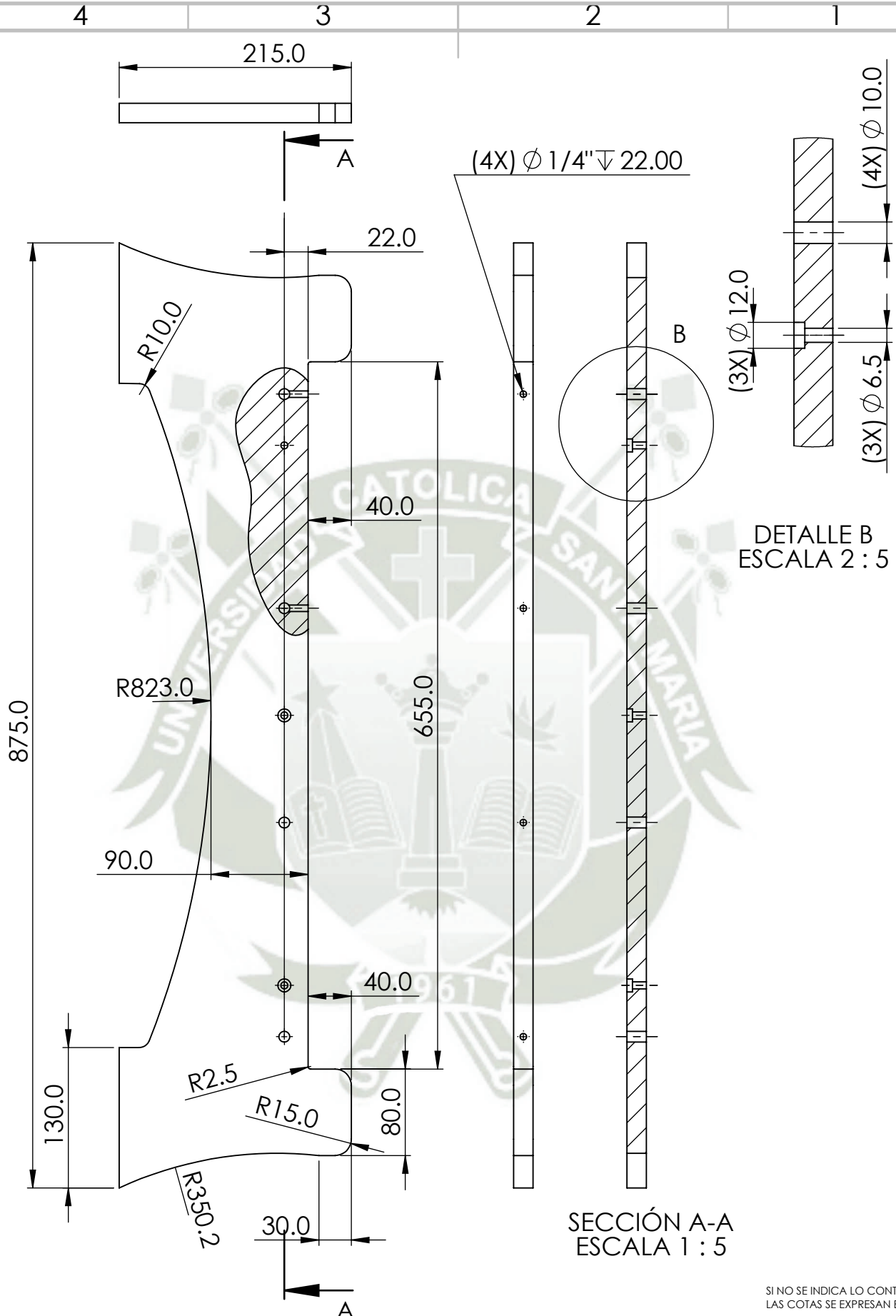
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:		TABLERO	
Conjunto:	MESA DE TRABAJO	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:10	
Aprovo:		Plano Nº:	2.01



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 5

DETALLE B  
ESCALA 2 : 5

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	BASE DE MESA		
Conjunto:	MESA DE TRABAJO	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:5	
Aprovo:		Plano N°:	2.02

F  
E  
D  
C  
B  
A

F  
E  
D  
C  
B  
A

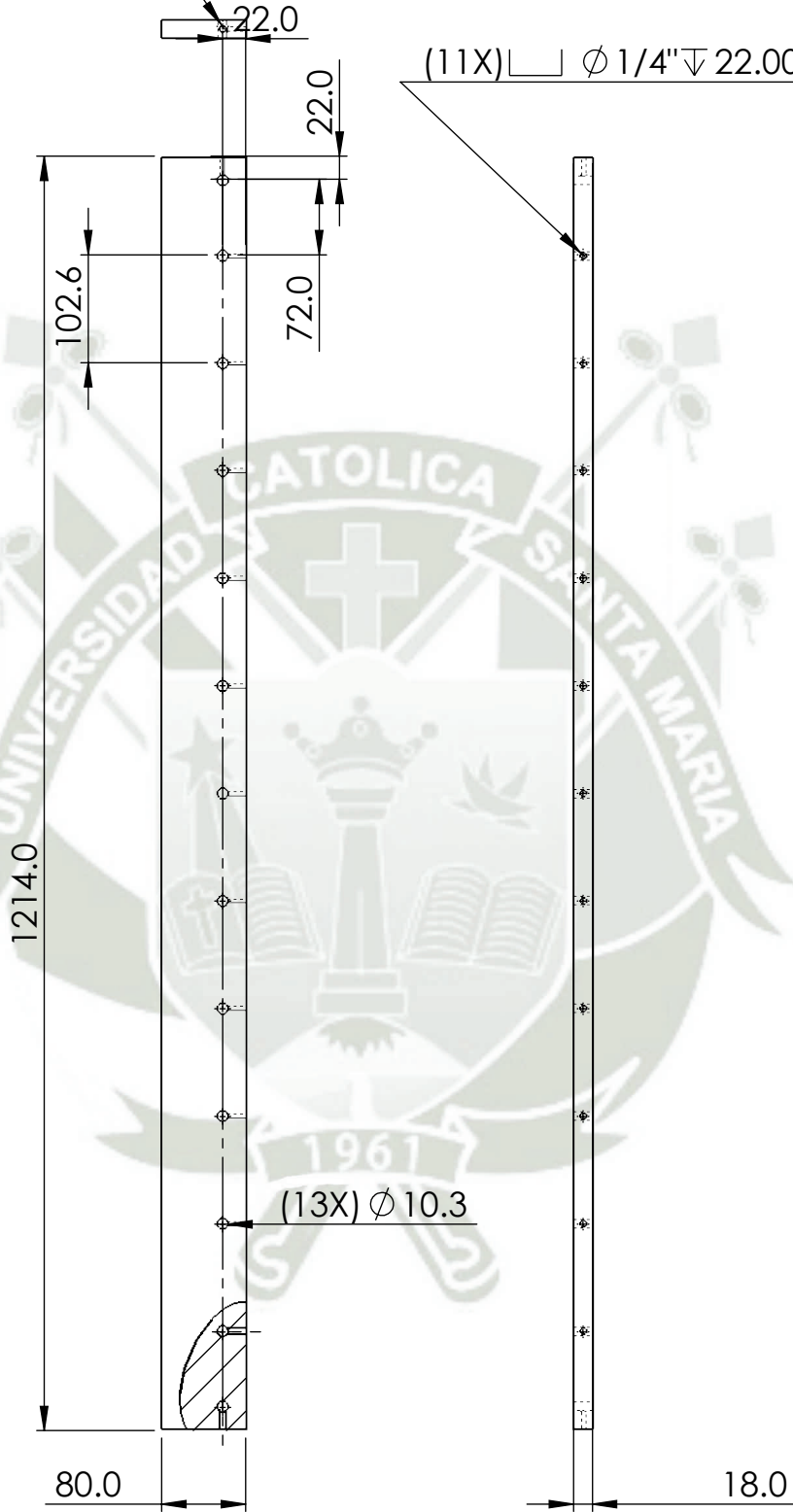
4 3 2 1

4 3 2 1

(2X) L  $\phi$  1/4"  $\nabla$  22.00

(11X) L  $\phi$  1/4"  $\nabla$  22.00

(13X)  $\phi$  10.3



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título: VIGA DE SOPORTE

Conjunto: MESA DE TRABAJO

Hoja: A4

Dibujo / Diseño: RICHARD LAURA H.

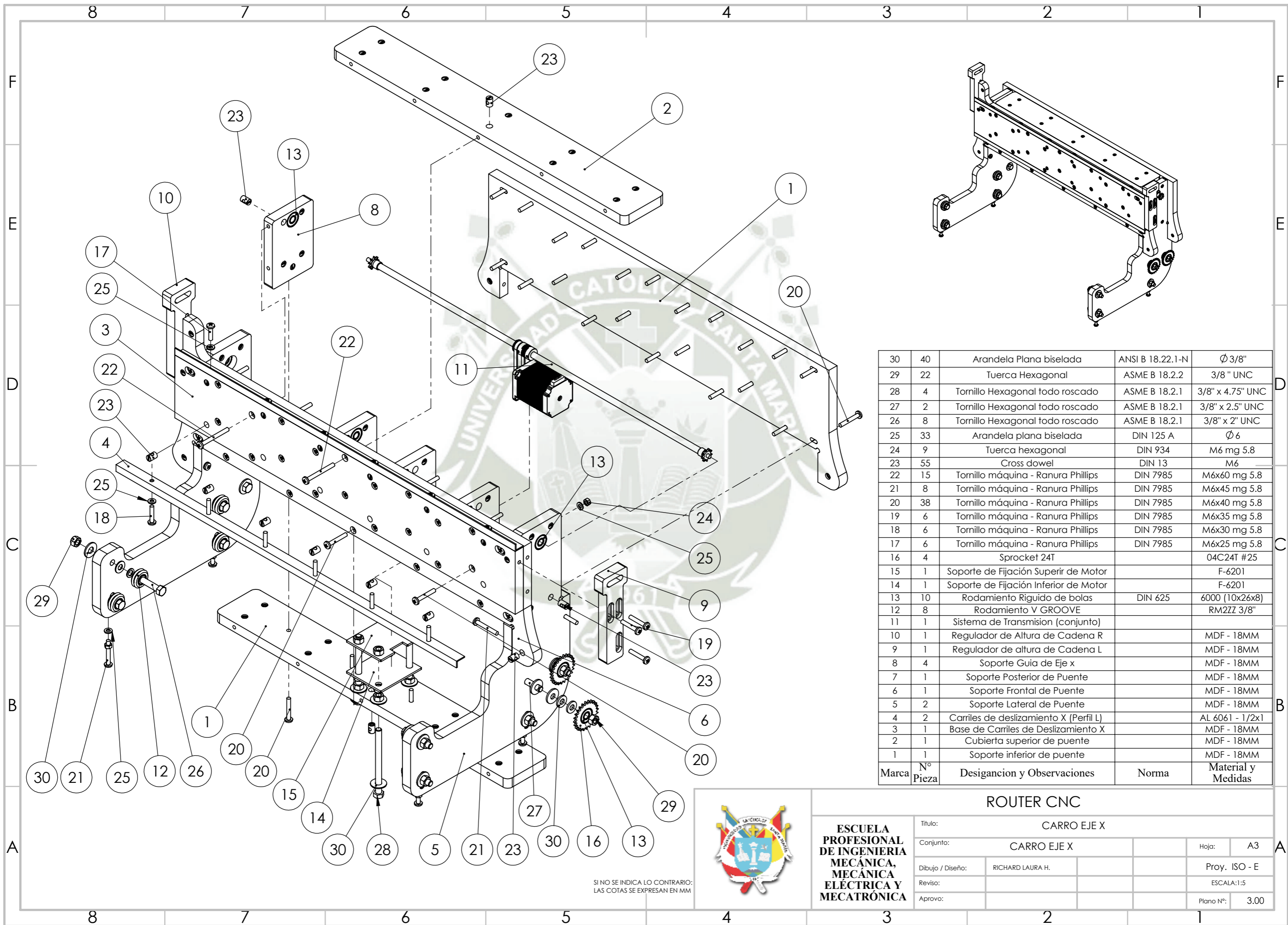
Proy. ISO - E

Reviso:

ESCALA:1:5

Aprovo:

Plano N°: 2.03



30	40	Arandela Plana biselada	ANSI B 18.22.1-N	Ø 3/8"
29	22	Tuerca Hexagonal	ASME B 18.2.2	3/8" UNC
28	4	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 4.75" UNC
27	2	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 2.5" UNC
26	8	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 2" UNC
25	33	Arandela plana biselada	DIN 125 A	Ø 6
24	9	Tuerca hexagonal	DIN 934	M6 mg 5.8
23	55	Cross dowel	DIN 13	M6
22	15	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x60 mg 5.8
21	8	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x45 mg 5.8
20	38	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x40 mg 5.8
19	6	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x35 mg 5.8
18	6	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x30 mg 5.8
17	6	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x25 mg 5.8
16	4	Sprocket 24T		04C24T #25
15	1	Soporte de Fijación Superir de Motor		F-6201
14	1	Soporte de Fijación Inferior de Motor		F-6201
13	10	Rodamiento Rígido de bolas	DIN 625	6000 (10x26x8)
12	8	Rodamiento V GROOVE		RM2ZZ 3/8"
11	1	Sistema de Transmision (conjunto)		
10	1	Regulador de Altura de Cadena R		MDF - 18MM
9	1	Regulador de altura de Cadena L		MDF - 18MM
8	4	Soporte Guia de Eje x		MDF - 18MM
7	1	Soporte Posterior de Puente		MDF - 18MM
6	1	Soporte Frontal de Puente		MDF - 18MM
5	2	Soporte Lateral de Puente		MDF - 18MM
4	2	Carriles de deslizamiento X (Perfil L)		AL 6061 - 1/2x1
3	1	Base de Carriles de Deslizamiento X		MDF - 18MM
2	1	Cubierta superior de puente		MDF - 18MM
1	1	Soporte inferior de puente		MDF - 18MM
Marca	Nº	Desigancion y Observaciones	Norma	Material y Medidas

