

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE SAN
FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

EN CIENCIAS APLICADAS MECAELECTROELECTRÓNICAS

INGENIERÍA MECATRÓNICA



MONOGRAFÍA

**DISEÑO DE UN ROUTER CNC MULTIFUNCIÓN PARA
APLICACIONES DE CORTE, FRESADO Y GRABADO EN MDF,
MADERA, ACRÍLICO Y PLACAS PCB**

POSTULANTE: Manuel Arturo Araujo Villegas

“Trabajo presentado para obtener el título de licenciado en Ingeniería Mecatrónica, otorgado, por la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca”

SUCRE - BOLIVIA

2024

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo, como uno de los requisitos previos para la obtención del título de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica y habiendo aprobado el Diplomado de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca en “DISEÑO MECÁNICO INDUSTRIAL CAD-CAE-CNC y CAM”, autorizo al Centro de Estudios de Postgrado e Investigación (CEPI) o a la Biblioteca de la Universidad para que se haga de este Trabajo un documento disponible para lectura de acuerdo a las normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca los derechos de publicación de este Trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Manuel Arturo Araujo Villegas', written in a cursive style.

Autor: Manuel Arturo Araujo Villegas

CI: 13091062

DEDICATORIA

Lo dedico a mi madre cuyo propósito es que me convierta en una buena persona que pueda valerse por sí misma y pueda aportar algo a la sociedad. Este es un paso más adelante del objetivo que tiene para mí, es la culminación del esfuerzo que puso para que yo saliera adelante a pesar de las dificultades y que ahora puede ver cumplido.

También a todas las personas que hicieron su pequeña parte en mi desarrollo como profesional; desde mis maestros de primaria y secundaria, mis compañeros de clases y todas esas personas que me impartieron un poco de su conocimiento y sabiduría para poder afrontar el porvenir de la mejor manera.

Este trabajo es para ellos.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a toda mi familia por apoyarme de la mejor manera en el desarrollo de mi carrera, por permitirme recorrer este camino a mi ritmo y nunca dejar de motivarme para seguir adelante.

A mi madre por ser la que me formó desde muy pequeño y me convirtió en la persona que soy ahora, inculcándome sus valores, sus fortalezas y virtudes; pero también mostrándome sus errores con el fin de aprender de ellos y ser mejor. A mis abuelos por estar conmigo en mi infancia temprana y hacerse cargo de mí cuando mi madre no podía.

Agradecer también a la Universidad San Francisco Xavier por permitirme ser parte de ella, a aquellos docentes de la facultad que tienen en primer lugar la enseñanza y la transmisión de sus conocimientos y que hacen todo lo posible para impartir lo que pueden a las siguientes generaciones; también ofrezco un agradecimiento a los docentes del DIPLOMADO EN DISEÑO MECÁNICO INDUSTRIAL CAD-CAE-CNC y CAM V-1

A Delina por mostrarme que siempre puedo dar más de lo que creo, que soy más de lo que pienso y que si me esfuerzo lo suficiente puedo conseguir lo que me proponga, que no puedo rendirme cuando esté ante un problema sino más bien levantarme y seguir luchando hasta superarlo.

Muchas gracias a todas estas personas, ya que por ellos y por todo lo que pasamos es que hoy en día me encuentro donde estoy.

RESUMEN

Este trabajo consiste en el desarrollo del diseño de un Router CNC multifunción capaz de efectuar operaciones de corte, grabado láser, fresado, perforado y fresado de pistas para placas PCB, con el objetivo de aportar al desarrollo tecnológico en la ciudad de Sucre con respecto a la adquisición de máquinas CNC de uso general, ya que en nuestro medio puede observarse la dependencia de la población a la importación de este tipo de máquinas desde el interior del país a pesar de la inversión adicional. En ese sentido, este trabajo propone una alternativa a la importación por medio de un diseño que sea económica y técnicamente factible de implementar en la ciudad de Sucre. Para satisfacer este objetivo se recurrió a la revisión de bibliografía relacionada con el fin de extraer lo necesario para efectuar el diseño; a su vez, fue preciso recolectar información acerca de las preferencias de la población sucreña con respecto a las características particulares de las máquinas CNC que adquieren. Es con toda la información que pudo concretarse el diseño CAD del prototipo mediante el software de Diseño Mecánico "AUTODESK INVENTOR"; con las características principales de las máquinas más cotizadas en la ciudad de Sucre, pero con la particularidad de poder realizar la multifunción. Para determinar la posibilidad de una futura implementación se recurrió a un análisis de costos de inversión con el objetivo de determinar si esta opción representa una ventaja económica; arrojando un resultado positivo, ya que es posible construir la máquina por un costo menor al de las contrapartes estudiadas; además, los materiales para la elaboración del Router CNC pueden adquirirse en la ciudad de Sucre, lo cual implica una factibilidad técnica importante al momento de efectuar la futura implementación.

Como conclusión general, el diseño propuesto en este trabajo representa una alternativa altamente viable para los usuarios, ya que combina las características de una cortadora CNC láser y un Router CNC, en adición, los costos de materiales y mano de obra representan un ahorro con respecto a otras opciones disponibles en el mercado, sin mencionar que es posible adquirir todos los materiales en la ciudad de Sucre. Sin embargo, aún existen márgenes de mejora para el diseño que pueden retomarse en futuras investigaciones.

ÍNDICE TEMÁTICO

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
1.2.1. Formulación del problema.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3.1. Justificación Tecnológica.....	4
1.3.2. Justificación económica.....	4
1.4. METODOLOGÍA.....	5
1.4.1. Métodos.....	5
1.4.2. Instrumentos.....	5
1.5. OBJETIVOS.....	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
CAPITULO II.....	7
DESARROLLO.....	7
2.1. MARCO CONTEXTUAL.....	7
2.2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.2.1. Máquinas CNC y automatización.....	11
2.2.2. Componentes básicos de una máquina CNC.....	12
2.2.3. Estructura y sistema de transmisión.....	13
2.2.4. Unidad de gobierno y sistema de control.....	14
2.2.5. Actuadores.....	14
2.2.6. Transductores.....	15
2.2.7. Cabezal principal.....	15
2.2.8. Módulo láser.....	16
2.2.9. Spindle y herramienta de corte para grabado en placas PCB.....	17
2.2.10. Descripción de los materiales a trabajar.....	18
2.3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	21
2.3.1. Información y datos obtenidos.....	21
2.3.2. Análisis de la información.....	23
2.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO.....	24
2.5. ELEMENTOS DE LA MÁQUINA.....	25
2.5.1. Estructura de la máquina.....	25
2.5.2. Sistema de transmisión de movimiento.....	26

2.5.3.	Sistema de control y alimentación de la máquina	29
2.5.4.	Spindle o motor eléctrico	34
2.5.5.	Módulo láser	35
2.5.6.	Interfaz con el usuario	36
2.5.7.	Cambio de herramienta para mecanizado.....	40
CAPITULO III.....		41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		41
3.1.	CONCLUSIONES	41
3.2.	RECOMENDACIONES.....	42
BIBLIOGRAFÍA.....		43
ANEXOS.....		46

ÍNDICE DE TABLAS O CUADROS

Tabla 2-1:	Características y propiedades del terciado decorativo o venesta	19
Tabla 2-2:	Características del Router CNC 3018 Pro	22
Tabla 2-3:	Características del Router láser Creality CR Falcon.....	23
Tabla 2-4:	Características del aluminio estructural 6063	26
Tabla 2-5:	Características del motor NEMA 17 propuesto.....	27
Tabla 2-6:	Especificaciones de la tarjeta Arduino UNO R3.....	32
Tabla 2-7:	Especificaciones del driver A4988.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1:	Router CNC de corte para madera.	8
Figura 2-2:	Router CNC para grabado de pistas en placa PCB	9
Figura 2-3:	CNC láser.....	10
Figura 2-4:	(A la izquierda) CNC multifuncional SnapMaker A350. (A la derecha) CNC Router 3018 Pro	10
Figura 2-5:	Partes principales de una máquina CNC	13
Figura 2-6:	Funcionamiento del láser	16
Figura 2-7:	Kit de brocas en V para grabado PCB	17
Figura 2-8:	Sistema de tensado de correas propuesto	28

Figura 2-9: Proceso de tensado de las correas.....	28
Figura 2-10: Diagrama de bloques del sistema de control del Router multifuncional.....	30
Figura 2-11: CNC Shield V3 acoplada a una tarjeta Arduino UNO R3	33
Figura 2-12: Spindle motor 775.....	35
Figura 2-13: Módulo láser 10W	36
Figura 2-14: Diagrama de conexión de los distintos componentes electrónicos y electromecánicos.....	38
Figura 2-15: Conexión de los Drivers A4988 a la CNC Shield.....	39

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La automatización representa un avance significativo para aumentar la eficiencia y simplificar diversos procesos de producción en la industria moderna. Esta evolución trajo consigo muchas ventajas, la principal siendo la maximización en la producción y las ganancias de las empresas que aplican estas tecnologías. Es por eso, que las empresas optan por incrementar la automatización de procesos, en especial aquellos que son repetitivos, delegando estas actividades a computadoras y programas para un control exacto y preciso, en contraste con el control llevado a cabo por seres humanos, que ha demostrado ser más propenso a errores e inexactitudes.

De la mano de la automatización, la manufactura y fabricación asistida por computadora, también se ha experimentado un notorio avance en la implementación de las llamadas máquinas CNC (Control Numérico Computarizado). Este tipo de máquinas han permitido varias mejoras en los procesos de mecanizado. Tareas como el fresado, corte, grabado y otros; se realizan de una mejor manera con la implementación de este tipo de máquinas. La fabricación automatizada, mediante el uso de la tecnología CNC, ha permitido la producción en masa de componentes precisos y complejos en diversos sectores, desde la industria maderera hasta la electrónica.

Sin embargo, las limitaciones de las máquinas convencionales han dado lugar a la búsqueda de soluciones más integrales que satisfagan los requerimientos cambiantes de la industria moderna. Es en ese sentido que surge la necesidad de que las máquinas CNC sean más versátiles en cuanto a las tareas que pueden realizar, es decir, que sean capaces de abordar una variedad de tareas más allá de las funciones convencionales.

Es así que este trabajo se centra en la aplicación de esta tecnología para el diseño de un Router CNC multifunción que pueda incorporar más de una función, ya que reúne las características de un módulo láser para operaciones de corte en materiales como madera y acrílico (en adición a la realización de grabados) y un motor DC o Spindle conectado a una herramienta para operaciones de fresado y perforado en placas PCB (Printed Circuit Board o Placa de Circuito Impreso) u otros materiales.

1.1. ANTECEDENTES

La evolución de las máquinas CNC ha desempeñado un papel fundamental en la industria, al facilitar la automatización y mejorar la precisión de los procesos. A medida que estas tecnologías avanzan, se hace más evidente la necesidad de máquinas CNC que sean más versátiles y adaptables. Un estudio reciente resalta la importancia de este desarrollo y su impacto en la fabricación moderna. (Smith et al., 2019¹)

En ese sentido, se puede destacar cómo la versatilidad de los Routers o Enrutadores CNC se ha vuelto un requisito crucial para mejorar los procesos en una variedad de sectores industriales (García & Martínez, 2021²).

La mayoría de modelos existentes de máquinas CNC accesibles se concentran en la realización de una tarea en específico, ya sean Enrutadores CNC dedicados al corte de material, otros dedicados al conformado de piezas, otros para la fabricación de las pistas de circuitos electrónicos en placas PCB u operaciones de fresado en general, etc. En la ciudad de Sucre se pudo observar cómo es que se utilizan este tipo de máquinas para varias aplicaciones, entre las cuales se destacan, el corte y grabado láser en materiales como madera, acrílico y MDF (Medium-Density Fibreborad o Tablero de Fibra de Densidad Media por sus siglas en inglés); así como el grabado de pistas de circuitos electrónicos en placas PCB. Sin embargo, se identifica una limitante en las capacidades de estas máquinas CNC convencionales para abordar tareas más generalizadas, como el corte y grabado láser combinado con el fresado y perforación de placas PCB. De

acuerdo a los datos proporcionados por la empresa SAWERS y otras fuentes consultadas, los Routers utilizados en la ciudad no son fabricados localmente; en cambio son importados de otros departamentos o incluso de otros países a fin de solventar las necesidades de quienes los obtienen, esto conlleva a que el proceso de adquisición de estas máquinas para cada tarea específica suponga una inversión adicional para los interesados.

Por lo expresado anteriormente, es que este trabajo busca la solución del problema por medio del diseño de un Router CNC multifunción que combine las capacidades de corte y grabado en materiales como madera, MDF y acrílico; así como el fresado de pistas para circuitos en placas PCB y otros materiales de manera eficiente y precisa con el objetivo de aprovechar el funcionamiento de una sola máquina CNC.

1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

A pesar de los avances significativos en la tecnología CNC, la situación actual en la ciudad de Sucre revela la carencia de fabricantes de este tipo de máquinas para uso local, lo cual obliga a las empresas y personas interesadas a recurrir a la importación; lo que a su vez trae consigo una inversión adicional a la adquisición de la máquina. Además, se toma en cuenta la limitación en la versatilidad de algunas de estas máquinas convencionales para abordar tareas generalizadas. La incapacidad de realizar funciones como el corte láser y la perforación y grabado de PCB dentro de una sola unidad genera la necesidad de diseñar un Router CNC que integre estas capacidades de manera eficiente y precisa, evitando la necesidad de recurrir a la compra de varias máquinas para estas labores.

La problemática de este trabajo se centra en el diseño de un Router CNC capaz de integrar funciones de corte láser, fresado, grabado y perforación de placas PCB, superando las limitaciones de versatilidad presentes en las máquinas CNC convencionales, contribuyendo así al desarrollo tecnológico en la ciudad de Sucre.

1.2.1. Formulación del problema

¿Es posible diseñar un Router CNC multifunción capaz de realizar operaciones de corte, fresado y grabado en MDF, madera, acrílico y placas PCB; que sea técnica y económicamente factible de implementar en la ciudad de Sucre?

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Justificación Tecnológica

La integración de tecnologías de corte, fresado, grabado y perforado en un solo dispositivo CNC representa un avance significativo en la eficiencia y versatilidad de la fabricación de piezas. Este enfoque responde a la demanda de soluciones más completas y adaptables en la industria manufacturera (Johnson, 2020³).

El hecho de que una sola máquina CNC pueda realizar lo que otras dos o más por separado supone un avance relevante hacia el diseño e implementación de máquinas universales en un futuro. El diseño de este dispositivo incentiva al desarrollo tecnológico en el medio local, impulsando la creación de este tipo de máquinas en la ciudad de Sucre.

1.3.2. Justificación económica

La implementación de un Router CNC multifunción permite a las empresas optimizar los procesos de producción al reducir la necesidad de múltiples máquinas especializadas. Esto resultará en ahorros significativos en términos de espacio, inversión y mantenimiento (Martínez, 2018⁴).

Las empresas, instituciones, ingenieros o aficionados a las tecnologías CNC pueden reducir costos y espacio al obtener una máquina que pueda realizar las tareas antes mencionadas en lugar de recurrir a la adquisición de varias, ya que esto conlleva una mayor inversión. Al mismo tiempo, la realización de máquinas

CNC en el medio local permitiría reducir la importación y los costos consecuentes a ésta.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Métodos

Entre los métodos para la realización del documento se pueden mencionar los siguientes:

- **Recopilación y análisis de información:** Con el objetivo de identificar las características principales de los Routers y cortadoras láser CNC de mayor adquisición en la ciudad de Sucre; así como de su funcionamiento y operación.
- **Diseño y modelado CAD:** Efectuar el modelado de un prototipo mediante software CAD (Diseño asistido por computadora).
- **Determinación de costos:** Determinar los costos de implementación de la máquina con el objetivo de evaluar la rentabilidad del diseño.

1.4.2. Instrumentos

Los instrumentos principales para la realización de este trabajo son:

- Software AUTODESK INVENTOR para el diseño CAD del prototipo de la máquina.
- El software de Microsoft Office EXCEL para la determinación de costos con el objetivo de determinar la factibilidad económica de la implementación del proyecto en la ciudad de Sucre.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un Router CNC multifunción, para aplicaciones de corte, fresado y grabado en materiales como MDF, madera, acrílico y placas PCB.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica para definir las características principales de la tecnología CNC actual.
- Definir los parámetros de diseño para la máquina en función a las aplicaciones mencionadas.
- Modelar el prototipo del Router multifuncional CNC utilizando el software CAD AUTODESK INVENTOR.
- Determinar los costos de implementación del Router en la ciudad de Sucre.

CAPITULO II

DESARROLLO

2.1. MARCO CONTEXTUAL

El desarrollo del Control Numérico Computarizado se remonta al año 1942, cuando un fabricante de componentes para la aviación estadounidense resolvió problemas de repetitividad en el mecanizado al calcular y programar manualmente una máquina y automatizarla; esta solución fue precursora de los Controles Numéricos actuales. En 1960, se creó el primer Control Adaptativo, que regulaba automáticamente las condiciones de trabajo en una máquina según parámetros previamente introducidos y datos recopilados por sensores. Ese mismo año, se introdujo el primer centro de mecanizado con cambiador automático de herramientas. En 1968, surgió el primer Control Directo, que permitía a un computador central gestionar varios controles. En 1972, con la evolución de las computadoras, apareció el primer CNC, capaz de interpretar ecuaciones matemáticas para generar trayectorias de mecanizado y desplazamientos óptimos de herramientas⁵. También se puede destacar la homogenización del proceso de programación de máquinas CNC de acuerdo a la norma ISO 6983⁶, que se conoce ampliamente como el popular código G. Con esta herramienta es posible darles instrucciones a las máquinas para los diferentes tipos de mecanizado de una forma estandarizada, sin importar el tipo de máquina CNC.

En la actualidad diversas empresas desarrollan varios tipos de máquinas CNC, entre las cuales, se pueden destacar los llamados Routers o Enrutadores CNC. Se trata de máquinas especializadas en realizar cortes de manera automática, este tipo de mecanizado se puede realizar en distintos tipos de materiales según el diseño del Router; desde madera y acrílico hasta algunos tipos de metales como el aluminio. Como herramienta de corte se puede utilizar un módulo láser

o un Spindle acoplado a fresas y brocas (elemento del que se hablará más adelante)⁷.

Un **Router CNC tipo fresadora** es una máquina que se caracteriza por realizar el mecanizado de distintos materiales por medio del giro de una herramienta acoplada a un determinado motor. Estas máquinas son de tipo cartesiano, es decir que se manejan en los ejes X, Y y Z dependiendo de la forma del elemento a maquinar. (Groover M. P., 2007⁸)

Los materiales a fresar son diversos y pueden ir desde el acrílico, madera, MDF o algunos tipos de plásticos como los utilizados en la elaboración de placas PCB.



Figura 2-1: Router CNC de corte para madera.

Fuente: <https://www.globalvalue.ar/MLA-904686923-fresadora-router-cnc-3018plus-husillo-300w-laser-80w- JM>

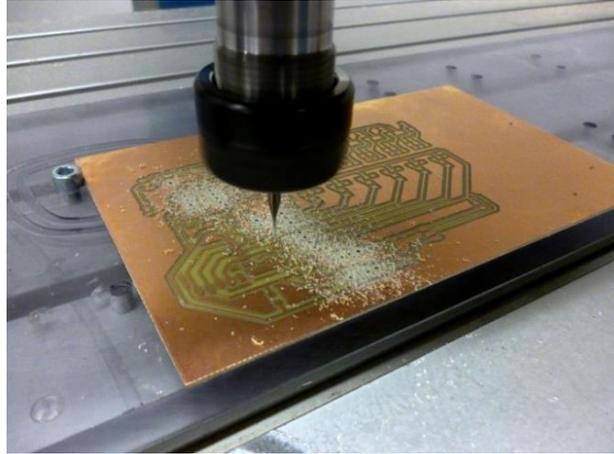


Figura 2-2: Router CNC para grabado de pistas en placa PCB
Fuente: <http://www.enactiveenvironments.com/enabling/cnc-milling-pcbs/>

Una máquina **CNC Láser** es un tipo de Router que permite realizar operaciones de corte, grabado y perforado de distintos materiales por medio de un haz de rayo láser enfocado con el uso de lentes en un punto. Al igual que las fresadoras o centro de maquinado, los ejes de movimiento comunes son X e Y para el desplazamiento del cabezal de corte, donde se encuentra el láser; pero a diferencia de las cortadoras mecánicas tradicionales, el módulo láser no entra en contacto físico con el material, lo que reduce la probabilidad de daño y proporciona un alto rendimiento en el acabado superficial de los cortes de material⁹. Actualmente el corte láser CNC, está siendo rápidamente adoptado debido a su capacidad para realizar trabajos de precisión de manera eficiente. Este método no solo opera a alta velocidad, sino que también es fácil de controlar gracias a los avances en la tecnología láser y la capacidad computacional. (Fauzi, M. S. B., 2013¹⁰)



Figura 2-3: CNC láser

Fuente: <https://www.amazon.in/TwoTrees-Engraver-Portable-Engraving-300x300mm/dp/B08QCWGJRN>

En cuanto a la multifuncionalidad de las máquinas CNC actualmente, se puede destacar el trabajo de la empresa SNAPMAKER y su modelo A350. Se trata de una máquina CNC capaz de desarrollar las siguientes operaciones: Trabajos de mecanizado láser (ya sea corte o grabado), fresado de distintos materiales por medio de cabezales (fresas de distintos tipos), impresión 3D por medio de extrusión e incluso tiene un módulo para operaciones de torneado pequeñas. En menor medida se puede mencionar al modelo CNC 3018 Pro, que se trata de un Router de dimensiones menores y aplicaciones más limitadas que, sin embargo, puede realizar corte con láser y mecanizado por medio de un motor DC acoplado a fresas acorde a la tarea.



Figura 2-4: (A la izquierda) CNC multifuncional SnapMaker A350. (A la derecha) CNC Router 3018 Pro

Fuentes: https://shop.snapmaker.com/products/snapmaker-2-0-modular-3-in-1-3d-printer-a350t-a250t?_pos=10&psq=a350&ss=e&v=1.0
<https://www.amazon.com/Engraver-Engraving-GRBLControl-Controller-Extension/dp/B082925TG9?th=1>

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Máquinas CNC y automatización

La Real Academia Española de la Lengua define automatismo como el desarrollo de un proceso o funcionamiento de un mecanismo por sí solo; y automática como el estudio de los métodos cuya finalidad es la sustitución de un operador humano por un operador artificial basado en dispositivos mecánicos o electrónicos en la realización de una tarea previamente programada. Tomando como base estas dos definiciones, puede establecerse que la automatización consiste en el estudio y aplicación de la automática al control de los procesos industriales, derivando en la incorporación a un determinado proceso un conjunto de componentes y dispositivos eléctricos, electromecánicos y electrónicos interconectados entre sí capaces de asegurar su control y buen funcionamiento. (Rodríguez Fernández, J., Cerdá Filiu, L. M., & Bezos Sánchez-Horneros, R., 2022¹¹)

En resumen, un equipo CNC es en esencia una máquina cuyo funcionamiento es controlado por una computadora. La computadora funciona con un programa dado por el usuario que permite la coordinación entre los distintos elementos para satisfacer la tarea propuesta. El control numérico en una máquina se ejecuta mediante una serie de instrucciones codificadas que incluyen números, letras del alfabeto y símbolos que la unidad de control de la misma puede leer y procesar. A estas instrucciones se las denomina código G de acuerdo a la mencionada norma ISO 6983. Las instrucciones se convierten en pulsos eléctricos que comandan los motores, servomotores, cabezales y demás actuadores de la máquina, que a su vez realizan las tareas de fabricación en una pieza de trabajo de acuerdo a lo previamente establecido por el programa generado por el usuario.

