UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Pantógrafo de Corte Láser CNC

Diego Sebastian Vera Luna
Joanne Marie Wells Aguirre
Carlos Andrés Vásquez Vásconez
Héctor Daniel Freire Guzmán

Ingeniería Mecánica

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Quito, 22 de diciembre de 2024

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías.

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Pantógrafo de Corte Láser CNC

Diego Sebastian Vera Luna
Joanne Marie Wells Aguirre
Carlos Andrés Vásquez Vásconez
Héctor Daniel Freire Guzmán

Alfredo Valarezo, Ph.D.

Quito, 22 de diciembre de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos:	Diego Sebastian Vera Luna
Código:	00321853
Cédula de identidad:	1724309909
Lugar y fecha:	Quito, 22 de diciembre de 2024.

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos:	Joanne Marie Wells Aguirre
Código:	00322557
Cédula de identidad:	1721600649
Lugar y fecha:	Quito, 22 de diciembre de 2024.

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Carlos Andrés Vásquez Vásconez

Código: 00321427

Cédula de identidad: 1725888943

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2024.

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Héctor Daniel Freire Guzmán

Código: 00321634

Cédula de identidad: 1751800036

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2024.

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en http://bit.ly/COPETheses.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on http://bit.ly/COPETheses.

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo diseñar y construir un pantógrafo láser CNC capaz de cortar y grabar materiales como balsa y acrílico de hasta 3 mm de espesor. La motivación detrás del desarrollo de esta cortadora láser de diodo radica en la necesidad de explorar un diseño de bajo costo que haga esta tecnología más accesible a un público amplio. Además, se prevé la posibilidad de futuras adaptaciones para el corte con láser de fibra óptica o CO_2. El diseño debe cumplir con una serie de criterios ingenieriles y especificaciones técnicas que garanticen su funcionalidad, seguridad y eficiencia. La conformidad con normas internacionales es fundamental para alcanzar la seguridad, calidad y rendimiento del sistema.

El prototipo resultante demuestra que cumple con los criterios propuestos. El área de corte alcanzó las dimensiones esperadas de 1000 x 500 mm, con un peso total de 60 kg, garantizando portabilidad. La tolerancia de corte se mantuvo dentro del rango de 0.1 ± 0.05 mm, y el costo de fabricación fue de 1027.97 USD, por debajo del límite establecido de 1500 USD. Finalmente, el prototipo logró cortar materiales como balsa y acrílico con un espesor máximo de 3 mm, cumpliendo con las especificaciones iniciales una solución funcional y rentable, que se apega a los objetivos, regulaciones y motivaciones previamente planteadas.

Este diseño puede abrir nuevas oportunidades en aplicaciones industriales, fomentando la innovación y ampliando el acceso a tecnologías avanzadas de corte láser.

Palabras clave: diseño, CNC, láser, grabado, corte.

ABSTRACT

The objective of this project is to design and build a CNC laser pantograph capable of cutting and engraving materials such as balsa wood and acrylic up to 3 mm thick. The motivation behind developing this diode laser cutter lies in the need to explore a low-cost design that makes this technology more accessible to a broader audience. Additionally, future adaptations for fiber optic or CO_2 laser cutting are anticipated. The design must meet a series of engineering criteria and technical specifications that ensure its functionality, safety, and efficiency. Compliance with international standards is essential to guarantee the system's safety, quality, and performance. The prototype met all the proposed criteria.

The cutting area reached the planned dimensions of 1000 x 500 mm, and the total weight of 60 kg makes it portable. The cutting accuracy stayed within a range of 0.1 ± 0.05 mm, and the manufacturing cost came in at 1027.97 USD, staying below the target of 1500 USD. The prototype successfully cut balsa wood and acrylic up to 3 mm thick, meeting the original goals.

This design is not only functional but also affordable, sticking to the project's objectives and motivations. It could open new possibilities for industrial applications, encourage innovation, and make advanced laser cutting technology more accessible.

Key words: design, CNC, laser, engraving, cutting.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen 1
Abstract 2
Tabla de Contenido 3
Índice de Figuras 4
Índice de Tablas 5
Introducción 6
Desarrollo del Tema 28
- **Selección del tipo de corte** 28
- **Selección de perfiles** 30
- **Selección de uniones** 33
- **Selección del controlador** 35
- **Plan de Manufactura** 38

Análisis de Riesgos 57
Reporte del Diseño 68
Análisis Ingenieril 80
- **Cálculo de Deformaciones** 80
- **Cálculo del Torque** 86
- **Cálculos para la Selección del Motor** 88
- **Cálculos de Tornillo sin Fin** 94
- **Cálculos Energéticos y Económicos** 95

Resultados 97
- **Próximos Pasos** 107

Conclusiones 109
Referencias bibliográficas 111
Anexo 1: Manual de Operación i
Anexo 1: Manual de Calibración ii
Anexo 2: Manual de Mantenimiento iii
Anexo 4: Hoja de Procesos v
Anexo 5: Análisis de Costos vii
Anexo 6: Planos de los Componentes viii

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Gantt. 17
Figura 2. Desviaciones límite para dimensiones nominales en mm (International Organization for Standarization, 2002) 18
Figura 3. Diagrama de Procesos. 56
Figura 4. Clasificación de Riesgos. 57
Figura 5. Plano de conjunto. 69
Figura 6. Pantógrafo construido 69
Figura 7. Plano sistema de deslizamiento para motor. 70
Figura 8. Plano sistema de deslizamiento para chumacera. 71
Figura 9. Plano sistema de deslizamiento para láser. 71
Figura 10. Plano de la estructura de los perfiles de aluminio 72
Figura 11. Ensamblaje sistema de deslizamiento para chumacera. 73
Figura 12. Ensamblaje sistema de deslizamiento para motor a paso. 74
Figura 13. Ensamble de sistema de deslizamiento para láser. 75
Figura 14. Hoja de ruta de diseño 77
Figura 15. Pantógrafo implementado láser CO_2 79
Figura 16. Diagrama de cuerpo libre perfil L1200 mm 80
Figura 17. Simulación de Deflexión ANSYS. 82
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre perfil L800 mm. 82
Figura 19. Simulación Estática ANSYS. 84
Figura 20. Perfil rectangular de velocidad (ideal). 90
Figura 21. Ejemplo visual del perfil trapezoidal de velocidad. 91
Figura 22. Torque generado a RPM ideal (800 RPM) y de operación (922.5 RPM). 92
Figura 23. Prototipo del pantógrafo. 97
Figura 24. Enfoque del láser usando el espaciador de 20mm 98
Figura 25. Prueba de rectitud de los ejes. 99
Figura 26. Convergencia de rectitud de los ejes. 100
Figura 27. Muestras de la prueba de circularidad. 101
Figura 28. Convergencia de circularidad de los ejes. 102
Figura 29. Grabado para verificar el rendimiento. 102
Figura 30. Errores porcentuales de rendimiento. 103
Figura 31. Resultado de corte. 104
Figura 32. Resultado de grabado 105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios Ingenieriles 13
Tabla 2. Especificaciones Técnicas 14
Tabla 3. Especificación del módulo láser. 15
Tabla 4. Comparación de tecnologías de corte. 28
Tabla 5. Comparación de tecnologías de corte láser 29
Tabla 6. Ponderación de tecnologías de corte láser 29
Tabla 7 Descripción de las propiedades y funcionalidad de las alternativas para perfiles guía. 31
Tabla 8. Ponderación perfiles 32
Tabla 9. Descripción de Uniones. 34
Tabla 10. Ponderación de uniones. 35
Tabla 11. Selección de Controladores 36
Tabla 12. Selección del controlador. 37
Tabla 13. Proceso de Torneado de tornillo sin fin SFU1605 39
Tabla 14. Proceso de fresado de perfiles de aluminio tipo “C” 40
Tabla 15. Proceso de doblado de planchas de aluminio. 41
Tabla 16. Hoja de Procesos para el ensamblaje de subcomponentes. 42
Tabla 17. Hoja de Procesos para el ensamblaje final 47
Tabla 18. Análisis de Posibles Riesgos. 58
Tabla 19. Gestión de Posibles Riesgos. 58
Tabla 20. Cargas para el perfil L1200 mm. 81
Tabla 21. Cargas para el perfil L800. 83
Tabla 22. Consumo energético por componente. 95
Tabla 23. Evaluación de costos 96
Tabla 24. Valores de rendimiento final correspondientes a los cinco criterios de ingeniería más importantes 104

INTRODUCCIÓN

Una de las industrias más representativas es la manufactura, que se destaca como uno de los procesos fundamentales para la transformación de materias primas en productos finales. En los últimos años, Deepak J.R., Anirudh R.P., y Saran Sundar (2023) indican que la implementación de tecnologías de corte, grabado y soldadura láser ha permitido facilitar y reducir los tiempos de maquinado, especialmente en el caso de piezas con geometrías complejas. Tradicionalmente, estos procesos eran realizados mediante estaciones de fresado y soldadura manual, que presentaban limitaciones significativas, como el elevado desperdicio de material y altos tiempos de trabajo. Los autores indican que estas limitaciones se mitigan con el uso de tecnologías láser, en las cuales un haz de luz altamente concentrado incide sobre un punto focal del material de hasta una milésima de milímetro, fundiéndolo de forma precisa mediante transferencia de calor por radiación (He et al., 2022). A pesar de sus ventajas, el corte láser generalmente conlleva costos elevados tanto en fabricación como en operación y mantenimiento.

En la reciente revisión de metodologías de corte láser, Naresh P. K. (2021) resalta el uso de láseres de diodo como una solución económica y eficiente en aplicaciones de grabado y corte de bajo costo. Operando en un rango de longitudes de onda entre 405 nm y 980 nm, estos láseres ofrecen ventajas como su reducido tamaño, menor consumo energético y facilidad de integración, características que los hacen ideales para grabadores láser compactos y asequibles.

Naresh P. K. (2021) también señala que los grabadores láser industriales suelen emplear láseres de CO_2 o de fibra. Los láseres de CO_2 operan a una longitud de onda de

aproximadamente 10,6 µm. Según Badoniya, P. (2018), el funcionamiento de los láseres de CO_2 se basa en hacer pasar una carga electromagnética a través de un cilindro que contiene una mezcla de gases, como dióxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno o helio. Este proceso genera una luz invisible que se encuentra por debajo del rango infrarrojo del espectro electromagnético.

Este tipo de láser es particularmente poderoso, y su capacidad para generar energía es suficiente para cortar materiales como tela, madera, papel e incluso metales y gemas como el diamante. El problema con el láser de dióxido de carbono es su elevado costo de adquisición, instalación y mantenimiento. Por otro lado, los láseres de fibra tienen una longitud de onda aproximada de 1,06 µm. Estos, utilizan una fuente láser que se genera dentro de una fibra óptica dopada con elementos de tierras raras (Mahrle A & Beyen E, 2019). Esta opción brinda una mayor eficiencia en el corte de metales y materiales reflectantes, pero su costo es significativamente más alto.

Para aplicaciones donde el presupuesto es una restricción, las opciones más viables son aquellas que utilizan módulos láser de menor potencia, ya que permiten cortar o grabar materiales con alta precisión. Por este motivo, se profundizará en la investigación del láser de diodo.

La utilización de láseres de diodo es una opción más reciente y se ha vuelto popular en máquinas CNC de corte y grabado para aplicaciones de bajo costo. Ofrece una potencia suficiente para cortar madera y acrílico de hasta 3 mm de espesor, cumpliendo así con los requisitos del proyecto. Es significativamente más económico que los láseres de CO_2 o fibra óptica, lo que lo hace ideal para un proyecto con presupuesto moderado. Además, Naresh P. K. (2021) menciona que los láseres de diodo

con una calidad de haz mejorada están logrando un rendimiento competitivo en comparación con los láseres CO_2 y de fibra. Los láseres de diodo son más eficientes en tiempo de trabajo frente a los de CO_2 en algunos materiales. Sin embargo, su calidad de corte en materiales más gruesos puede ser inferior a la de los láseres de fibra debido a su menor densidad de energía. En términos de sencillez de instalación, el láser de diodo es compacto, fácil de integrar en la máquina y no requiere ajustes complicados. También es fácil de mantener, ya que no depende de sistemas ópticos delicados y su reemplazo o reparación resulta más accesible. Normalmente, los grabadores láser emplean sistemas mecánicos complejos que incluyen rieles lineales de alta precisión, motores paso a paso o servomotores para posicionar la cabeza láser. Kumar et al. (2022) hacen evidente que recientes innovaciones en el diseño mecánico se han centrado en reducir estos costos mediante la utilización de materiales alternativos y mecanismos más sencillos. Por ejemplo, los mecanismos *CoreXY* o *H-Bot*, comúnmente usados en impresoras 3D, se están adaptando para grabadores láser, ya que requieren menos piezas y materiales, lo que resulta en una reducción de costos de fabricación y mantenimiento. Asimismo, los marcos ligeros de aluminio o materiales compuestos están reemplazando las estructuras pesadas de acero, reduciendo aún más los costos y mejorando la portabilidad.

El mismo grupo de investigadores, comenta que otra área de innovación es el software y los controladores utilizados en los grabadores láser. Las máquinas avanzadas suelen emplear software y controladores de código cerrado, lo cual incrementa significativamente su costo. Por otro lado, se han desarrollado alternativas basadas en plataformas de código abierto, como aquellas de Arduino o Raspberry Pi, junto con software libre como *LaserGRBL* o *LightBurn*. Estas soluciones ofrecen un

rendimiento adecuado para numerosas aplicaciones, a la vez que disminuyen considerablemente los costos. Adicionalmente, el firmware de código abierto, como *GRBL*, proporciona una opción económica para manejar motores paso a paso y controlar la intensidad del láser.

Los grabadores láser también demandan una cantidad significativa de energía, especialmente en aplicaciones a escala industrial. Las innovaciones recientes en este campo incluyen el uso de fuentes de alimentación más eficientes y soluciones de enfriamiento mejoradas. Por ejemplo, los sistemas de enfriamiento por aire son preferidos frente a los sistemas de enfriamiento por agua debido a sus menores requisitos de mantenimiento y costos operativos. Además, la integración de funciones avanzadas de gestión de energía que optimizan la salida del láser en función del material y los requisitos de grabado puede generar ahorros adicionales en el consumo energético (Kumar et al., 2022). El Control Numérico por Computadora (CNC) es un sistema que controla herramientas y piezas mediante datos numéricos, usando códigos G para realizar tareas de mecanizado. Las máquinas CNC se emplean en procesos como taladrado, corte láser y prensado, así como en procesos no relacionados con máquinas, como soldadura y ensamblaje electrónico (Ambrizal et al., 2017). Las máquinas CNC utilizan motores paso a paso para controlar el movimiento en ejes lineales y rotativos. Los sistemas de control basados en PC y microcontroladores permiten una programación precisa mediante códigos G. (Schmitt A, et al., 2024)

La evolución de los sistemas CNC, particularmente aquellos basados en plataformas de código abierto como Arduino, ha democratizado el acceso a la tecnología de fabricación de precisión. Miller et al. (2023) revisan cómo los controladores CNC

basados en Arduino y sistemas como GRBL han hecho que la fabricación digital sea accesible para una audiencia más amplia, facilitando la creación de pantógrafos láser personalizados a bajo costo. Este acceso ha permitido a los entusiastas y pequeños fabricantes adaptar y optimizar sus equipos para satisfacer necesidades específicas, promoviendo la innovación en la fabricación personalizada. Un estudio realizado por Hilal, R & Rameshkumar, G (2016) menciona que las máquinas CNC de grabado por láser se pueden categorizar en tres partes principales: un diodo láser, un módulo de control y una superficie de trabajo. El diodo láser es comparado con un lápiz, donde los patrones de grabado se generan programando el módulo de control para que el rayo láser recorra una trayectoria específica en milímetros. Esto permite un grabado preciso sin necesidad de una máscara resistiva, ya que el punto focal del láser es controlado con exactitud por el módulo de control (Hilal, R & Rameshkumar, G, 2016).

La fabricación de productos y estructuras de tamaño reducido presenta desafíos significativos, especialmente para crear formas tridimensionales complejas y superficies libres. En el contexto de las máquinas CNC, las tolerancias son cruciales para asegurar que las piezas fabricadas cumplan con las especificaciones exactas y se fabriquen con alta precisión (Gunaraman et al., 2018). El proceso corte por láser es flexible, rápido y rentable, ideal para cortar materiales con buenas propiedades térmicas. Los parámetros importantes que afectan la calidad del corte incluyen la potencia del láser, el tipo y espesor del material, y la configuración del proceso. Actualmente, utilizan modelos experimentales y técnicas de inteligencia artificial para optimizar estos parámetros y mejorar la calidad del corte (Sharma, A & Yadva, A, 2017).

Thepnurat et al. (2017) comenta que existe una tendencia creciente hacia el desarrollo de grabadores láser DIY (Do-It-Yourself) y kits de montaje, que proporcionan todos los componentes necesarios e instrucciones para ensamblar una máquina funcional a una fracción del costo de los modelos comerciales. Estos kits están dirigidos a aficionados y pequeñas empresas que buscan reducir costos. Empresas como *SainSmart*, *EleksMaker* y *Ortur* ofrecen kits de nivel básico que utilizan láseres de diodo y sistemas de control simples, adecuados para tareas de grabado en materiales como madera, cuero y plásticos. Si bien estos diseños rentables han hecho que el grabado láser sea más accesible, la seguridad sigue siendo una preocupación fundamental. Las máquinas de menor costo pueden carecer de características de seguridad esenciales, como carcasas adecuadas, bloqueos de seguridad y sistemas de extracción de humo. Es imprescindible que los diseños futuros logren un equilibrio entre la reducción de costos y la incorporación de medidas de seguridad necesarias para garantizar una operación segura, especialmente para usuarios inexpertos.

Los pantógrafos de corte láser, a pesar de su uso extendido en la industria, aún presentan áreas de incertidumbre y falta de conocimiento que han sido objeto de investigación en los últimos años. Una de estas áreas es la optimización de los parámetros de corte, donde la combinación exacta de factores como potencia, velocidad de corte, enfoque y tipo de gas auxiliar aún no ha sido completamente definida, especialmente para materiales compuestos y nuevas aleaciones metálicas. Esta falta de consenso ha sido señalada en estudios recientes que buscan ajustar estos parámetros de manera más precisa para aplicaciones específicas (Maharjan et al., 2020). Además, los efectos térmicos y la distorsión del material continúan siendo un reto, ya que la

generación de calor durante el corte puede causar deformaciones y alteraciones en las propiedades mecánicas de los materiales (Mohamed et al., 2021).

Aunque el hardware del láser juega un rol fundamental en la precisión y eficiencia del corte, el software que controla el sistema es igualmente crucial. En caso de utilizar un controlador económico como el Arduino UNO, es fundamental investigar cómo optimizar los algoritmos de control para minimizar errores y mejorar la calidad del corte en sistemas de bajo costo (Smith, 2022).

La justificación del proyecto de titulación radica en la necesidad de explorar un diseño de bajo costo que haga accesible esta tecnología a un público más amplio. Actualmente, en la Universidad San Francisco de Quito no existe un equipo de corte láser disponible para el departamento de Ingeniería Mecánica, el cuál pudiese ofrecer la precisión que se requiere en proyectos de diversos cursos. La falta de acceso a esta tecnología limita la capacidad de los estudiantes y profesores para realizar prototipos y proyectos. El alcance del problema a resolver abarca el diseño y la construcción de un pantógrafo de corte y grabado láser CNC de bajo costo para ponerlo al servicio de la Universidad San Francisco de Quito, promoviendo una mejora de la calidad educativa y de investigación. Además, se prevé que en el futuro este pantógrafo pueda ser adaptado para corte con láser de fibra óptica o CO_2.

El diseño de la máquina deberá cumplir con una serie de criterios ingenieriles y especificaciones técnicas que aseguren su funcionalidad, seguridad y eficiencia. Estos, se recopilaron en las siguientes tablas.

Tabla 1. Criterios Ingenieriles

Criterio	Descripción
Material de Construcción	Material liviano, disponible localmente.
Costo	Presupuesto máximo: $1500.
Tamaño	Dimensiones del pantógrafo: 1200 mm x 800 mm x 800 mm, con área de corte de 1000 mm x 500 mm.
Portabilidad	Movible mediante una mesa con garruchas o por fuerza humana.
Seguridad	Normas: gafas protectoras, advertencias de riesgos, y prohibición de contacto durante operación.
Estética	Diseño visualmente atractivo con líneas limpias y proporciones equilibradas.
Ergonomía Visual	Disposición intuitiva y cómoda de controles; protección para componentes electrónicos.
Códigos y Estándares	Cumplimiento de estándares internacionales de diseño y seguridad.
Funcionalidad	Capacidad para cortar balsa y acrílico de hasta 3 mm de espesor. Capacidad para grabar en otros materiales adicionales como: aluminio anodizado, MDF y tríplex.
Deformación de la Estructura	Estructura de perfiles de aluminio diseñada para soportar las cargas aplicadas.
Tolerancias	Precisión de corte: <0.25 mm.
Adaptabilidad	Estructura espaciosa para la incorporación de un láser de CO_2 en el futuro.
Facilidad de Mantenimiento	Componentes modulares, accesibles y reemplazables con herramientas comunes.

Tabla 2. Especificaciones Técnicas

Parámetro	**Detalle**
Material de la Estructura	Perfiles de aluminio de 80 mm x 40 mm y ranura tipo “C” de 80 mm x 40 mm.
Precisión de Movimiento	Tolerancia de corte: <0.25 mm.
Área de Corte	1000 mm x 500 mm.
Fuente de Alimentación	12 V DC, 24 A, corriente alterna 110 V AC.
Controladores de Movimiento	Driver TB6600 (2.5-3 A, 9-42 V) para motores NEMA 23.
Controlador CNC	Arduino UNO y CNC Shield para control de 4 ejes.
Peso Total	< 80 kg.
Velocidad de Movimiento	<= 3000 mm/min.
Conectividad	USB.
Nivel de Ruido	<= 65 dB.
Cadena de Arrastre	10 mm x 15 mm x 3000 mm.
Motor Paso a Paso	NEMA 23 (2.8 Nm, 3 A, 57 mm x 57 mm x 53 mm).
Frecuencia de Mantenimiento	Limpieza, ajuste y engrase siguiendo el manual de mantenimiento.
Frecuencia de Limpieza	Limpieza superficial tras cada uso.
Vida Útil Estimada	10,000 horas.

Tabla 3. Especificación del módulo láser.

Parámetro	**Detalle**
Fuente Láser	5.5 W Fixed Focus Laser Module Kit.
Dimensiones del Láser	90 mm x 33 mm x 33 mm.
Temperatura de Trabajo	40 a 75 ℃.
Resolución de Posicionamiento	5 mm (profundidad).
Espesor Máximo de Corte	3 mm.

Mediante el diseño y construcción del pantógrafo láser, se busca lograr un diseño ergonómico, duradero y confiable, con una estética que se integre armoniosamente al entorno de un taller mecánico. Los materiales seleccionados serán de alta calidad, con propiedades que ofrecen resistencia a la corrosión, al desgaste y a las condiciones ambientales a las que podría estar expuesta la máquina, esto incluye chisporroteo, humos, y desperdicios. Se entregará junto con la máquina manuales de uso, calibración y mantenimiento detallados, los cuales incluirán instrucciones operativas, las normas de seguridad necesarias (con énfasis en la protección ante riesgos visuales y físicos), y las pautas de mantenimiento y calibración necesarias para garantizar la vida útil proyectada del equipo.

Los dispositivos tales como un pantógrafo láser CNC, fomentan la innovación y la creatividad, ofreciendo oportunidades para la educación (Gordón et al., 2021). En muchas partes del mundo, especialmente en regiones en desarrollo, el acceso a estas herramientas aún es limitado debido a los costos, la disponibilidad de electricidad o el acceso al conocimiento técnico. Por lo tanto, proyectos dirigidos a crear pantógrafos

láser de bajo costo y fáciles de usar tienen un impacto social significativo al expandir el acceso a procesos digitales de manufactura (Koprda et al., 2020).

A continuación, se muestra el diagrama de Gantt que indica la planificación llevada a cabo para completar el presente proyecto en un periodo de aproximadamente 15 semanas.

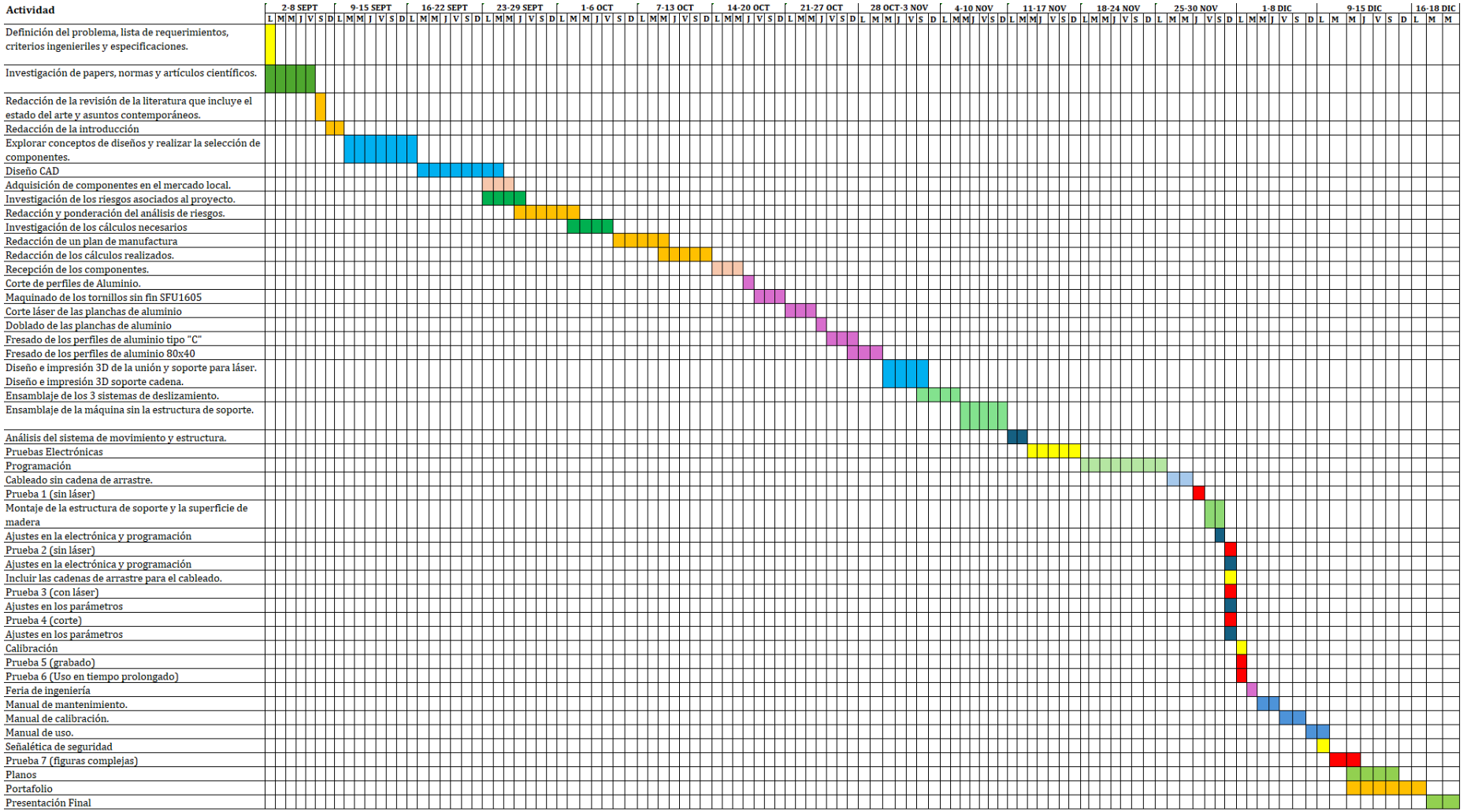


Figura 1. Diagrama de Gantt.

Para el proceso de diseño, así como de construcción, se deben cumplir con una serie de normas y estándares internacionales para garantizar la seguridad del usuario, calidad de corte, y alta eficiencia. Cada uno de estos estándares establece pautas específicas que deben seguirse rigurosamente para asegurar que el equipo funcione correctamente y de manera segura en el entorno industrial. Uno de los primeros aspectos a tener en cuenta es el cumplimiento con la ISO 9013-1 (International Organization for Standarization, 2002), que define las tolerancias generales para el corte térmico. En el diseño del pantógrafo, es fundamental asegurar que las tolerancias de corte estén dentro de los límites definidos por esta norma (International Organization for Standarization, 2002). Las desviaciones límite para dimensiones nominales dentro del corte láser de hasta 32 mm de espesor se muestran en la siguiente imagen.

Work piece thickness *a*		Nominal dimensions									
		>0 to <3	≤3 to <10	≤10 to <35	≥35 to <125	≥125 to <315	≥315 to <1 000	≥1 000 to <2 000	≥2 000 to <4 000	≥4 000 to <6 000	≥6 000 to <8 000
		Limit deviations									
>0	to ≤1	±0,075	±0,10	±0,10	±0,20	±0,20	±0,30	±0,40	±0,65	±0,90	±1,60
>1	to ≤3,15	±0,10	±0,15	±0,20	±0,25	±0,25	±0,35	±0,40	±0,65	±1,00	±1,75
>3,15	to ≤6,3	±0,20	±0,20	±0,25	±0,25	±0,30	±0,40	±0,45	±0,70	±1,10	±1,90
>6,3	to ≤10	—	±0,25	±0,30	±0,30	±0,35	±0,45	±0,55	±0,75	±1,25	±2,20
>10	to ≤15	—	±0,30	±0,35	±0,40	±0,45	±0,55	±0,65	±0,85	±1,50	±2,50
>15	to ≤20	—	±0,40	±0,40	±0,45	±0,55	±0,75	±0,85	±1,2	±1,90	±2,80
>20	to ≤25	—	±0,45	±0,50	±0,60	±0,70	±0,90	±1,10	±1,60	±2,40	±3,25
>25	to ≤32	—	—	±0,70	±0,70	±0,80	±1,0	±1,6	±2,25	±3,00	±4,00
>32	to ≤50	—	—	±0,7	±0,70	±0,8	±1,0	±1,6	±2,5	±3,8	±5,0
>50	to ≤100	—	—	±1,3	±1,3	±1,4	±1,7	±2,2	±3,1	±4,4	±5,6
>100	to ≤150	—	—	±1,9	±2,0	±2,1	±2,3	±2,9	±3,8	±5,1	±6,3
>150	to ≤200	—	—	±2,6	±2,7	±2,7	±3,0	±3,6	±4,5	±5,7	±7,0
>200	to ≤250	—	—	—	—	—	±3,7	±4,2	±5,2	±6,4	±7,7
>250	to ≤300	—	—	—	—	—	±4,4	±4,9	±5,9	±7,1	±8,4

Figura 2. Desviaciones límite para dimensiones nominales en mm (International Organization for Standarization, 2002)

La precisión del pantógrafo también debe estar garantizada por el cumplimiento de la ISO 230-1 (International Organization for Standarization, 2012), que establece los procedimientos de prueba para asegurar la precisión y rendimiento de herramientas de máquina. El equipo debe someterse a pruebas periódicas para verificar su

calibración y asegurar que los cortes mantengan la precisión especificada, como se puede observar en el manual de calibración, el cual se encuentra en el Anexo 2 (International Organization for Standarization, 2012).

La seguridad del operario es una prioridad, por lo que el equipo debe cumplir con las normas de protección personal como la UNE-EN 207:2010 (European Committee for Standarization, 2010), que regula los equipos de protección ocular. El pantógrafo láser debe incluir recomendaciones y suministros de gafas de seguridad adecuadas para proteger al usuario de la radiación láser durante el funcionamiento, previniendo daños oculares (European Committee for Standarization, 2010). Según la normativa, las gafas de protección láser deben venir marcadas por la longitud de onda para las que el filtro proporciona protección, el símbolo de condiciones de ensayo, la clase de protección, la marca del fabricante y el símbolo de resistencia mecánica, si procede. El marcado se encuentra en la montura o el filtro de las gafas. Por un lado, el símbolo de condiciones de ensayo incluye la letra que corresponde de las siguientes: D (láser continuo), l (láser pulsado), R (láser relajado) o M (láser multimodo). Por otro lado, la clase de protección incluye el código del tipo de radiación (LB, para láser) seguido del grado de protección. En el presente proyecto, se utilizará un láser "SainSmart Genmitsu 5.5W Fixed Focus Laser", el cuál trabaja con una longitud de onda de 455 ± 5 nm y cuyas condiciones de ensayo son las de un láser pulsado. Por lo tanto, las gafas de protección necesarias deberán estar marcadas con el siguiente código: 455 lR LB8 X. Dónde "X" es la marca del fabricante.

El pantógrafo debe también seguir las pautas de la ANSI Z136.1 (American National Standards Institute, 2012), que ofrece directrices para el uso seguro de láseres.

Esto implica que el equipo debe estar diseñado con características de seguridad, como un sistema de apagado de emergencia y controles claros para el usuario, además de proporcionar capacitación sobre el uso seguro de la máquina (American National Standards Institute, 2012). En la norma, se menciona que los láseres se clasifican según su potencia y los riesgos asociados. Clase 1 incluye sistemas seguros durante la operación normal, incluso con láseres más potentes integrados en su diseño. Clase 1M es segura a menos que se utilicen dispositivos ópticos como telescopios. Clase 2 emite luz visible (400-700 nm) y la protección ocular se basa en la respuesta de aversión al brillo, mientras que Clase 2M es similar, pero peligrosa con ópticas de aumento. Clase 3R puede ser peligrosa bajo ciertas condiciones de exposición directa, aunque el riesgo de lesión es bajo. Clase 3B es peligrosa para los ojos por exposición directa y reflejos especulares, pero no representa un peligro por reflejos difusos ni genera contaminantes. Finalmente, Clase 4 incluye los láseres más potentes, que son peligrosos para ojos, piel, pueden causar incendios y generar riesgos por reflejos difusos y contaminantes, requiriendo controles estrictos de seguridad. El láser de diodo de 5.5 W con una longitud de onda de 455 nm pertenece a la Clase 2, ya que su potencia es suficiente para representar un peligro significativo para los ojos y riesgos por reflejos difusos, requiriendo medidas de seguridad durante su operación. Al ser clasificado de Clase 2, el punto 1.2 de la norma muestra que se requiere de medidas de control, entrenamiento y controles ingenieriles para el uso del láser. Las medidas de control, previstas en la sección 4, incluyen procedimientos operativos estándar, educación y capacitación, área y operación controlada, procedimiento de calibración, equipo de protección personal, señales de advertencia, etc.

Por otro lado, la IEC 60825:2006 (International Electrotechnical Commision, 2006), que regula la seguridad de los productos láser, establece los requisitos para clasificar y proteger adecuadamente los dispositivos que utilizan tecnología láser (International Electrotechnical Commision, 2006). El pantógrafo debe cumplir con estas normas mediante la instalación de advertencias visibles, sistemas de seguridad y enclavamientos automáticos que protejan al usuario de la exposición directa al haz láser. En la sección 4.6 de la norma, se establece que los sistemas láser deben emitir una advertencia audible o visible al encenderse o al cargar sus capacitores, la cual debe ser a prueba de fallos o redundante. Además, si el láser es visible, debe ser perceptible incluso a través de gafas de protección adecuadas y estar ubicado de forma segura para evitar exposición peligrosa (International Electrotechnical Commision, 2006).

El estándar ISO 11553 (International Organization for Standarization, 2009), que cubre los peligros generados por máquinas de procesamiento láser, establece que el diseño debe minimizar los riesgos físicos mediante la inclusión de protecciones adecuadas, como cubiertas y sistemas de bloqueo (International Organization for Standarization, 2009). Estas medidas de seguridad evitan que el operador acceda accidentalmente al área del haz láser durante el funcionamiento. La sección 5 de la norma establece los requisitos y medidas de seguridad para dispositivos láser portátiles. Se menciona que los fabricantes deben garantizar la seguridad mediante la identificación de peligros, análisis de riesgos, implementación y verificación de medidas de seguridad, y suministro de información adecuada al usuario. Las medidas de seguridad deben integrarse en el diseño y fabricación del dispositivo, cumpliendo con los requisitos de esta sección y asegurando la conformidad de todos los componentes asociados. Además, es obligatorio realizar evaluaciones de riesgos considerando todas

las etapas de vida del dispositivo y tras cada modificación. Otro aspecto crítico en el uso del láser es la gestión de humos generados durante el corte. La ISO 15012-4 (International Organization for Standarization, 2013) regula la emisión de humos en los procesos de corte por láser. Para cumplir con esta norma, el pantógrafo debe incluir un sistema de extracción de humos eficiente que elimine gases tóxicos y partículas, protegiendo la salud del operador y minimizando el impacto ambiental (International Organization for Standarization, 2013). Debido a un límite de presupuesto, no se ha conseguido construir el sistema de extracción de humos, pero se ha diseñado para futuras implementaciones. Sin embargo, para el diseño, se tuvo que tomar en cuenta el punto 5.3 de la norma que establece que un sistema de extracción de humos seguro debe incluir: una campana de captura, capaz de generar suficiente velocidad de aire en la fuente para aspirar el aire contaminado; una campana receptora, colocada normalmente sobre procesos calientes para captar el aire contaminado impulsado por el flujo del proceso; y una cámara de encierro, un espacio total o parcialmente cerrado diseñado para contener el proceso y evitar la liberación de sustancias peligrosas al ambiente.

En cuanto a los sistemas eléctricos, la IEC 60204-1 (International Electrotechnical Comission, 2005) establece los requisitos para la seguridad eléctrica de las máquinas. El pantógrafo debe contar con un diseño eléctrico seguro, incluyendo protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos (International Electrotechnical Comission, 2005). La norma específica que el equipo eléctrico debe funcionar correctamente bajo variaciones de voltaje (90% a 110% del nominal) y frecuencia (99% a 101% con breves periodos de 98% a 102%). También, el diseño eléctrico debe contar con una terminal de tierra para cada entrada al circuito. El equipo debe incluir

un dispositivo de desconexión que permita aislar el equipo de la fuente de alimentación, operable sin herramientas, con medios para bloquearlo en posición "off" y desconectar simultáneamente todos los conductores no conectados a tierra. El equipo debe proteger contra contactos eléctricos directos mediante aislamiento completo, carcasas certificadas o interbloqueos que eviten el acceso a partes vivas mientras haya energía. Para contactos indirectos, se requieren medidas como doble aislamiento, desconexión automática en caso de falla y conexión a tierra de partes conductoras. La protección contra sobre corriente es esencial para evitar que la corriente supere la capacidad de los componentes o conductores del circuito. Esto requiere dispositivos de protección diseñados teniendo en cuenta factores como la corriente máxima disponible, la capacidad de interrupción, las características del circuito y la coordinación entre dispositivos.

Los circuitos de control también deben protegerse contra sobrecorriente, permitiendo el uso de dispositivos de protección suplementarios según sea necesario. Además, cada motor debe contar con dispositivos de protección contra sobrecargas y fallos de arranque, y estos dispositivos no deben reiniciar automáticamente el motor tras su activación, salvo en casos específicos. El control del pantógrafo se rige por la ISO 6983-1 (International Organization for Standarization, 2002), que regula los sistemas de control numérico (CNC) de las máquinas. Indica que el pantógrafo debe incorporar un sistema de control que permita realizar cortes precisos y complejos de manera automatizada, con una programación eficiente y fácil de usar (International Organization for Standarization, 2002). En este caso, el software elegido *LaserGRBL* está optimizado para controladores CNC más simples y láseres pequeños, implementa muchas de las funciones fundamentales del código G, que es la base del estándar ISO.

En términos de estructura de programa, *LaserGRBL* utiliza un formato similar al del estándar, empleando comandos de dirección como G0/G1 para movimientos rápidos y lineales, F para la velocidad de avance, S para regular el PWM del láser y M3/M5 para el control de encendido y apagado del láser. Si bien uno no programa directamente el código G, el algoritmo que procesa los archivos lo hace de acuerdo con el estándar ISO 6983-1. El software también es compatible con sistemas de coordenadas absolutas (G90) e incrementales (G91), lo que permite flexibilidad al programar movimientos. Además, *LaserGRBL* puede trabajar tanto en unidades métricas como imperiales, aunque generalmente está configurado para trabajar en milímetros, que es el estándar en la mayoría de las aplicaciones de grabado y corte. A pesar de seguir muchas de las directrices del estándar ISO, *LaserGRBL* tiene limitaciones, como el salto de bloques opcionales, o una interoperabilidad total entre máquinas con diferentes configuraciones. No obstante, su flexibilidad para adaptarse a diferentes configuraciones y su compatibilidad con Arduino lo hacen una opción muy utilizada para proyectos de grabado y corte láser en entornos de menor escala.

Para garantizar que los motores utilizados en el pantógrafo sean adecuados, se deben seguir los estándares de NEMA MG 1 (National Electrical Manufacturers Association, 2014) e IEC 60034-1 (International Electrotechnical Comission, 2010), que regulan el diseño y funcionamiento de motores y generadores eléctricos (National Electrical Manufacturers Association, 2014) (International Electrotechnical Comission, 2010). El equipo debe utilizar motores compatibles con estas normativas, asegurando su durabilidad y eficiencia en el entorno de trabajo. Según la norma IEC 60034-1 (International Electrotechnical Comission, 2010), los requisitos de diseño y funcionamiento de los motores aplicables al pantógrafo láser CNC, que utiliza tres

motores paso a paso, incluyen pruebas de regulación de velocidad y manejo de la dirección de rotación.

Como tema de industria 4.0, hay varias opciones de mejora continua que permitirán operar de forma integral el pantógrafo láser. Uno de ellos es la implementación de tecnologías IoT mediante la instalación de un módulo wifi en el Arduino. De esta manera se podrá controlar y programar la máquina por medio de dispositivos móviles. Otra opción es la implementación de machine learning o inteligencia artificial para evitar el uso innecesario de material, optimizando las regiones de corte que se realizarían en el material base.

Económicamente, el aumento de cortadores láser y sistemas CNC asequibles ha permitido que pequeñas empresas y startups ingresen a mercados competitivos sin la necesidad de grandes inversiones de capital en equipos de fabricación tradicionales (Gordón et al. 2021). Esta democratización de la producción permite la fabricación local y la personalización a escala, lo que empodera a microempresas para producir bienes de manera eficiente. Desde una perspectiva económica global, los países que apoyan la innovación tecnológica en la fabricación digital pueden reducir la dependencia de la producción a gran escala en el extranjero, contribuyendo a la resiliencia económica. Sin embargo, siguen existiendo desafíos en cuanto a la cadena de suministro de componentes, que puede verse afectada por factores geopolíticos y la disponibilidad global de microchips y electrónicos.

La sostenibilidad y el ahorro energético en el corte láser son áreas de creciente interés. A pesar de que se considera una tecnología eficiente, hay una carencia de estudios concluyentes sobre las mejores prácticas para reducir el consumo de energía

sin comprometer la calidad del corte, lo cual es un desafío para su implementación más sostenible en el futuro (Zhao et al., 2023). En el caso de los pantógrafos láser, la sostenibilidad está relacionada tanto con los materiales utilizados en su construcción como con el impacto ambiental de su operación. El uso de perfiles de aluminio extruido es beneficioso, ya que el aluminio es altamente reciclable y ligero, lo que reduce el consumo de energía en su transporte y ensamblaje. Además, el cambio hacia láseres de diodo en lugar de láseres de CO_2 tradicionales reduce el consumo de energía, lo que hace que el dispositivo sea más eficiente energéticamente (Rodrigues et al., 2014). La gestión de residuos en el corte láser es otro tema de sostenibilidad. Es necesario implementar sistemas de extracción de humos y filtración de aire para reducir la emisión de subproductos nocivos al medio ambiente (He et al., 2022). La inclusión de un diseño modular y de fácil mantenimiento también prolonga la vida útil de la máquina, reduciendo la generación de residuos electrónicos.

Políticamente, el desarrollo y uso de tecnologías de corte láser interseca con políticas comerciales globales, regulaciones de fabricación y preocupaciones sobre la propiedad intelectual. Los aranceles sobre componentes electrónicos o las restricciones a la exportación de equipos de alta precisión pueden afectar la disponibilidad y el costo de las piezas necesarias para la construcción de pantógrafos láser.

El mercado de las máquinas CNC de corte láser ha experimentado un crecimiento constante en los últimos años, impulsado por la demanda de soluciones de fabricación precisas y eficientes. Las máquinas de corte por láser varían en precio dependiendo del tipo y la potencia del láser. Por ejemplo, las máquinas de corte láser de CO_2 suelen oscilar entre $5,000 y $30,000, mientras que las de fibra pueden costar entre $20,000

y $100,000. Para aquellos que buscan opciones más asequibles, las cortadoras láser de diodo están disponibles a partir de $600 hasta $5,000, aunque con limitaciones en cuanto a tamaño de la mesa de trabajo y potencia del láser. Algunas de las principales empresas que desarrollan máquinas CNC de corte láser incluyen *Trumpf*, *Bystronic*, *Mazak*, *Han's Laser*, *Bond Laser* y *Amada* (Zhang, S. 2024).

DESARROLLO DEL TEMA

SELECCIÓN DEL TIPO DE CORTE

Actualmente, existen varias tecnologías de corte disponibles. En la Tabla 4, se presentan herramientas de corte comunes en la actualidad, junto con sus características más relevantes.

Tabla 4. Comparación de tecnologías de corte.

Tecnología	**Materiales Adecuados**	**Precisión**	**Velocidad de Corte**	**Zona Afectada por el Calor**	**Costos Operativos**
Láser	Metales, plásticos, madera	Alta	Alta	Pequeña	Moderados
Plasma	Metales conductores	Media	Muy alta	Moderada	Moderados
Oxicorte	Acero al carbono	Baja	Baja	Grande	Bajos
Chorro de Agua	Cualquier material	Alta	Media	Ninguna	Altos
Láser de Diodo	Plásticos, madera, algunos metales	Media	Media	Pequeña	Bajos

Comparando los distintos tipos de corte en cuanto a su acabado, el plasma, láser, chorro de agua y diodo dan un resultado de corte que no requiere de técnicas de refinado o post procesado. Por otro lado, el oxicorte usualmente presenta rebabas y resultados que usualmente requieren procesar y refinar el acabado, esto se debe al HAZ (Heat Affected Zone) grande que tiene este método de corte.

Por otro lado, si se comparan las distintas tecnologías de corte láser, se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 5. Comparación de tecnologías de corte láser

Tipo de Láser	Materiales Adecuados	Precisión	Velocidad de Corte	Costos Operativos	Aplicaciones Comunes
CO2	No metales y algunos metales	Alta (±0.1 mm)	Alta	Moderados	Grabado, corte de plásticos
Fibra	Metales	Muy alta (±0.05 mm)	Muy alta	Bajos	Corte de metales, alta precisión
Nd:YAG	Metales y no metales	Alta (±0.1 mm)	Alta	Altos	Soldadura, perforación
Diodo	Plásticos, madera, algunos metales	Alta (±0.1 mm)	Media	Bajos	Grabado, corte de materiales delgados

La zona de corte producida por un láser se caracteriza por su alta precisión y control térmico, lo que la distingue de otras tecnologías de corte. El corte por láser, debido a sus propiedades, minimiza la deformación del material y permite cortes precisos y limpios (Zhang, S. 2024). Esto importante para aplicaciones que requieren alta precisión y acabados de calidad.

Tabla 6. Ponderación de tecnologías de corte láser

Criterio	Imagen	Criterio 1: Potencia	Criterio 2: Precio	Criterio 3: Instalación	Criterio 4: Mantenimiento	Prioridad
• **Solución A: Láser de CO_2**		0.333	0.333	0.167	0.167	3
• **Solución B: Láser de Fibra óptica**		0.5	0.167	0.333	0.333	2
• **Solución C: Láser de Diodo**		0.167	0.5	0.5	0.5	1

Tras realizar un exhaustivo proceso de selección y ponderación de alternativas, como muestra la tabla 6, se ha decidido optar por el láser de diodo para la máquina CNC de corte y grabado láser. Esta opción se destaca por cumplir de manera óptima con los criterios establecidos anteriormente. Además, el láser de diodo es fácil de instalar, lo que simplifica su integración en la máquina, y su mantenimiento es accesible, ya que no requiere el manejo de sistemas ópticos delicados. La zona de corte producida por un láser de diodo se caracteriza por su precisión y control en materiales delgados. Esto se debe a que este tipo de láser opera a longitudes de onda que son absorbidas de manera eficiente por distintos materiales, lo que permite realizar cortes y grabados limpios y de alta calidad (Baker et al., 2019). En general, los láseres de diodo son ideales para aplicaciones donde se requieren detalles finos y un acabado superficial liso, aunque su potencia es inferior a la de otros tipos de láser, lo que limita su uso en ciertos materiales (Reddy & Venkatesh, 2022). A pesar de sus limitaciones en comparación con las alternativas más potentes, el láser de diodo tiene equilibrio favorable entre rendimiento y costo, lo que lo convierte en la opción más adecuada para este proyecto.

SELECCIÓN DE PERFILES

En el proceso de selección de la estructura para una máquina CNC de corte y grabado láser, se han evaluado cuatro alternativas de material en base a los criterios de bajo peso, precio moderado, propiedades de diseño y funcionalidad. En la tabla 7, se puede observar un resumen de los distintos tipos de perfiles tomados en cuenta con sus debidas características.

Tabla 7 Descripción de las propiedades y funcionalidad de las alternativas para perfiles guía.

Tipo de Perfil	Peso estructura base	Precio Aproximado (por metro)	Propiedades de Diseño	Funcionalidad
Perfiles de aluminio tipo "C" 80x40	12.24 kg	$20 - $40 USD	Equilibrio entre peso y rigidez. Diseño en "C" que mejora estabilidad sin aumentar mucho el peso.	Buena maniobrabilidad y estabilidad. Adecuado para máquinas que requieren estabilidad sin sacrificar ligereza.
Perfiles de acero galvanizado tipo "C"	35.58 kg	$15 - $35 USD	Alta rigidez estructural. Peso elevado. Diseño en "C" que minimiza vibraciones.	Máxima estabilidad estructural, pero el peso elevado lo hace menos práctico en términos de manejo y transporte.
Rieles de acero 45x45 mm	23.81 kg	$10 - $25 USD	Alta rigidez y durabilidad, pero con peso significativo.	Excelente robustez y precisión, pero el peso elevado y el mayor costo de maquinado son desventajas.
Perfiles de aluminio 80X40	8.18 kg	$15 - $30 USD	Bajo peso, fácil de manejar y buena rigidez con relación a su peso.	Ideal para mantener ligereza y funcionalidad. Menor rigidez que el acero, pero adecuado para aplicaciones donde el peso de los componentes sea crítico.

Tabla 8. Ponderación perfiles

Criterio	Imagen	Criterio 1: Peso	Criterio 2: Precio	Criterio 3: Propiedades de Diseño	Criterio 4: Funcionalidad	Prioridad
• Solución A: Perfiles de Acero Galvanizado tipo "C"		0.067	0.067	0.267	0.133	4
• Solución B: Perfiles de Aluminio tipo "C" 80x40		0.200	0.267	0.333	0.333	1
• Solución C: Rieles de Acero 45x45 mm		0.133	0.133	0.133	0.200	3
• Solución D: Perfiles de aluminio 80x40		0.267	0.200	0.200	0.267	2

Tras realizar una evaluación detallada y ponderar las alternativas basadas en los criterios mencionados anteriormente, se ha decidido optar por una combinación de perfiles para la estructura de la máquina CNC de corte y grabado láser. La opción seleccionada consiste en utilizar perfiles de aluminio en "C" de 80x40 mm para las guías donde deslizan los sistemas de deslizamientos, y los perfiles de aluminio de 80x40 mm para los elementos longitudinales que solo sirven de soporte estructural y unión.

El aluminio fue elegido el material principal debido a su peso en comparación con el acero. Los perfiles de aluminio de80x40 mm permiten mantener un peso total de

la estructura en aproximadamente 60 kg, lo que facilita el manejo, transporte y operación de la máquina sin comprometer la estabilidad. Esta ligereza es una ventaja significativa en comparación con los rieles de acero galvanizado, que habrían añadido mucho más peso. En términos de rigidez y estabilidad, los perfiles de aluminio tipo "C" ofrecen una ventaja significativa, lo que es crucial en las zonas donde los sistemas de deslizamientos deben moverse con precisión. Este nivel de rigidez garantiza la estabilidad de la máquina durante su funcionamiento, mejorando la precisión en las tareas de corte y grabado sin agregar peso innecesario. Desde la perspectiva del costo, aunque los perfiles de aluminio tipo "C" tienen un precio por metro más alto (entre $20 y $40 USD), los costos de maquinado son más moderados en comparación con el acero galvanizado. Además, el aluminio no requiere procesos costosos como el corte o soldadura de precisión, lo que reduce el gasto total asociado a la fabricación de la máquina. Para los elementos longitudinales, que cumplen únicamente la función de soporte y unión, se seleccionaron perfiles de aluminio de 80x40 mm. Estos no necesitan ofrecer el mismo nivel de rigidez que los perfiles en "C", lo que permite reducir aún más el peso y optimizar el diseño de la estructura sin sacrificar la funcionalidad.

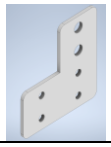
SELECCIÓN DE UNIONES

Para escoger el tipo de uniones a utilizar para unir la estructura, los enfoques principales fueron la resistencia, la precisión de alineamiento, el espacio ocupado y el costo. Tras una investigación del tipo de uniones disponibles en el mercado local y de aquellas que se pueden fabricar, se obtuvieron los datos descritos en la tabla 9.

Tabla 9. Descripción de Uniones.

Tipo de Unión	Resistencia	Precisión de Alineamiento	Espacio Ocupado	Costo	Comentario
Uniones en escuadra de acero	Buena resistencia	Depende de la habilidad del instalador	Ocupan más espacio en la mesa de trabajo	Moderado	Fáciles de implementar, pero pueden generar variaciones en el alineamiento y ocupar más área de trabajo.
Placas rectangulares de acero	Alta resistencia y estabilidad	Moderada, no facilitan alineamiento preciso	Ocupan más espacio y no dan suficiente rigidez	Elevado	Proporcionan robustez, pero son costosas y ocupan espacio, lo que limita la optimización del área de trabajo.
Placas de unión tipo "L" de acero	Buena resistencia	Alta, facilitan el alineamiento preciso	Ocupan mínimo espacio en la mesa de trabajo	Bajo a moderado	Solución eficiente, rentable y precisa, con mínimo impacto en el espacio de trabajo, ideal para maximizar área.

Tabla 10. Ponderación de uniones.

Criterio	Imagen	Criterio 1: Precisión	Criterio 2: Espacio Invadido	Criterio 3: Precio	Prioridad
• Solución A: Placa rectangular de Acero		0.167	0.250	0.500	3
• Solución B: Placas de unión tipo "L" de acero		0.500	0.500	0.333	1
• Solución C: Uniones en escuadra de acero		0.333	0.250	0.167	2

Tras realizar una ponderación de las alternativas se ha decidido optar por el uso de placas de unión tipo “L” como uniones de los perfiles de aluminio para la estructura base de la máquina CNC de corte y grabado láser. Esta elección se justifica por su cumplimiento óptimo de los criterios establecidos, destacándose en la precisión de alineamiento y minimizando el espacio invadido en la mesa de trabajo, además de ser una opción de bajo costo.

SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Para seleccionar el controlador a utilizar, se escogieron 3 controladores compatibles con el módulo de láser de diodo y se realizó una comparación en cuanto a la facilidad de software de código abierto, la fiabilidad o seguridad del controlador, la facilidad de programación y el tiempo de respuesta. En la siguiente tabla, se pueden observar las características de cada controlador.

Tabla 11. Selección de Controladores

Controlador	Facilidad de Programación	Flexibilidad y Personalización	Tiempo de Respuesta	Fiabilidad	Costo	Comentario
Arduino UNO	Alta, programación sencilla	Alto, entorno de código abierto	Rápido, ideal para control de máquinas	Alta, probado en múltiples proyectos	Bajo a moderado	Versátil, ideal para usuarios con diferentes niveles de experiencia. Gran fiabilidad en proyectos de automatización.
PLC (Controladores Lógicos Programables)	Moderada, puede ser más compleja que Arduino	Limitada, software de código cerrado.	Variable, dependiendo del modelo	Muy alta, especialmente en entornos industriales	Elevado	Alta seguridad y fiabilidad, pero con menor personalización y mayor costo. Ideal para aplicaciones críticas.

Raspberry Pi	Moderada, configuración más compleja	Alto, entorno de código abierto	Razonable, pero no ideal para control crítico	Moderada, menos fiable para control en tiempo real	Moderado	Excelente rendimiento y flexibilidad, pero requiere mayor conocimiento técnico. No es la mejor opción para cortos plazos de fabricación.

Tabla 12. Selección del controlador.

CRITERIO	IMAGEN	Criterio 1: SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO	Criterio 2: PRECIO	Criterio 3: FACILIDAD DE PROGRAMACIÓN	Criterio 4: TIEMPO DE RESPUESTA	PRIORIDAD
• Solución A: Arduino UNO		0.500	0.250	0.500	0.250	2
• Solución B: PLC		0.167	0.500	0.167	0.500	1

• Solución C: Rasberry Pi		0.333	0.250	0.333	0.250	3

Tras llevar a cabo una ponderación de las alternativas, se ha decidido utilizar el Arduino UNO como controlador para la máquina CNC de corte y grabado láser. Esta elección se justifica por su cumplimiento óptimo de los criterios establecidos. Aunque los PLC y Raspberry Pi tienen sus ventajas, el Arduino UNO proporciona el mejor equilibrio entre funcionalidad, costo y facilidad de uso para este proyecto en específico.

PLAN DE MANUFACTURA

El proyecto utilizará diversas tecnologías de manufactura y componentes para la fabricación y ensamblaje de la máquina. Entre las tecnologías destacan la extrusión de perfiles de aluminio de 80x40 tipo “C”, utilizados tanto para el eje principal longitudinal como para los transversales en los que se mueven los sistemas de deslizamiento, junto con la estructura de soporte, la cual está compuesta por los perfiles de 80x40. Para el corte de las placas de aluminio que sujetarán la estructura y las que formarán los sistemas de deslizamiento, se empleará corte láser. Además, el corte con sierra será necesario para ajustar la longitud de los perfiles de aluminio. También se usará el torno CNC para realizar el refrentado, cilindrado y roscado en los extremos de los tornillos sin fin SFU1605. La impresión 3D será utilizada para prototipar elementos estructurales, fabricar los soportes de las cadenas de arrastre de los cables y el soporte del cabezal del láser. Además, se empleará la fresadora para maquinar los perfiles. Para el ensamblaje, se emplearán herramientas como llaves, taladros y destornilladores.

Finalmente, las pruebas eléctricas se realizarán usando multímetros y el software de Arduino para verificar y garantizar el funcionamiento correcto de la máquina.

A continuación, se muestra a detalle los procesos de maquinado que se deben realizar antes de cualquier ensamblaje.