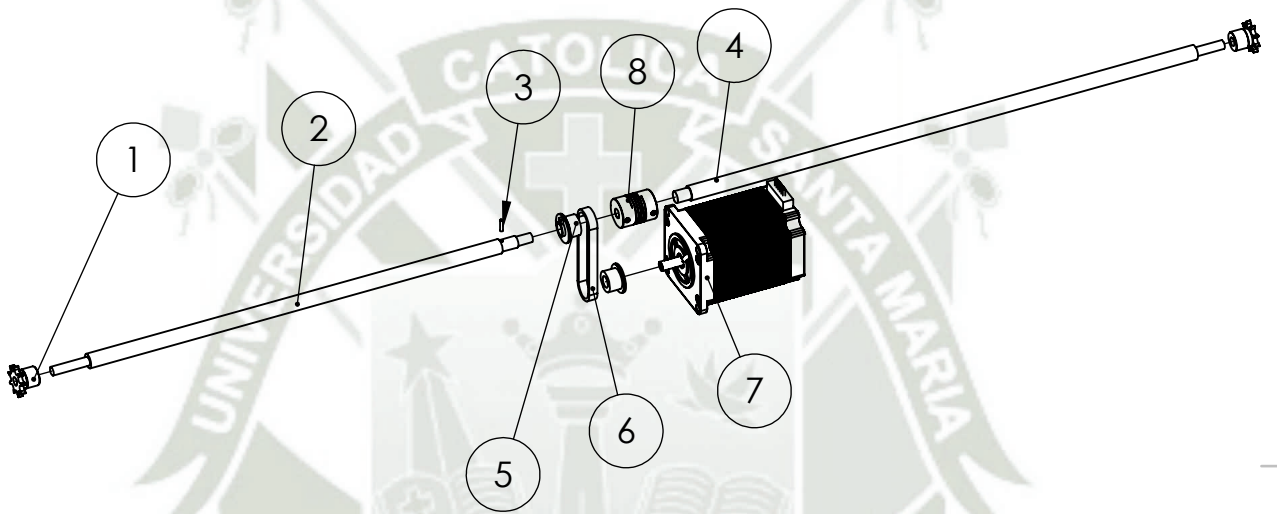
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

**ROUTER CNC**

Título:	CARRO EJE X		
Conjunto:	CARRO EJE X	Hoja:	A3
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:5	
Aprovo:		Plano Nº:	3.00



8	1	Acople flexible		6.35 x 8MM
7	1	Stepper Motor		NEMA 23
6	1	Synchro-Link STS (Neoprene)		60-S3M-144
5	2	Polea Dentada para Syncro STS		18 3M 09
4	1	Eje L		
3	1	Pin		
2	1	Eje R		
1	2	Sprocket 9T		04C9T
Marca	Nº Pieza	Designacion y Observaciones	Norma	Material y Medidas

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

## ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título: SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Conjunto: CARRO EJE X

Hoja: A4

Dibujo / Diseño: RICHARD LAURA H.

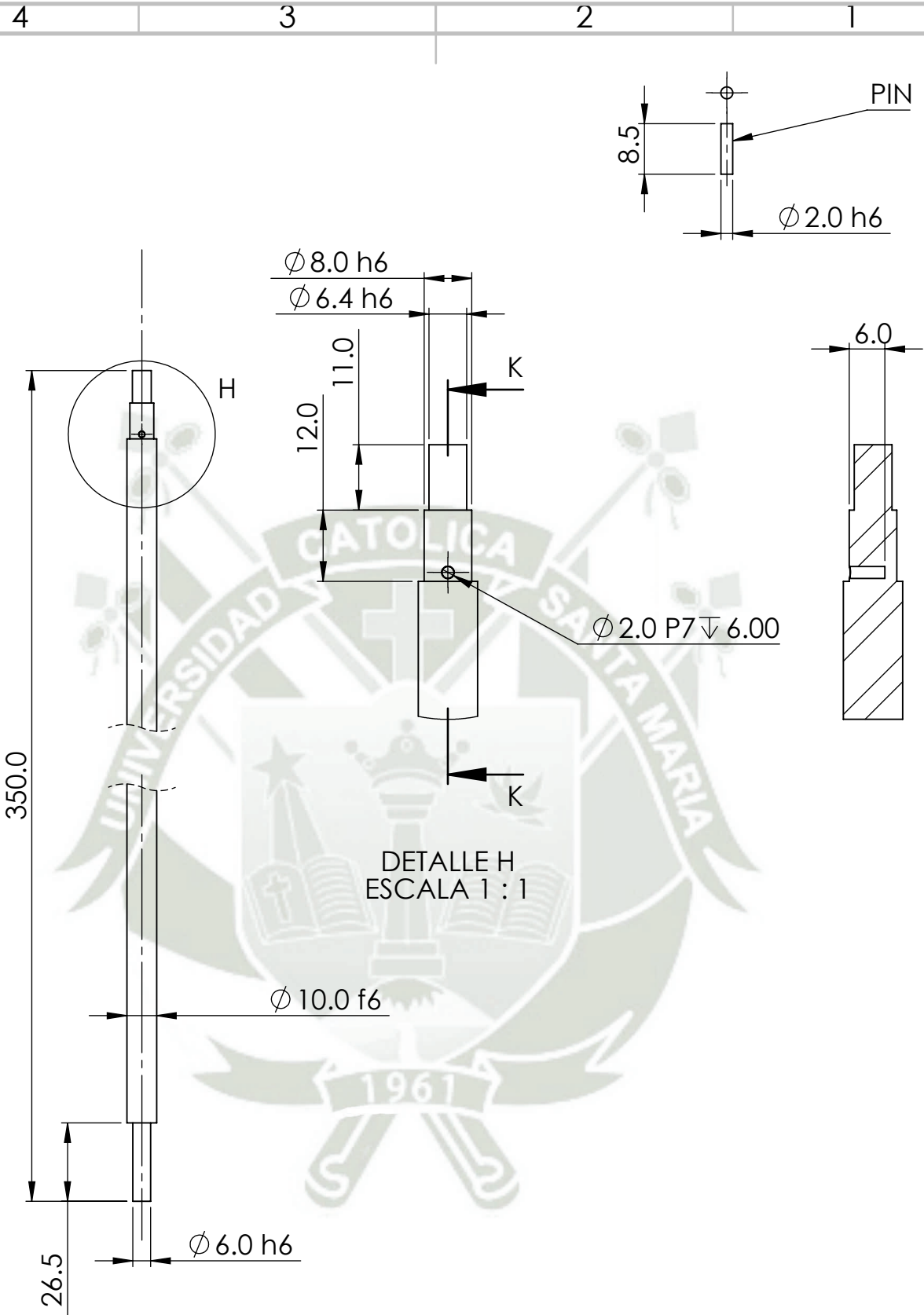
Proy. ISO - E

Reviso:

ESCALA:1:5

Aprovo:

Plano N°: 3.01



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	EJE R / PIN		
Conjunto:	SISTEMA DE TRANSMISIÓN / CARRO EJE X	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA: 1:2	
Aprova:		Plano N°:	3.01.01

4 3 2 1

F

F

E

E

D

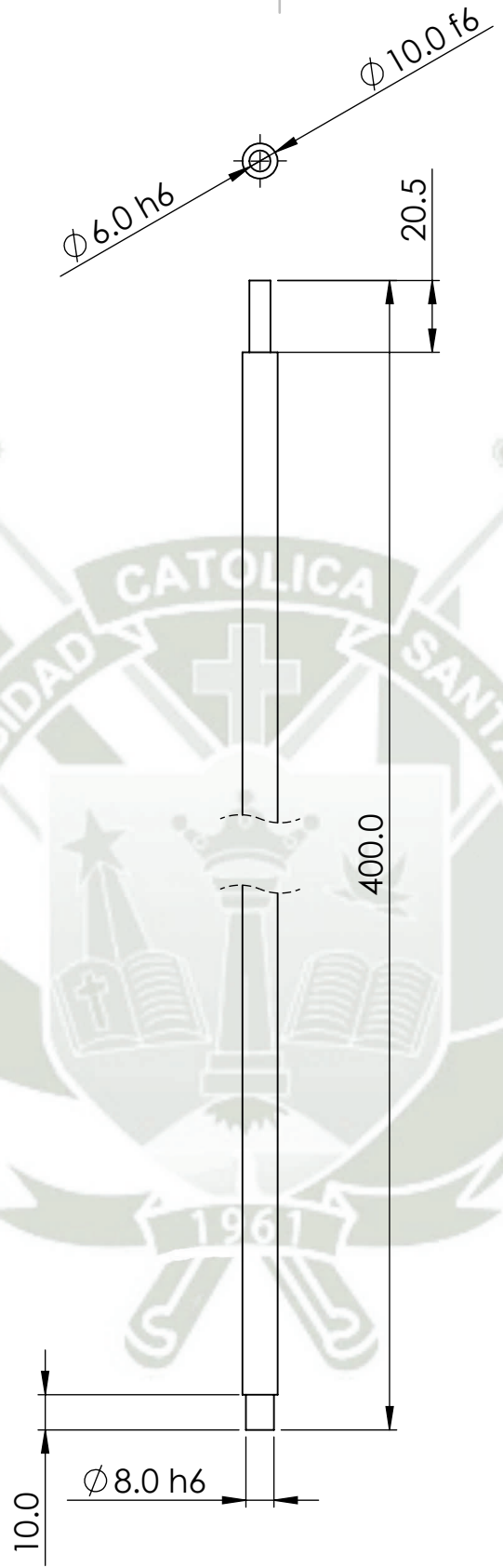
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC



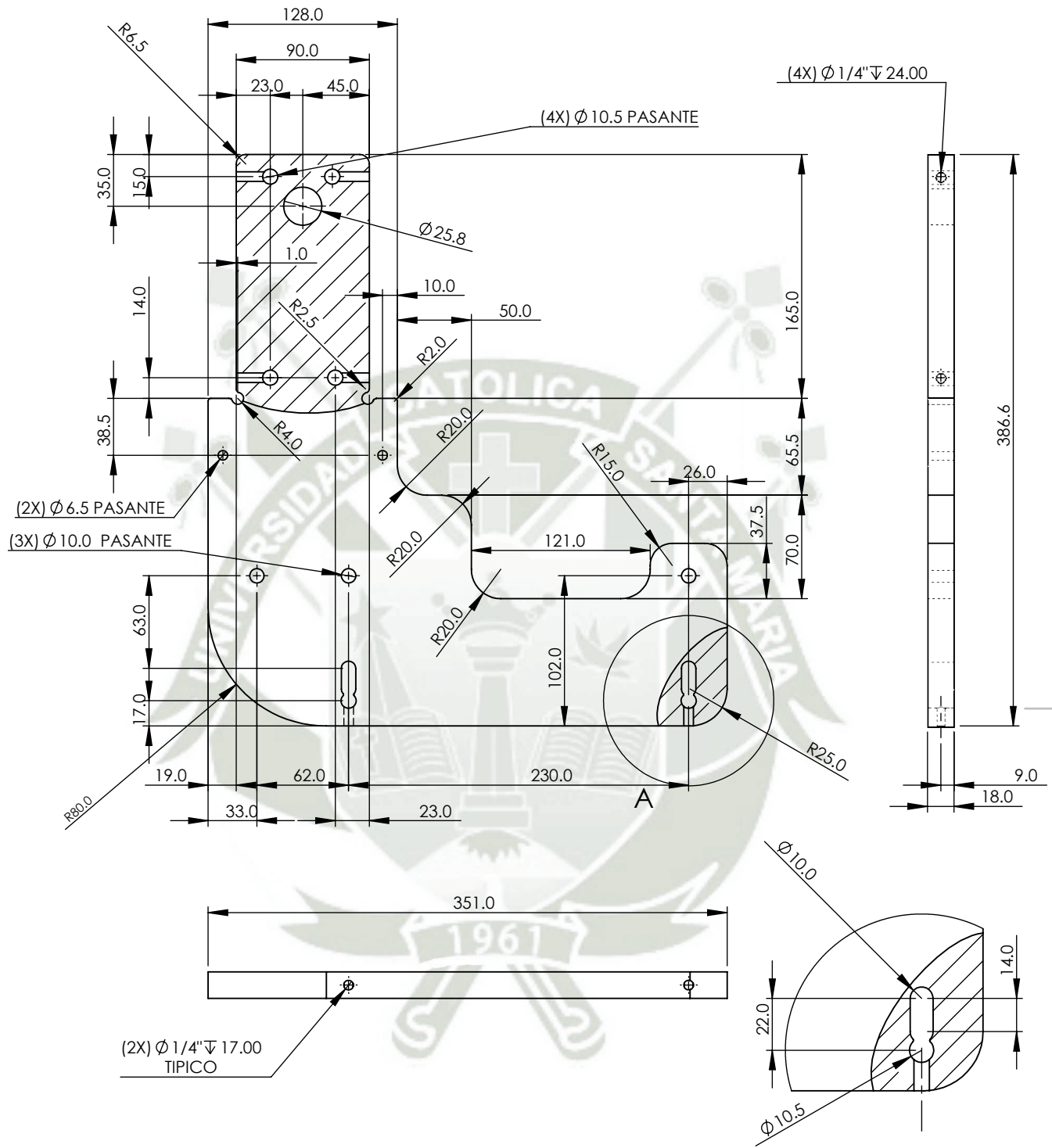
**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	EJE L		
Conjunto:	SISTEMA DE TRANSMISIÓN / CARRO EJE X	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:2	
Aprovo:		Plano N°:	3.01.02

A

A

4 3 2 1



DETALLE A  
ESCALA 2 : 5

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	SOPORTE LATERAL DE PUENTE		
Conjunto:	CARRO EJE X	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:4	
Aprovo:		Plano N°:	3.02