La ventaja más destacable de este tipo de máquinas con respecto a la maquinaria convencional es que permiten aumentar la producción de manera considerable, ya que las máquinas CNC reducen el tiempo de maquinado en

gran medida, se pueden fabricar piezas en serie a un menor costo de producción y con una mayor precisión. Entre las desventajas más importantes que presentan es que son bastante costosas y su uso requiere de un conocimiento especializado; sin mencionar que las fallas que pueden tener, suelen ser aparatosas y demandan de expertos para subsanarlas. Otra desventaja se encuentra en el proceso de programación y calibración, ya que en general suele ser más tardado en comparación con las máquinas convencionales.

2.2.2. Componentes básicos de una máquina CNC

Si bien no todas las máquinas CNC tienen la misma arquitectura, en todas pueden destacarse los siguientes elementos:

- Estructura y sistema de transmisión de la máquina
- La unidad de gobierno
- Transductores y actuadores
- El husillo principal o cabezal

Siendo la clasificación válida para máquinas CNC centradas en el maquinado de distintas piezas por medio de arranque de viruta. (Correa, J. A., 1997¹²)

También se pueden mencionar otros elementos como los ejes de trabajo, que en la mayoría de las máquinas CNC son X, Y y Z (existen máquinas que trabajan con una mayor cantidad de ejes, pero esos detalles escapan al propósito de este trabajo); la mesa de trabajo donde va la pieza a mecanizar, entre otras partes que pueden apreciarse en la siguiente figura:

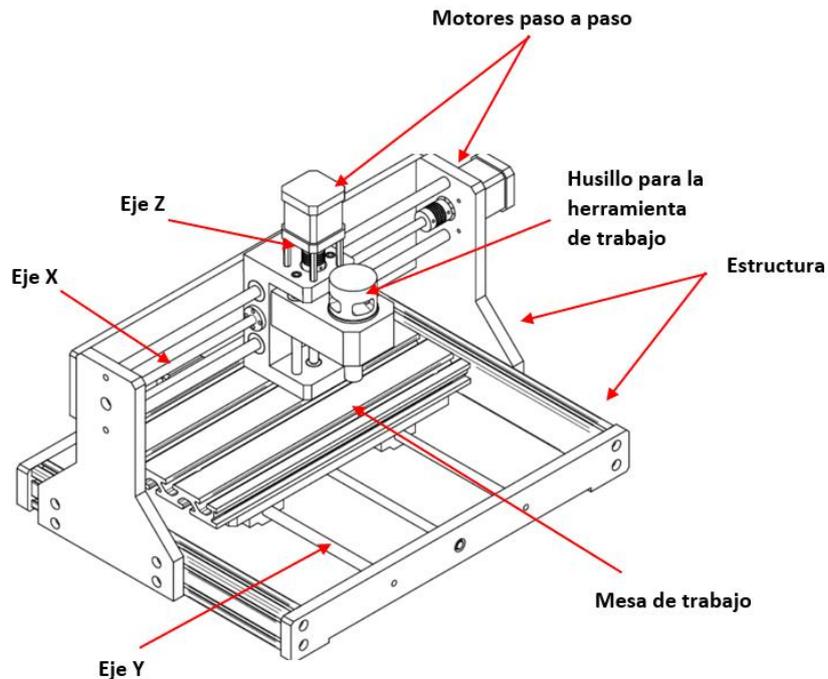


Figura 2-5: Partes principales de una máquina CNC
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se ahonda un poco en cada componente mencionado.

2.2.3. Estructura y sistema de transmisión

a) Estructura

Las estructuras son sistemas mecánicos diseñados para guiar o sostener los diversos componentes de la máquina. Pueden ser fijas o móviles, empotradas o no; según los parámetros de diseño del Router. Estas estructuras pueden estar compuestas por diversos elementos como barras o vigas hechas de distintos materiales, desde aceros hasta aleaciones de aluminio. La particularidad más destacable de la estructura es que debe diseñarse de tal manera que pueda mantener su rigidez y estabilidad bajo la influencia de las diversas cargas asociadas a los componentes de la máquina o a su operación, además de proporcionar precisión en el movimiento de los ejes. Su análisis puede realizarse mediante métodos numéricos como el de los elementos finitos proporcionado por los diversos softwares CAD disponibles¹³.

b) Sistema de transmisión y movimiento

Los recorridos de la herramienta y el cabezal, la mesa de trabajo o la pieza se deben realizar por medio del desplazamiento en los mencionados ejes cartesianos. Este movimiento se puede realizar mediante el uso de motores, rodamientos, rodillos, husillos de tornillo sin fin o correas que trabajan conjuntamente para lograr un posicionamiento correcto. Los motores están directamente conectados a los ejes mediante tornillo sin fin o correas asociadas con guías que permiten el control preciso del elemento conectado a estas, ya sea el cabezal o la mesa de trabajo; este tipo de actuadores permiten un control exacto y preciso al momento de realizar el movimiento.

2.2.4. Unidad de gobierno y sistema de control

La unidad de gobierno es el elemento que contiene el programa para realizar todas las operaciones de desplazamientos requeridas para los ejes y el control de los actuadores, puede tratarse de un PLC (Controlador Lógico Programable), un microcontrolador, etc.

El sistema de control está conformado por la computadora o procesador y, los distintos sensores y actuadores de la máquina que funcionan conjuntamente para ejecutar las órdenes del programa.

2.2.5. Actuadores

Son los elementos encargados de los movimientos que realizan los cabezales portaherramientas o las mesas de trabajo de las máquinas CNC en los distintos ejes. Los actuadores más comunes son los motores paso a paso o servomotores, ya que estos pueden ser manejados de forma precisa mediante el uso de controladores que posicionan al motor con el ángulo determinado en el momento

deseado con precisión milimétrica. Se abordará el funcionamiento de los motores paso a paso con más detalle en un apartado posterior del documento.

2.2.6. Transductores

Los transductores son elementos que permiten transformar un tipo de señal en otro, generalmente en una señal eléctrica. Este concepto puede serle familiar al lector bajo el término de sensor, en el sentido estricto de las palabras no son sinónimos; pero serán empleados de esa forma con propósitos prácticos. Los sensores permiten el manejo de una variable física (posición, velocidad, aceleración, etc.) para su posterior control o conversión. Dentro del mundo de las máquinas CNC, existen una gran variedad de funciones para las cuales es necesario el uso de sensores, control de temperatura, manejo de posición, velocidad y aceleración, entre otras.

2.2.7. Cabezal principal

Este elemento ejecuta la rotación o desplazamiento de la herramienta principal de la máquina CNC; en fresadoras se trata del elemento que proporciona el movimiento a las fresas o brocas. A la máquina encargada de esta labor se la suele denominar como "Spindle", que se puede definir como un motor eléctrico de altas revoluciones al cual se le acopla una herramienta para el realizado de diversos mecanizados en diferentes materiales, como vidrio, madera o metal. Su característica principal radica en su amplio rango de revoluciones que posee, varían desde 20 RPM hasta 60000 RPM manteniendo al mismo tiempo un alto par de trabajo¹⁴.

En cuanto a los Routers de corte por láser, el cabezal es el elemento que contiene el módulo láser para realizar las operaciones de grabado y corte. Existen varios módulos con varias potencias de trabajo en función a las aplicaciones que tenga.

2.2.8. Módulo láser

La palabra láser, es un acrónimo cuyo significado es: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación). El primer principio básico del funcionamiento del láser establece que la luz viaja en el espacio en forma de paquetes llamados fotones; mientras que el segundo principio explica que, en un átomo los electrones pueden estar en distintos niveles de órbita y cuando se introduce energía al sistema pueden migrar a niveles superiores. Cuando los átomos regresan a su estado basal o con menor energía (previa a la excitación), liberan energía en forma de fotones. (Gassol, J. M. B., 2008¹⁵)

Tomando lo anterior en cuenta es que, encerrando átomos entre espejos, los fotones rebotan y chocan con otros átomos, los electrones excitados liberan más fotones, lo que da lugar al haz de energía láser en forma de rayo. De estos principios surgen las tres grandes características del láser conocidas como las tres “C” del láser: Coherencia (frecuencia coherente), Cromatismo (el haz es monocromático) y colimado (el haz no se dispersa a medida que se aleja de la fuente). El funcionamiento del láser puede observarse en la siguiente figura:

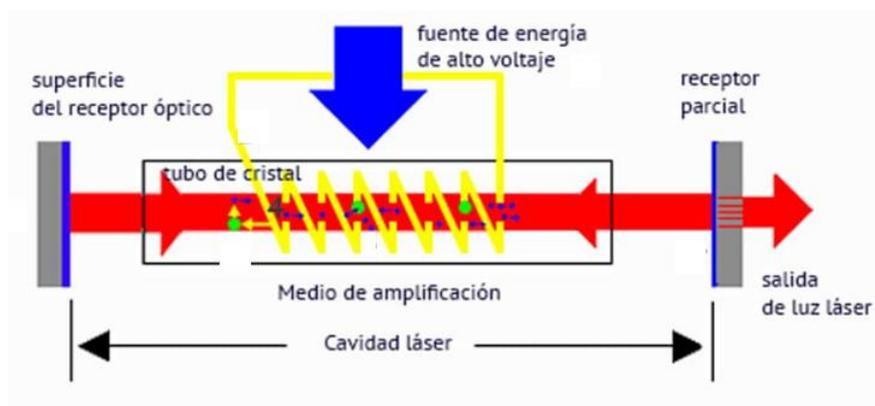


Figura 2-6: Funcionamiento del láser

Fuente: <https://ferrosplanes.com/como-funciona-un-laser/>

Existen varios tipos de láser, según el medio que es excitado para provocar el desprendimiento de fotones, en las máquinas CNC más grandes se utilizan tubos de CO₂. Para el caso de este diseño se utiliza otro tipo de láser, los llamados

módulo láser de diodo¹⁶. Este tipo de módulo es mucho más compacto y solo necesita de una fuente de alimentación compatible y un controlador o “driver” TTL que sirve para modular la intensidad del láser; una función imperativa para la realización de grabados por este medio. La potencia del láser determina las aplicaciones que puede tener, desde cortes a madera y telas a bajas potencias, hasta módulos de alta potencia para cortar algunos metales como el aluminio o incluso aleaciones de acero.

2.2.9. Spindle y herramienta de corte para grabado en placas PCB

Para poder realizar cualquier tipo de fresado es necesario que la herramienta se acople a un dispositivo para rotar y poder realizar el mecanizado. El elemento rotatorio por excelencia es el motor eléctrico; los motores eléctricos aprovechados para el acople con varias herramientas de fresado y corte se denominan Spindle. Existen una amplia variedad de Spindle´s según la potencia que se requiera para el maquinado. En cuanto a la herramienta de corte que realiza el grabado en las placas de baquelita, se tienen las denominadas brocas en V de diámetros de vástago reducidos y puntas de alrededor de 0,1 a 0,6 mm de diámetro y ángulos de incidencia entre 20 y 60⁰ hechas de aleaciones con titanio o tungsteno¹⁷.



Figura 2-7: Kit de brocas en V para grabado PCB
Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32346840160.html>

Para la realización de los agujeros en los que van los componentes del circuito impreso se utilizan brocas con diámetros que varían entre 0,1 y 0,4 mm. Para otras aplicaciones de corte ya se utilizan fresas de vástago con dimensiones dependientes de la aplicación a ejecutar.

2.2.10. Descripción de los materiales a trabajar

Las principales propiedades de los materiales a ser mecanizados mediante el Router CNC propuesto se describen en los siguientes incisos:

a) Madera: Contrachapado o venesta

De acuerdo a Suarez, T. M., & Berger, G. (2009)¹⁸; una de las definiciones de la madera como material es: Una sustancia orgánica vegetal más o menos dura, compacta y fibrosa que se extrae de los árboles y con la cual el hombre fabrica los más variados objetos. Existen varios tipos, para este documento se mencionará como “madera” a los derivados más utilizados en aplicaciones realizadas con Routers de corte CNC como es: La Venesta o contrachapado¹⁹ (Agrupación de láminas delgadas de madera en entramado) también llamado terciado decorativo, las propiedades del mismo varían según el fabricante, por ejemplo, las características dadas por la empresa nacional CIMAL son las siguientes:

Tabla 2-1: Características y propiedades del terciado decorativo o venesta

Dimensiones	Área	Espesor mm	kg/pieza	kg/cm ²	Rústico	Enchapado	
2.44 m x 1.22 m 8 ft x 4ft	2.98 m ² 32 sqft	2.8 mm	3.78	1.27	*		
		3.2 mm	4.32	1.45	*	*	
		5.4 mm	5.47	1.81	*	*	
Resistencia la flexión kg/cm ²		Resistencia a la tracción kg/cm ²		Rústico	Enchapado		
Cimal	Norma	Cimal	Norma				
		50.98	26.65	23.12	20.94	*	
		50.98	30.46	25.12	23.93	*	*
		1.81	38.07	30.2	29.91	*	*

Fuente: <https://www.cimal.com.bo/wp-content/uploads/2022/05/Ficha-T%C3%A9cnica-Venesta.pdf>

Para la empresa MADERAME²⁰ el contrachapado cuenta con una densidad que varía entre 400 y 700 kg/m³, destaca por su excepcional resistencia mecánica, su ligereza, estabilidad y facilidad de trabajo, junto con propiedades como aislante eléctrico y acústico, lo hacen versátil para aplicaciones decorativas, de construcción, etc.

b) MDF

El MDF²¹ es el término que se utiliza para referirse a tableros de fibra de densidad media, por sus siglas en inglés. Se trata de un material que surge como resultado de combinar aproximadamente un 85% de fibras de madera con adhesivos, principalmente colas de urea-formaldehído, prensados a altas presiones. Las tablas de MDF poseen una resistencia a la flexión que varía según la densidad del tablero, alcanzando aproximadamente 29 (+/- 3) N/m² para un espesor de 9 milímetros y 23 (+/- 3) N/m² para un espesor de 30 milímetros. En cuanto a la resistencia a la tracción, se sitúa entre 0,7 y 0,8 N/m². La densidad de estos tableros oscila entre 600 y 700 kg/m³.

c) Acrílico

El acrílico²², también conocido como Plexiglas, Lucite, Acrylite y Perspex, es el polímero de metilmetacrilato (PMMA) se caracteriza por su brillo deslumbrante, resistencia al rayado e impacto. Las láminas de acrílico comparten cualidades con el vidrio, como claridad, brillo, transparencia y translucidez, pero a la mitad del peso y con hasta 10 veces más resistencia al impacto. Gracias a su naturaleza termoplástica, se pueden moldear fácilmente mediante calentamiento, adoptando diversas formas. Además, el acrílico exhibe una excelente resistencia a las inclemencias del tiempo y a la radiación ultravioleta, siendo duradero y adecuado para una amplia gama de temperaturas. Entre las propiedades que posee, se pueden destacar (SAAS INDUSTRIAL²³):

- Resistencia a la intemperie sin demostrar grandes cambios en las propiedades o el color.
- Transmisión de luz visible de hasta un 92%, similar al vidrio.
- Resistencia al impacto de 0,2 a 0,5 Lb.ft/in, aproximadamente 6 veces mayor al vidrio.
- Resistencia a químicos como el agua, álcalis, ácidos diluidos, ésteres simples, hidrocarburos alifáticos, pero no se recomienda para disolventes orgánicos, acetonas o hidrocarburos clorados y aromáticos.
- Propiedades como aislante eléctrico.
- La temperatura de deflexión varía de 72 a 100 °C con una temperatura de servicio típica de 80 °C, es 20% mejor aislante térmico que el vidrio.
- Tiene una dureza similar a la de materiales no ferrosos como el cobre y el latón.

d) Placas para diseño de PCB´s

Una placa de circuito impreso, también conocido como PCB²⁴ (por las siglas en inglés “Printed Circuit Board”), es utilizada para albergar y conectar los diversos componentes de un circuito electrónico. Los circuitos impresos más simples tienen caminos de cobre en una sola superficie, conocidos como circuitos impresos de una capa. Sin embargo, las PCBs más comunes hoy en día son de dos capas, aunque el número puede variar en función de la complejidad del circuito. Las dos partes principales de una PCB son los “tracks” o pistas, que son los caminos mediante los cuales se interconectan los componentes electrónicos; y los llamados “pads”, que son los lugares específicos para soldar cada componente. Hay dos tipos principales de pads: los llamados thru-hole, diseñados para introducir el pin del componente y soldar por el lado opuesto, y los SMD (montaje de superficie), para soldar el componente en el mismo lado de la placa en el que se emplazó.

Se pueden fabricar estas placas de muchos materiales, entre los que se puede mencionar la baquelita; un tipo de plástico que no conduce la electricidad y sobre el cual, se recubre una capa de cobre donde se graban y fresan las pistas para el circuito, dejando el resto como aislante. Sin embargo, se destaca como material predilecto la fibra de vidrio debido a que ofrece una mayor resistencia mecánica y mejores acabados, de igual manera se recubre con una capa de material conductor para realizar las pistas (Valdiviezo Millan, M. A., & Negrete Durazno, T. J., 2018²⁵).

2.3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

2.3.1. Información y datos obtenidos

Gracias a los datos proporcionados por la empresa boliviana Sawers con respecto a la adquisición de Routers CNC y cortadoras láser en la ciudad de Sucre durante el año 2023, se puso en evidencia el tipo de máquinas con preferencia para la población del medio local. El Router CNC 3018 Pro se alza

como el predilecto por los aficionados a la tecnología CNC en el medio local gracias a su versatilidad y fácil manejo, especialmente dedicado para operaciones de fresado de pistas en placas PCB y corte en madera a pequeña escala. En cuanto a máquinas de tipo láser (únicamente láser), se puede mencionar el Router CNC Creality CR Falcon.

Con ayuda de esta información es posible determinar las características críticas de diseño para el prototipo e implementarlas de manera correcta en el mismo, con el objetivo de satisfacer las necesidades de los consumidores en la ciudad de Sucre. A continuación, se presentan dos tablas con las características técnicas de las máquinas mencionadas:

Tabla 2-2: Características del Router CNC 3018 Pro

Router CNC 3018 Pro	
Área de trabajo	300 x 180 mm
Desplazamiento en el eje Z	45 mm
Potencia nominal	120 W
Fuente de alimentación	24 V/ 5 A
Spindle	Motor 775: Voltaje de operación: 24 V Velocidad de rotación: 7000 RPM
Motores paso a paso	NEMA 17 Voltaje: 12 V Intensidad de corriente máx: 1,3 A Par motor: 0,25 Nm
Brocas	Ángulo: 20° Diámetro de vástago: 3,175 mm Diámetro de punta 0,1 mm
Módulo láser compatible	Genmitsu de 5 W (de tipo semiconductor)

Fuente: <https://tienda.sawers.com.bo/cnc-router-genmitsu-3018-pro-diy?keyword=cnc>

Tabla 2-3: Características del Router láser Creality CR Falcon

Creality CR Laser Falcon	
Área de trabajo	400 x 415 mm
Tensión de alimentación	100 – 240 V AC / 50 – 60 Hz
Voltaje de salida de la fuente	24 V
Intensidad de corriente de salida	3 A
Características del láser	Potencia: 10 W Tensión de alimentación: 24 V Longitud del láser: 455 nm
Características de operación	Velocidad de grabado: 10000 mm/min Profundidad de grabado: 0 - 3 mm Profundidad de corte: 0 – 18 mm

Fuente: <https://www.creality.com/products/cr-laser-falcon-laser-engraver-10w>

2.3.2. Análisis de la información

En base a la información obtenida, se pueden destacar los siguientes puntos críticos en el diseño del Router:

2.3.2.1. Área de trabajo

El Router preferido para los aficionados a la tecnología CNC en la ciudad de Sucre es el previamente mencionado **CNC 3018 Pro**, este es utilizado principalmente para el fresado de placas PCB y para la realización de pequeñas piezas de madera. El área de trabajo de la máquina es de 300 x 180 x 45 mm, ya sea para el uso del Spindle y fresas; o para el uso del módulo láser compatible. En cuanto al **Creality CR Láser Falcon**; sitúa su área de trabajo en 400 x 415 mm. Otros modelos pueden variar el área de trabajo entre 200 y 300 mm, sin embargo, las aplicaciones de estos modelos dependen de las características del material a trabajar, en especial del espesor del mismo.

De acuerdo al trabajo realizado por Valdiviezo Millan, & Negrete Durazno, el área de trabajo recomendada para el fresado de placas PCB es de 200 x 150 mm, ya que las placas PCB realizadas en condiciones no industriales suelen tener dimensiones no mayores a los 200 x 200 mm.

2.3.2.2. Características del Spindle

El motor que utiliza el modelo CNC 3018 Pro tiene una velocidad de rotación de entre 7000 y 10000 RPM, se puede alimentar con tensiones DC entre 12 y 36 V²⁶.

De acuerdo al diseño propuesto por Arevalo Moncayo, D. R., & Hermosa Ocampo, D. C. (2014²⁷), para una máquina CNC que realiza el fresado de pistas para circuitos impresos se puede utilizar un motor de 300W de potencia cuya tensión de alimentación varía entre 12 y 24 V; y puede alcanzar velocidades de hasta 12000 RPM.

2.3.2.3. Características del láser y espesor de material

Para el caso del Router CNC 3018 Pro se tiene un módulo láser compatible con una potencia de 5,5 W, capaz de realizar trabajos de grabado y corte en espesores de hasta 5 mm para madera contrachapada. En cuanto al modelo Creality CR Falcon, la potencia del módulo láser es de 10 W y es capaz de cortar materiales de 0 a 5 mm de espesor, sin importar si es madera, MDF o acrílico (exceptuando el acrílico transparente).

2.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

De acuerdo al análisis del apartado anterior, se pueden definir los siguientes parámetros de diseño para satisfacer el objetivo de este trabajo:

- Considerar que el Router debe ser multifuncional, por lo tanto, las dimensiones finales se ajustan al propósito de las cortadoras láser, que no necesitan de una mesa de trabajo que sujete el material para cortarlo.
- La máquina tiene que ser capaz de realizar el fresado de pistas en placas PCB; pero también trabajos de corte y taladrado por medio del Spindle; por lo que se debe disponer de una mesa externa que

permita sujetar los materiales con el objetivo de resistir las fuerzas producidas por el maquinado.

- De igual manera, se debe considerar el mecanismo mediante el cual se acoplarán los elementos de mecanizado (el Spindle o el módulo láser), es decir, se deben tener piezas que permitan acoplar un dispositivo u otro.
- Las dimensiones de la mesa de trabajo deben ajustarse a lo visto en las preferencias de los consumidores, tanto para el corte con láser como para el mecanizado con Spindle. Por lo que el área de trabajo tiene las siguientes dimensiones: 390 x 400 mm; y en adición, un desplazamiento en el eje Z de 80 mm.
- El tipo de material a trabajar y el espesor del mismo deben estar en función de lo preferido en el medio local, los ya mencionados: Contrachapado de madera, MDF y acrílico.

Para este efecto, el Router está provisto de los siguientes elementos.