Tabla 13. Proceso de Torneado de tornillo sin fin SFU1605

No.	**Descripción de la Operación**	**Herramienta de control**	**Herramienta**
1	Corte del tornillo a 1200 mm de largo	Regla	Sierra de corte
2	Refrentado a ambos extremos del tornillo sin fin SFU1605	Comparador de ángulos	Herramienta de torno para refrentado
3	Para el extremo que va acoplado a la chumacera BK12, realizar cilindrado de diámetro 12mm y largo de 25mm.	Micrómetro	Herramienta de torno para cilindrado
4	Seguido al refrentado, realizar un roscado del área M12X10mm	Galga de rosca	Herramienta de torno para roscado.
5	Seguido del roscado, realizar un cilindrado de diámetro 10mm y largo 15mm.	Micrómetro	Herramienta de torno para cilindrado
6	Para el extremo que va acoplado al motor NEMA23, realizar un cilindrado de diámetro 10mm y largo 9.8mm.	Micrómetro	Herramienta de torno para cilindrado
7	Seguido del cilindrado, realizar una hendidura de radio 0.8mm.	Micrómetro	Buril
8	Seguido de la hendidura, realizar un cilindrado de diámetro 10mm y largo 8.35mm.	Micrómetro	Herramienta de torno para cilindrado
9	Finalmente, realizar un cilindrado del extremo con diámetro 8mm y largo 1.85mm.	Micrómetro	Herramienta de torno para cilindrado

Tabla 14. Proceso de fresado de perfiles de aluminio tipo “C”

No.	**Descripción de la Operación**	**Herramienta de control**	**Herramienta**
1	Colocación y sujeción del perfil en la mesa de la fresadora. Alineación para garantizar estabilidad.	Reloj Palpador	Mordazas
2	Fresado del primer labio interior: Remoción de 6 mm en toda la longitud del perfil (primer lateral).	Calibrador	Fresa plana de 6mm
3	Fresado del segundo labio interior: Remoción de 6 mm en toda la longitud del perfil (segundo lateral).	Calibrador	Fresa plana de 6mm

Proceso de fresado perfil de aluminio fresado 80x40X1040

No.	**Descripción de la Operación**	**Herramienta de control**	**Herramienta**
1	Sujeción del perfil en la mesa de la fresadora. Alineación y fijación.	Reloj Palpador	Mordazas
2	Fresado en la primera sección (200-280 mm): Rebaje de 40 mm de altura en 80 mm de largo.	Calibrador	Fresa de 8mm (acabado N11)
3	Fresado en la segunda sección (480-560 mm): Rebaje de 40 mm de altura en 80 mm de largo.	Calibrador	Fresa de 8mm (acabado N11)
4	Fresado en la tercera sección (760-840 mm): Rebaje de 40 mm de altura en 80 mm de largo.	Calibrador	Fresa de 8mm (acabado N11)
5	Verificación dimensional del perfil fresado: Altura, ancho y posiciones.	Calibrador	No aplica

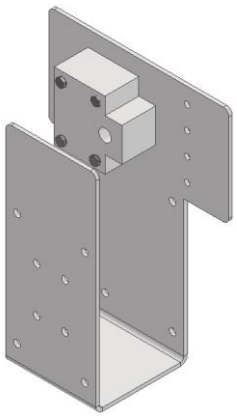
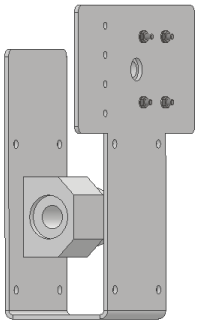
Tabla 15. Proceso de doblado de planchas de aluminio.

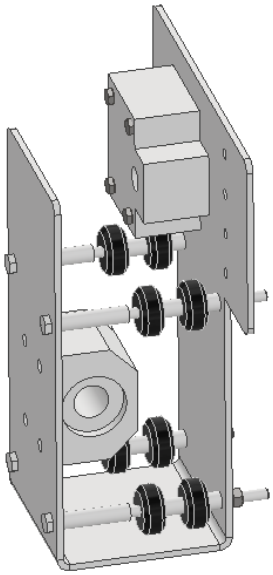
No.	Descripción de la Operación	Herramienta de control	Herramienta para el armado
Placa para chumacera BK12 y motor NEMA23			
1	Colocar la plancha de 470.6 mm en la plegadora y alinear según la longitud total.	Calibrador	No aplica
2	Realizar el primer doblez a 215 mm desde el inicio de la plancha.	Transportador de ángulos	Matriz en “V” y punzón de la plegadora
3	Realizar el segundo doblez a 81 mm después del primer doblez.	Transportador de ángulos	Matriz en “V” y punzón de la plegadora
Placa para sistema de deslizamiento para láser			
5	Colocar la plancha de 338.6 mm en la plegadora y alinear según la longitud total.	Calibrador	No aplica
6	Realizar el primer doblez a 134 mm desde el inicio de la plancha.	Transportador de ángulos	Matriz en “V” y punzón de la plegadora
7	Realizar el segundo doblez a 81 mm después del primer doblez.	Transportador de ángulos	Matriz en “V” y punzón de la plegadora

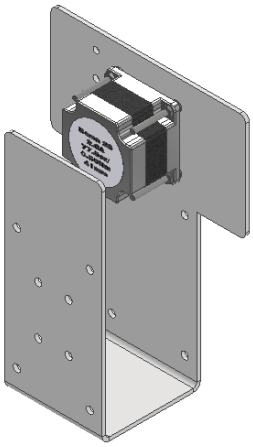
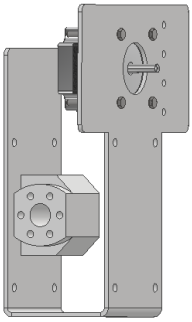
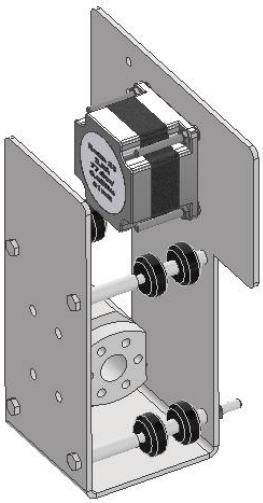
A continuación, en la tabla 17, se puede observar la hoja de procesos para el ensamblaje final del pantógrafo láser CNC. La hoja de procesos para el ensamblaje final de una máquina CNC es una guía detallada y estructurada que define los pasos a seguir para asegurar un montaje correcto, eficiente y en el orden adecuado. Su propósito principal es estandarizar el ensamblaje, minimizando errores y garantizando que todos los operarios sigan procedimientos uniformes. Además, optimiza el uso del tiempo y los recursos, al especificar los materiales, herramientas y métodos necesarios en cada

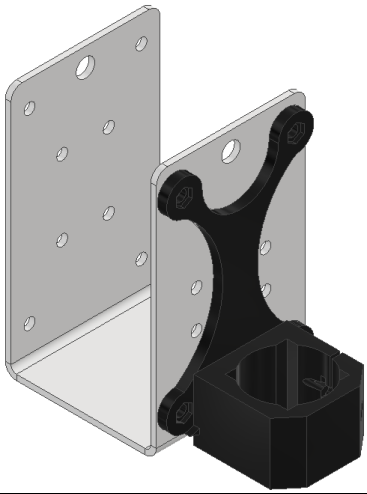
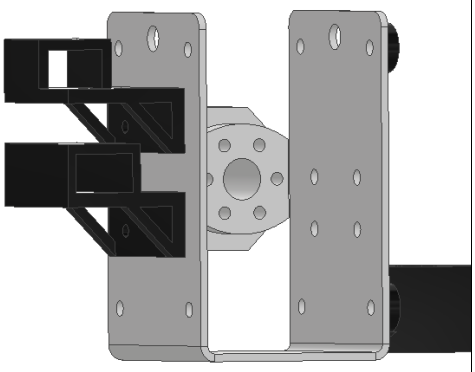
etapa del proceso, lo que contribuye a reducir tiempos improductivos. Las hojas de procesos del armado de la estructura principal y la adecuación de los tornillos sin fin se pueden encontrar en la sección de anexos.

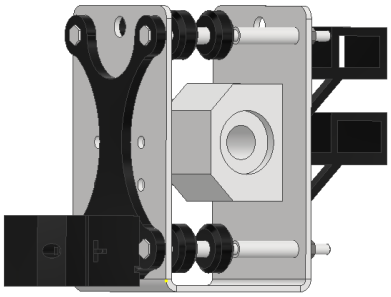
Tabla 16. Hoja de Procesos para el ensamblaje de subcomponentes.

No.	**Descripción de la Operación**	**Esquema**	**Herramienta de control**	**Herramienta para el armado**
Ensamble del sistema de deslizamiento transversal para chumacera.				
1	Unir la chumacera BK12 a la placa para sistema de deslizamiento de chumacera BK12, utilizando 4 pernos M4, cada uno con su respectiva arandela y tuerca.		No aplica	Llave mixta de 7mm o racha con dado de 7mm
2	Colocar un husillo de bolas SFU 1605 utilizando 4 tornillos Allen M5X15mm.		No aplica	Llave Allen de 4mm

3	En cada uno de los orificios para los ejes con las ruedas para ranura en “v”, colocar junto a la chumacera 4 pernos M5X100. En cada perno, se debe adicionar un buje espaciador izquierda, seguido por una rueda, un buje espaciador medio, otra rueda y un buje espaciador derecha, hasta que el sistema se encuentre fijo. Una vez se encuentre fijo, colocar dos arandelas para perno M5, seguido de su respectiva tuerca. Ajustar ejerciendo 6N-m de torque.		Torquímetro	Torquímetro con dado de 8mm
Ensamble del sistema de deslizamiento transversal para motor NEMA23.				

1	Unir el motor NEMA 23 a la placa para sistema de deslizamiento de motor NEMA23, utilizando 4 pernos M4, cada uno con su respectiva arandela y tuerca.		No aplica	Llave mixta de 7mm o racha con dado de 7mm
2	Colocar un husillo de bolas SFU 1605 utilizando 4 pernos Allen M5X15mm.		No aplica	Llave Allen de 4mm
3	En cada uno de los orificios para los ejes con las ruedas para ranura en “v”, colocar junto al motor 4 pernos M5X100. En cada perno, se debe adicionar un buje espaciador izquierda, seguido por una rueda, un buje		Torquímetro	Torquímetro con dado de 8mm

	espaciador medio, otra rueda y un buje espaciador derecha, hasta que el sistema se encuentre fijo. Una vez se encuentre fijo, colocar dos arandelas para perno M5, seguido de su respectiva tuerca. Ajustar ejerciendo 6N-m de torque.			
Ensamble del sistema de deslizamiento longitudinal para láser.				
1	Unir la unión y soporte para láser con la parte frontal de la placa para sistema de deslizamiento láser, utilizando 4 pernos M5X100.		No aplica	Llave mixta de 7mm o racha con dado de 7mm
2	Del lado contrario, colocar un husillo de bolas SFU 1605 utilizando 4 pernos Allen M5X20mm. Estos pernos también		No aplica	Llave Allen de 4mm

	deben sostener tanto el soporte para cadena superior como el soporte para cadena inferior.			
3	En cada uno de los orificios para los ejes con las ruedas para ranura en “v”, utilizar los mismos pernos con los que se sostiene la unión y soporte para láser para crear los ejes. En cada perno, se debe adicionar un buje espaciador izquierda, seguido por una rueda, un buje espaciador medio, otra rueda y un buje espaciador derecha, hasta que el sistema se encuentre fijo. Una vez se encuentre fijo, colocar		Torquímetro	Torquímetro con dado de 8mm

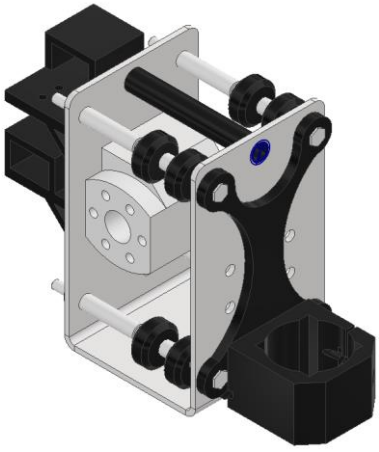
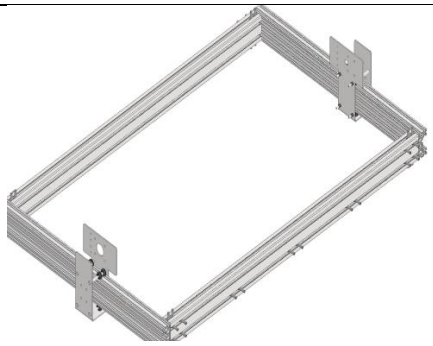
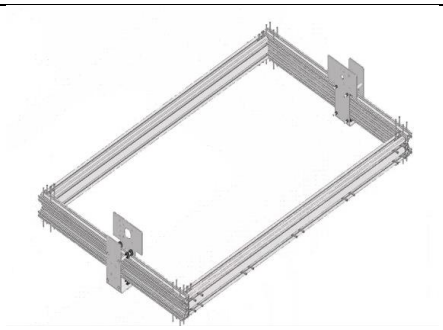
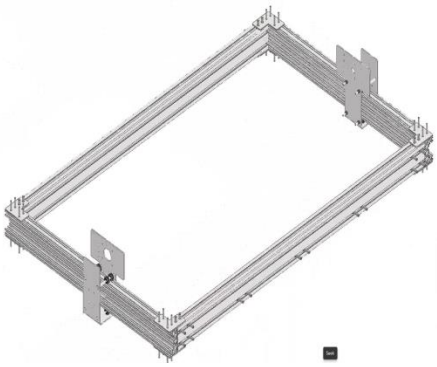
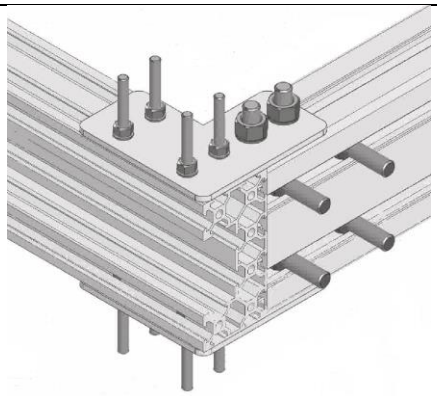
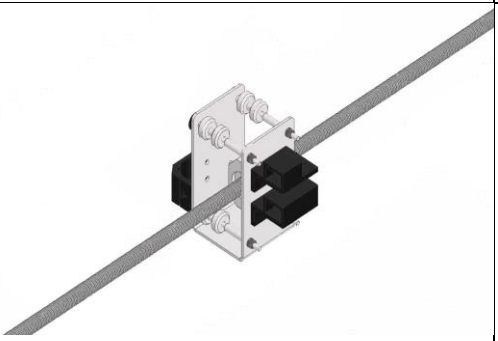
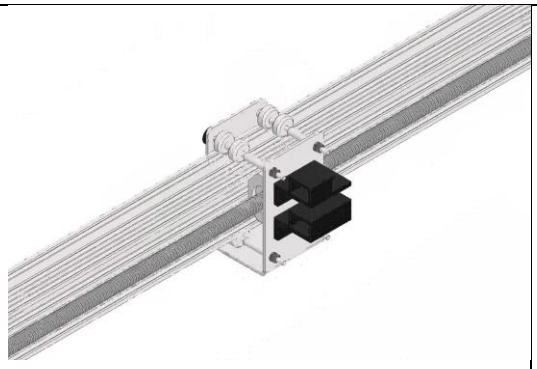
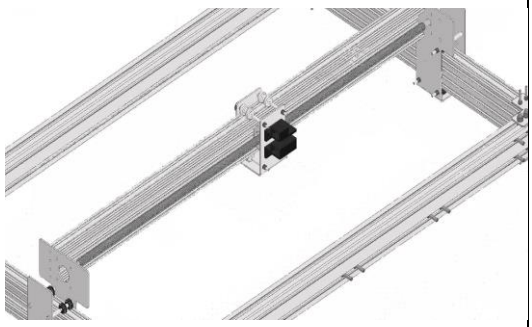
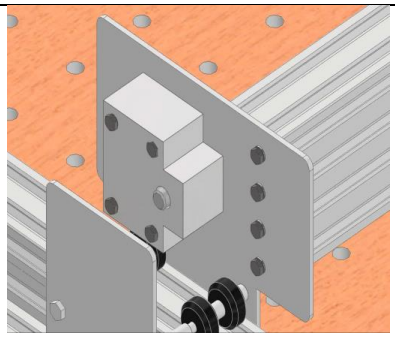
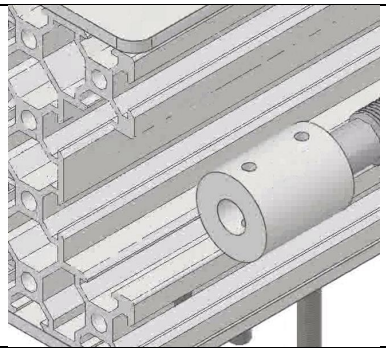
	dos arandelas para perno M5, seguido de su respectiva tuerca. Ajustar ejerciendo 6N-m de torque.			
4	Incluir el pasacables a presión, en medio de los ejes superiores.		No aplica	No aplica

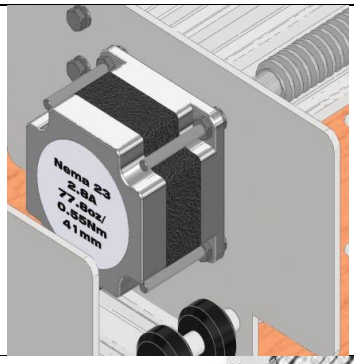
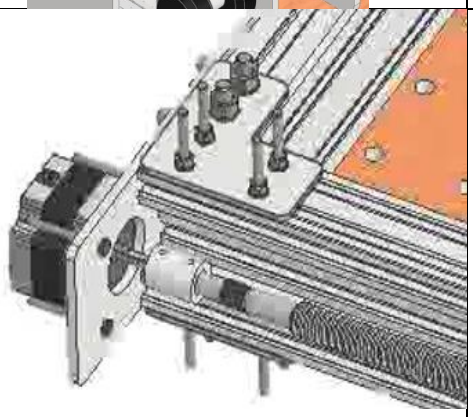
Tabla 17. Hoja de Procesos para el ensamblaje final

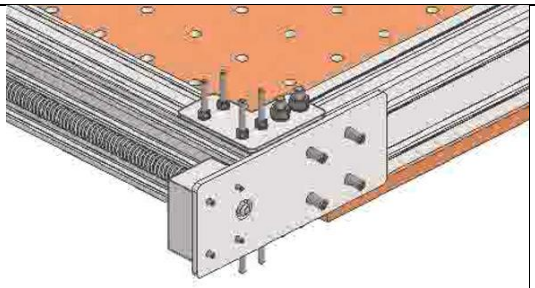
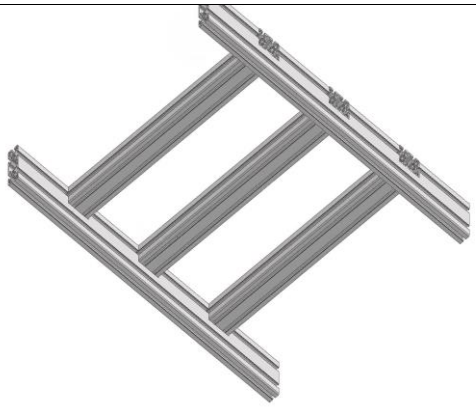
No.	**Descripción de la Operación**	**Esquema**	**Herramienta de control**	**Herramienta para el armado**
1	Colocar los perfiles longitudinales tipo “C” de manera paralela, cada uno con la cantidad de pernos M8 como indica en la figura. Tener a la mano los sistemas de deslizamiento transversales para motor NEMA 23 y para		No aplica	No aplica

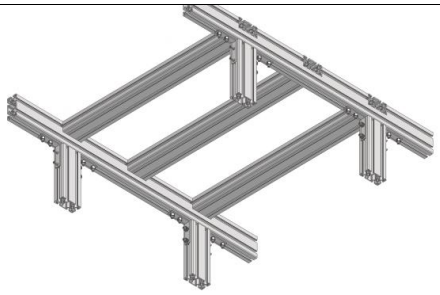
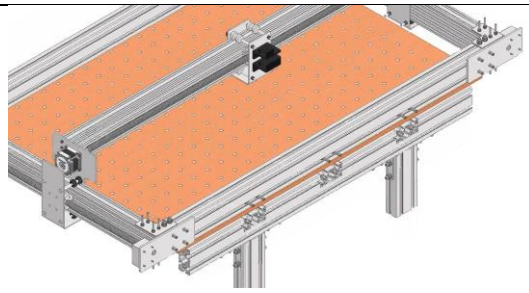
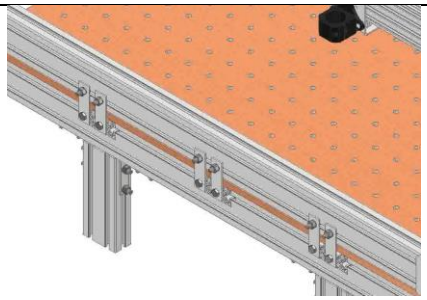
	chumacera BK12 con los tornillos sin fin ya dentro de los husillos.			
2	Acoplar los perfiles de aluminio tipo “C” 80x40xL800 a los sistemas de deslizamiento transversales para motor NEMA 23 y para chumacera BK12. Con ayuda de un nivel, colocar los perfiles de aluminio longitudinales a 90 grados de los perfiles transversales.		Nivel	No aplica
3	Adjuntar 4 pernos superiores M4 y 4 pernos inferiores M4 en cada lado de los perfiles de aluminio extruido transversales tipo “C” 80x40xL800, como muestra la figura.		No aplica	No aplica

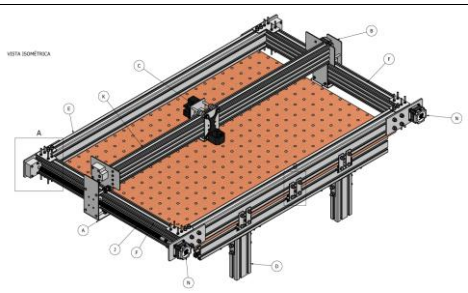
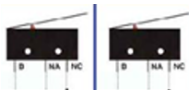
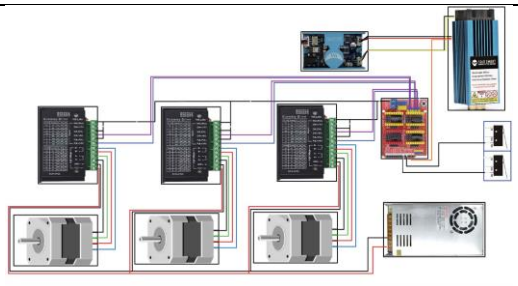
4	Colocar 1 placa de unión tipo “L” superior y 1 placa de unión tipo “L” inferior en cada lado de los perfiles de aluminio extruido transversales tipo “C” 80x40xL800, como muestra la figura.		No aplica	No aplica
5	Colocar las tuercas de los pernos M8 y M4 que se encuentran en la parte superior e inferior de la estructura en las placas de unión tipo “L”. Ajustar suavemente, se ajustará con 6N-m de torque cuando esté nivelado.		No aplica	Llaves mixtas de 13mm y 7mm
6	Colocar el Tornillo sin Fin SFU 1605 con el Husillo de bolas SFU 1605 dentro del sistema de desplazamiento longitudinal para láser.		No aplica	No aplica

7	Colocar el perfil de aluminio extruido tipo “C” longitudinal 80x40xL1200 dentro del sistema de deslizamiento longitudinal para láser.		No aplica	No aplica
8	Alinear el perfil de aluminio extruido tipo “C” longitudinal 80x40xL1200 con el resto de la estructura, de manera en que se pueda empernar en los sistemas de deslizamiento transversales.		Nivel	No aplica
9	Colocar los pernos M4 del perfil en el sistema de deslizamiento transversal para chumacera. Ajustar con 6N-m de torque.		Torquímetro	Torquímetro con dado de 7mm
10	Colocar los acoples para Tornillo sin Fin SFU1605 con Motor NEMA23 en los 3 tornillos sin Fin.		No aplica	Llave Allen de 1.5mm

11	Colocar los pernos del perfil (M4) en el sistema de deslizamiento transversal correspondiente para motor.		No aplica	Llave mixta de 7mm
12	Utilizando la Placa de soporte para motor NEMA23, del lado al que se encuentra el acople para Tornillo sin Fin SFU1605 con Motor NEMA23 de ambos perfiles transversales tipo “C” 80x40xL800, alinear el perfil de aluminio 80x40xL1200 y empernar tanto los perfiles (M8) como el motor (M4) a cada placa. Para el ajuste, usar 6N-m de torque.		Nivel, torquímetro	Torquímetro con dados de 7mm y 13mm

13	De los lados que queda el Tornillo sin Fin SFU 1605 suelto de los perfiles transversales de aluminio tipo “C” 80x40xL800, colocar una placa de soporte chumacera, unir la chumacera BK12 al Tornillo sin Fin SFU 1605 y a la placa (M4), alinear la placa con el perfil de aluminio 80x40xL1200 y empernar (M8). Para el ajuste, usar 6N-m de torque.		Nivel, torquímetro	Torquímetro con dados de 7mm y 13mm
14	Para la base, unir a presión 2 perfiles de aluminio 80x40xL1040 con 3 perfiles de aluminio 80x40xL800. Para el ajuste, usar 6N-m de torque.		Nivel, torquímetro	Torquímetro con dado de 13mm
15	Utilizando dos uniones en angulo de 90 para cada perfil de aluminio 80x40xL196,		Nivel, torquímetro	Torquímetro con dado de 13mm

	alinear y empernar cada pata 80x40 L196 con 8 pernos M8. Para el ajuste, usar 6N-m de torque.			
16	Colocar el tablero de madera 1120x800x12 sobre la estructura de soporte de la base y por encima colocar la máquina. Tener cuidado, ya que el sistema aún no queda fijo.		No aplica	No aplica
17	Utilizando las platinas para unión de estructura de soporte con tablero y pernos M8, unir la máquina a la base como se muestra en la figura 18. Esto se debe realizar a ambos lados. Para el ajuste, usar 6N-m de torque.		Torquímetro	Torquímetro con dado de 13mm

18	Una vez que la estructura quede lista, montar el láser de 5.5W Sain Smart con la unión y soporte para el láser. Ajustar de forma manual hasta que haya resistencia, no realizar sobre esfuerzo.		No aplica	Llave Allen de 3mm
19	Montar la caja de mando con los 3 drivers, el Arduino UNO, el Arduino CNC Shield, el controlador del láser y la fuente. Colocar los finales de carrera, en el punto en el que se desea que sea el origen, utilizando los acoples de finales de carrera.		No aplica	No aplica
20	Para realizar el cableado, seguir el siguiente diagrama de conexiones. No olvidar pasar los cables dentro de las cadenas de arrastre.		Multímetro	Tornillo de precisión, multímetro, cinta de electricista, pelacables.

El plan de verificación de dimensiones y tolerancias incluye: para los perfiles de aluminio, una tolerancia de ±2mm , verificado mediante vernieres y escuadras de precisión; para el sistema de deslizamiento, una tolerancia de alineación de ±0.3mm, verificado con calibres e inspección visual; para el cabezal láser, una tolerancia de montaje de ±0.5mm, verificado con calibres y pruebas de alineación; y para la mesa de trabajo, una planitud con tolerancia de ±0.1mm, verificado con un nivel y herramientas de precisión.

Otra parte importante dentro de la manufactura es el diagrama de procesos que se sigue para obtener el producto final. El diagrama de procesos de la figura 3, destaca una secuencia organizada y detallada de las fases de diseño, fabricación y ensamblaje. Inicia con la definición de especificaciones y el diseño en CAD, lo que asegura que todos los componentes estén correctamente dimensionados y planificados antes de iniciar la fabricación. Luego, la adquisición de materiales y el corte preciso de perfiles de aluminio permite crear una estructura sólida y funcional, que será la base de la máquina. El ensamblaje de la estructura, los sistemas de deslizamiento, el cabezal láser y la mesa de trabajo se realiza de manera secuencial, asegurando la alineación correcta de los componentes para obtener un movimiento suave y cortes precisos. Posteriormente, la integración electrónica, que incluye la instalación de controladores y motores, garantiza el funcionamiento seguro y eficiente de la máquina. Las pruebas iniciales de encendido, junto con la calibración de los ejes, aseguran que los componentes electrónicos y mecánicos trabajen en conjunto de manera óptima. Finalmente, se realizan pruebas de corte y ajustes finales para verificar la precisión y funcionalidad de la máquina.

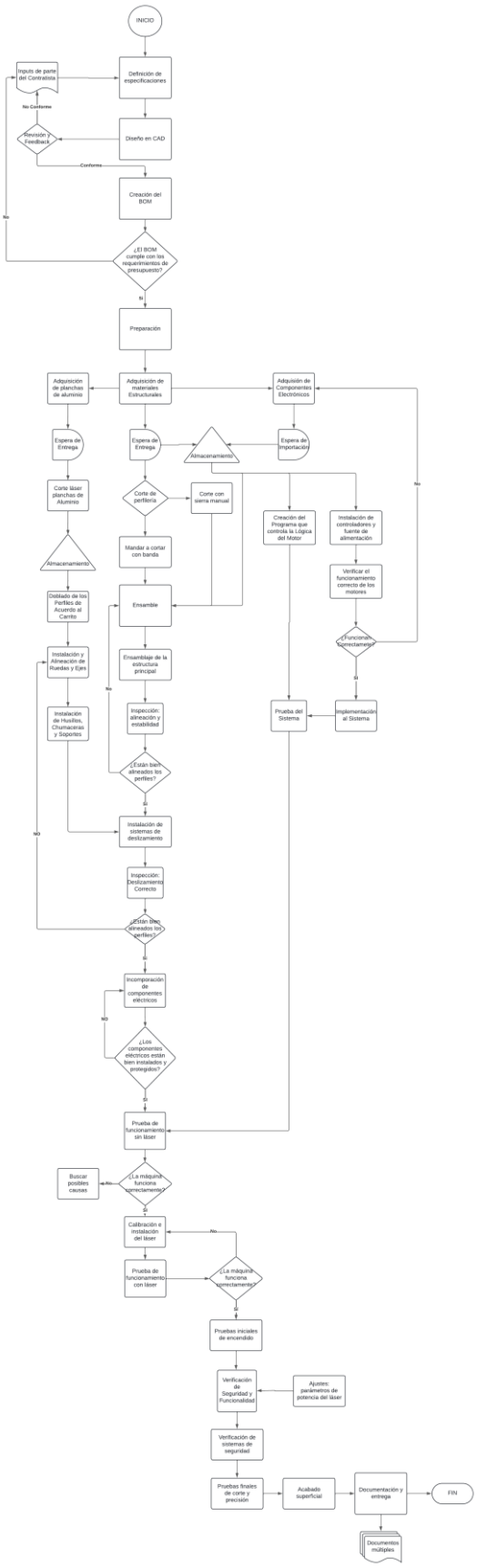


Figura 3. Diagrama de Procesos.

Este diagrama es crucial en el proceso de manufactura, ya que proporciona un plan estructurado y detallado que permite identificar y solucionar problemas antes de que ocurran. Además, asegura que todos los componentes y sistemas funcionen en armonía, minimizando errores, reduciendo el desperdicio de materiales, y maximizando la eficiencia del proyecto.

ANÁLISIS DE RIESGOS

La construcción y operación de un pantógrafo láser CNC presenta varios riesgos significativos que deben ser gestionados con cuidado para asegurar tanto la seguridad de los operarios como la eficiencia del equipo. Se han determinado de forma arbitraria y bajo criterios de seguridad industrial un total de 9 riesgos que se clasificarán bajo la tabla de la figura 4. La calificación de cada uno de los riesgos se puede encontrar en la sección de anexos.

Risk Assessment Control Measure			Severity				
From **1 – 4** = Low Risk			Negligible	Minor	Moderate	Major	Extreme
From **5 – 10** = Med Risk							
From **12 – 25** = High Risk			**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Likelihood (Probability)	Very Unlikely	1	1	2	3	4	5
	Rarely Occur	2	2	4	6	8	10
	Possible	3	3	6	9	12	15
	Likely Occur	4	4	8	12	16	20
	Occurs Frequently	5	5	10	15	20	25

Figura 4. Clasificación de Riesgos.

Tabla 18. Análisis de Posibles Riesgos.

Código	Posibles Riesgos	Causa	Probabilidad	Severidad	Color
1	Fallo electrónico del láser	Sobrecarga	2	5	10
2	Fallo eléctrico motores	Sobrecarga, sobresfuerzo, corto circuito	3	4	12
3	Sobrecalentamiento del motor	Uso extensivo de la maquina	-	-	-
4	Lesiones por láser	Mal uso de equipo de seguridad	4	5	20
5	Lesiones por residuos	Inhalación de gases nocivos o material caliente	1	5	5
6	Riesgo de atrapamiento	Atrapamiento en las partes móviles	3	5	15
7	Incendio	Por el láser	1	5	5
8	Riesgo eléctrico	Problemas con cableado o componentes electros causan descargas o choques eléctricos	2	4	8
9	Deflexión estructural	Debido a sobrecarga en la estructura	1	4	4
10	Vibraciones innecesarias (Descalibración)	Mala programación que puede llegar a causar movimientos innecesarios de los motores y generar vibraciones las cuales descalibrarían la maquina	-	-	-
11	Incumplimiento de especificaciones	Corte fuera de tolerancias	-	-	-
12	Afección de la integridad de la estructura	Salpicaduras a las partes móviles, afectando el funcionamiento correcto de la máquina	-	-	-

Tabla 19. Gestión de Posibles Riesgos.

Código	Descripción	Prioridad	Responsable	Decisión Tomada	Estatus	Observaciones	Impacto
1	Un mal funcionamiento del láser puede detener la operación o provocar daños.	10	Diego Vera	Comprar otro láser e implementar un sistema de monitoreo que detenga la máquina automáticamente	Vigente	Altos costos de operación, Se requiere mantener un control de calidad estricto en los componentes electrónicos.	La máquina quedará obsoleta

				en caso de fallo.			
2	Puede causar paros en la máquina o riesgos eléctricos.	12	Héctor Freire	Comprar otros motores, usar fusibles y protección térmica.	Vigente	Aumenta los costos operativos y afecta la productividad.	La máquina quedará obsoleta
4	La exposición al láser puede causar quemaduras oculares o en la piel.	20	Joanne Wells	Usar barreras de protección y gafas especializadas; detener la máquina inmediatamente ante incidentes.	Vigente	Riesgo crítico de salud para los operarios. Se necesita equipo de protección personal obligatorio, como gafas de seguridad y barreras de protección. Instrucciones claras sobre la operación segura y señalización de advertencia son indispensables.	El operador presentará lesiones
5	Los residuos de corte pueden causar lesiones o irritaciones.	5	Carlos Vásquez	Instalar extracción de residuos y usar protección ocular.	Vigente	Es obligatorio el uso de gafas de seguridad y guantes. Instrucciones de limpieza después de cada uso para minimizar la acumulación de desechos.	El operador presentará lesiones
6	Las partes móviles pueden atrapar manos o ropa.	15	Diego Vera	Proteger componentes móviles y Detener la máquina ante un atrapamiento.	Vigente	Lesiones potencialmente graves. Se requiere el uso de ropa de trabajo y se prohíbe el uso de joyería durante la operación.	El operador presentará lesiones, y la máquina presenta daños.

7	El láser puede encender materiales inflamables.	5	Héctor Freire	Tener extintores cercanos, apagar automáticamente ante señales de fuego.	Vigente	Daños graves al equipo e instalaciones, con posibles pérdidas económicas considerables. Se necesita un sistema de extinción de incendios accesible y entrenar al personal en el manejo de situaciones de emergencia.	El operador presentará lesiones
8	Los componentes eléctricos pueden provocar electrocuciones o cortocircuitos.	8	Joanne Wells	Asegurar correcta conexión a tierra y usar protección. Inspeccionar antes de reiniciar tras fallos eléctricos.	Vigente	Alto riesgo de electrocución. Se necesita un equipo de protección específico (guantes y zapatos aislantes), inspecciones regulares y manuales claros sobre procedimientos de desconexión segura. Incluir señalización de advertencia eléctrica.	El operador presentará lesiones
9	La deformación afecta la precisión y puede dañar el equipo.	4	Carlos Vásquez	Monitorear la estructura y realizar ajustes si se detectan deformaciones.	Vigente	Impacta la precisión de corte y la calidad del producto final, lo que aumenta los costos de retrabajo o ajustes.	La máquina no cumplirá las toleraciones.

Código	Descripción	Prioridad	Responsable	Decisión Tomada	Estatus	Observaciones	Impacto
1	Un mal funcionamiento del láser puede detener la operación o provocar daños.	10	Diego Vera	Comprar otro láser e implementar un sistema de monitoreo que detenga la máquina automáticamente en caso de fallo.	Vigente	Altos costos de operación, Se requiere mantener un control de calidad estricto en los componentes electrónicos.	La máquina quedará obsoleta
2	Puede causar paros en la máquina o riesgos eléctricos.	12	Héctor Freire	Comprar otros motores, usar fusibles y protección térmica.	Vigente	Aumenta los costos operativos y afecta la productividad.	La máquina quedará obsoleta
4	La exposición al láser puede causar quemaduras oculares o en la piel.	20	Joanne Wells	Usar barreras de protección y gafas especializadas; detener la máquina inmediatamente ante incidentes.	Vigente	Riesgo crítico de salud para los operarios. Se necesita equipo de protección personal obligatorio, como gafas de seguridad y barreras de protección. Instrucciones claras sobre la operación segura y	El operador presentará lesiones

						señalización de advertencia son indispensables.	
5	Los residuos de corte pueden causar lesiones o irritaciones.	5	Carlos Vásquez	Instalar extracción de residuos y usar protección ocular.	Vigente	Es obligatorio el uso de gafas de seguridad y guantes. Instrucciones de limpieza después de cada uso para minimizar la acumulación de desechos.	El operador presentará lesiones
6	Las partes móviles pueden atrapar manos o ropa.	15	Diego Vera	Proteger componentes móviles y Detener la máquina ante un atrapamiento.	Vigente	Lesiones potencialmente graves. Se requiere el uso de ropa de trabajo y se prohíbe el uso de joyería durante la operación.	El operador presentará lesiones, y la máquina presenta daños.
7	El láser puede encender materiales inflamables.	5	Héctor Freire	Tener extintores cercanos, apagar automáticamente ante señales de fuego.	Vigente	Daños graves al equipo e instalaciones, con posibles pérdidas económicas considerables. Se necesita un sistema de extinción de incendios accesible y entrenar al personal en el manejo de situaciones de emergencia.	El operador presentará lesiones

8	Los componentes eléctricos pueden provocar electrocuciones o cortocircuitos.	8	Joanne Wells	Asegurar correcta conexión a tierra y usar protección. Inspeccionar antes de reiniciar tras fallos eléctricos.	Vigente	Alto riesgo de electrocución. Se necesita un equipo de protección específico (guantes y zapatos aislantes), inspecciones regulares y manuales claros sobre procedimientos de desconexión segura. Incluir señalización de advertencia eléctrica.	El operador presentará lesiones
9	La deformación afecta la precisión y puede dañar el equipo.	4	Carlos Vásquez	Monitorear la estructura y realizar ajustes si se detectan deformaciones.	Vigente	Impacta la precisión de corte y la calidad del producto final, lo que aumenta los costos de retrabajo o ajustes.	La máquina no cumplirá las toleraciones.

Riesgo de Sobrecarga

Primero, al ser una máquina de corte láser, se corre el riesgo de que exista una sobrecarga al equipo y por ende falle el láser. Un mal funcionamiento del láser implica una alta severidad, pero con poca probabilidad de ocurrencia, haciendo que este riesgo se clasifique con un nivel 10 de acuerdo con la tabla. Si esto llegase a suceder, causaría que se tenga que detener la operación e incluso podría llevar a algunos daños graves, en el peor de los casos, implicando la compra de un láser adicional y la necesidad de implementación de un sistema de monitoreo automático, representando altos costos operativos y un estricto control de calidad en los componentes electrónicos.

Riesgo de Fallo del Motor

Por otro lado, se corre el riesgo de que los motores eléctricos fallen por diversas razones como un sobresfuerzo o un corto circuito. Este riesgo tiene una severidad alta y es posible que ocurra, por lo que obtiene un puntaje de 12 respecto a la tabla, es decir, es un riesgo alto. Si los motores eléctricos fallan, se pueden causar paros en la máquina y riesgos eléctricos, por lo que es crucial usar fusibles y protecciones térmicas. Además, si un motor se daña, se debe adquirir un motor adicional, aumentando los costos operativos y afectando la productividad del equipo.

Riesgo de Exposición al Láser

Un tercer riesgo crítico es el riesgo de lesiones por exposición al láser, con un nivel 20 de la tabla proporcionada. La exposición directa al láser puede causar quemaduras graves en los ojos y la piel, lo que representa un alto riesgo para la salud de los operarios. Este riesgo es causado principalmente por el mal uso del equipo de seguridad y la falta de barreras de protección adecuadas. Para abordarlo, se pueden implementar barreras protectoras, el uso de gafas especializadas y se debe asegurar que la máquina se detenga automáticamente, mediante un botón de emergencia, ante cualquier incidente, reduciendo así la probabilidad de lesiones graves. Además, durante la operación, los residuos de corte generados por el láser pueden causar irritaciones o lesiones en los operadores si no se gestionan adecuadamente. Este riesgo, durante el análisis, obtuvo una prioridad de 5. Para mitigar este riesgo se debe asegurar que los operadores utilicen gafas de seguridad. La limpieza regular de la máquina después de cada uso también es fundamental para evitar la acumulación de desechos que puedan causar problemas.

Riesgo de atrapamiento

Las partes móviles de la máquina representan un riesgo con probabilidad y severidad moderada, con una prioridad de 15. Estas representan un riesgo significativo para los operadores, ya que las manos o la ropa pueden quedar atrapadas, lo que podría provocar lesiones graves. Este riesgo es gestionado mediante la protección de los componentes móviles y la implementación de un botón que detenga la máquina de forma inmediata ante un atrapamiento. Además, se han establecido estrictas normas de seguridad que prohíben el uso de joyería y requieren ropa adecuada durante la operación.

Incendio

Por otra parte, el láser de la cortadora puede encender materiales inflamables, lo que presenta un riesgo considerable de incendio en las instalaciones. Aunque la prioridad de este riesgo es relativamente baja 5, su impacto puede ser significativo, afectando tanto la máquina como el entorno de trabajo. Para reducir este riesgo, se ha decidido instalar extintores accesibles cerca del equipo. Además, se debe capacitar al personal en la respuesta ante emergencias de incendios.

Riesgo eléctrico

Los componentes eléctricos utilizados pueden provocar electrocuciones o cortocircuitos si no se gestionan adecuadamente. Este riesgo de prioridad 8, a pesar de que raramente suceda tiene una severidad alta. También está relacionado con problemas en el cableado o en los componentes eléctricos, y puede resultar en graves

lesiones para los operadores. Para mitigarlo, se ha implementado un sistema de conexión a tierra adecuado, y los operadores deben usar guantes y zapatos aislantes.

Deflexión estructural

Finalmente, la deformación de la estructura de la máquina representa un riesgo alto ya que afecta la precisión del corte y puede dañar el equipo, por lo que es fundamental monitorear la estructura y realizar ajustes necesarios para mantener la calidad del producto final y evitar costos adicionales de retrabajo. Sin embargo, es poco probable que ocurra con las cargas a las que está expuesta la máquina, clasificándolo con una prioridad de 4 según la tabla.

Este análisis muestra que los riesgos asociados a la operación de una cortadora láser CNC son diversos y abarcan desde fallos técnicos hasta riesgos para la seguridad de los operadores. Los riesgos de mayor prioridad incluyen fallos eléctricos del láser, fallos eléctricos en los motores y lesiones por exposición al láser, ya que pueden causar daños graves al equipo o a los operarios.

A continuación, se enlistan algunos de los riesgos con mayor prioridad y su debida gestión en caso de suceder.

Fallos eléctricos

- Gestión: Para gestionar este riesgo, se garantizará un alto flujo de aire en los radiadores para salvaguardar los componentes eléctricos. Además, se realizarán inspecciones y mantenimientos regulares para identificar y solucionar problemas potenciales antes de que escalen.

Exposición al láser

- Gestión: Implementar barreras de protección alrededor del láser y requerimientos de que los operarios usen gafas especializadas. En caso de incidente, la máquina contará con un botón de seguridad con el fin de detener cualquier proceso que se esté realizando. Se proporcionará capacitación integral sobre operación segura y procedimientos de emergencia a todo el personal.

Mal funcionamiento del láser

- Gestión: Para mitigar este riesgo, se puede adquirir un láser adicional como respaldo. Además, se realizarán mantenimientos y controles de calidad regulares para asegurar que el láser funcione eficientemente.

REPORTE DEL DISEÑO

La máquina CNC de corte y grabado láser es un pantógrafo compacto y versátil, diseñado para proporcionar cortes precisos en materiales como madera y acrílico de hasta 3 mm de espesor. Sus dimensiones generales son de 1.20 m x 0.80 m x 0.80 m, lo que la hace portátil y adecuada para espacios reducidos. La estructura principal está fabricada con perfiles de aluminio extruido tipo “C” de 80 mm x 40 mm y perfiles de aluminio de 80 mm x 40 mm, lo que garantiza ligereza y rigidez, minimizando la deflexión estructural. Está equipada con un láser de diodo de 5.5 W con longitud de onda de 455 nm, que combina potencia y eficiencia energética, junto con un controlador Arduino UNO con firmware GRBL, que permite un control preciso y fácil integración con software de código abierto como LaserGRBL. La máquina ofrece una precisión de 0.1 mm y una vida útil estimada de 10,000 horas. Incluye sistemas de seguridad como gafas protectoras para el operador y advertencias visibles o audibles que alertan sobre la activación del láser. Además, el diseño considera la facilidad de mantenimiento y la adaptabilidad para futuras mejoras, como la incorporación de láseres de mayor potencia o diferentes tecnologías, como CO_2 o fibra óptica. Todo esto a un costo total proyectado inferior a $1500. Las especificaciones técnicas y los criterios ingenieriles se encuentran en las tablas 1,2 y 3 del presente documento.

Como ya se mencionó anteriormente, el pantógrafo láser cuenta con una estructura de 1200 x 800 mm, la cual permitirá tener un área de corte de 1000x500 mm. En la figura 4, se puede observar el plano de la estructura en general, con los subcomponentes y lista de partes.

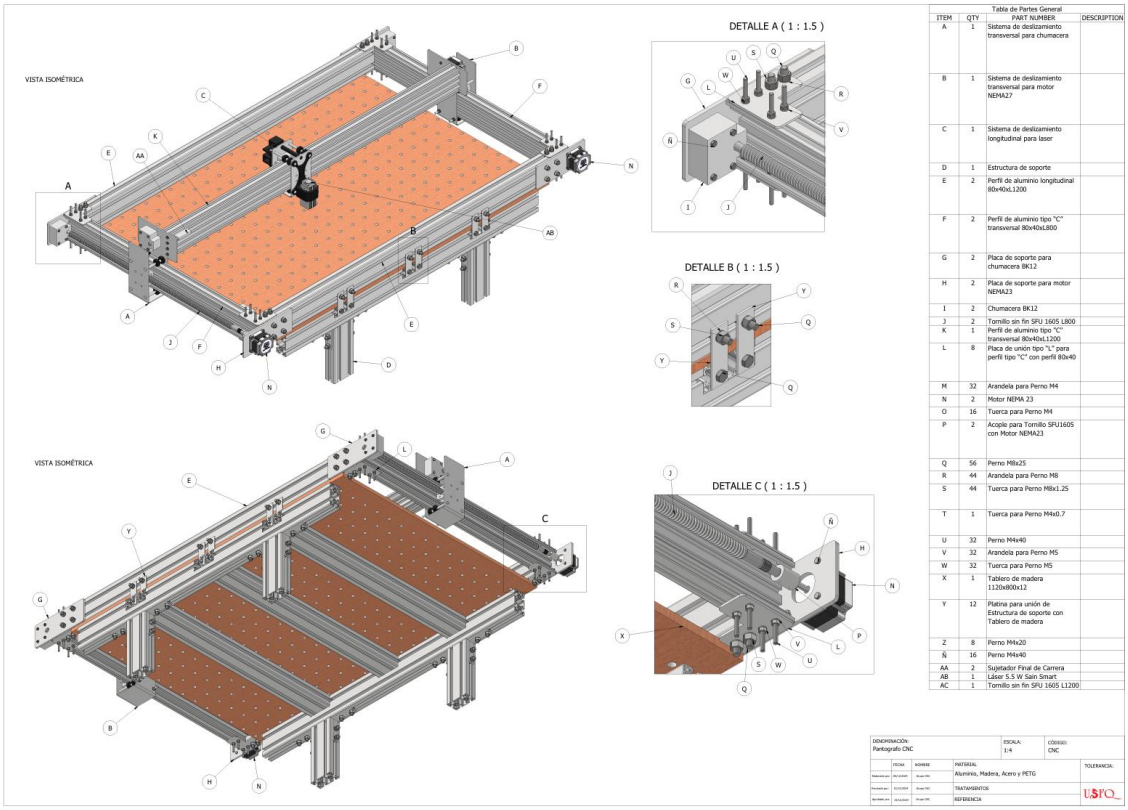


Figura 5. Plano de conjunto.

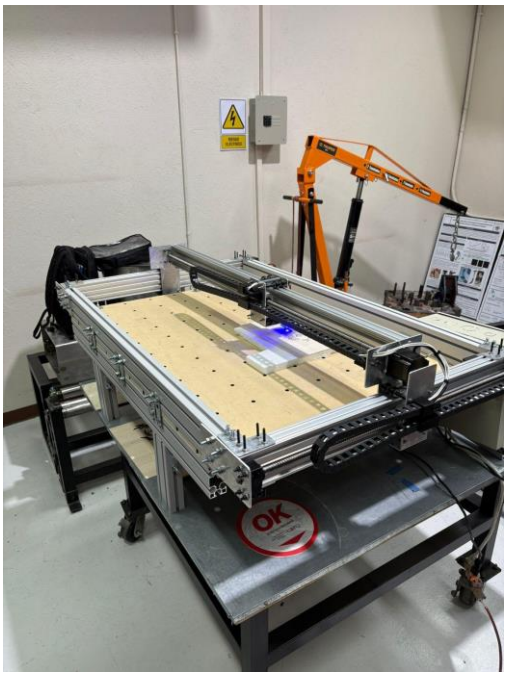
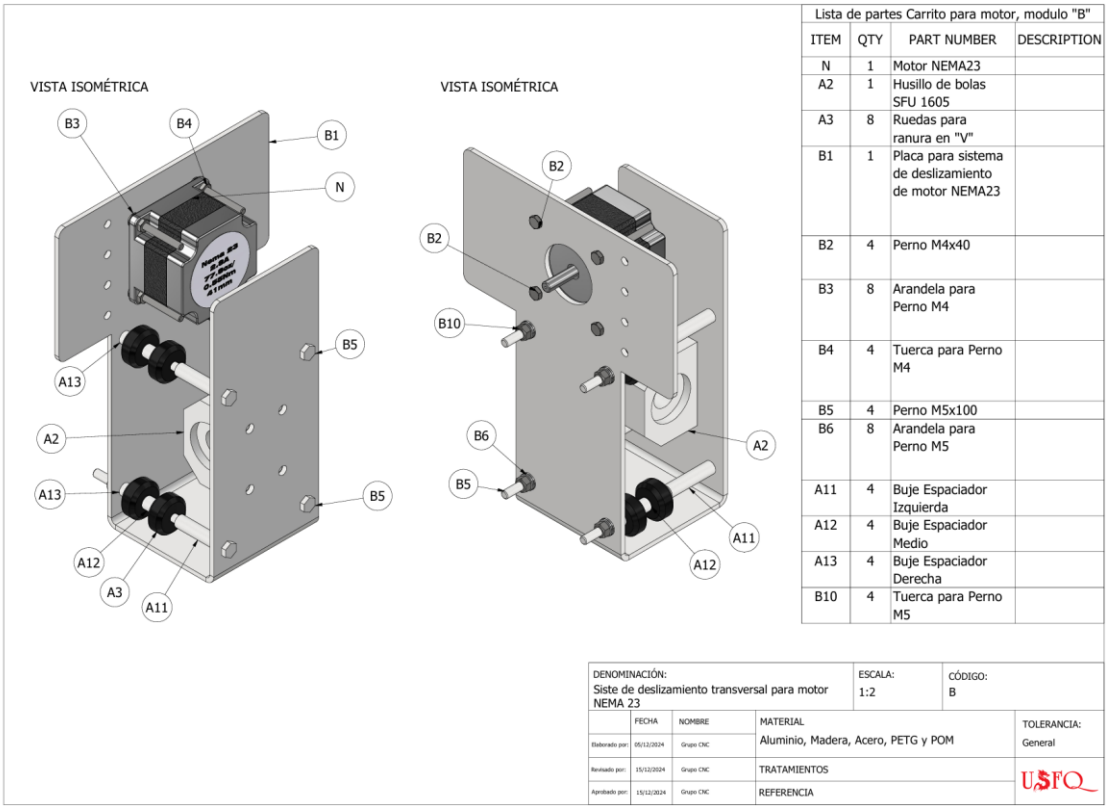


Figura 6. Pantógrafo construido.

Diseño de Subcomponentes

Los subconjuntos principales de la máquina cortadora CNC incluyen el sistema de deslizamiento para motor, diseñado para asegurar el movimiento preciso del motor en el sistema; el sistema de deslizamiento para la chumacera, que facilita la rotación y estabilidad de los ejes; y el sistema de deslizamiento para el láser, que garantiza un desplazamiento controlado y seguro del láser durante las operaciones de corte.

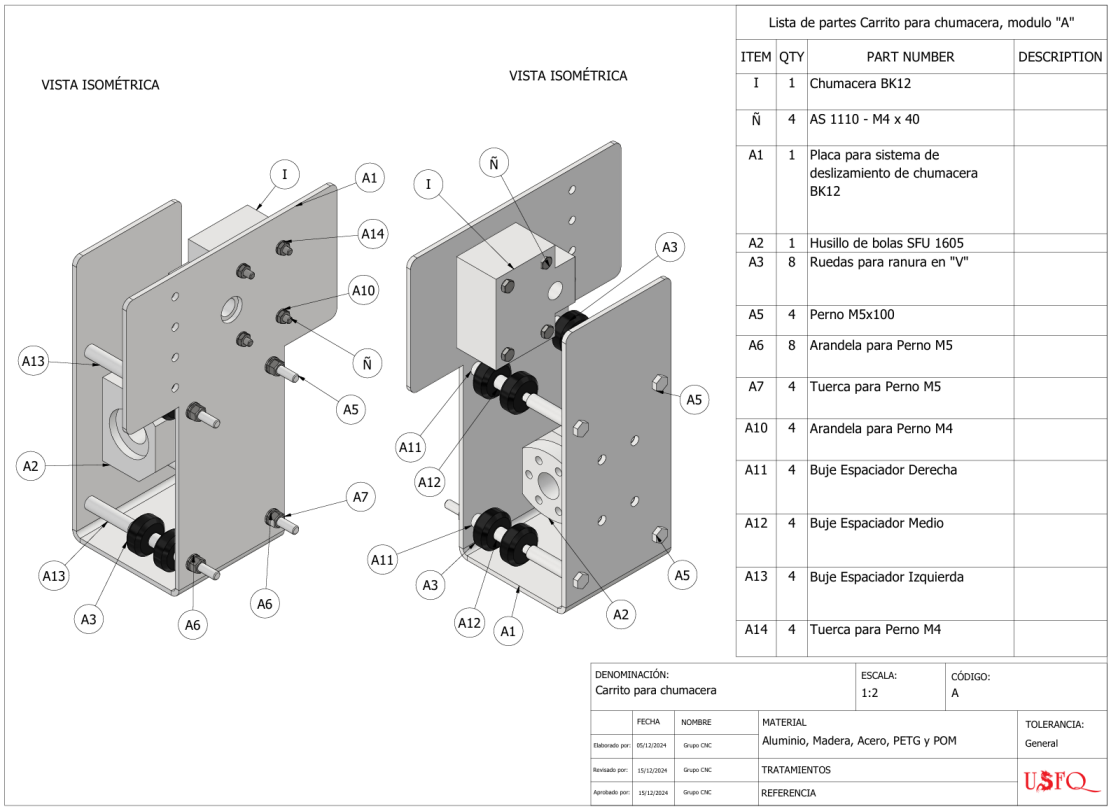


Lista de partes Carrito para motor, modulo "B"

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
N	1	Motor NEMA23	
A2	1	Husillo de bolas SFU 1605	
A3	8	Ruedas para ranura en "V"	
B1	1	Placa para sistema de deslizamiento de motor NEMA23	
B2	4	Perno M4x40	
B3	8	Arandela para Perno M4	
B4	4	Tuerca para Perno M4	
B5	4	Perno M5x100	
B6	8	Arandela para Perno M5	
A11	4	Buje Espaciador Izquierda	
A12	4	Buje Espaciador Medio	
A13	4	Buje Espaciador Derecha	
B10	4	Tuerca para Perno M5	

DENOMINACIÓN:			ESCALA:	CÓDIGO:
Siste de deslizamiento transversal para motor NEMA 23			1:2	B
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio, Madera, Acero, PETG y POM	General
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	USFQ

Figura 7. Plano sistema de deslizamiento para motor.



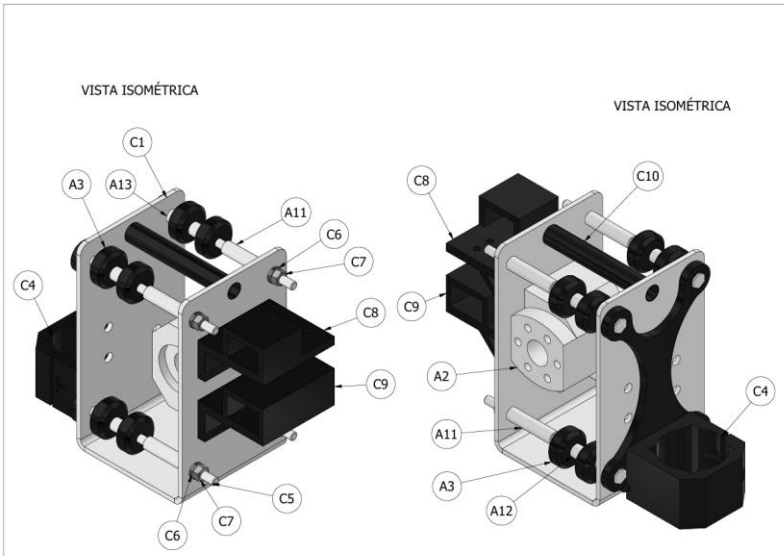
Lista de partes Carrito para chumacera, modulo "A"

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
I	1	Chumacera BK12	
Ñ	4	AS 1110 - M4 x 40	
A1	1	Placa para sistema de deslizamiento de chumacera BK12	
A2	1	Husillo de bolas SFU 1605	
A3	8	Ruedas para ranura en "V"	
A5	4	Perno M5x100	
A6	8	Arandela para Perno M5	
A7	4	Tuerca para Perno M5	
A10	4	Arandela para Perno M4	
A11	4	Buje Espaciador Derecha	
A12	4	Buje Espaciador Medio	
A13	4	Buje Espaciador Izquierda	
A14	4	Tuerca para Perno M4	

DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Carrito para chumacera	1:2	A

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio, Madera, Acero, PETG y POM	General
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

Figura 8. Plano sistema de deslizamiento para chumacera.



Lista de partes Carrito para Laser, modulo "C"

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
A2	1	Husillo de bolas SFU 1605	
A3	8	Ruedas para ranura en "V"	
C1	1	Placa para sistema de deslizamiento para láser	
C4	1	Unión y soporte para láser	
C5	4	Perno M5x100	
C6	8	Arandela para Perno M5	
C7	4	Tuerca para Perno M5	
C8	1	Soporte para Cadena Superior	
C9	1	Soporte para Cadena Inferior	
A11	4	Buje Espaciador Izquierda	
A12	4	Buje Espaciador Medio	
A13	4	Buje Espaciador Derecha	
C10	1	Pasa Cables	

DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Sistema de deslizamiento transversal para laser	1:2	C

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio, Madera, Acero, PETG y POM	General
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

Figura 9. Plano sistema de deslizamiento para láser.