4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

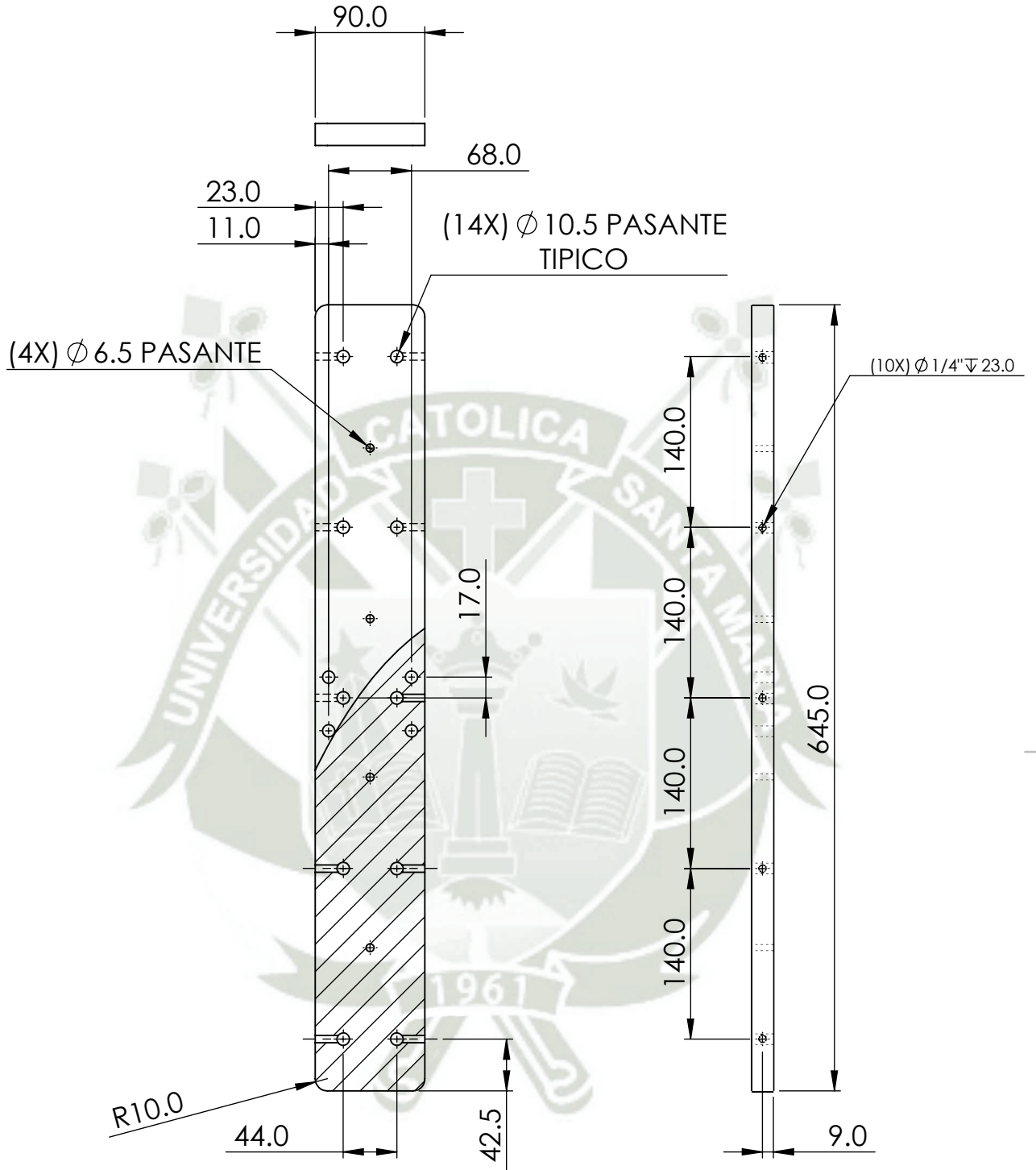
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

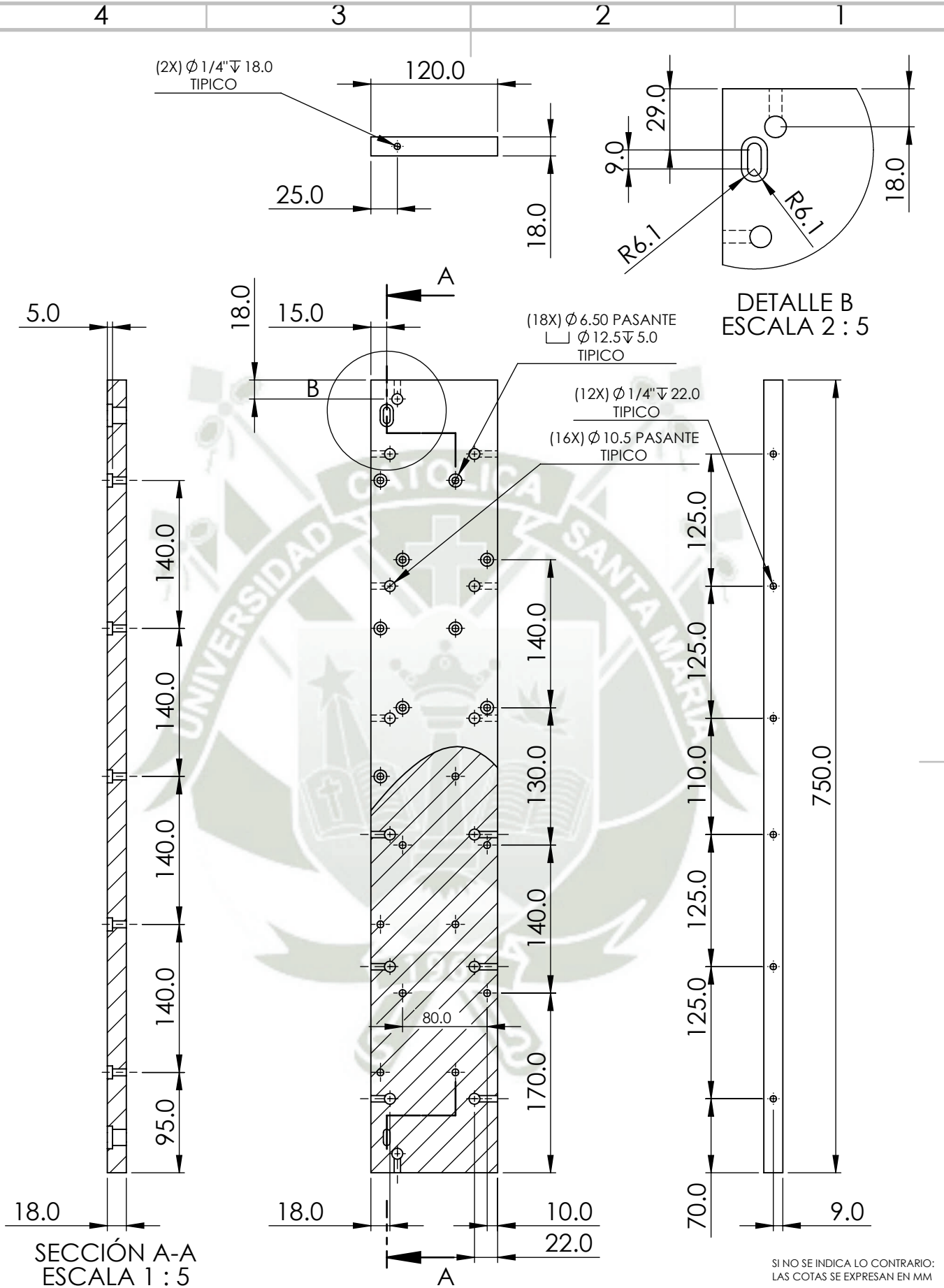
### ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	SOPORTE INFERIOR DE PUENTE		
Conjunto:	CARRO EJE X	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:5	
Aprovo:		Plano N°:	3.05

4 3 2 1



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 5

DETALLE B  
ESCALA 2 : 5

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ROUTER CNC

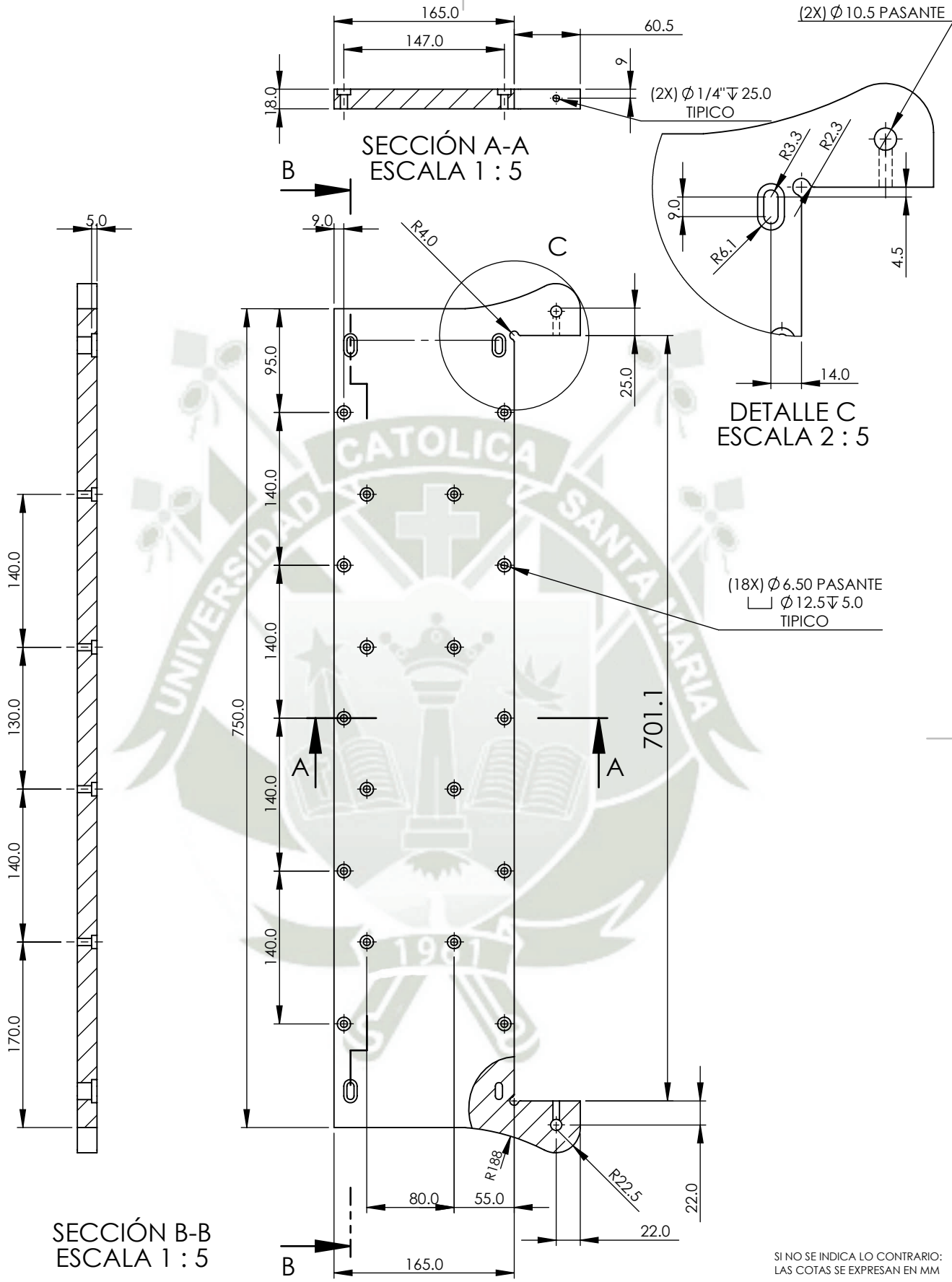


**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	BASE DE CARRILES DE DESLIZAMIENTO Y		
Conjunto:	CARRO EJE X	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:5	
Aprovo:		Plano N°:	3.05

A

A

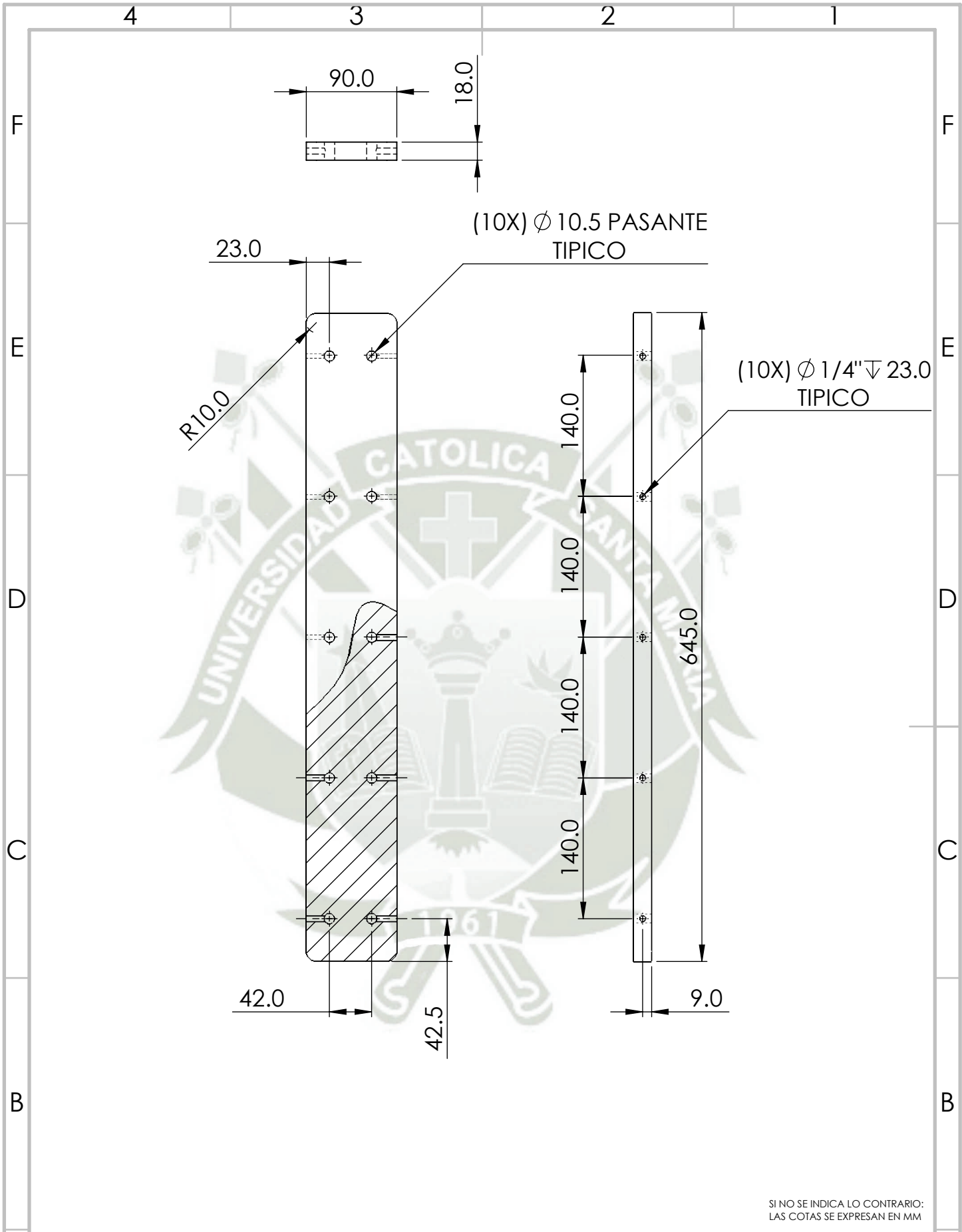


ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	SOPORTE POSTERIOR DE PUENTE		
Conjunto:	CARRO EJE X	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA: 1:5	
Aprovo:		Plano N°:	3.06