2.5. ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

2.5.1. Estructura de la máquina

La estructura base del Router está compuesta por perfiles de aluminio anodizado estructural 6063, con las siguientes características:

Tabla 2-4: Características del aluminio estructural 6063

Propiedades físicas del aluminio 6063			
Densidad		2700 kg/m ³	
Punto de fusión		600° C	
Módulo de elasticidad		69,5 GPa	
Resistencia eléctrica		0,035x10 ⁻⁶ Ω.m	
Conductividad térmica		200 W/m*K	
Expansión térmica		23,5 x10 ⁻⁶ /K	
Propiedades mecánicas	Aluminio 6063 Suave O	Aluminio 6063 Suave O	Aleación de aluminio 6063 T6
Prueba de stress		Min. 90 MPa	170 Mpa
Fuerza tensil	Max. 130 Mpa	Min. 150 Mpa	241 Mpa
Elongación A50 mm	Min. 16%	Min. 10%	8%
Dureza Brinell	25 HB	50 HB	73 HB
Elongación A	Min. 18%	Min. 12 %	12%

Fuente: <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6063>

Se utilizan perfiles de aluminio **V-Slot 2040** para la base de la estructura y se tienen piezas que cumplen la función de sujetar y acoplar otros elementos de la máquina, así como los mencionados perfiles. Con el objetivo de abaratar costos, estas piezas se pueden fabricar haciendo uso de la impresión 3D convencional, ya que esta tecnología permite realizar diversas geometrías con una precisión extraordinaria y con materiales que representan una inversión mucho menor en comparación con otros como las aleaciones de metales o el acrílico (Sahana, V. W., & Thampi, G. T., 2018²⁸).

Todos los elementos de la estructura están fijados por medio de pernos de distintas medidas.

2.5.2. Sistema de transmisión de movimiento

El sistema de movimiento en los respectivos ejes de la máquina está formado por motores paso a paso de tipo bipolar NEMA 17. Cuyas características se pueden ver a continuación:

Tabla 2-5: Características del motor NEMA 17 propuesto

Modelo	JK42HS40-1704 JK42HS40-1684
Resolución	200 pasos (1,8° /paso)
Voltaje Nominal	2,8 V
Intensidad de corriente	1,7 A
Resistencia por bobina	1,65 Ω
Inductancia de la bobina	3,2 mH
Par motor	0,4 Nm
Diámetro del eje	5 mm
Peso	280 g

Fuente: <https://tienda.sawers.com.bo/nema17-motor-paso-paso-bipolar?search=nema%2017&limit=100>

Un motor paso a paso es un tipo de motor que funciona mediante la excitación de sus bobinas (que depende del tipo de polaridad del motor) con una determinada secuencia de pulsos, dicha secuencia determina como se moverá el eje. La característica principal de este motor es que puede moverse una determinada cantidad de “pasos” que representan un determinado ángulo de eje; este tipo de movimiento permite que mediante el control de la secuencia de pasos se pueda controlar con gran precisión las revoluciones del motor y la velocidad de rotación que llevará²⁹.

En cuanto al sistema de transmisión de la máquina, se tienen dos tipos diferentes de transmisión. Para el movimiento en el eje Y se dispone de un sistema que hace uso de correas dentadas acopladas a los motores paso a paso usando una polea. Las correas seleccionadas son del **tipo GT2 con un ancho de 6 mm**, apropiadas para este tipo de aplicaciones, ya que son un sistema de transmisión que proporciona un desplazamiento de eje silencioso, preciso y veloz. El movimiento es proporcionado por el motor paso a paso correspondiente a través de una polea del tipo homónimo (GT2) de 16 dientes.

Las correas deben de poder tensarse lo suficiente para operar de manera correcta, por lo que se dispone de un mecanismo basado en los dispositivos usados en las impresoras 3D Creality Ender 3, pero adaptado al diseño propuesto, dicho sistema hace uso de otra polea GT2 específica para esta labor,

la indicada polea y el sistema propuesto pueden observarse en la siguiente imagen:

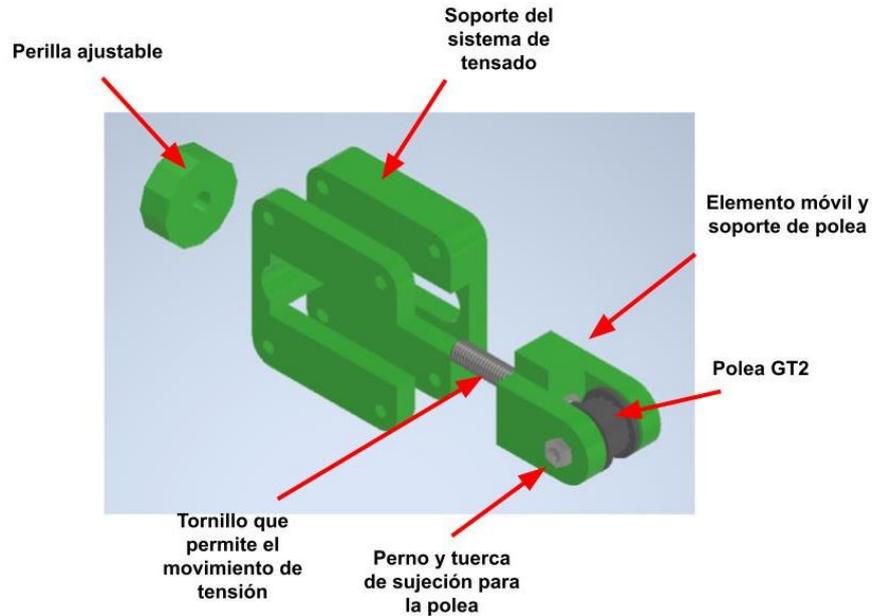


Figura 2-8: Sistema de tensado de correas propuesto
Fuente: Elaboración propia

Los extremos de las correas se retienen en la base de los carros móviles del eje Y a través de sujetadores, posteriormente se acoplan las correas a la polea del motor y al dispositivo de tensado por medio de la otra polea GT2 que actúa en el otro extremo del perfil de aluminio del eje Y. Este arreglo se puede apreciar en la siguiente imagen:

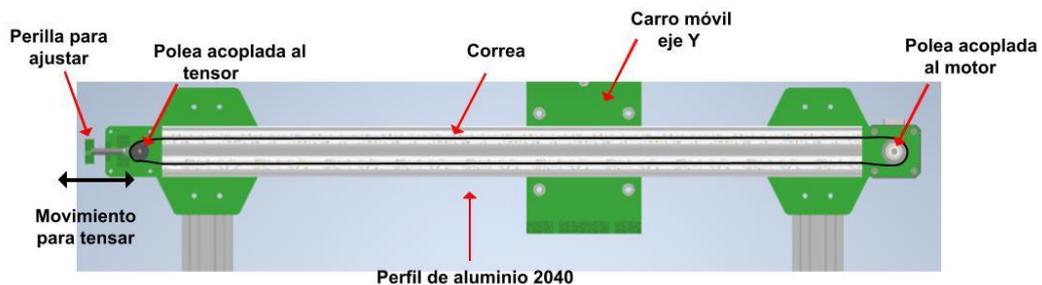


Figura 2-9: Proceso de tensado de las correas
Fuente: Elaboración propia

Mediante el movimiento rotatorio de la perilla y un perno acoplado a la polea móvil es que se puede tensar la correa de manera que el movimiento del carro sea el pertinente.

En cuanto al sistema de transmisión para eje X y para el eje Z, se tiene un husillo con su respectiva tuerca de acero **de 1 hilo con un paso de 2 mm** y una longitud de 500 mm. Los husillos se acoplan a sus respectivos motores paso a paso por medio de un acople flexible 5x8 con un diámetro exterior de 19 mm y una longitud de 24,5 mm, el recomendado para estas aplicaciones. A su vez se necesitan de rodamientos para permitir el giro del husillo en el otro extremo del sistema, los rodamientos seleccionados son los conocidos 626 2Z.

Finalmente, el sistema de transmisión se complementa con dos varillas de acero cromadas **de 8 mm de diámetro** que sirven de apoyo al movimiento del cabeza del eje X, esto con el objetivo de distribuir la carga en el husillo y proporcionar un mejor movimiento, éstas se acoplan al cabezal de movimiento por medio de rodamientos lineales LM8UU.

2.5.3. Sistema de control y alimentación de la máquina

El sistema de control del Router se puede apreciar en el siguiente diagrama de bloques:

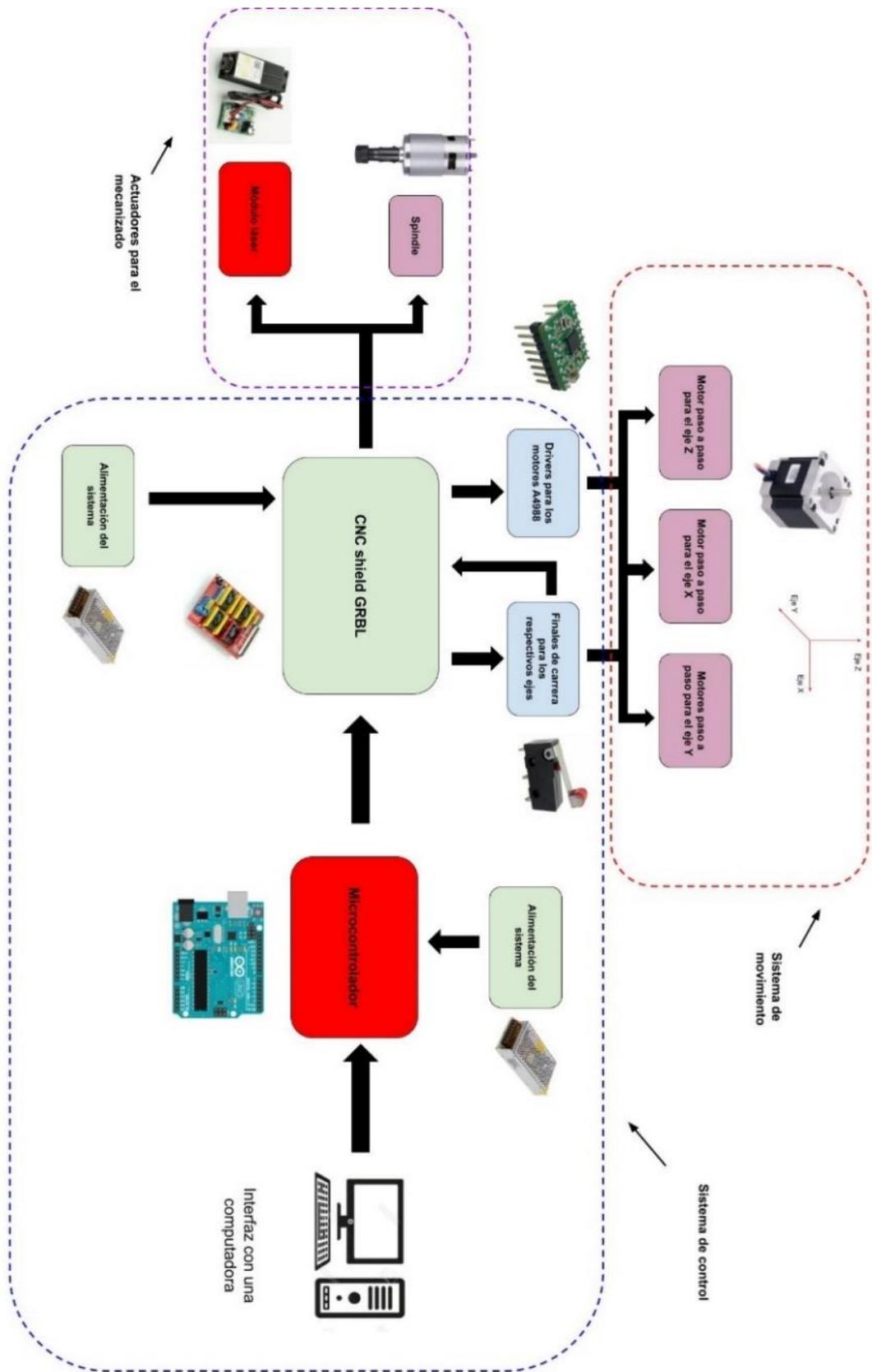


Figura 2-10: Diagrama de bloques del sistema de control del Router multifuncional
Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se dispone de una fuente de alimentación para todos los elementos, dicha es la encargada de suministrar energía a los componentes de la máquina. El microcontrolador es el encargado de ejecutar el programa y de dar las órdenes a los motores para gestionar su movimiento y así realizar un determinado trabajo. Los motores paso a paso son controlados por medio de “drivers” o controladores que permiten manejar con precisión la rotación y velocidad del motor; dichos drivers son acoplados a las órdenes del microcontrolador, al igual que los finales de carrera, que funcionan como protección para la máquina en contra de colisiones ocasionadas por fallas técnicas o un mal uso del artefacto. Los actuadores finales para el mecanizado son el Spindle y el módulo láser.

a) Alimentación de la máquina

El suministro de energía de la máquina es proporcionado por la fuente de alimentación, dicha debe ser capaz de suministrar energía eléctrica los diferentes elementos del sistema de control: A los motores paso a paso, al Spindle y al módulo láser. El microcontrolador es alimentado por medio de la computadora con la que se tiene la interfaz con el usuario mediante protocolo USB. Debido a las diferencias de alimentación para los distintos componentes de la máquina, se opta por el uso de **dos fuentes de alimentación**, con el mismo voltaje de entrada de **220 V AC** y diferentes voltajes de salida en DC según:

- Fuente para los motores paso a paso y para el módulo láser: 12V / 10 A
- Fuente para el spindle: 24V / 4 A

b) Arduino UNO R3

El microcontrolador seleccionado para gobernar la máquina es el versátil ATmega 328P por medio del sistema Arduino, utilizando la placa UNO R3. Se trata de un dispositivo económico y bastante práctico para diversas aplicaciones de electrónica y robótica.

Las características del mencionado Arduino se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-6: Especificaciones de la tarjeta Arduino UNO R3

Microcontrolador	ATmega 328P
Voltaje de funcionamiento	5V USB (6-20 V por medio de la entrada Vin.)
Pines de E/S	14 pines (6 de salida PWM)
Pines de entrada analógicos	6 pines
Intensidad de corriente DC por pin	20 mA
Memoria flash	32 KB
RAM	2KB
EEPROM	1KB
Frecuencia del reloj	16 Mhz
Longitud	68,6 mm
Ancho	53,4 mm
Peso	25 g

Fuente: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>

La elección de este elemento se justifica mediante los siguientes argumentos:

- Se trata de un dispositivo de fácil acceso económico (ver Anexo B).
- El IDE (Entorno de desarrollo integrado) de Arduino es de uso libre y descargable en casi todos los sistemas operativos de computadora.
- Tiene diversos firmwares adaptados para su aplicación en máquinas CNC.

Justamente es este último motivo el que añade una factibilidad técnica al proyecto, ya que facilita su implementación en la ciudad de Sucre tecnológica y económicamente.

c) CNC Shield y GRBL

El CNC shield es una placa de extensión para los sistemas Arduino diseñado específicamente para el manejo de máquinas CNC de 3 ejes (con un eje auxiliar). De acuerdo al manual de usuario proporcionado por “Handson Technology”, esta placa utiliza un firmware de código abierto (GRBL) para controlar 4 motores paso a paso mediante el uso del driver A4988.



Figura 2-11: CNC Shield V3 acoplada a una tarjeta Arduino UNO R3

Fuente: <https://www.handsontec.com/dataspecs/cnc-3axis-shield.pdf>

Las características de esta placa, de acuerdo al mencionado manual, se citan a continuación:

- Compatible con el firmware **GRBL 0.9 y 1.1**.
- Soporte para 4 ejes (X, Y y Z, tomando un eje A como duplicado de cualquiera de los anteriores)
- Dos puertos de conexión de finales de carrera para cada eje.
- Puertos para **4 drivers A4988** removibles.
- Diseño compacto
- Opera con un rango de voltaje de 12 a 36V

El firmware GRBL se tocará en un apartado posterior del documento.

Los **drivers A4988** son dispositivos que permiten controlar los pulsos enviados a las bobinas de los motores paso a paso, con el fin de operar el ángulo de giro del eje del motor y con ello la velocidad de rotación. Las especificaciones de los drivers pueden apreciarse en la siguiente tabla:

Tabla 2-7: Especificaciones del driver A4988

Voltaje de operación	36V
Voltaje de control lógico	3,3 V a 5 V
Corriente por bobina	2A
Resolución de pasos	1/2, 1/4, 1/8, 1/16 de paso
Interfaz de comunicación	2 pines: STEP y DIRECTION
Circuito de apagado térmico	Si
Protección contra corriente cruzada	Si
Protección contra fallas de tierra	Si
Potenciómetro de ajuste de corriente	De acuerdo al motor y sus especificaciones

Fuente: <https://uelectronics.com/producto/a4988-driver-para-motor-a-pasos-con-disipador/>

d) **Finales de carrera**

Los finales de carrera son dispositivos que funcionan como interruptores al momento de entrar en contacto con algún objeto, abriéndose o cerrándose dependiendo de la aplicación. Esta función permite usarlos de manera que no se tengan desplazamientos indeseados en la máquina, dañando las piezas de la misma gracias a la colisión. La CNC shield seleccionada permite la conexión de finales de carrera para su implementación en la máquina a modo de protección y como soporte para la realización del ciclo “home” G28 (un comando utilizado en máquinas CNC para encontrar el punto 0 de la máquina, es decir la posición inicial de la herramienta)³⁰.

2.5.4. Spindle o motor eléctrico

De acuerdo a lo visto en el modelo 3018 Pro, el motor 775 representa una alternativa bastante conveniente en cuanto a la relación capacidad-precio en su implementación al diseño. Las características de este Spindle se muestran a continuación:



Figura 2-12: Spindle motor 775

Fuente: <https://www.amazon.in/Generic-Electric-Machinery-Extension-Engraver/dp/B07KMZ64BY>

- Velocidad de rotación máxima de 10000 RPM
- Voltaje de alimentación entre 12 y 36V
- Corriente de arranque 2,3 A y de funcionamiento 1,7 A
- Potencia sin carga 20,4W

La alimentación final es mediante 24 V, ya que a mayor voltaje mayores revoluciones se pueden alcanzar, alrededor de 7000 RPM según las características del motor vistas en el sitio de adquisición.

2.5.5. Módulo láser

Con el fin de presentar una alternativa de mayor potencia en cuanto a la capacidad del láser con respecto a los modelos disponibles en el mercado para máquinas de estas características es que el módulo seleccionado para el prototipo es uno de 10W de potencia de tipo semiconductor con su respectivo módulo de control TTL, tal y como se ve en la siguiente figura:



Figura 2-13: Módulo láser 10W

Fuente: <https://epyelectronica.com/tienda/3d-cnc-y-drones/3d-cnc-3d-cnc-y-drones-2/kit-laser-10w-12v-pwm-ttl-2/>

Las características de este módulo láser se pueden apreciar en el siguiente apartado:

- Diodo láser de alta calidad con lente óptico
- Potencia de salida de 10W
- Voltaje de alimentación 12V
- Modulación PWM tipo TTL

2.5.6. Interfaz con el usuario

Para que el operador pueda manejar la máquina se debe disponer de una computadora con un sistema operativo Windows. El control de la CNC shield se realiza mediante el **mencionado GRBL**. Se trata de un firmware de uso libre que permite programar una tarjeta Arduino para operar máquinas CNC en especial Routers y cortadoras láser, por lo que se convierte en una alternativa ideal para este diseño; existen varias versiones de GRBL, la más usadas son la 0.9 y la 1.1. (Sonawane, A. R., Rane, A. B., & Sudhakar, D. S. S., 2017³¹). Haciendo hincapié en esta última se puede mencionar que tiene la particularidad de poder conectar a los pines destinados a los finales de carrera del eje Z un Spindle y un módulo láser para poder controlar la activación y desactivación de los mismos

(PWM en el caso del módulo láser). Esta es la versión que ocupa el prototipo diseñado, el link de descarga se encuentra en la bibliografía.

Una vez programada la tarjeta Arduino UNO R3 (a través del IDE de Arduino, que también es de uso libre), se debe tener una interfaz HMI (Humano-máquina) con el fin de controlar el artefacto a través de una computadora, es posible realizar este control por medio de 2 softwares, uno para aplicaciones basadas en el Spindle, y otro para cuando se quiera utilizar el módulo láser. Ambos softwares son de uso libre y pueden descargarse por medio de los links adjuntos en la bibliografía.

Antes de entrar a detallar el funcionamiento de cada uno de los softwares, es necesario observar un diagrama de conexiones para la placa CNC shield y el resto de elementos electrónicos y electromecánicos del Router, dicho diagrama se puede apreciar en la siguiente figura:

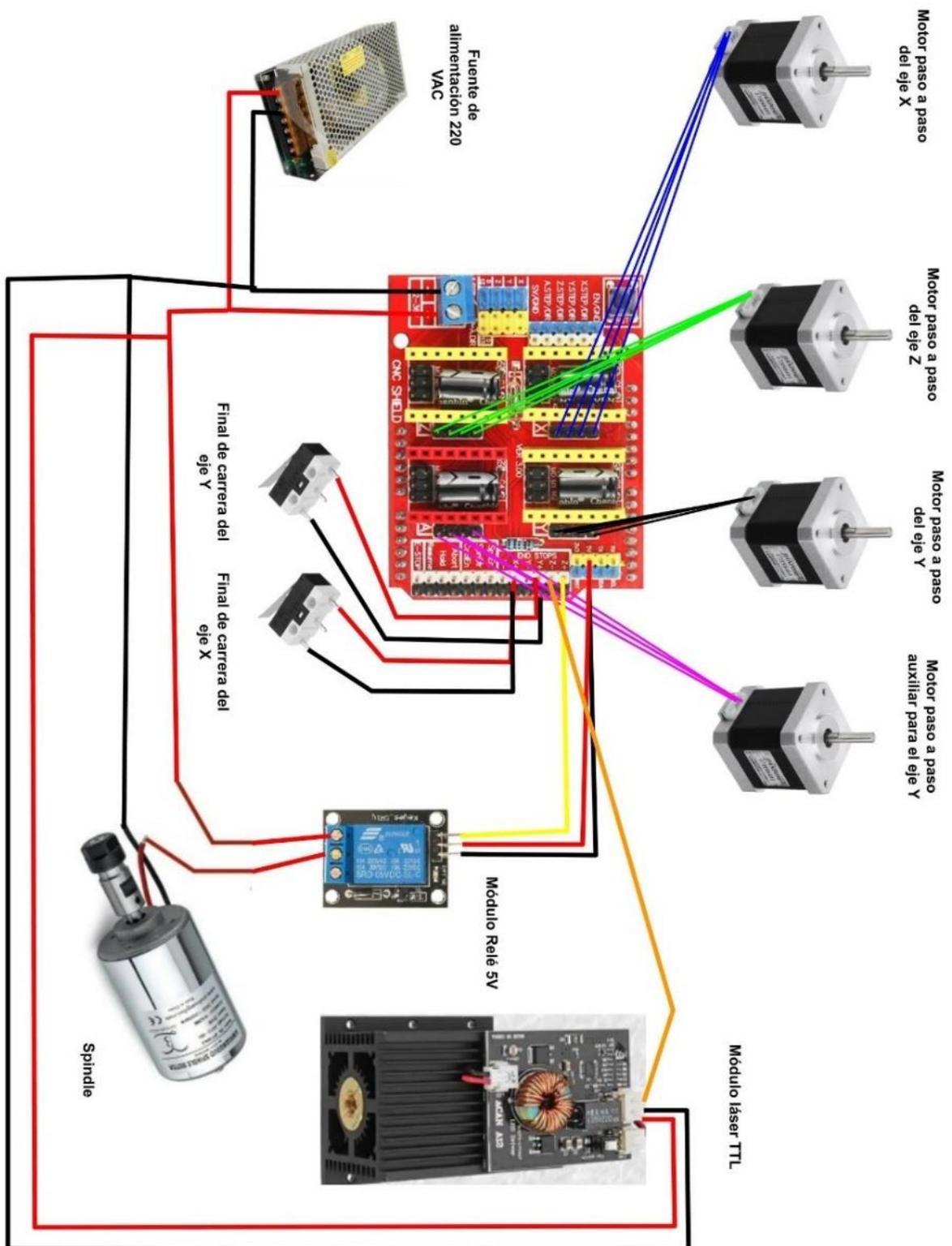


Figura 2-14: Diagrama de conexión de los distintos componentes electrónicos y electromecánicos

Fuente: <https://github.com/grbl/grbl>

Los drivers A4988 deben estar conectados en sus respectivos espacios según la siguiente imagen:

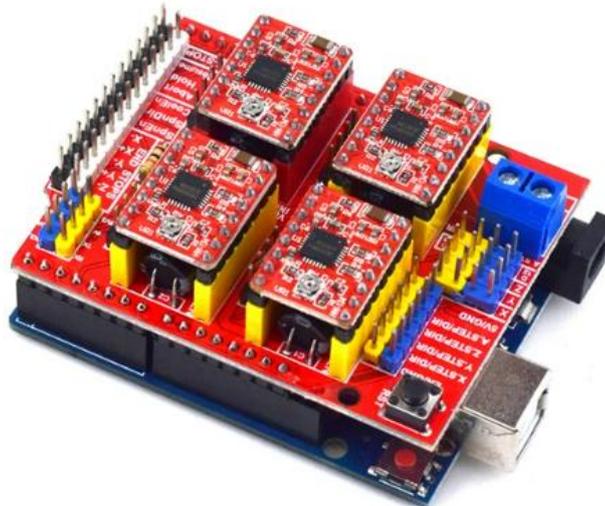


Figura 2-15: Conexión de los Drivers A4988 a la CNC Shield

Fuente:

<https://es.aliexpress.com/i/1005002253158506.html?gatewayAdapt=glo2esp>

➤ **Universal G-CodeSender (UGS)**

Es un software de uso libre que permite manejar una máquina CNC basada en Arduino y GRBL por medio de comandos en código G. Este software permite la edición de características de la máquina (como la velocidad de rotación de los motores, la resolución de los pasos, entre otras cosas) en función de las aplicaciones que tenga. Su propiedad más útil radica en la capacidad de comunicarse con el Router por medio del código G, que como se mencionó previamente, es el lenguaje estandarizado para la programación de máquinas CNC. (Jagathesvaran A/L Veeramony, & Muhammed Nafis Osman Zahid., 2022³²). Para conectar la plataforma UGS con la máquina se debe seleccionar el puerto COM correcto de conexión entre la tarjeta Arduino UNO y la computadora y definir el “baud”, que es la velocidad de transmisión de datos, **en 115200**; que es el valor por defecto para GRBL. Una vez hecha la

conexión, ya es posible operar la máquina CNC desde la computadora y también enviarle programas en código G para la realización de las piezas.