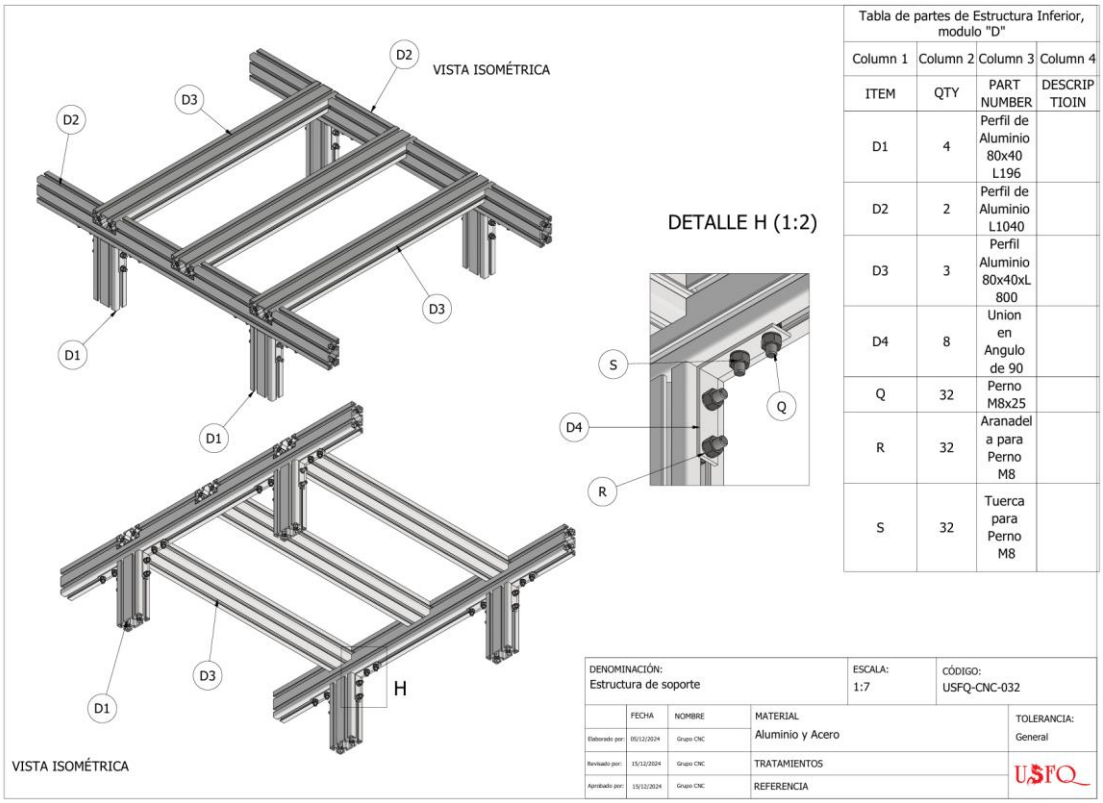


Figura 10. Plano de la estructura de los perfiles de aluminio

La estructura de la máquina está formada por perfiles de aluminio 80x40 mm, seleccionados por su rigidez y ligereza. Las ranuras en el perfil y las uniones estructurales complementan este sistema, asegurando una alineación precisa y una construcción sólida de la máquina.

Ensamblaje

El proceso de ensamblaje de los subcomponentes se lleva a cabo según las especificaciones indicadas en la hoja de procesos. A continuación, se presentan los planos correspondientes a los ensamblajes de los subcomponentes, que incluyen los sistemas de deslizamiento que soportarán tanto las chumaceras como los motores, así como el sistema de deslizamiento encargado de sostener el láser, el cual se apoyará en el perfil superior. Finalmente, se proporciona un plano que muestra el ensamblaje

completo. La elaboración de estos planos tiene como propósito optimizar la comprensión de la geometría de la máquina.

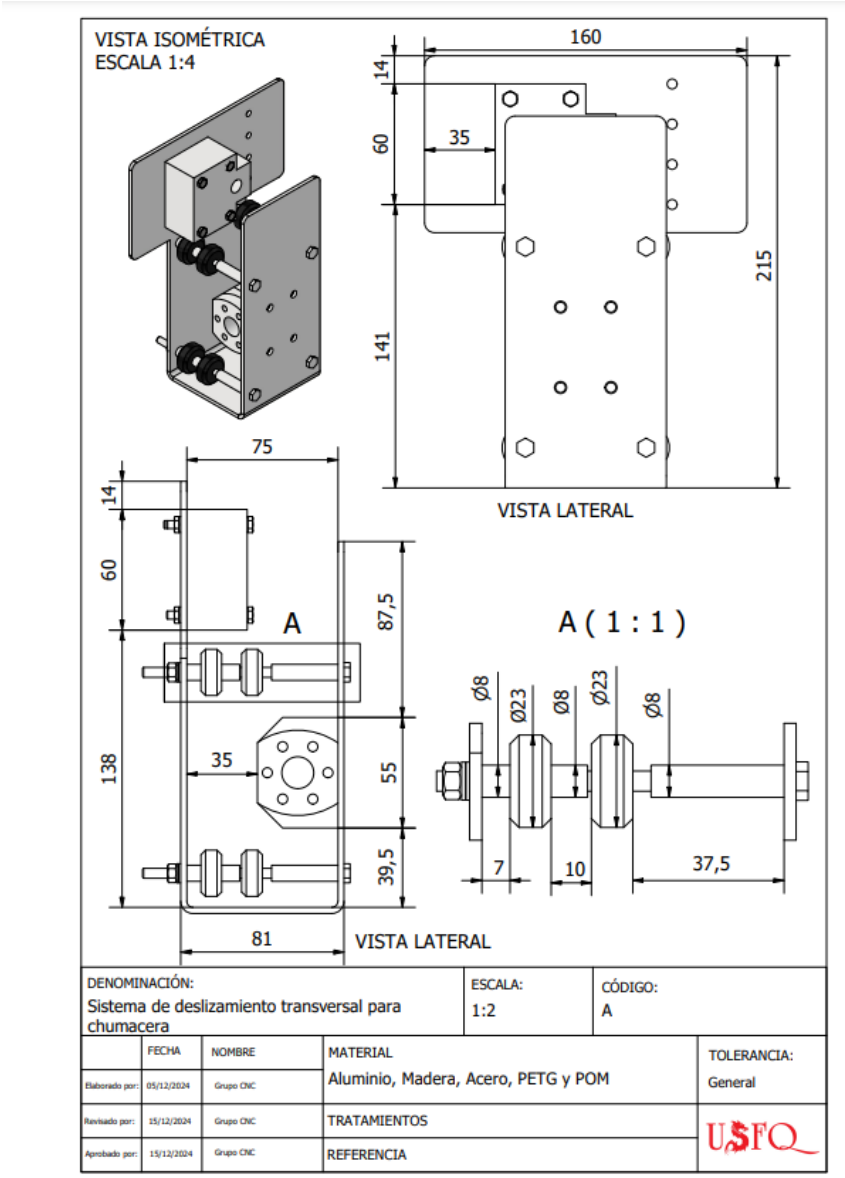


Figura 11. Ensamblaje sistema de deslizamiento para chumacera.

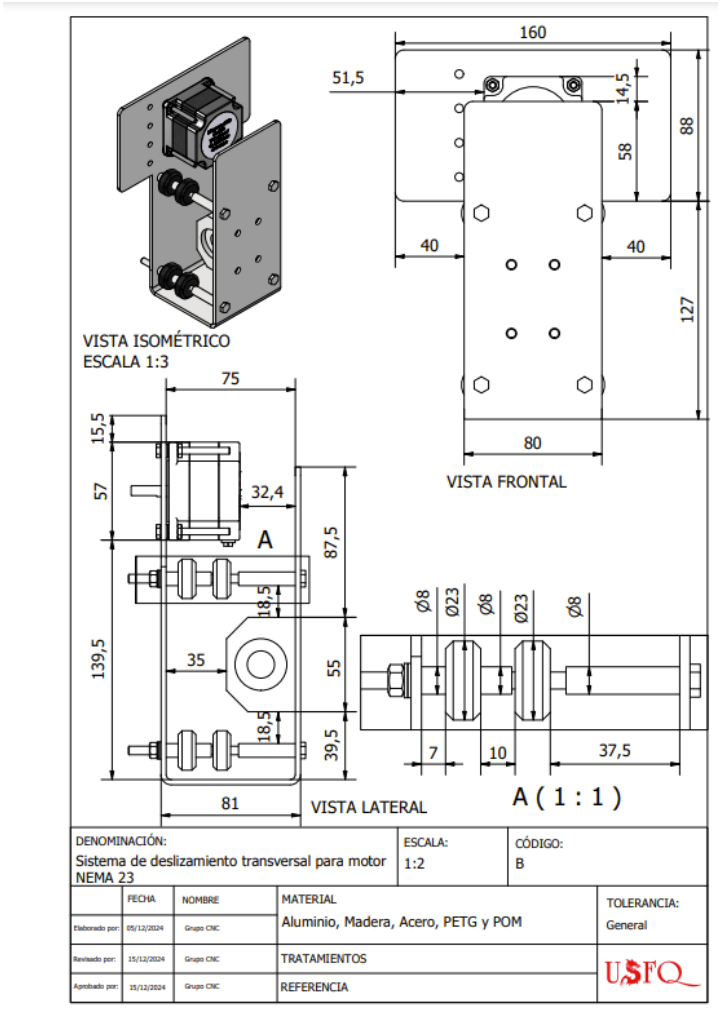


Figura 12. Ensamblaje sistema de deslizamiento para motor a paso.

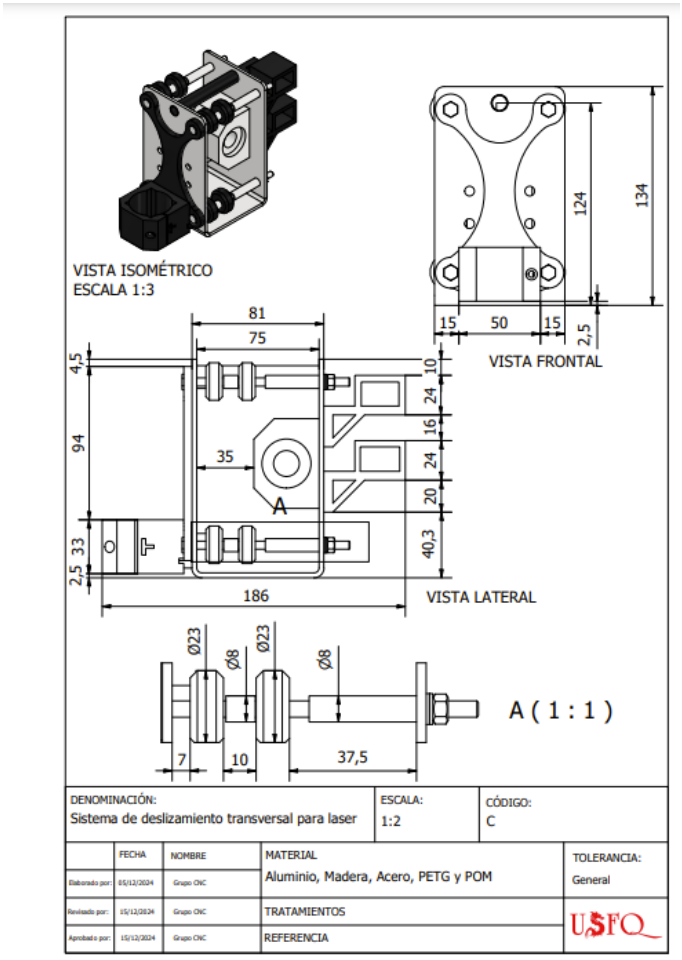


Figura 13. Ensamble de sistema de deslizamiento para láser.

Funcionamiento del pantógrafo

El funcionamiento de la máquina parte desde una fuente de poder, la cual es alimentada a 110 V AC y transmite 12 V DC y 24 A. La fuente es capaz de alimentar a todos los componentes eléctricos como, Drivers TB6600 (3 unidades), Arduino UNO, Motores NEMA23 (3 unidades) y el láser (1 unidad de 5.5W). Una vez que el sistema se encuentra energizado correctamente, se requiere una conexión por medio de un cable USB para lograr una comunicación entre el computador y el Arduino. Es necesario establecer este vínculo debido a que en el software LaserGRBL, se puede traducir imágenes y archivos tipo dwg a código G. Gracias al PWM (pulse-width modulation) se

puede enviar el código G al Arduino UNO en señales que son capaces de controlar el movimiento de los motores y, al mismo tiempo, el encendido y apagado del módulo láser.

El motor NEMA23 tiene un ángulo de paso de 1.8 deg, es decir, tiene 200 pasos por revolución. Y el tornillo SFU 1605, tiene un avance de 5 mm por cada revolución. El driver TB6600 permite controlar los pasos del motor. Se ha configurado para ¼ de pasos, es decir, ahora el motor necesita dar 800 pasos para cumplir una revolución. De esta manera, se logra cumplir con una alta precisión al momento de grabado y corte láser. Cuando el motor NEMA23 está activo, el movimiento rotacional se transmite al tornillo sin fin SFU1605 mediante un acople de aluminio. Después, el tornillo sin fin es capaz de mover el sistema de deslizamiento mediante un husillo de bolas SFU1605 el cual está fijo al sistema de deslizamiento. Finalmente, la chumacera BK12 es un componente que permite que el tornillo sin fin gire libremente y de manera estable.

Hoja de ruta del diseño

La hoja de ruta de diseño del pantógrafo láser sirve como una guía detallada que establece los pasos clave para llevar el proyecto desde la fase conceptual hasta la fase final de construcción y pruebas. En la siguiente figura se puede observar la hoja de ruta de diseño para la máquina de corte y grabado láser CNC.

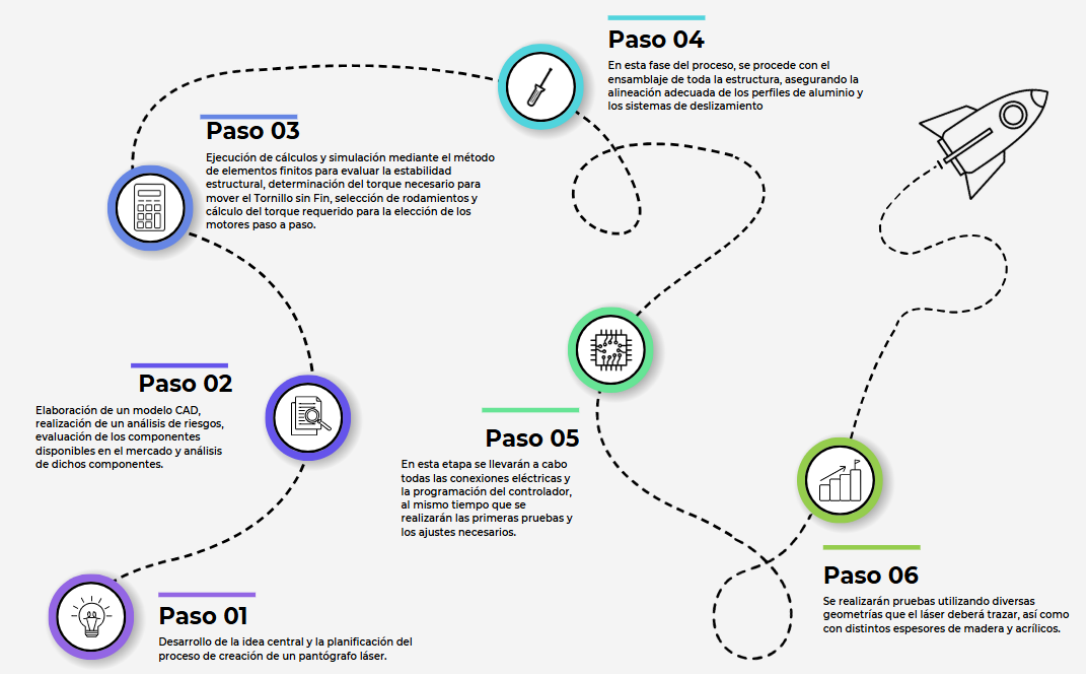


Figura 14. Hoja de ruta de diseño

Problemas de diseño

Al diseñar un pantógrafo láser CNC, pueden surgir varios problemas de diseño que afectan tanto su funcionalidad como su eficiencia. Uno de los principales problemas es lograr una alta precisión en los movimientos del cabezal láser. El sistema de movimiento, que incluye tornillos sin fin SFU1605 y motores paso a paso, debe ser lo suficientemente estable para evitar vibraciones o desviaciones que puedan comprometer la calidad de los cortes o grabados. Si el diseño no considera una estructura rígida y un alineamiento adecuado de los componentes, se pueden generar errores en los cortes, lo que afectará la precisión y la repetitividad.

Otro problema común en el diseño de pantógrafos láser es lograr una alineación precisa del láser respecto a la superficie de trabajo. El ajuste incorrecto del láser, tanto en posición como en enfoque, puede generar problemas como cortes imprecisos o

incompletos, especialmente al trabajar con diferentes materiales y grosores. Un diseño inadecuado del mecanismo de ajuste o una tolerancia demasiado amplia en la colocación del láser puede dificultar la calibración y el mantenimiento del equipo. Finalmente, otro problema frecuente es el diseño de un sistema de ventilación o disipación de calor inadecuado, lo que podría llevar a sobrecalentamiento del láser o de otros componentes electrónicos. Esto puede afectar la longevidad del equipo, reducir la eficiencia del láser o incluso provocar fallas en los componentes, haciendo necesario incorporar ventiladores, disipadores o un sistema de enfriamiento eficiente.

Oportunidades de mejora

Como propuesta de mejora a largo plazo, se sugiere incorporar un láser de CO_2 con su debido sistema de espejos, extracción de humos y carcaza protectora. Con el fin de aplicar la capacidad de corte del pantógrafo láser, debido a que la potencia que puede llegar a generar un láser de CO_2 es mucho mayor a la de un láser de diodo, se ampliaría la gama de materiales para los que se puede realizar un corte o grabado.

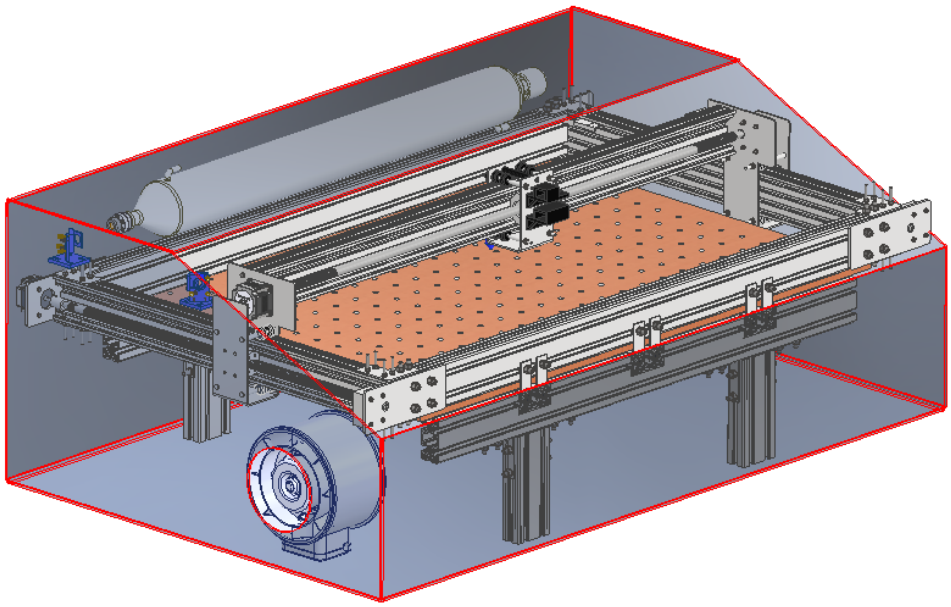


Figura 15. Pantógrafo implementado láser CO_2

ANÁLISIS INGENIERIL

CÁLCULO DE DEFORMACIONES

Se analizará el caso más crítico para obtener la deformación máxima del sistema. Se realizará el cálculo de los perfiles de aluminio tipo "C". El primer perfil tiene una longitud de $L = 1200\,mm$, y soporta cargas señaladas en el siguiente diagrama de cuerpo libre.

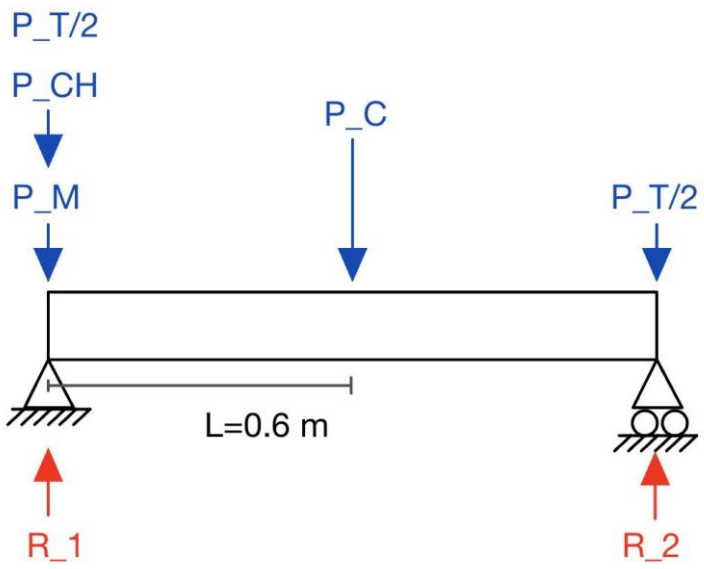


Figura 16. Diagrama de cuerpo libre perfil L1200 mm

Donde P_{CH} es el peso de la chumacera, P_T es el peso del tornillo sin fin, P_M es el peso del motor, P_C es el peso del sistema de deslizamiento y R_1 R_2 son las reacciones de estas cargas. Para encontrar las reacciones se resuelve de la siguiente manera:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 - (P_M + P_T + P_C + P_{CH})(g) = 0$$

$$\sum M_0 = 0$$

$$R_2(L) - (P_C)(g)(L/2) - (P_T/2)(g)(L) = 0$$

Reemplazando con los siguientes valores:

Tabla 20. Cargas para el perfil L1200 mm.

P_M	1	kgf
P_C	2	kgf
P_T	1.95	kgf
P_{CH}	0.4	kgf

Se obtiene los siguientes resultados:

$$R_1 = 33.11\ N$$

$$R_2 = 19.37\ N$$

Para obtener la deformación máxima, la siguiente ecuación es aplicada:

$$y = -\frac{FL^3}{48EI}$$

Donde E es el módulo de elasticidad del material, I es la inercia del perfil. Reemplazando con $E = 71.7\ GPa$, $I = 12.09 \times 10^{-8}\ m^4$. De tal manera que la fuerza aplicada es 19.62 N y la deformación máxima es:

$$y = 8.148 \times 10^{-5}\ m.$$

Adicionalmente, se realizó una simulación en ANSYS Workbench, y se obtuvo el siguiente resultado:

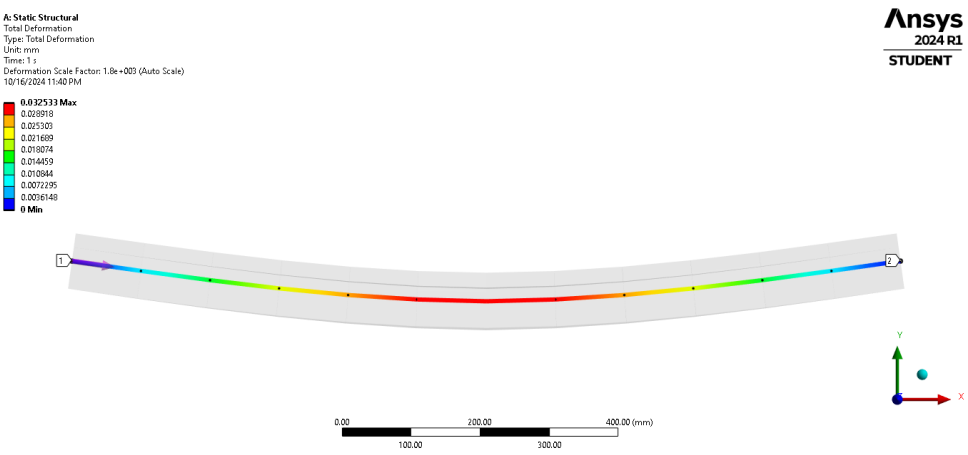


Figura 17. Simulación de Deflexión ANSYS.

De la misma manera, se analiza los dos perfiles inferiores al ser iguales, las cargas se distribuyen equitativamente y se calcula la deformación de un solo perfil porque se asume simetría. Las cargas se describen en el siguiente diagrama de cuerpo libre.

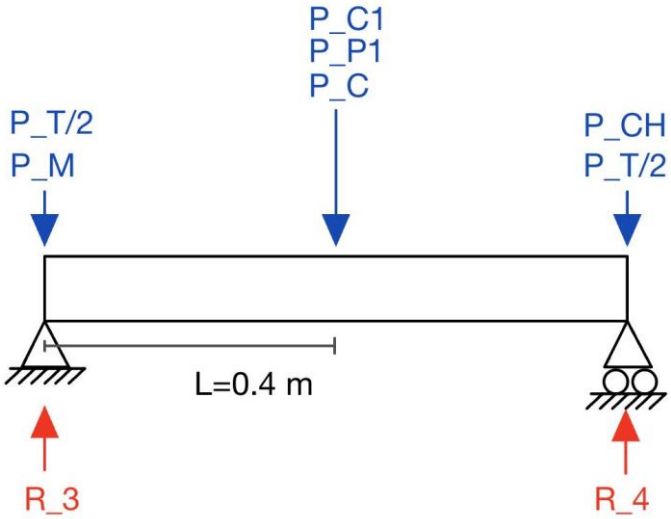


Figura 18. Diagrama de cuerpo libre perfil L800 mm.

Para hallar las reacciones y la deformación máxima se resuelve de la siguiente manera:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_3 + R_4 - (P_M + P_T + P_C + P_{CH} + P_{C1} + P_{P1})(g) = 0$$

$$\sum M_0 = 0$$

$$R_4(L) - (P_{CH})(g)(L) - (P_T/2)(g)(L) - (P_{C1})(g)(L/2) - (P_{P1})(g)(L/2)$$

$$- (P_C)(g)(L/2) = 0$$

Donde P_{P1} es el peso del perfil 1 y P_{C1} es el peso del sistema de deslizamiento del perfil 1. Resolviendo con los siguientes valores.

Tabla 21. Cargas para el perfil L800.

P_M	1	kgf
P_C	2	kgf
P_T	1.95	kgf
P_{CH}	0.4	kgf
P_{C1}	2	kgf
P_{P1}	2.6	kgf

Se obtiene los siguientes resultados:

$$R_3 = 51.75\ N$$

$$R_4 = 45.86\ N$$

Para obtener la deformación máxima, la siguiente ecuación es aplicada:

$$y = -\frac{FL^3}{48EI}$$

Donde E es el módulo de elasticidad del material, I es la inercia del perfil. Reemplazando con *E =71.7 GPa, I =12.09x10^{-8}* m^{4}y *L =800 mm*. La deformación máxima es:

$$y = 7.968 \times 10^{-5}\ m.$$

Después de realizar el cálculo de deformaciones de los perfiles sometidos a cargas, se hallaron las deformaciones máximas. Las deformaciones están en el orden de

una centésima de milímetro, lo cual no es crítico para el diseño del sistema. Finalmente se realizó la simulación en ANSYS Workbench, con una fuerza de 15.4 N correspondiente al peso aplicado y se obtuvo lo siguiente.

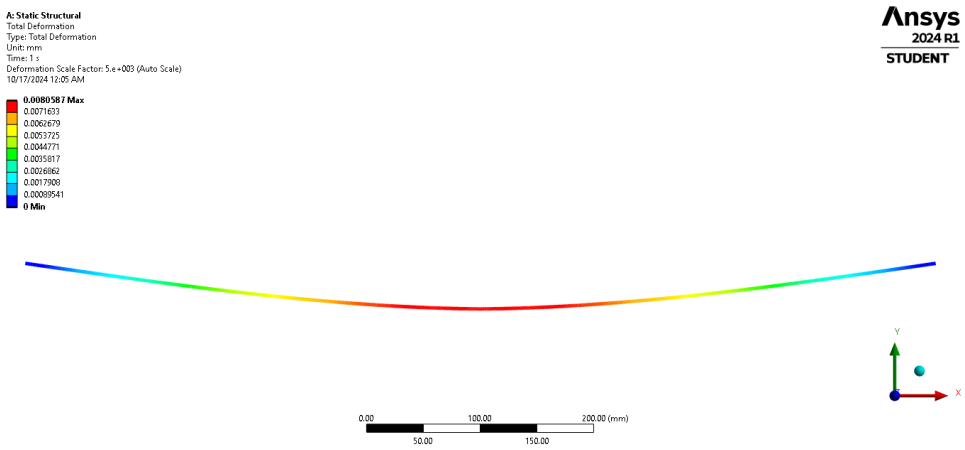


Figura 19. Simulación Estática ANSYS.

Después de realizar los cálculos y las simulaciones correspondientes se logró asegurar la estabilidad de la máquina. Este especto es importante ya que minimiza errores causados por la deformación estructural. Las deformaciones son mínimas y no presentan una amenaza al comportamiento del sistema.

Cálculos de rodamientos

A partir del cálculo estático, se define la fuerza relacionada al peso de los componentes. Sin embargo, para realizar una buena selección de rodamientos, se aplica un factor de seguridad de 1.2. A continuación se especifica la fuerza resultante.

$$R_y = 1.2 \times 19.6 = 23.52\ N$$

$$R_z = 0\ N$$

$$F_D = \sqrt{R_Y + R_Z} = 23.52\ N \approx 5.29\ lbf$$

Debido a que el tornillo sin fin únicamente está sometido a una carga axial, la fuerza resultante es la misma. A continuación, se muestra la ecuación que con la que se selecciona rodamientos (Budynas et al.)

$$C_{10} = a_f \cdot F_D \left[\frac{X_D}{X_0 + (\theta - X_0)(1 - R_D)^{\frac{1}{b}}} \right]^{1/a}$$

Donde, a_f es el factor de carga aplicada, se seleccionó 1.5 por maquinaria con impacto ligero, según la tabla 11-5 (Budynas et al.). L_R es la vida nominal según el proveedor $1(10^6)$, además, X_0, θ, b son factores de Weibull (tabla 11-6) y a (3) para rodamientos de bola.

Finalmente, X_D es el múltiplo de la vida nominal. Se obtiene de la siguiente ecuación.

$$X_D = \frac{L_D}{L_R}$$

Donde L_D es la vida requerida obtenida de la siguiente manera.

$$L_D = 60 \cdot \mathcal{L}_D \cdot n$$

$\mathcal{L}_D$ es la vida útil (tabla 11-4) para máquinas con 8 horas de servicio que no son utilizadas a su potencial máximo (14 kh). Y n son las revoluciones por minuto (1350 rpm).

$$L_D = 1.134\ x\ 10^9\ ciclos.$$

$$X_D = \frac{1.134\ x10^9}{1x10^6} = 1134$$

Reemplazando:

$$C_{10} = 1.5 \cdot 5.29 \left[\frac{1134}{0.02 + (4.459 - 0.02)(1 - 0.99)^{\frac{1}{1.438}}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{10} = 141.19\ lbf \approx 628.04\ N \approx 0.63\ kN$$

Después, se selecciona el rodamiento adecuado en la tabla 11-1 (Budynas et al.) y se obtiene un diámetro de 10 mm. A continuación, se realiza el mismo cálculo para los rodamientos de los tornillos inferiores que soportan una carga de 60.72 N, sin embargo, se aplica un factor de seguridad de 1.2 para asegurar el diseño.

$$F_D = 1.2 \cdot 60.72\ N = 72.86\ N \approx 16.38\ lbf$$

$$C_{10} = 1622.78\ lbf \approx 1622.78\ N \approx 1.62\ kN$$

Después, se selecciona el rodamiento adecuado en la tabla 11-1 (Budynas et al.) y se obtiene un diámetro de 10 mm.

CÁLCULO DEL TORQUE

El proceso para calcular el par motor requerido en un sistema de tornillo de bolas implica varios factores, incluyendo el par necesario para mover la carga, el par de precarga y las fuerzas de fricción en los rodamientos y sellos de soporte. A continuación, se describe el procedimiento en detalle:

El par para mover la carga está influenciado principalmente por la fuerza axial sobre el tornillo y el paso del tornillo. Adicionalmente, este par nos indica el requerimiento de torque del sistema para mover la carga a velocidad constante. Puede calcularse usando la siguiente fórmula:

$$T_c = \frac{F_a x P}{2\pi\eta}$$

Donde “Fa” es la fuerza axial total, “P” es el paso del tornillo y “η” es la eficiencia del tornillo de bolas.

La fuerza axial incluye tanto la fuerza del proceso como la fuerza necesaria para superar la resistencia por fricción de la guía lineal que soporta la carga. Esta fuerza de fricción se calcula como:

$$Fa = F + mg\mu$$

Donde "m" es la masa de la carga que se mueve, "g" la aceleración debido a la gravedad y "μ" el coeficiente de fricción de la guía lineal.

Con estas fórmulas y los datos obtenidos se tiene que la fuerza axial y el torque son los siguientes al analizar los perfiles transversales:

$$F_a = F + mg\mu = 19.62N + 2kg\left(9.81\frac{m}{s^2}\right)(0.003) = 60.38N$$

$$T_c = \frac{F_a x P}{2\pi\eta} = \frac{19.68N x 0.005m}{2\pi(0.9)} = 0.0534Nm$$

El par total requerido durante la aceleración incluye la inercia del sistema y la aceleración angular del motor y la carga. Se calcula como:

$$T_{req} = T_c + T_{acc}$$

Donde "Tc" es el par para mover la carga de manera constante y "Tacc" es el par debido a la aceleración.

El torque debido a la aceleración se calcula con la siguiente fórmula:

$$T_{acc} = Jx\omega'$$

Donde "ω'" es la aceleración angular del sistema y "J" es la inercia total del sistema, que incluye la inercia del motor, del eje del tornillo y de la carga. La inercia del sistema incluye:

$$J = J_m + J_s + J_L = 1.0074x10^{-4}kgm^2 = 0.014269\ in\ oz\ s^2$$

Para calcular la aceleración angular del sistema se hace referencia a las tablas del torque de arranque del motor. Por este motivo, este análisis dinámico se realiza y concluye con la selección del motor.

CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOR

La selección del motor paso a paso considera variables clave que afectan el rendimiento en tiempo real del sistema. Las más importantes son:

- Velocidad de avance del láser en mm/min.
- Tiempo de desplazamiento deseado.
- Configuración de microsteps del diver para el motor paso a paso (determinan.la suavidad y precisión del movimiento).

Se establecen algunas suposiciones para el análisis que provienen de Sainsmart, (2024) el fabricante del láser:

- Velocidad máxima recomendada: 10000 mm/min
- Caso más crítico: Grabado en Plywood – 50% de la velocidad máxima recomendada.
- Caso menos crítico: Corte de acrílico – 8% de la velocidad máxima recomendada.
- Propiedades del tornillo sin fin SFU1605:
    - Diámetro exterior: 16 mm.
    - Paso: 5 mm.
    - Lead (Avance): 5 mm/rev.
- Propiedades del controlador:
    - Frecuencia de 16 MHz.
    - Caso crítico del driver TB6600: 32 microsteps.

Estas variables serán la base para calcular el comportamiento del motor y la capacidad de nuestro controlador. Se configuró el TB6600 para usar una definición mayor de 1/32 de step con cada señal. Esto implica que cada pulso que genere el driver,

el motor realizará un giro de 0.056°, siendo 6400 la cantidad de pulsos necesarios para da una revolución completa.

Utilizando un controlador como el Arduino UNO, se debe asegurar que pueda generar la cantidad de señales necesarias para ejecutar el movimiento. Para ello se calcula el número de pasos por segundo necesarios en función de la velocidad de avance y los microsteps definidos. Para esto, se va a probar una configuración recomendada.

Se supone que se quiere mover 100 mm en 1.5 segundos. ¿Cuántos pulsos se deben generar? ¿El controlador es capaz?

$$\frac{L \cdot \frac{steps}{rev}}{Pitch} = RPM$$

$$\frac{100\ mm \cdot 6400\ \frac{steps}{rev}}{5\frac{mm}{rev}} = 128000\ steps$$

Se verifica que el Arduino pueda emitir esta cantidad de señales en el intervalo de tiempo. Esto es importante ya que el Arduino tiene una frecuencia límite de 16 MHz, si es que se sobrepasa esta frecuencia, el motor puede empezar a saltarse pasos. Para esto se realiza una simple división, que permite comparar con la frecuencia del controlador.

$$\frac{steps}{t} \leq Frecuencia\ Arduino$$

$$\frac{128000\ steps}{1.5\ s} = 85333\frac{steps}{s}$$

Comparando con la frecuencia del Arduino, que en este caso es, $16x10^6$ de steps por segundo, se observa que, para este caso en específico el controlador si va a ser capaz de generar los pulsos que se requieren.

Dependiendo del avance por revolución del tornillo sin fin que se está utilizando, se calcula la velocidad de rotación necesaria para cumplir con la velocidad de desplazamiento. En este caso, si el tornillo sin fin SFU 1605 avanza 5 mm por revolución, se calculan las RPM necesarias del motor para realizar el movimiento en el tiempo requerido. Luego, se aplica la siguiente correlación, donde L es la distancia que se quiere recorrer, pitch es el avance del tornillo sin fin con cada revolución y t es el tiempo establecido al inicio del caso. A toda esta expresión se la multiplica por un factor de conversión para tener el resultado en RPM.

$$\frac{L}{Pitch \cdot t} = RPM$$

$$\frac{100\ mm}{5\ \frac{mm}{rev} \cdot 1.5\ s} \cdot 60\ \frac{s}{min} = 800\ RPM$$

Con las RPM obtenidas, se caracteriza la curva de operación del motor. La curva ideal del motor debe ser casi rectangular, pero en la práctica, tiene una forma trapezoidal debido al tiempo de aceleración.

- Se calcula el **área bajo la curva**, que representa la velocidad del motor en un ciclo de movimiento.

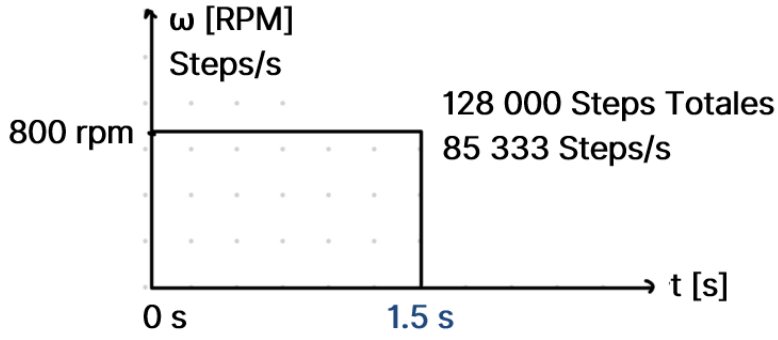


Figura 20. Perfil rectangular de velocidad (ideal).

- Utilizar el **método de la curva trapezoidal** para calcular las RPM efectivas considerando el tiempo de aceleración y deceleración.

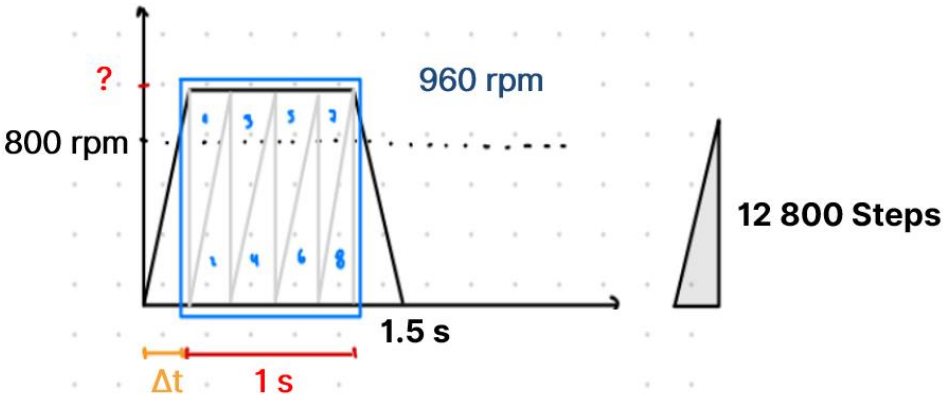


Figura 21. Ejemplo visual del perfil trapezoidal de velocidad.

Con el tiempo de aceleración (en este caso, 0.25 s) y las revoluciones necesarias por segundo, se calcula el torque necesario para mover el sistema. Se toman en cuenta factores como la inercia del tornillo sin fin y cualquier carga adicional (como los sistemas de deslizamiento) que afecten el movimiento. Se transformaron las unidades de inercia a sistema inglés para facilitar la realización del cálculo. Todas las variables hacen referencia a cálculos que se realizaron previamente durante en análisis de inercias de las geometrías.

$$T_{acc} = Jx\omega'$$

$$T_{acc} = J \cdot \frac{\Delta \frac{rev}{s}}{\Delta t}$$

$$J = 1.0074e^{-4}\ kg\ m^2 = 0.014269\ in\ oz\ s^2$$

$$T_{acc} = 0.014269\ in\ oz\ s^2 \cdot \frac{15.375 \frac{rev}{s}}{0.25s} \cdot \frac{2\pi\ rad}{rev}$$

$$T_{acc} = 5.51\ oz\ in = 0.0389\ N\ m$$

$$T_{req} = Tc + Tacc$$

$$T_{req} = 0.054\ N\ m + 0.0389\ N\ m$$

Finalmente, con el torque calculado, se consultó la curva de torque de arranque del motor (holding torque curve) y se compara la carga operativa del sistema con el límite de torque del motor. Esto permite verificar si el motor operará dentro de condiciones ideales.

Si el torque resultante está dentro del rango permitido y el controlador puede soportar la frecuencia de pulsos requerida, el motor seleccionado es adecuado para su aplicación. De no ser así, se debe ajustar el tipo de motor o las condiciones de operación.

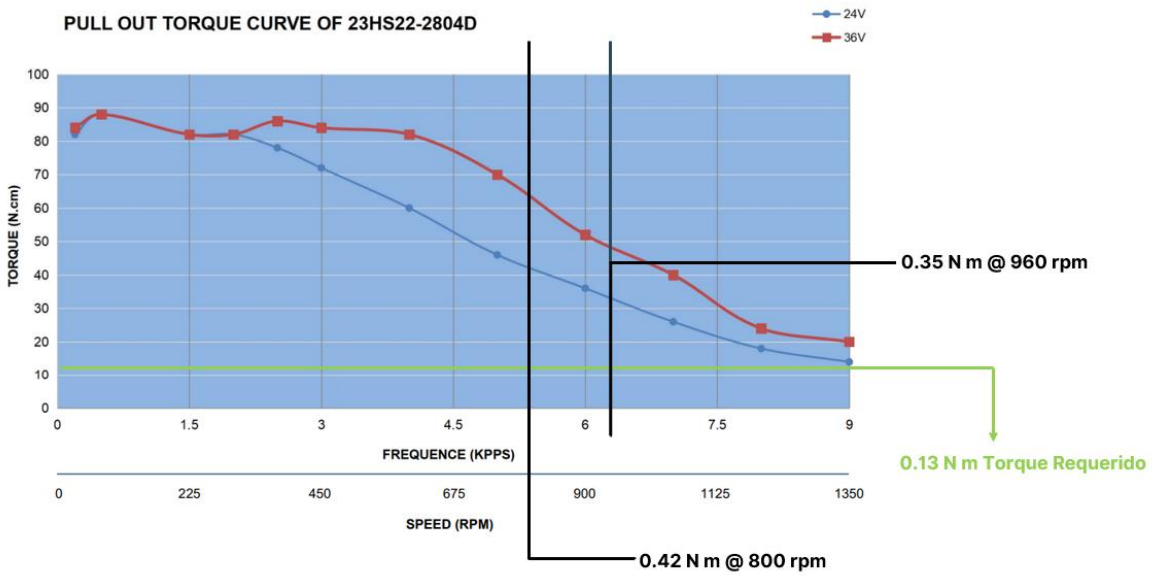


Figura 22. Torque generado a RPM ideal (800 RPM) y de operación (922.5 RPM).

Como se observa, se obtuvo un margen de operación relativamente amplio en la configuración que se analizó, brindando seguridad, confianza y un indicio de que el sistema va a funcionar.

Para facilitar el cálculo de este sistema, y, diferentes configuraciones que se aplicarán en las tareas de corte y grabado, se automatizó el cálculo realizando un

documento de Excel que, simplemente modificando las condiciones iniciales del sistema, permite ubicar las rectas en la curva del motor y, de esa forma, determinar el estado en el que el motor está operando.

CÁLCULOS DE TORNILLO SIN FIN

En cuanto al tornillo sin fin, se realizó un cálculo de esfuerzo cortante debido a que está expuesto a torsión. De esta manera se puede estimar el esfuerzo al que el tornillo está sometido y considerar si este puede fallar o necesita ser redimensionado. A continuación, se describen las ecuaciones aplicadas.

$$\tau_{max} = \frac{T \cdot c}{J}$$

Donde, τ_{max} es el esfuerzo cortante máximo, *T* es el torque aplicado, se considera el torque máximo del motor, *c* es el radio de giro y, por último, *J* es el momento polar de inercia.

$$J = \frac{\pi}{2} c^4$$

Dado que el torque máximo es de 0.88 Nm, radio de giro de 8 mm y J de 6,434x10^{-9} m^4. Entonces:

$$\tau_{max} = \frac{0.9\ Nm \cdot 8x10^{-3}m}{6.434x10^{-9}m^4} = 1.12\ MPa$$

Se conoce que el material del tornillo sin fin es acero al carbón 0.25%, y su esfuerzo cortante máximo es de 250 MPa. Al comparar con los resultados obtenidos se puede concluir que el tornillo está a salvo de esfuerzos cortantes que puedan ser perjudiciales en el sistema.

La selección de los perfiles para la estructura de la cortadora láser CNC ha sido fundamentada en cálculos precisos, que demuestran que la deflexión de estos es mínima y no comprometerá el rendimiento de la máquina. Esto garantiza la estabilidad y precisión necesarias para el correcto funcionamiento del equipo. En cuanto a los

rodamientos, su selección también se sustenta en los cálculos realizados, asegurando que soportarán las cargas previstas sin generar fallos. La elección de los motores NEMA 23 es igualmente acertada, ya que su torque máximo de 1.26 Nm es adecuado, considerando que el torque máximo calculado es de 1.22 Nm. Finalmente, la selección del tornillo ha sido validada mediante el cálculo del esfuerzo cortante, el cual indica que no se producirán daños en la estructura bajo las condiciones de operación estimadas.

CÁLCULOS ENERGÉTICOS Y ECONÓMICOS

Para realizar el cálculo energético, se debe tomar en cuenta la potencia eléctrica que consume cada componente. Los componentes que fueron considerados son motores NEMA23, Drivers TB6600, Arduino UNO y el láser. A continuación, se resume las potencias de cada componente.

Tabla 22. Consumo energético por componente.

Consumo energético		
Láser	5.5	W
Motores (3)	13	W
Arduino	1	W
Controladores (3)	180	W
TOTAL	199.5	W

Se obtuvo un total de 199.5 W, después, se estimó que la máquina trabajará por 3 horas al día, de esta manera se logró obtener un consumo de energía diario de 0.6 kWh. Adicionalmente, se complementó este cálculo con el lado económico de tal manera que se evaluó el precio de costo energético de $0.10 USD/kWh. También, se calculó el Capex y Opex, para el Capex se considera todos los componentes que fueron comprados y servicios de maquinado, en total $1027.97 USD, y para opex se toma en cuenta una tarifa de mantenimiento anual de $100 USD. Se desea recuperar la inversión dentro de

2 años con un interés de 7.85% propuesto por el Banco Central del Ecuador (2024). Se realizó el cálculo económico de tal manera que se anualizó el Capex y el consumo energético y se obtuvo que el precio final de operación es de $0.02 USD/min.

Tabla 23. Evaluación de costos

Capex	
Perfil de aluminio tipo "C" 80x40	$ 125.57
Perfil de aluminio 80x40	$ 140.35
Cadena de arrastre de plástico para CNC	$ 40.41
Driver TB6600	$ 27.80
Modulo Wi-fi	$ 9.62
Arduino Uno	$ 60.00
CNC Arduino Shield	$ 11.76
Rueda v-slot para CNC	$ 22.46
Motor NEMA23	$ 77.00
Driver DRV8825	$ 15.50
Adaptador de corriente CC 5V 2A	$ 10.69
Componentes eléctricos (capacitores, finales de carrera)	$ 7.60
Corte láser	$ 64.00
Pernos, cables y otros componentes eléctricos	$ 162.86
Disco de corte para aluminio	$ 18.25
Husillos SFU1605 y Chumaceras BK12	$ 178.90
Material de corte MDF	$ 14.47
Planos	$ 16.60
Acople motor	$ 12.00
Poster Feria	$ 12.13
	$ 1,027.97
Opex	
Mantenimiento	$ 100.00

Es importante detallar que este costo es dependiente de la potencia del láser y del tiempo de uso del equipo.

RESULTADOS

El proceso de fabricación de la máquina láser CNC incluyó varias etapas, desde el diseño y la construcción del pantógrafo hasta la integración del sistema de control y el láser. Las pruebas realizadas permitieron evaluar tanto la funcionalidad de los componentes fabricados como la precisión y estabilidad general de la máquina.

El pantógrafo fue fabricado con perfiles de aluminio, debido a sus propiedades de rigidez.

Durante la fase de pruebas de rigidez estructural, se verificó que el pantógrafo soportaba cargas sin deformaciones considerables, garantizando la estabilidad necesaria para el funcionamiento. La figura muestra el pantógrafo finalizado con los componentes montados.

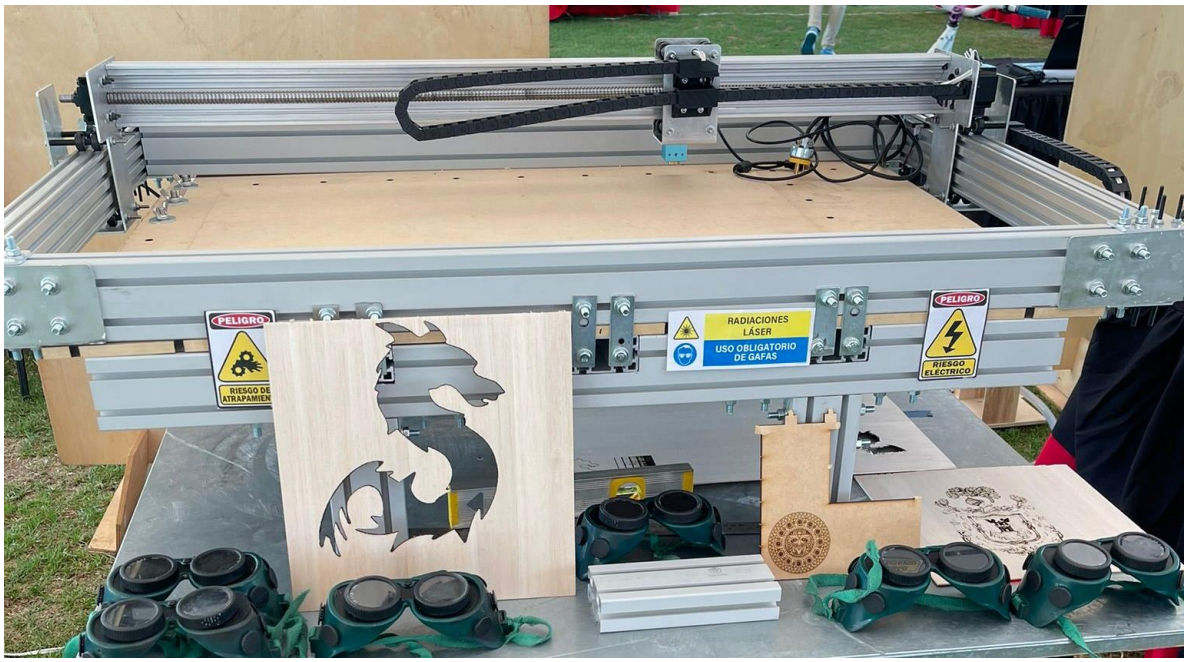


Figura 23. Prototipo del pantógrafo.

El sistema de movimiento fue diseñado para garantizar la precisión en los desplazamientos de los ejes X y Y. Se emplearon 3 motores paso a paso para controlar el movimiento en cada eje, junto con tornillos sin fin para reducir la fricción y aumentar la precisión. Durante la fase de montaje, se instalaron los ejes en chumaceras y placas de aluminio para asegurar que los desplazamientos fueran suaves y sin juego.El láser utilizado en la máquina es de 5.5 W, con un enfoque fijo de 0.1 mm, lo que elimina la necesidad de un sistema de enfoque ajustable. La integración del láser al sistema de movimiento se realizó utilizando un diseño original, robusto, e impreso en 3D que permite modificarlo en caso de requerirlo. El sistema de control se configuró para gestionar la activación del láser en sincronización con el movimiento de los ejes, utilizando un Arduino UNO mediante un Shield CNC 3.0 y el software *LaserGRBL*.

Figura *24*. Enfoque del láser usando el espaciador de 20mm

Las primeras pruebas de funcionamiento del láser demostraron que el sistema era capaz de realizar grabados precisos sobre MDF, aluminio y balsa. La rectitud y alineación de ejes de la máquina fue evaluada a través de pruebas de corte y grabado sobre MDF con diferentes patrones y tamaños de diseño. Los resultados mostraron que

la máquina realiza movimientos lineales que convergen a las medidas programadas acercándose a una desviación de ≈ 0.1 mm en los ejes X y Y.

Para garantizar que el pantógrafo realice desplazamientos completamente lineales, se implementó un protocolo de calibración siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ISO 230-1. Inicialmente, se trazó una línea recta con una regla alineada aproximadamente paralela al eje X, correspondiente a la dirección de movimiento del componente. Posteriormente, se realizó un grabado de una línea recta y se midieron las distancias horizontales entre la línea de referencia y la línea grabada. Idealmente, estas distancias deberían ser idénticas

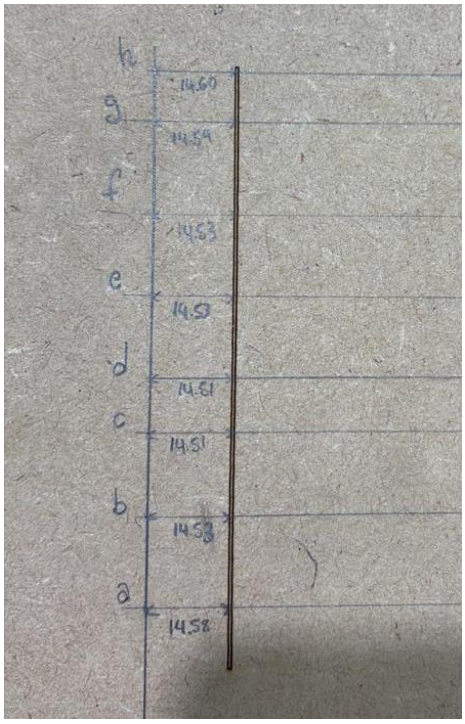


Figura *25*. Prueba de rectitud de los ejes.

Se calculó el promedio de las mediciones obtenidas, representando la distancia promedio entre la referencia y el grabado. A partir de este promedio, se determinaron las desviaciones individuales de cada medición, obteniendo así los errores de rectitud para el eje X y para el eje Y. Luego, se repitió el procedimiento para el eje Y, trazando una línea recta, grabándola y realizando las mismas mediciones y cálculos.

Con estos datos y aplicando las fórmulas indicadas en la norma, se obtuvo la desviación de rectitud de la superficie de referencia con respecto a una posición de medida, y la desviación de rectitud del eje de movimiento respecto a una posición de medida. Mediante ajustes iterativos en el software LASERGRBL, se observa en la figura 26 que los valores convergieron progresivamente hacia los valores programados, indicando una corrección efectiva del error de rectitud.

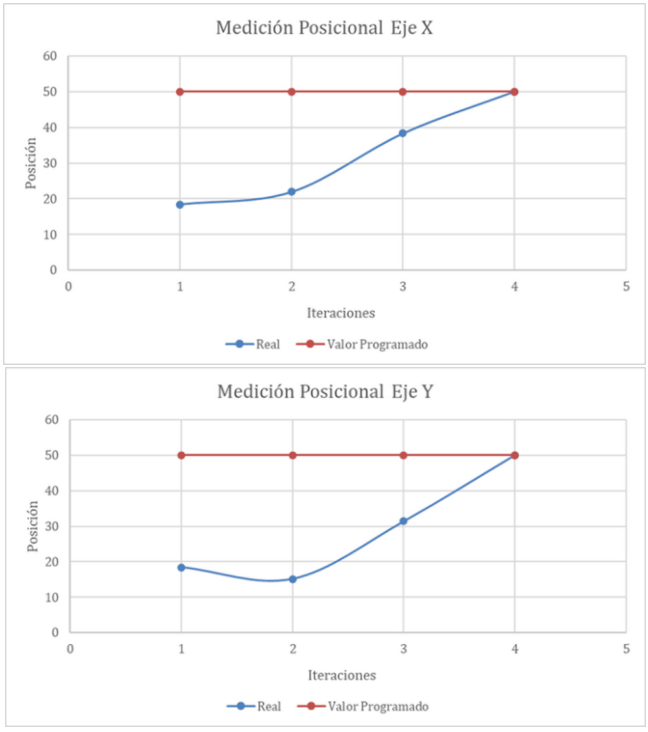


Figura *26*. Convergencia de rectitud de los ejes.

Para evaluar la precisión en la generación de trayectorias circulares, se programó un círculo con un radio determinado. Una vez grabado por la máquina, se trazaron manualmente dos círculos de referencia utilizando un compás. El círculo de radio menor representó la desviación circular mínima, mientras que el de radio mayor reflejó la desviación circular máxima.

En cada iteración, se midió la desviación circular y a través de ajustes sucesivos en el software LASERGRBL, se logró que los radios en los ejes X e Y convergieran al valor programado, lo que indica una mejora en la precisión de las trayectorias circulares generadas por la máquina.

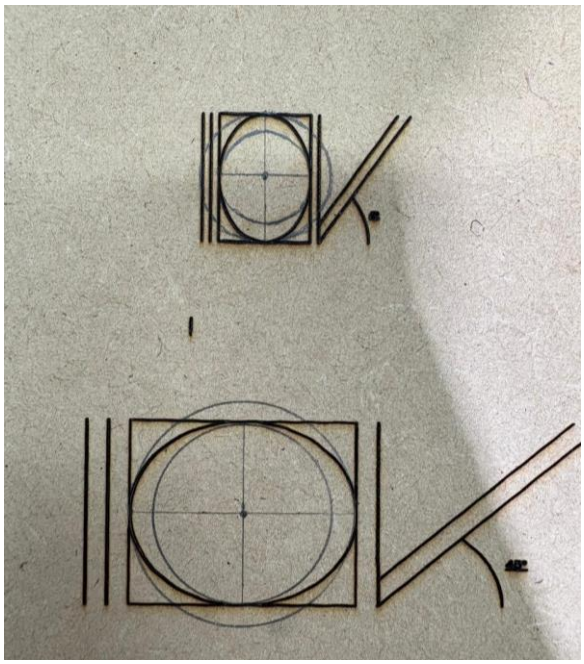


Figura *27*. Muestras de la prueba de circularidad.

La figura presenta los resultados de la prueba de precisión con cortes de geometría simple (líneas rectas y círculos) y los valores medidos de las dimensiones obtenidas.

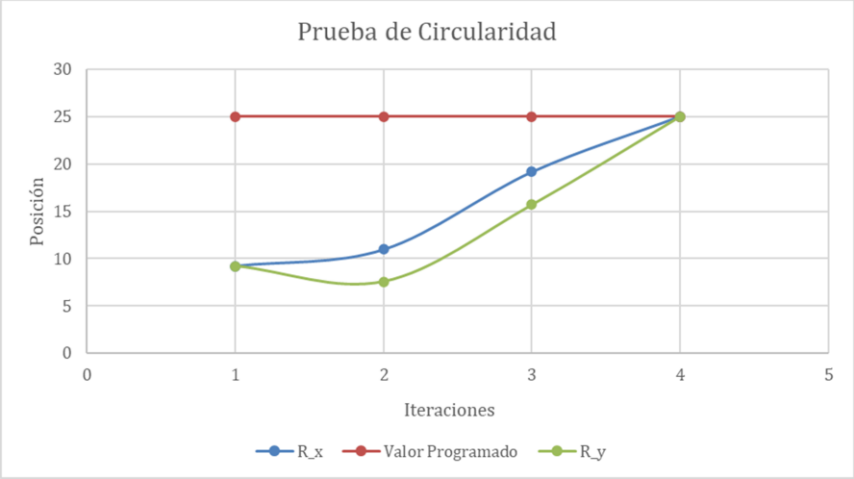


Figura *28*. Convergencia de circularidad de los ejes.