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

**ROUTER CNC**



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:		CUBIERTA SUPERIOR DE PUENTE	
Conjunto:		CARRO EJE X	Hoja: A4
Dibujo / Diseño:		RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E
Reviso:			ESCALA:1:5
Aprovo:			Plano N°: 3.07

A

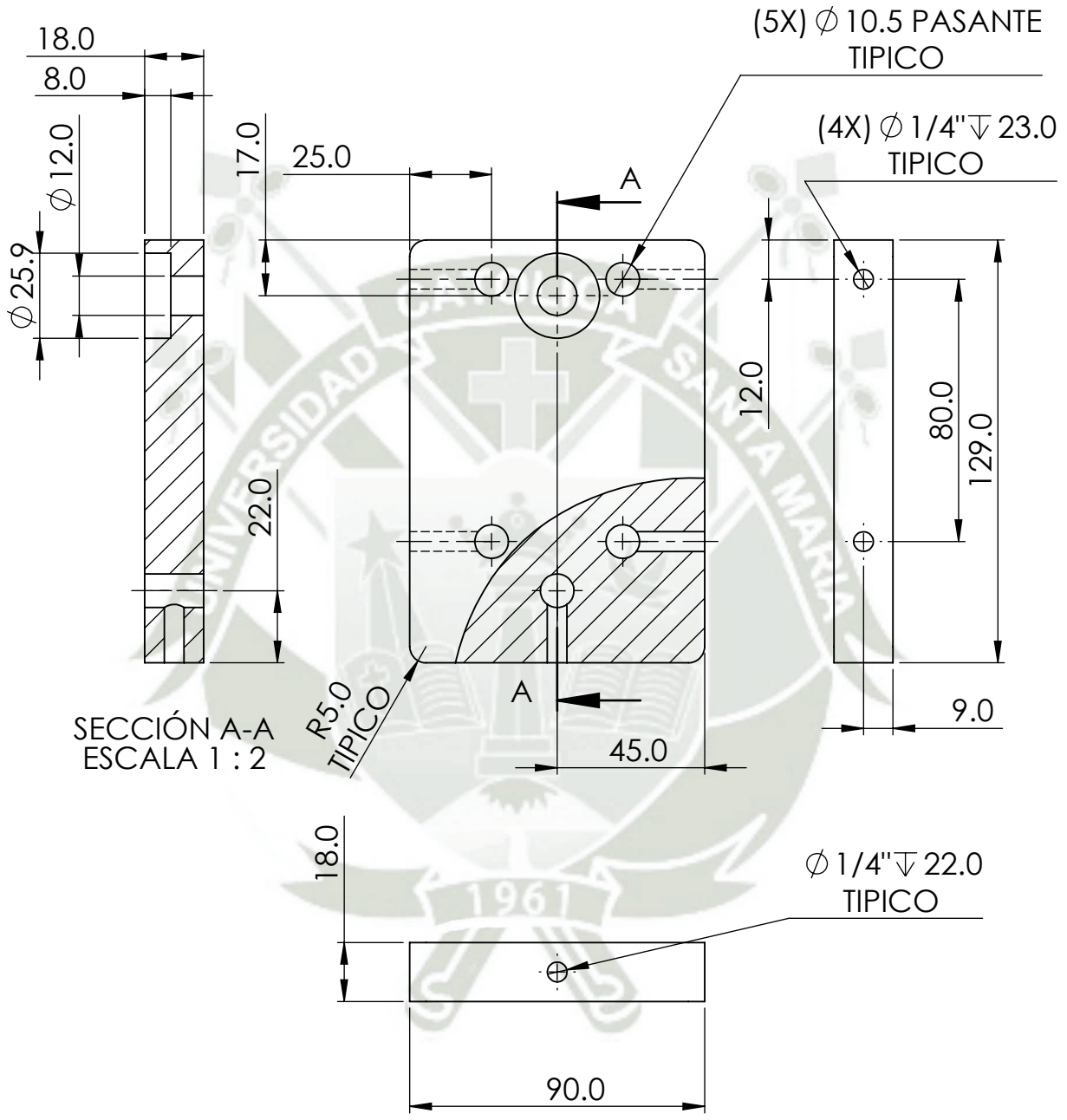
A

4

3

2

1



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2

R5.0  
TÍPICO

(5X)  $\phi$  10.5 PASANTE  
TÍPICO

(4X)  $\phi$  1/4"  $\nabla$  23.0  
TÍPICO

$\phi$  1/4"  $\nabla$  22.0  
TÍPICO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	SOPORTE GUIA EJE X		
Conjunto:	CARRO EJE X	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA: 1:2	
Aprova:		Plano N°:	3.08

4 3 2 1

F

F

E

E

D

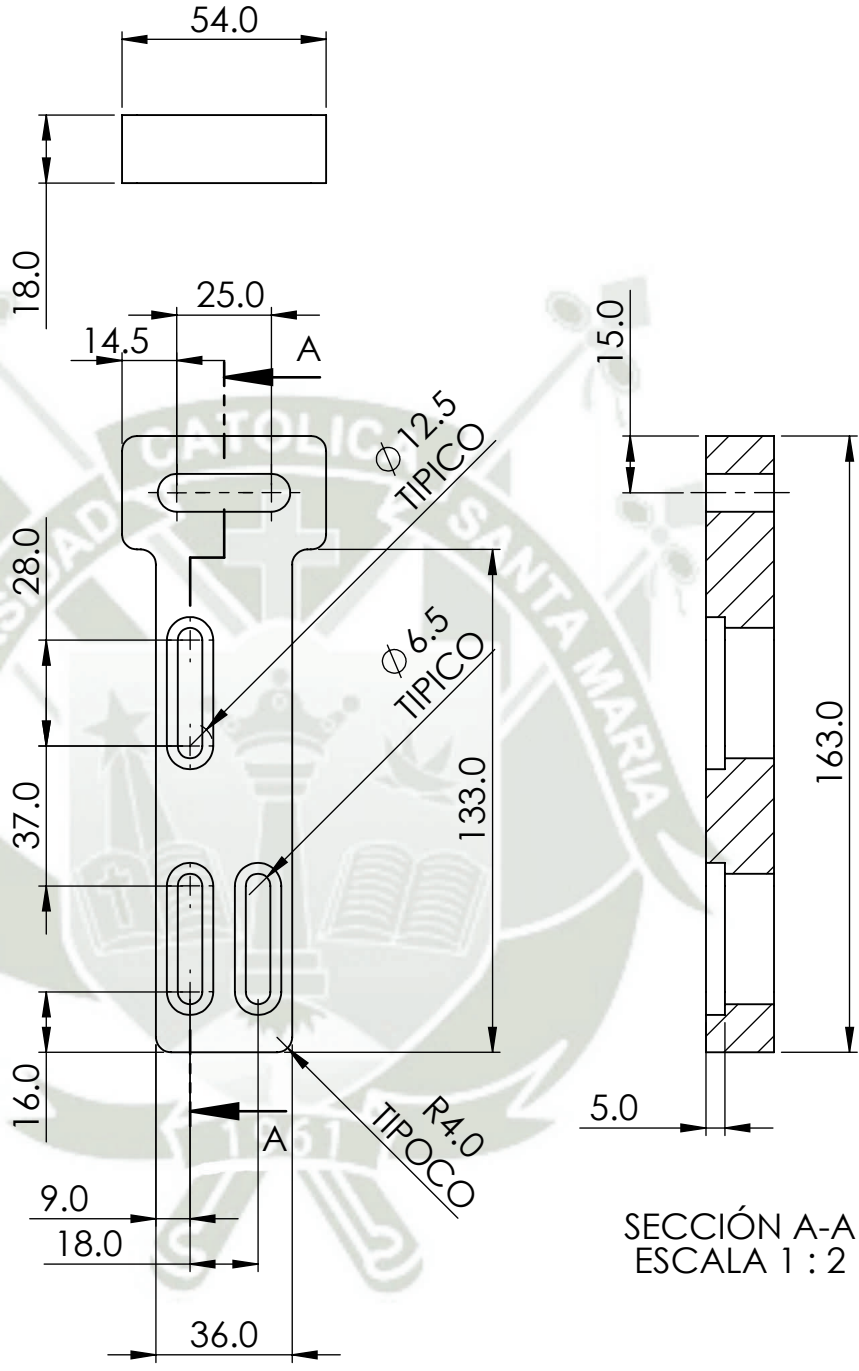
D

C

C

B

B



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	REGULADOR DE ALTURA DE CADENA R		
Conjunto:	CARRO EJE X	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA: 1:5	
Aprovo:		Plano N°:	3.09

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

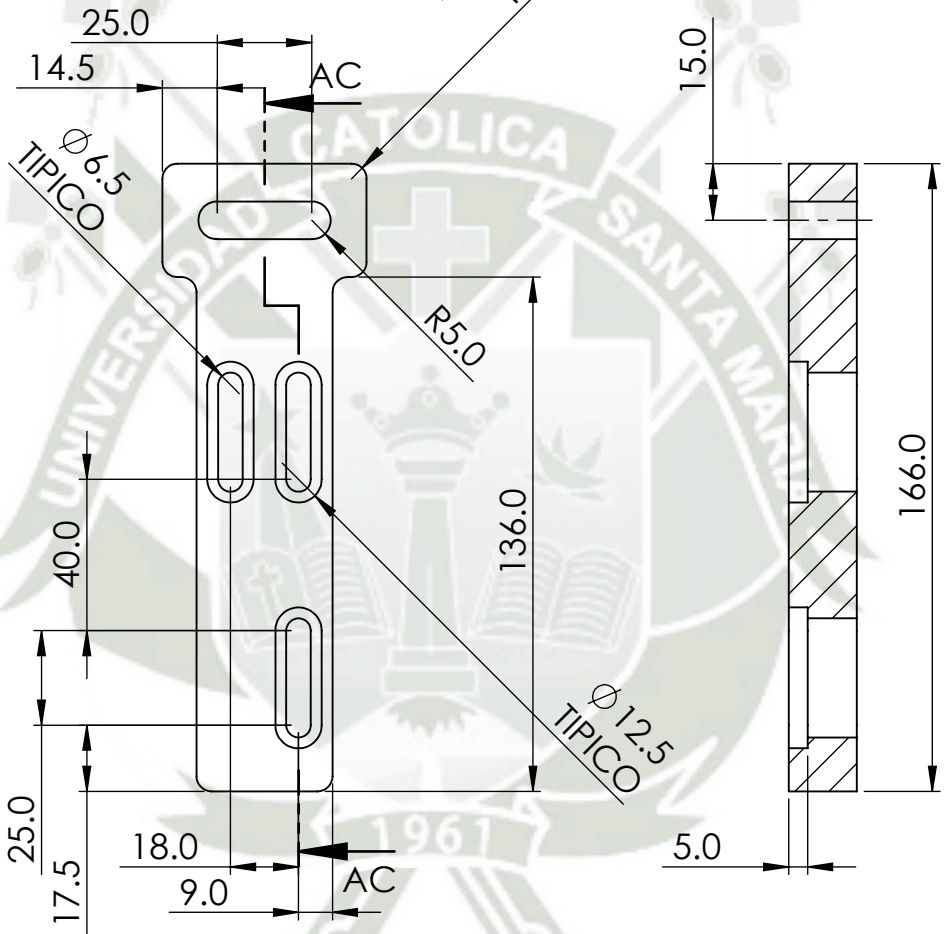
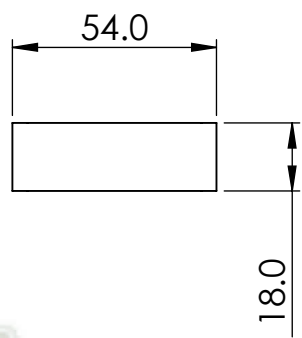
C

B

B

A

A



SECCIÓN AC-AC  
ESCALA 1 : 2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	REGULADOR DE ALTURA DE CADENA L		
Conjunto:	CARRO EJE X	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:2	
Aprovo:		Plano N°:	3.10

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

76.0

1/8"

(4X) Ø 10.0 PASANTE

E

E

D

D

68.0

90.0

C

C

11.0

16.0

44.0

R1.0  
TÍPICO

B

B

LA FABRICACIÓN SE REALIZARA EN  
UNA PLANCHA DE 1/8 DE ESPESOR

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC

A

A



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:		SOPORTE DE FIJACIÓN INFERIOR DE MOTOR	
Conjunto:		CARRO EJE X	Hoja: A4
Dibujo / Diseño:		RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E
Reviso:			ESCALA:1:1
Aprovo:			Plano N°: 3.11