➤ **LaserGRBL**

LaserGRBL es un software diseñado para comunicarse con placas de control basadas en Arduino UNO y el firmware GRBL, específicamente para grabadores láser. Este software se destaca por su velocidad de ejecución y la capacidad de personalizar las velocidades del láser para adaptarse a diferentes tipos de hardware. Además, ofrece una herramienta de vectorización que permite abrir imágenes descargadas de internet y eliminar perturbaciones como bordes dentados, marcas de agua o contenido borroso, garantizando una mejor calidad en el grabado final. (Varma, D., Bhanushali, J., Takarkhede, N., Raikar, R., & Shah, S., 2021³³). La decisión final para adoptar el software LaserGRBL es que es de código abierto y ofrece una amplia gama de características y ajustes personalizados para el control del láser, así como la capacidad de ajustar la imagen según las necesidades del usuario. Este software permite supervisar y controlar la intensidad del grabado, convirtiendo la imagen en código G para su procesamiento a través de la placa de Arduino y la CNC shield.

2.5.7. Cambio de herramienta para mecanizado

El uso de dos distintos elementos para realizar el mecanizado no solo genera el problema de utilizar más de una fuente de alimentación, sino también el problema de conectar y acoplar cada uno al cabezal del eje Z al momento de aplicarlo. Este problema se soluciona mediante el diseño de sujetadores que puedan removerse para colocar ya sea el módulo láser o el Spindle; la conexión de los mismos se realiza con sus respectivos cables de alimentación **previamente señalados** acorde al elemento usado. Dichas piezas pueden verse en el Anexo C.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Luego de la realización de este trabajo, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se concretó el diseño de un Router CNC multifuncional capaz de realizar operaciones de corte, fresado y grabado en materiales como madera, MDF y acrílico; en adición a la realización de pistas de placas PCB.
- Se realizó una revisión bibliográfica para determinar las características de los Routers y cortadoras láser CNC, definiendo sus particularidades y haciendo énfasis en los aspectos importantes de su funcionamiento.
- Los parámetros de diseño del Router Multifuncional fueron definidos a partir de las características más importantes de los Routers y Cortadoras láser CNC estudiados, resaltando los aspectos principales como el área de trabajo, la potencia del módulo láser y la selección del Spindle.
- El modelado del prototipo del Router se efectuó mediante el uso del Software CAD AUTODESK INVENTOR en base a los parámetros de diseño establecidos.
- Se determinó el costo de implementación de la máquina en el medio local mediante cotizaciones y una comparación con el Router y la cortadora CNC de mayor adquisición en la ciudad de Sucre.

3.2. RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones del trabajo, y para futuras investigaciones, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda la construcción del equipo con el fin de recabar mayor información sobre las capacidades reales del diseño, conforme a distintas pruebas de funcionamiento.
- Se recomienda diseñar un sistema automático para el intercambio entre el módulo láser y el Spindle.
- Se recomienda la realización de un software embebido para el manejo del Router, que sea aplicable a todos los sistemas operativos actuales además de ser capaz de controlar las operaciones de corte láser y maquinados con Spindle.
- Se recomienda incrementar la cantidad de finales de carrera en la máquina, con el fin de proporcionar una mayor protección al equipo en caso de un mal uso por parte de los operadores.
- Se recomienda la implementación de un plan de mantenimiento para el Router Multifuncional, en especial en cuanto al cambio de correas y rodamientos.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Smith, J., Brown, A., & Johnson, R. (2019). *Evolución de las máquinas CNC: Impacto en la fabricación moderna*.
- (2) García, A., & Martínez, B. (2021). *Importancia de la versatilidad de los Routers CNC en la optimización de procesos industriales*.
- (3) Johnson, R. (2020). *Avances en la integración de tecnologías CNC en la manufactura moderna*.
- (4) Martínez, B. (2018). *Eficiencia y ahorro en la producción mediante Routers CNC multifunción*.
- (5) Mipesa. (s. f.). *La historia del control numérico CNC*. Recuperado de <https://www.mipesa.es/la-historia-del-control-numerico-cnc/>
- (6) ISO. (1978). *Automation systems and integration — Numerical control of machines — Program format and definitions of address words — Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems*. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/34608.html>
- (7) Sideco. (s. f.). *¿Qué es un router CNC?* Recuperado de <https://sideco.com.mx/que-es-un-router-cnc/>
- (8) Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna (3.ª ed.)*. McGraw-Hill.
- (9) ESAB. (s. f.). *How Does Laser Cutting Work?* Recuperado de https://esab.com/ar/sam_es/esab-university/blogs/how-does-laser-cutting-work/#:~:text=En%20una%20cortadora%20I%C3%A1ser%20CNC,placa%20que%20se%20est%C3%A1%20cortando
- (10) Fauzi, M. S. B. (2013). *Design and Development of Laser CNC Machine Structure*.
- (11) Rodríguez Fernández, J., Cerdá Filiu, L. M., & Bezos Sánchez-Horneros, R. (2022). *Automatismos Industriales*.
- (12) Correa, J. A. (1997). *Control Numérico Computarizado*. Rosario (Argentina): Escuela Técnica Nuestra Señora del Rosario.
- (13) Centro Universitario de Investigación y Desarrollo. (s. f.). *Análisis de estructuras de máquinas: sus elementos y comportamiento*. Recuperado de <https://cudi.edu.mx/eventos/analisis-de-estructuras-de-maquinas-sus-elementos-y->

- (27) Arevalo Moncayo, D. R., & Hermosa Ocampo, D. C. (2014). *Diseño y construcción de una prototipadora CNC que realiza el ruteo de pistas y taladrado de circuitos impresos utilizando procesamiento de imágenes en LabVIEW*. Proyecto de grado. Universidad ESPE Ecuador.
- (28) Sahana, V. W., & Thampi, G. T. (2018). *3D Printing Technology in Industry*.
- (29) Ingeniería Mecafenix. (s. f.). *Motor paso a paso*. Recuperado de <https://www.ingmecafenix.com/electronica/motores-electronicos/motor-paso-a-paso/>
- (30) GCode Tutor. (s. f.). *G28 GCode*. Recuperado de <https://gcodetutor.com/fanuc-training-course/g28-gcode.html>
- (31) Sonawane, A. R., Rane, A. B., & Sudhakar, D. S. S. (2017). *Development of a 3- Axis CNC Milling Machine with an Open Source Controller*.
- (32) Jagathesvaran A/L Veeramony, & Muhammed Nafis Osman Zahid. (2022). *A Customizable Controller for 3 Axis Modular CNC Machine*.
- (33) Varma, D., Bhanushali, J., Takarkhede, N., Raikar, R., & Shah, S. (2021). *Open Source LaserGRBL – Arduino Based Laser Engraver*.

Softwares disponibles en línea:

gnea. (s. f.). *grbl. Versión. GitHub*. <https://github.com/gnea/grbl>

Winder. (s. f.). *Universal GcodeSender*. Recuperado de https://winder.github.io/ugs_website/download/

LaserGRBL. (s. f.). Recuperado de <https://lasergrbl.com>

ANEXOS

Anexo A: Especificaciones de la máquina

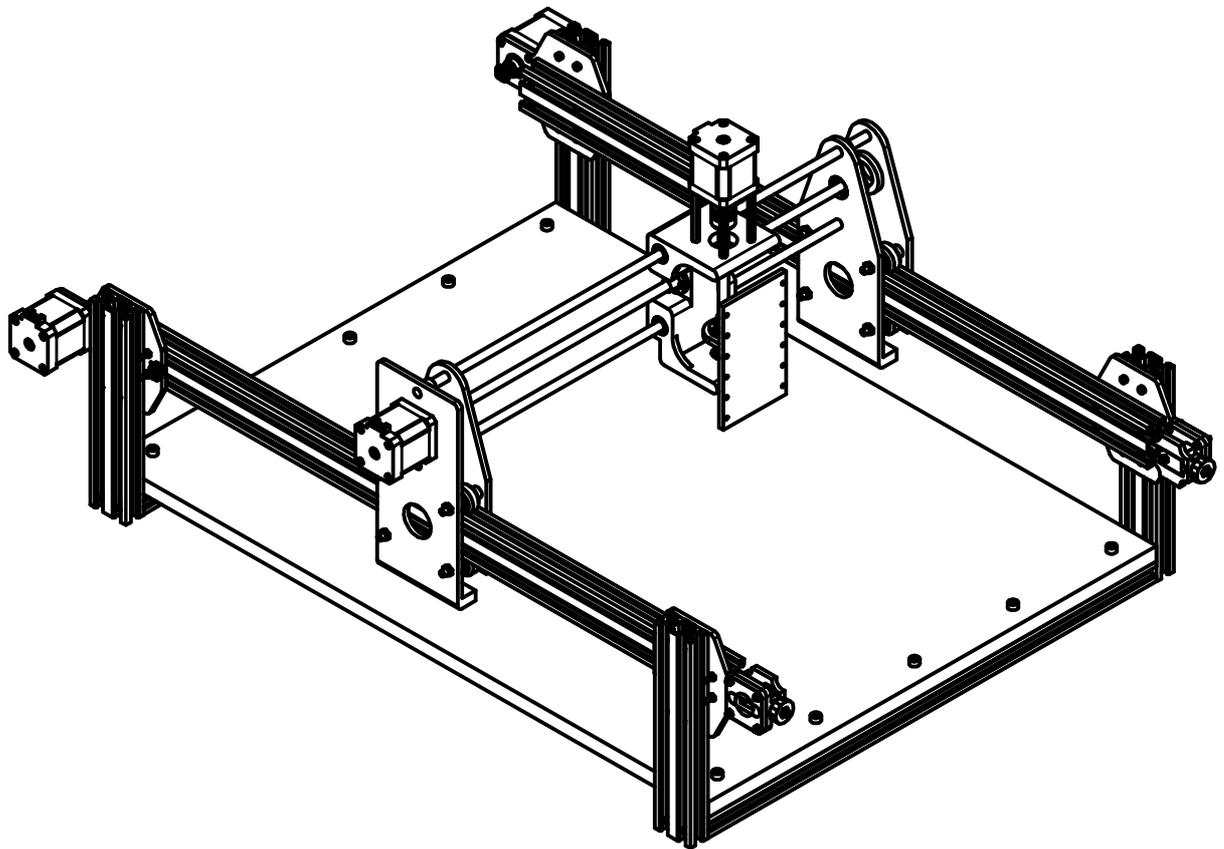
Las especificaciones técnicas del Router CNC multifunción se pueden apreciar en la siguiente tabla:

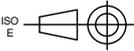
Tabla A-1: Especificaciones técnicas de la máquina

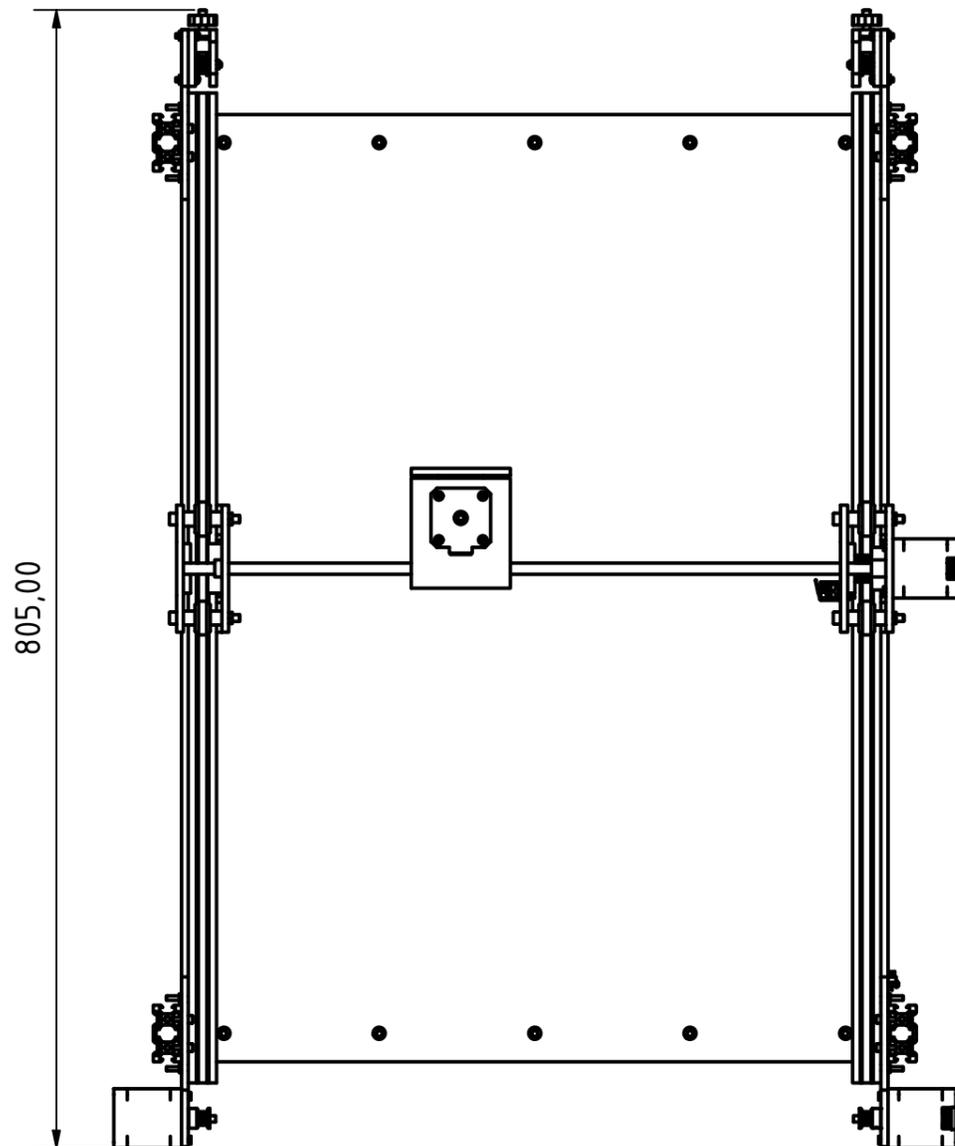
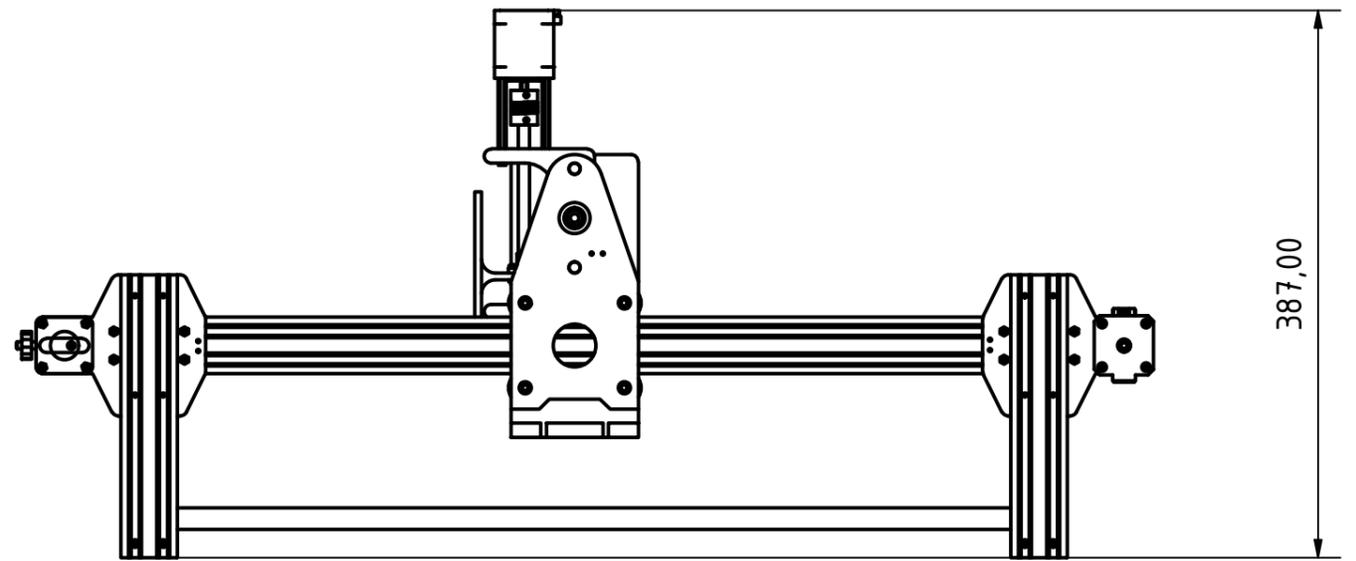
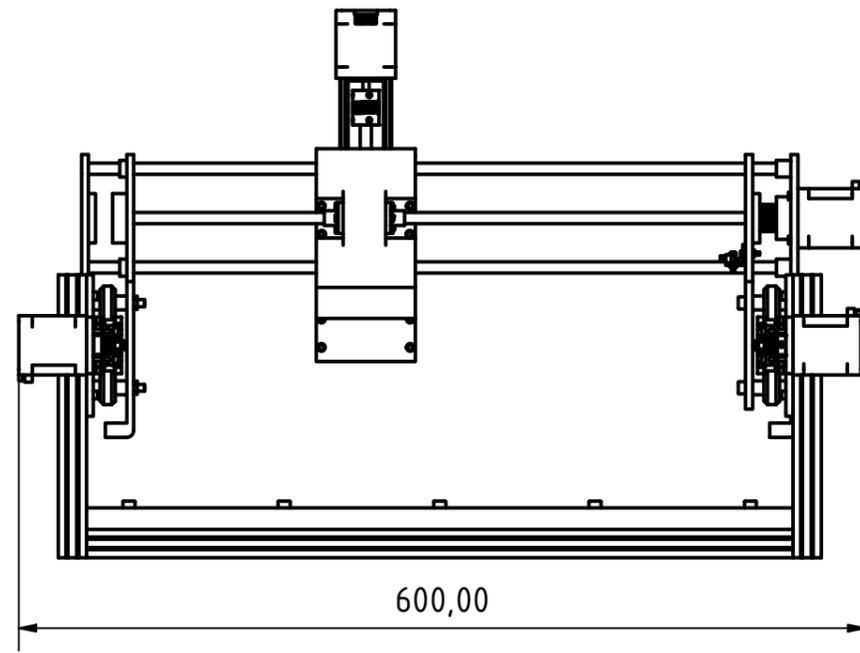
CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Dimensiones de la máquina	600 x 805 x 387 mm
Área de trabajo	390 x 390
Desplazamiento eje Z	80 mm
Características de las fuentes de alimentación	<ul style="list-style-type: none">➤ Suministro: 220 V AC/ 50 Hz➤ Salida 1: 12V / 10 A➤ Salida 2: 24V / 4 A
Potencia nominal	120 W
Características del Spindle	Motor 775
Características del módulo láser	Módulo láser 10W
Tipos de material a trabajar	Madera, MDF, acrílico, baquelita, entre otros
Espesor de material a trabajar	0 a 5 mm

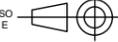
Fuente: Elaboración Propia

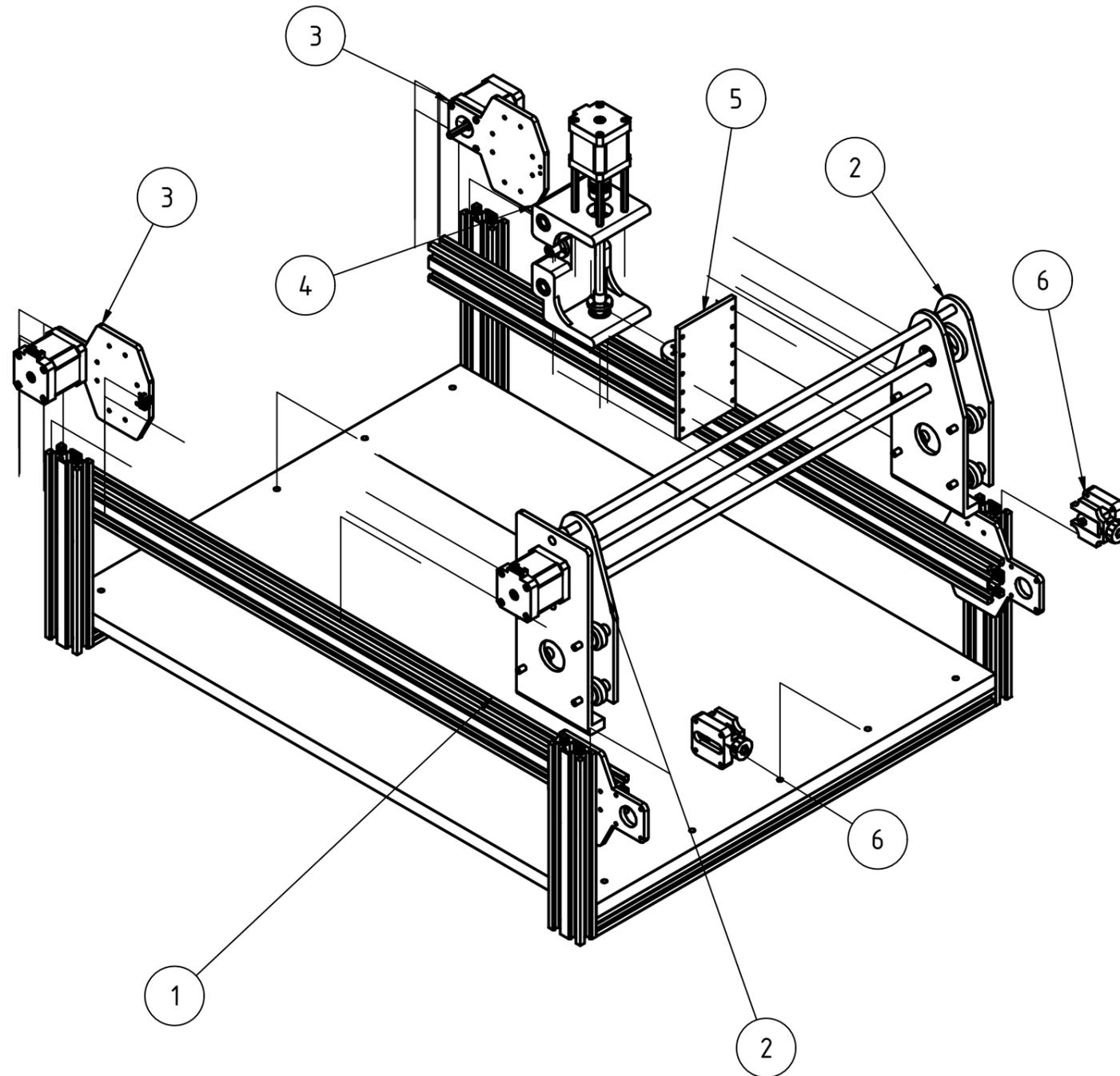
Anexo B: Planos de los elementos diseñados



	Fecha	Nombre	Router Multifunción	
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico			Nro. de plano: 1 de 23
1:6				
				
Toler.				
Rug.				