Para obtener el rendimiento del pantógrafo láser, se realizaron tres iteraciones del mismo grabado de los que se tomaron cinco medidas para minimizar el error sistemático. El grabado realizado consta de círculos concéntricos con diámetros de 50, 100, 200, 300,400 milímetros y se muestra en la figura a continuación.

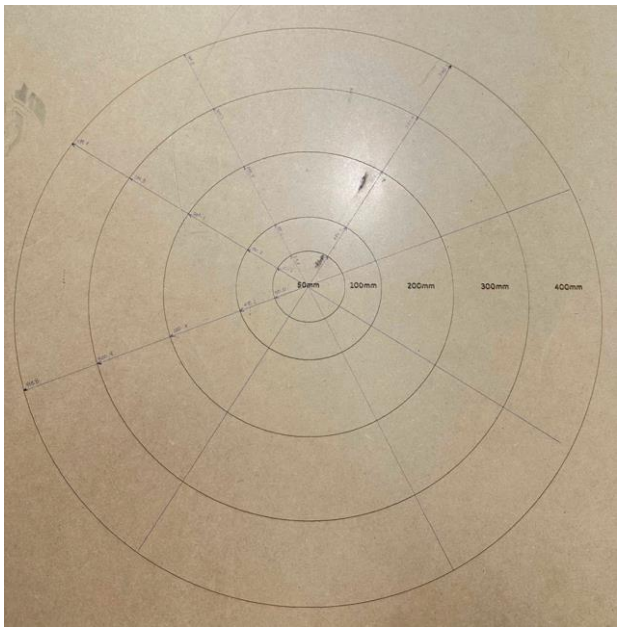


Figura *29*. Grabado para verificar el rendimiento.

Tras realizar tres veces el mismo grabado, se midieron los diámetros utilizando un calibrador, se procesaron los datos obtenidos y se obtuvieron los errores porcentuales de las dimensiones programadas.

Diametro Programado	Error Porcentual
50	0.55
100	0.875
200	0.5375
300	0.433
400	0.1563

Figura *30*. Errores porcentuales de rendimiento.

A partir de los errores correspondiente a cada diámetro, se obtuvo el error porcentual promedio de 0.51%, el cual indica que el pantógrafo construido es bastante preciso y el error en el grabado es mínimo.

La máquina fabricada fue comparada con una máquina industrial de características similares en términos de área de corte, velocidad de operación y costos. Los resultados indicaron que la máquina fabricada ofrece una relación costo-beneficio favorable, ya que los costos de producción fueron 1/6 en comparación a los de las máquinas comerciales, sin sacrificar la calidad con la que se ejecuta la tarea.

Tras haber concluido el proyecto, se concluye que la máquina CNC con láser de 5.5 W cumple con los cinco criterios de ingeniería establecidos. El área de corte alcanzada de 1000 x 500 mm asegura una amplia capacidad de trabajo. El diseño compacto y ligero, con un peso de 60 kg, facilita su portabilidad. La precisión obtenida en los cortes, con una tolerancia de 0.1 ± 0.05 mm, supera los estándares requeridos para este tipo de máquinas. Además, el costo de fabricación de 1027.97 USD demuestra la viabilidad económica del proyecto, situándose significativamente por debajo del

límite de 1500 USD. Por último, el desempeño del láser permitió cortar balsa y acrílico de hasta 3 mm de espesor se resumen estos parámetros en la siguiente tabla:

Tabla 24. Valores de rendimiento final correspondientes a los cinco criterios de ingeniería más importantes

Criterio de Ingeniería	**Valor propuesto**	**Valor obtenido**	**Cumple o No Cumple**
Tamaño del área de Corte	1000 x 500 [mm]	1000x500 [mm]	CUMPLE
Portabilidad-Peso	<80 [kg]	60 kg	CUMPLE
Tolerancia de Corte	<0.25 [mm]	0.1 ± 0.05 [mm]	CUMPLE
Costo de Fabricación	<1500 [USD]	1027.97 [USD]	CUMPLE
Espesor máximo de corte en balsa y acrílico	3 [mm]	3 [mm]	CUMPLE

A continuación, se muestran los resultados de cortes y grabados realizados utilizando el pantógrafo láser CNC.

Figura 31. Resultado de corte.

En la figura 29, se puede observar que el corte obtenido es limpio y suave, cuenta con una alta precisión dimensional, una baja zona afectada por el calor y residuos mínimos.

Figura 32. Resultado de grabado.

En la figura 30, se observa un grabado con alta precisión, bastante uniforme, con el contraste correcto, alta resolución y buena durabilidad.

En la sección de anexos, se han incluido manuales para el usuario, tanto para la operación de la máquina, la calibración y el mantenimiento de esta. El Manual de Operación es una guía detallada para el uso seguro y eficiente de la máquina CNC de corte y grabado láser. Incluye las especificaciones técnicas, describiendo las capacidades, dimensiones y potencia del equipo. Presenta un desglose de los componentes del equipo, identificando cada parte con su función específica. La

sección de instalación ofrece instrucciones paso a paso para ensamblar y configurar correctamente la máquina. En operación, se explica el procedimiento para poner en marcha el equipo y realizar cortes y grabados con precisión. La parte de seguridad detalla las precauciones a seguir para evitar riesgos durante el uso, mientras que solución de problemas brinda una lista de posibles fallos junto con recomendaciones para su diagnóstico y corrección. El Manual de Calibración está diseñado para asegurar la máxima precisión y calidad en los cortes y grabados láser. Comienza con una preparación inicial, donde se describen los pasos previos a la calibración, como la verificación de la alimentación eléctrica y la alineación básica. Luego, aborda la calibración del láser, explicando cómo ajustar el enfoque y la intensidad para obtener cortes limpios. La calibración de Ejes guía al usuario en la alineación precisa de los ejes X, Y para evitar errores dimensionales. La sección de prueba de Circularidad permite verificar la precisión geométrica de la máquina. El Manual de Mantenimiento detalla las prácticas necesarias para prolongar la vida útil y el rendimiento de la máquina. Comienza con una descripción de las partes y componentes de la máquina, identificando cada elemento susceptible a desgaste. Continúa con una lista de las herramientas requeridas para realizar las tareas de mantenimiento. Indica el mantenimiento preventivo que muestra las acciones periódicas para evitar fallos, como la limpieza y lubricación de componentes. La sección de mantenimiento correctivo instruye sobre la reparación de fallos específicos. Además, se incluye un apartado de problemas comunes, con soluciones para errores frecuentes, y un registro de mantenimiento para documentar las acciones realizadas, facilitando un historial técnico del equipo.

PRÓXIMOS PASOS

Si bien el alcance de este proyecto se limita por factores económicos y temporales, los resultados a los que se llegó nos permiten evidenciar que la manufactura de este tipo de máquinas de forma local es factible. Por este motivo, se presenta una lista de temas que se consideran interesantes y que pueden integrarse con esta herramienta.

Rediseño para Láser de CO_2 o Fibra Óptica.

Es la más evidente ya que se habló de la eficiencia y versatilidad de estas tecnologías para tareas de corte en más variedad de materiales, al inicio del documento. El rediseño permitiría adaptar los espejos y el tubo de CO_2, o, el módulo de enfriamiento para el láser de fibra óptica, facilitando el corte y manufactura de piezas metálicas, dando apertura a elaboración de componentes más complejos. **Boquilla PWM para oxicorte o plasma.**

Se propone la fabricación de una boquilla automática para procesos de oxicorte o plasma, mediante el uso de controladores que operan con pulsos modulados (PWM). Esto facilitaría la integración de estas herramientas de corte en la máquina.

Actualmente, la mayoría de las máquinas de corte láser cuentan con un sistema remoto para encendido, enfoque y calibración, mientras que los sopletes tradicionales requieren activación manual, como el encendido con pedernal. El objetivo de esta propuesta es diseñar un controlador y una boquilla automática que permitan funciones similares a las de un láser automatizado. Esto incluiría la capacidad de encendido

remoto, control de flujo de gases y ajuste de parámetros operativos desde el controlador CNC.

CONCLUSIONES

El desarrollo y construcción del pantógrafo láser CNC alcanzó de manera satisfactoria los objetivos planteados, cumpliendo con las especificaciones técnicas y criterios ingenieriles propuestos. La máquina demostró ser una solución funcional, eficiente y de bajo costo, con capacidad para cortar y grabar materiales como balsa y acrílico de hasta 3 mm de espesor. El proyecto responde a la falta de una máquina capaz de realizar este tipo de trabajo en la Universidad San Francisco de Quito. El tamaño del área de corte propuesto de 1000 x 500 mm fue alcanzado exactamente, permitiendo cortes en un área amplia y versátil. En cuanto a la portabilidad, se estableció un peso inferior a 80 kg, logrando un resultado de solo 60 kg, lo que asegura facilidad de transporte sin comprometer la estabilidad estructural. La máquina demostró una excelente precisión al cumplir con la tolerancia de corte y grabado definida menor a 0.25 mm, logrando un valor de 0.1 ± 0.05 mm, lo que garantiza cortes limpios y exactos. En términos de costo de fabricación, el objetivo era no superar los 1500 USD, alcanzando un valor final de 1027.97 USD, lo que refleja una solución económica y eficiente.

En términos económicos, el proyecto logró una reducción significativa de costos en comparación con equipos industriales similares, representando apenas una fracción de su precio comercial sin comprometer la calidad de los resultados obtenidos. Esto demuestra la factibilidad de la manufactura local de este tipo de tecnología, lo que puede beneficiar a pequeñas empresas y proyectos académicos al facilitar el acceso a herramientas de fabricación avanzada.

El proyecto reúne conocimientos de diseño mecánico, automatización, electrónica y mecánica de materiales, demostrando el dominio de las materias integrándolas en una máquina funcional y estética. El pantógrafo es adaptable a distintas tecnologías de corte láser. Así como el láser de CO_2, el cual permite trabajar con una variedad más amplia de materiales y mayores grosores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrizala, N. H., & Fazri, A. (2017). Design and development of CNC robotic machine integrateable with Nd-Yag laser device. Procedia Engineering. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.079

American National Standards Institute. (2012). ANSI Z136.1:2012 - Safe use of lasers.

Badoniya, P. (2018). CO2 laser cutting of different materials-a review. International Journal of Engineering Research.

Baker, J., Smith, L., & Johnson, R. (2019). Laser diode technology and applications in material processing. Journal of Laser Applications, 31(3), 032007.

Deepak, J. R., & Ashwin, R. (2023). Applications of lasers in industries and laser welding: A review. MaterialsToday: Proceedings. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.102

European Committee for Standardization. (2010). EN 207:2010 - Laser protective eyewear - Filters for protection against laser radiation.

Gordón, M., & Romero, R. (2021). Corte por láser con Raspberry Pi para el trazado en los talleres de carpintería. Revista Dilemas Contemporáneos: Educación Pública y Valores.

Gunaraman, S. V., & Chidambaram, B. (2018). Design and fabrication of a low-cost, table-top gantry type CNC laser cutting machine. International Journal of Advanced Engineering and Management.

Gurram, N. R., & Venkatachalapathy, R. (2022). Direct laser photocoagulation to the dilated right-angled vessel in the management of proliferative type 2 macular telangiectasia. Retinal Cases & Brief Reports.

He, Y., Xie, H., Ge, Y., Lin, Y., Yao, Z., Wang, B., Jin, M., Liu, J., Chen, X., & Sun, Y. (2022). Laser cutting technologies and corresponding pollution control strategy. Processes, 10(4), 732. https://doi.org/10.3390/pr10040732

International Electrotechnical Commission. (2005). IEC 60204-1:2005 - Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements.

International Electrotechnical Commission. (2006). IEC 60825-1:2006 - Safety of laser products - Part 1: Equipment classification, and requirements.

International Electrotechnical Commission. (2007). IEC 60947-1:2007 - Low-voltage switchgear and controlgear - Part 1: General rules.

International Electrotechnical Commission. (2010). IEC 60034-1:2010 - Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance.

International Organization for Standardization. (2002). ISO 9013:2002 - Thermal cutting - Classification of thermal cuts - Part 1: Plasma cutting.

International Organization for Standardization. (2009). ISO 11553-1:2009 - Safety of machinery - Laser processing machines - Part 1: General safety requirements.

International Organization for Standardization. (2009). ISO 6983-1:2009 - Automation systems and integration - Numeric control of machines - Program format and definitions - Part 1: Data format.

International Organization for Standardization. (2012). ISO 230-1:2012 - Test code for machine tools - Part 1: Determination of accuracy and repeatability of position.

International Organization for Standardization. (2013). ISO 15012-4:2013 - Health and safety in welding and allied processes - Equipment for the extraction of welding fume- Part 4: Performance requirements and test methods for the extraction equipment.

Johnson, L. (2022). The future of CNC laser machines. Manufacturing Insights.

Koprda, S., & Michna, M. (2020). The possibility of creating a low-cost laser engraver CNC machine prototype with platform Arduino. Acta Polytechnica Hungarica. https://doi.org/10.12700/APH.17.9.2020.9.10

Maharjan, N., Kunieda, M., & Nakamura, K. (2020). Optimization of laser cutting parameters for different materials. Journal of Manufacturing Processes, 56, 731-741.

Mahrle, A., & Beyer, E. (2009). Theoretical aspects of fibre laser cutting. Journal of Physics D: Applied Physics.

Miller, S. T. (2023). Open-source CNC control systems: Accessibility and innovation in personal fabrication. Journal of Digital Fabrication. https://doi.org/10.2345/jdf.2023.78901

Mohamed, A., Ali, M., & Ibrahim, M. (2021). Investigation of thermal effects during laser cutting on material distortion. Journal of Materials Processing Technology, 290, 116-124.

Naresh, P. K. (2022). Laser cutting technique: A literature review. MaterialsToday: Proceedings, 56(5), 2484-2489.

National Electrical Manufacturers Association. (2014). NEMA MG 1:2014 - Motors and Generators.

Rameshkumar, R. K. (2016). Design and fabrication of 3-axis computer numerical control (CNC) laser cutter. International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering.

Reddy, A., & Venkatesh, M. (2022). Comparative study of laser diode and CO2 laser in material processing. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 121, 151-160.

Rodrigues, G. C., Pencinovsky, J., Cuypers, M., & Duflou, J. (2014). Theoretical and experimental aspects of laser cutting with a direct diode laser. Optics and Lasers in Engineering, 61, 31–38. https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2014.04.013

Schmitt, A.-M., & Mahrle, E. (2024). G-code evaluation in CNC milling to predict energy consumption through machine learning. Advances in Industrial and Manufacturing Engineering. https://doi.org/10.1016/j.aime.2024.100140

Sharma, G. D., & Yadav, A. (2019). Artificial intelligence and effective governance: A review, critique and research agenda. Sustainable Futures. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2019.100004

Smith, J. (2022). Optimization of software control in low-cost CNC laser systems. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 144(6), 1001-1015. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2022/9140156

Thepnurat, M., & Sang-a-roon, P. (2017). Low-cost DIY lenses kit for high school teaching. Journal of Physics: Conference Series. https://doi.org/10.1088/1742-6596/901/1/012120

Zhang, S. (2024). Laser cutting basics - MachineMFG. Recuperado de https://www.machinemfg.com/laser-cutting-basics/#google_vignette

Zhang, S. (2024). Top 10 laser cutting machine manufacturers in 2024 – MachineMFG. Recuperado de https://www.machinemfg.com/top-laser-cutting-machine-manufacturers/

Zhao, X., Li, H., & Zhang, Y. (2023). Energy efficiency improvements in laser cutting processes. Renewable & Sustainable Manufacturing, 15(3), 587-595.

ANEXO 1: MANUAL DE OPERACIÓN

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

MANUAL DE USO
PANTÓGRAFO DE CORTE LÁSER CNC

ELABORADO POR: Grupo CNC
REVISADO POR: Grupo CNC
APROBADO POR: Grupo CNC

REVISIÓN: 0

Índice de Figuras

Figura Manual de Operación 1 Plano de conjunto 9
Figura Manual de Operación 2 Ensamblaje paso 1 10
Figura Manual de Operación 3 Ensamblaje paso 2 10
Figura Manual de Operación 4 Ensamblaje paso 3 11
Figura Manual de Operación 5 Ensamblaje paso 4 11
Figura Manual de Operación 6 Ensamblaje paso 5 11
Figura Manual de Operación 7 Ensamblaje paso 6 11
Figura Manual de Operación 8 Ensamblaje paso 7 12
Figura Manual de Operación 9 Ensamblaje paso 8 12
Figura Manual de Operación 10 Ensamblaje paso 9 12
Figura Manual de Operación 11 Ensamblaje paso 10 12
Figura Manual de Operación 12 Ensamblaje paso 12 13
Figura Manual de Operación 13 Ensamblaje paso 12 13
Figura Manual de Operación 14 Ensamblaje paso 13 14
Figura Manual de Operación 15 Ensamblaje paso 14 14
Figura Manual de Operación 16 Ensamblaje paso 15 14
Figura Manual de Operación 17 Ensamblaje paso 16 14
Figura Manual de Operación 18 Ensamblaje paso17 15
Figura Manual de Operación 19 Ensamblaje paso 18 15
Figura Manual de Operación 20 Ensamblaje paso 19 15
Figura Manual de Operación 21 Esamblaje paso 20 15
Figura Manual de Operación 22 Botón de “JOG” 17
Figura Manual de Operación 23 Botón de "HOME' 18
Figura Manual de Operación 24 Botón de "Turn ON laser for Focusing" 18
Figura Manual de Operación 25 Menú de configuración 19
Figura Manual de Operación 26 Menú de corte 19
Figura Manual de Operación 27 Botón de "PLAY" 20
Figura Manual de Operación 28 Botón de "STOP" 20
Figura Manual de Operación 29 Botón de "Desconectar" 21
Figura Manual de Operación 30 Botón de emergencia 22
Figura Manual de Operación 31 Botón "GRBL" 22
Figura Manual de Operación 32 Controles de configuración 23
Figura Manual de Operación 33 Enfoque de Lasér 23
Figura Manual de Operación 34 Espaciador de 20 mm 24

Índice de Tablas

Tabla Manual de Operación 1 Especificaciones de desempeño y presición 5
Tabla Manual de Operación 2 Especificaciones del área de trabajo 5
Tabla Manual de Operación 3 Especificaciones de la fuente de alimentación y conectividad 5
Tabla Manual de Operación 3 Lista de Partes 7
Tabla Manual de Operación 4 Proceso de Ensamble 10
Tabla Manual de Operación 5 Rangos Variables de Operación 24
Tabla Manual de Operación 6 Medidas de protección personal 25
Tabla Manual de Operación 7 Precausiones ante posibles riesgos 25
Tabla Manual de Operación 8 Información de Fabricantes 31

INTRODUCCIÓN:

El presente manual ha sido desarrollado con el propósito de proporcionar una guía integral para el uso, mantenimiento y operación segura de la grabadora y cortadora láser CNC. Este equipo, diseñado para realizar cortes y grabados de alta precisión en materiales como madera y acrílico de hasta 3 mm de espesor, constituye una herramienta esencial para aplicaciones académicas, de investigación y en entornos industriales. En el ámbito académico, la incorporación de tecnologías como las máquinas láser CNC amplía las capacidades de prototipado y manufactura, fomentando la innovación y el aprendizaje práctico. Este manual ofrece una referencia estructurada para usuarios de diversos niveles de experiencia, garantizando un manejo eficiente y conforme a las mejores prácticas establecidas.

La información contenida aborda aspectos fundamentales como las especificaciones técnicas del equipo, la instalación, el proceso operativo, las medidas de seguridad y las pautas de mantenimiento preventivo. Además, se incluyen procedimientos para la resolución de problemas comunes, con el objetivo de minimizar tiempos de inactividad y asegurar un desempeño óptimo. Este documento promueve un uso responsable y seguro del equipo, destacando la importancia de cumplir con las normativas y estándares internacionales aplicables. De esta manera, se busca no solo facilitar la adopción de esta tecnología, sino también contribuir al desarrollo de competencias técnicas y científicas en sus usuarios.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

El pantógrafo láser CNC ha sido diseñado para ofrecer un desempeño eficiente y accesible, cumpliendo con criterios de bajo costo, alta precisión y versatilidad. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas más relevantes.

Generalidades

- **Costo:** El costo total de diseño y construcción no debe superar los $1500, garantizando una solución económica y accesible.
- **Dimensiones:** El equipo cuenta con un tamaño de 1.20m x 0.80m x 0.80m, siendo compacto y portátil.
- **Peso:** Menor a 80 kg, lo que facilita su manejo y transporte.
- **Vida útil estimada:** 10,000 horas, bajo condiciones adecuadas de operación y mantenimiento.

Materiales y Estructura

- **Material de la estructura:** Perfiles de aluminio extruido tipo "C" de 80 mm x 40 mm. Perfiles de aluminio extruido de 40 mm x 40 mm.
- **Cadena de arrastre:** Dimensiones de 10 mm x 15 mm x 3000 mm, para un manejo eficiente de cables.
- **Mesa de Trabajo:** Tablero de MDF de 112mm x 800mm con espesor 18mm.
- **Uniones:** Uniones de acero A36.
- **Sistema de desplazamiento:** Planchas de aluminio con espesor 3mm.
- **Placas de sujeción:** Placas de Aluminio de 185 mm x 80mm con espesor 3mm.

Desempeño y Precisión

Tabla Manual de Operación 1 Especificaciones de desempeño y precisión

Característica	Especificación
Precisión/Tolerancia de corte	0.25 mm
Velocidad máxima de movimiento	<= 3000 mm/min
Nivel de ruido	<= 65 dB

Área de trabajo

Tabla Manual de Operación 2 Especificaciones del área de trabajo

Dimensión	Especificación
Mesa de trabajo	1000 mm x 500 mm

Fuente de alimentación y conectividad

Tabla Manual de Operación 3 Especificaciones de la fuente de alimentación y conectividad

Especificación	Detalle
Fuente de alimentación	10V, 24A (Corriente alterna 100V a 240V). Potencia: 10W.
Conectividad	USB

Sistema de movimiento y controladores

- **Controlador CNC**: Arduino UNO con Arduino CNC Shield para control de 4 ejes a 5V.
- **Controladores para motores**: Driver TB6660: 4A, 9-42V, para motor paso a paso NEMA 23.

- **Motor paso a paso**: NEMA 23, torque de 2.8 N*m, corriente de 3A, dimensiones de 57 mm x 57 mm x 53 mm.

COMPONENTES DEL EQUIPO:

Lista de Partes

Tabla Manual de Operación 4 Lista de Partes

ITEM	QTY	PART NAME
A	**1**	**Sistema de deslizamiento transversal para chumacera**
B	**1**	**Sistema de deslizamiento transversal para motor NEMA23**
C	**1**	**Sistema de deslizamiento longitudinal para láser**
D	**1**	**Estructura de soporte**
E	**2**	**Perfil de aluminio tipo "C" longitudinal 80x40xL1200**
F	**2**	**Perfil de aluminio tipo "C" transversal 80x40xL800**
G	**2**	**Placa de soporte para chumacera BK12**
H	**2**	**Placa de soporte para motor NEMA23**
I	**2**	**Chumacera**
J	**2**	**Tornillo sin fin SFU 1605 L800**

K	**1**	**Perfil de aluminio transversal 80x40xL1200**
L	**8**	**Placa de unión tipo "L" para perfil tipo "C" con perfil 80x40**
M	**32**	**Arandela para Perno M4**
N	**2**	**Motor NEMA 23**
Ñ	**16**	**Perno M4x40**
O	**16**	**Tuerca para Perno M4**
P	**2**	**Acople para Tornillo SFU1605 con Motor NEMA23**
Q	**56**	**Perno M8x25**
R	**44**	**Arandela para Perno M8**
S	**44**	**Tuerca para Perno M8x1.25**
T	**1**	**Tuerca para Perno M4x0.7**
U	**32**	**Perno M4x40**
V	**32**	**Arandela para Perno M5**
W	**32**	**Tuerca para Perno M5**
X	**1**	**Tablero de madera 1120x800x12**
Y	**12**	**Platina para unión de Estructura de soporte con Tablero de madera**
Z	**8**	**Perno M4x20**
AA	**2**	**Sujetador Final de Carrera**
AB	**1**	**Láser 5.5 W Sain Smart**

AC	**1**	**Tornillo sin fin SFU 1605 L1200**

Plano de Conjunto

En el siguiente plano, se pueden observar cada uno de los componentes del equipo.

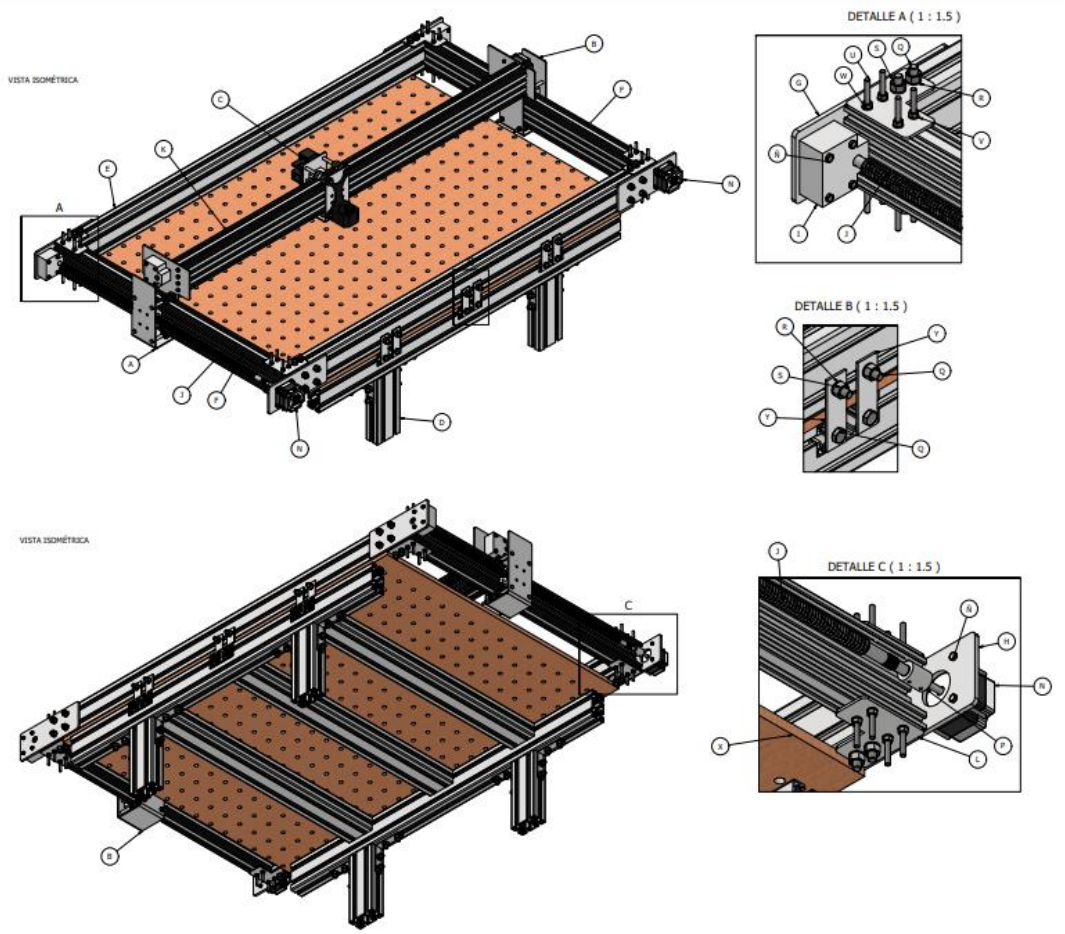


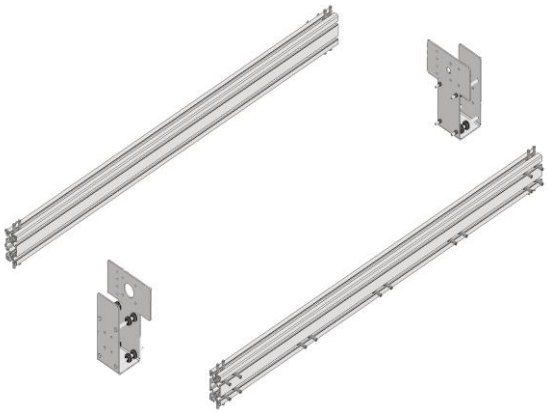
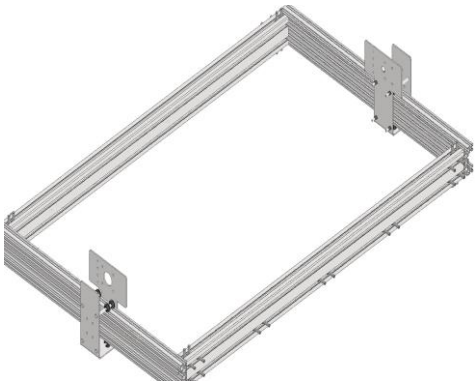
Figura Manual de Operación 1 Plano de conjunto

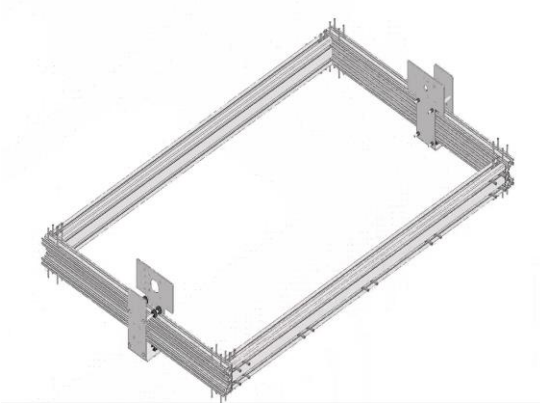
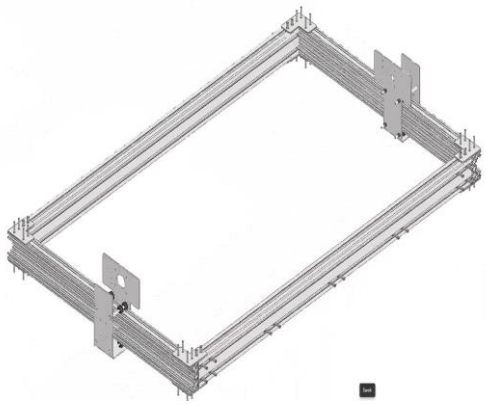
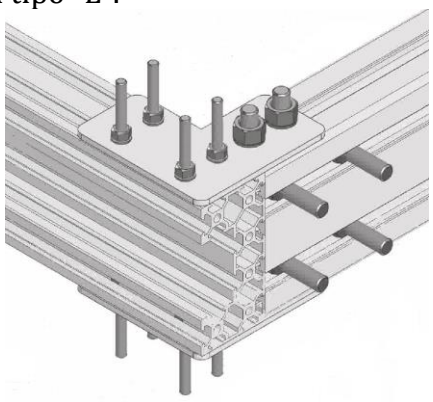
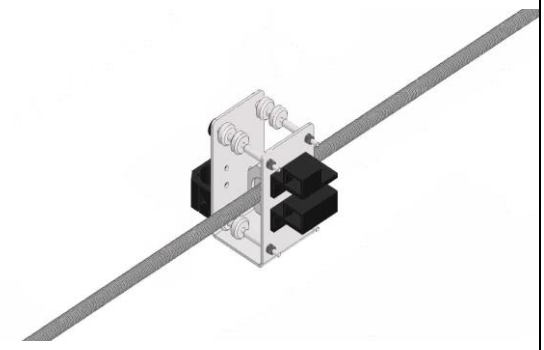
INSTALACIÓN:

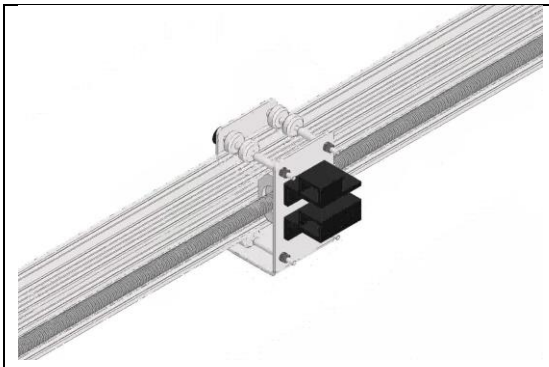
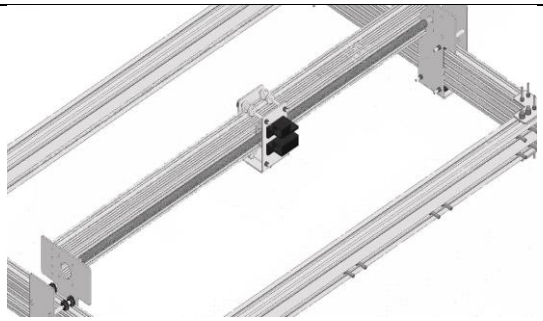
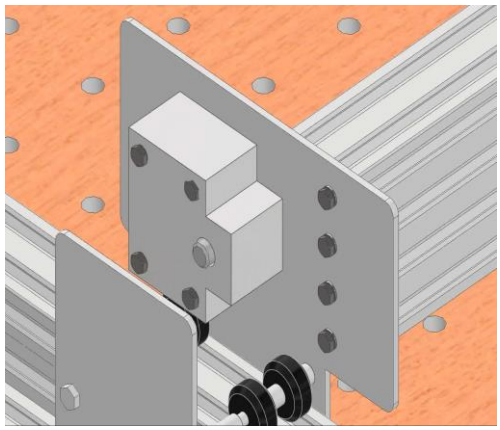
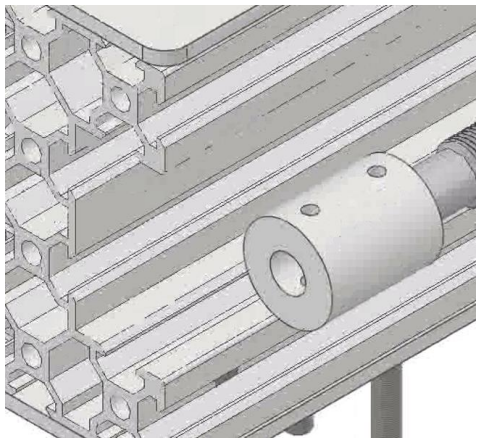
Proceso de Ensamble

Si por cualquier motivo de reparación o actualización del modelo requiere desensamblar la máquina y volverla a ensamblar, se recomienda seguir los siguientes pasos.

Tabla Manual de Operación 5 Proceso de Ensamble

1	**2**
Colocar los perfiles longitudinales tipo “C” de manera paralela, cada uno con la cantidad de pernos M8 como indica en la figura. Tener a la mano los sistemas de deslizamiento transversales para motor NEMA 23 y para chumacera BK12, con los tornillos sin fin ya dentro de los husillos.  *Figura Manual de Operación 2 Ensamblaje paso 1*	Acoplar los perfiles de aluminio tipo “C” 80x40xL800 a los sistemas de deslizamiento transversales para motor NEMA 23 y para chumacera BK12. Con ayuda de un nivel, colocar los perfiles de aluminio longitudinales a 90 grados de los perfiles transversales.  *Figura Manual de Operación 3 Ensamblaje paso 2*
3	**4**
Adjuntar 4 pernos superiores M4 y 4 pernos inferiores M4 en cada lado de los perfiles de aluminio extruido transversales tipo “C” 80x40xL800, como muestra la figura.	Colocar 1 placa de unión tipo “L” superior y 1 placa de unión tipo “L” inferior en cada lado de los perfiles de aluminio extruido transversales tipo “C” 80x40xL800, como muestra la figura.

<table>
<tr>
<td> 
Figura Manual de Operación 4 Ensamblaje paso 3</td>
<td> 
Figura Manual de Operación 5 Ensamblaje paso 4</td>
</tr>
<tr>
<td>5</td>
<td>6</td>
</tr>
<tr>
<td>Colocar las tuercas de los pernos M8 y M4 que se encuentran en la parte superior e inferior de la estructura en las placas de unión tipo “L”.
 
Figura Manual de Operación 6 Ensamblaje paso 5</td>
<td>Colocar el Tornillo sin Fin SFU 1605 con el Husillo de bolas SFU 1605 dentro del sistema de desplazamiento longitudinal para láser.
 
Figura Manual de Operación 7 Ensamblaje paso 6</td>
</tr>
<tr>
<td>7</td>
<td>8</td>
</tr>
<tr>
<td>Colocar el perfil de aluminio extruido tipo “C” longitudinal 80x40xL1200 dentro del sistema de deslizamiento longitudinal para láser.</td>
<td>Alinear el perfil de aluminio extruido tipo “C” longitudinal 80x40xL1200 con el resto de la estructura, de manera en que se pueda empernar en los sistemas de deslizamiento transversales.</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr>
<td> 
Figura Manual de Operación 8 Ensamblaje paso 7</td>
<td> 
Figura Manual de Operación 9 Ensamblaje paso 8</td>
</tr>
<tr>
<td>9</td>
<td>10</td>
</tr>
<tr>
<td>Colocar la chumacera BK12 y los pernos (M4) del perfil en el sistema de deslizamiento transversal para chumacera.
 
Figura Manual de Operación 10 Ensamblaje paso 9</td>
<td>Colocar los acoples para Tornillo sin Fin SFU1605 con Motor NEMA23 en los 3 tornillos sin Fin.
 
Figura Manual de Operación 11 Ensamblaje paso 10</td>
</tr>
<tr>
<td>11</td>
<td>12</td>
</tr>
<tr>
<td>Colocar el motor NEMA23 y los pernos del perfil (M4) en el sistema de deslizamiento transversal correspondiente para motor.</td>
<td>Utilizando la Placa de soporte para motor NEMA23, del lado al que se encuentra el acople para Tornillo sin Fin SFU1605 con Motor NEMA23 de ambos perfiles transversales tipo “C” 80x40xL800, alinear el perfil de aluminio 80x40xL1200 y empernar</td>
</tr>
</table>

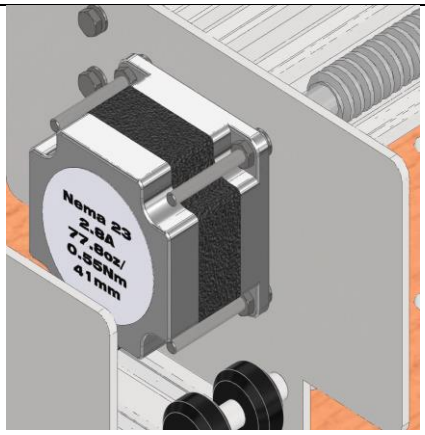


Figura Manual de Operación 12 Ensamblaje paso 12

13

tanto los perfiles (M8) como el motor (M4) a cada placa.

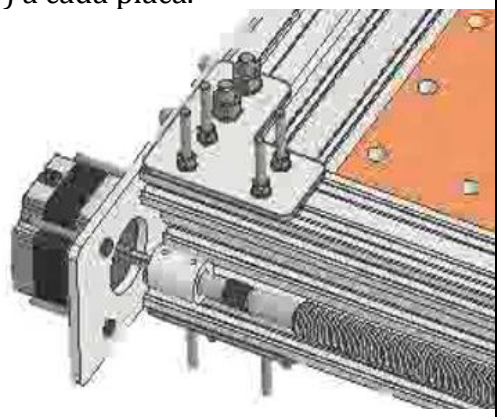
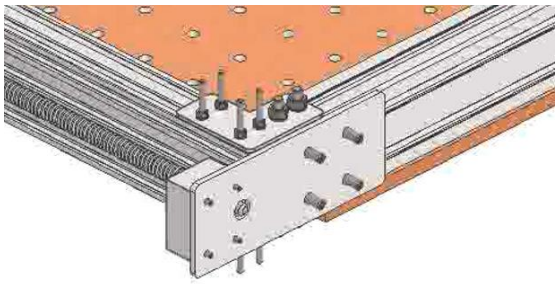
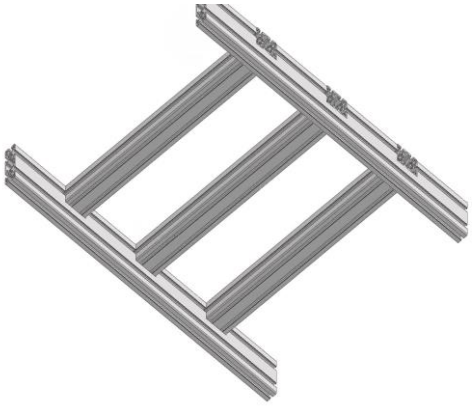
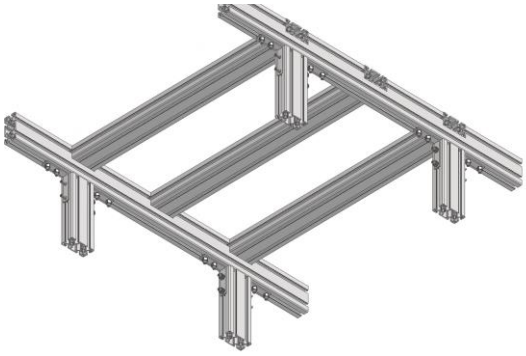
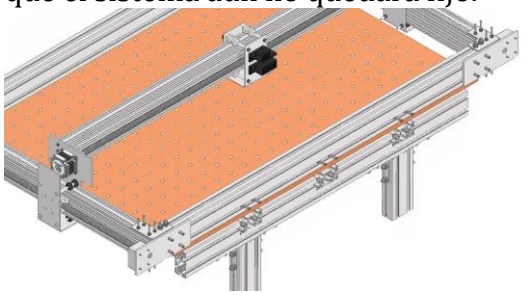
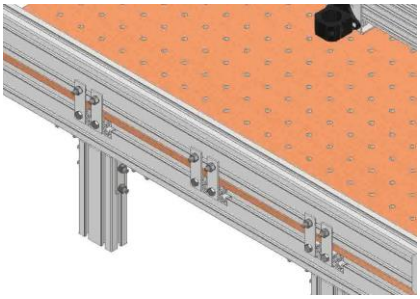
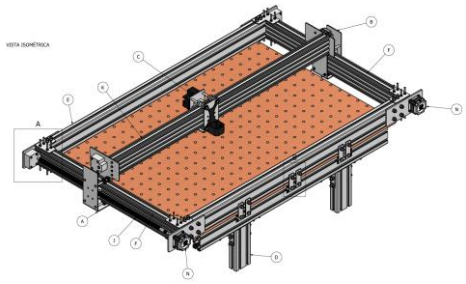
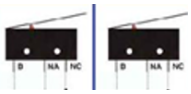
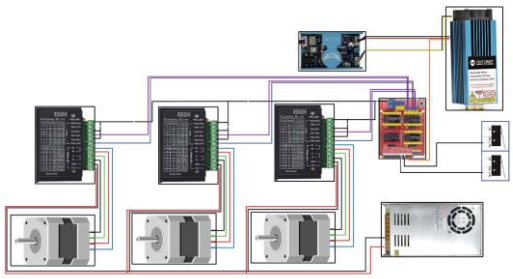


Figura Manual de Operación 13 Ensamblaje paso 12

14

De los lados que queda el Tornillo sin Fin SFU 1605 suelto de los perfiles transversales de aluminio tipo “C” 80x40xL800, colocar una placa de soporte chumacera, unir la chumacera BK12 al Tornillo sin Fin SFU 1605 y a la placa (M4), alinear la placa con el perfil de aluminio 80x40xL1200 y empernar (M8).  *Figura Manual de Operación 14 Ensamblaje paso 13*	Para la base, unir a presión 2 perfiles de aluminio 80x40xL1040 con 3 perfiles de aluminio 80x40xL800.  *Figura Manual de Operación 15 Ensamblaje paso 14*
15	**16**
Utilizando dos uniones en angulo de 90 para cada perfil de aluminio 80x40xL196, alinear y empernar cada pata 80x40 L196 con 8 pernos M8.  *Figura Manual de Operación 16 Ensamblaje paso 15*	Colocar el tablero de madera 1120x800x12 sobre la estructura de soporte de la base y por encima colocar la máquina. Tener cuidado, ya que el sistema aún no quedará fijo.  *Figura Manual de Operación 17 Ensamblaje paso 16*
17	**18**

<table>
<tr>
<td>Utilizando las platinas para unión de estructura de soporte con tablero y pernos M8, unir la máquina a la base como se muestra en la figura 18. Esto se debe realizar a ambos lados.
 
Figura Manual de Operación 18 Ensamblaje paso17</td>
<td>Una vez que la estructura quede lista, montar el láser de 5.5W Sain Smart con la unión y soporte para el láser.
 
Figura Manual de Operación 19 Ensamblaje paso 18</td>
</tr>
<tr>
<td>19</td>
<td>20</td>
</tr>
<tr>
<td>Montar la caja de mando con los 3 drivers, el Arduino UNO, el Arduino CNC Shield, el controlador del láser y la fuente. Colocar los finales de carrera, en el punto en el que se desea que sea el origen, utilizando los acoples de finales de carrera.
 
Figura Manual de Operación 20 Ensamblaje paso 19</td>
<td>Para realizar el cableado, seguir el siguiente diagrama de conexiones. No olvidar esconder los cables utilizando las cadenas de arrastre.
 
Figura Manual de Operación 21 Esamblaje paso 20</td>
</tr>
</table>

Las herramientas necesarias para manejar la estructura de la máquina se enlistan a continuación:

1. Llave Allen de 2.5 mm
2. Llave Allen de 3 mm
3. Llave mixta de 8 mm

4. Llave mixta de 13 mm
5. Destornillador de precisión PH0
6. Destornillador Plano de 5 mm
7. Nivel
8. Escuadra
9. Torquímetro
10. Dado de 8 mm
11. Dado de 13 mm
12. Pinzas

Acceso al Software

LaserGRBL es un software gratuito y de código abierto que permite controlar máquinas CNC de grabado y corte láser. A continuación, se describe el procedimiento para descargarlo:

- Abrir el navegador web en una computadora.
- Ingresar la URL oficial: https://lasergrbl.com/.
- En la página principal, buscar y seleccionar la opción "Download" o "Descargar".
- Esto lo redirigirá a la sección donde se encuentra la última versión del software disponible para descarga.
- Dar clic en el enlace para descargar el archivo ejecutable del instalador, generalmente identificado como un archivo con extensión .exe.
- Una vez completada la descarga, abre la carpeta donde se almacenó el archivo (LaserGRBL-Installer-x.x.x.exe).

OPERACIÓN:

Preparación inicial

1. Utilizando la lista de verificación antes del encendido, la cual se encuentra en el anexo 1, verificar que todos los parámetros se cumplan y si existe alguno que no se cumpla, realizar las correcciones propuestas.

Encendido y Configuración básica

1. Verificar que los sistemas de deslizamiento transversales se encuentren a la misma altura utilizando un calibrador. Si no se encuentran a la misma distancia de las placas de unión tipo L, ajustar la distancia moviendo manualmente los tornillos desde el acople del motor.
2. Conectar el enchufe plateado con amarillo a un interruptor de 110V.
3. Conectar el cable USB negro a la computadora en la que se ha instalado el software LaserGRBL.
4. Abrir el LaserGRBL en el computador.
5. En el software, seleccionar la opción “connect” que se encuentra en la parte superior izquierda del programa para conectar el software con el Arduino.
6. Pruebe los ejes aplastando los botones de “jog” que se encuentran en la esquina inferior izquierda del programa.

Figura Manual de Operación 22 Botón de “JOG”

7. Pruebe los botones de “home” activando manualmente los finales de carrera (2), para asegurar su funcionamiento.
8. Una vez comprobado el funcionamiento de los finales de carrera, oprimir nuevamente el botón de “home” para que la máquina vaya al punto (0,0)

Figura Manual de Operación 23 Botón de "HOME'

Instalación y ajuste del material de trabajo

1. Verifique el tipo de material y mida el espesor de este utilizando un calibrador. Guarde esta información.
2. Coloque el material de trabajo de manera en que la esquina inferior se encuentre debajo del láser en el punto (0,0). Para verificar la posición del láser, se debe oprimir el botón “turn on laser for focusing” que se encuentra en la barra inferior de herramientas.

Figura Manual de Operación 24 Botón de "Turn ON laser for Focusing"

Software de control

1. Tenga en mano el archivo que se quiere grabar o cortar en cualquiera de los siguientes formatos: gcode, jpg, png, dwg, pdf.
2. En el software, vaya a la ventana “Archivo” que se encuentra en la parte superior izquierda de la pantalla. Luego, seleccione la opción “Agregar Archivo” y elija el archivo con el que va a trabajar.

3. El software abrirá el menú de configuración.
4. Ajustar con el cursor el brillo y contraste de la imagen.
5. En la opción “herramienta de conversión”, seleccionar la opción “¡Vectorizar!”.
6. Oprimir la opción “siguiente”, que se encuentra en la parte inferior derecha del menú.

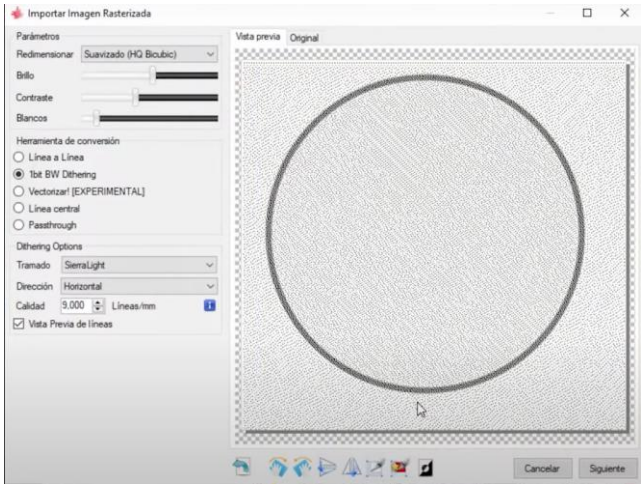


Figura Manual de Operación 25 Menú de configuración

7. El software abrirá el menú de corte.

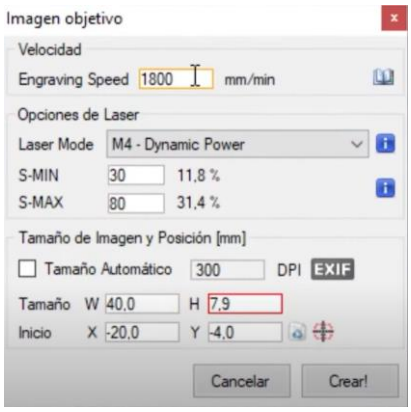


Figura Manual de Operación 26 Menú de corte

8. En el menú de corte, en la sección de “velocidad”, seleccionar el ícono de libro de la parte derecha.

9. Se desplegará un menú en el que se debe elegir el tipo de láser (diodo 5.5W, sin importar el modelo), el material a trabajar, el espesor y la acción a realizar (cortar o grabar). Seleccionar la opción “aceptar”.
10. En la sección “tamaño de imagen y posición”, en la opción de “tamaño” colocar las dimensiones del corte o grabado a realizar. En la opción de “inicio”, colocar (0,0) si no requiere de ningún offset. Si se requiere un offset, colocar las coordenadas de inicio tanto en el eje X como en el eje Y. Oprimir la opción “¡crear!”.
11. En la ventana principal del software, en el menú de la izquierda, aplastar el botón “play”, el cual se muestra a continuación. No olvide colocarse las gafas de seguridad antes de iniciar la operación.

Figura Manual de Operación 27 Botón de "PLAY"

Procedimiento operativo

1. Una vez la máquina empiece a funcionar, supervisar el proceso de grabado o corte, asegurándose que todo esté en orden. Si llega a suceder algo fuera de lugar, detener la máquina inmediatamente, con el siguiente botón:

Figura Manual de Operación 28 Botón de "STOP"

2. Una vez la máquina acabe el trabajo, volverá automáticamente a la coordenada (0,0). Esperar que la máquina se detenga por completo para quitarse las gafas de seguridad.

Apagado Seguro

1. Desde el software, desconectar el software del Arduino, oprimiendo el ícono que se muestra a continuación.

Figura Manual de Operación 29 Botón de "Desconectar"

Este ícono se encuentra en el menú de la izquierda.

2. Desconectar el cable USB de la computadora.
3. Desconectar el cable de alimentación de la máquina.
4. Sacar el material de trabajo de maquinaria con cuidado.
5. Limpiar el área de trabajo con aire comprimido, al igual que los tornillos sin fin.

Almacenamiento

1. Mantener la maquinaria en un espacio libre de contaminantes como polvo, viruta, etc.
2. Siempre mantener la máquina sobre una mesa para evitar accidentes.
3. Evita áreas húmedas o con alta condensación, ya que esto puede dañar los componentes electrónicos.
4. Almacena la maquina en un lugar con temperatura ambiente estable.

Controles

1. **Controles de seguridad:**

- **Botón de emergencia:**

El botón de emergencia en el software LaserGRBL se encuentra en la parte inferior derecha de la interfaz.

Figura Manual de Operación 30 Botón de emergencia

2. Controles de configuración:

- **Software de control:**

Para acceder a las configuraciones del software de control, se debe seguir los siguientes pasos.

a. Presionar el botón de GRBL en la parte superior izquierda.

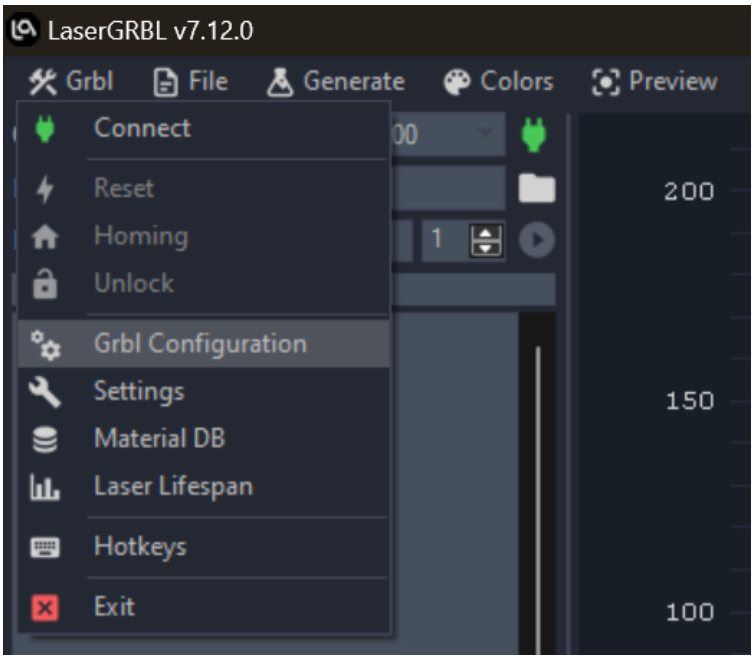
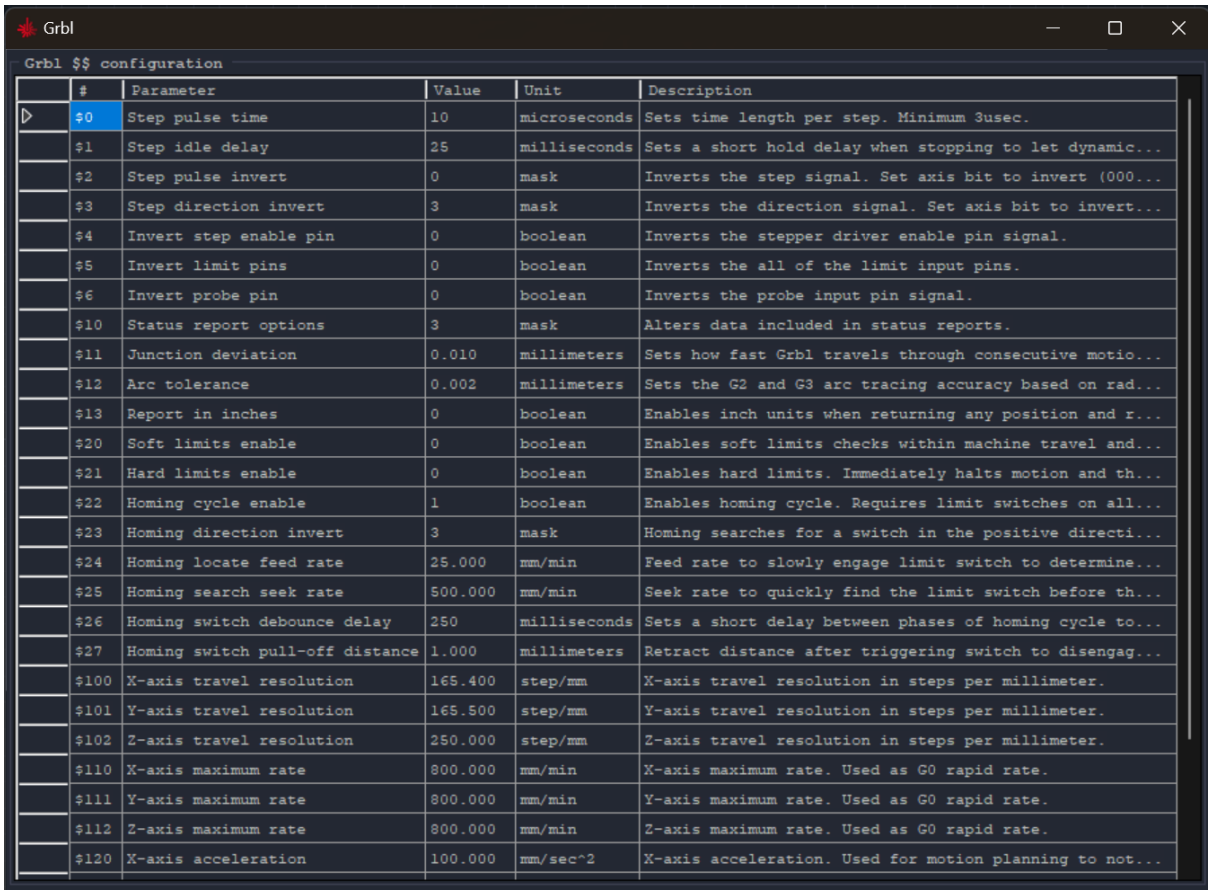


Figura Manual de Operación 31 Botón "GRBL"

De esta manera, se accede a los parámetros de configuración. Se debe importar la configuración previamente programada y calibrada nombrada “config.nc”.



#	Parameter	Value	Unit	Description
$0	Step pulse time	10	microseconds	Sets time length per step. Minimum 3usec.
$1	Step idle delay	25	milliseconds	Sets a short hold delay when stopping to let dynamic...
$2	Step pulse invert	0	mask	Inverts the step signal. Set axis bit to invert (000...
$3	Step direction invert	3	mask	Inverts the direction signal. Set axis bit to invert...
$4	Invert step enable pin	0	boolean	Inverts the stepper driver enable pin signal.
$5	Invert limit pins	0	boolean	Inverts the all of the limit input pins.
$6	Invert probe pin	0	boolean	Inverts the probe input pin signal.
$10	Status report options	3	mask	Alters data included in status reports.
$11	Junction deviation	0.010	millimeters	Sets how fast Grbl travels through consecutive motio...
$12	Arc tolerance	0.002	millimeters	Sets the G2 and G3 arc tracing accuracy based on rad...
$13	Report in inches	0	boolean	Enables inch units when returning any position and r...
$20	Soft limits enable	0	boolean	Enables soft limits checks within machine travel and...
$21	Hard limits enable	0	boolean	Enables hard limits. Immediately halts motion and th...
$22	Homing cycle enable	1	boolean	Enables homing cycle. Requires limit switches on all...
$23	Homing direction invert	3	mask	Homing searches for a switch in the positive directi...
$24	Homing locate feed rate	25.000	mm/min	Feed rate to slowly engage limit switch to determine...
$25	Homing search seek rate	500.000	mm/min	Seek rate to quickly find the limit switch before th...
$26	Homing switch debounce delay	250	milliseconds	Sets a short delay between phases of homing cycle to...
$27	Homing switch pull-off distance	1.000	millimeters	Retract distance after triggering switch to disengag...
$100	X-axis travel resolution	165.400	step/mm	X-axis travel resolution in steps per millimeter.
$101	Y-axis travel resolution	165.500	step/mm	Y-axis travel resolution in steps per millimeter.
$102	Z-axis travel resolution	250.000	step/mm	Z-axis travel resolution in steps per millimeter.
$110	X-axis maximum rate	800.000	mm/min	X-axis maximum rate. Used as G0 rapid rate.
$111	Y-axis maximum rate	800.000	mm/min	Y-axis maximum rate. Used as G0 rapid rate.
$112	Z-axis maximum rate	800.000	mm/min	Z-axis maximum rate. Used as G0 rapid rate.
$120	X-axis acceleration	100.000	mm/sec^2	X-axis acceleration. Used for motion planning to not...