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

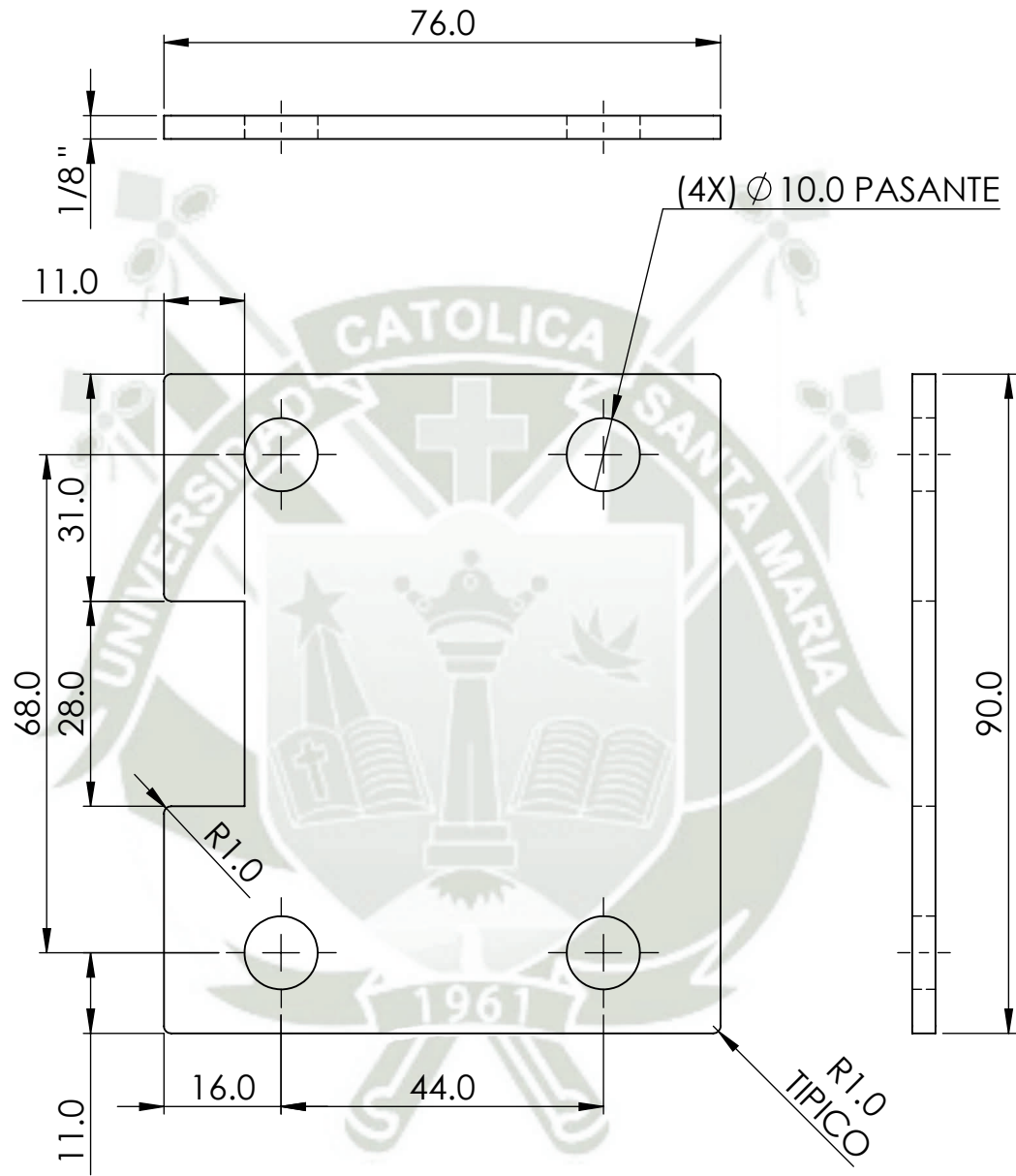
D

C

C

B

B



LA FABRICACIÓN SE REALIZARA EN UNA PLANCHA DE 1/8 DE ESPESOR

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC



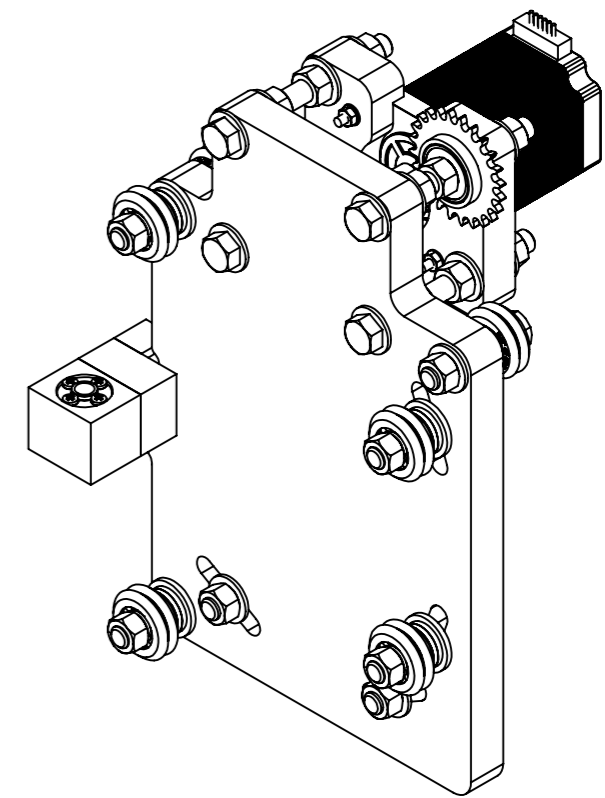
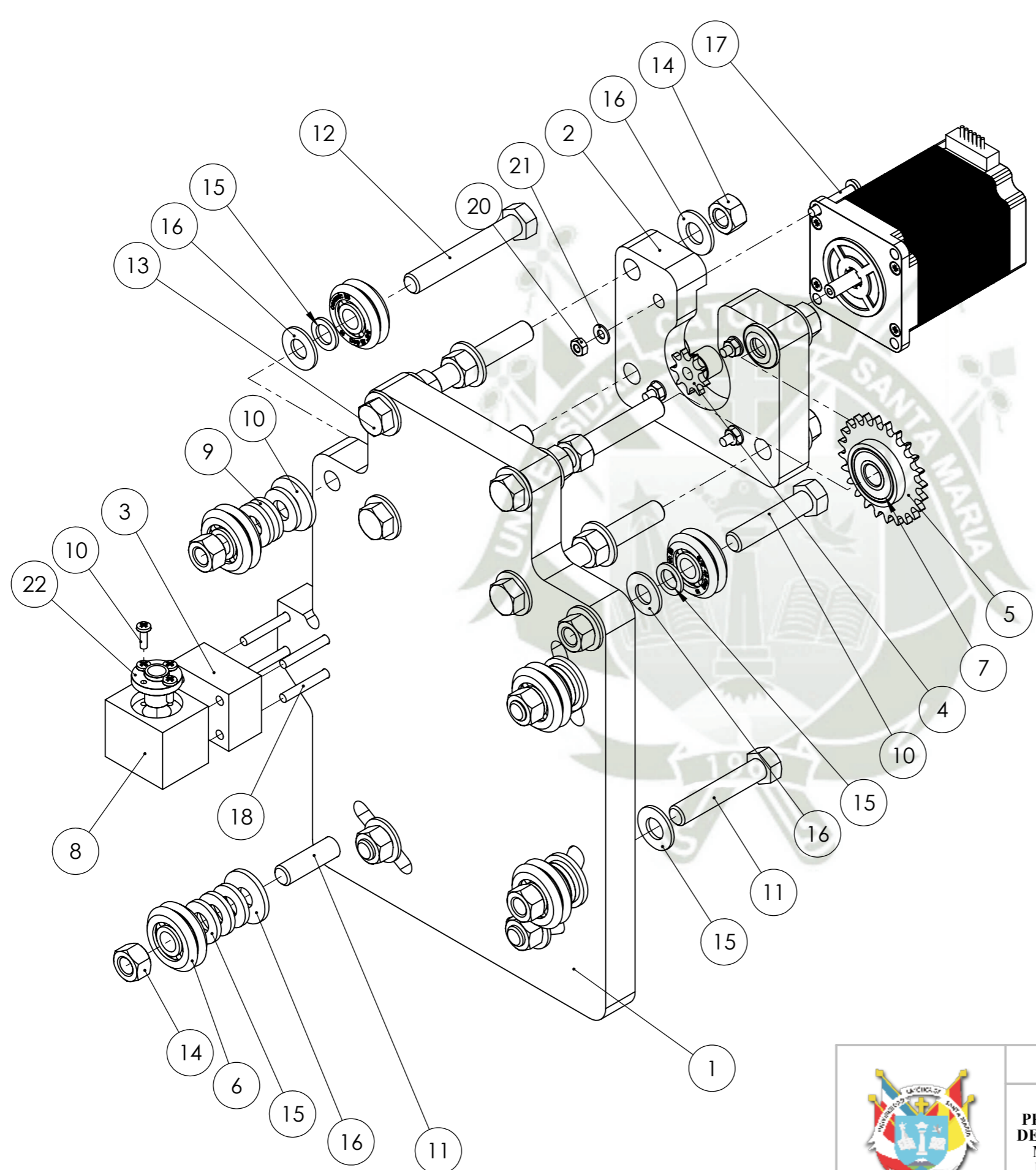
**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título: <b>SOPORTE DE FIJACIÓN SUPERIOR DE MOTOR</b>		Hoja: <b>A4</b>	
Conjunto: <b>CARRO EJE X</b>		Proy. <b>ISO - E</b>	
Dibujo / Diseño: <b>RICHARD LAURA H.</b>		ESCALA: <b>1:1</b>	
Reviso:		Plano N°: <b>3.12</b>	
Aprovo:			

4 3 2 1

A

A



22	1	Tuerca Acme		T8
21	8	Arandela plana biselada	DIN 125 A	Ø4
20	4	Tuerca hexagonal	DIN 934	M4 mg 5.8
19	4	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M3x10 mg 5.8
18	4	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M4x45 mg 5.8
17	4	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M4x25 mg 5.8
16	9	Arandela Plana biselada	ANSI B 18.22.1-W	Ø3/8"
15	32	Arandela Plana biselada	ANSI B 18.22.1-N	Ø3/8"
14	19	Tuerca Hexagonal	ASME B 18.2.2	3/8" UNC
13	4	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 3.5" UNC
12	1	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 2.5" UNC
11	3	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 2" UNC
10	3	Tornillo Hexagonal todo roscado	ASME B 18.2.1	3/8" x 1.75" UNC
9	1	Stepper Motor		NEMA 23
8	1	Base Tuerca Acme		
7	1	Rodamiento Rigido de Bolas	DIN 625	6000 (10x26x8)
6	8	Rodamiento V GROOVE		RM2ZZ 3/8"
5	1	Sprocket 24T		04C24T #25
4	1	Sprocket 9t		04C9T #25
3	1	Distanciador		MDF - 18MM
2	1	Soporte Motor Y		MDF - 18MM
1	1	Base Carro Deslizante Y		MDF - 18MM
Marca	Nº Pieza	Designacion y Observaciones	Norma	Material y Medidas

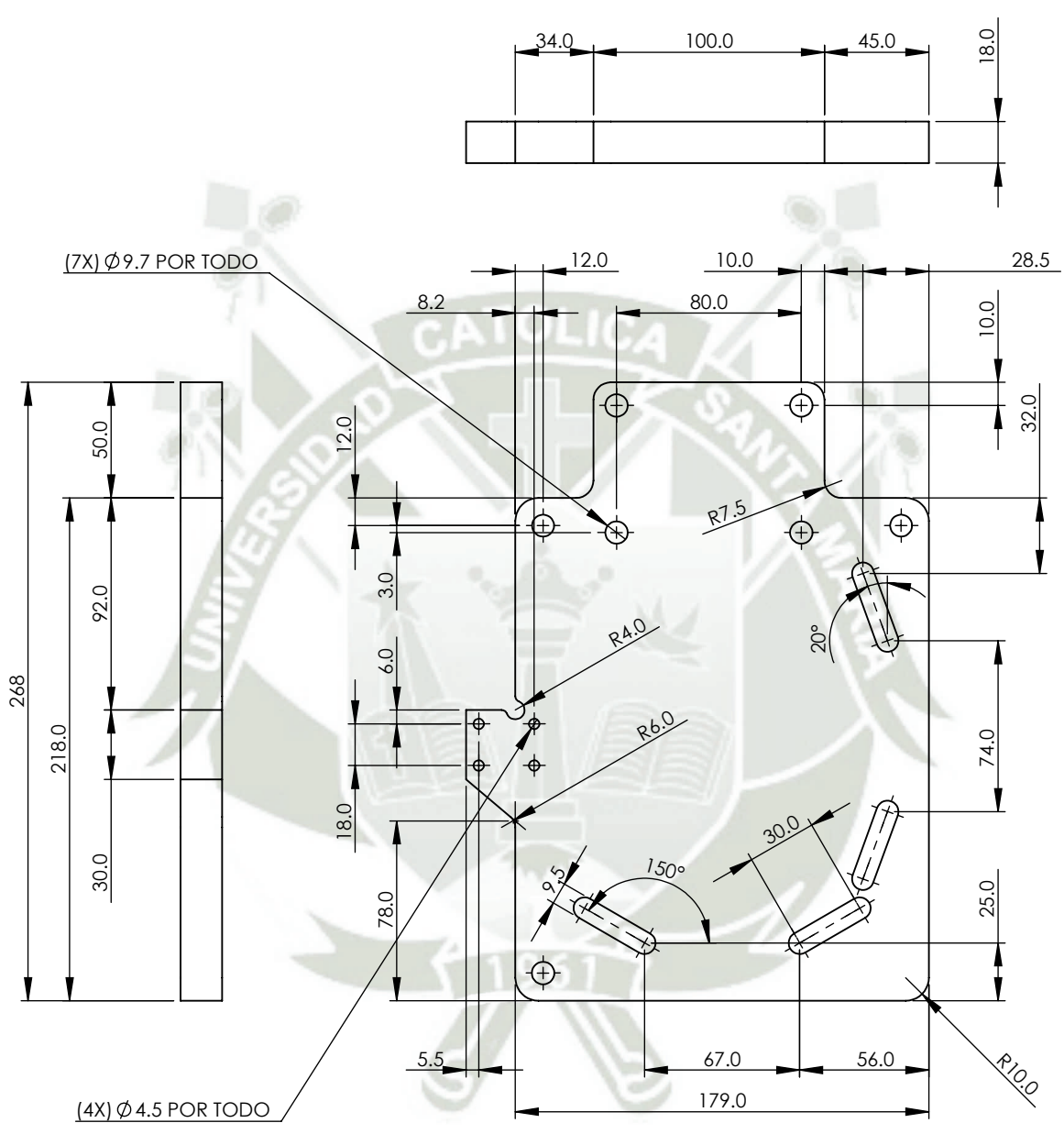
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

**ROUTER CNC**

Título:		CARRO EJE Y	
Conjunto:		CARRO EJE Y	
Dibujo / Diseño:		RICHARD LAURA H.	Hoja: A3
Reviso:			Proy. ISO - E
Aprovo:			ESCALA:1:2
			Plano Nº: 4.00



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC



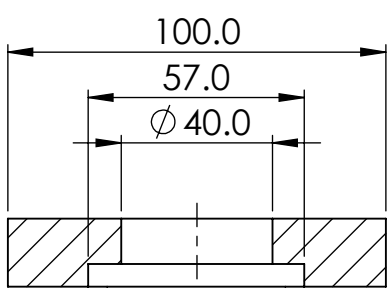
**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	BASE CARRO DESLIZANTE Y		
Conjunto:	CARRO EJE Y	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA: 1:3	
Aprova:		Plano N°:	4.01