	Fecha	Nombre	Dimensiones del Router Multifunción	
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala	1:5		Router multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico	Nro. de plano: 2 de 23
ISO				
Toler.				
Rug.				



LISTA DE PIEZAS

Nro. de Pieza	Cantidad	Elemento	Descripción
1	1	Estructura de la máquina	Copuesta de perfiles de aluminio V-Slot de varias medidas. Incluye la mesa de trabajo
2	1	Sistema de movimiento en el Eje X	Incluye el soporte para el motor paso a paso, el husillo y varillas, además de lo carro móviles
3	2	Soportes para los motores del Eje Y	Soportes Para los motores paso a paso del Eje Y
4	1	Sistema de movimiento del Eje Z	Incluye el soporte del motor, el husillo y varios rodamientos lineales que permiten su desplazamiento
5	1	Portaherramienta	Pieza diseñada para acoplar el Spindle y el módulo láser con sus respectivos soportes
6	2	Sistema de tensado de correas para el Eje Y	

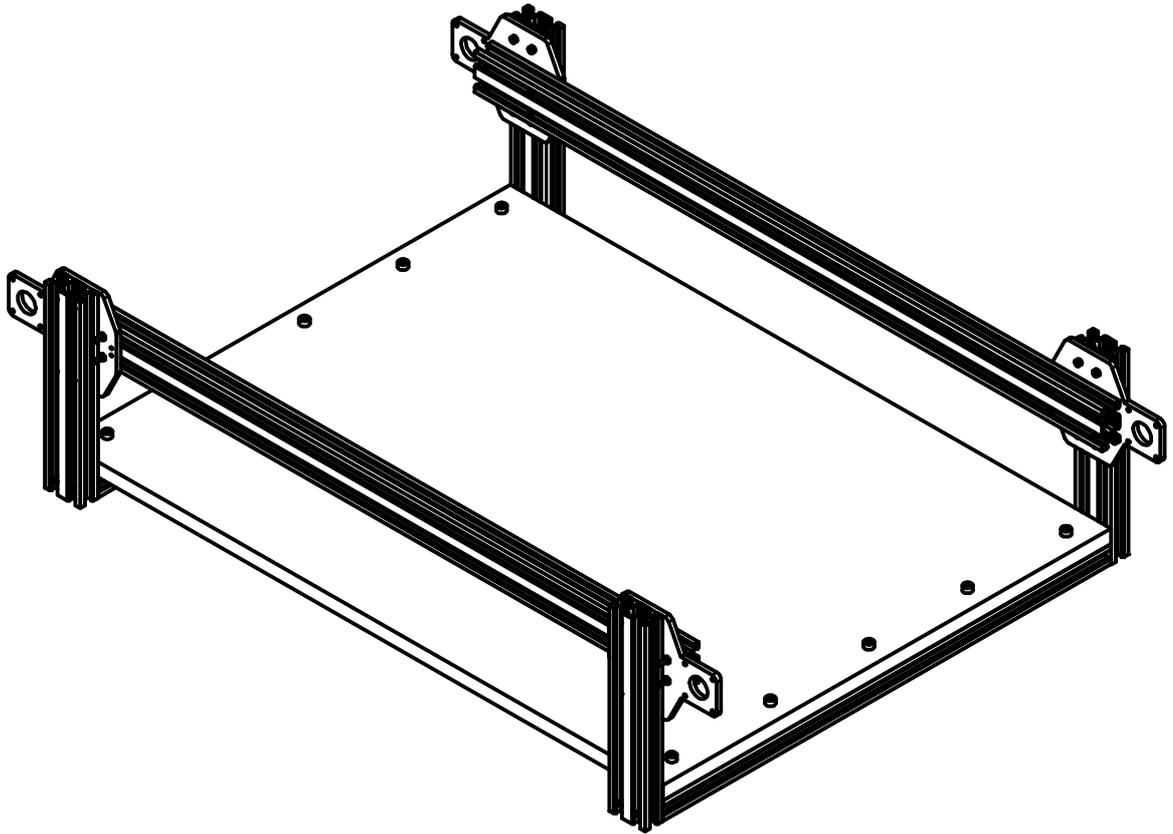
Fecha	Nombre
Dib.	Araujo Manuel
Rev.	
Apr.	

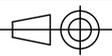
Despiece del Router Multifunción

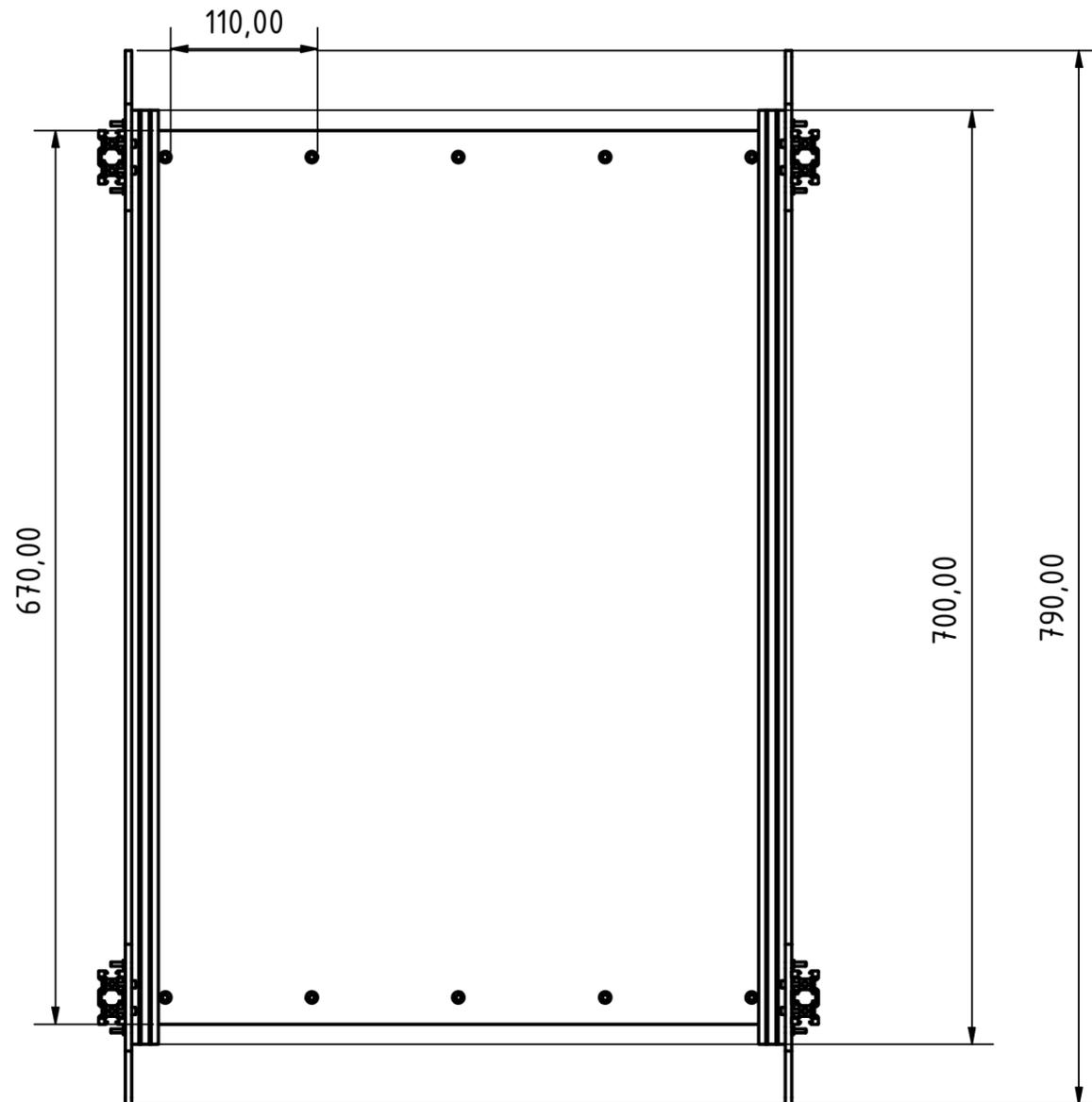
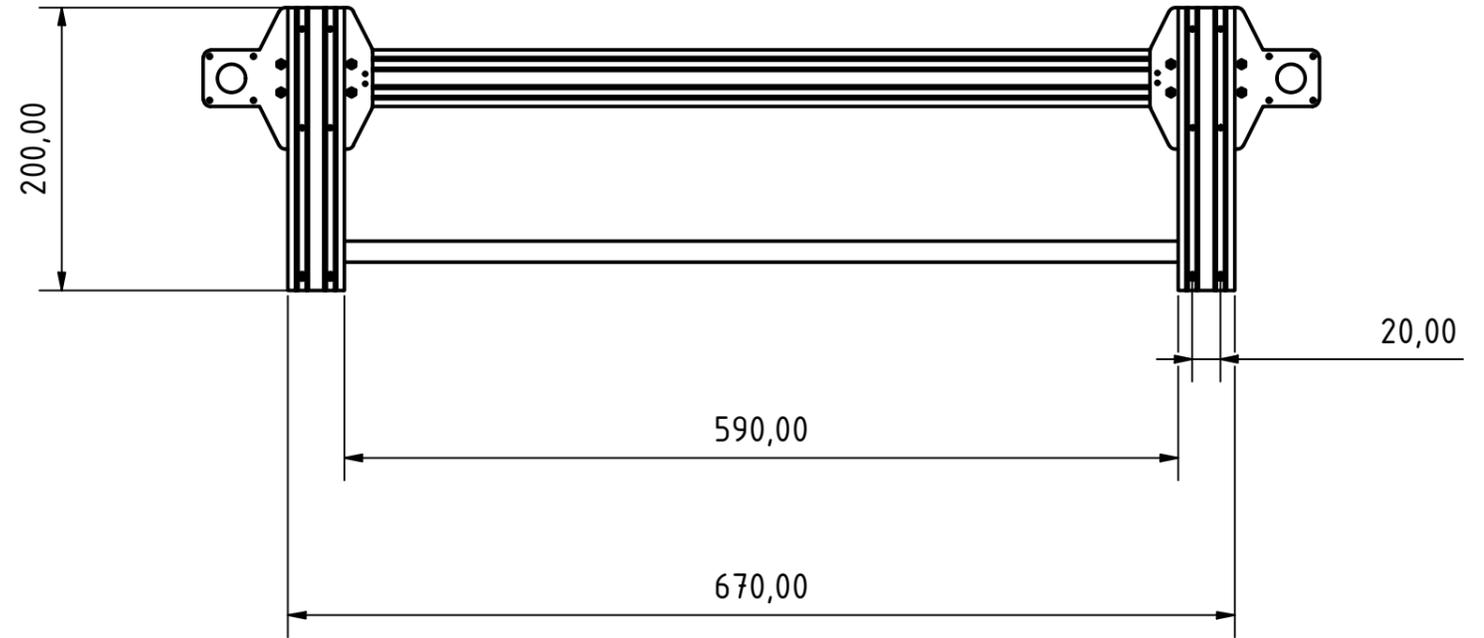
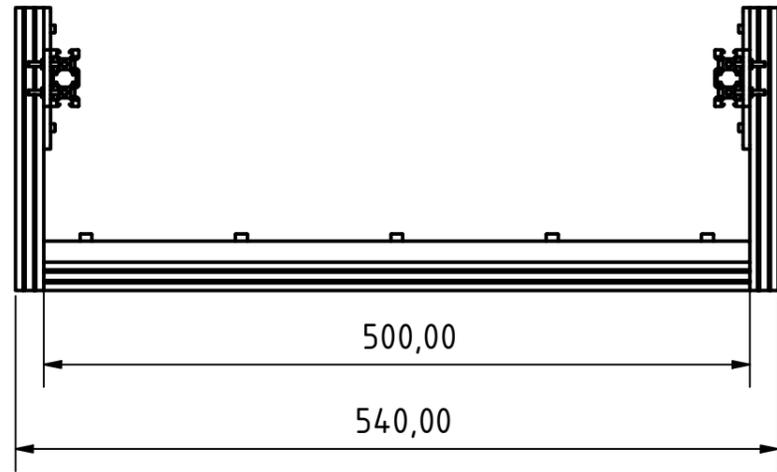


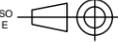
Escala	1:5
ISO	
Toler.	
Rug.	

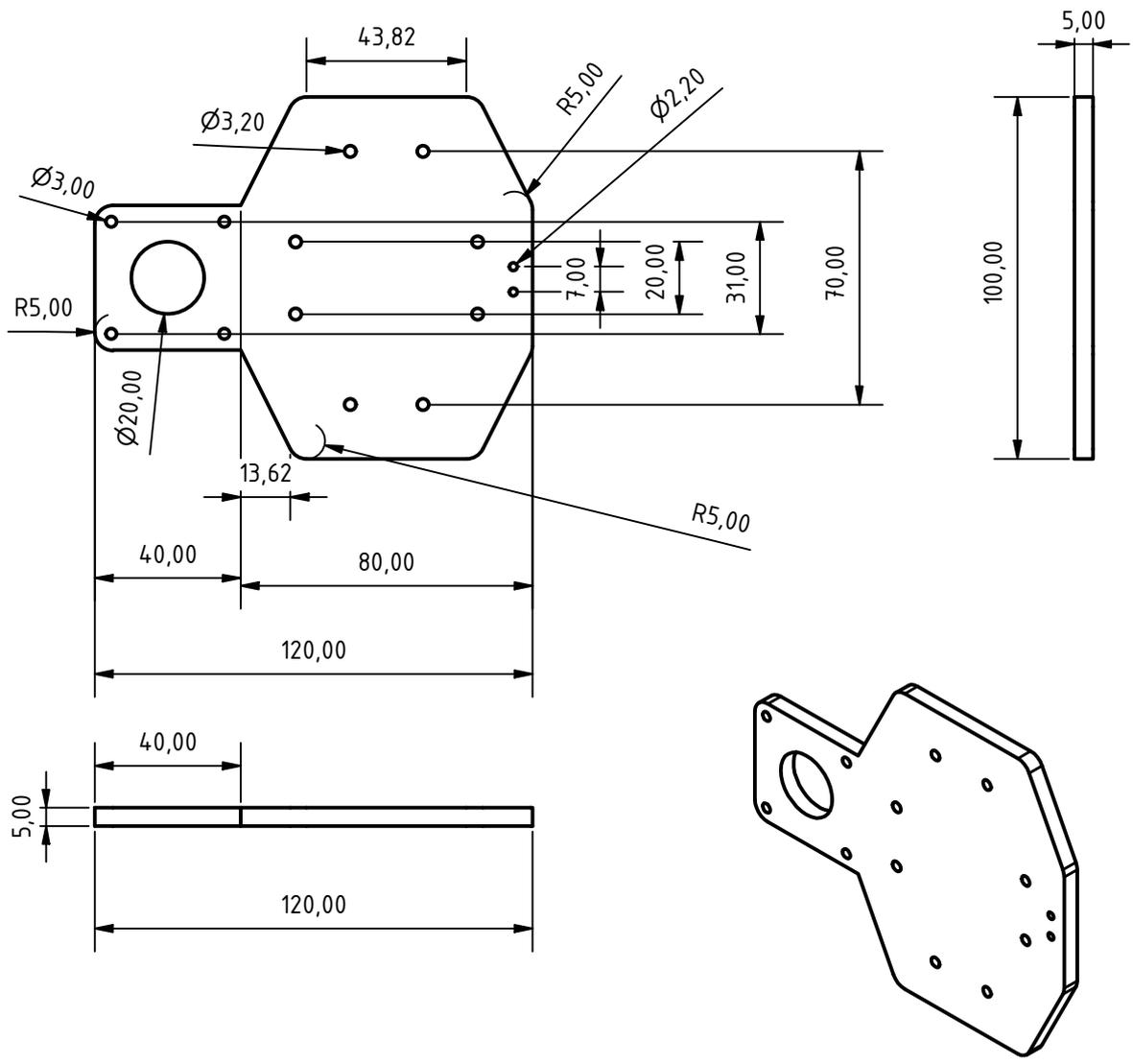
Router multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico



	Fecha	Nombre	Estructura del Router Multifunción	
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala 1:6	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico		Nro. de plano: 4 de 23	
ISO E 				
Toler.				
Rug.				

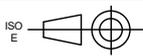


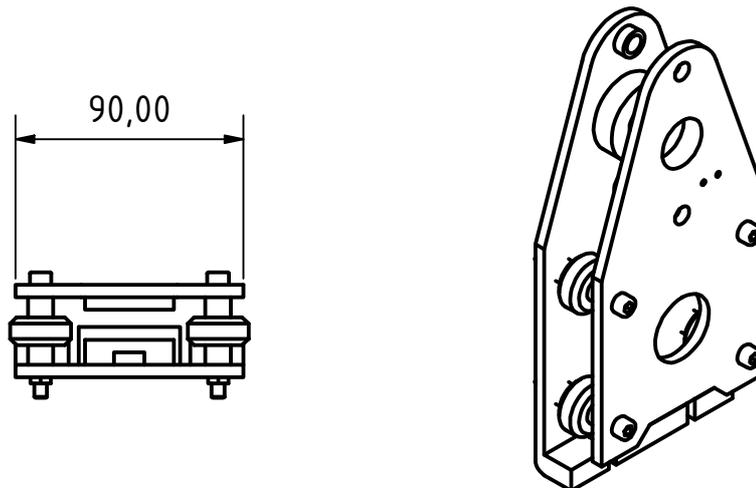
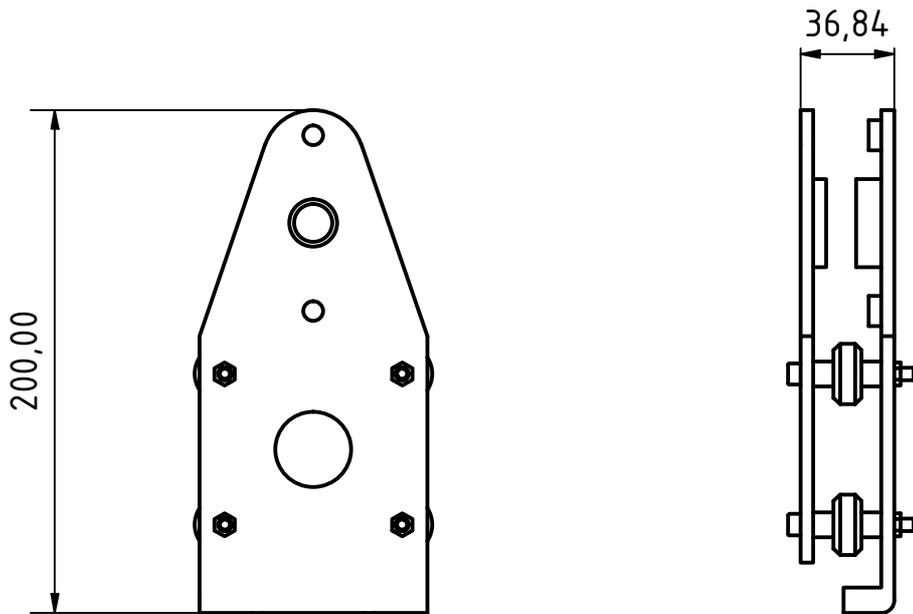
	Fecha	Nombre	Vistas de la estructura del Router Multifunción	
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala	1:5			Router multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico
ISO E				
Toler.				
Rug.				
				Nro. de plano: 5 de 23

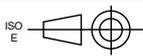


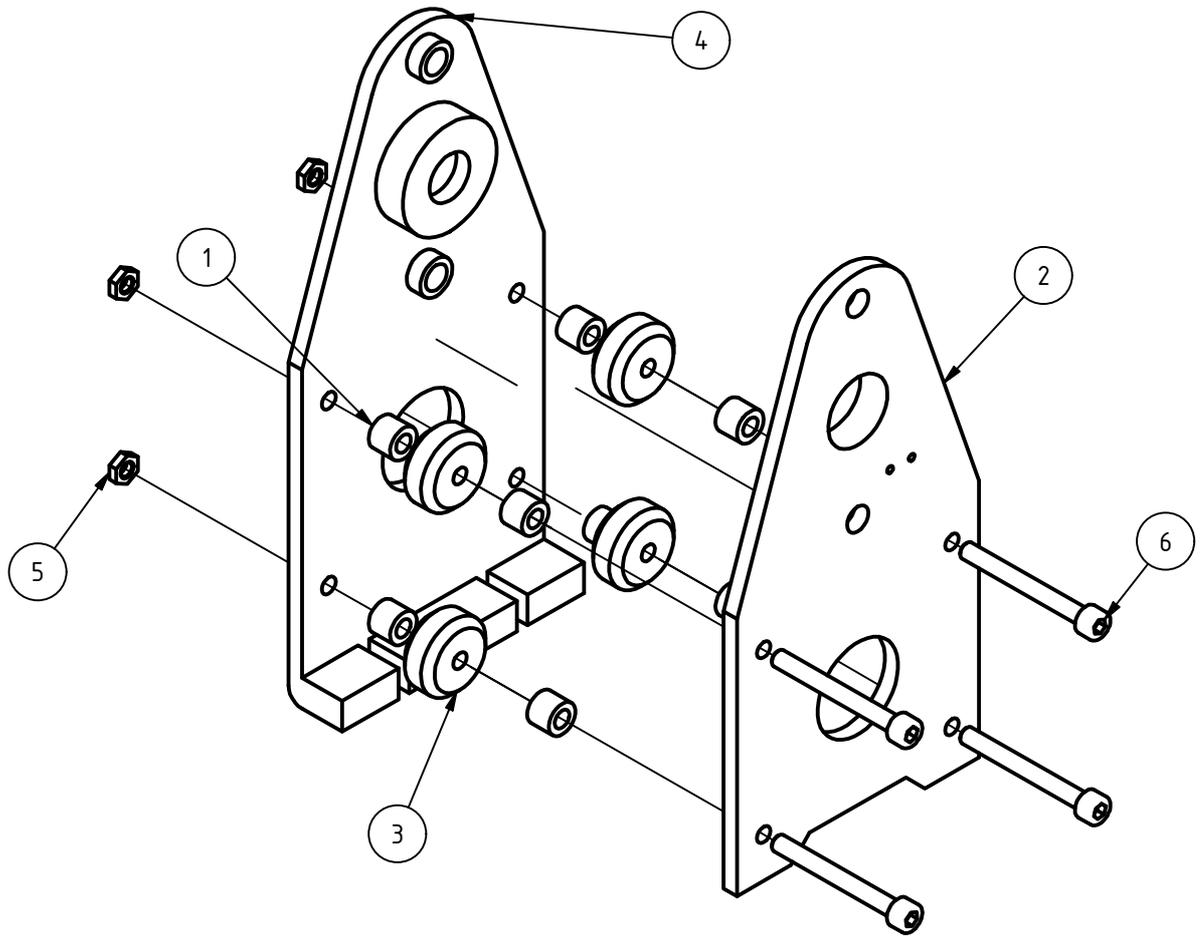
DATOS ADICIONALES

ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Soporte de motor paso a paso y tensor de correa	4	Pieza impresa en 3D con filamento PLA utilizada como soporte para los motores paso a paso NEMA 17 y los tensores de correa del Eje Y