Figura Manual de Operación 32 Controles de configuración

Control de calibración:

- **Bloque de enfoque:**

Para obtener el enfoque ideal, es necesario distanciar 20 mm desde la base del Láser hasta el material de corte usando el espaciador proporcionado.

No focused

Focused

Figura Manual de Operación 33 Enfoque de Lasér

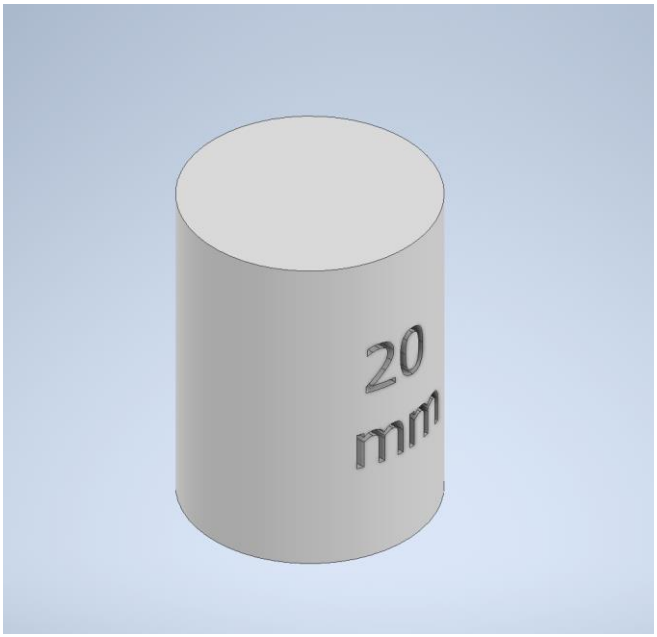


Figura Manual de Operación 34 Espaciador de 20 mm

Rangos Variables de Operación

Tabla Manual de Operación 6 Rangos Variables de Operación

Parámetro	**Rango**
Velocidad	1-3000 mm/min
Aceleración	1-20 mm/s^2
Dimensiones de la pieza	0<X<1000, 0<Y<500 mm
Material para trabajar	Plywood, paperboard, Kraft paper, KT Board, Non-woven fabric, Cotton cloth, leather, plastic sheet, solid wood, acrylic, Plated Metal, anodized Aluminum, Cobblestone, Basswood, Stainless Steel.
Potencia Láser	0%-100%
Resolución de los motores	1-800 steps/mm
Número de pasadas	1-15
Tolerancias	0.1 mm ± 0.05 mm (punto focal fijo)

SEGURIDAD:

Siga las siguientes recomendaciones de seguridad para evitar cualquier riesgo.

Medidas de Protección Personal

Tabla Manual de Operación 7 Medidas de protección personal

Medida	**Descripción**	**Propósito**
Gafas de Seguridad láser	Estas gafas incluyen un filtro diseñado para bloquear eficazmente la radiación láser de 455 nm, reduciendo el riesgo de daño ocular por exposición directa o reflejada.	Proteger los ojos de daños por radiación láser.
Prohibido el uso de accesorios	Prohibido el uso de collares, aretes, anillos y audífonos.	Proteger contra el riesgo de atrapamiento.
Ropa ajustada	Ropa que no cuelgue para evitar atrapamientos en partes móviles del equipo.	Minimizar riesgos de atrapamiento.

Precauciones ante Posibles Riesgos

Tabla Manual de Operación 8 Precausiones ante posibles riesgos

Riesgo Potencial	**Precaución Recomendada**	**Propósito**
Radiación láser	Usar gafas de seguridad, evitar mirar directamente el haz y trabajar en áreas delimitadas.	Proteger contra daños oculares y cutáneos.

Fuego o chispas	Mantener extintores de clase ABC cerca, evitar materiales inflamables en el área de trabajo.	Prevenir incendios.
Contacto eléctrico	Revisar conexiones y cables periódicamente, y usar guantes dieléctricos si es necesario.	Prevenir descargas eléctricas.
Lesiones mecánicas	No manipular el equipo mientras está en funcionamiento y usar herramientas adecuadas.	Evitar atrapamientos y cortes.

SOLUCIÓN DE PROBLEMAS:

Fallos comunes y su solución

1. El láser no se enciende

Posibles causas:

- El Arduino no se ha conectado con el software.
- La fuente de alimentación no está conectada correctamente.
- Falla en el interruptor de encendido.
- El cableado eléctrico está dañado.
- El controlador no está correctamente configurado.

Solución:

- Comprobar que el software y la máquina están emparejadas con el botón de connect.
- Verificar que el cable de alimentación esté correctamente conectado a la fuente de alimentación y a la toma de corriente.
- Inspeccionar los cables de conexión en busca de posibles daños o desconexiones.
- Revisar la configuración del controlador y asegurarse de que el software esté configurado para encender el láser cuando se inicie un trabajo. Ya sea para grabado o corte en el material especificado.

2. El motor no responde al comando

Posibles causas:

- El software no se ha emparejado correctamente con el Arduino.
- El controlador está mal configurado o no está recibiendo señales adecuadas.

- El cable del motor paso a paso está desconectado o dañado.
- El driver del motor no está configurado correctamente.

Solución:

- Verificar que el software indique “connected” en status.
- Revisar las conexiones del cable del motor paso a paso y asegurarse de que estén bien conectadas.
- Verificar que el controlador y el driver estén configurados correctamente y que estén recibiendo las señales adecuadas desde el software.
- Si el problema persiste, probar con otro driver de motor o verificar el estado del motor paso a paso.

3. Cortes incompletos o imprecisos

Posibles causas:

- Baja potencia del láser.
- Insuficientes números de pasadas.
- Mala alineación del láser.
- Velocidad de corte demasiado alta o demasiado baja.
- Material no adecuado o mal colocado en la mesa de trabajo.

Solución:

- Aumentar la potencia del láser y verificar si los cortes son más precisos. Asegurarse de que la potencia sea adecuada para el material que se está utilizando.
- Alinear el láser correctamente, asegurándose de que esté enfocado y que no haya obstrucciones en su camino.

- Ajustar la velocidad de corte en el software según las recomendaciones para el material y grosor específicos.
- Revisar si el material está correctamente colocado y fijado en la mesa de trabajo, asegurándose de que no se desplace durante el corte.

4. El software no reconoce la máquina

Posibles causas:

- El cable USB está fallando.
- El controlador Arduino no está correctamente configurado.
- El software no está correctamente instalado o actualizado.

Solución:

- Verificar que el cable USB esté correctamente conectado y que no esté dañado.
- Revisar las configuraciones de tu controlador Arduino en el software (LaserGRBL u otro) y asegurándose de que esté seleccionada la opción correcta para tu modelo de controlador.
- Si el problema persiste, intentar reinstalar el software y asegúrate de tener la versión más reciente.

5. El láser se apaga durante el trabajo

Posibles causas:

- El láser se sobrecalienta debido a un mal sistema de refrigeración.
- El controlador pierde la señal debido a un error de software o desconexión.
- Problema con la fuente de alimentación.

Solución:

- Asegurarse de que el sistema de refrigeración esté funcionando correctamente y que no haya obstrucciones en el flujo de aire.
- Verificar el estado del software y asegúrate de que no esté generando errores. Si es necesario, reiniciar el software y el controlador.
- Inspeccionar la fuente de alimentación para comprobar si está funcionando correctamente o si ha sido correctamente dimensionada.

6. Movimiento errático o impreciso de los ejes

Posibles causas:

- El controlador o el firmware no están correctamente configurados.
- El cable de los motores paso a paso está dañado o mal conectado.
- Desajuste en la calibración de los ejes.

Solución:

- Revisar la configuración del controlador y el firmware del sistema para asegurarse de que todos los parámetros estén correctamente ajustados para tu máquina.
- Inspeccionar los cables de los motores paso a paso en busca de desconexiones o daños.
- Realizar una recalibración de los ejes utilizando el software y ajustar los parámetros de movimiento.

Para cualquier consulta, problema técnico o solicitud de información adicional sobre el equipo, puede contactar al fabricante utilizando los siguientes datos:

Tabla Manual de Operación 9 Información de Fabricantes

Tipo de Consulta	Nombre	Número de Teléfono	Correo
Software	Diego Vera	099 883 5644	dvera@estud.usfq.edu.ec
Eléctrica	Héctor Freire	098 367 6000	hdfreire@estud.usfq.edu.ec
Uso General	Carlos Vásquez	098 435 5834	cvasquez@estud.usfq.edu.ec
Estructural/Repuestos	Joanne Wells	098 336 1842	jwellsa@estud.usfq.edu.ec

ANEXOS

ANEXO 1. LISTA DE VERIFICACIÓN ANTES DEL ENCENDIDO

Parámetro	Cumple	
	Si	No
Los pernos de la estructura están correctamente terqueados.		Torquear correctamente, de manera que los pernos se alineen con la marca que se encuentra en cada placa.
Los tornillos se encuentran libres de suciedades.		Limpiar los tornillos utilizando un paño o aire comprimido en dirección opuesta al husillo.
Los tornillos se encuentran correctamente engrasados.		Engrasar los tornillos utilizando grasa multipropósito 2 con espesante de litio que cumpla con las normativas ISO VG220 y NGLI2.
Los cables de la caja de mando se encuentran conectados correctamente.		Conectar correctamente.
Los empalmes de los cables visibles se encuentran en buen estado.		Retirar el empalme con cuidado y colocar nuevamente cinta aislante. En caso de que algún cable esté suelto, empalmar nuevamente

		antes de colocar la cinta, basándose en el diagrama de conexiones.
La superficie de trabajo se encuentra bien nivelada.		Ajustar la posición de la máquina hasta alcanzar el nivel. Se puede utilizar un nivel de burbuja.
Los perfiles estructurales se encuentran nivelados.		Ajustar la posición de los perfiles ajustando los pernos. De preferencia, verificar el nivel con un nivel láser.

ANEXO 2: MANUAL DE CALIBRACIÓN

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

MANUAL DE CALIBRACIÓN
PANTÓGRAFO DE CORTE LÁSER CNC

ELABORADO POR: Grupo CNC
REVISADO POR: Grupo CNC
APROBADO POR: Grupo CNC

REVISIÓN: 0

Índice de Figuras

Figura Manual de Calibración 1 Menú de Configuración de LaserGRBL 3
Figura Manual de Calibración 2 Valores de calibración $100 y $101 4
Figura Manual de Calibración 3 Parámetros para prueba de grabado..... 4
Figura Manual de Calibración 4 Prueba de grabado lista para ejecución..... 5
Figura Manual de Calibración 5 Primera iteración del grabado 5
Figura Manual de Calibración 6 Iteraciones de la prueba de grabado 6
Figura Manual de Calibración 7 Verificación de las medidas..... 7
Figura Manual de Calibración 8 Gráfrico de pruebas de rectitud..... 8
Figura Manual de Calibración 9 Prueba de circularidad..... 9
Figura Manual de Calibración 10 Prueba de grabado 11
Figura Manual de Calibración 11 Accuracy Test del Software LaserGRBL.....11
Figura Manual de Calibración 12 Accuracy test lista para ejecución 12
Figura Manual de Calibración 13 Resultado del accuracy test propio del LaserGRBL..12
Figura Manual de Calibración 14 Prueba de rectitud de ejes E1 13
Figura Manual de Calibración 15 Prueba de rectitud de ejes E2 13
Figura Manual de Calibración 16 Prueba de circularidad 14
Figura Manual de Calibración 17 Prueba de medición de ángulos 14
Figura Manual de Calibración 18 Convergencia medidas eje X.....15
Figura Manual de Calibración 19 Convergencias medidad eje Y 15
Figura Manual de Calibración 20 Convergencia medidas Prueba Circularidad.....16
Figura Manual de Calibración 21 Convergencia medidas de Ángulos de 45.....16

PREPARACIÓN INICIAL

Configuración de LaserGRBL para primeros usos:

a) Conectar la máquina al ordenador mediante USB.

b) Abrir LaserGRBL, en caso de que no se dé de forma automática, seleccionar el puerto serial correcto, y presionar el ícono de conectar.

c) Cuando se visualice la confirmación de la conexión se puede continuar.

Estado de la Máquina:

a) Asegúrarse de que la máquina esté en estado "Idle". Si está en "Alarm", presionar Unlock para desbloquearla. Esto se puede observar en la barra de tareas inferior derecha.

Verificación de Componentes:

a) Limpia las guías lineales y revisa el estado de la máquina siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 230-1:2012(E), sección 6.1 sobre preparación e instalación antes de realizar pruebas. Esta sección indica que “La máquina herramienta debe instalarse sobre una base adecuada, acordada entre el proveedor/fabricante y el usuario.” (International Organization for Standarization, 2012).

CALIBRACIÓN DEL LÁSER

Distancia del Láser:

a) Usa un bloque de calibración de 20 mm para mantener la distancia correcta entre el láser y el material.

Pruebas de Grabado:

a) Ejecuta patrones básicos (líneas, cuadrados) y verifica la uniformidad del grabado. Ajusta la configuración de potencia o velocidad según los resultados. Esto se detalla en la sección 3. Calibración de Ejes.

CALIBRACIÓN DE EJES

Para calibrar los ejes, se debe abrir el menú Grbl en la esquina superior derecha, y dar click en la opción llamada Grbl Configuration.

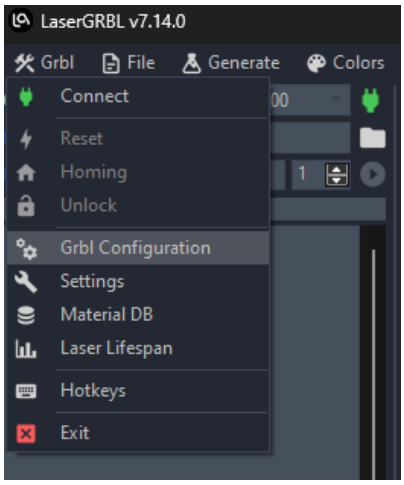


Figura Manual de Calibración 1 Menú de Configuración de LaserGRBL

Cuando este menú se despliegue se observan varias opciones. Las que son de interés para nuestra máquina son las $100 y $101.

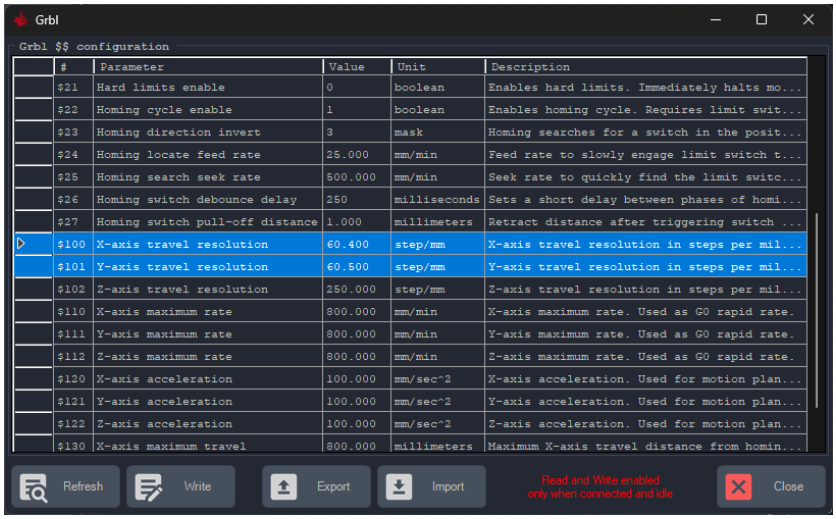


Figura Manual de Calibración 2 Valores de calibración $100 y $101

Los pasos que se deben seguir para calibrar estos valores son:

a) Realizar un movimiento conocido, en este caso usando la siguiente imagen referencial, en el software se configura un valor de altura de 50 mm.

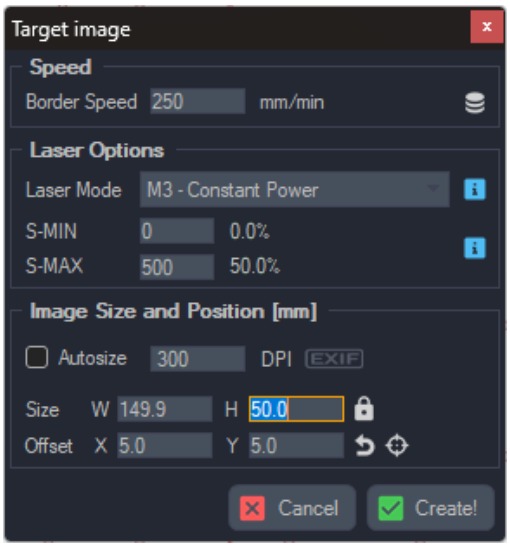


Figura Manual de Calibración 3 Parámetros para prueba de grabado

b) Tomando en cuenta las opciones establecidas, se ejecuta el grabado.

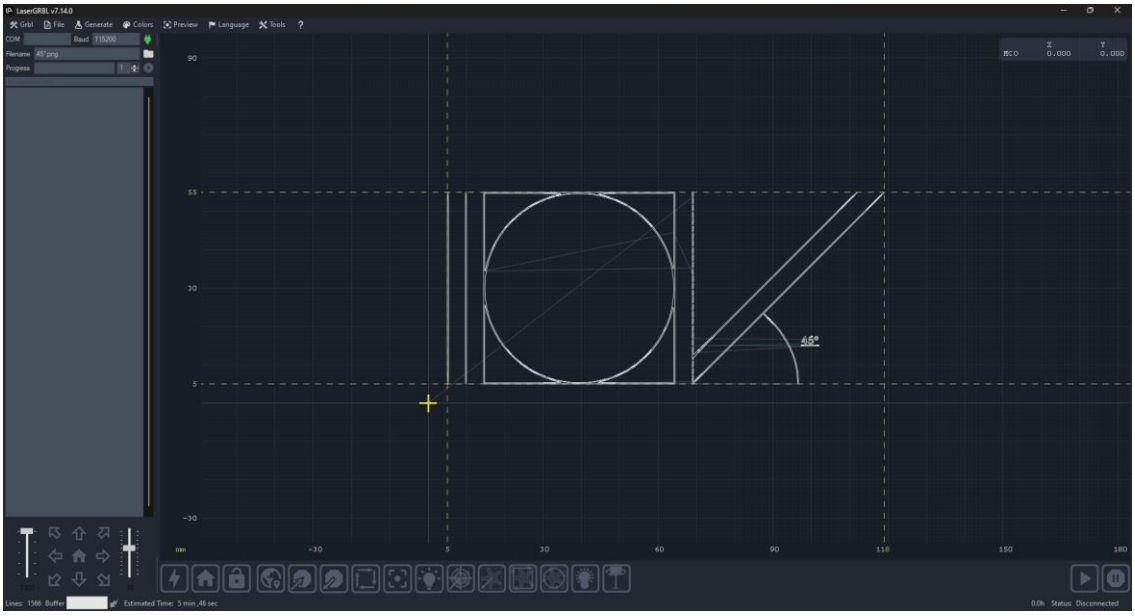


Figura Manual de Calibración 4 Prueba de grabado lista para ejecución

Figura Manual de Calibración 5 Primera iteración del grabado

c) Mide la distancia real recorrida y ajusta los valores de $100 y $101 con la fórmula, se actualiza seleccionando el botón Write:

$$Factor\ de\ Corrección = Valor\ Actual \cdot \frac{Distancia\ Real}{Distancia\ Medida}$$

d) En este caso, las dimensiones del grabado son inferiores a las deseadas, por lo que se procede con las iteraciones.

e) Repite hasta lograr una precisión conforme a las tolerancias geométricas establecidas por la norma ISO 230-1:2012(E), en este caso es: 100 mm ± 0,006 mm (International Organization for Standarization, 2012).

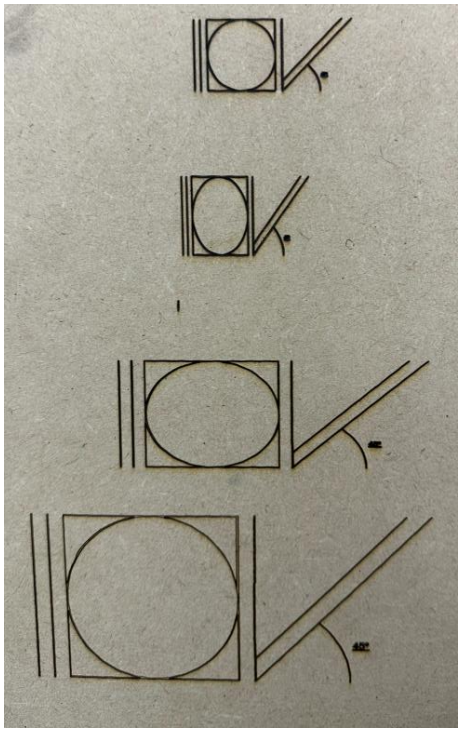


Figura Manual de Calibración 6 Iteraciones de la prueba de grabado

f) Cuando se garantice que las tolerancias son suficiente para el caso, se guarda los valores finales.

Figura Manual de Calibración 7 Verificación de las medidas

Pruebas de exactitud geométrica, de acuerdo con la norma ISO 230-1:2012 (E) (International Organization for Standarization, 2012). en la sección 8.2, se realiza el siguiente procedimiento.

a) Alinear la regla aproximadamente paralela a la dirección de movimiento del componente.

b) Girar la regla recta 180° y repetir la medición.

c) Procesar los datos para separar los errores de la regla de los errores de movimiento lineal. (E1 y E2)

d) Analizar las desviaciones medidas con la referencia. (Rectitud)

e) Determinar si hay patrones repetitivos que se puedan corregir. (Errores sistemáticos)

f) Aplicar las siguientes ecuaciones para determinar errores en la rectitud de los ejes.

$$M(X) = \frac{[E_1(X) + E_2(X)]}{2}$$

$$S(X) = \frac{[E_1(X) - E_2(X)]}{2}$$

Donde M(X) es la desviación de rectitud de la superficie de referencia con respecto a una posición de medida en X. Y S(X) es la desviación de la rectitud del eje de movimiento con respecto a una posición de medida X(S).

Después de realizar 4 iteraciones se logró reducir la desviación media de rectitud. Obteniendo una media de M(X) = 0.032mm y S(X) = 0.014mm. La desviación es menor a 0.25mm por ende el proceso de calibración de rectitud de ejes es aprobado.

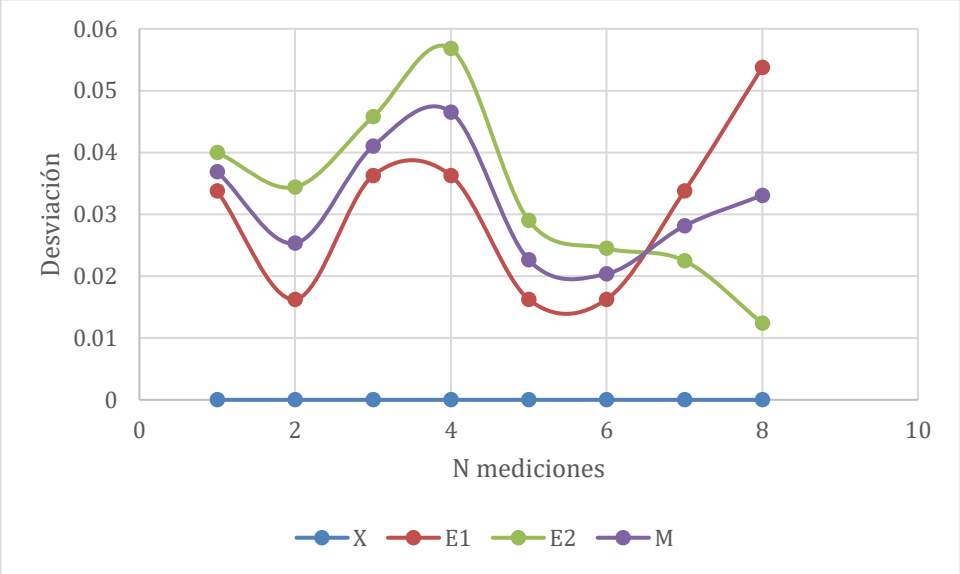


Figura Manual de Calibración 8 Gráfrico de pruebas de rectitud

PRUEBA DE CIRCULARIDAD

Se realizó una trayectoria circular de acuerdo con la norma ISO 230-1:2012 (E) (International Organization for Standarization, 2012). en la sección 11.3. A continuación se detalla el proceso.

a) Programar un círculo con un radio determinado.
b) Dibujar dos círculos de referencia; el primer círculo con un radio menor correspondiente a la desviación circular mínima, y el segundo circulo con un radio mayor, correspondiente a la desviación circular máxima.
c) Se mide la desviación para cada prueba.

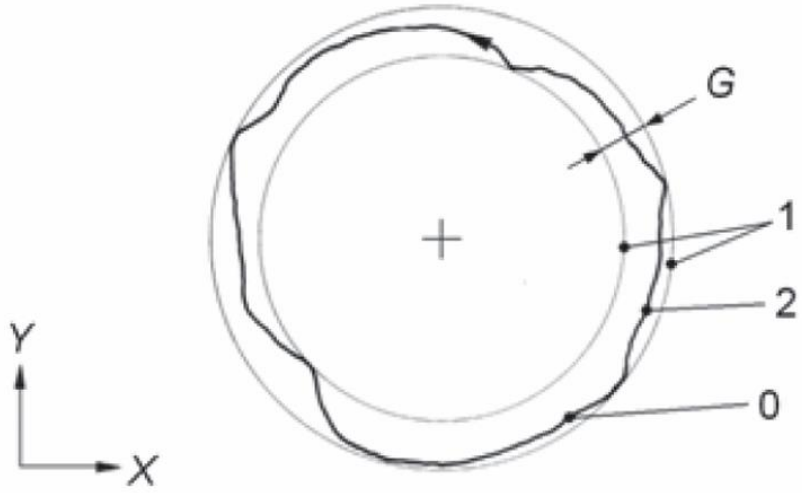


Figura Manual de Calibración 9 Prueba de circularidad

Donde, 1 corresponde a los círculos de referencia, y G es la desviación circular.

Finalmente, se logró reducir la desviación hasta llegar a la convergencia entre los radios y el radio programado.

LÍMITE DEL ÁREA DE TRABAJO

Límites de Software ($20):

a) Activa los Soft Limits ($20=1) y configura correctamente los límites físicos ($130, $131) para proteger la máquina de movimientos no deseados. Se recomienda usar los siguientes valores:

   - $130: 1005 mm
   - $131: 500 mm

b) Siempre que se actualicen estos valores es necesario realizar un ciclo de "Homing" para verificar que el área de trabajo esté correctamente delimitada.

ANEXOS

Se usa la siguiente geometría con el láser para verificar el estado de exactitud, perpendicularidad y la prueba de circularidad. Se grafica un cuadrado de 50 mm en cada lado, y se verifica dos de sus lados para el eje X y los otros dos lados para el eje Y. Además, se grafica un círculo de radio 25 mm y se lo compara con el resultado experimental para ambos ejes XY. Finalmente se realizan líneas paralelas y perpendiculares para medir ángulos.

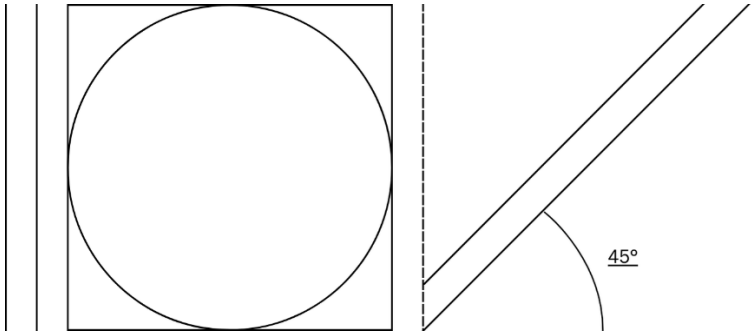


Figura Manual de Calibración 10 Prueba de grabado

Como extra, se puede realizar la misma prueba cargando el modo Accuracy Test propio del software LaserGRBL:

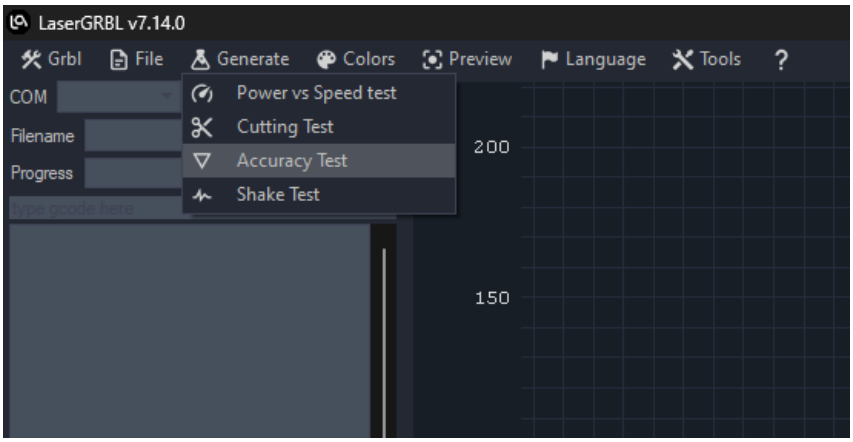


Figura Manual de Calibración 11 Accuracy Test del Software LaserGRBL

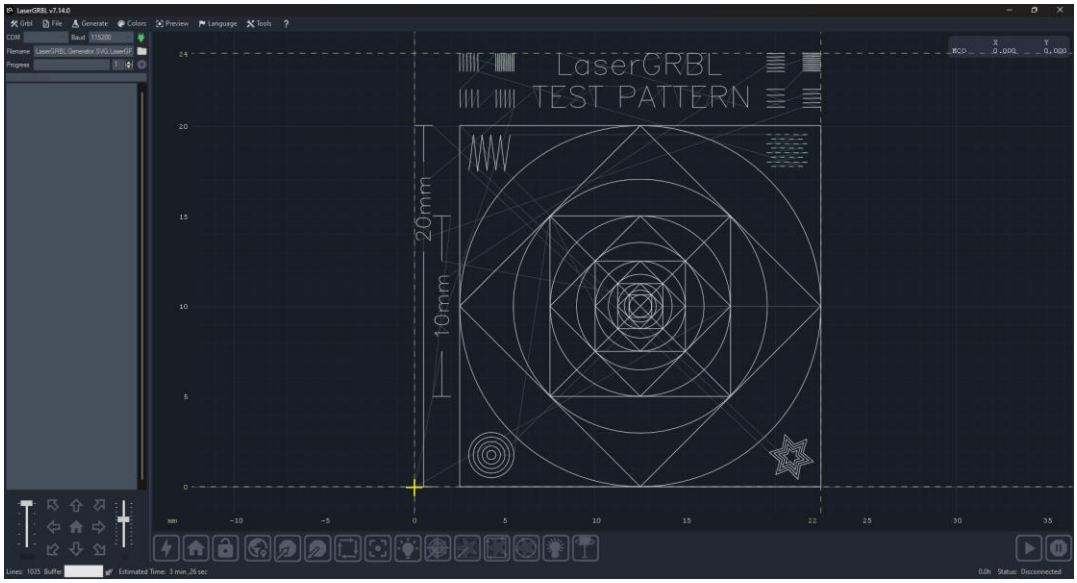


Figura Manual de Calibración 12 Accuracy test lista para ejecución

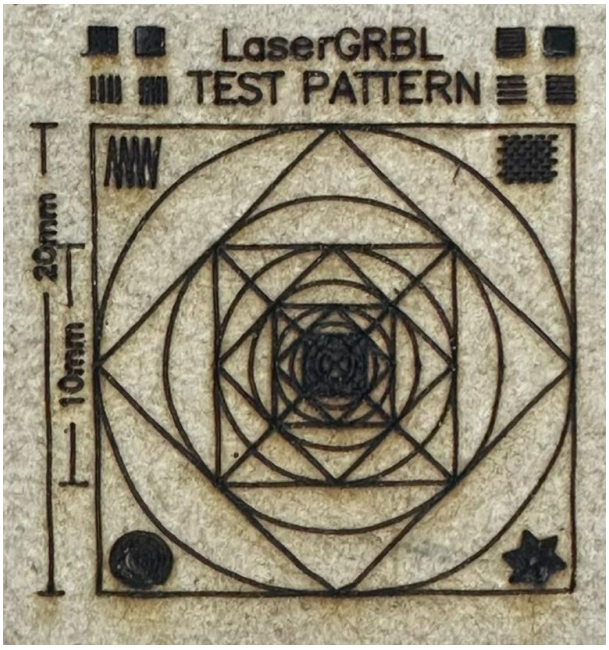


Figura Manual de Calibración 13 Resultado de la precisión (accuracy test) propio del LaserGRBL

EJEMPLO DE ITERACIONES

Se realizaron 4 pruebas hasta lograr calibrar y verificar el correcto funcionamiento de la máquina.

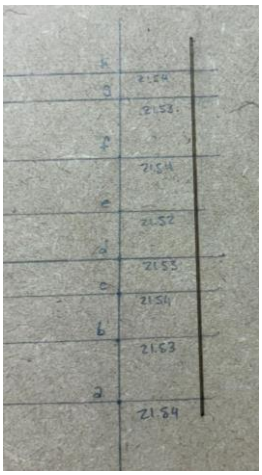


Figura Manual de Calibración 14 Prueba de rectitud de ejes E1

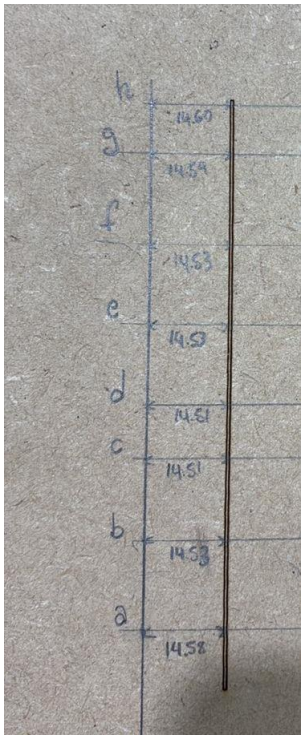


Figura Manual de Calibración 15 Prueba de rectitud de ejes E2

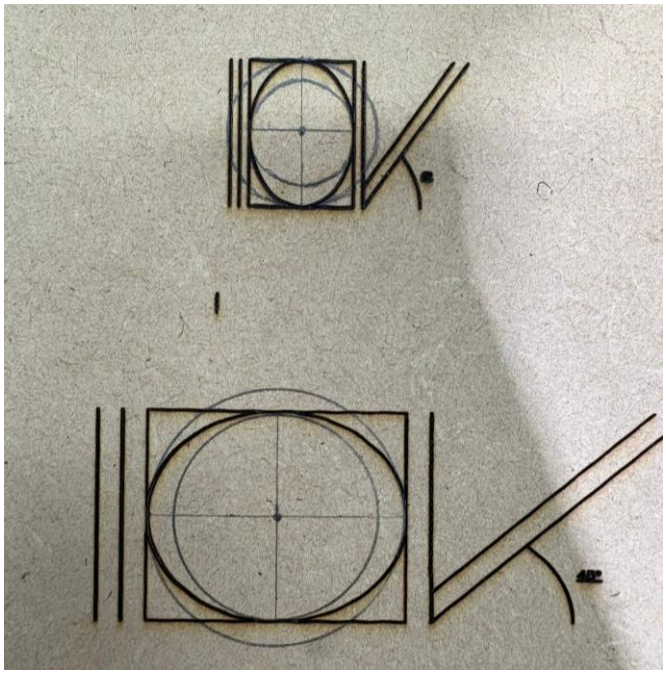


Figura Manual de Calibración 16 Prueba de circularidad

Figura Manual de Calibración 17 Prueba de medición de ángulos

A continuación, se grafica los resultados de las mediciones realizadas. Se evidencia la convergencia de la medición real con la programada para cada prueba.

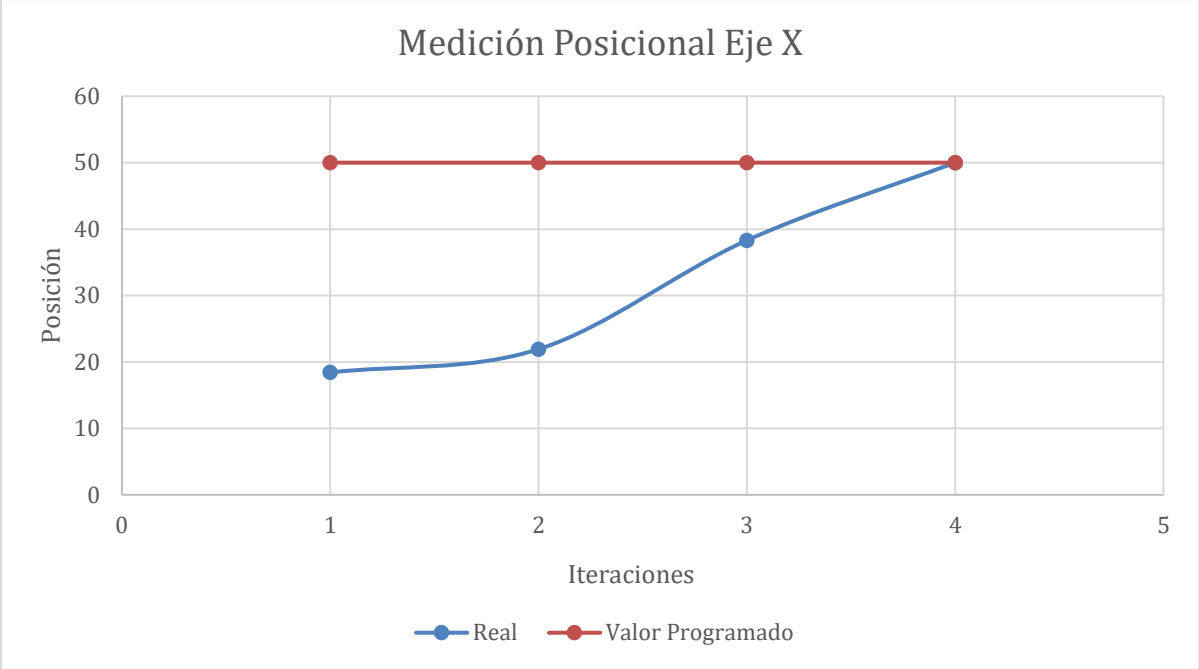


Figura Manual de Calibración 18 Convergencia medidas eje X

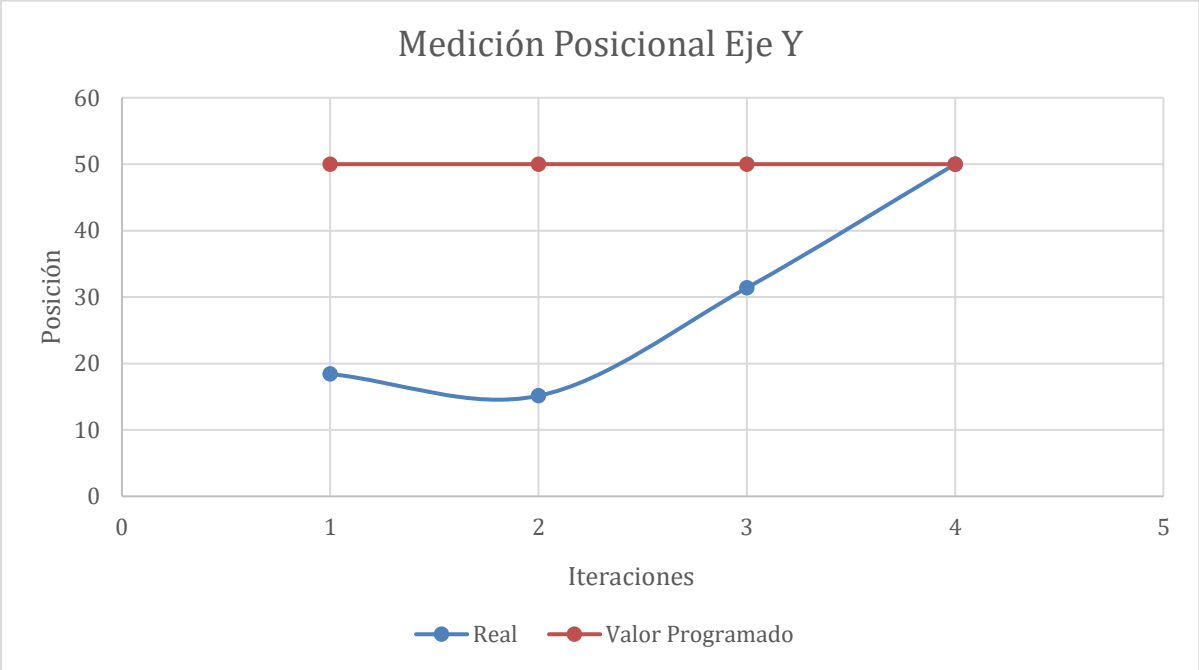


Figura Manual de Calibración 19 Convergencias medidad eje Y

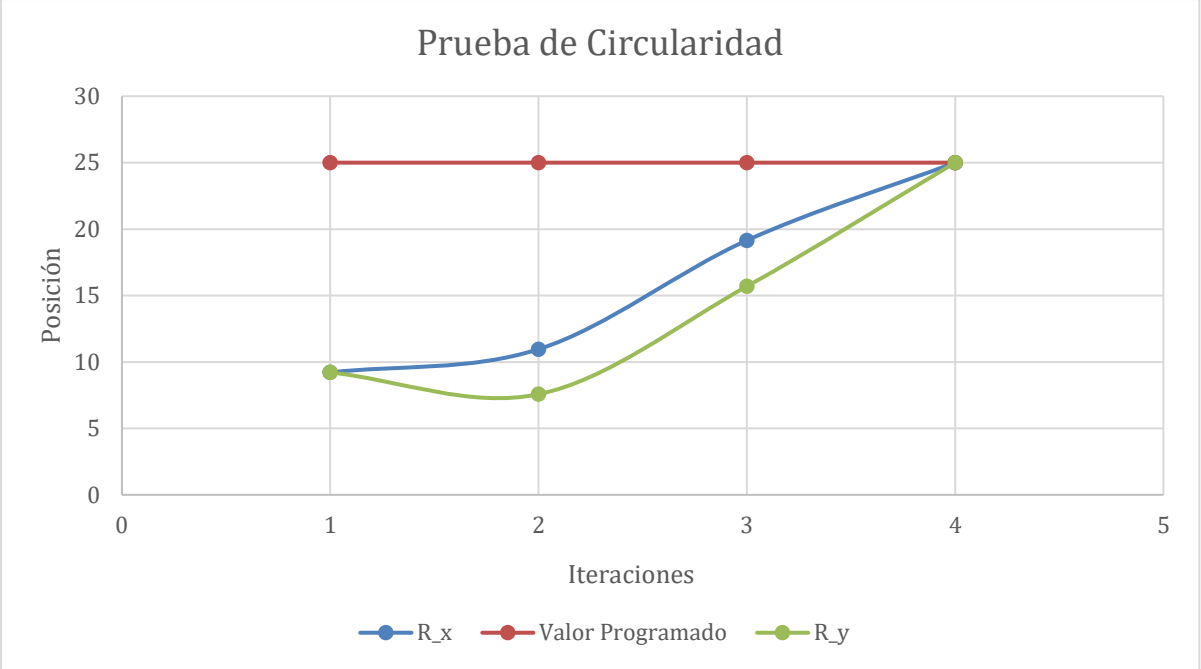


Figura Manual de Calibración 20 Convergencia medidas Prueba Circularidad

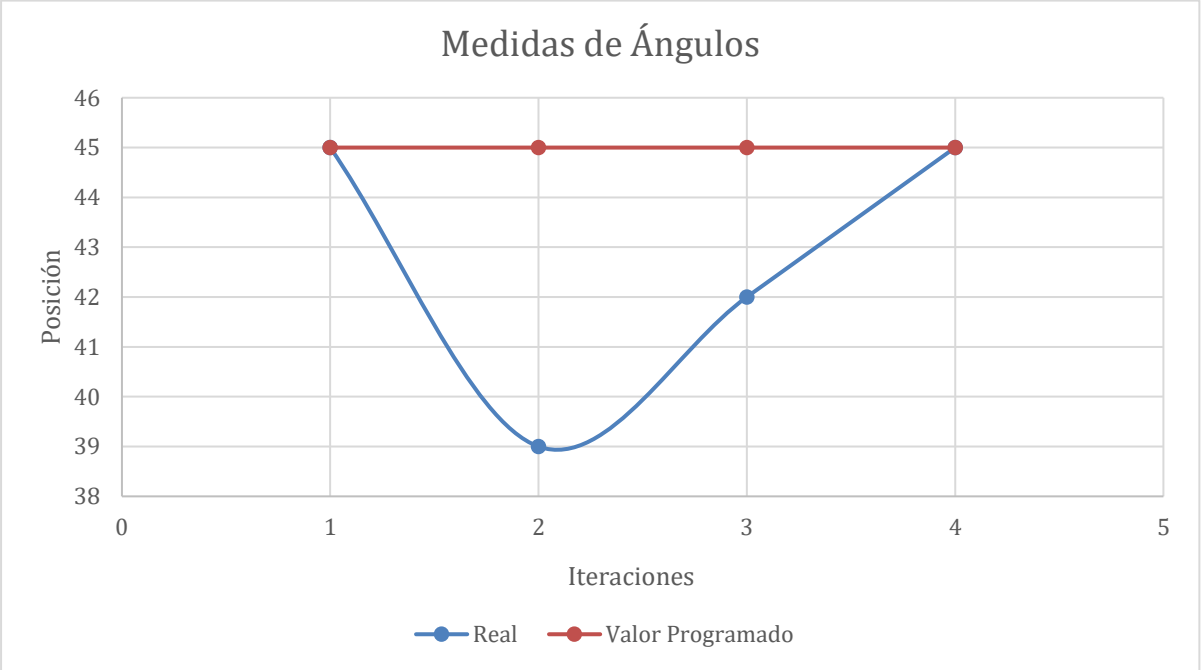


Figura Manual de Calibración 21 Convergencia medidas de Ángulos de 45

Se logró calibrar la máquina siguiendo la norma ISO-230-1 la cual detalla cuales son las pruebas pertinentes y los errores que se deben medir para llegar a la calibración adecuada. Las figuras que fueron grabadas con láser simplificaron el proceso y permitió

que se realicen las 3 pruebas a la vez. Finalmente, los errores presentes en las mediciones se deben a los posibles errores humanos, sin embargo, la calibración ha sido exitosa y los resultados son satisfactorios.

REFERENCIAS

International Organization for Standarization. 2012. Test code for machine tools — Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions. *Reference number* ISO 230-1:2012(E).

ANEXO 3: MANUAL DE MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

MANUAL DE MANTENIMIENTO
PANTÓGRAFO DE CORTE LÁSER CNC

ELABORADO POR: Grupo CNC
REVISADO POR: Grupo CNC
APROBADO POR: Grupo CNC

REVISIÓN: 0

PARTES Y COMPONENTES DE LA MÁQUINA

- Diagrama detallado con las partes principales. Hacer referencia a los planos de conjunto para mejor visualización.

Algunos de los subsistemas más importantes son:

A. Sistema de deslizamiento transversal para chumacera.
B. Sistema de desplazamiento transversal para el motor.
C. Sistema de desplazamiento longitudinal para el láser.
D. Estructura de soporte.
F. Perfil de Aluminio Tipo “C” transversal de 80 x 40 x L800.

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

Se listan las herramientas que permitirán realizar cualquier tarea de mantenimiento sobre la máquina, estas van de acuerdo con las medidas de pernos, tuercas y tornillos que se encuentran en la máquina.

1. Llave Allen de 2.5 mm
2. Llave Allen de 3 mm
3. Llave mixta de 8 mm
4. Llave mixta de 13 mm
5. Destornillador de precisión PH0
6. Destornillador Plano de 5 mm
7. Nivel
8. Escuadra
9. Torquímetro

10. Dado de 8 mm
11. Dado de 13 mm
12. Pinzas

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es un conjunto de acciones recomendadas para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina y prolongar su vida útil. Estas actividades incluyen inspecciones, limpiezas, ajustes y lubricaciones realizadas de manera regular, con el objetivo de prevenir fallas antes de que ocurran (Basri, E. et al., 2017). En el caso de la máquina, se aplicará asegurando que los componentes clave, como los tornillos sin fin, acoples y husillos, se mantengan en óptimas condiciones mediante una rutina periódica de revisión y cuidado. Esto no solo evita interrupciones en el trabajo, sino que también mejora la eficiencia y precisión del equipo.

TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y SUS FRECUENCIAS

Tarea de Mantenimiento	Frecuencia
Inspección de tornillos sin fin, perfiles y husillos.	Cada inicio de ciclo operativo.
Lubricación de partes móviles.	Cada 3 a 5 meses.
Limpieza de polvo, viruta y contaminantes.	Cada 3 a 5 meses.
Verificación de conexiones eléctricas.	En caso de que el sistema no esté funcionando correctamente.
Actualización del software LaserGrbl a su última versión.	Cada que se abra el software habrá una advertencia.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

- Calibración de la máquina:
    - Pérdida de precisión en los movimientos:
        - Para este tipo de mantenimiento se debe seguir el manual de calibración, anexado al manual de operación de la máquina.
    - Fallos en la comunicación con el software.
        - La solución usual suele ser desconectar y cambiar el puerto al que está conectado el USB que conecta al Arduino con la computadora. Caso contrario, verificar que el firewall no impida la conexión y verificar que los drivers requeridos sean instalados.
- Mantenimiento de componentes.
    - Componentes móviles:
        - Para reemplazar, ajustar, relubricar y dar mantenimiento a los elementos móviles es necesario seguir las siguientes pautas:
            - Limpiar el área de trabajo, asegurarse de que está bien iluminada y nivelada.
            - Usar grasa con base de litio EP-2. De preferencia sintética para garantizar compatibilidad con la grasa que se aplicó en el ensamble principal.
            - En caso de necesitar reajustar espárragos, tornillos y pernos, hacerlo con las herramientas descritas al inicio, sin necesidad de forzar el apriete.
    - Componentes fijos:

- Para los componentes estructurales o que no se mueven es primordial garantizar que sus ejes estén alineados. Para ello se hace uso de la escuadra y el nivel. Usualmente van a requerir de reajuste seguido de nivelación, por este motivo, se recomienda usar un torquímetro configurado para ejercer un torque de 6 Nm al momento de ajustar.
- En caso de golpes, rayaduras o deformaciones; determinar si la falla tiene efecto significativo en el funcionamiento de la máquina, en caso de que no, puede operar de forma regular. En caso de que el funcionamiento normal se vea comprometido, determinar si la solución está al alcance del usuario, haciendo referencia a la sección de problemas comunes, caso contrario, contactar con soporte.

PROBLEMAS COMUNES

Cambio de Acoples:

1. Desajustar los pernos de la placa que soporta la chumacera.
2. Con cuidado, desajustar los espárragos del acople dañado.
3. Rotar poco a poco el tornillo sin fin para que poco a poco se pueda extraer la placa, la chumacera y el tornillo.
4. Cuando se tenga suficiente espacio, extraer el acople dañado y reemplazarlo.
5. Garantizar que, al insertarlo quede bien alineado con el tornillo sin fin.
6. Repetir los pasos 3 hacia 1 para garantizar que el sistema se encuentra fijo.
7. En caso de que se necesite, nuevamente lubricar los componentes.

Ajuste del empaque de los husillos:

1. Si el empaque del husillo se está retrasando o, caso contrario, sale por completo del husillo hay que reinsertarlo y ajustarlo.
2. Desajustar los 4 tornillos que sujetan el husillo del slider al que está acoplado.
3. Cuidadosamente, se gira el tornillo sin fin sujetando el slider para que el husillo se mueva.
4. Cuando se tenga suficiente espacio, soportar el slider en alguna base para evitar daños al perfil transversal.
5. Desajustar los espárragos del husillo que ajustan el empaque.

6. Girar el empaque hasta que se inserte nuevamente en la ranura correspondiente.
7. Apretar los espárragos sin necesidad de forzar el apriete. Esto puede generar pérdidas de calibración de la máquina.
8. Verificar el movimiento y nivelar nuevamente ambos sliders para garantizar que se mueven en paralelo.
9. En caso de que se necesite, nuevamente lubricar los componentes.

Armado de husillo:

1. Si la máquina está siendo usada sin el empaque del husillo fijo, las bolas internas pueden caerse. Si esto ocurre, procurar alistar una estación de trabajo limpia, de preferencia con papel en la mesa. Alistar un pedazo de tubo PVC de 16 mm de diámetro para facilitar la extracción del husillo.
2. Desajustar los 4 tornillos que sujetan el husillo del slider al que está acoplado.
3. Cuidadosamente, se gira el tornillo sin fin sujetando el slider para que el husillo se mueva.
4. Cuando se tenga suficiente espacio, soportar el slider en alguna base para evitar daños al perfil transversal y facilitar la extracción del husillo.
5. Recoger las bolas que han caído, si aún se encuentran dentro del husillo, mover el tornillo sin fin con cuidado y extraer el husillo con la mano, colocando el tubo PVC como una guía para evitar que más bolas caigan.

6. Con el husillo afuera, usar las llaves Allen para desajustar el soporte de aluminio en el que viene montado.
7. Colocar el husillo sobre la mesa de trabajo limpia, o sobre el papel.
8. Extraer las bolas, y las que han caído limpiarlas con desengrasante.
9. Si la grasa que se encuentra dentro del husillo está en mal estado, limpiar el interior del husillo con desengrasante.
10. Verificar que los 3 topes plásticos que se encuentran dentro del husillo no están rotos. Colocarlos nuevamente en su posición original.
11. Con ayuda de las pinzas, colocar un poco de grasa en el circuito de bolas intermedio.
12. Armar el circuito intermedio, asegurando las bolas con grasa. **IMPORTANTE:** En cada circuito el número máximo de bolas es de 17, no importa que quede un espacio ya que este es necesario para que el husillo pueda moverse en ambas direcciones.
13. Armar los circuitos frontal y trasero siguiendo los pasos 11 y 12. Se recomienda limpiar y reinsertar el tubo de PVC para facilitar el armado de los circuitos.
14. Cuando todos los circuitos estén armados, mover el husillo en conjunto con el tubo.
15. Alinear el tubo con el tornillo sin fin y cuidadosamente girar el husillo en sentido horario.
16. No forzar a que el husillo ingrese, este debe hacerlo de forma delicada y con movimientos fluidos.

17. Una vez montado en el tornillo, garantizar que el husillo pueda moverse en ambos sentidos.
18. Reensamblar el husillo sobre el carrito repitiendo los pasos 4 hacia 2.

REGISTRO DE MANTENIMIENTO

- Este es un ejemplo de una plantilla para registrar las tareas de mantenimiento realizadas, la fecha y la causa raíz en caso de averías. Se recomienda llevar este registro para garantizar que las tareas de mantenimiento preventivo, clasificadas bajo la columna ILL (inspección, lubricación, limpieza), se realicen de forma periódica, garantizando el funcionamiento correcto de la máquina.
- El ejemplo de llenado para tareas es el siguiente:

REGISTRO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Componente	¿Qué?	Fecha	Cambio	ILL	Causa raíz
Todos los Husillos	Reensamble del husillo	12 nov 2024	No	--	Mala lubricación
Tornillo sin fin superior	Relubricación	2 dic 2024	No	Lubricación	--
Husillo longitudinal derecho	Reajuste del empaque	2 dic 2024	No	--	Ajuste inapropiado
Acople longitudinal izquierdo	Avería	2 dic 2024	Si	Inspección	Mala alineación con el tornillo

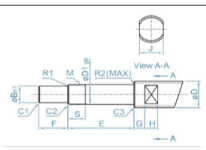
SOPORTE TÉCNICO

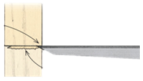
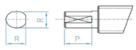
- Diego Vera (Diseño del sistema electrónico y móvil)
  - dvera@estud.usfq.edu.ec
- Joanne Wells (Diseño del sistema móvil y estático)
  - jwellsa@estud.usfq.edu.ec
- Carlos Vásquez (Diseño del sistema móvil y estático)
  - cvasquez@estud.usfq.edu.ec
- Héctor Freire (Diseño del sistema móvil)
  - hdfreire@estud.usfq.edu.ec

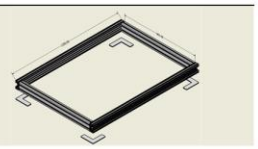
REFERENCIAS

Basri, E. I., Razak, I. H. A., Ab-Samat, H., & Kamaruddin, S. (2017). Preventive maintenance (PM) planning: a review. *Journal of quality in maintenance engineering*, *23*(2), 114-143.