4 3 2 1

F

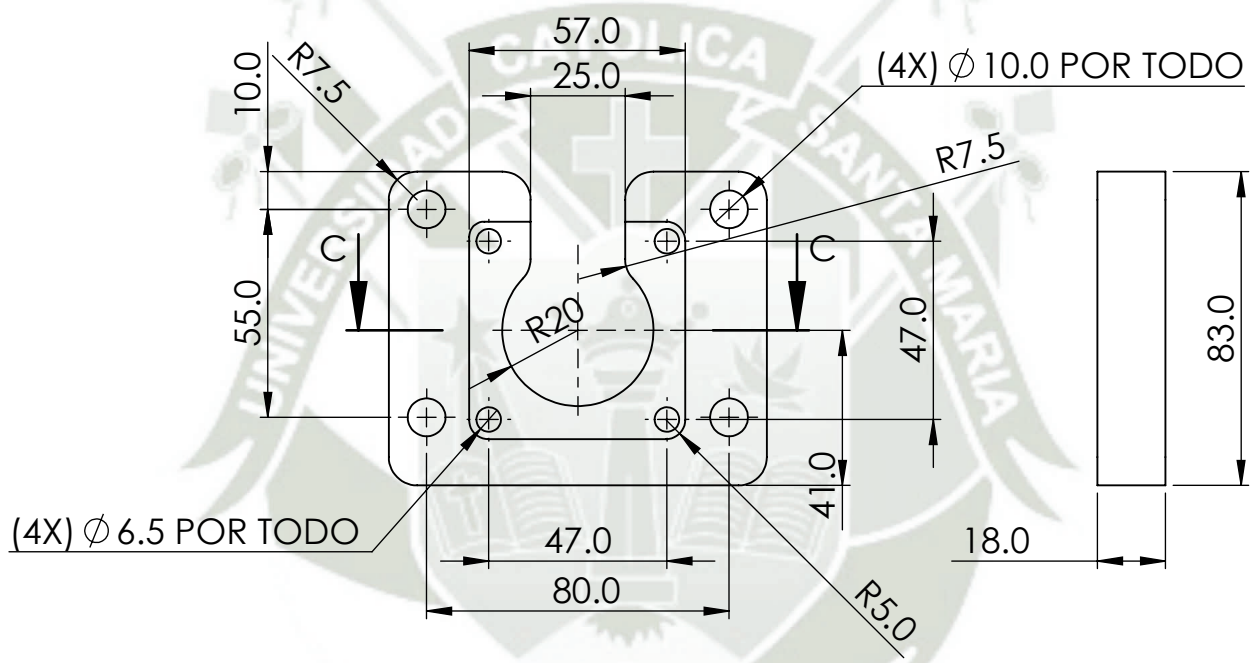
F



SECCIÓN C-C

E

E



D

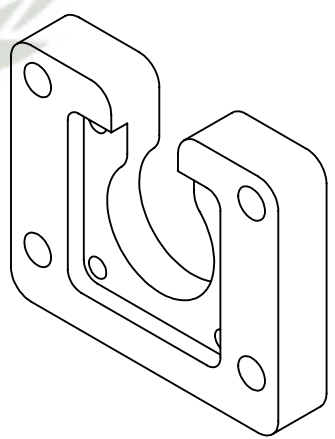
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC

A

A



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:		SOPORTE MOTOR Y	
Conjunto:		CARRO EJE Y	Hoja: A4
Dibujo / Diseño:		RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E
Reviso:			ESCALA:1:2
Aprovo:			Plano N°: 4.02

4 3 2 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

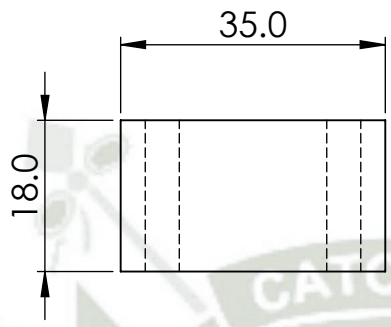
D

C

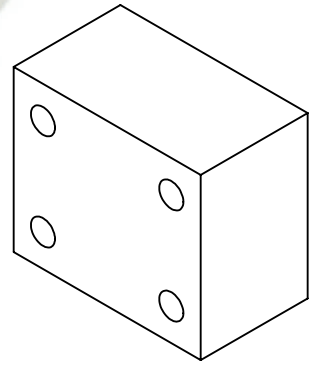
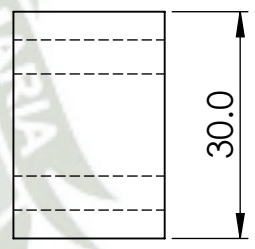
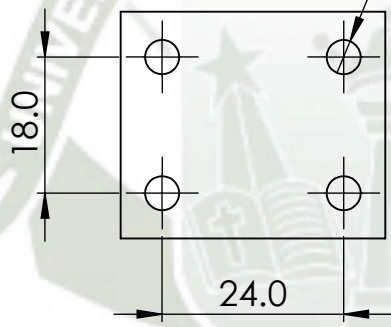
C

B

B



(4X)  $\phi$  4.5 POR TODO



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	DISTANCIADOR		
Conjunto:	CARRO EJE Y	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:1	
Aprovo:		Plano N°:	4.03

4

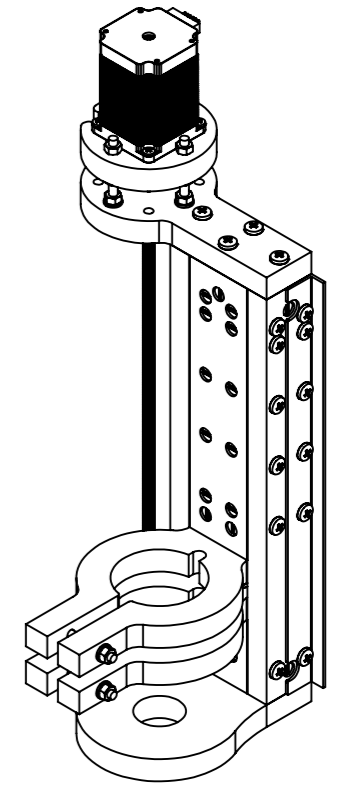
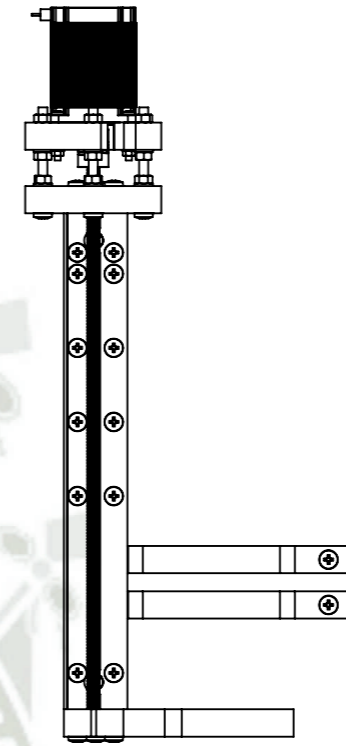
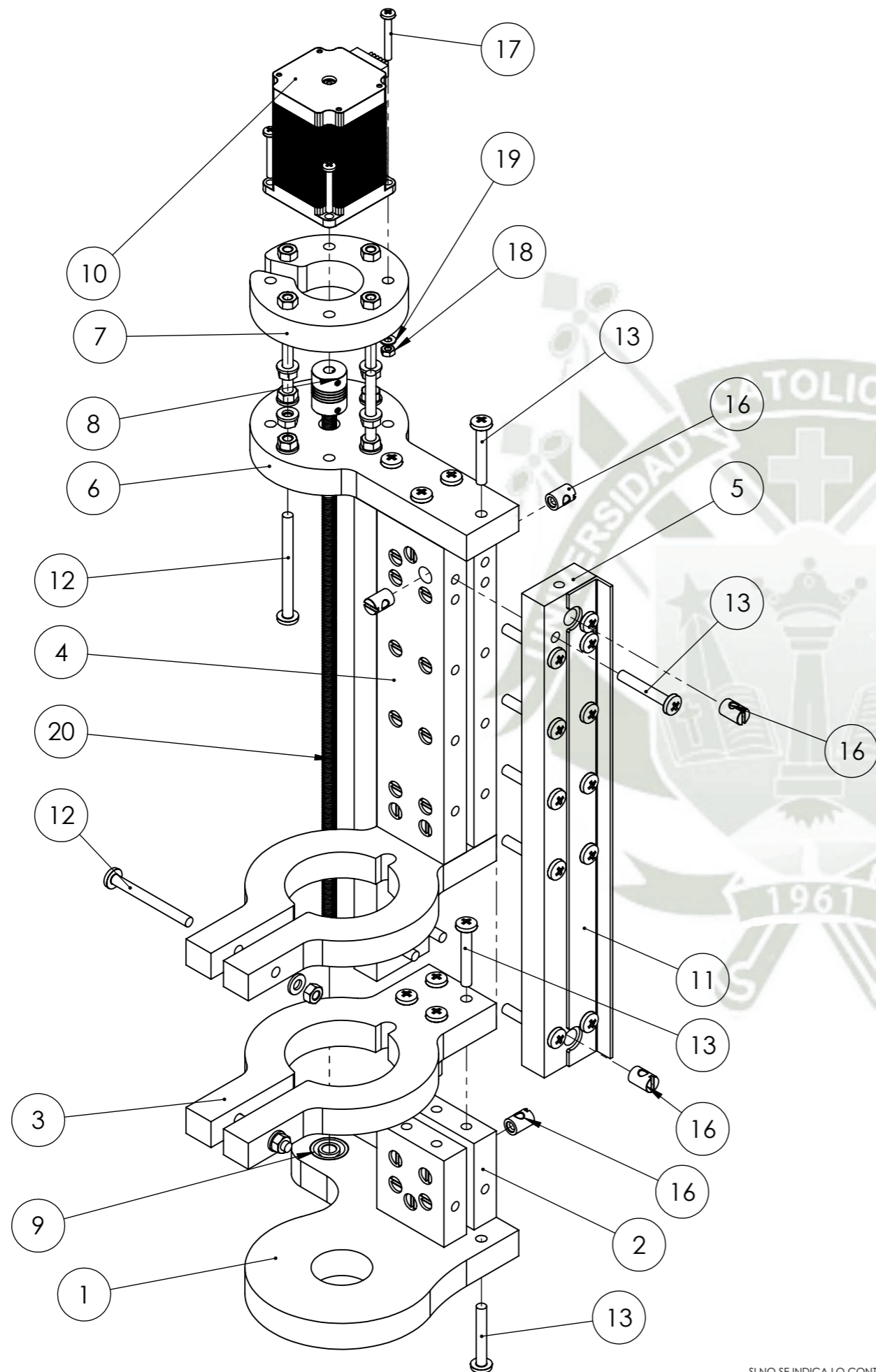
3

2

1

A

A



20	1	Tornillo de potencia		T8
19	4	Arandela plana biselada	DIN 125 A	Ø4
18	4	Tuerca hexagonal	DIN 934	M4 mg 5.8
17	4	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M4x30 mg 5.8
16	42	Cross dowel	DIN 13	M6
15	10	Arandela plana biselada	DIN 125 A	Ø6
14	14	Tuerca hexagonal	DIN 934	M6 mg 5.8
13	42	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x40 mg 5.8
12	6	Tornillo máquina - Ranura Phillips	DIN 7985	M6x60 mg 5.8
11	2	Carriles de deslizamiento (Perfil L)	041 130	AL 6061 - 1/2 x1"
10	1	Motor Nema 23		
9	1	Rodamiento Rigido de Bolas	DIN 625	608 (8x22x7)
8	1	Acople flexible		6.35 x 8MM
7	1	base de motor		MDF - 18MM
6	1	Cubierta superior de carro		MDF - 18MM
5	2	base de carril lateral		MDF - 18MM
4	2	Base superior de carro		MDF - 18MM
3	2	Abrazadera porta herramienta		MDF - 18MM
2	2	Base inferior de carro		MDF - 18MM
1	1	Cubierta inferior de carro		MDF - 18MM
Marca	Nº	Desigancion y Observaciones	Norma	Material y Medidas
Pieza				