Escala 1:2  Toler. Rug.	Fecha	Nombre	Soporte del motor paso a paso y tensor del Eje Y Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICA UNMSM-F.I.E.C.H.
	Dib.	Araujo Manuel		
	Rev.			
	Apr.			
Nro. de plano: 6 de 23				

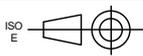


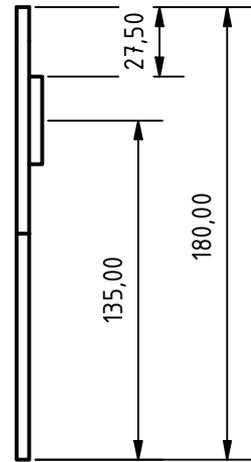
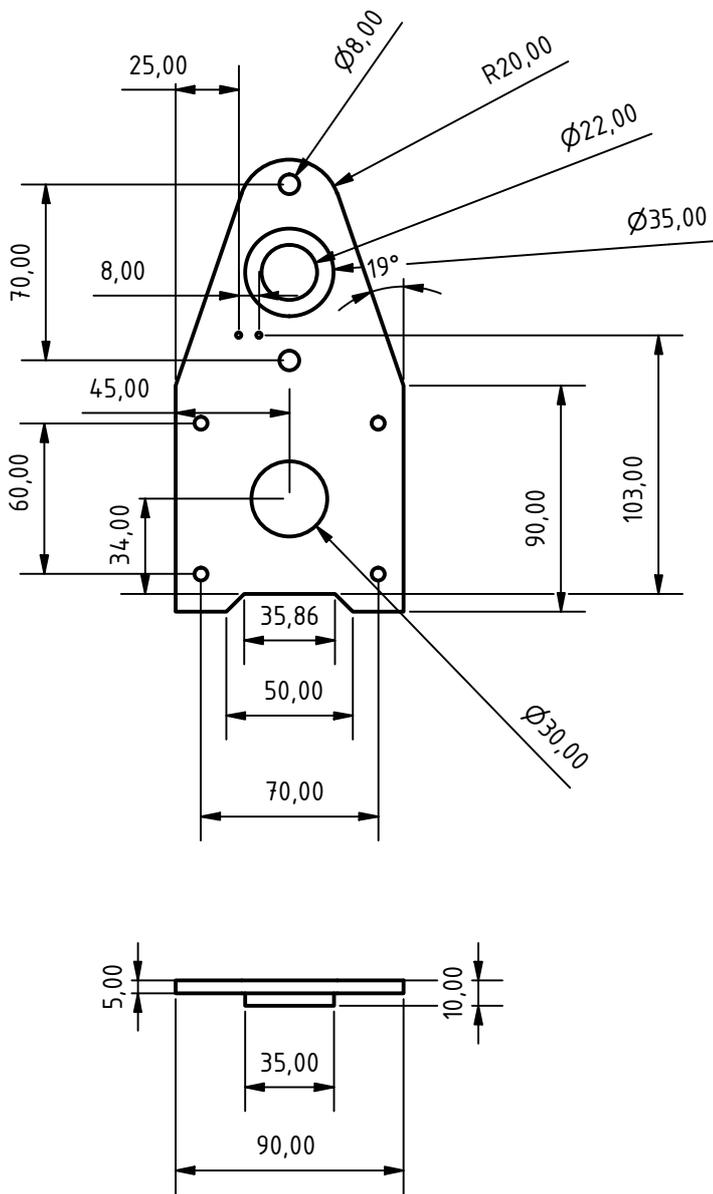
	Fecha	Nombre	Carro móvil del Eje Y	
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico			Nro. de plano: 7 de 23
1:3				
				
Toler.				
Rug.				



LISTA DE PIEZAS

Nro. de Pieza	Cantidad	Elemento	Descripción
1	4	Separador	Espaciador de 6 mm
2	1	Carro móvil Eje X lado B	
3	4	Rueda V-Slot	
4	1	Carro móvil Eje X lado A	
5	4	M5(1)	Tuerca hexagonal
6	1	M5 x 45	Tornillo brochado de cabeza hueca - Métrico

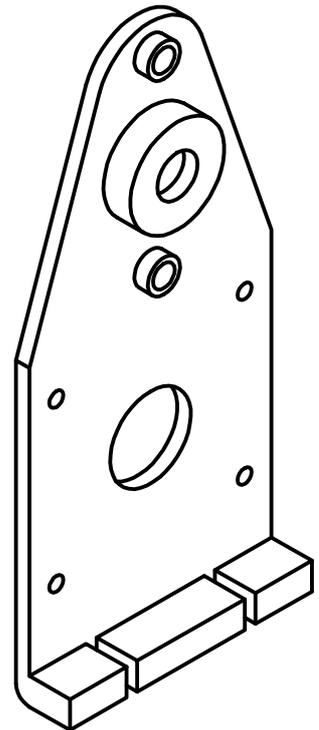
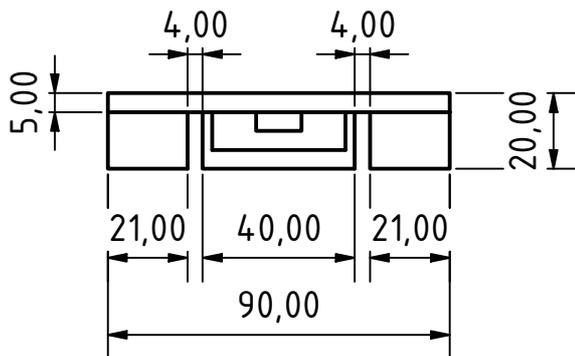
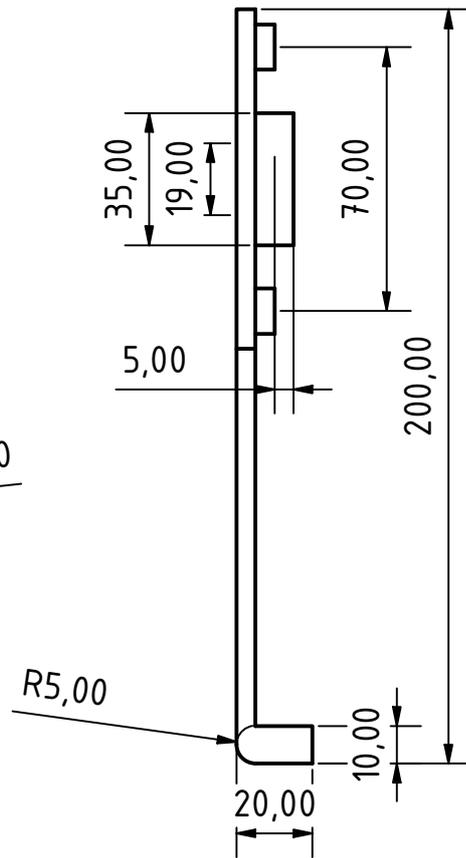
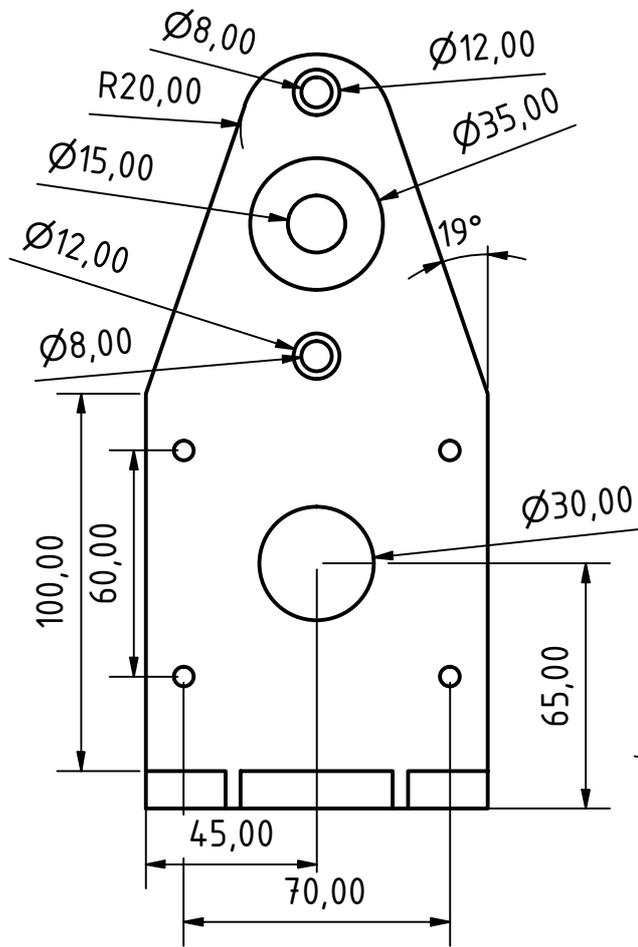
Dib. Rev. Apr.	Fecha	Nombre	Despiece del carro móvil del Eje Y	
		Araujo Manuel		
Escala 1:2	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico		Nro. de plano: 8 de 23	
				
Toler. Rug.				



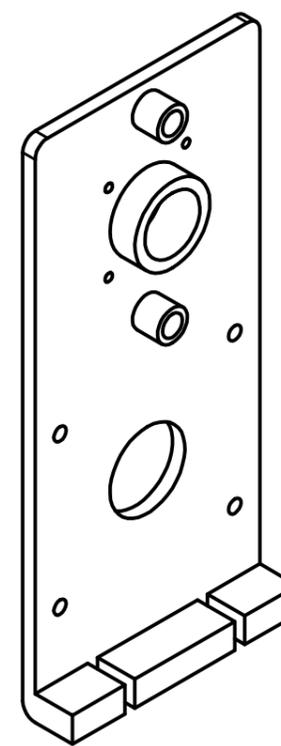
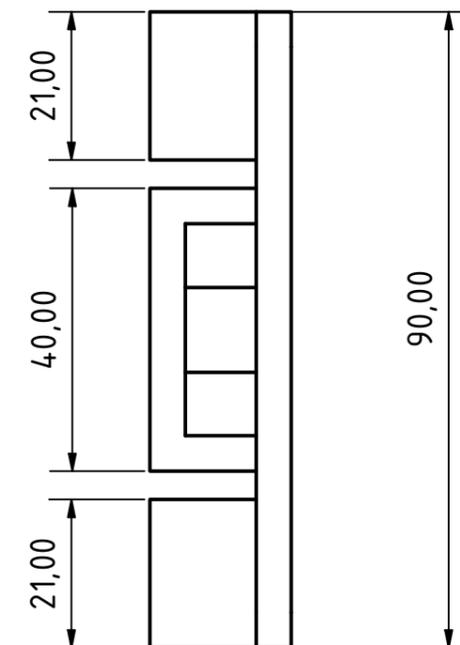
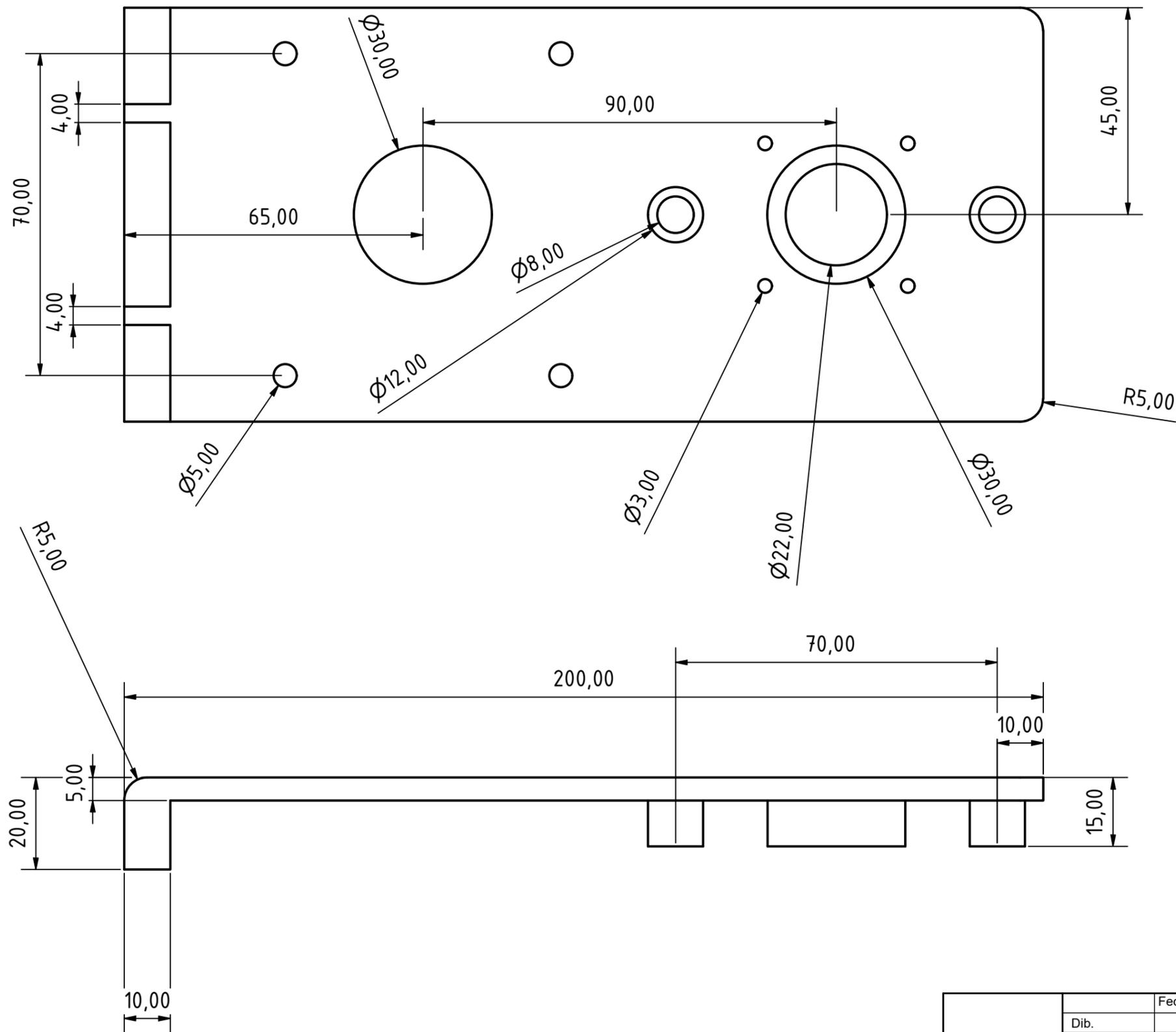
DATOS ADICIONALES

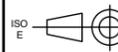
ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Soporte del carro móvil del Eje Y	2	Pieza impresa en 3D con filamento PLA utilizada como carro móvil para el Eje Y, acoplando las ruedas V-Slot para su desplazamiento

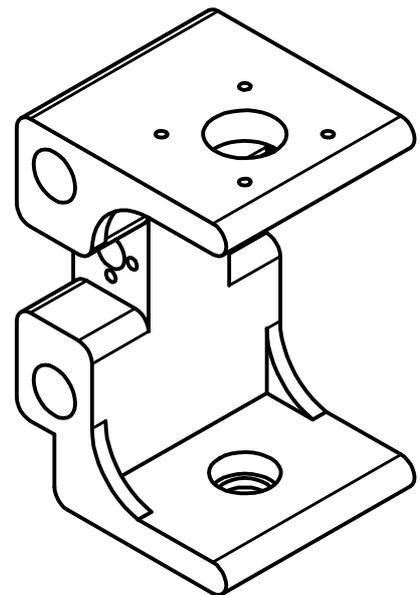
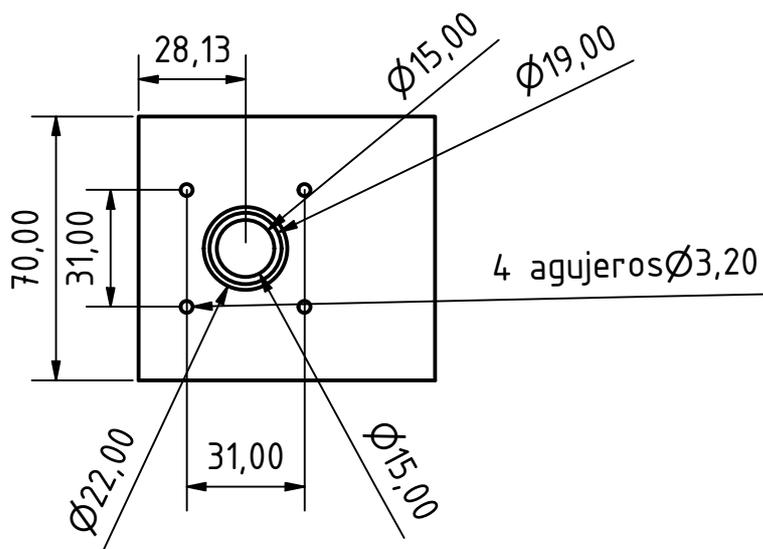
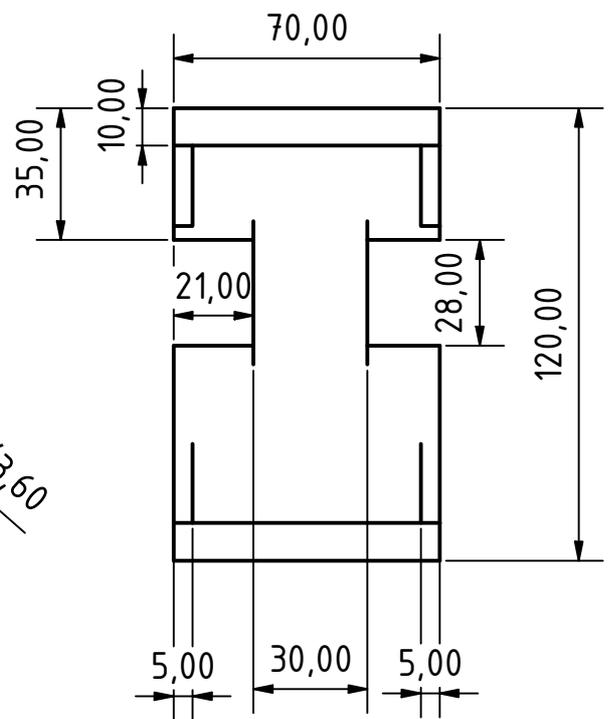
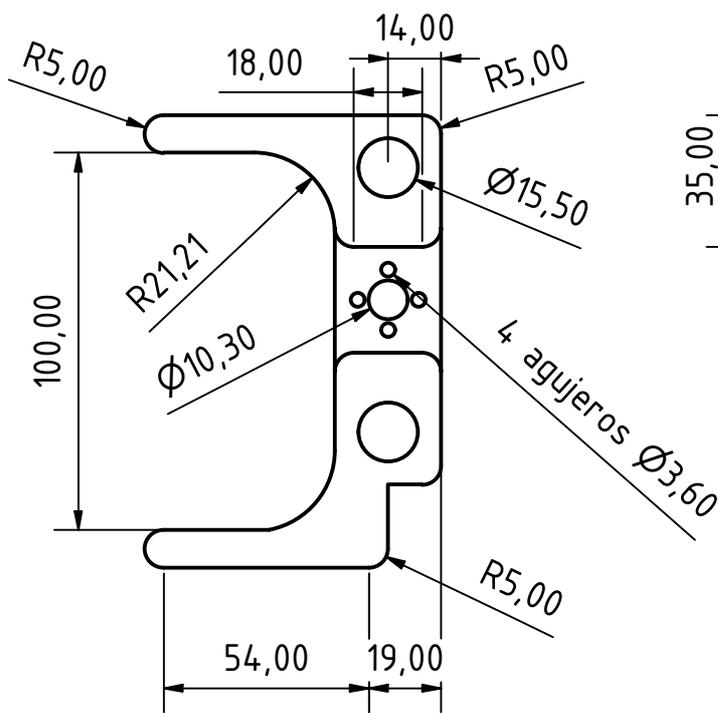
Fecha	Nombre	Soporte del carro móvil del Eje Y		
Dib.	Araujo Manuel			
Rev.				
Apr.				
Escala 1:3	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico		Nro. de plano: 9 de 23	
ISO E				
Toler. Rug.				

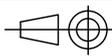


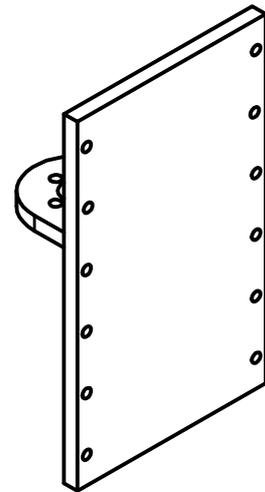
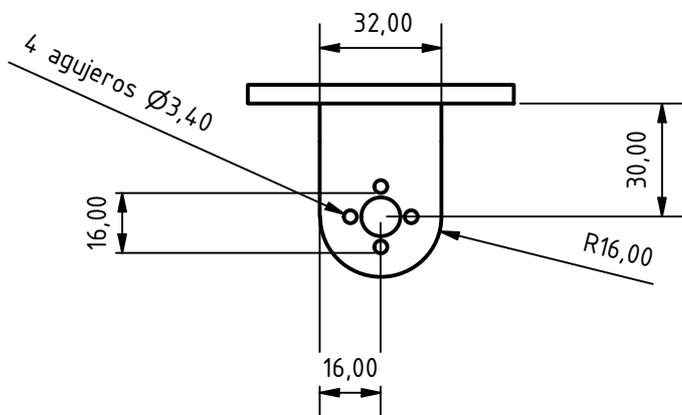
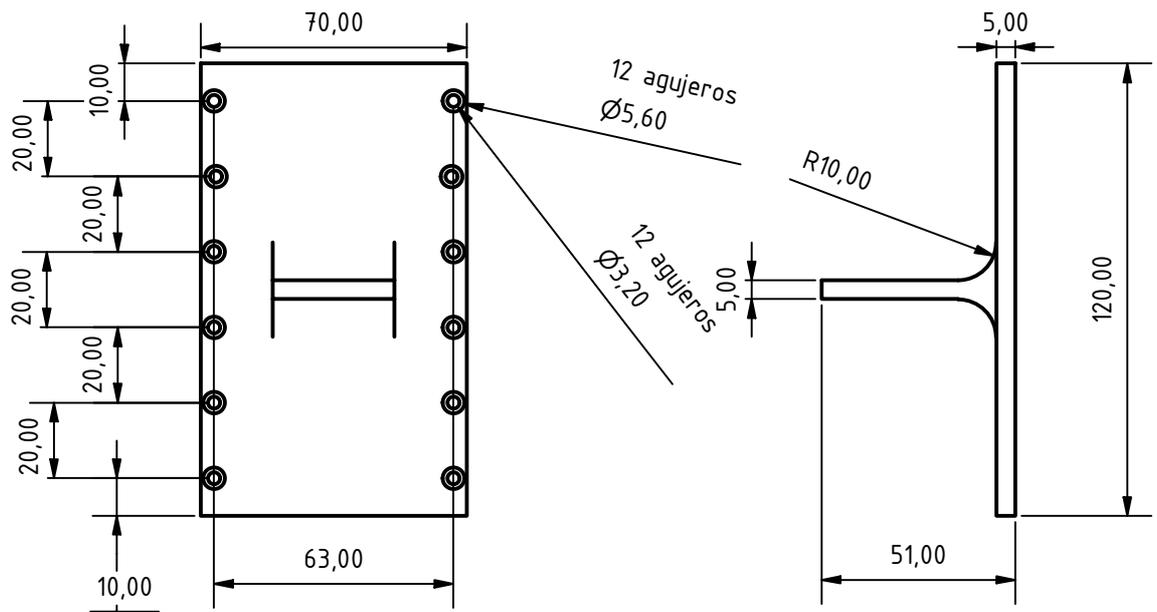
	Fecha	Nombre	Soporte para el husillo y las varillas del Eje X	
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico			Nro. de plano: 10 de 23
1:2				
ISO E				
Toler.				
Rug.				