ANEXO 4: HOJA DE PROCESOS

	Hoja de Procesos			
CONJUNTO	Tornillo sin fin	MATERIAL	Acero Inoxidable	
PLANO	NA	DIMENSIONES EN BRUTO	L = 1200 mm	
REALIZADO	D Vera, C Vasquez, H Freire	COMPROBADO	J Wells	
FECHA	10/9/2024	FECHA	10/9/2024	

No.	Etapa	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Superficie	Tiempo de máquina	Herramienta de control
1	Corte	Corte con Sierra con una precisión de +-2mm	820 mm (x2) 1200 mm (x1)		N12	2-5 min	Calibrador
2	Refrentado	Torno	øD = 12 mm øB = 10 mm		N8	1-3 min	Calibrador
3	Cilindrado Externo	Torno	E = 39 mm F = 15 mm		N8	5-15 min	Calibrador
4	Roscado	Torno	M12x1		N8	3-10min	Calibrador
5	Chaveta	Torno	R = 9.45 mm P = 12 mm		N8	3-10min	Calibrador

	Hoja de Procesos			
CONJUNTO	Estructura Base	MATERIAL	Aluminio	
PLANO	NA	DIMENSIONES EN BRUTO	NA	
REALIZADO	D Vera, C Vasquez, H Freire	COMPROBADO	J Wells	
FECHA	10/9/2024	FECHA	10/9/2024	

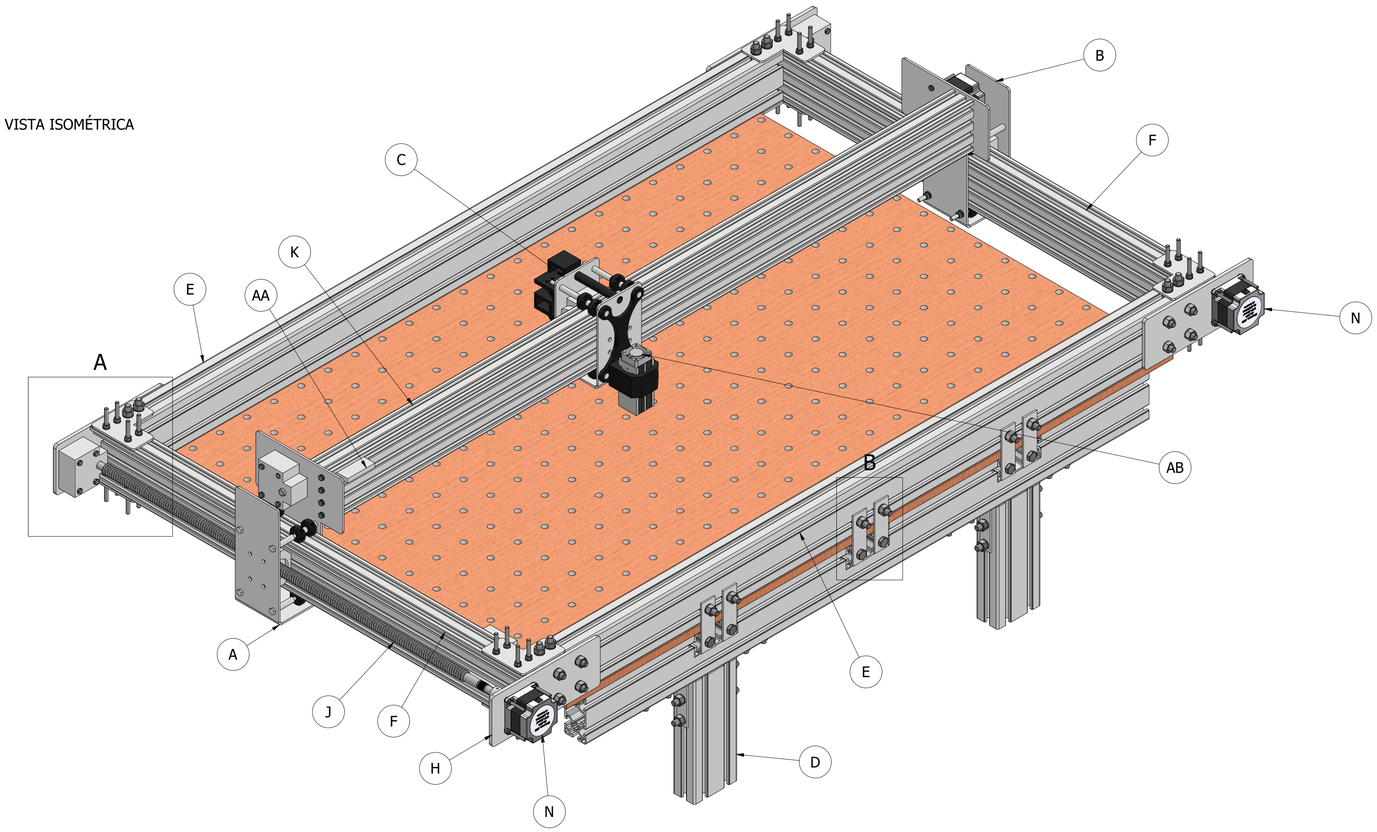
No.	Descripción de la Operación	Mecanizado	Parámetros	Esquema	Superficie	Tipo	empo de mecaniza	Herramienta de control
1	Corte de perfiles 40x80 tipo C	Corte con disco sierra	800mm (x2) 1200mm (x1)		N12	Corte	2 min	Flexómetro
2	Corte de perfiles 40x80	Corte con disco sierra	1200mm (x2) 50mm (x4) 100mm (x4) 880 (x2) 1040 (x2)		N12	Corte	2 min por pieza	Flexómetro
3	Corte de planchas de aluminio	Corte con agua	De acuerdo al plano		N5	Corte	10 min por pieza	Calibrador
4	Doblez de planchas	Plegadora	De acuerdo al plano		NA	Doblez	3 min por doblez	Escuadra

ANEXO 5: ANÁLISIS DE COSTOS

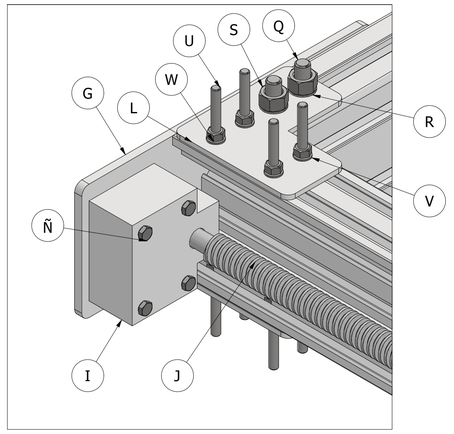
ITEM	PROVEEDOR	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
Perfil de aluminio tipo "C" 80x40	Perfiles CNC	3	$41.86	$125.57
Perfil de aluminio 80x40	FEMEC SA	7	$20.05	$140.35
Cadena de arrastre de plástico para CNC	Amazon	3	$13.47	$40.41
Driver TB6600	Amazon	3	$9.27	$27.80
Modulo Wi-fi	Amazon	1	$9.62	$9.62
Arduino Uno	Amazon	1	$60.00	$60.00
CNC Arduino Shield	Amazon	1	$11.76	$11.76
Rueda v-slot para CNC	Amazon	24	$0.94	$22.46
Motor NEMA23	Amazon	3	$25.67	$77.00
Driver DRV8825	Amazon	3	$5.17	$15.50
Adaptador de corriente CC 5V 2A	Amazon	2	$5.35	$10.69
Componentes eléctricos (capacitores, finales de carrera)	Amazon	NA	$7.60	$7.60
Corte láser	Ecua Panel	2	$32.00	$64.00
Pernos, cables y otros componentes eléctricos	Importadora de Pernos Imporpernos SA	NA	$162.86	$162.86
Disco de corte para aluminio	KIWY Comercial SA	1	$18.25	$18.25
Husillos SFU1605 y Chumaceras BK12	Perfiles CNC	3	$59.63	$178.90
Material de corte MDF	ArtMakeIt	1	$14.47	$14.47
Planos	Prink	1	$16.60	$16.60
Acople motor	Robotics Ecuador	6	$2.00	$12.00
Poster Feria	Prink	1	$12.13	$12.13
				$1,027.97

ANEXO 6: PLANOS DE LOS COMPONENTES

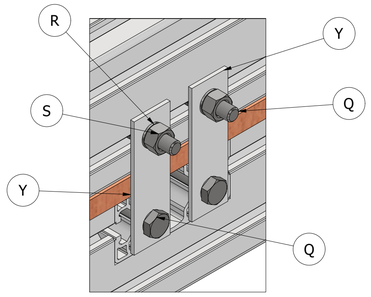
VISTA ISOMÉTRICA



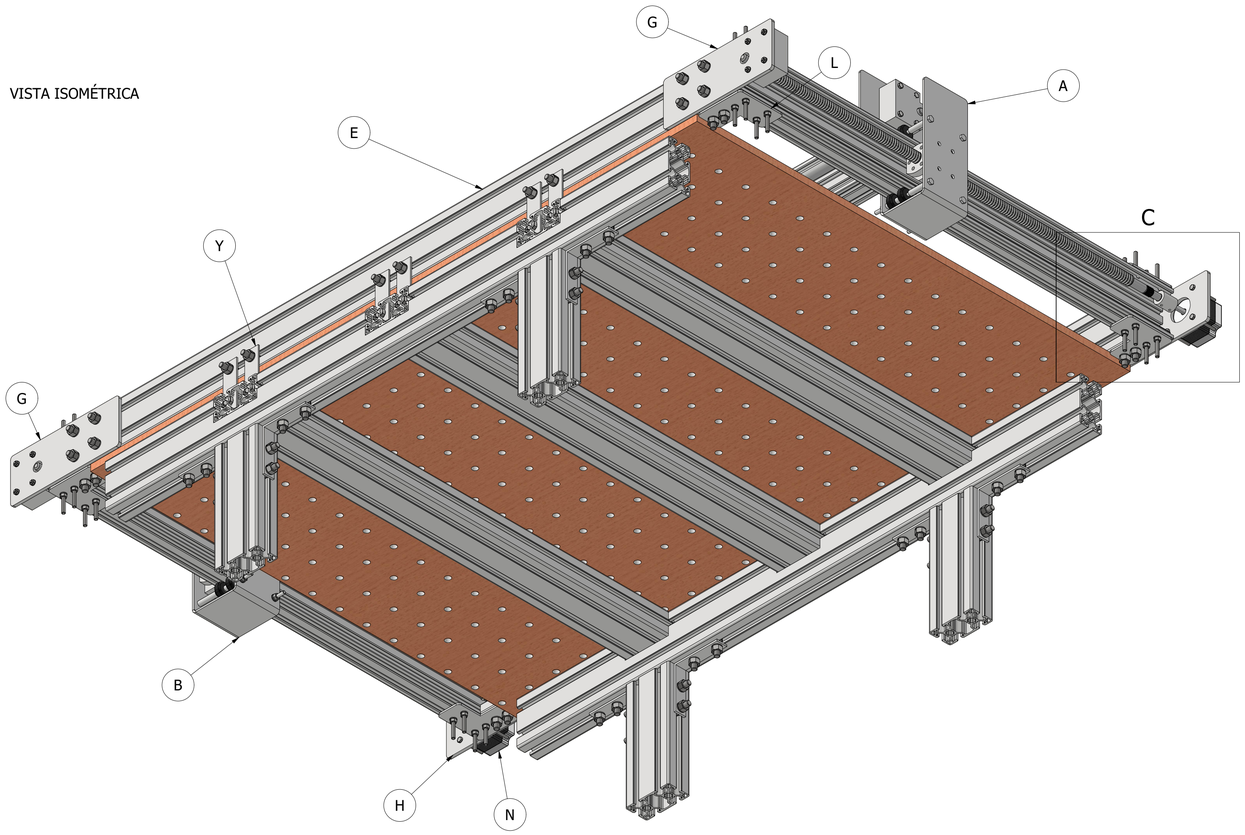
DETALLE A (1 : 1.5)



DETALLE B (1 : 1.5)



VISTA ISOMÉTRICA



DETALLE C (1 : 1.5)

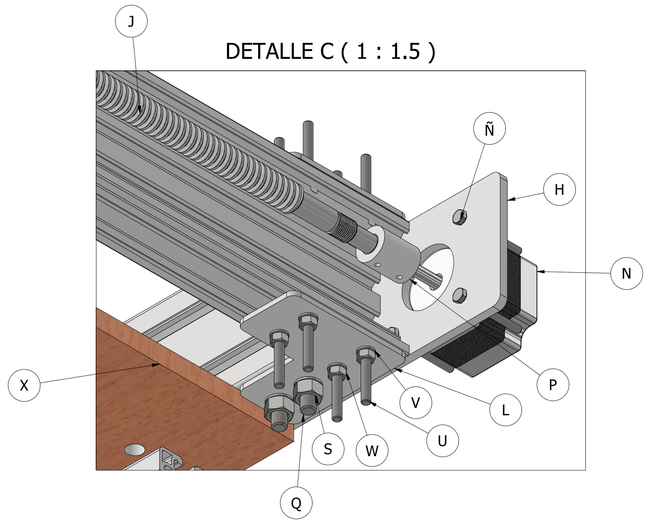
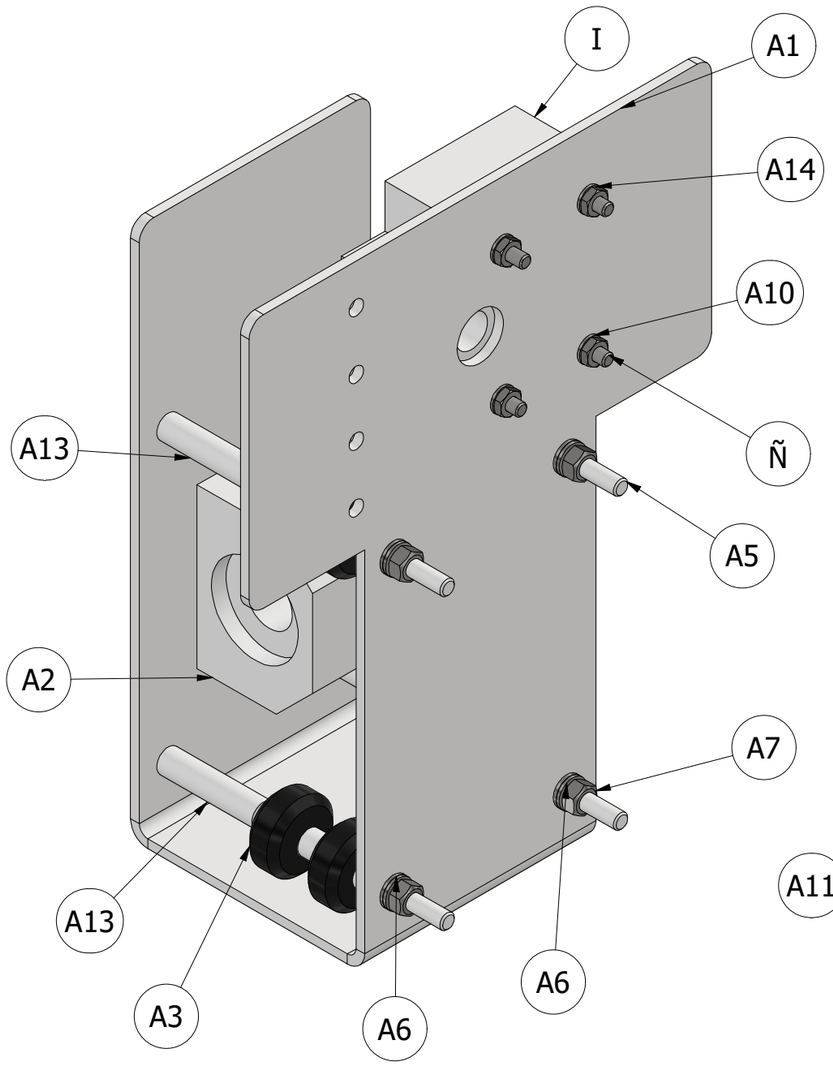


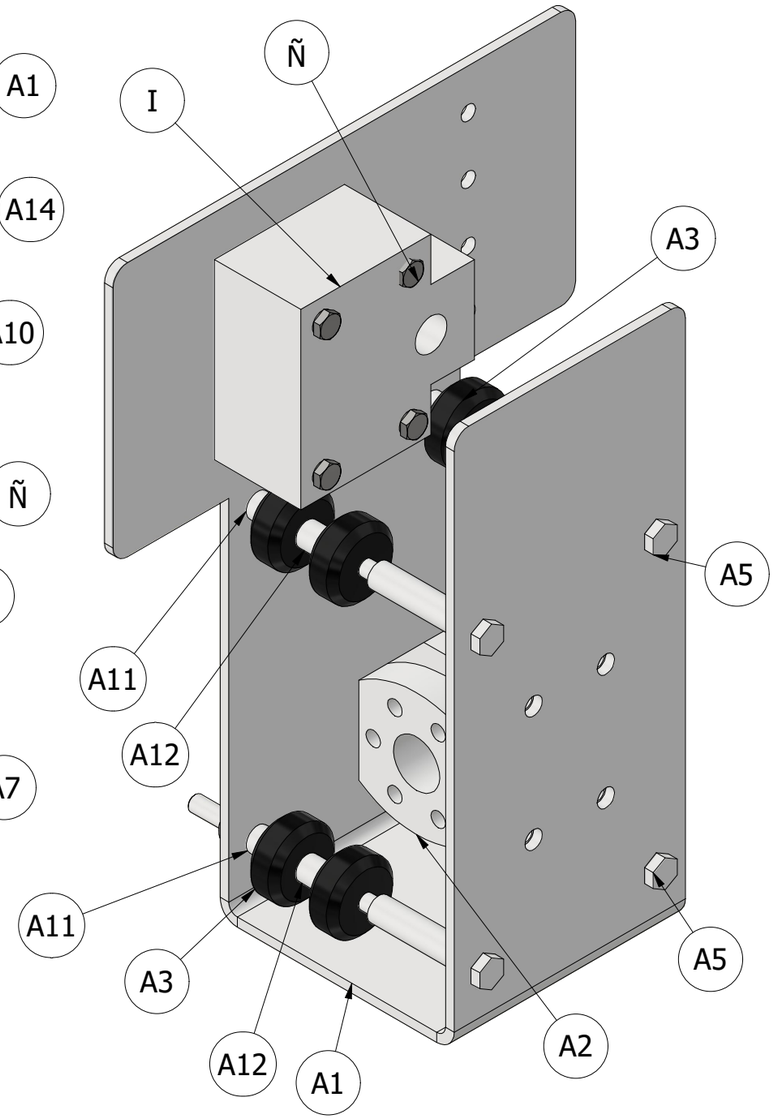
Tabla de Partes General			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
A	1	Sistema de deslizamiento transversal para chumacera	
B	1	Sistema de deslizamiento transversal para motor NEMA27	
C	1	Sistema de deslizamiento longitudinal para laser	
D	1	Estructura de soporte	
E	2	Perfil de aluminio longitudinal 80x40xL1200	
F	2	Perfil de aluminio tipo “C” transversal 80x40xL800	
G	2	Placa de soporte para chumacera BK12	
H	2	Placa de soporte para motor NEMA23	
I	2	Chumacera BK12	
J	2	Tornillo sin fin SFU 1605 L800	
K	1	Perfil de aluminio tipo "C" transversal 80x40xL1200	
L	8	Placa de unión tipo “L” para perfil tipo “C” con perfil 80x40	
M	32	Arandela para Perno M4	
N	2	Motor NEMA 23	
O	16	Tuerca para Perno M4	
P	2	Acople para Tornillo SFU1605 con Motor NEMA23	
Q	56	Perno M8x25	
R	44	Arandela para Perno M8	
S	44	Tuerca para Perno M8x1.25	
T	1	Tuerca para Perno M4x0.7	
U	32	Perno M4x40	
V	32	Arandela para Perno M5	
W	32	Tuerca para Perno M5	
X	1	Tablero de madera 1120x800x12	
Y	12	Platina para unión de Estructura de soporte con Tablero de madera	
Z	8	Perno M4x20	
Ñ	16	Perno M4x40	
AA	2	Sujetador Final de Carrera	
AB	1	Láser 5.5 W Sain Smart	
AC	1	Tornillo sin fin SFU 1605 L1200	

DENOMINACIÓN: Pantografo CNC			ESCALA: 1:4	CÓDIGO: CNC
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio, Madera, Acero y PETG	
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA ISOMÉTRICA



VISTA ISOMÉTRICA

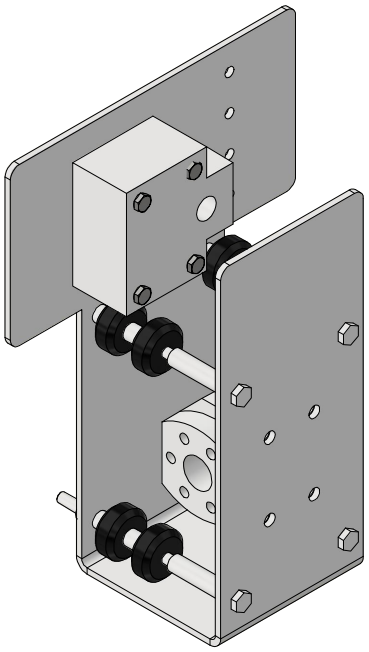


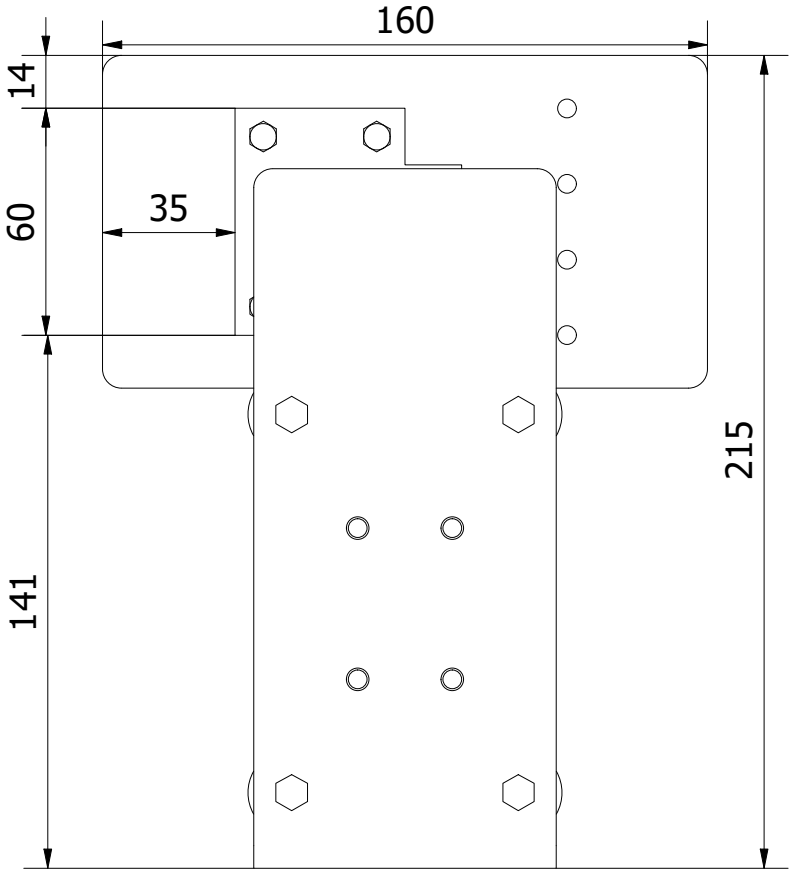
Lista de partes Carrito para chumacera, modulo "A"

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
I	1	Chumacera BK12	
Ñ	4	AS 1110 - M4 x 40	
A1	1	Placa para sistema de deslizamiento de chumacera BK12	
A2	1	Husillo de bolas SFU 1605	
A3	8	Ruedas para ranura en "V"	
A5	4	Perno M5x100	
A6	8	Arandela para Perno M5	
A7	4	Tuerca para Perno M5	
A10	4	Arandela para Perno M4	
A11	4	Buje Espaciador Derecha	
A12	4	Buje Espaciador Medio	
A13	4	Buje Espaciador Izquierda	
A14	4	Tuerca para Perno M4	

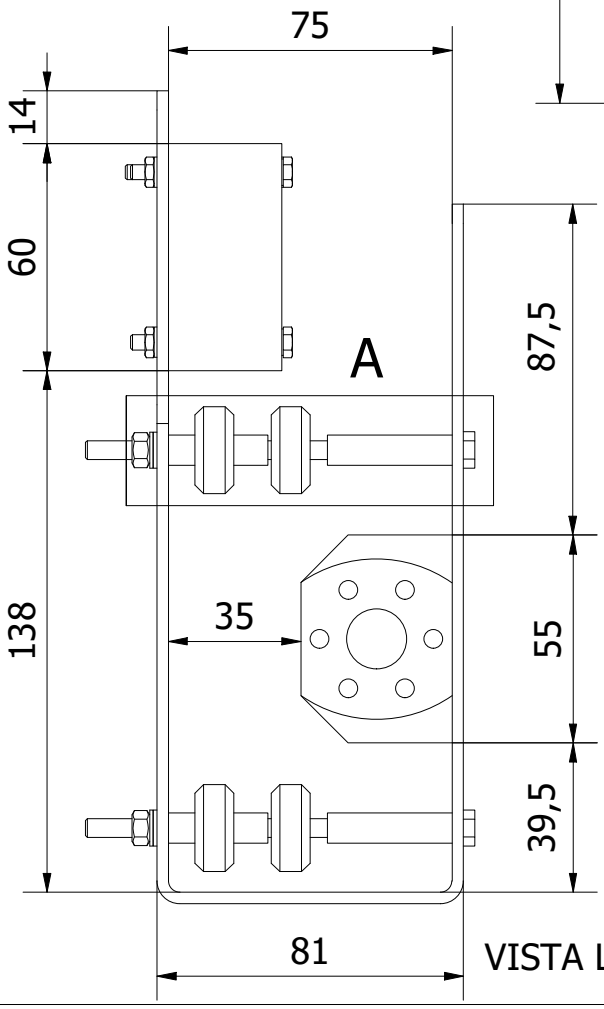
DENOMINACIÓN: Sistema de deslizamiento transversal para chumacera			ESCALA: 1:2	CÓDIGO: A
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio, Madera, Acero, PETG y POM	General
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:4



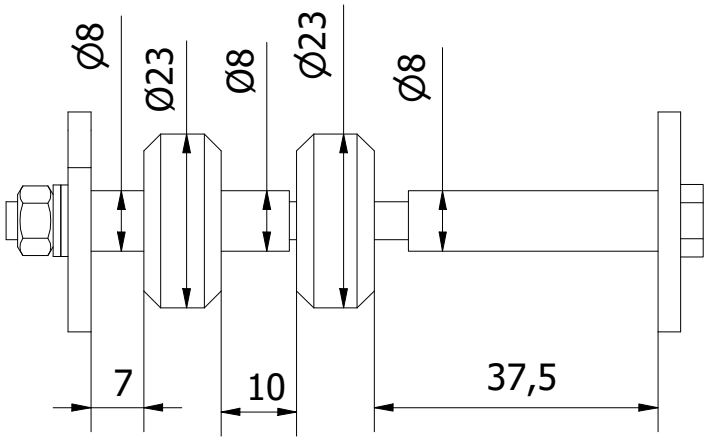


VISTA LATERAL



VISTA LATERAL

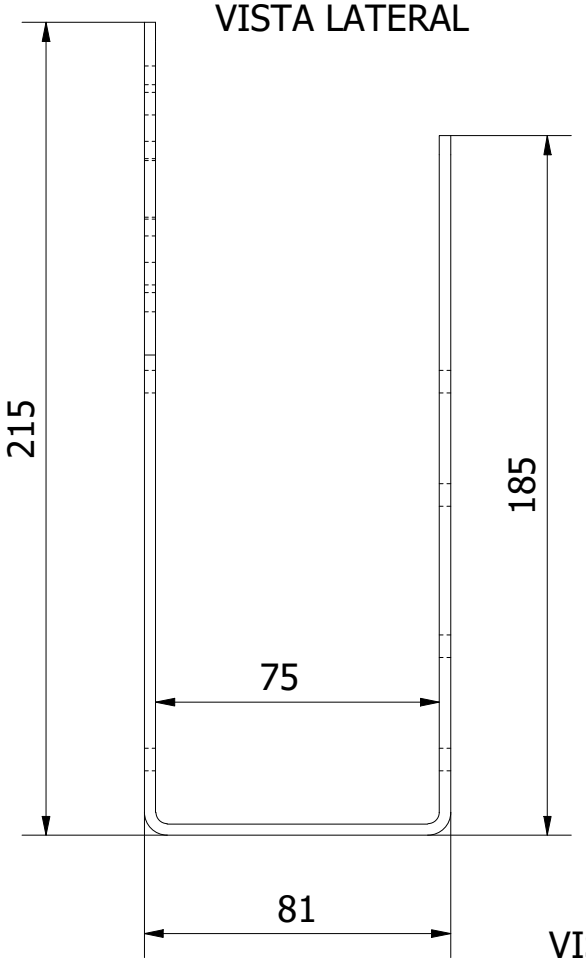
A (1 : 1)



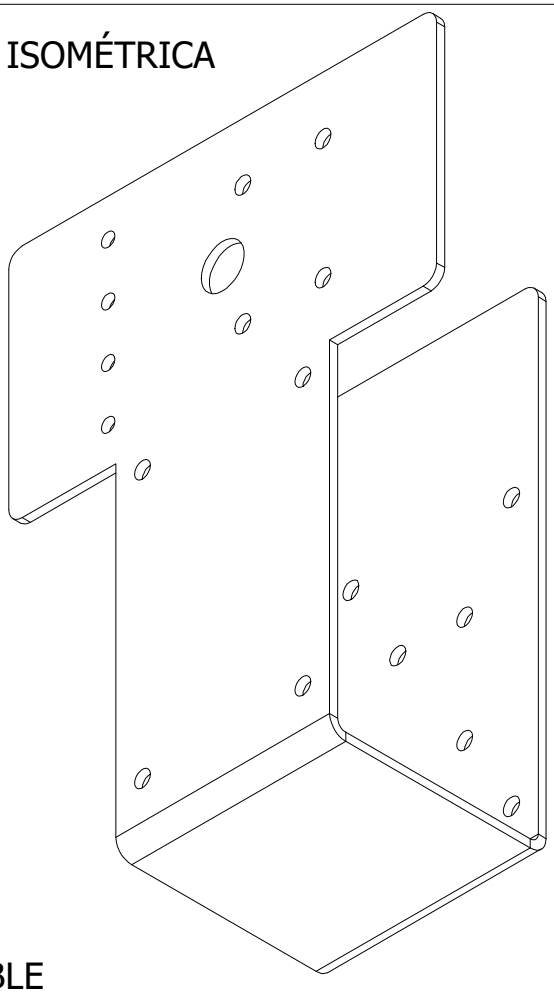
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Sistema de deslizamiento transversal para chumacera	1:2	A

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio, Madera, Acero, PETG y POM	General
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

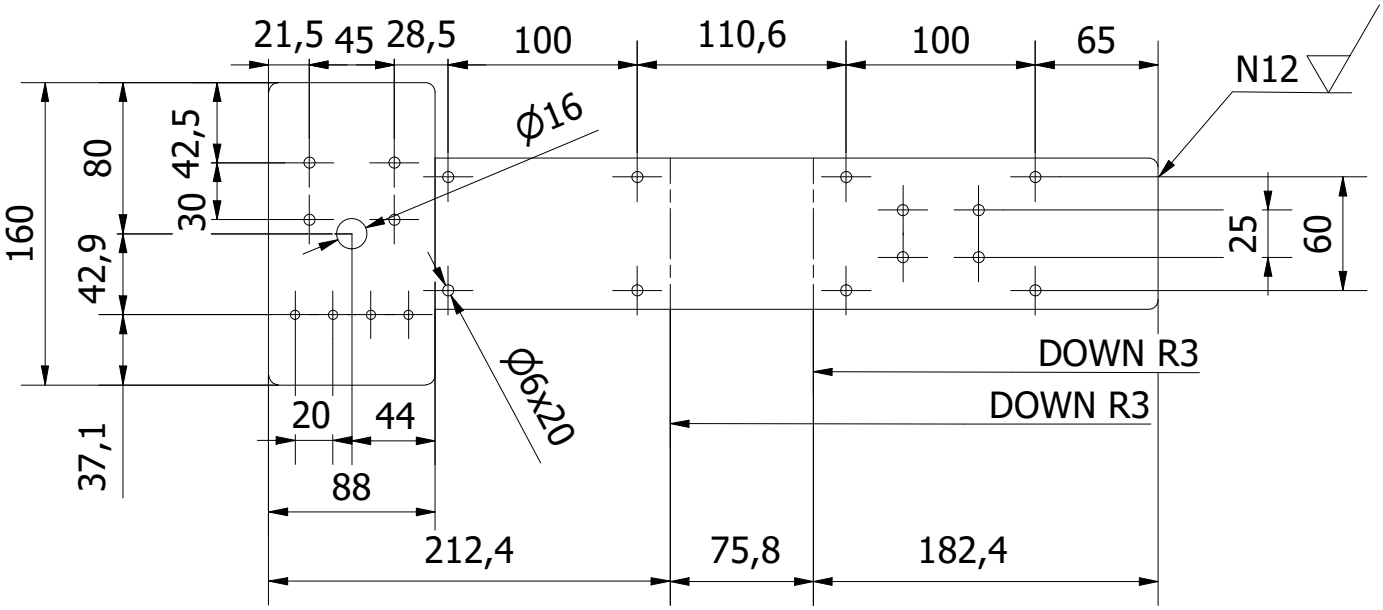
VISTA LATERAL



VISTA ISOMÉTRICA



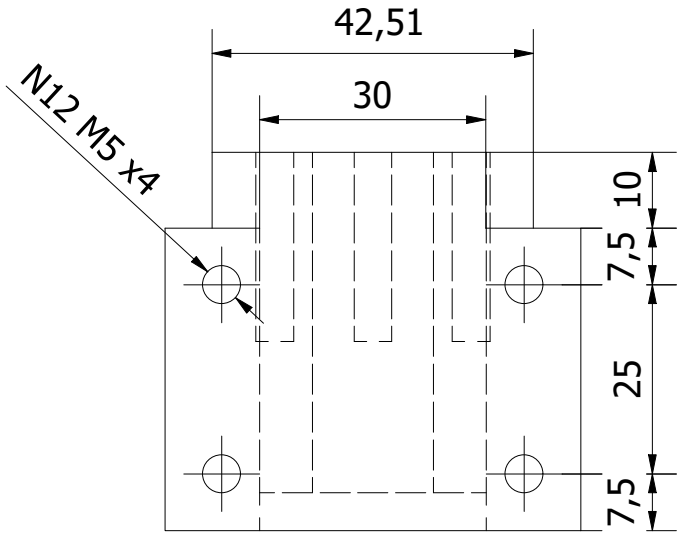
VISTA DESDOBLE
ESCALA 1:4



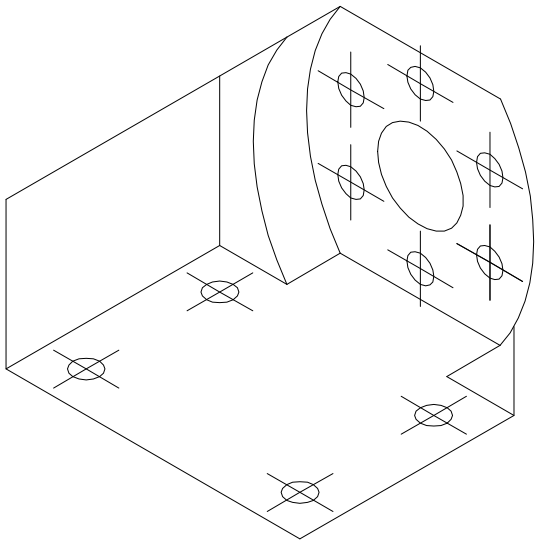
Notas:

- Procesos: Corte por laser de CO2

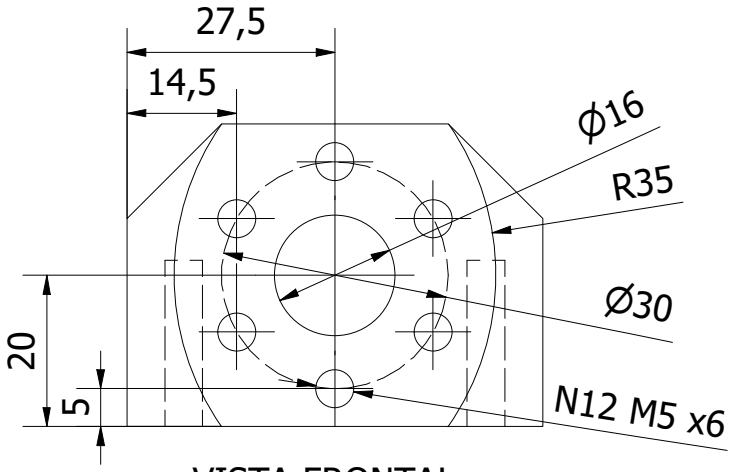
DENOMINACIÓN: Placa para sistema de deslizamiento de chumacera BK12			ESCALA: 1:2	CÓDIGO: A1
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Aluminio	TOLERANCIA: General
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC		
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	



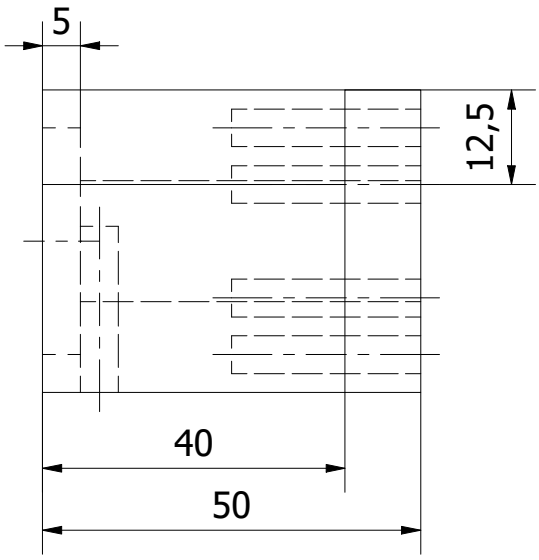
VISTA INFERIOR



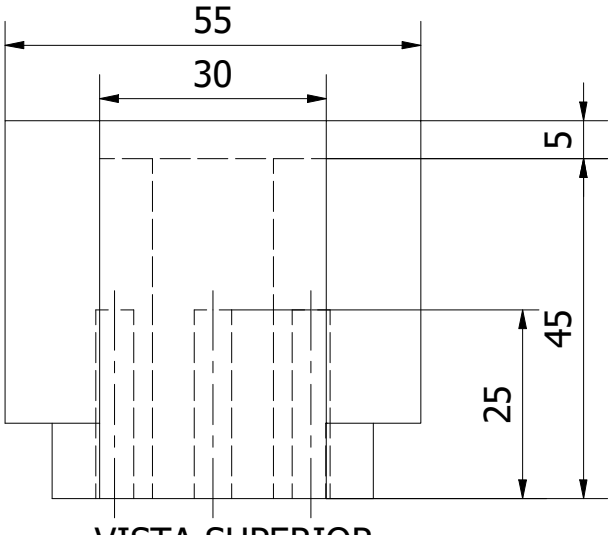
VISTA ISOMÉTRICA



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL IZQUIERDA



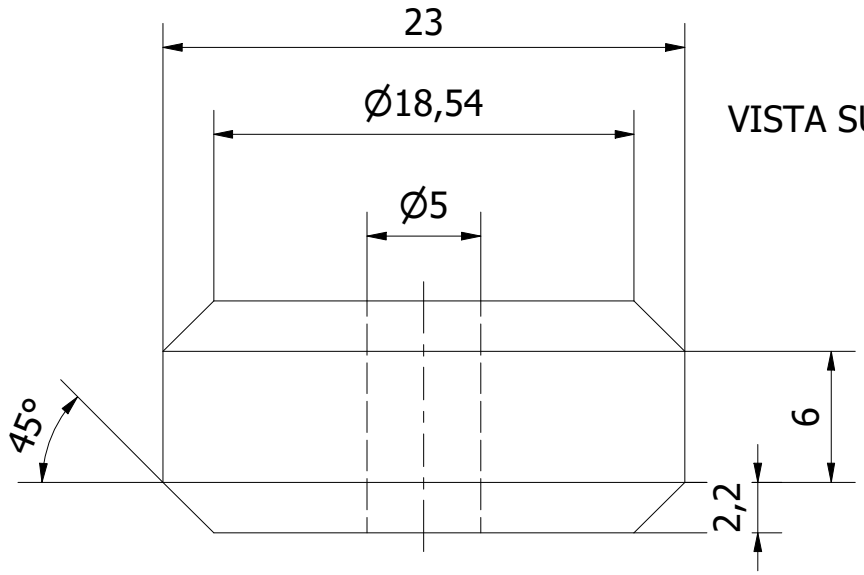
VISTA SUPERIOR

Notas:

- 3 Husillos de bolas SFU1605-4

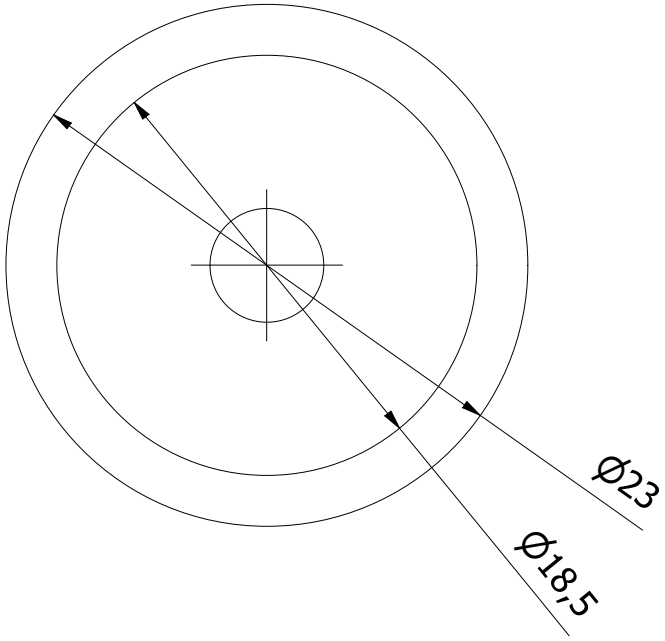
DENOMINACIÓN: Husillo de bolas SFU1605-4	ESCALA: 1:1	CÓDIGO: A2

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Acero al carbono	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	



VISTA SUPERIOR

VISTA FRONTAL

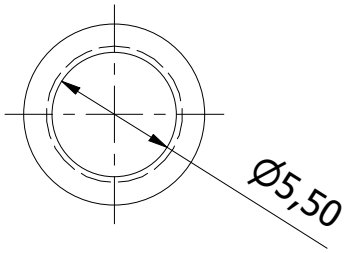


Notas:

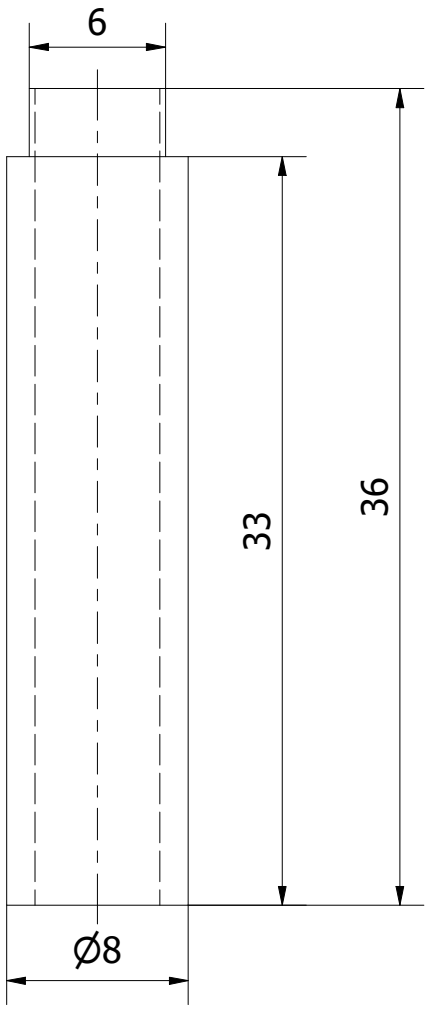
- 24 Ruedas

DENOMINACIÓN: Ruedas para ranura en "V"			ESCALA: 3:1	CÓDIGO: A3
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Rueda Delrin Solida 625ZZ	TOLERANCIA: GENERAL
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC		
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

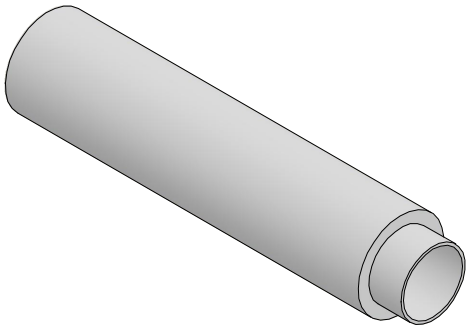
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA ISOMÉTRICA



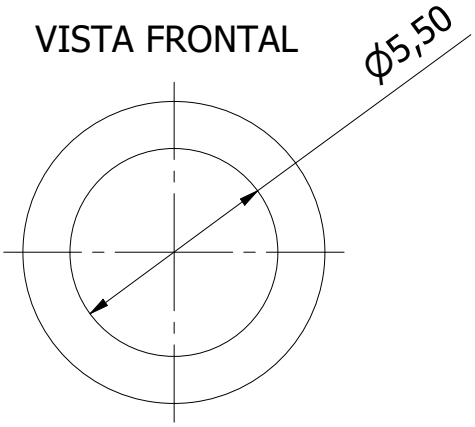
Notas:

- Imprimir 12 unidades para cada eje con ruedas.
- Usar la boquilla de 0.40 mm para la impresión con un infill de 100%.

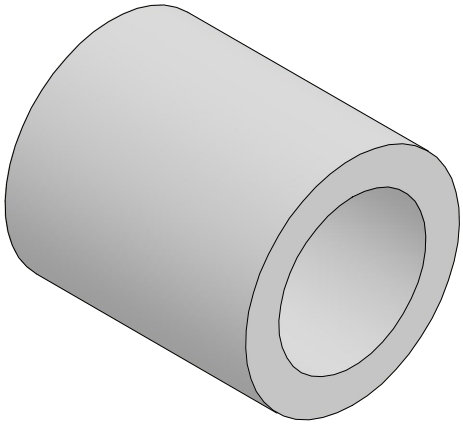
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Buje Espaciador Izquierdo	3:1	A11

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Impresión 3D en PETG	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

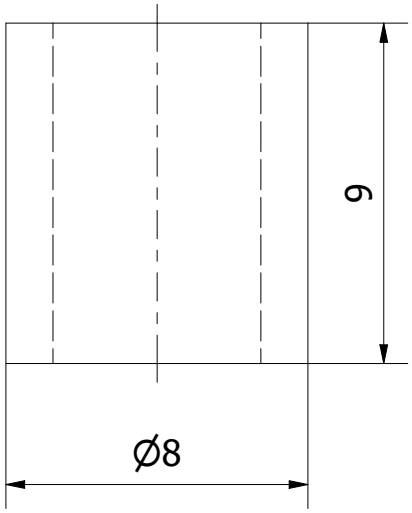
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA



VISTA LATERAL



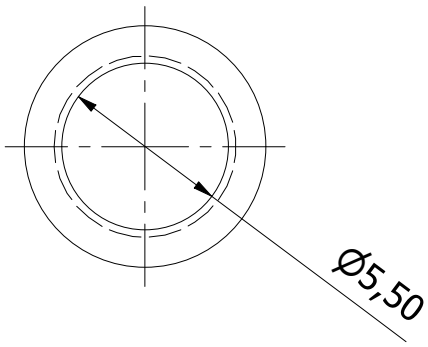
Notas:

- Imprimir 12 unidades para cada eje con ruedas.
- Usar la boquilla de 0.40 mm para la impresión con un infill de 100%.

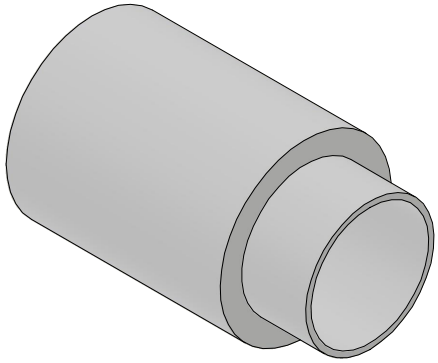
DENOMINACIÓN: Buje Espaciador Medio		ESCALA: 5:1	CÓDIGO: A12

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Impresión 3D en PETG	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

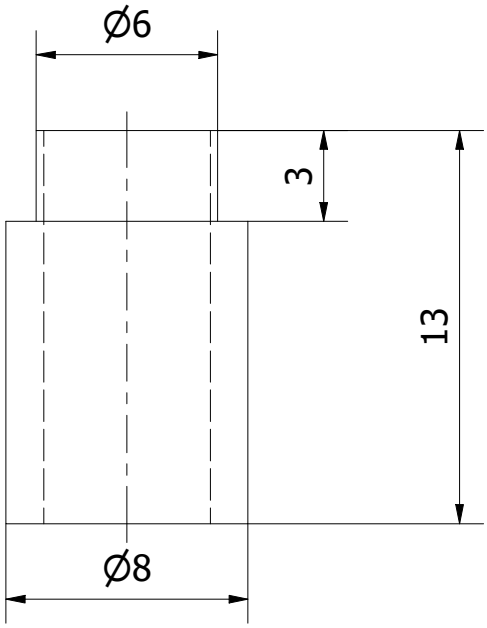
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA



VISTA LATERAL



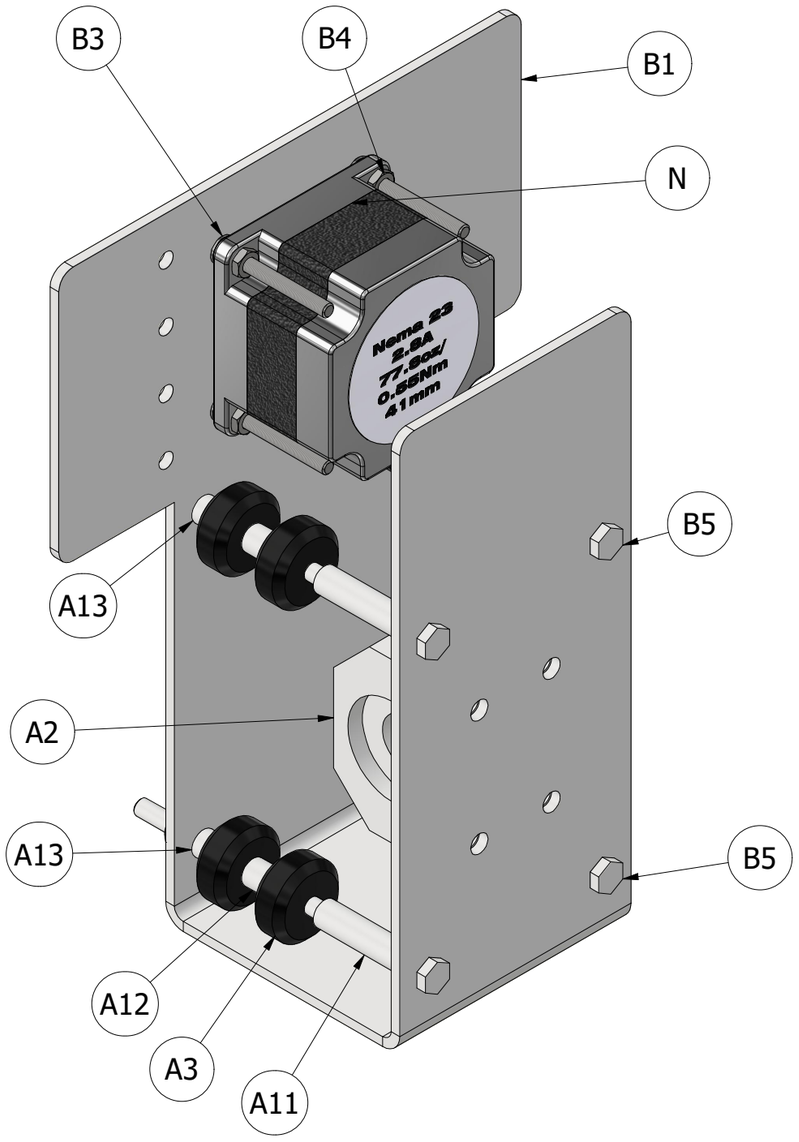
Notas:

- Imprimir 12 unidades para cada eje con ruedas.
- Usar la boquilla de 0.40 mm para la impresión con un infill de 100%.

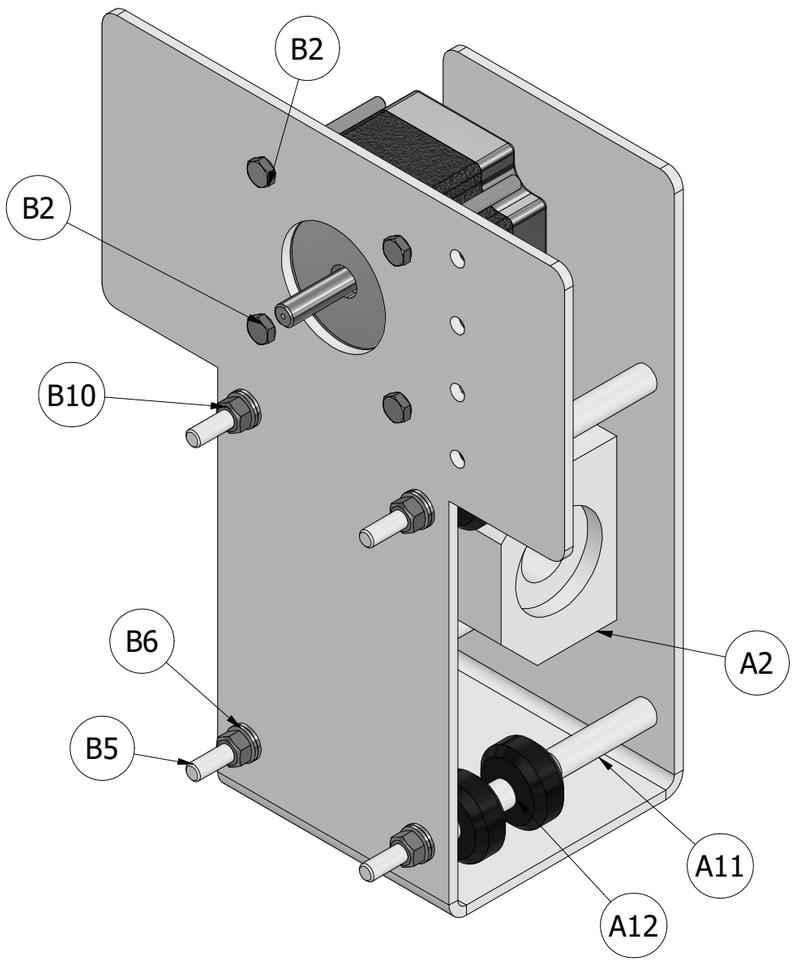
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Buje Espaciador Derecho	4:1	A13

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Impresión 3D en PETG	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA ISOMÉTRICA



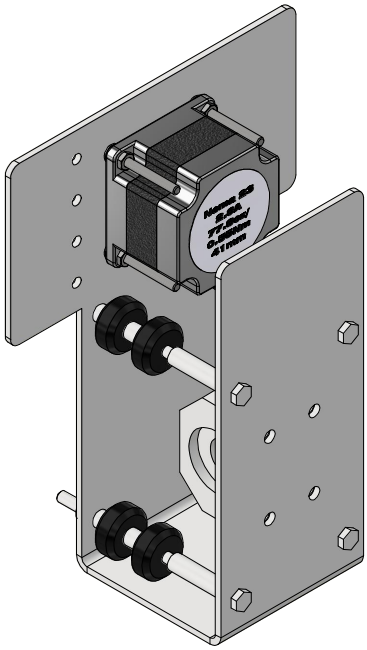
VISTA ISOMÉTRICA



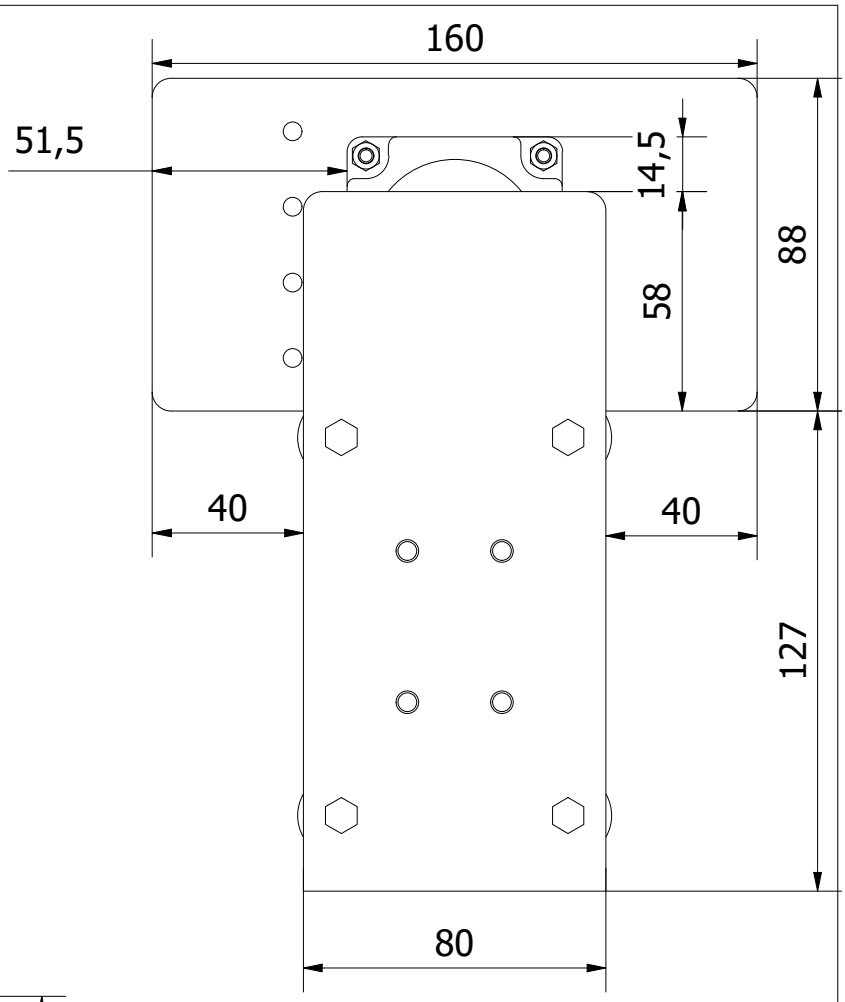
Lista de partes Carrito para motor, modulo "B"

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
N	1	Motor NEMA23	
A2	1	Husillo de bolas SFU 1605	
A3	8	Ruedas para ranura en "V"	
B1	1	Placa para sistema de deslizamiento de motor NEMA23	
B2	4	Perno M4x40	
B3	8	Arandela para Perno M4	
B4	4	Tuerca para Perno M4	
B5	4	Perno M5x100	
B6	8	Arandela para Perno M5	
A11	4	Buje Espaciador Izquierda	
A12	4	Buje Espaciador Medio	
A13	4	Buje Espaciador Derecha	
B10	4	Tuerca para Perno M5	

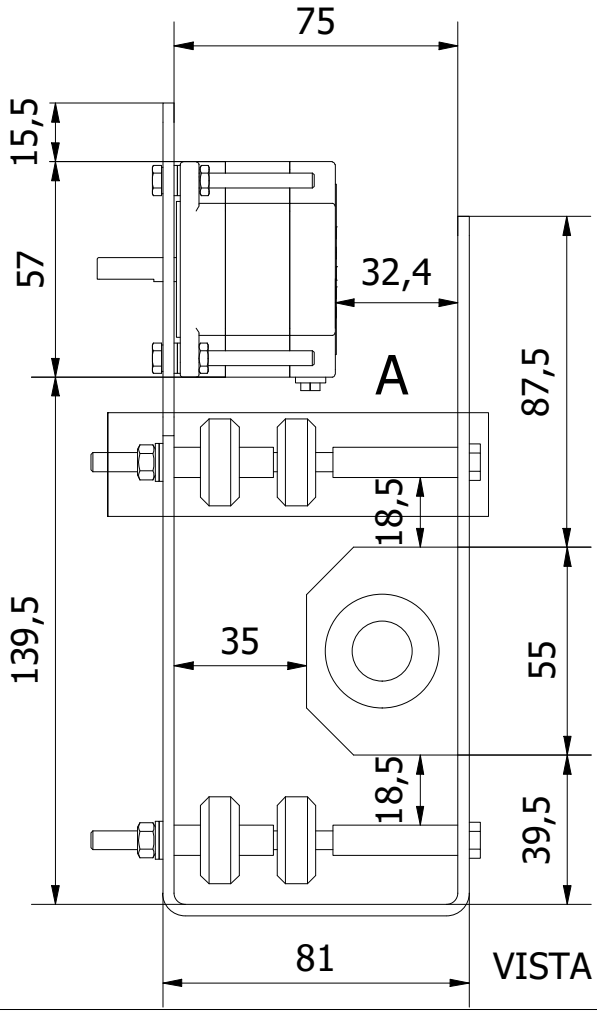
DENOMINACIÓN:			ESCALA:	CÓDIGO:
Siste de deslizamiento transversal para motor NEMA 23			1:2	B
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio, Madera, Acero, PETG y POM	General
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	



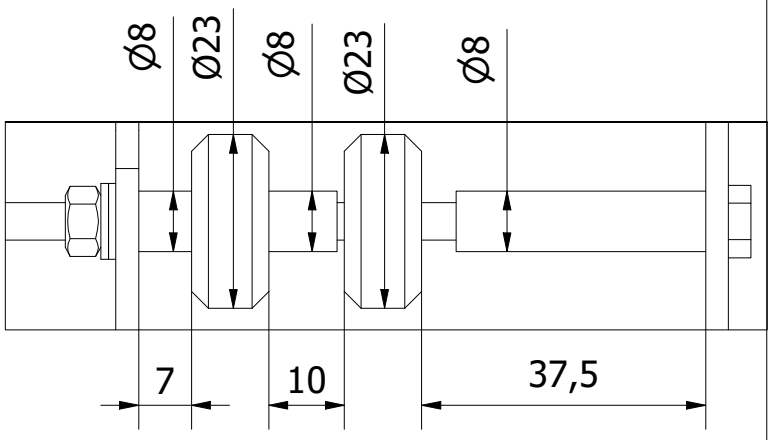
VISTA ISOMÉTRICO
ESCALA 1:3



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



A (1 : 1)

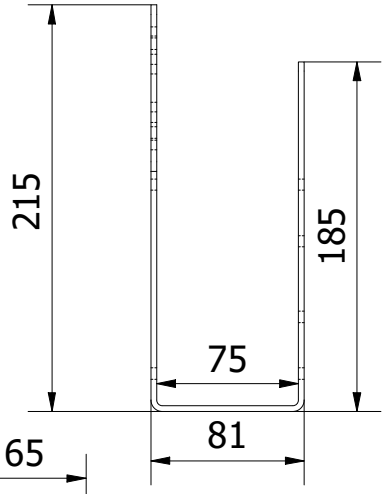
DENOMINACIÓN: Sistema de deslizamiento transversal para motor NEMA 23	ESCALA: 1:2	CÓDIGO: B