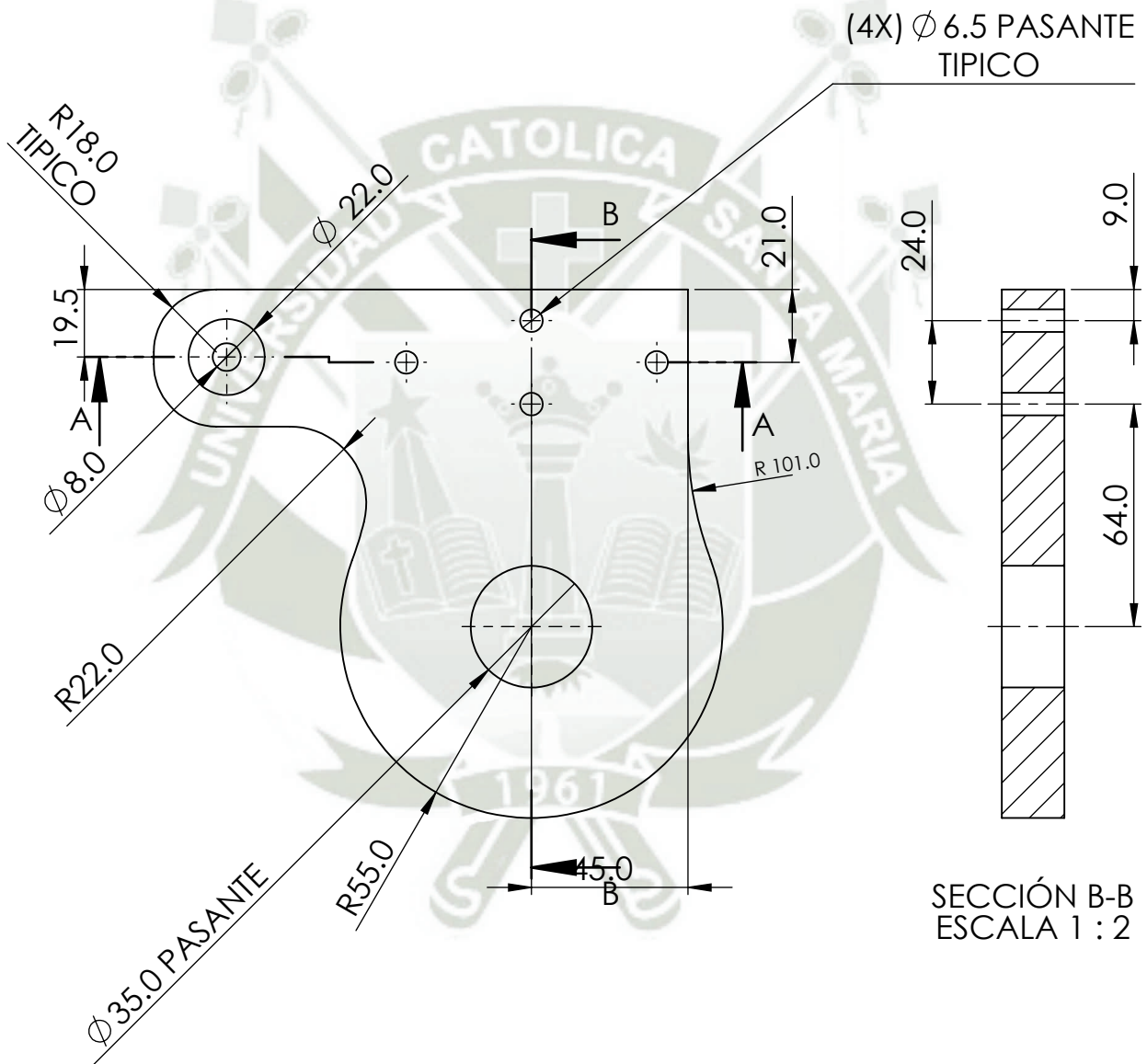
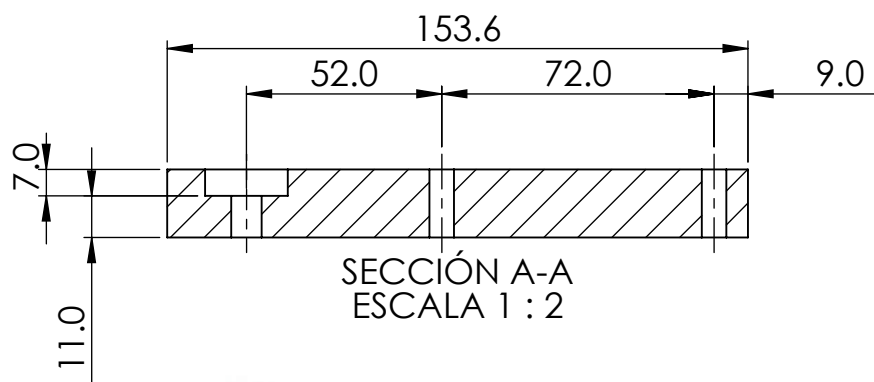
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

## ROUTER CNC

Título:	ENSAMBLE - Carro eje z		
Conjunto:	Ensamble Carro eje Z	Hoja:	A3
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:10	
Aprovo:		Plano Nº:	5.00



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	CUBIERTA INFERIOR DE CARRO		
Conjunto:	CARRO EJE Z	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:2	
Aprovo:		Plano N°:	5.01

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

C

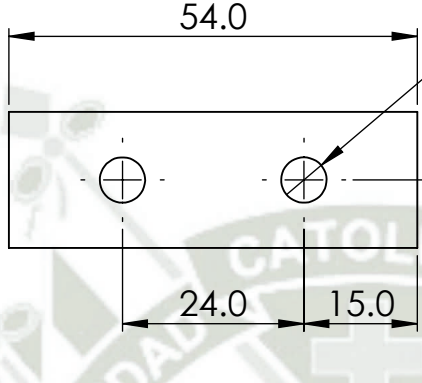
B

B

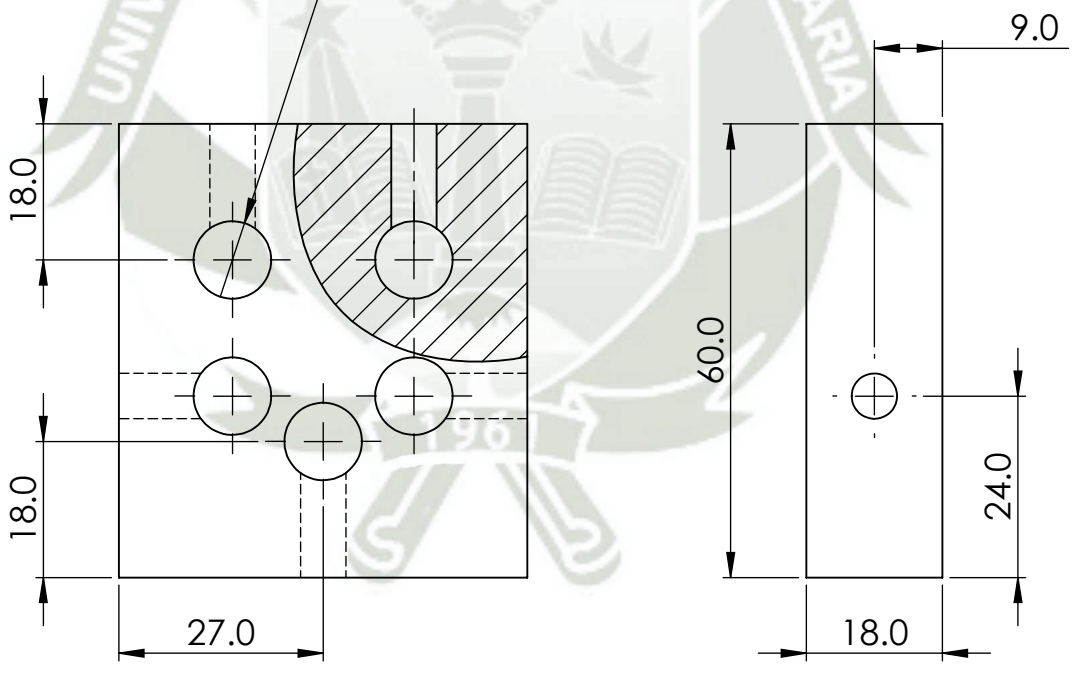
A

A

(5X)  $\varnothing$  1/4"  $\nabla$  18.00  
TIPICO



(5X)  $\varnothing$  10.3 PASANTE  
TIPICO



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	BASE INFERIOR DE CARRO		
Conjunto:	CARRO EJE Z	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA: 1:1	
Aprovo:		Plano N°:	5.02

4 3 2 1

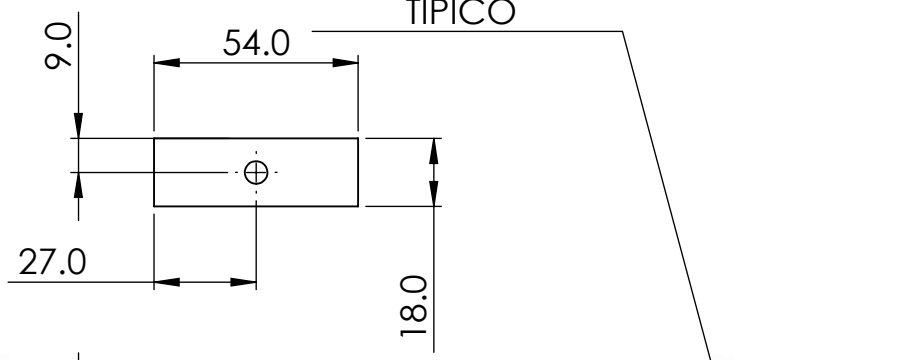


4 3 2 1

F

F

(13X)  $\varnothing 1/4" \nabla 18.0$   
TIPICO



E

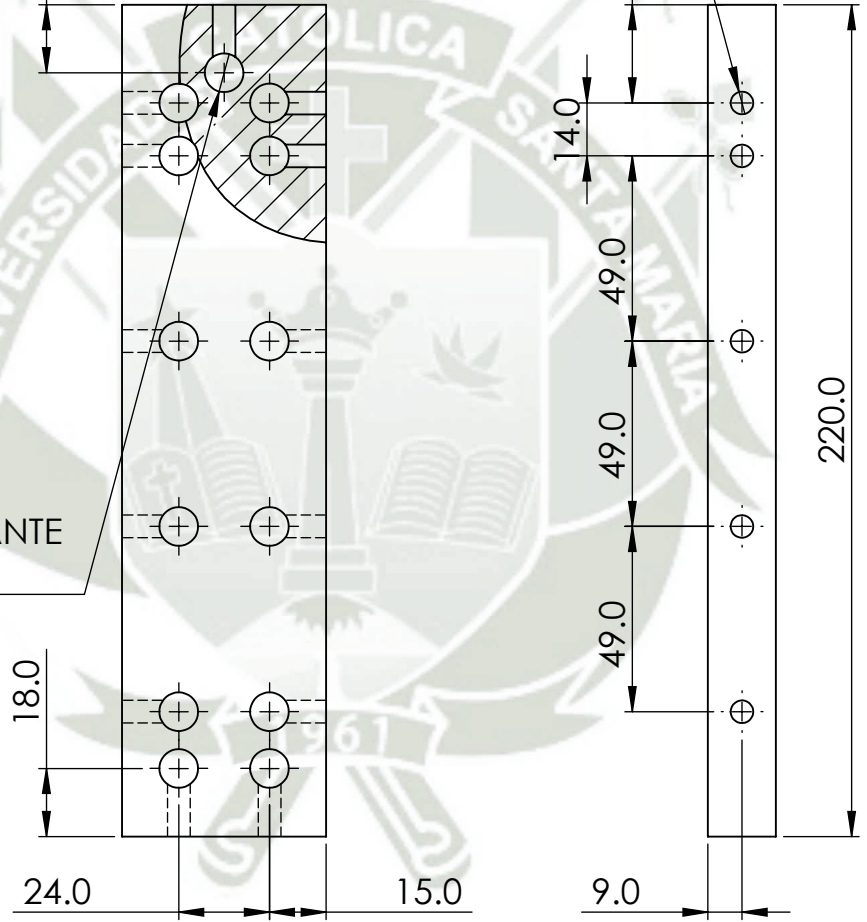
E



D

D

(13X)  $\varnothing 10.3$  PASANTE  
TIPICO



C

C

B

B

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

### ROUTER CNC



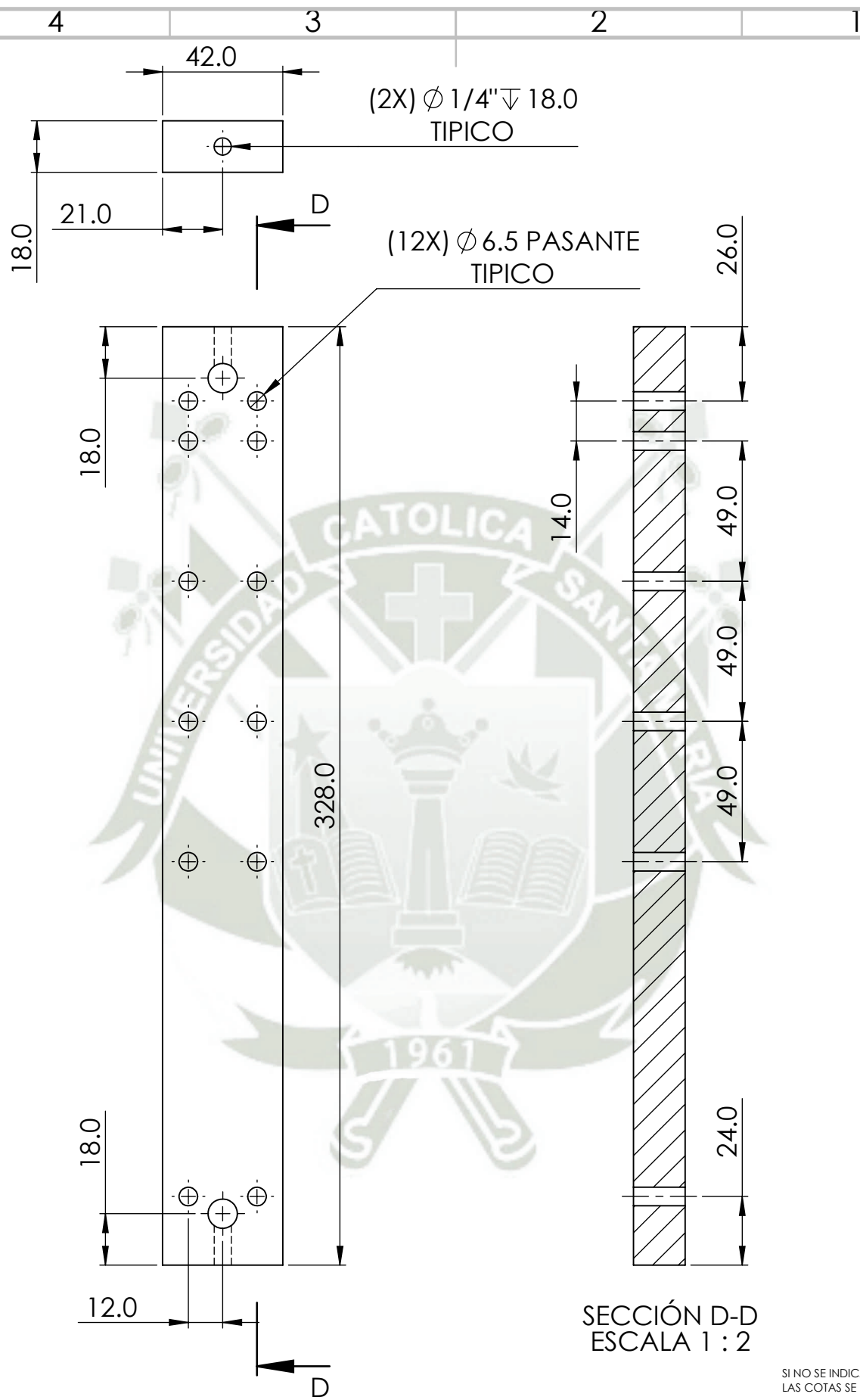
**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	BASE SUPERIOR DE CARRO		
Conjunto:	CARRO EJE Z	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA: 1:2	
Aprova:		Plano N°:	5.04

A

A

4 3 2 1



SECCIÓN D-D  
ESCALA 1 : 2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ROUTER CNC