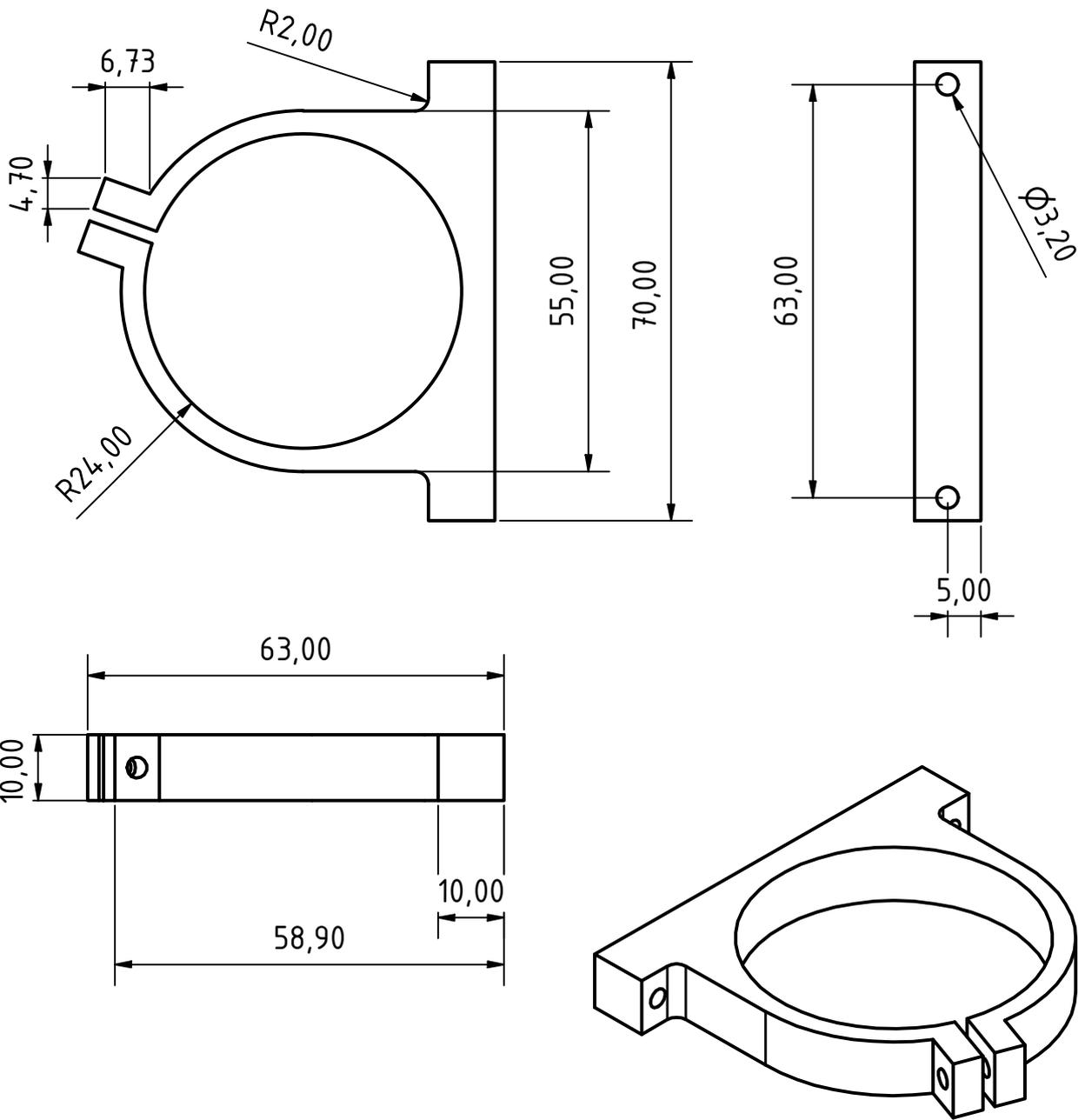
	Fecha	Nombre	Soporte del motor paso a paso del Eje X	
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala	1:1			Router multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico
ISO				
Toler.				
Rug.				
				Nro. de plano: 11 de 23

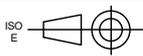


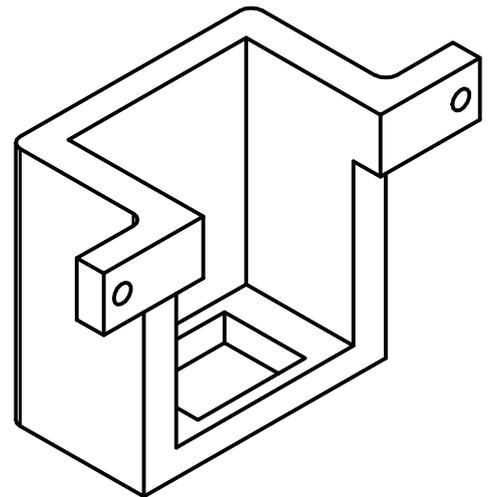
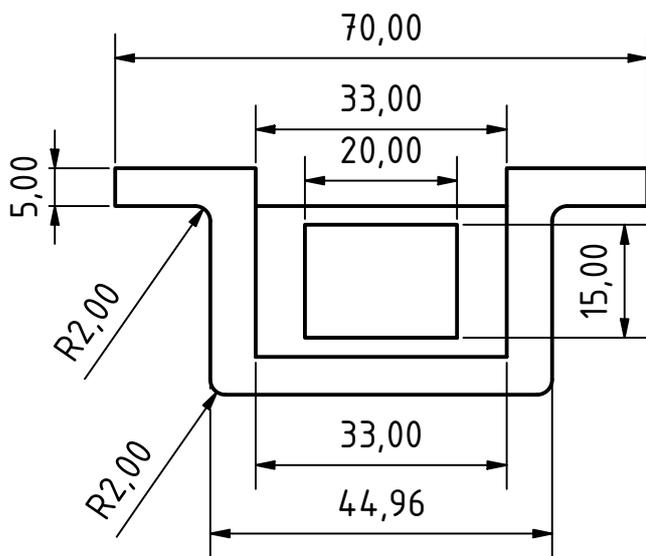
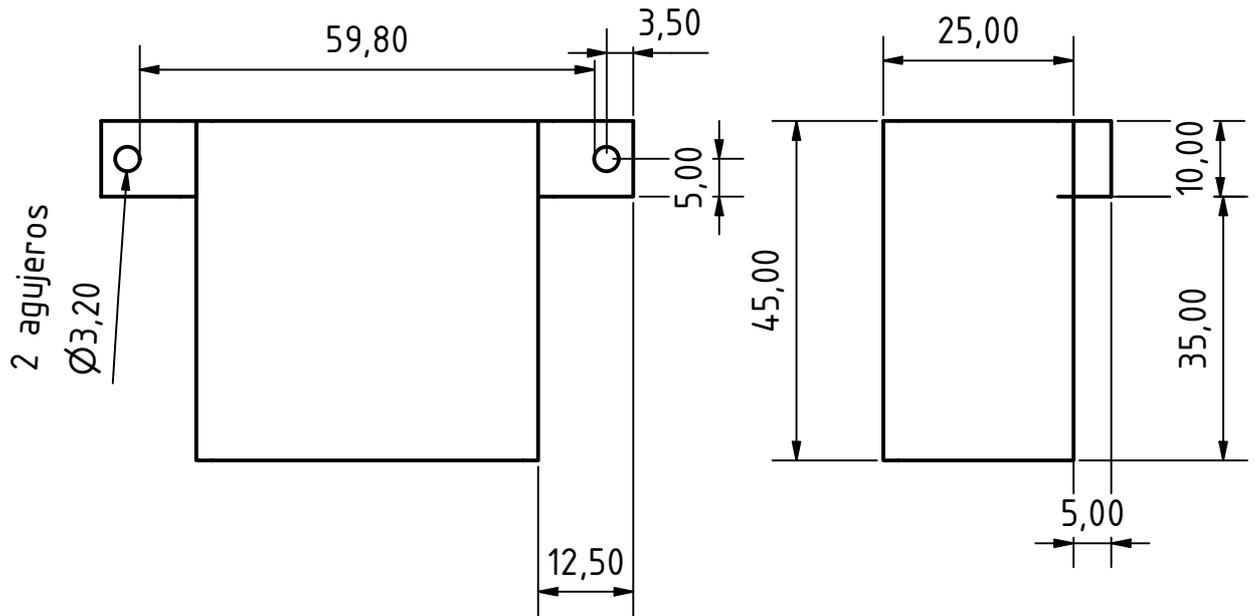
	Fecha	Nombre	Carro móvil para el Eje X y soporte para el motor paso a paso del Eje Z	
Dib.		Araujo Villegas		
Rev.				
Apr.				
Escala	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico			Nro. de plano: 12 de 23
1:2				
ISO E 				
Toler.				
Rug.				



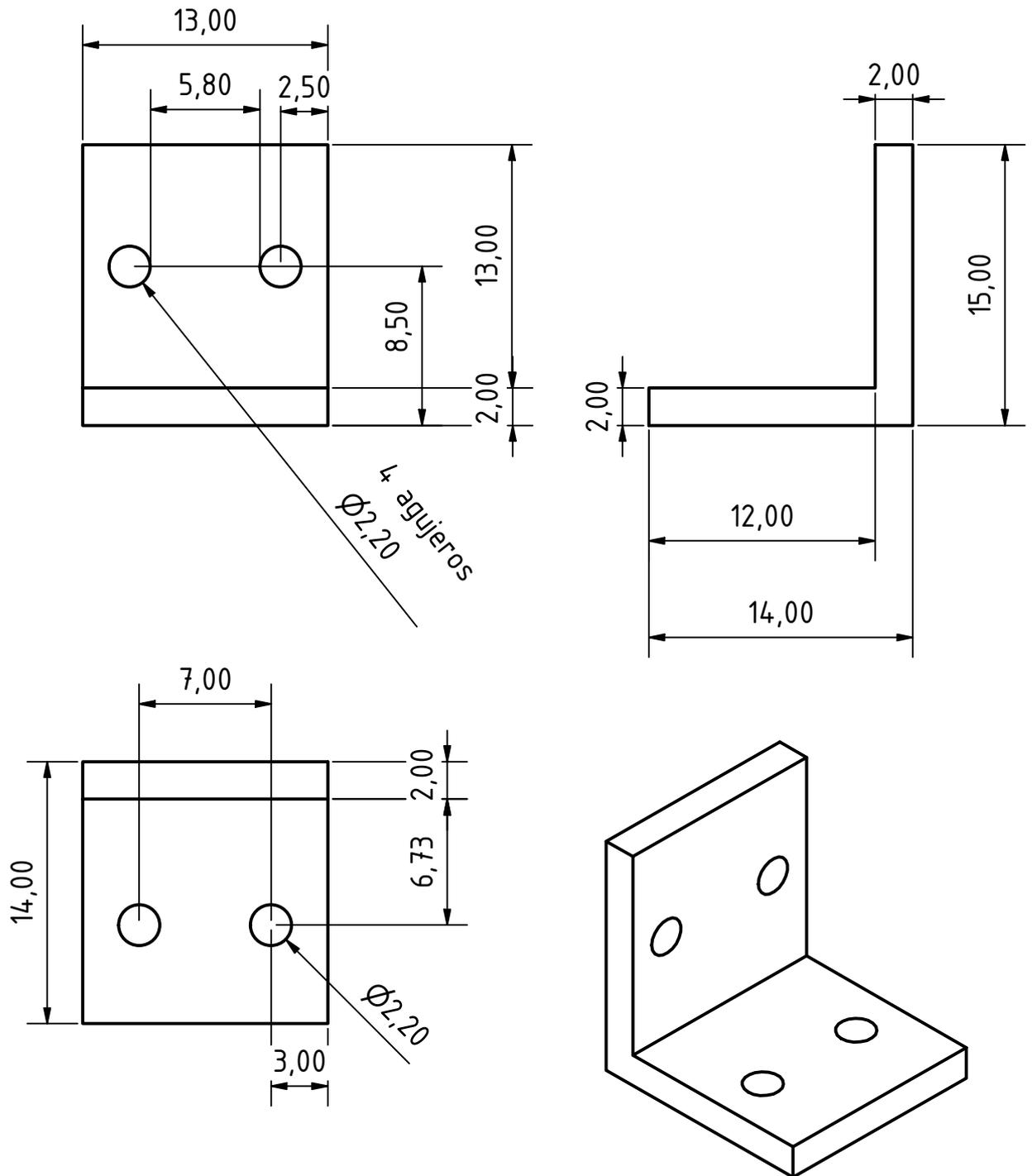
	Fecha	Nombre	Portaherramientas para el Sipindle y el módulo láser	
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico			Nro. de plano: 13 de 23
1:2				
ISO E				
Toler. Rug.				

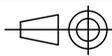


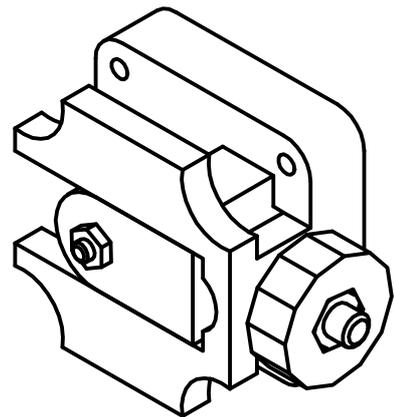
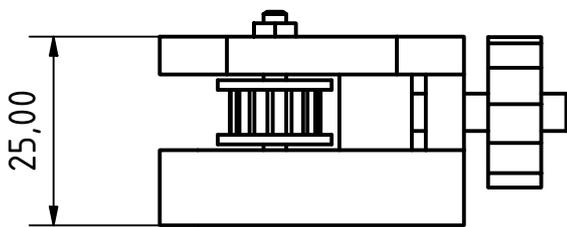
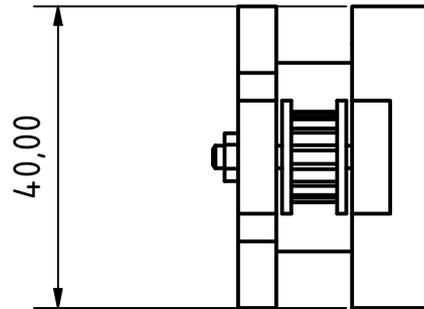
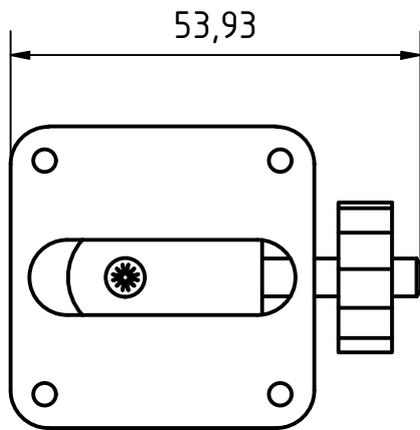
	Fecha	Nombre	Sujetador para el Spindle	
	Dib.	Araujo Manuel		
	Rev.			
	Apr.			
Escala	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico		Nro. de plano: 14 de 23	
1:1				
				
Toler.				
Rug.				

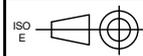


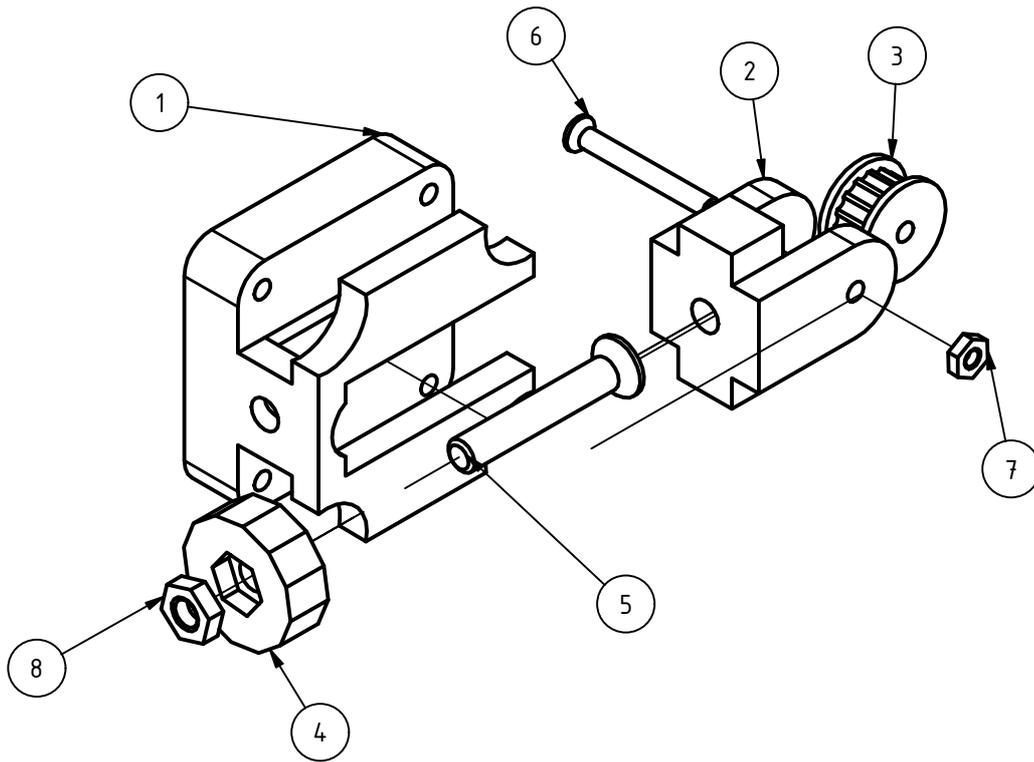
	Fecha	Nombre	Sujetador para el módulo láser	
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico			Nro. de plano: 15 de 23
1:1				
ISO E				
Toler.				
Rug.				



	Fecha	Nombre	Soporte para el final del carrera del Eje X	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS UNSA - ESCUELA DE INGENIERIA
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico			
3:1				
ISO 				
Toler.				
Rug.				
				Nro. de plano: 16 de 23



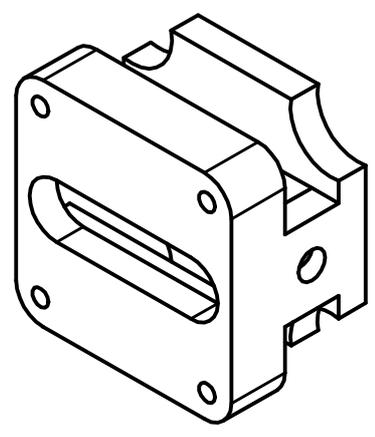
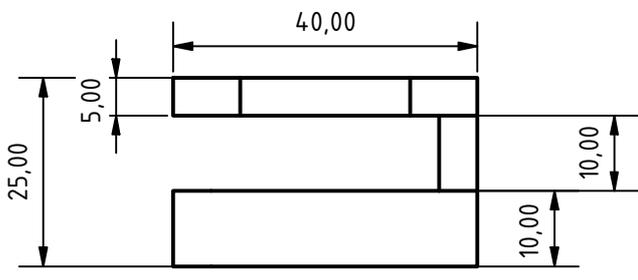
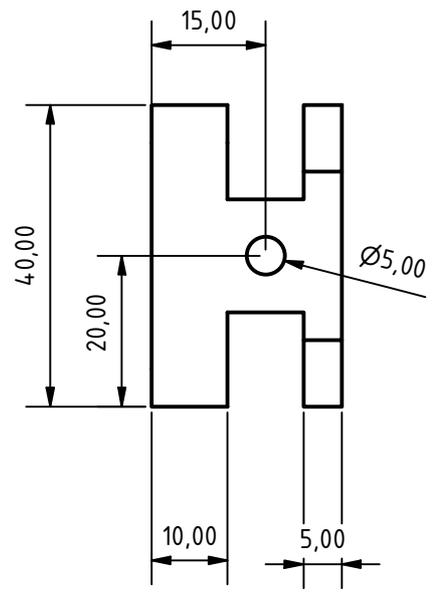
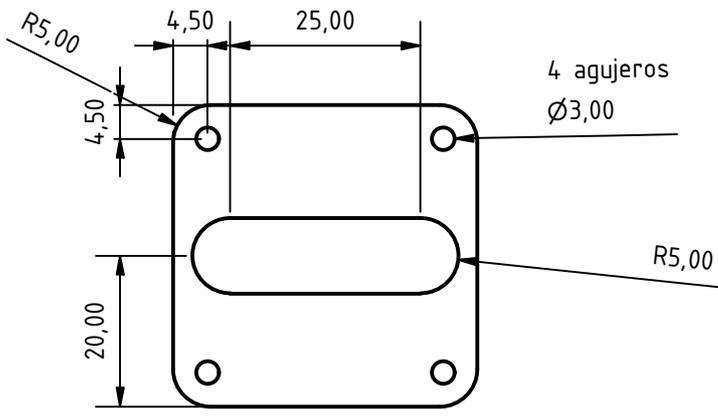
	Fecha	Nombre	Sistema de tensado de correas del Eje Y	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS INCA - ICFOP WWW.FICAM.COM
Dib.		Araujo Manuel		
Rev.				
Apr.				
Escala	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico			Nro. de plano: 17 de 23
1:1				
				
Toler.				
Rug.				