	FECHA	NOMBRE		
			MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio, Madera, Acero, PETG y POM	General
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

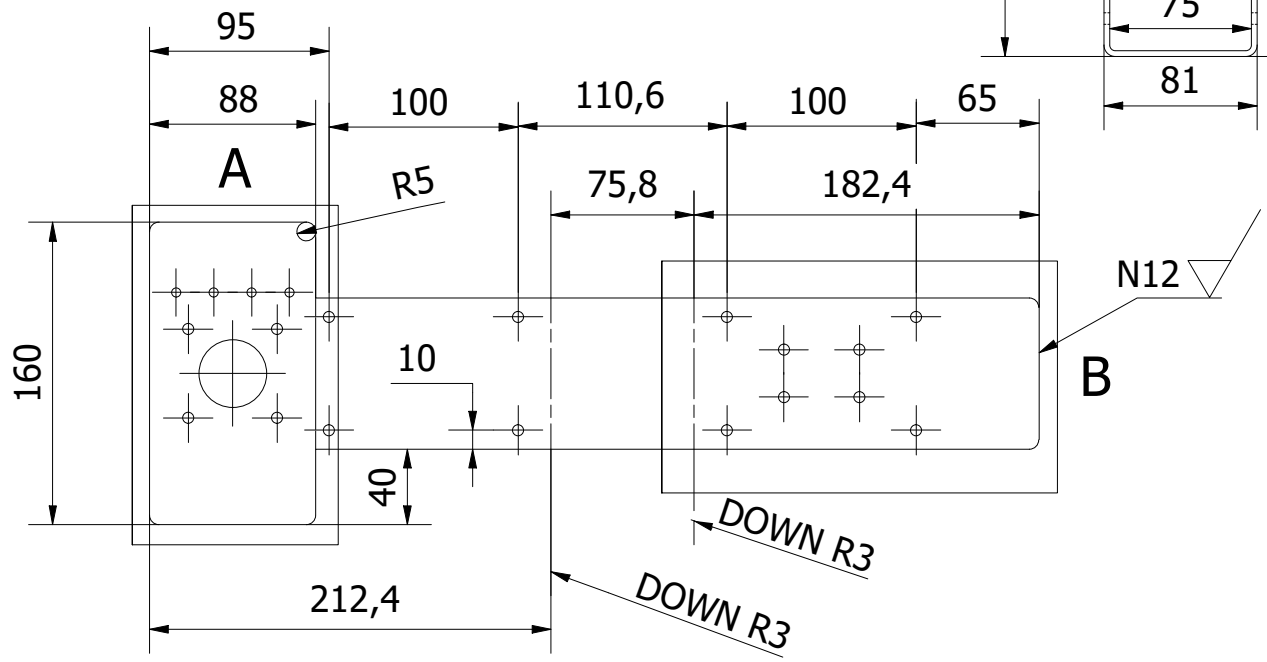
Notas:

- Procesos: Corte con laser de CO2

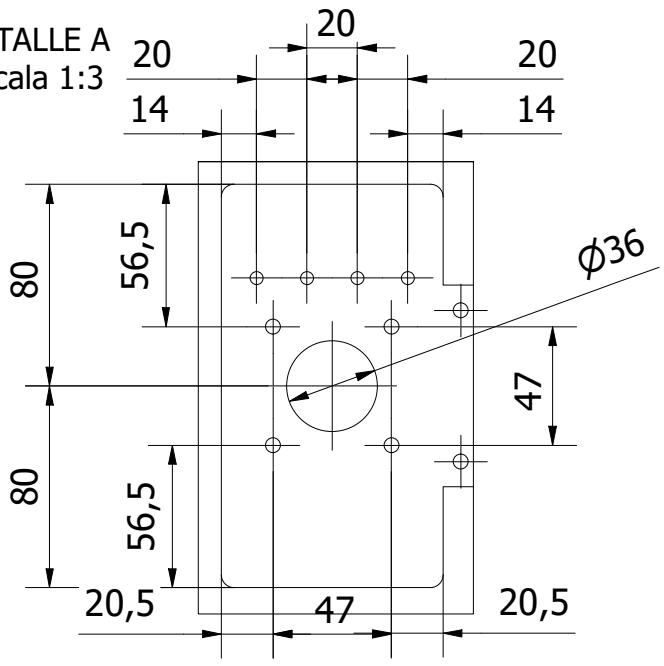
VISTA LATERAL
ESCALA 1:4



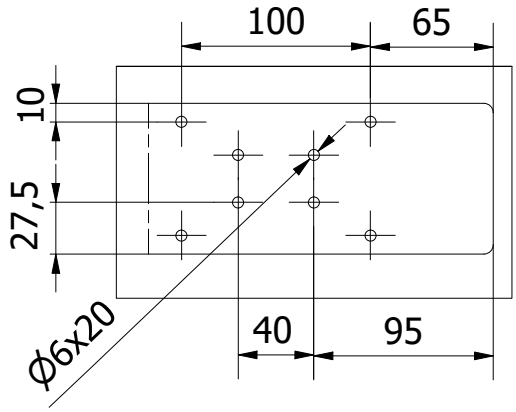
VISTA DESDOBLE



DETALLE A
Escala 1:3



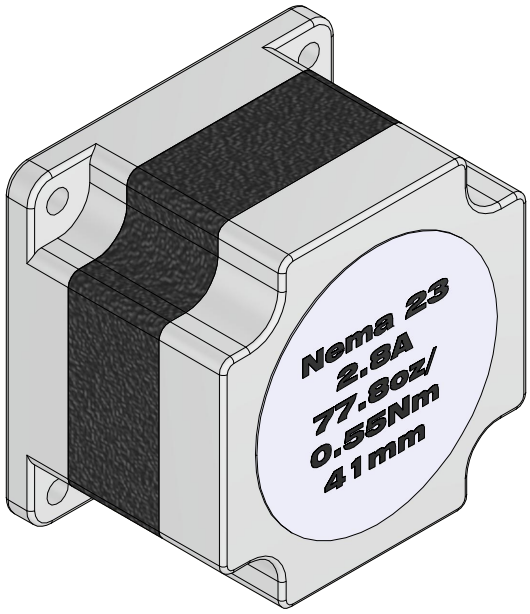
DETALLE B
Escala 1:4



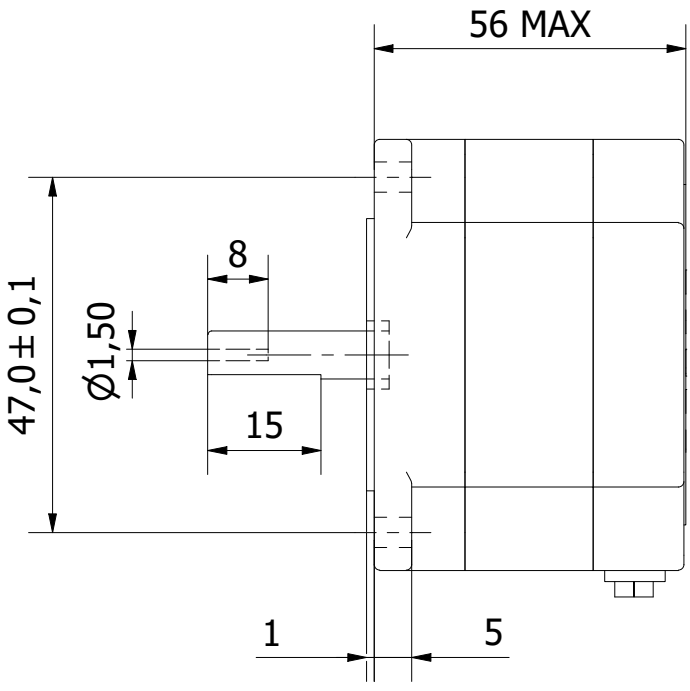
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Placa para sistema de deslizamiento de motor NEMA23	1:4	B1

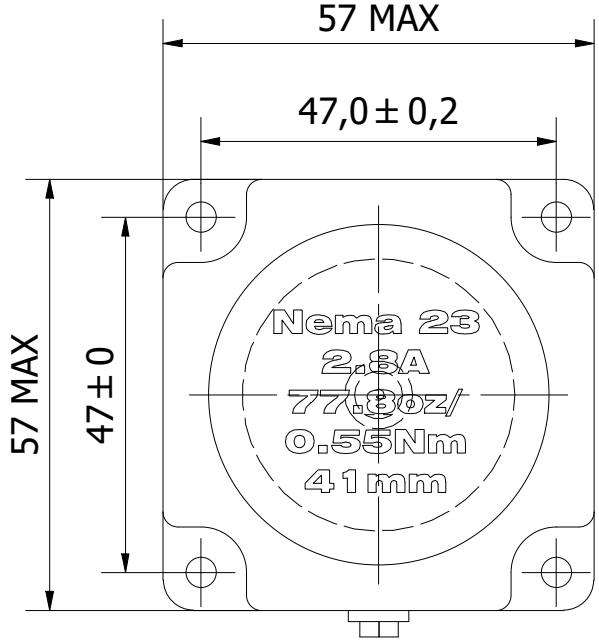
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio plancha metalica espesor 3 [mm]	
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA ISOMÉTRICA



VISTA LATERAL

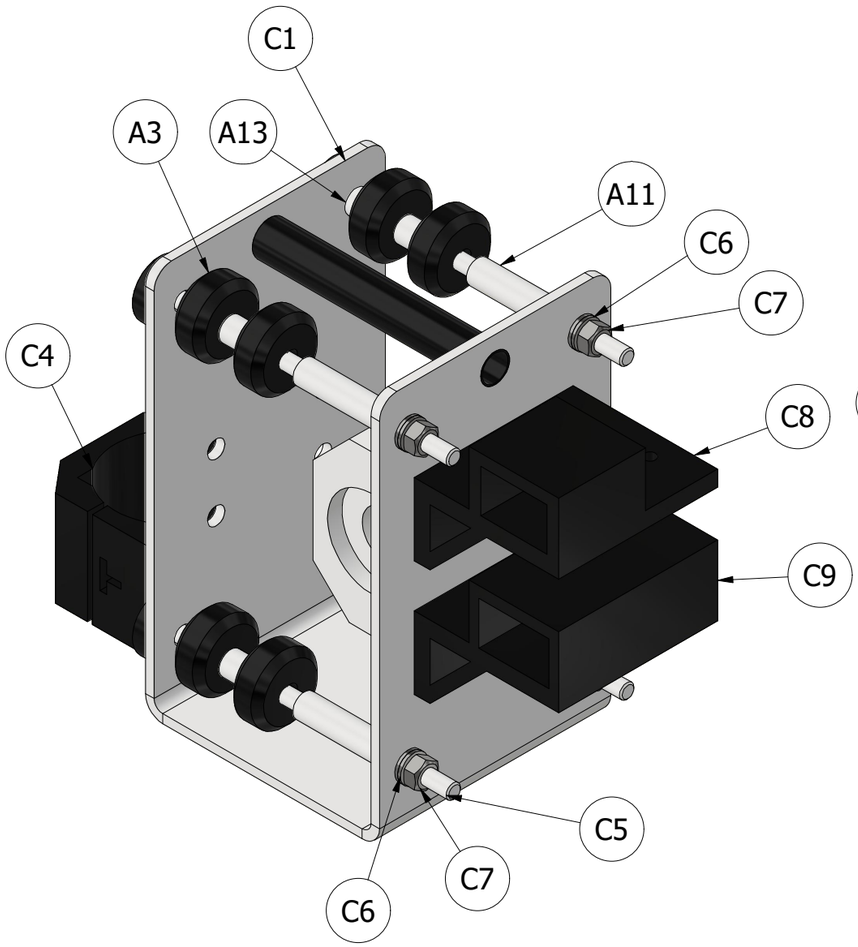




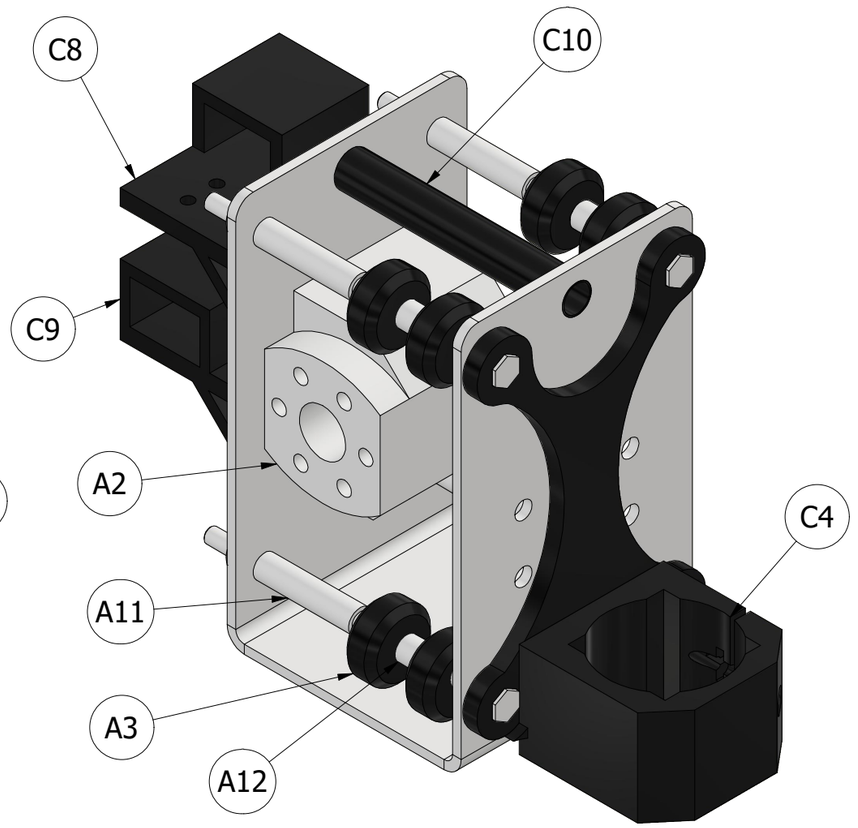
VISTA TRASERA

DENOMINACIÓN: Motor NEMA 23			ESCALA: 1:1	CÓDIGO: N
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Plástico y rotor de acero	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA ISOMÉTRICA



VISTA ISOMÉTRICA

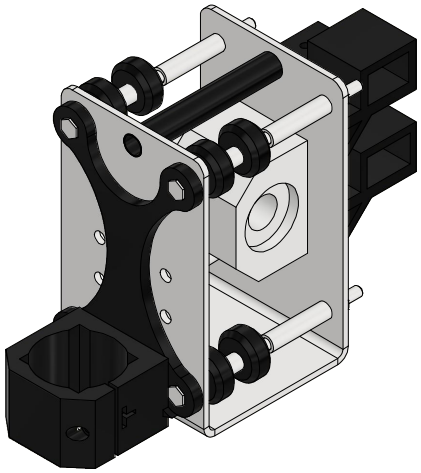


Lista de partes Carrito para Laser, modulo "C"

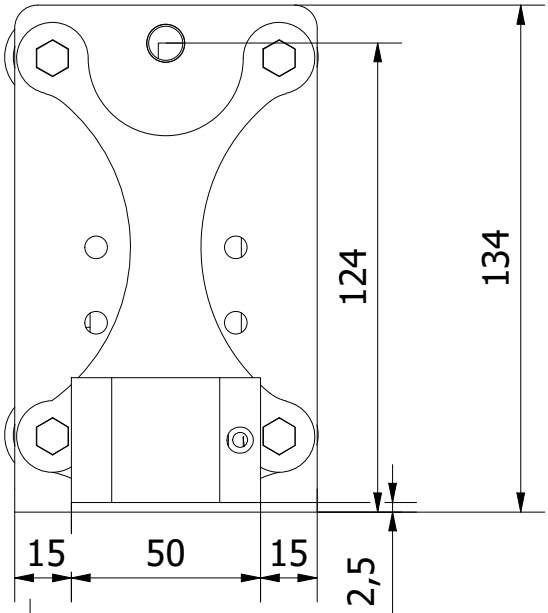
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
A2	1	Husillo de bolas SFU 1605	
A3	8	Ruedas para ranura en "V"	
C1	1	Placa para sistema de deslizamiento para láser	
C4	1	Unión y soporte para láser	
C5	4	Perno M5x100	
C6	8	Arandela para Perno M5	
C7	4	Tuerca para Perno M5	
C8	1	Soporte para Cadena Superior	
C9	1	Soporte para Cadena Inferior	
A11	4	Buje Espaciador Izquierda	
A12	4	Buje Espaciador Medio	
A13	4	Buje Espaciador Derecha	
C10	1	Pasa Cables	

DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Sistema de deslizamiento transversal para laser	1:2	C

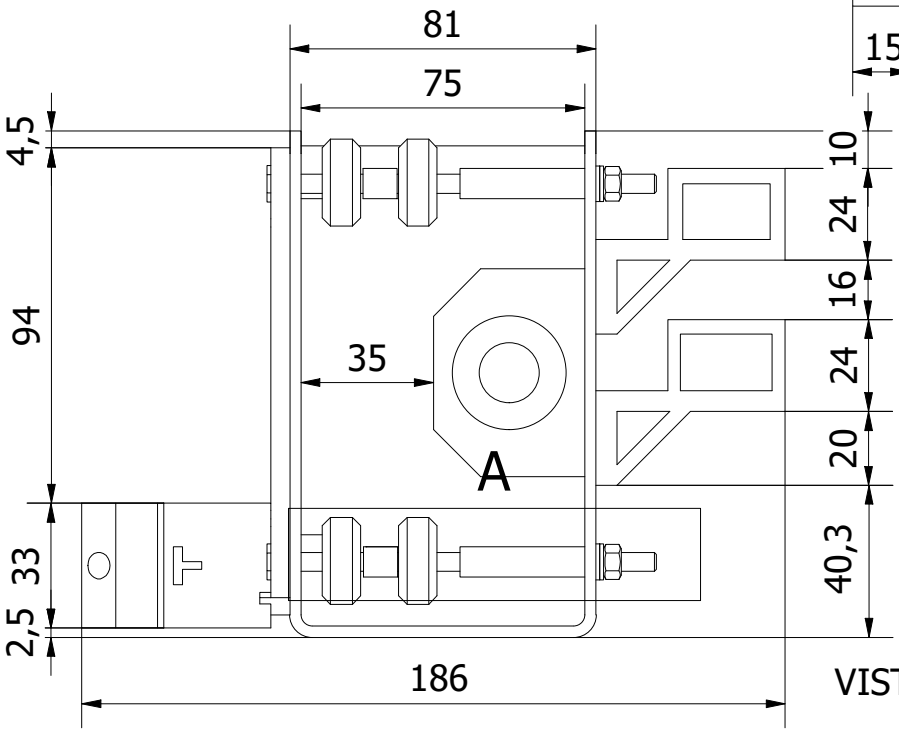
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio, Madera, Acero, PETG y POM	General
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	



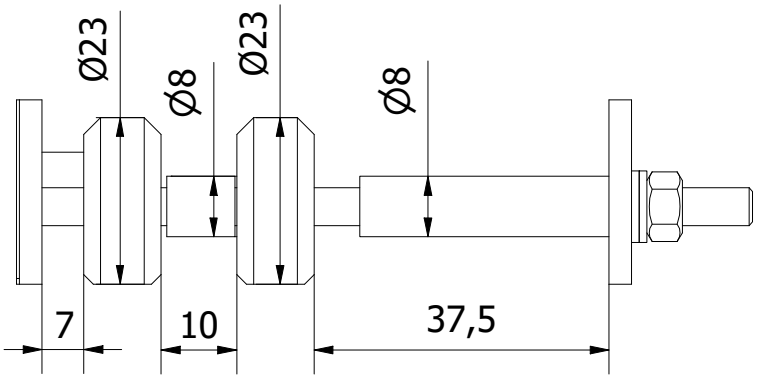
VISTA ISOMÉTRICO
ESCALA 1:3



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

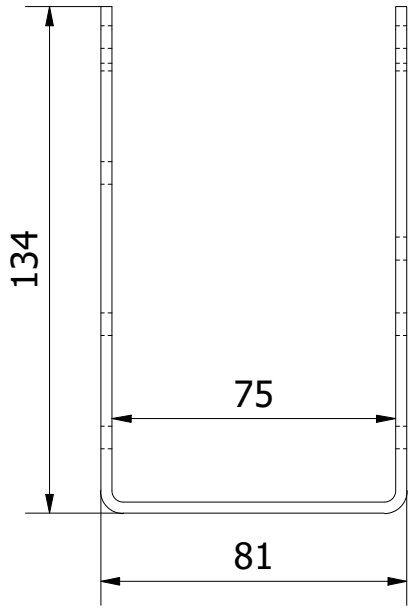


A (1 : 1)

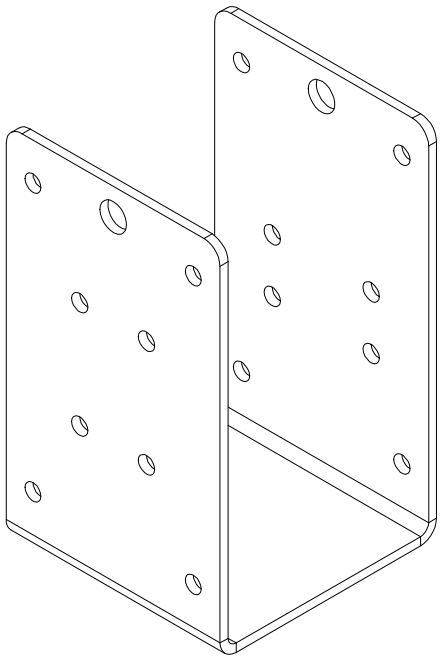
DENOMINACIÓN: Sistema de deslizamiento transversal para laser	ESCALA: 1:2	CÓDIGO: C

	FECHA	NOMBRE		
			MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio, Madera, Acero, PETG y POM	General
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

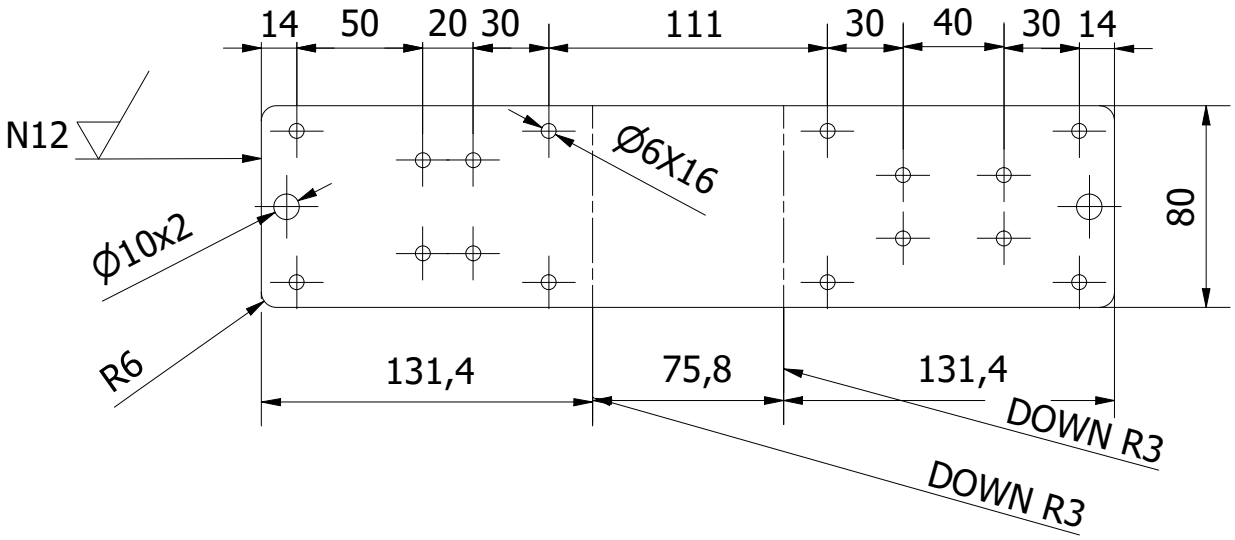
VISTA LATERAL



VISTA ISOMÉTRICA



VISTA DESDOBLE
ESCALA 1:3

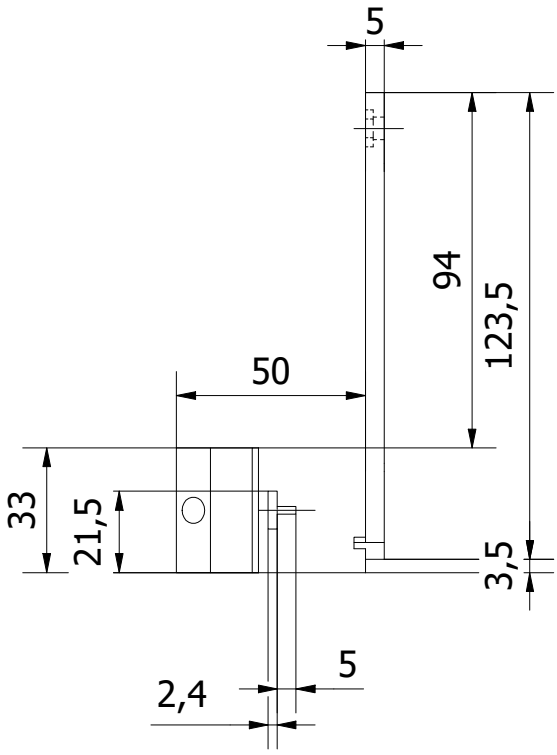


Notas:

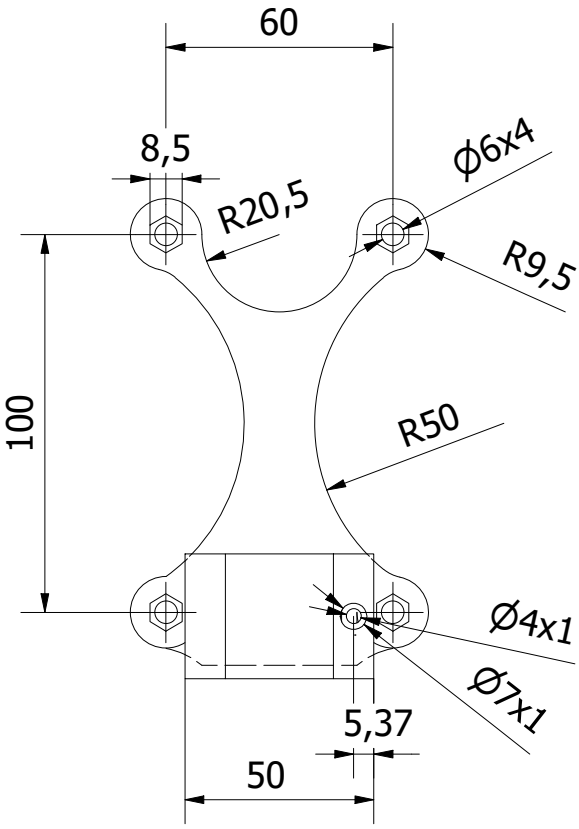
- Procesos: Corte por laser de CO2

DENOMINACIÓN: Placa para sistema de deslizamiento para láser			ESCALA: 1:2	CÓDIGO: C1
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio plancha metalica de espesor 3 [mm]	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

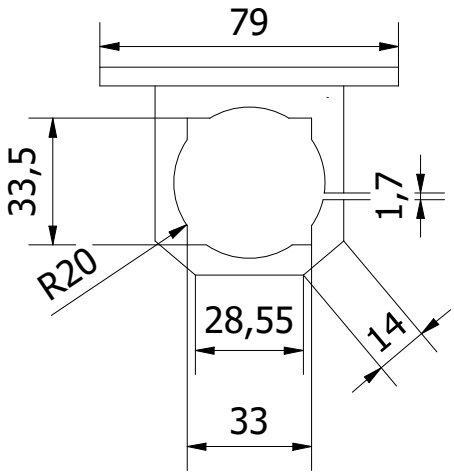
VISTA LATERAL DERECHA



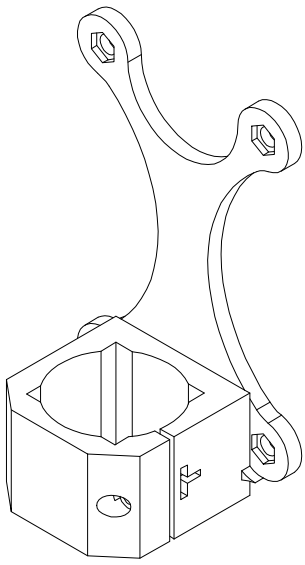
VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMÉTRICA

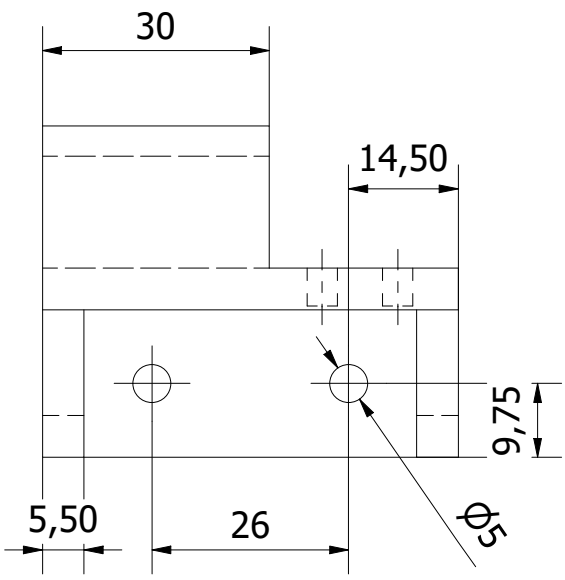


Notas:
Impresión 3D - PETG

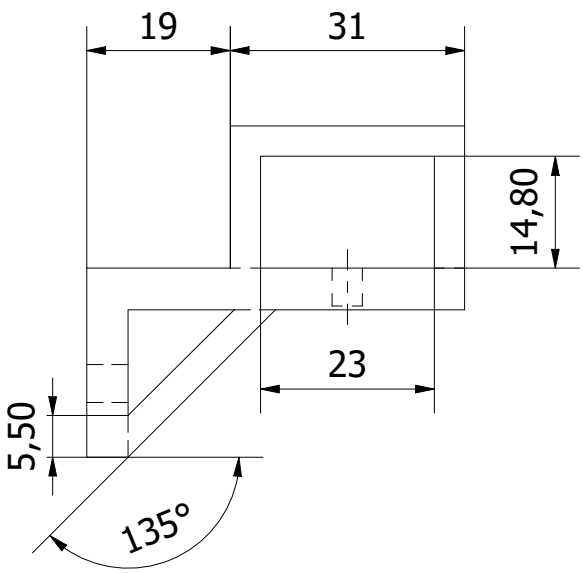
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Unión y soporte para láser	1:2	C4

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	PETG	GENERAL
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

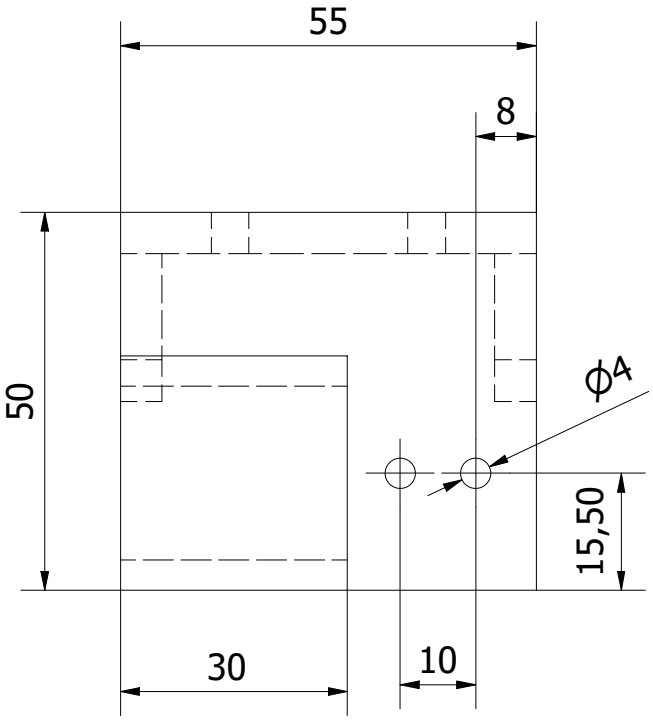
VISTA FRONTAL



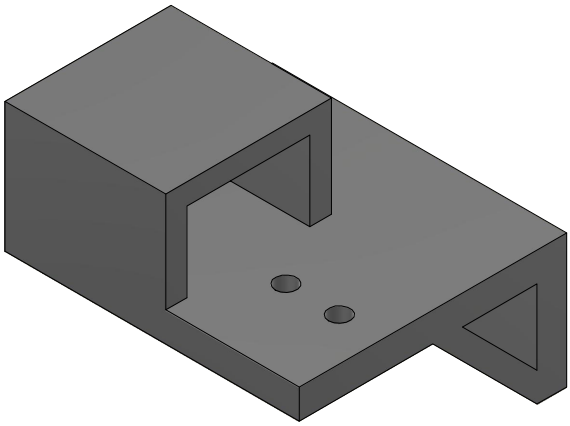
VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMÉTRICA



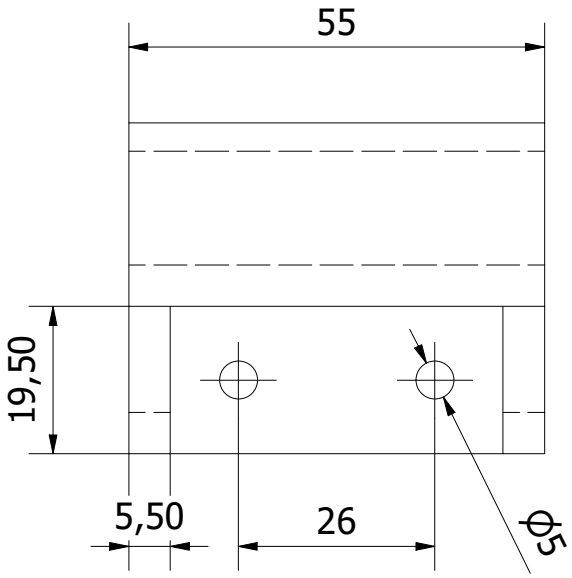
Notas:

- Imprimir 1 unidad para el sistema de deslizamiento longitudinal.
- Usar la boquilla de 0.40 mm para la impresión con un infill de 20%.

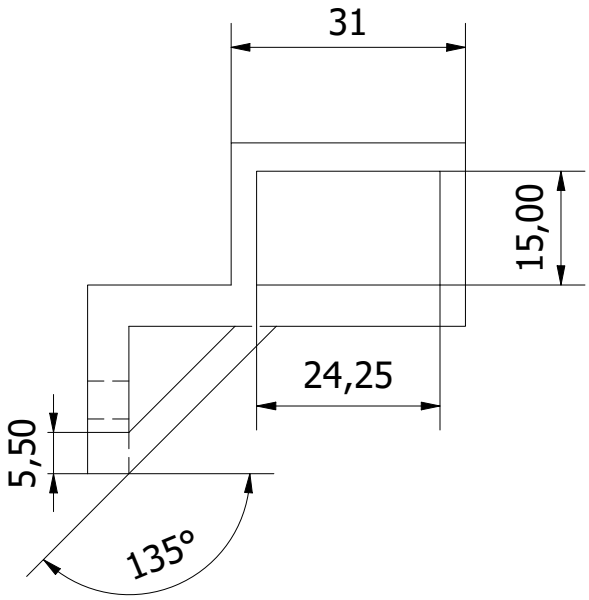
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Soporte para Cadena Inferior	1:1	C8

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Impresión 3D en PETG	General ± 1
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

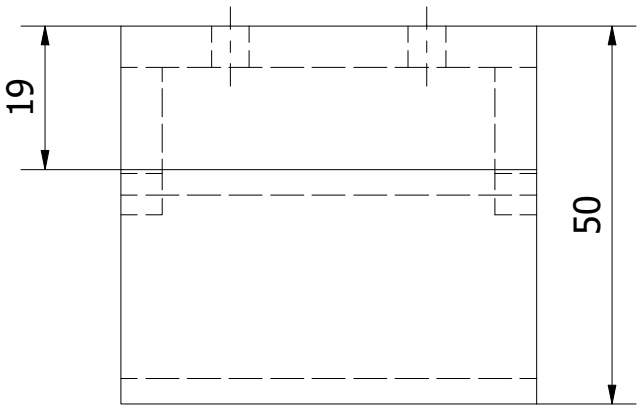
VISTA FRONTAL



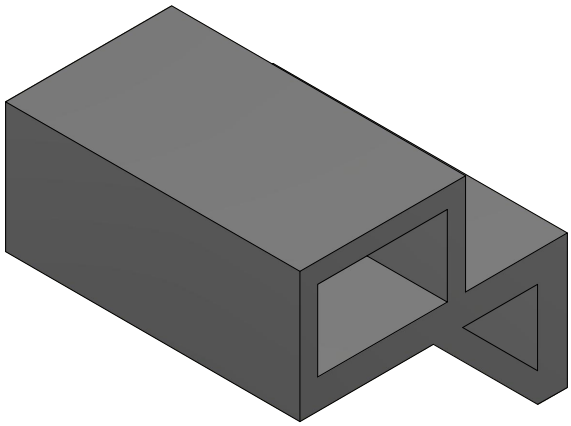
VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMÉTRICA



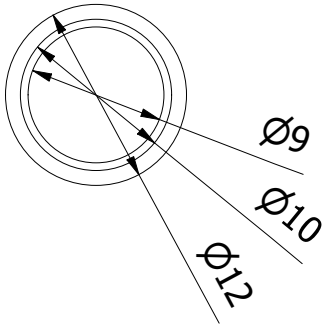
Notas:

- Imprimir 1 unidad para el sistema de deslizamiento longitudinal.
- Usar la boquilla de 0.40 mm para la impresión con un infill de 20%.

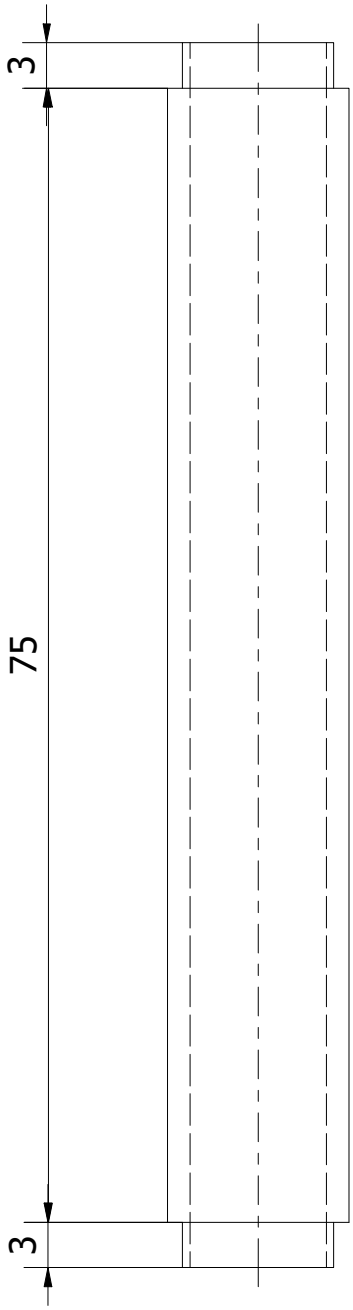
DENOMINACIÓN: Soporte para Cadena Inferior	ESCALA: 1:1	CÓDIGO: C9

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Impresión 3D en PETG	General ± 1
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

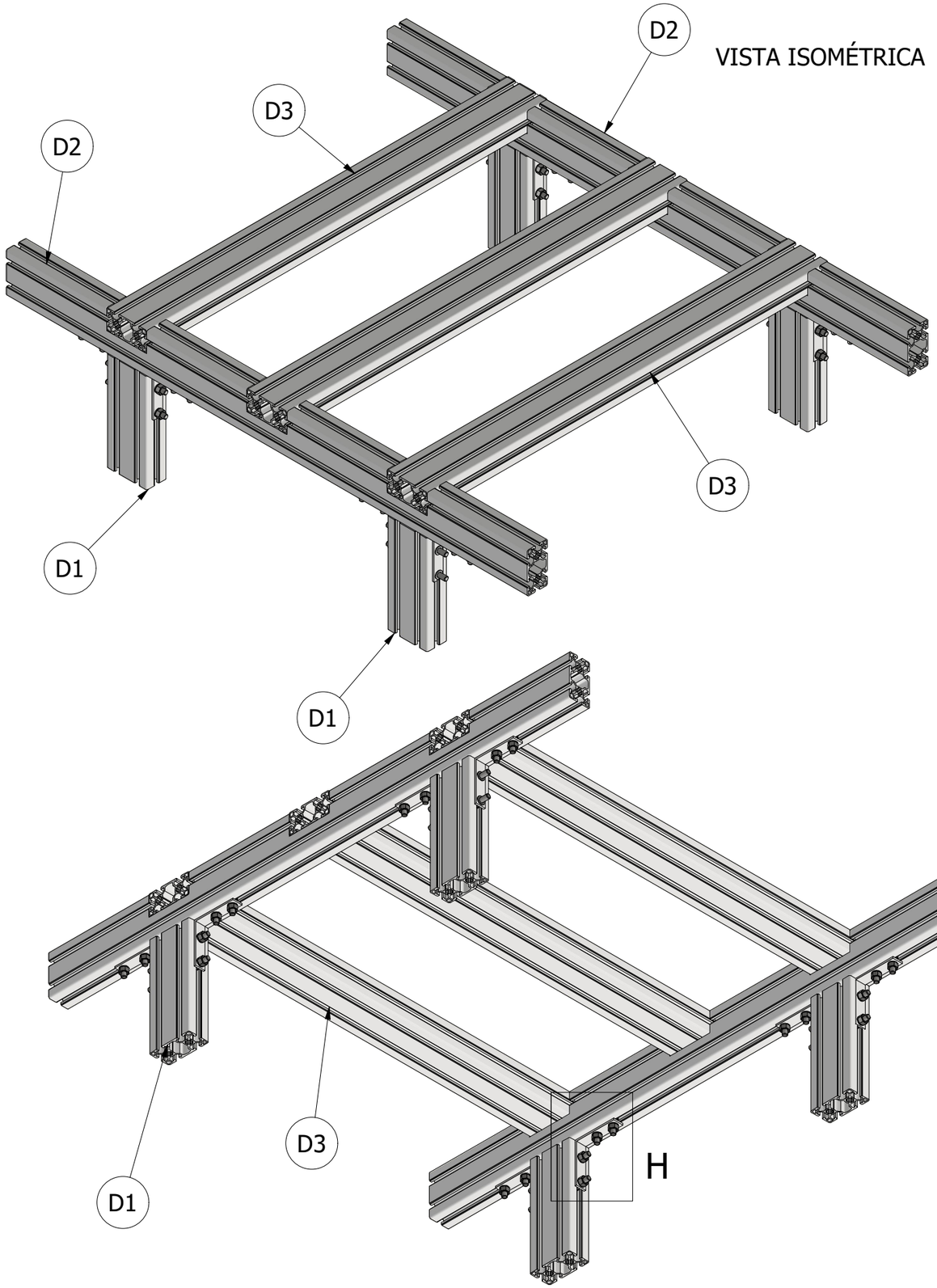


Notas:

- Impresión en 3D

DENOMINACIÓN: Pasa Cables	ESCALA: 2:1	CÓDIGO: C13

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	PETG	GENERAL
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	



VISTA ISOMÉTRICA

DETALLE H (1:2)

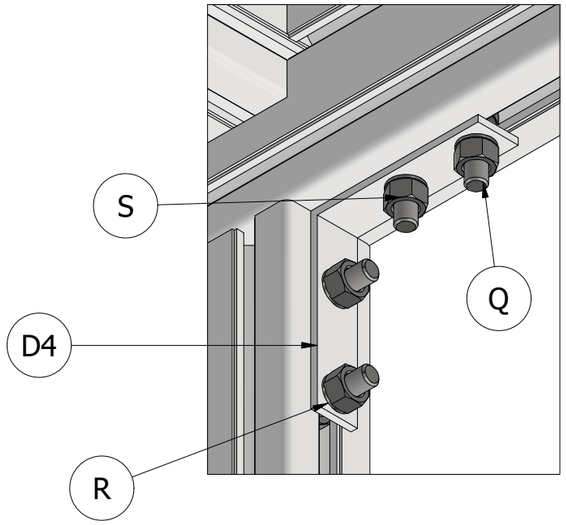
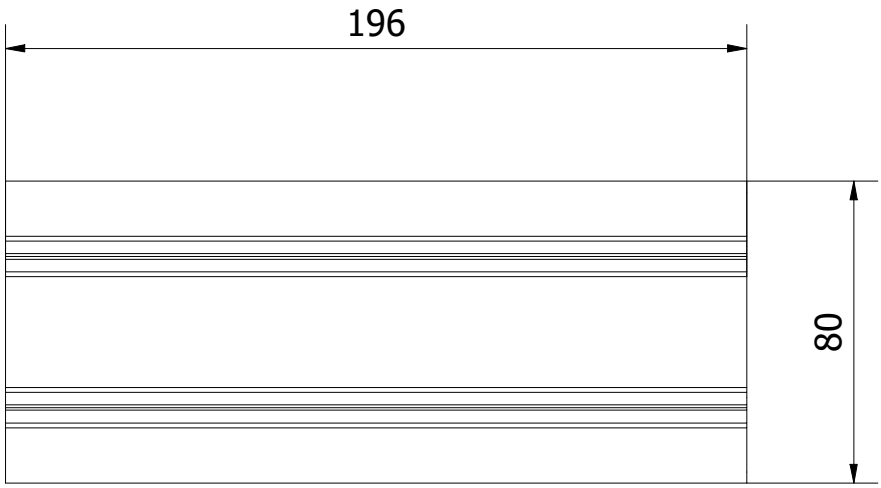


Tabla de partes de Estructura Inferior, modulo "D"			
Column 1	Column 2	Column 3	Column 4
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTIOIN
D1	4	Perfil de Aluminio 80x40 L196	
D2	2	Perfil de Aluminio L1040	
D3	3	Perfil Aluminio 80x40xL 800	
D4	8	Union en Angulo de 90	
Q	32	Perno M8x25	
R	32	Aranadel a para Perno M8	
S	32	Tuerca para Perno M8	

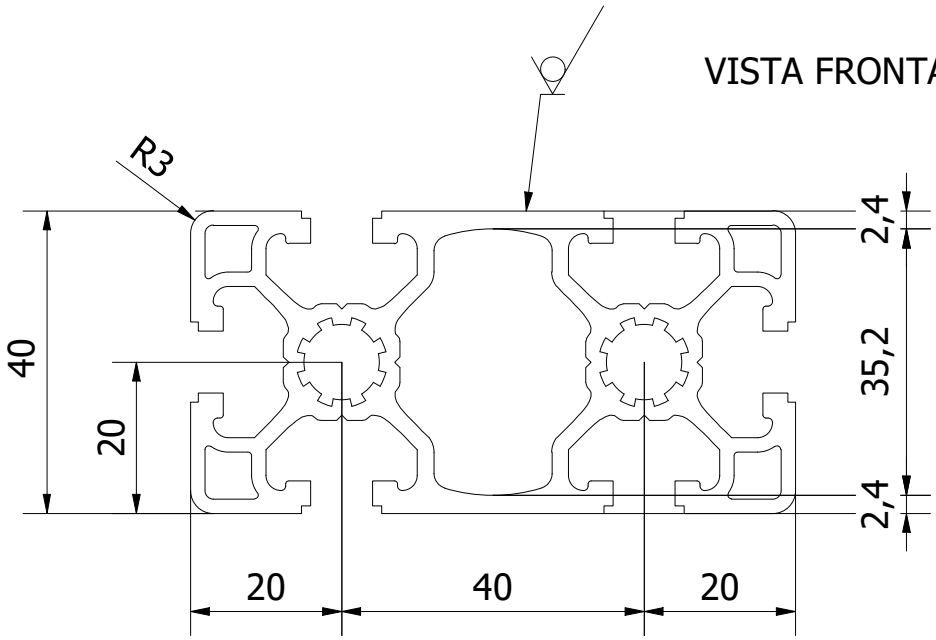
DENOMINACIÓN: Estructura de soporte			ESCALA: 1:7	CÓDIGO: USFQ-CNC-032
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Aluminio y Acero	TOLERANCIA: General
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC		
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA ISOMÉTRICA

VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



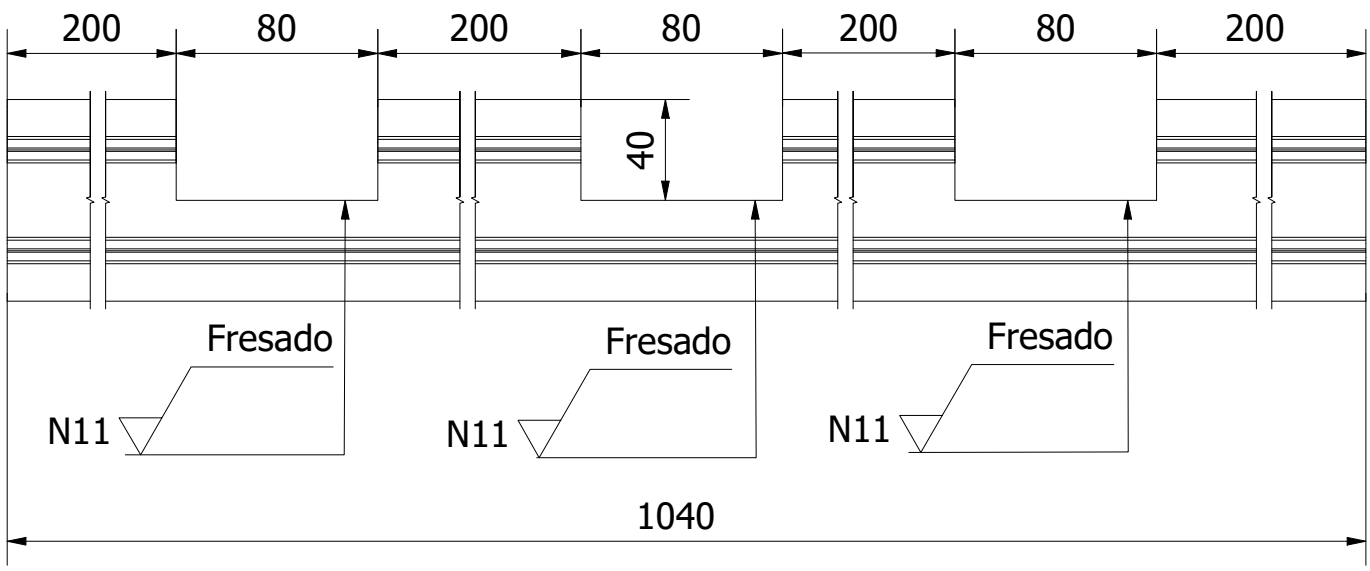
Notas:

- 4 unidades

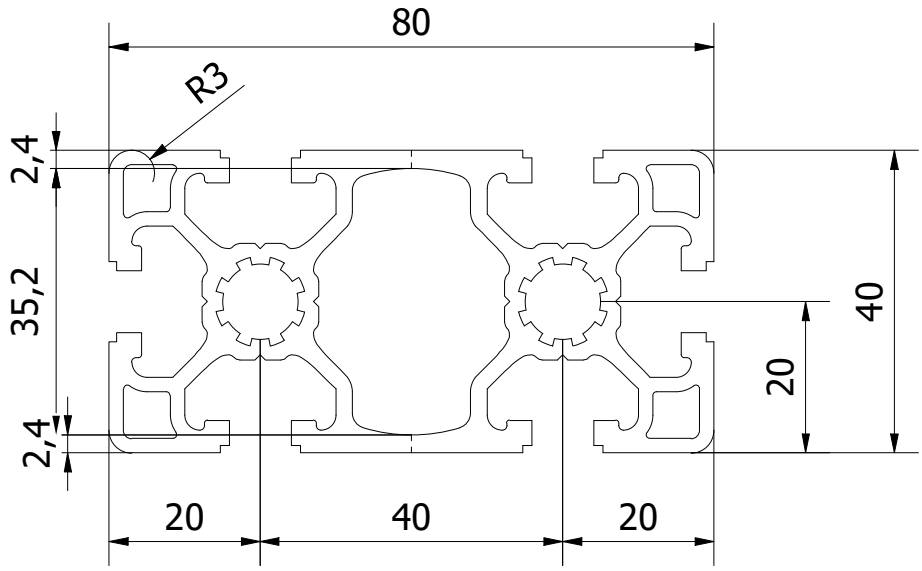
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Perfil de aluminio 80x40xL196	1:1	D1

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:2



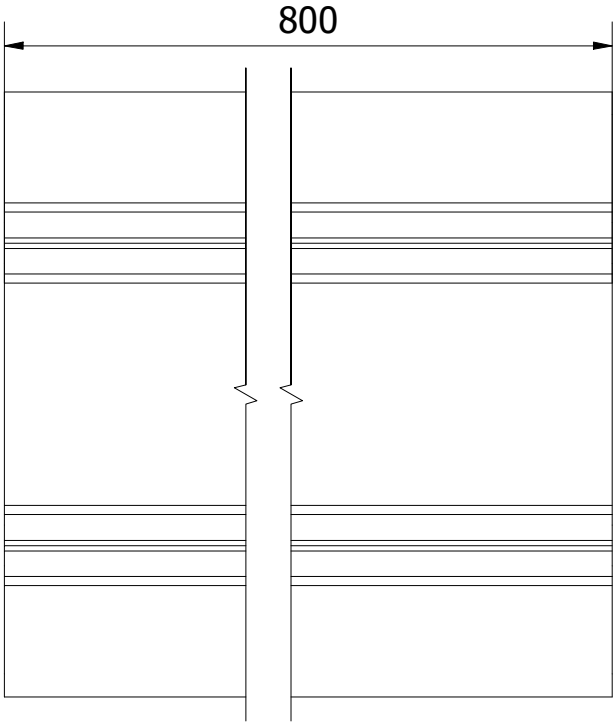
Notas:

- Procesos: Fresado
- 2 Unidades

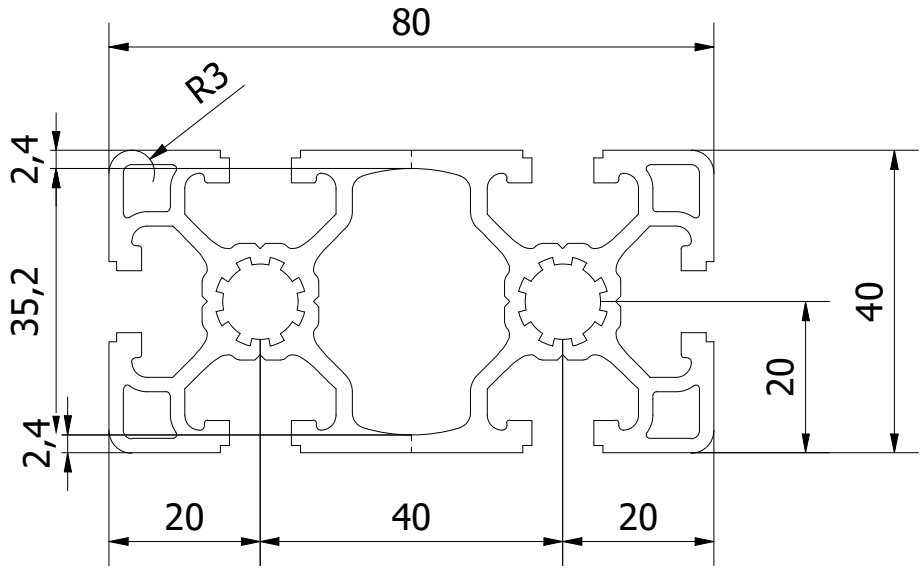
DENOMINACIÓN: Perfil de aluminio fresado 80x40xL1040	ESCALA: 1:3	CÓDIGO: D2

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio	General
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:2

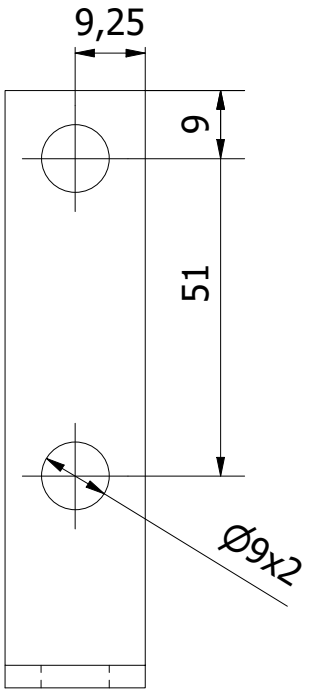


Notas:

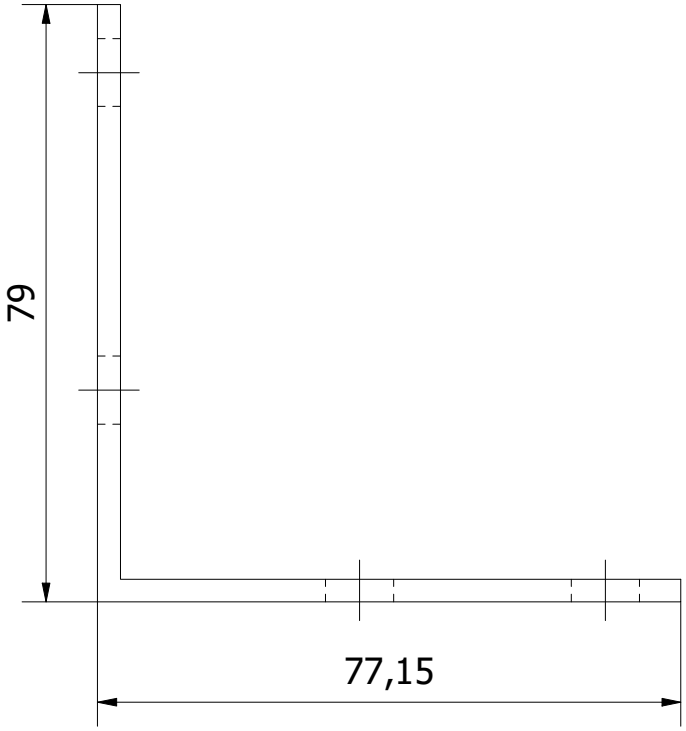
- 3 Unidades

DENOMINACIÓN: Perfil de aluminio soporte Tablero de Madera 80x40xL1040			ESCALA: 1:1	CÓDIGO: D3
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Aluminio	TOLERANCIA: General
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC		
Revisado por:	15/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	15/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

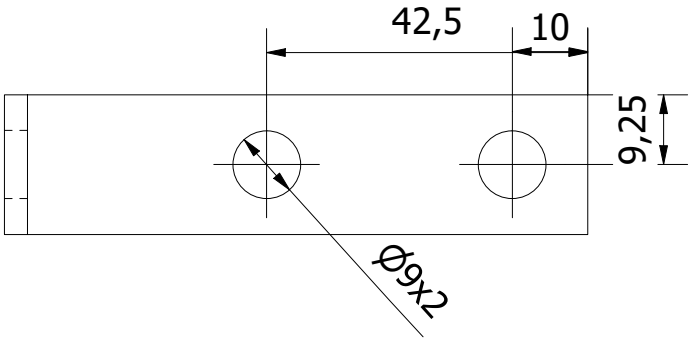
VISTA LATERAL IZQUIERDA



VISTA FRONTAL



VISTA INFERIOR

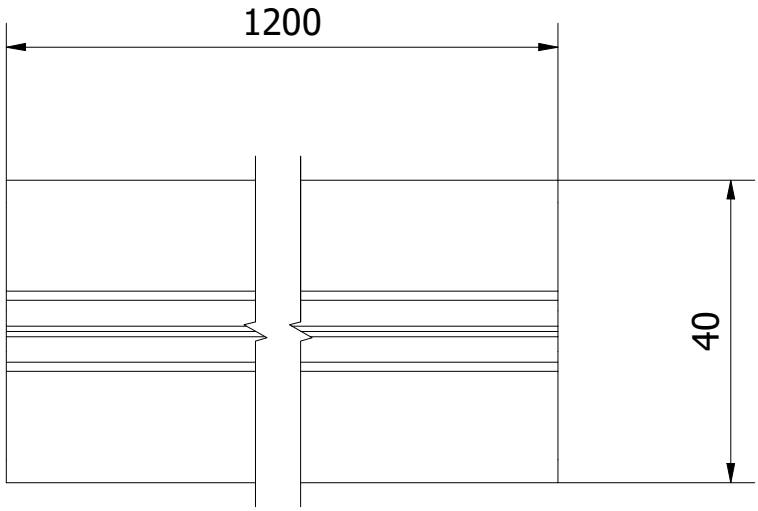


Notas:

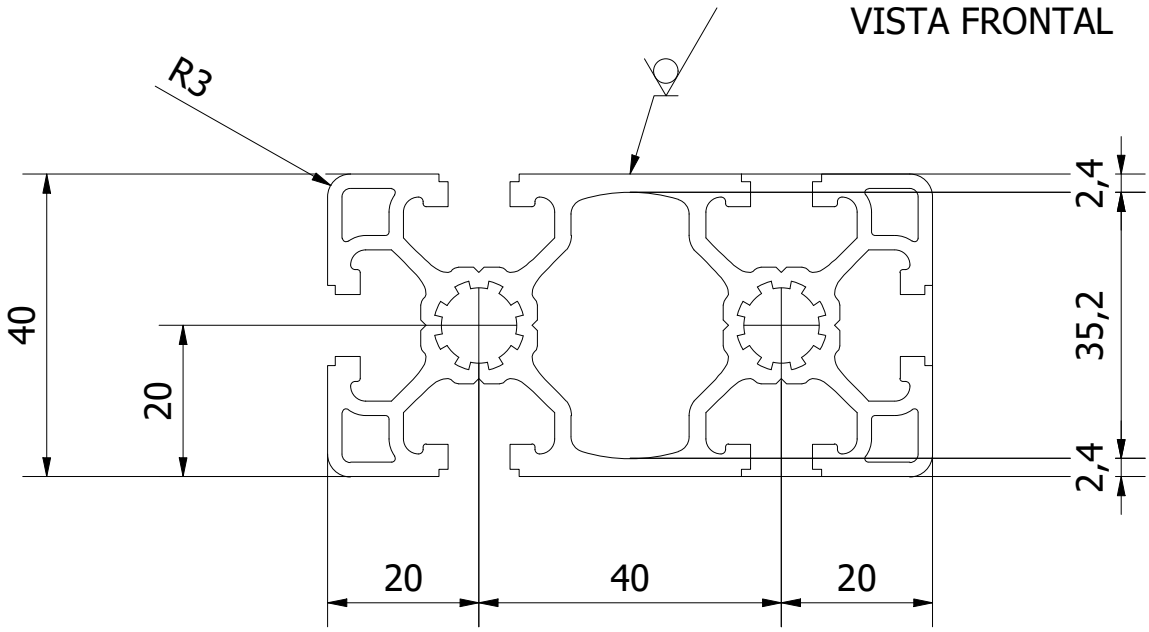
- 8 unidades

DENOMINACIÓN: Unión en ángulo de 90			ESCALA: 1:1	CÓDIGO: D4
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL Acero 3 [mm]	TOLERANCIA: General
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC		
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



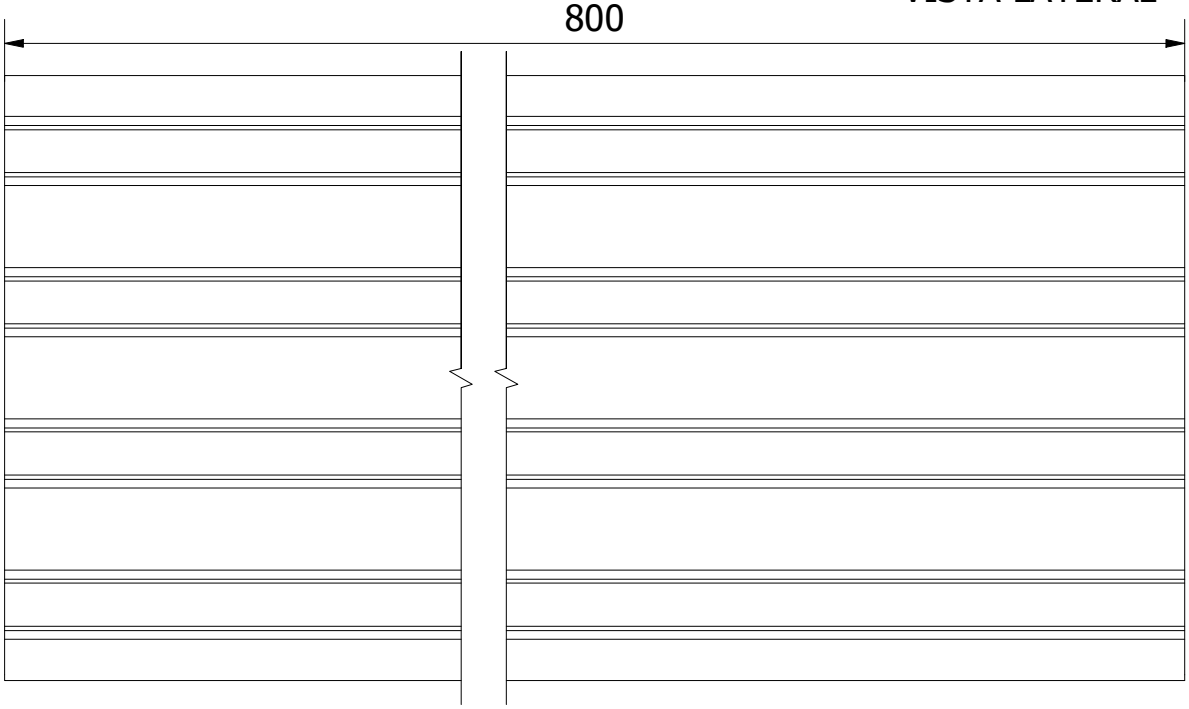
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Perfil de aluminio longitudinal 80x40xL1200	1:1	E

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio	GENERAL
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

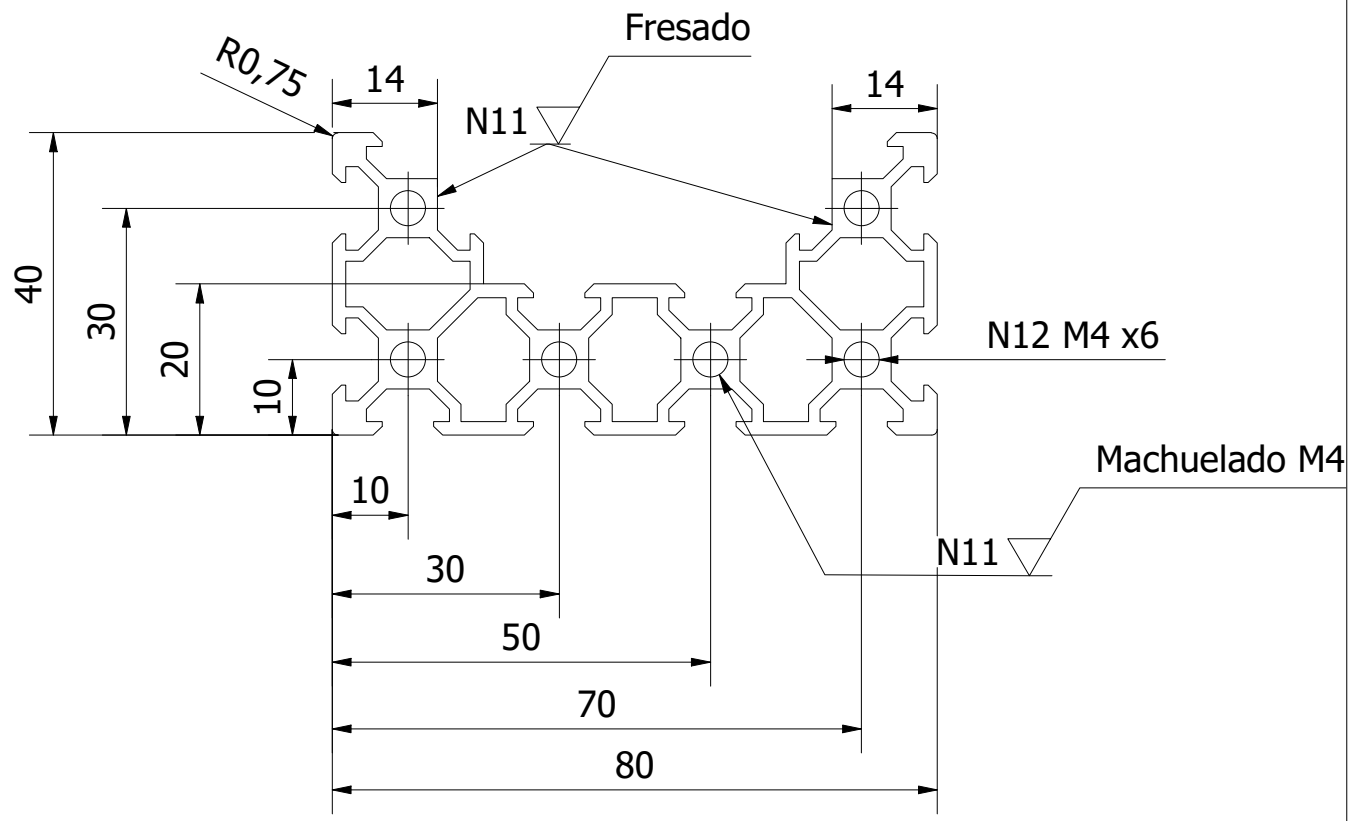
Notas:

- Procesos: Corte longitudinal con sierra de mesa, Fresado y machueleado
- 2 Unidades

VISTA LATERAL



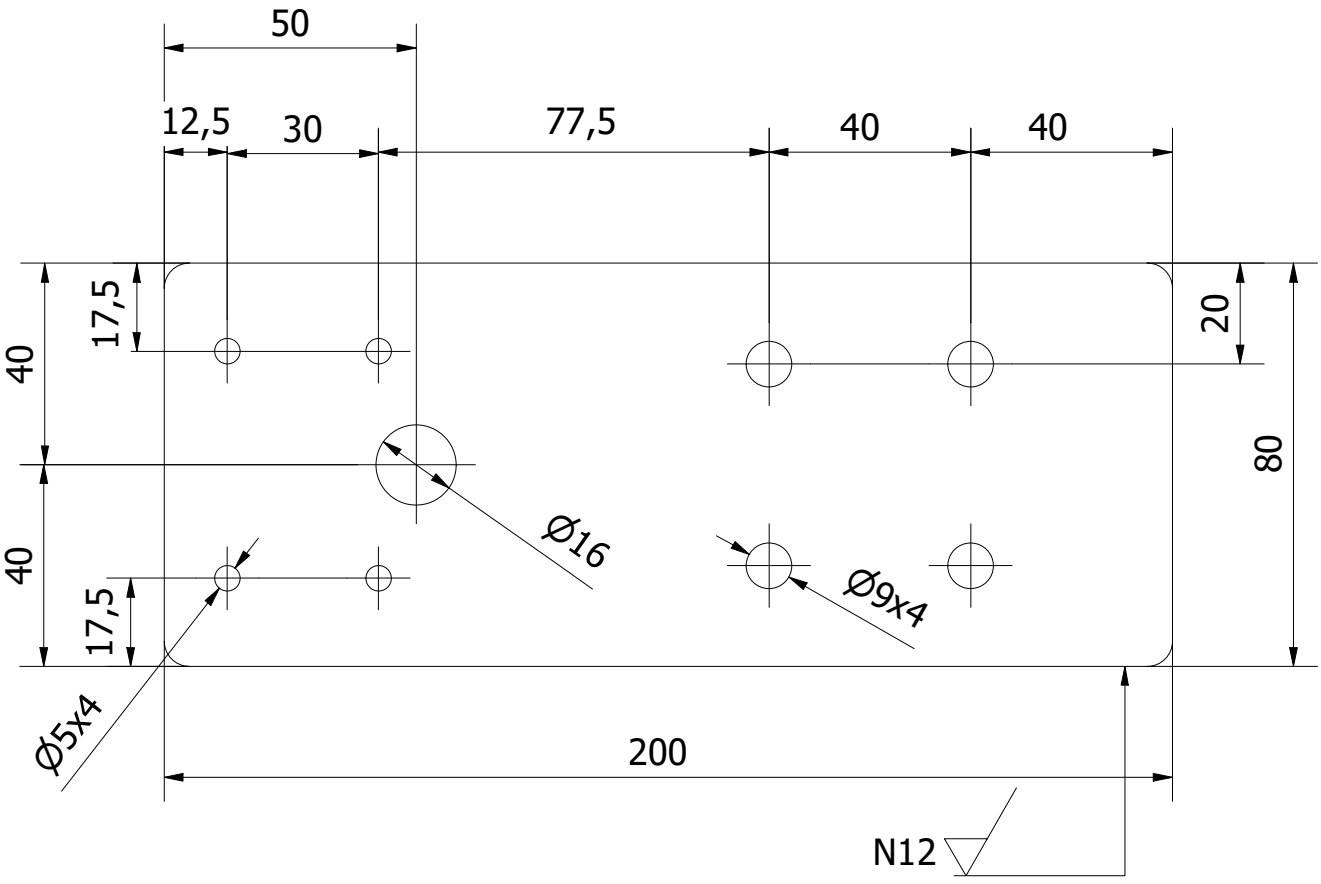
VISTA FRONTAL



DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Perfil de aluminio tipo "C" transversal 80x40xL800	1:1	F

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio Anodizado	GENERAL
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

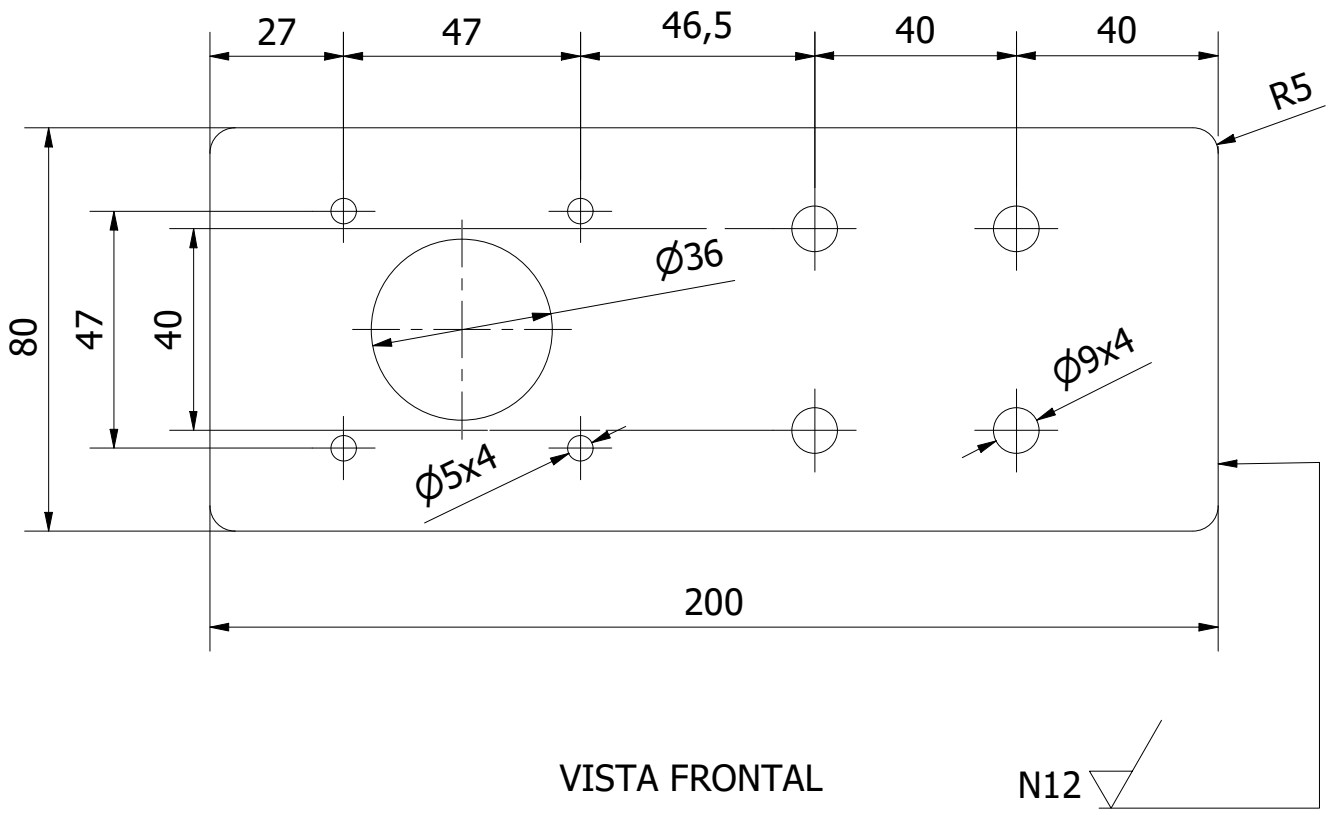
VISTA FRONTAL



Notas:

- Proceso: Corte por laser de CO2
- 2 Placas

DENOMINACIÓN: Placa de soorte para chumacera BK12			ESCALA: 1:2	CÓDIGO: G
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio plancha metalica de espesor 3 [mm]	
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

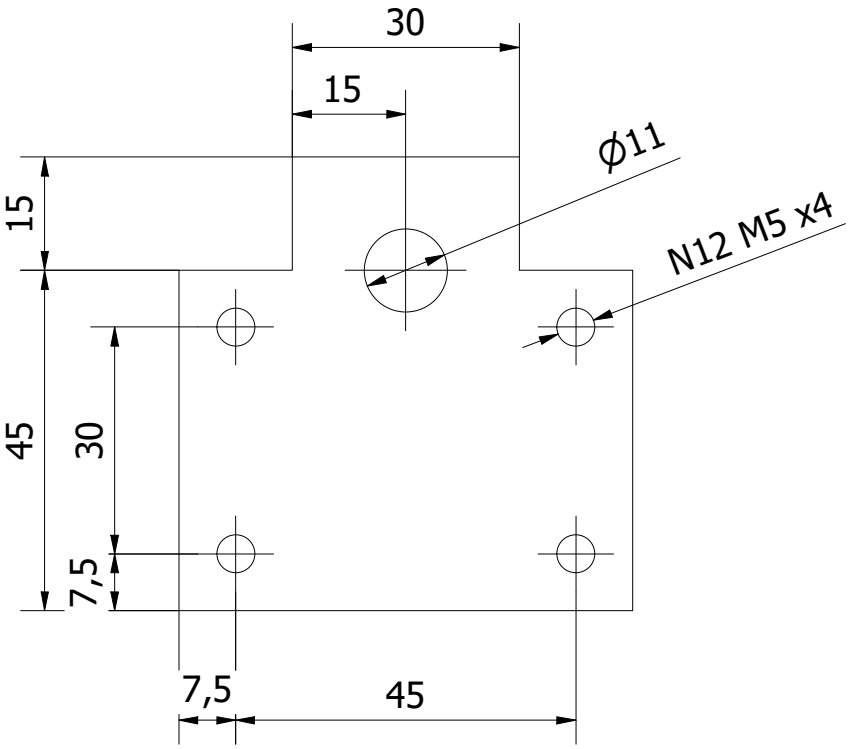


Notas:

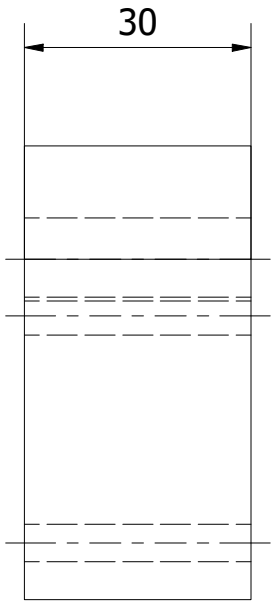
- Proceso: Corte por laser de CO2
- 2 Placas

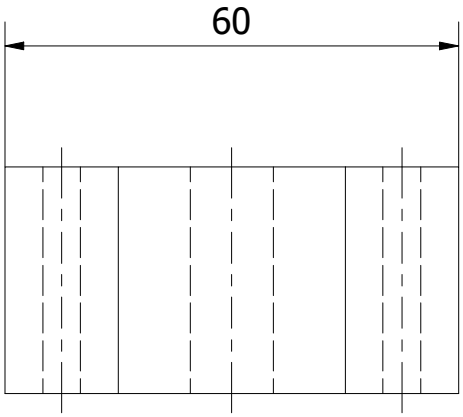
DENOMINACIÓN: Placa de soporte para motor NEMA23			ESCALA: 1:2	CÓDIGO: H
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio plancha metalica de espesor 3 [mm]	GENERAL
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA FRONTAL

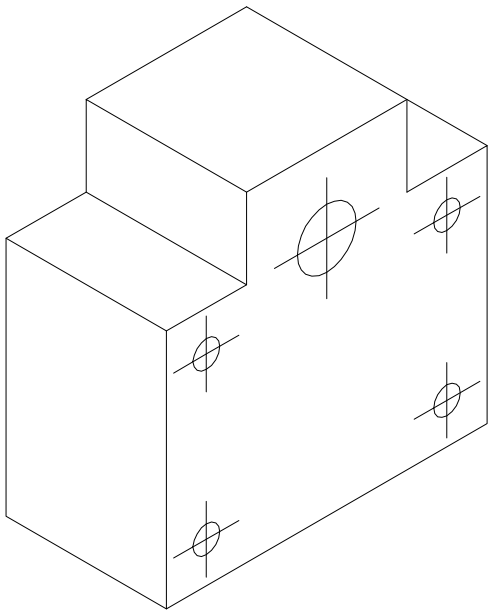


VISTA LATERAL IZQUIERDA





VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMÉTRICA

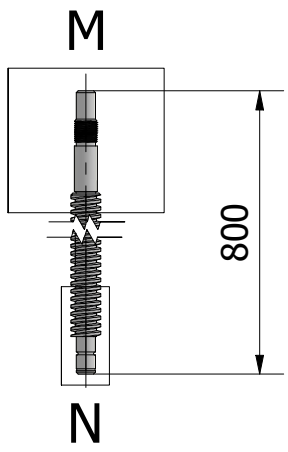
Notas:

- 3 Chumaceras BK 12

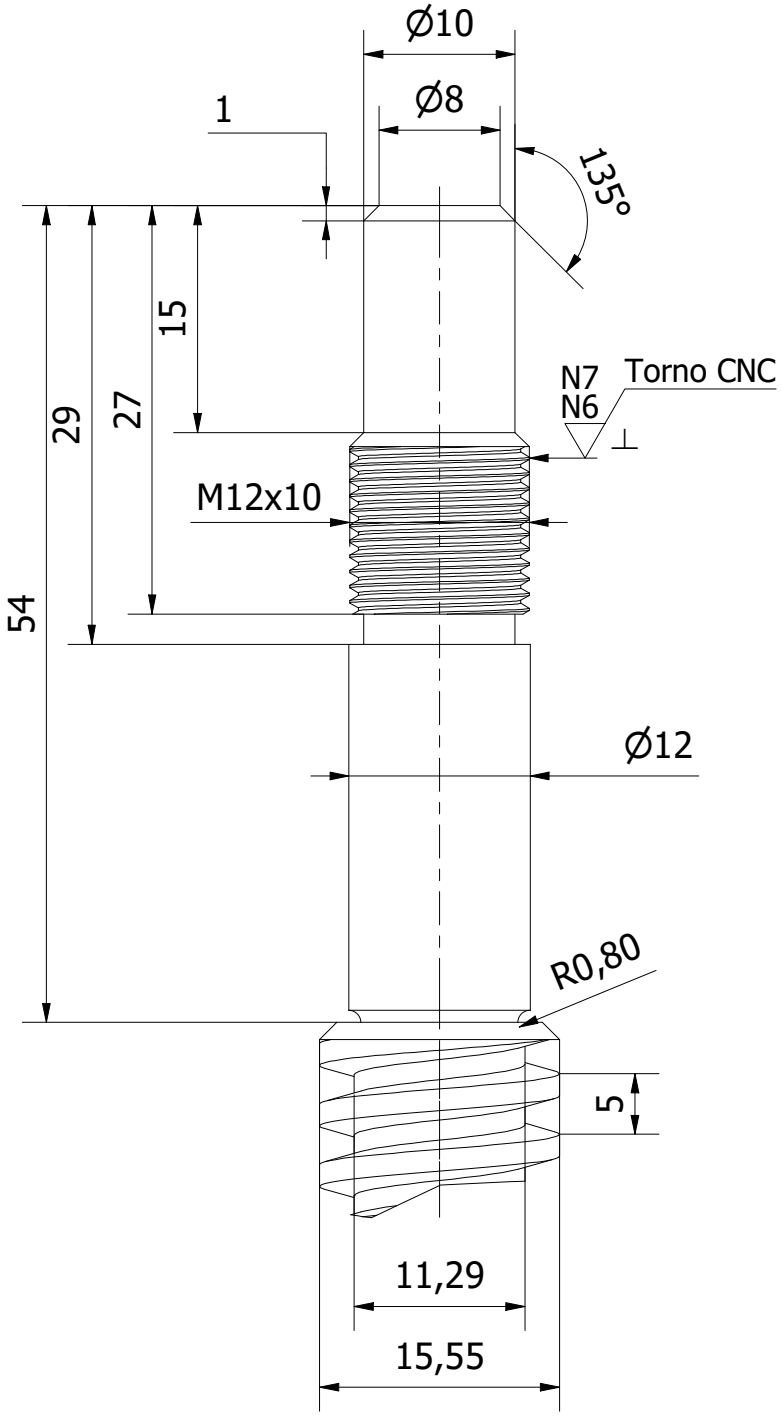
DENOMINACIÓN: Chumacera BK 12		ESCALA: 1:1	CÓDIGO: I

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Hierro	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

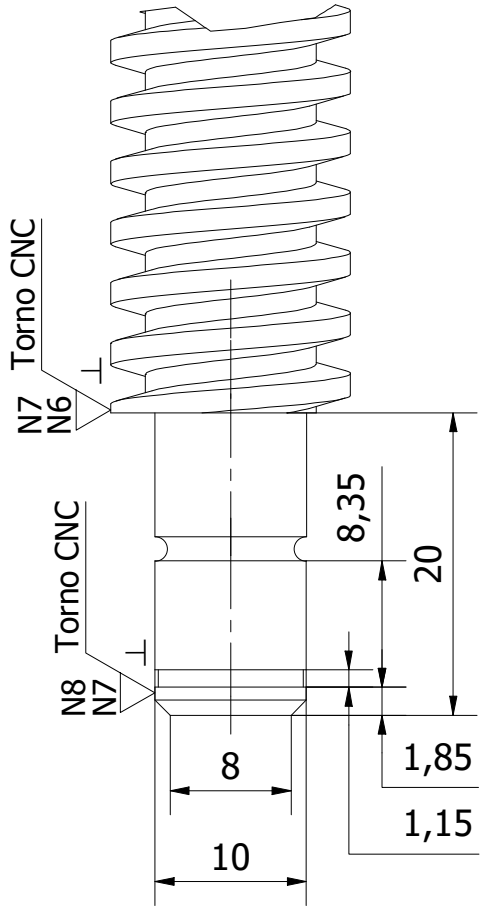
VISTA PRINCIPAL



DETALLE M (2 : 1)



DETALLE N (2 : 1)



Notas:

- Procesos: Fabricación con Torno CNC.
- 2 Tornillos para los perfiles longitudinales.

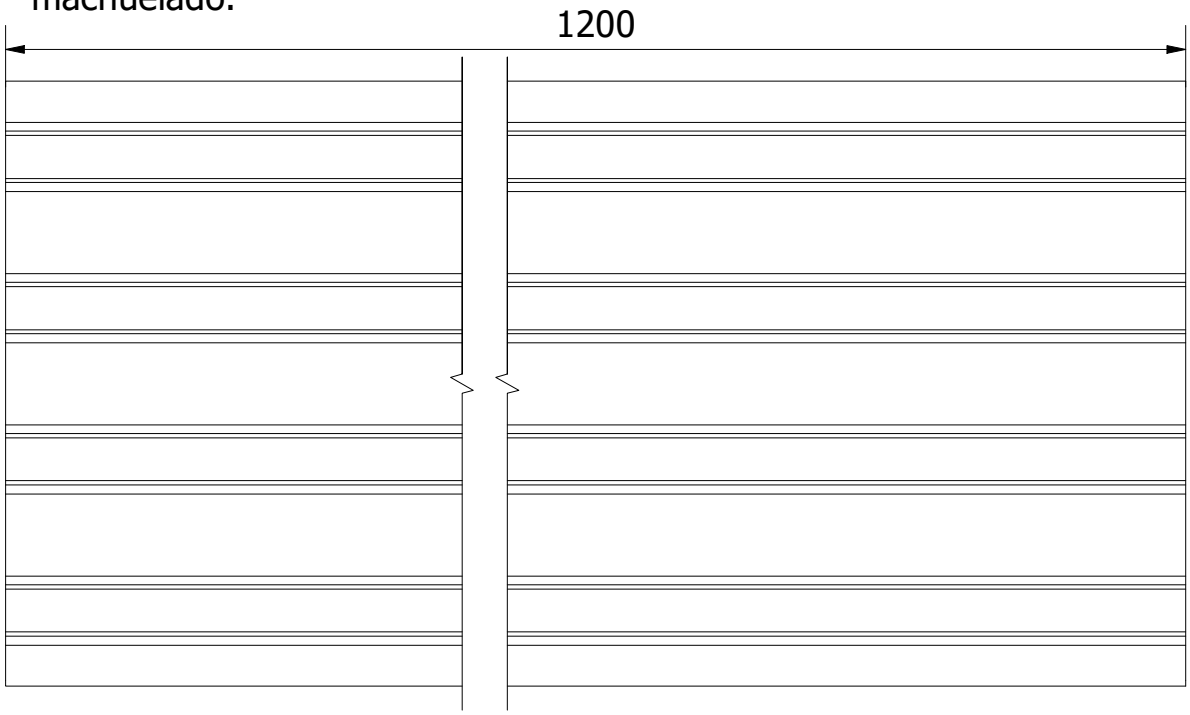
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Tornillo sin fin SFU 1605	1:4	J

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Acero Inoxidable	+ 0,00 - 0,18
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

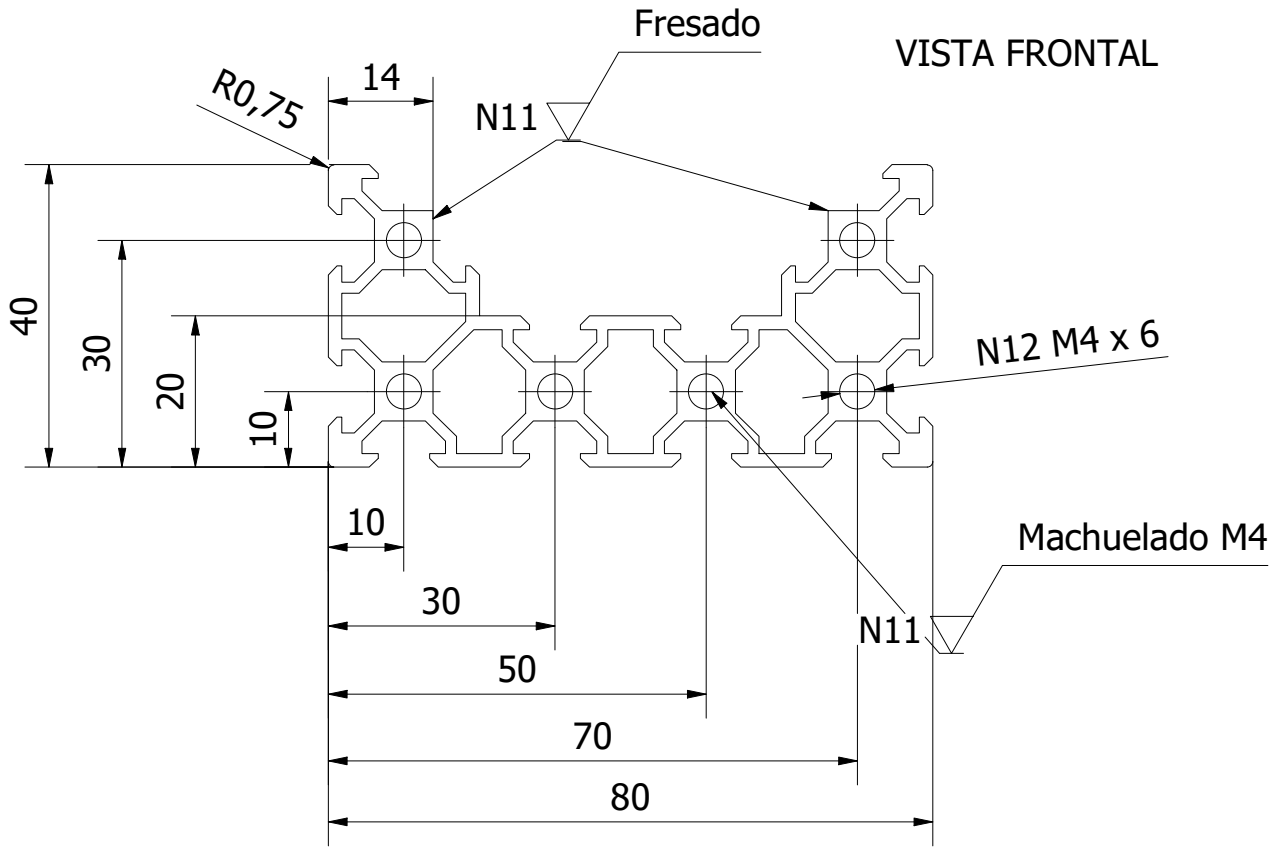
Notas:

- Procesos: Corte longitudinal con sierra de mesa, Freado y machuelado.

VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL

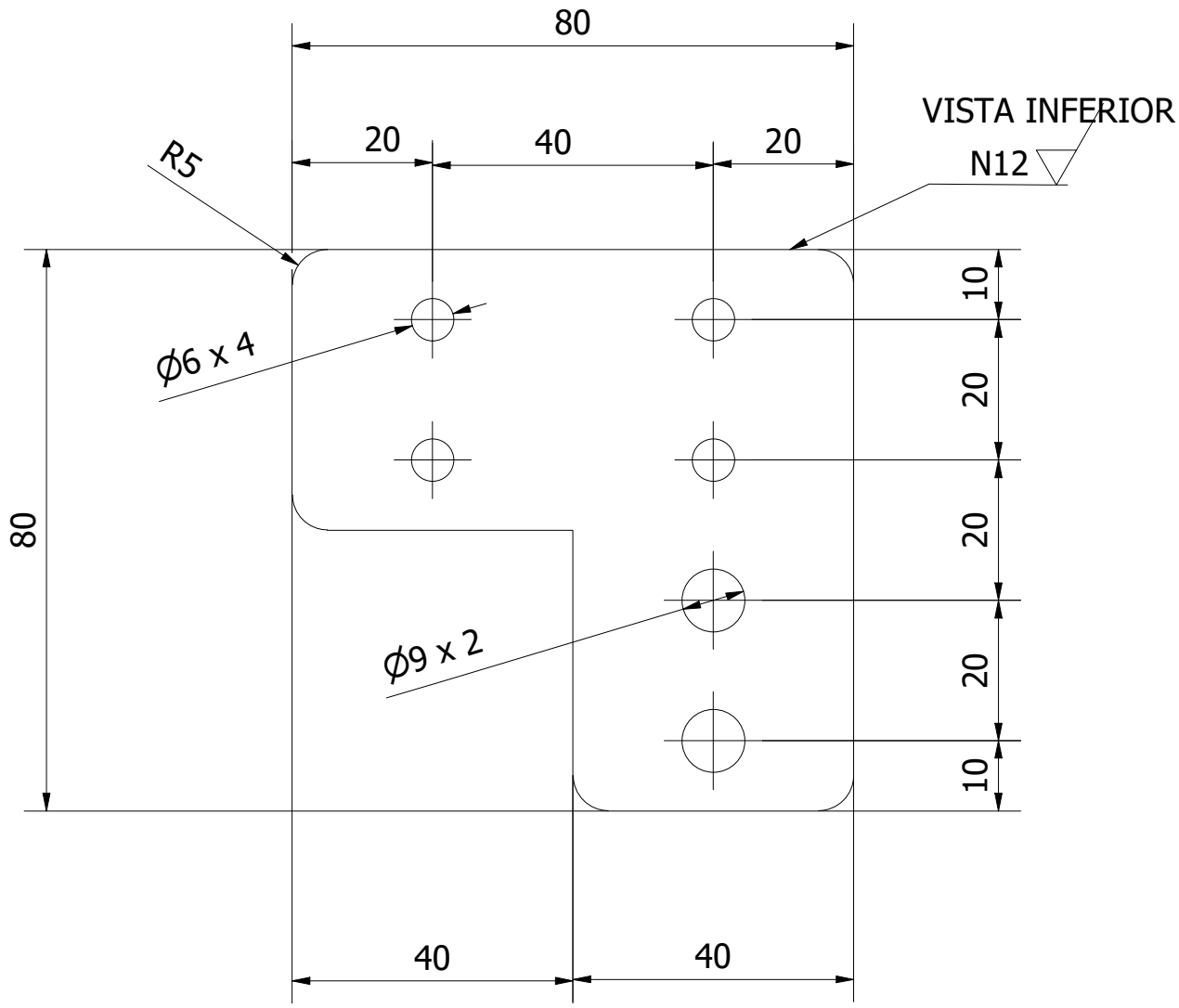


DENOMINACIÓN: Perfil de aluminio tipo "C" longitudinal 80x40xL1200	ESCALA: 1:1	CÓDIGO: K

	FECHA	NOMBRE		
			MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio Anodizado	GENERAL
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

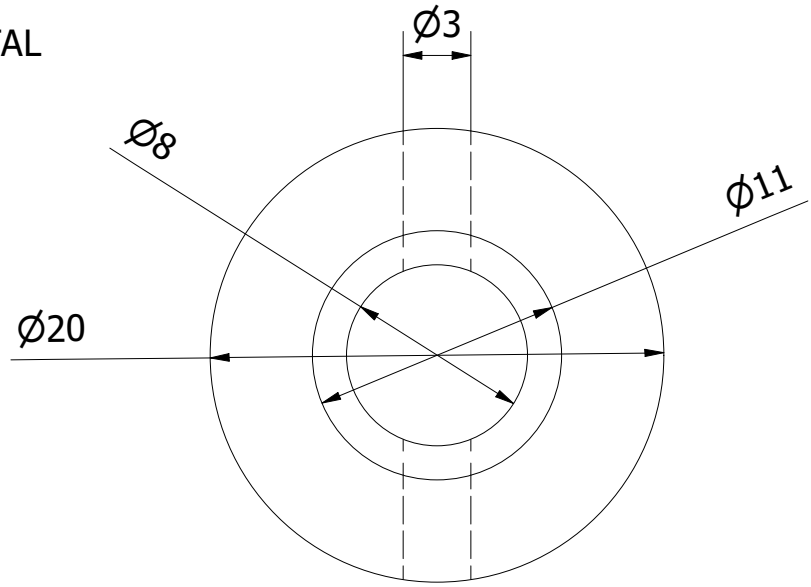
Notas:

- Procesos: Corte por laser de CO2
- 8 Placas

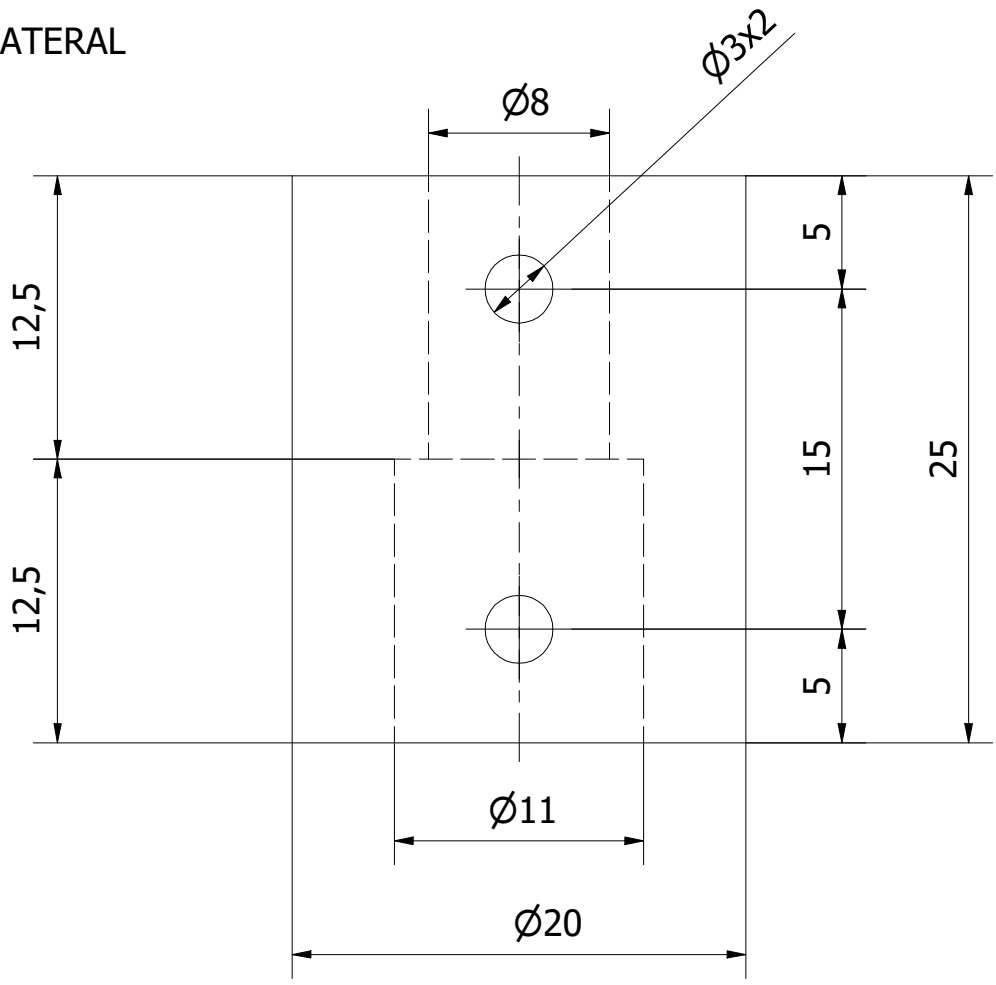


DENOMINACIÓN: Placa de unión tipo "L" para perfil tipo "C" con perfil 80x40			ESCALA: 1:1	CÓDIGO: L
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio en plancha de espesor 3 [mm]	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



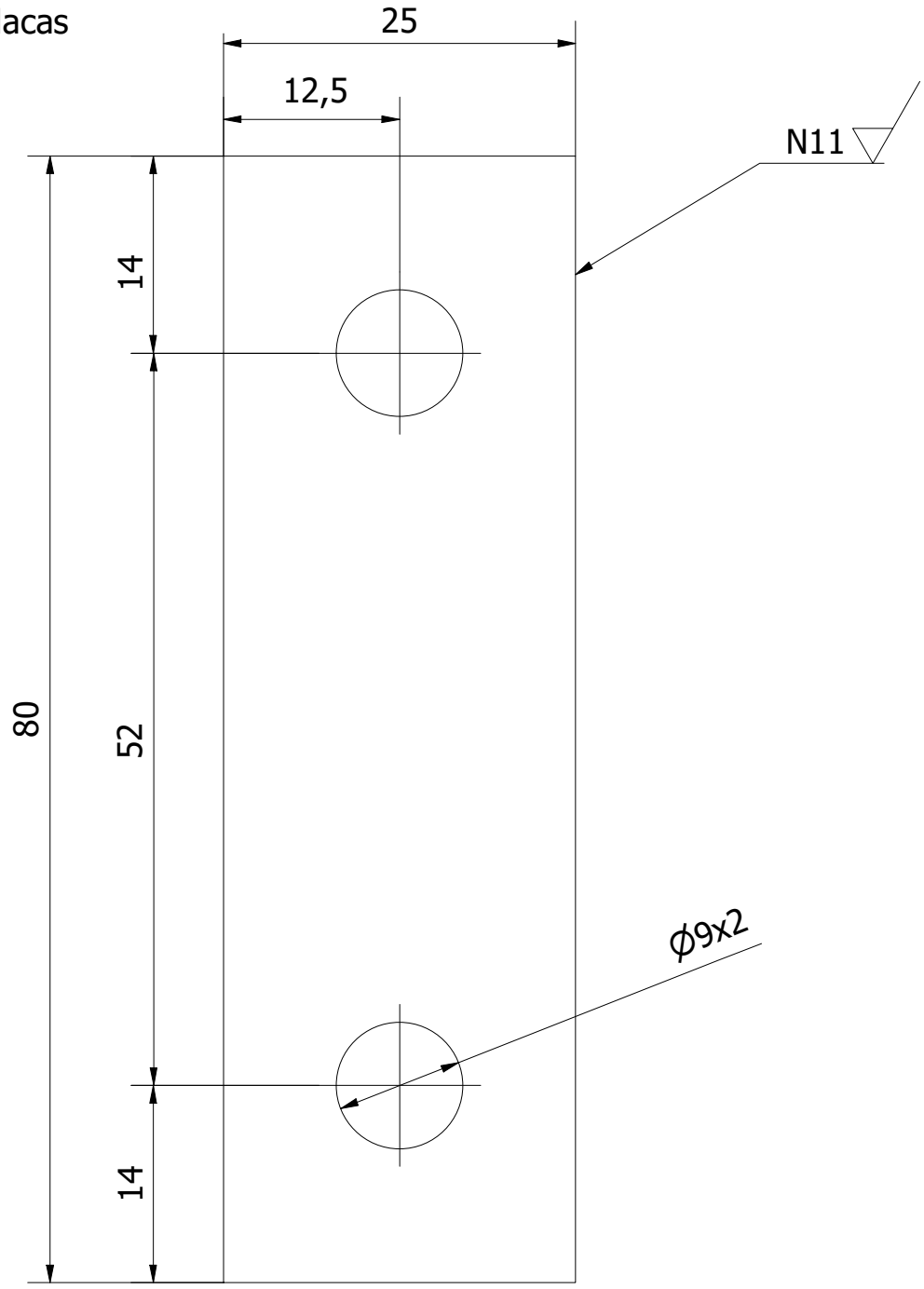
DENOMINACIÓN: Acople para Tornillo SFU1605 con Motor NEMA23	ESCALA: 3:1	CÓDIGO: P

	FECHA	NOMBRE		
			MATERIAL Aluminio	TOLERANCIA: GENERAL
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC		
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

VISTA FRONTAL

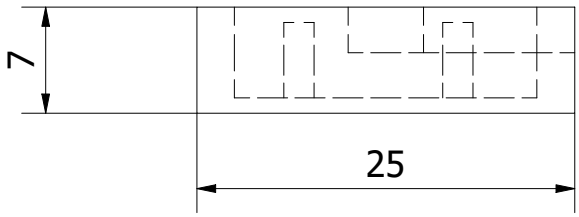
Notas:

- Procesos: Taladrado
- 12 Placas

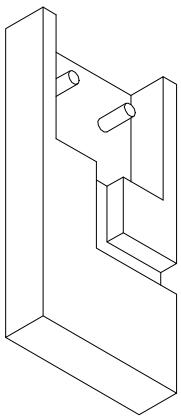


DENOMINACIÓN: Platina para unión de Estructura de soporte con Tablero de madera			ESCALA: 2:1	CÓDIGO: Y
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Plancha metalica de acero con espesor 2.4 [mm]	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

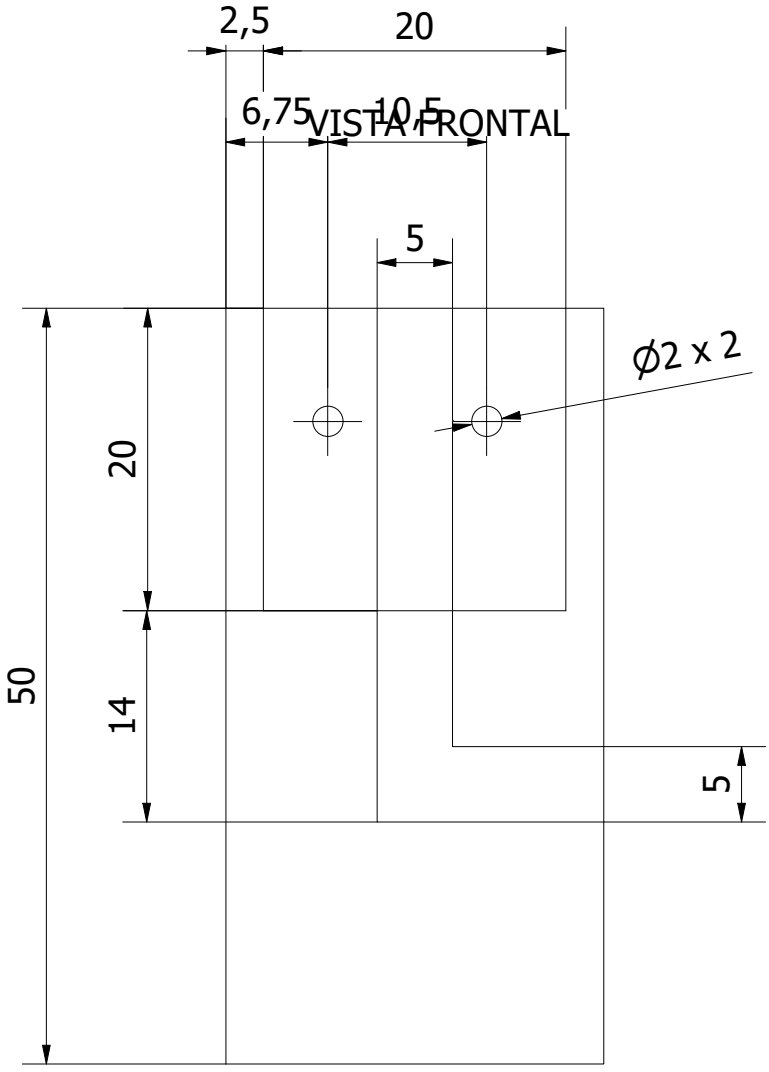
VISTA INFERIOR



VISTA ISOMÉTRICA

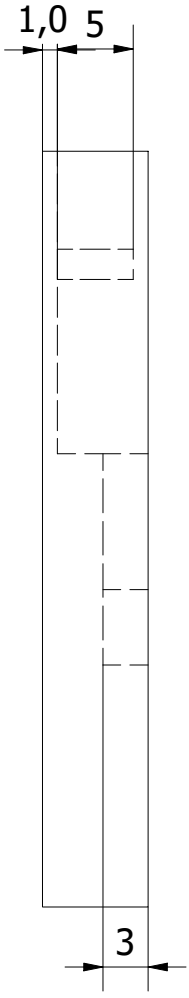


ESCALA 1:1



VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL IZQUIERDA



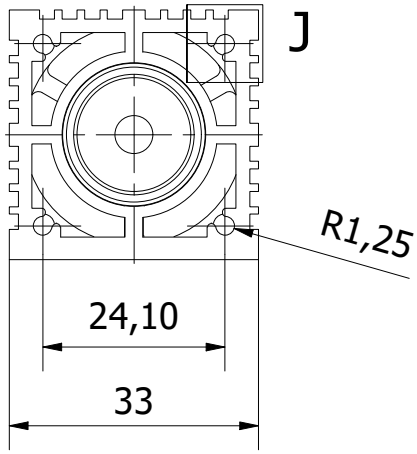
Notas:

- Impresión 3D
- 2 Sujetadores Final de Carrera

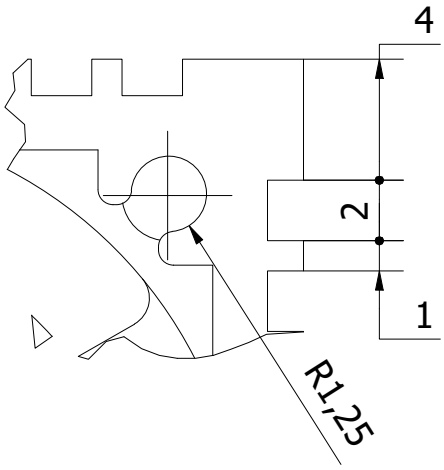
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Sujetador Final de Carrera	2:1	AA

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	PETG	General
Revisado por:			TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:			REFERENCIA	

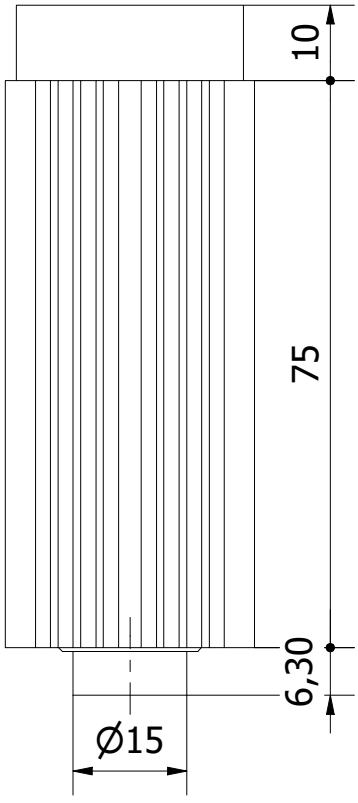
VISTA INFERIOR



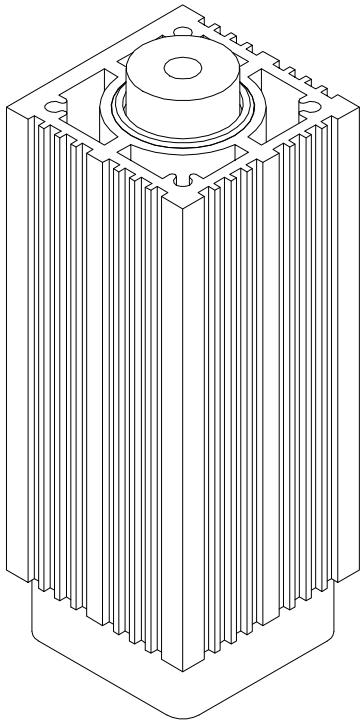
DETALLE J (4 : 1)



VISTA LATERAL



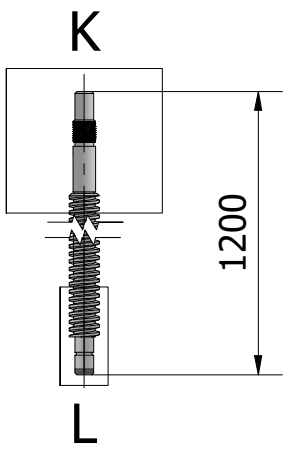
VISTA ISOMÉTRICA



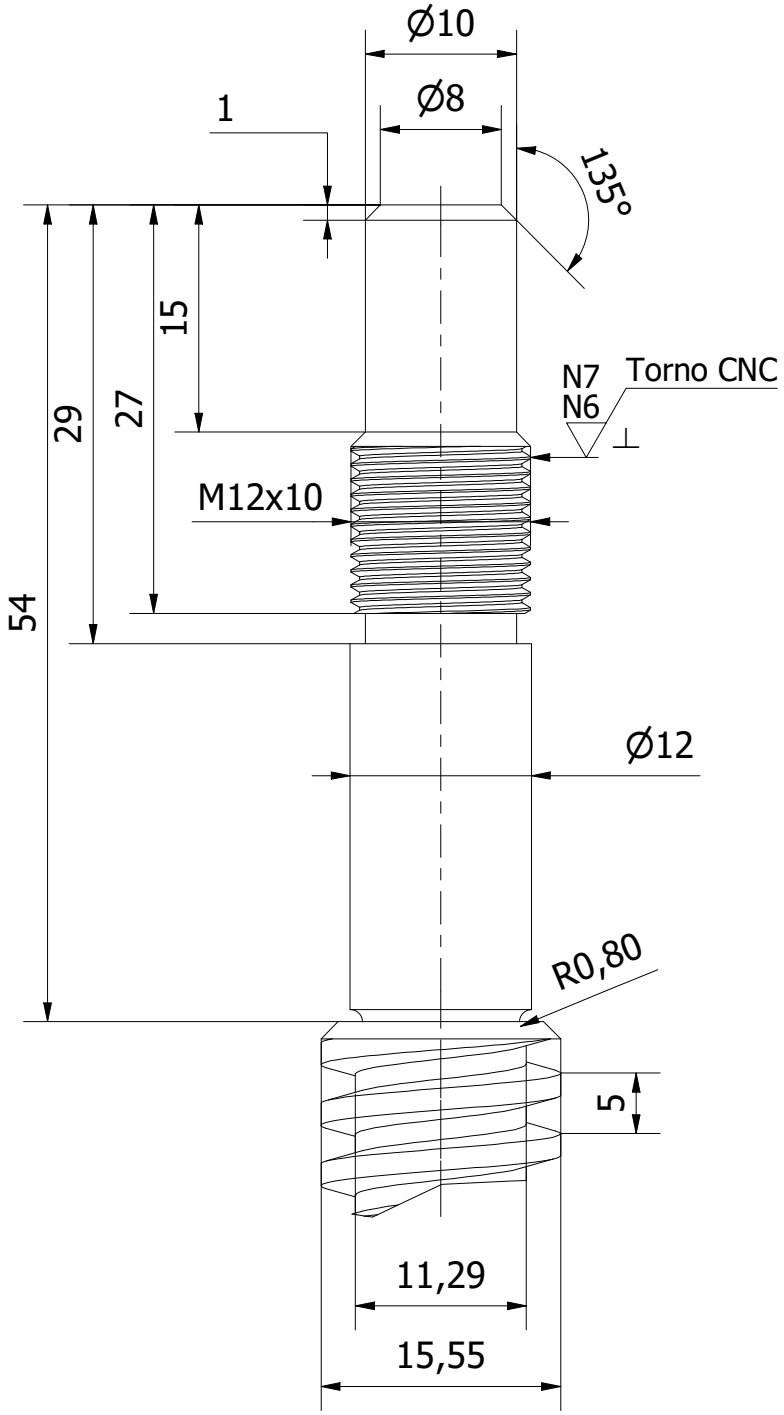
DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Láser 5.5 W Sainsmart	1:1	AB

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Aluminio Anodizado	General
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	

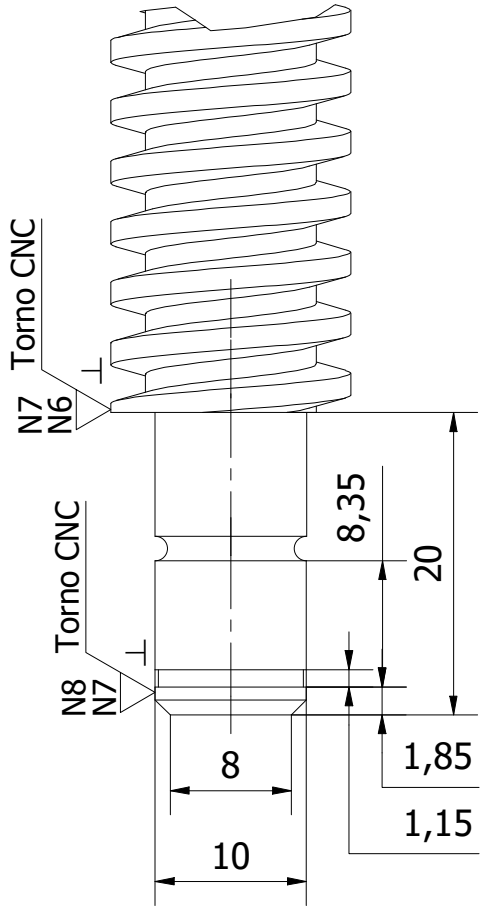
VISTA PRINCIPAL



DETALLE L (2 : 1)



DETALLE K (2 : 1)



Notas:

- Procesos: Fabricación con Torno CNC.
- 1 Tornillo para el perfil longitudinal.

DENOMINACIÓN:	ESCALA:	CÓDIGO:
Tornillo sin fin SFU 1605	1:4	AC

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL	TOLERANCIA:
Elaborado por:	05/12/2024	Grupo CNC	Acero Inoxidable	+ 0,00 - 0,18
Revisado por:	14/12/2024	Grupo CNC	TRATAMIENTOS	USFQ
Aprobado por:	14/12/2024	Grupo CNC	REFERENCIA	