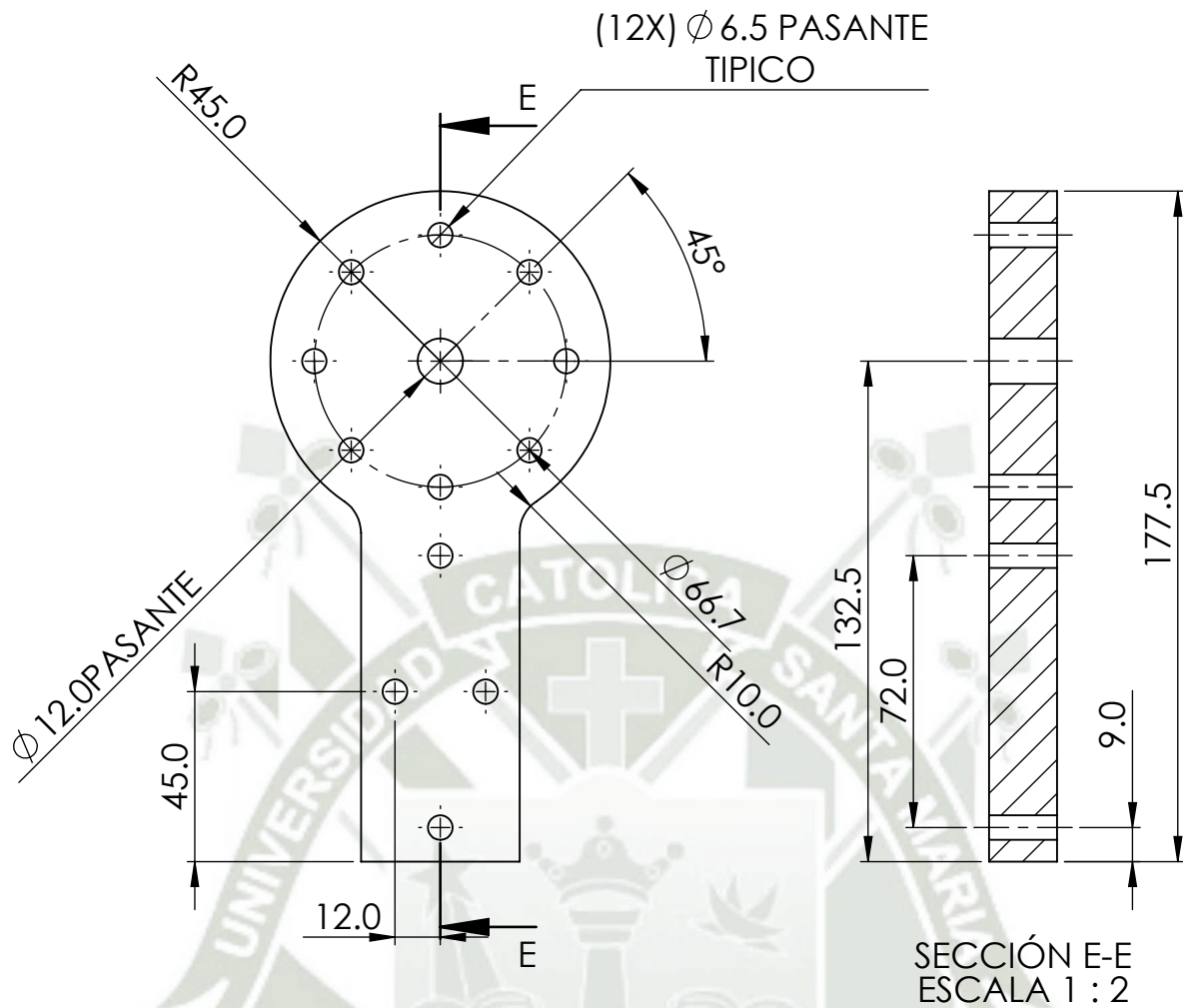
**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:		BASE DE CARRIL LATERAL	
Conjunto:		CARRO EJE Z	Hoja: A4
Dibujo / Diseño:		RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E
Reviso:			ESCALA:1:2
Aprovo:			Plano N°: 5.05

A

A

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

## ROUTER CNC



**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título: CUBIERTA SUPERIO DE CARRO

Conjunto: CARRO EJE Z

Hoja: A4

Dibujo / Diseño: RICHARD LAURA H.

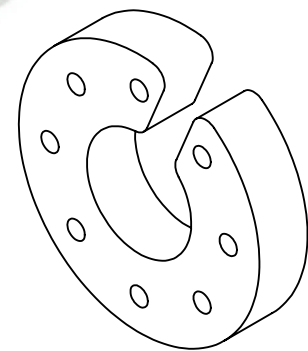
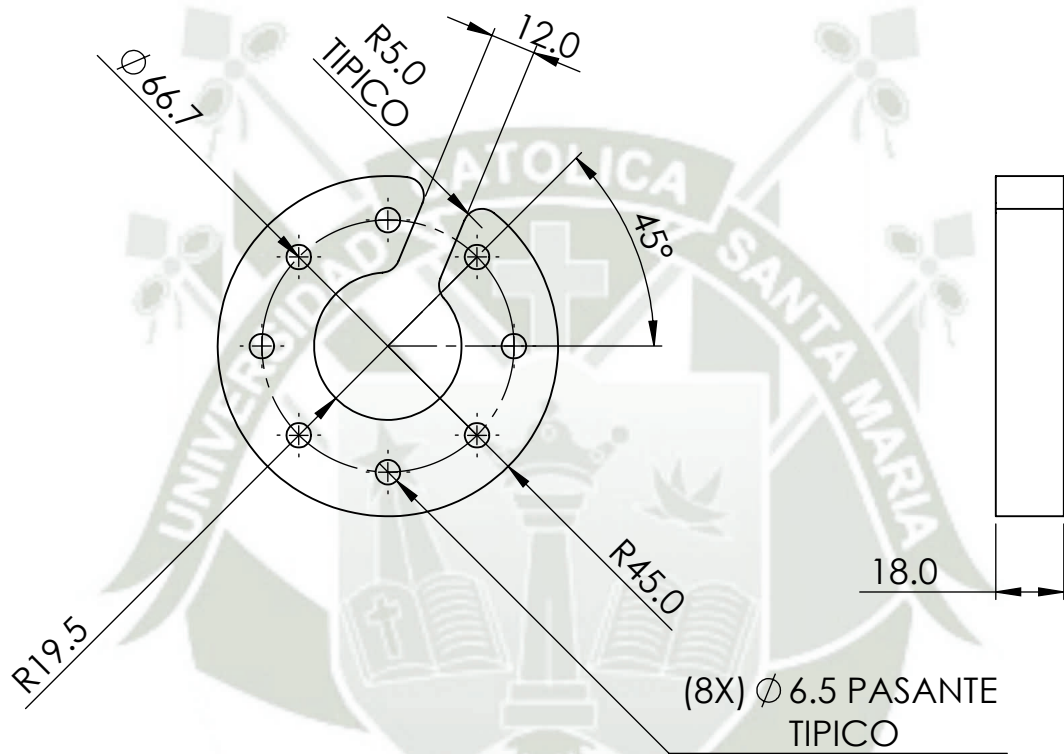
Proy. ISO - E

Reviso:

ESCALA: 1:2

Aprovo:

Plano N°: 5.06



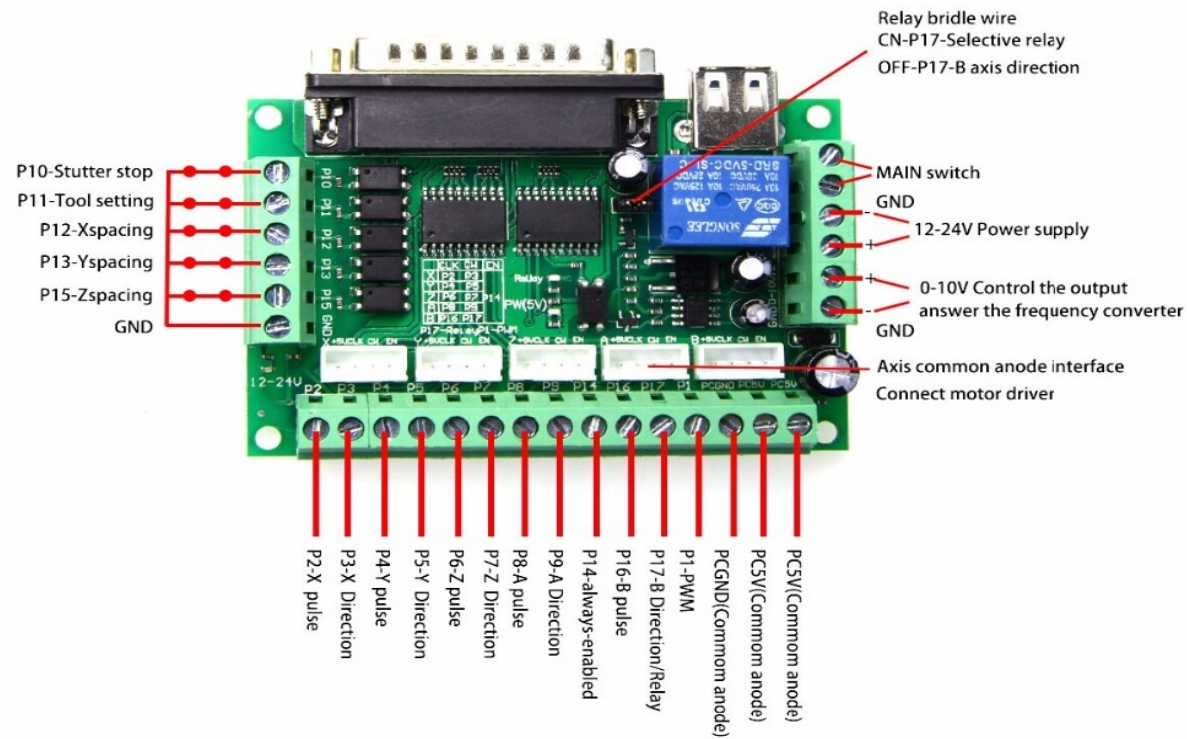
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

## ROUTER CNC

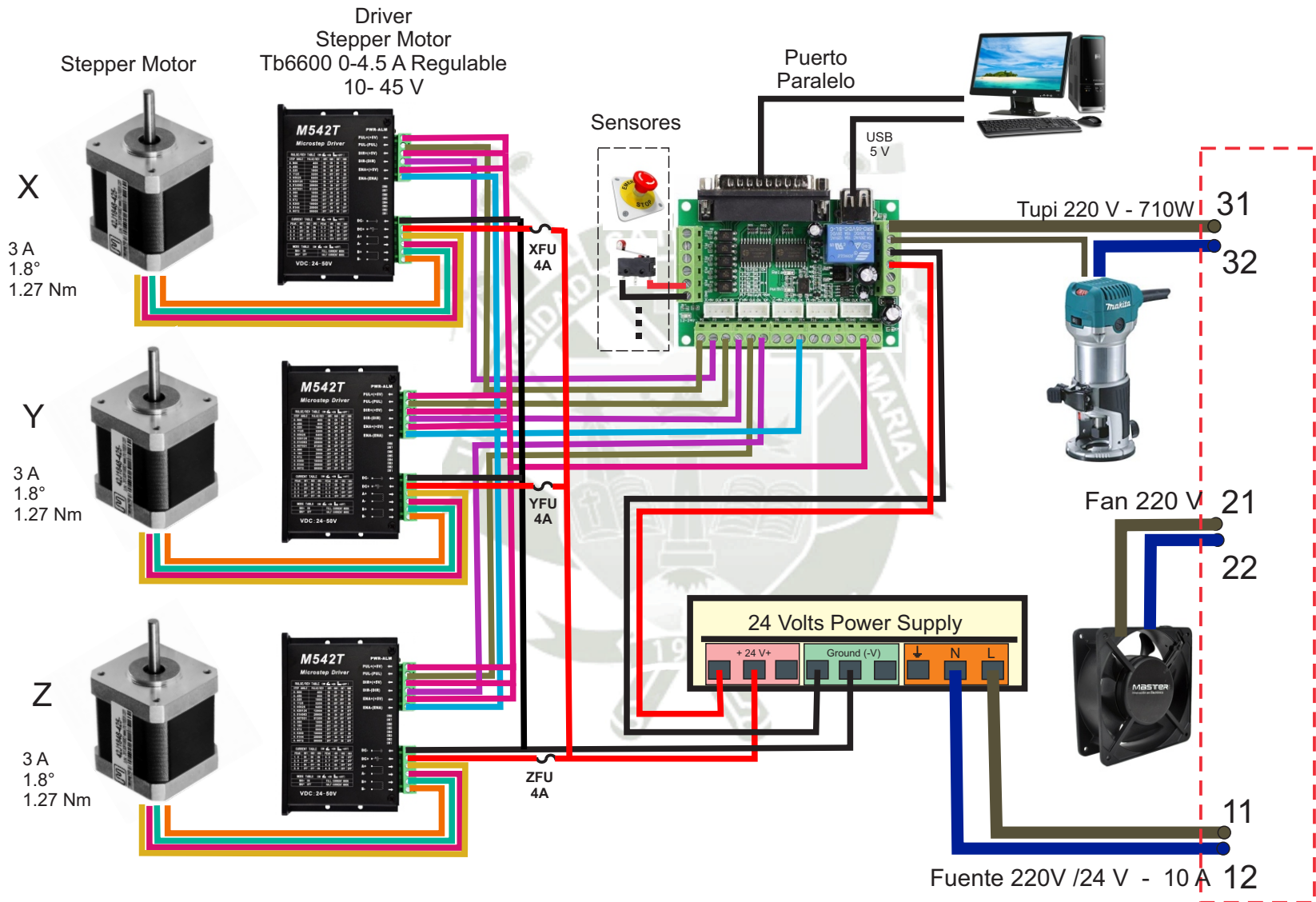


**ESCUELA  
PROFESIONAL  
DE INGENIERIA  
MECÁNICA,  
MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y  
MECATRÓNICA**

Título:	BASE DE MOTOR		
Conjunto:	CARRO EJE Z	Hoja:	A4
Dibujo / Diseño:	RICHARD LAURA H.	Proy. ISO - E	
Reviso:		ESCALA:1:2	
Aprovo:		Plano N°:	5.07



Nombres		Firmas		Titulo		Fecha: 29/06/2018	Hoja: 1 de 2
Autor: Richard Laura H.				Diagrama de Conexión		Archivo:	
Revisado:						Router CNC	



Nombres		Firmas	Titulo <b>Diagrama de Conexión</b>	Fecha: 29/06/2018	Hoja: 2 de 2	
Autor: Richard Laura H.				Archivo:	Router CNC	
Revisado:						