LISTA DE PIEZAS

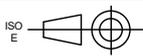
Nro. de Pieza	Cantidad	Elemento	Descripción
1	1	Cuerpo del soporte	
2	1	Tensor de correa	
3	1	Polea GT2	Diámetro = 6 mm
4	1	Perilla de ajuste	Perilla que al girar estira el tensor de correa
5	1	M5 x 30	Tornillo para maquinaria de cabeza plana avellanada con hueco cruciforme - Tipo IA - Métrico
6	1	M3 x 25	Tornillo para maquinaria de cabeza plana avellanada con hueco cruciforme - Tipo IA - Métrico
7	1	M3	Tuerca hexagonal
8	1	M5	Tuerca hexagonal

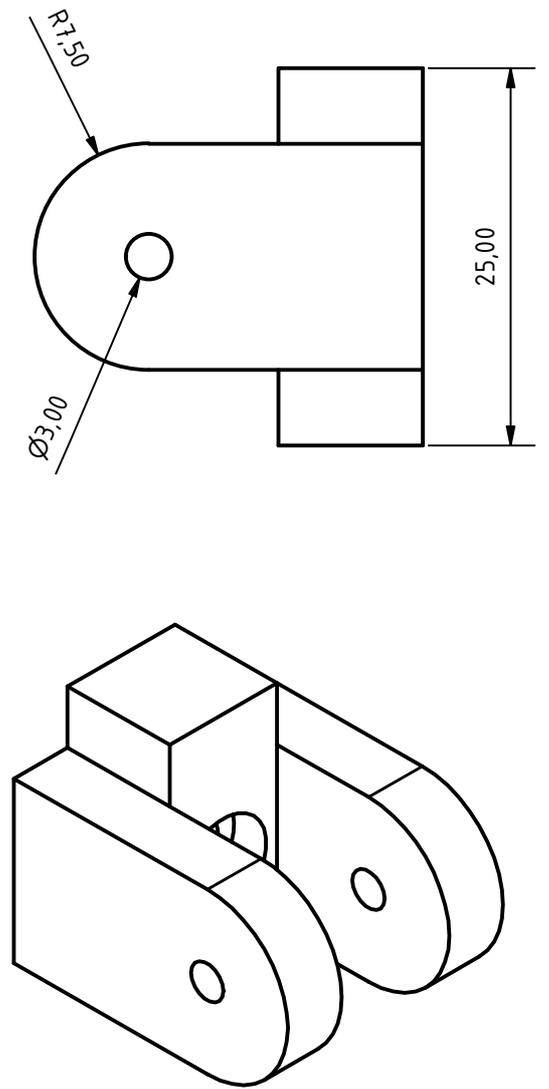
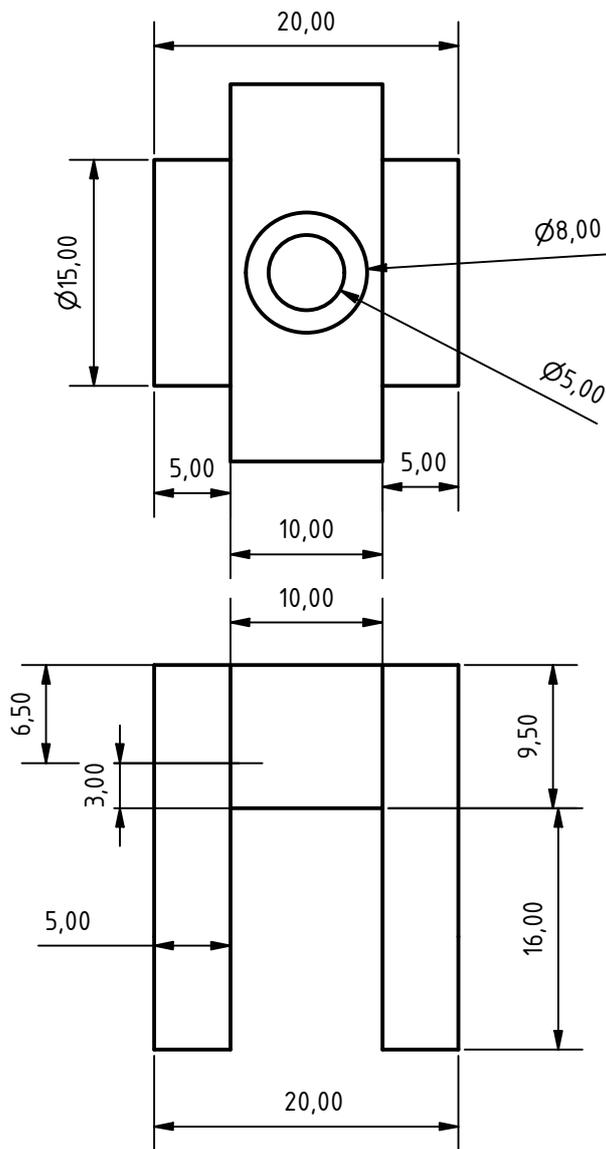
Dib. Rev. Apr.	Fecha	Nombre	Despiece del sistema de tensado de correas del Eje Y	
		Araujo Manuel		
Escala 1:1	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico		Nro. de plano: 18 de 23	
Toler. Rug.				



DATOS ADICIONALES

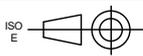
ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Cuerpo del sistema tensor de correas	2	Pieza impresa en 3D con filamento PLA con el fin de contener el sistema de tensado de correa y asegurarlo a su pieza soporte

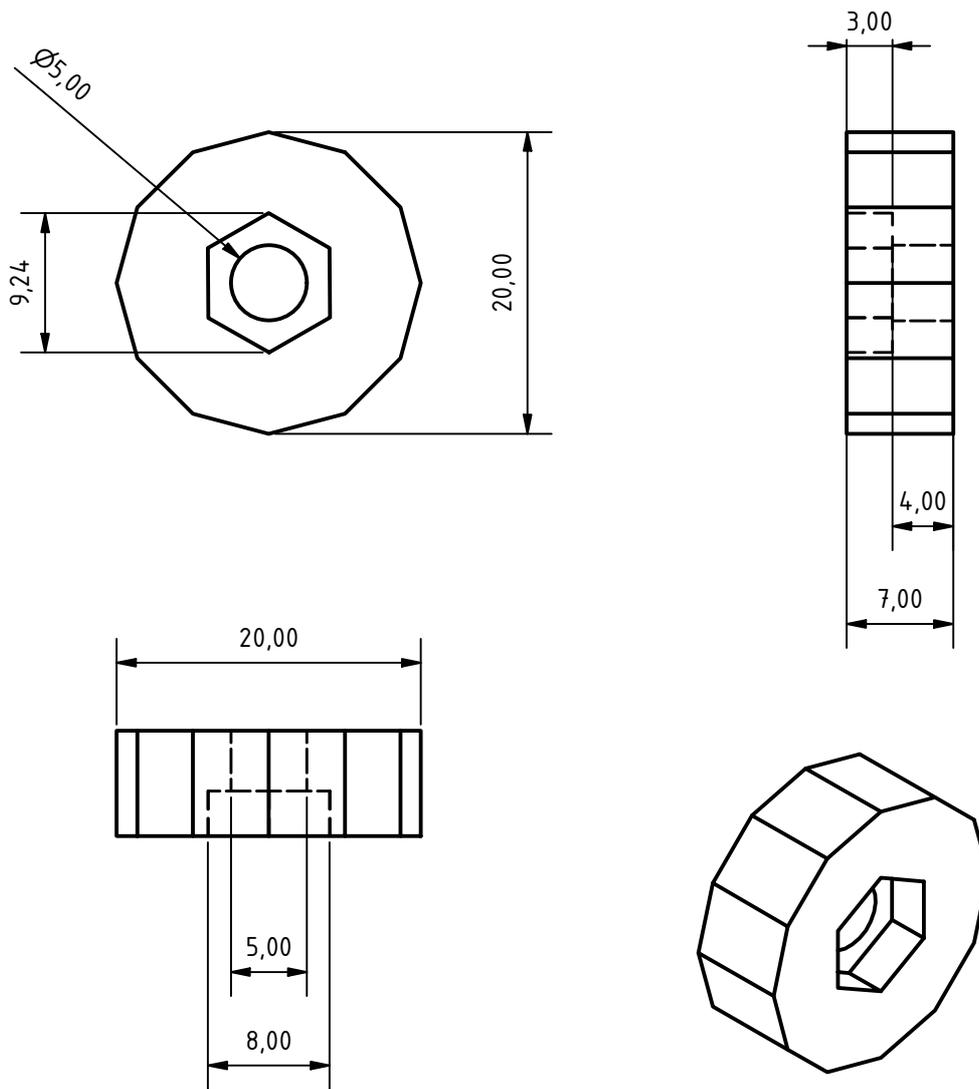
Escala 1:1  Toler. Rug.	Fecha	Nombre	Cuerpo del tensor de correas para el Eje Y	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS UDESA - BUENOS AIRES 2023
	Dib.	Araujo Manuel		
	Rev.			
	Apr.			
Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico			Nro. de plano: 19 de 23	



DATOS ADICIONALES

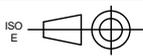
ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Elemento deslizzate para el tensor de correas del Eje Y	2	Pieza impresa en 3D con filamento PLA que se desliza tensando la correa a medida que se gira la perilla

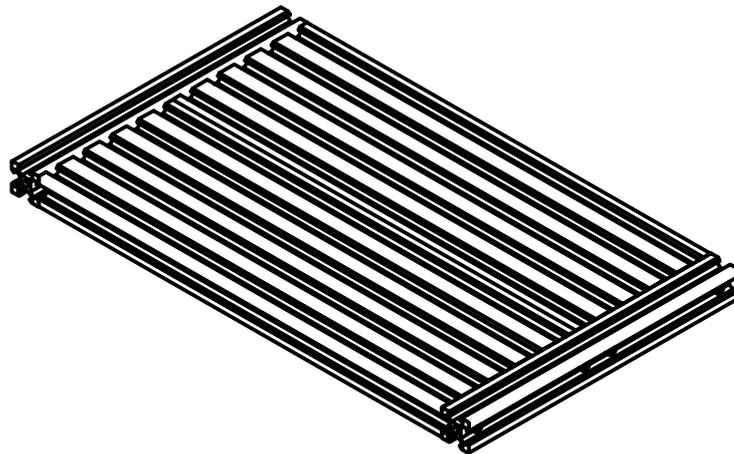
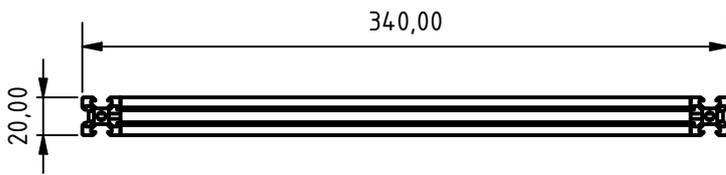
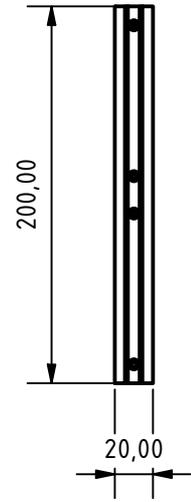
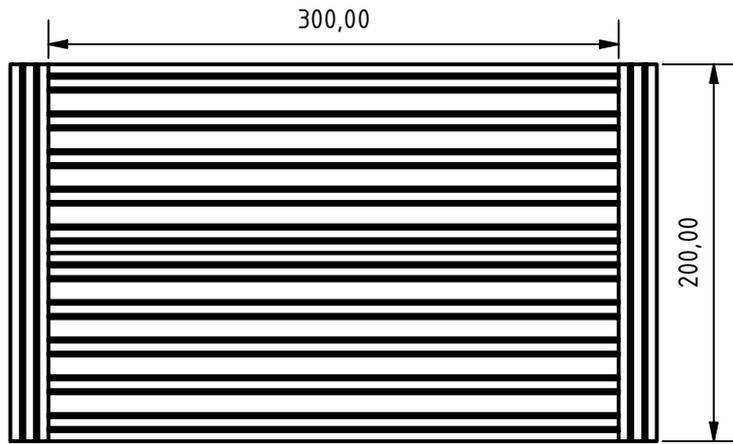
Escala 2:1  Toler. Rug.	Fecha	Nombre	Elemento deslizante para el tensor de correas del Eje Y Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECÁNICA - ELECTRONICAS U.N.A.M.P.T.S.G.
	Dib.	Araujo Manuel		
	Rev.			
	Apr.			
Nro. de plano: 20 de 23				



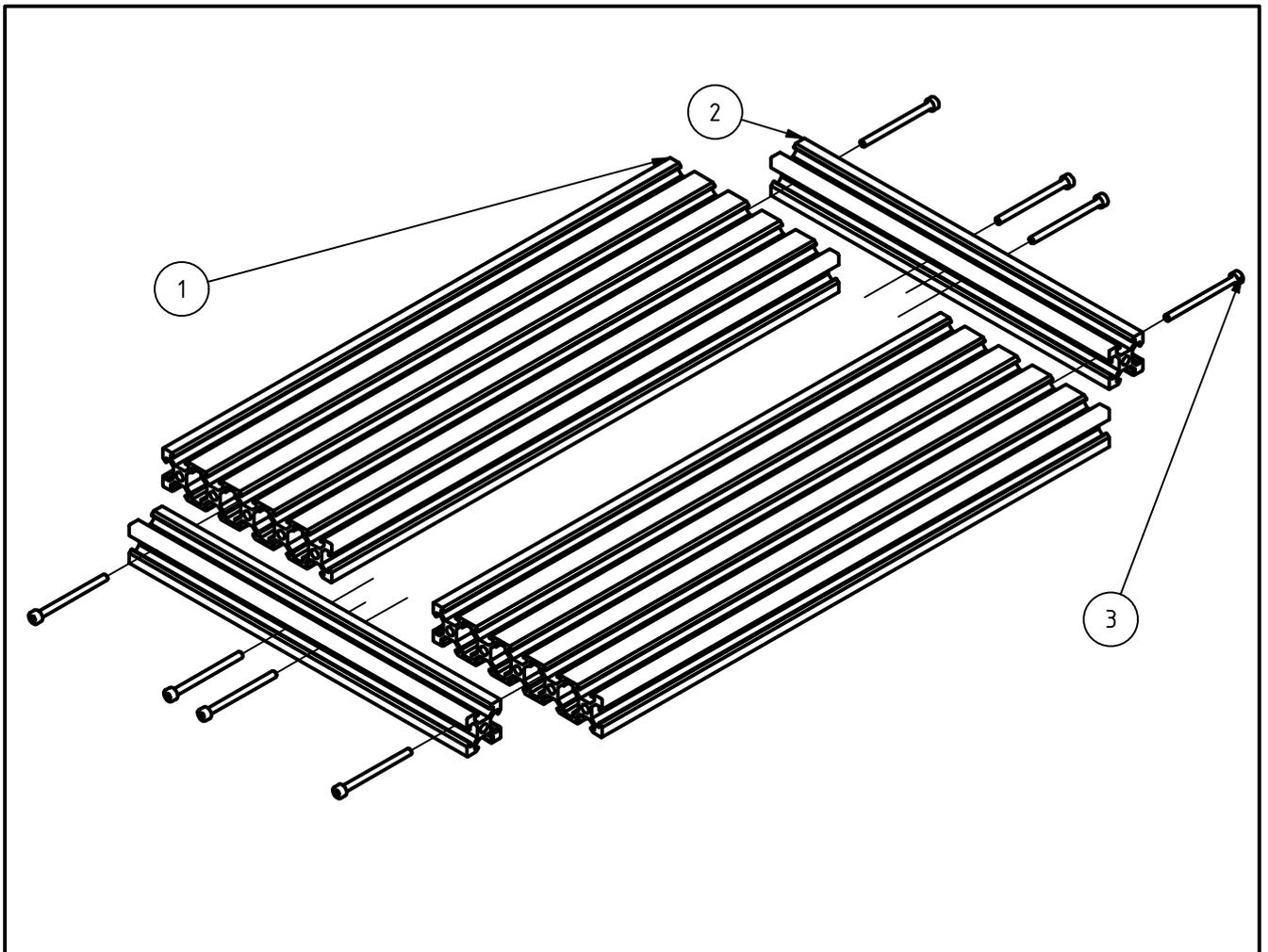
DATOS ADICIONALES

ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Perilla para ajustar el tensor deslizante	2	Pieza impresa en 3D con filamento PLA con el fin de ajustar el elemento deslizante del tensor del Eje Y

Escala 2:1  Toler. Rug.	Fecha	Nombre	Perilla para el tensor de correa del Eje Y Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS INGENIERIA ELECTRONICA
	Dib.	Araujo Manuel		
	Rev.			
	Apr.			
Nro. de plano: 21 de 23				



		Fecha	Nombre	Mesa de trabajo para maquinados con el Spindle	
Dib.		01/03/24	Araujo Villegas		
Rev.					
Apr.			Ing. Michel		
Escala		Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico			
	1:1				
ISO E					
Toler.					
Rug.					
					Nro. de plano: 22 de 23



LISTA DE PIEZAS

N. DE PIEZA	CTDAD	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	2	Perfil aluminio V-slot 20100	300 mm de longitud
2	2	Perfil aluminio V-slot 2020	200 mm de longitud
3	8	M3 x 40	Tornillo brochado de cabeza hueca - Métrico

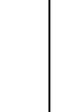
Dib. Rev. Apr.	Fecha	Nombre	Mesa de trabajo para maquinados con el Spindle	
		Araujo Manuel		
Escala 1:3	Router Multifunción para aplicaciones de corte, grabado y perforado en madera, MDF y acrílico		Nro. de plano: 23 de 23	
Toler.				
Rug.				

Anexo C: Análisis económico de la factibilidad en la implementación del diseño en la ciudad de Sucre

Con el fin de determinar la factibilidad económica de la implementación del diseño en la ciudad de Sucre se tiene el siguiente presupuesto que determina el coste de los componentes a adquirir, así como la realización de las piezas en impresión 3D y costos adicionales:

El coste de los componentes que pueden comprarse en la ciudad de Sucre fue presupuestado por la empresa Sawers, dichos precios se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla C-1: Coste de los componentes de la máquina en orden alfabético.

Componente	Imagen de referencia	Cantidad	Precio/unidad en Bs	Precio total en Bs
Acoplamiento flexible 5x8 mm		2	18	36
Arduino UNO R3		1	55	55
CNC shield		1	25	25
Correa GT2 de 6 mm, L= 1m		2	16	32
Final de carrera		2	2	4
Fuente de 12V, 10A		1	90	90
Fuente de 24V, 4A		1	110	110
Husillo T8, L= 50 cm		1	75	75

Husillo T8, L= 20 cm		1	25	25
Módulo láser de 10W		1	1350	1350
Motor paso a paso NEMA 17		4	90	360
Perfil de aluminio 2040, L= 1 m		3.2	140	448
Perfil de aluminio 2020, L= 40 cm		1	26	26
Perfil de aluminio 20100, L= 60 cm		1	137	137
Polea dentada GT2 6mm		2	15	30
Polea para correa GT2 6 mm		2	15	30
Rodamiento 626ZZ		1	4	4
Rodamiento lineal LM8UU		4	12	48

Ruedas V-Slot		8	19	152
Separador hexagonal M-H 3x50		4	3	12
Separador 6 mm M5		8	2	16
Motor DC Spindle 775		1	110	110
Portafresas -portabrocas		1	72	72
Tablero de madera Tarara 67x50x1.5 cm		1	140	140
Tuerca de husillo T8 1 hilo		1	15	15
Varilla cromada de 8mm, L= 50 cm		2	36.5	73

Fuente: Cotizaciones varias realizadas en la ciudad de Sucre

El precio total de los componentes es de: **3475 Bs**

Para los distintos pernos y tuercas se tiene un total aproximado de: **150 Bs**, basado en varias consultas realizadas en nuestro medio local.

En cuanto a la realización de las piezas en impresión 3D y el maquinado de los husillos para acoplarse a su respectivo rodamiento, se tiene el siguiente análisis de costos:

Tabla C-2: Análisis de costos de maquinado

TIEMPO DE MAQUINADO				
Piezas	Máquina	Tiempo pasivo (h)	Tiempo activo (h)	Tiempo total (h)
19 piezas	Impresora 3D	2.5	30	32.5
Husillos	Torno	0.5	1	1.5
Perfiles	Taladro	0.5	1	1.5
COSTOS HORA-HOMBRE				
Gastos directos (Bs)	Gastos indirectos (Bs)	Costos hora-hombre (Bs/h)	Tiempo total (h)	Costo (Bs)
11.538	0	11.538	32.5	375.000
11.538	0	11.538	1.5	17.308
11.538	0	11.538	1.5	17.308
Costo total de maquinado (Bs)			409.616	

Fuente: Consultas varias realizadas en la ciudad de Sucre

Tabla C-3: Costos indirectos

COSTOS INDIRECTOS TOTALES	
Descripción	Costo total (Bs)
Materiales indirectos (5% de la materia prima)	173.75
Mano de obra indirecta (15% de los costos de mano de obra directa)	61.487
Total (Bs)	235.237

Fuente: Elaboración propia

Es en ese sentido que el costo final de la construcción del Router multifunción es de **4269.85 Bs.**

La comparación con los precios de máquinas utilizadas como referencia se encuentra a continuación:

Tabla C-4: Precios de máquinas CNC tipo laser y Router de corte

Máquina	imagen de referencia	Costo (Bs)
Router 3018 Pro		1850
Creality CR 10 laser Falcon		5800

Fuente: <https://tienda.sawers.com.bo/>

Si bien el costo del Router 3018 Pro es mucho menor, esto se debe a múltiples factores, en los que el diseño propuesto, supera al mencionado Router, como por ejemplo: El área de trabajo pasa de ser 200x150 mm a 400x390 mm; La potencia del láser recomendado es de 5.5 W, mientras que el láser seleccionado para el diseño es de 10W; los materiales de la estructura se limitan a madera y perfiles de aluminio, mientras que el diseño propuesto tiene solo perfiles de aluminio en la estructura principal, dándole más estabilidad, entre otros que determinan al Router propuesto en el diseño como una buena alternativa.

En cuanto a la cortadora láser CNC CR Falcon, el precio de la misma supera considerablemente al del diseño propuesto, teniendo básicamente las mismas características; pero adicionando el maquinado por medio de Spindle, cosa que el diseño de Creality no puede hacer.

El análisis de costos arroja como conclusión que la implementación del diseño propuesto en este trabajo es factible económicamente.

A continuación, se presentan las cotizaciones realizadas en la ciudad de Sucre para el Router 3018 Pro y la cortadora láser CNC Creality CR10 Falcon:



CLIENTE

Manuel Araujo Villegas

Chuquisaca

Bolivia

FECHA 28/05/2024

COTIZACIÓN # 11538

EXPIRA 27/06/2024

ID	Artículo	Precio	Cantidad	Total
03222	CNC Router 3018PRO	1850.00	1	1850.00

Forma de pago: Deposito Bancario:

Cuenta: Consultar con el encargado los detalles de la cuenta para el pago

Subtotal: 1850.00 Bs.

Total: 1850.00 Bs.

Forma de envío: Chuquisaca - Puede recoger su pedido en nuestra sucursal

Nota:



Pioneros en servicios de Prototipado Rápido

Cochabamba : 65486014 - Calle Sucre #867 entre 16 de Julio y Av. Oquendo
La Paz : 65589882 - Calle Murillo #793 esq. Santa cruz
Santa Cruz : 74576780 - Calle Charcas esq. Aroma (comercial Aroma #208)
Tarija : 62669429 - Calle Ingavi, entre Suipacha y Colón Calle 3 Local C14

COTIZACIÓN

info@sawers.com.bo

CLIENTE

Manuel Araujo Villegas

Chuquisaca

Bolivia

FECHA 28/05/2024

COTIZACIÓN # 11539

EXPIRA 27/06/2024

ID	Artículo	Precio	Cantidad	Total
03440	Creality CR-Laser Falcon 10W	5800.00	1	5800.00

Forma de pago: Deposito Bancario:

Cuenta: Consultar con el encargado los detalles de la cuenta para el pago

Subtotal: 5800.00 Bs.

Total: 5800.00 Bs.

Forma de envío: Chuquisaca - Puede recoger su pedido en nuestra sucursal

Nota: