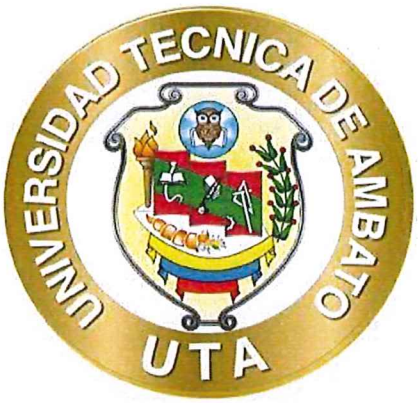


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

TEMA:

Automatización del movimiento vertical de la antorcha de plasma para el corte de acero

Trabajo de titulación modalidad proyecto técnico, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Autor: Carlos Daniel López Villacis

Tutor: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc.

AMBATO – ECUADOR

Junio – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del proyecto técnico, previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: "**AUTOMATIZACIÓN DEL MOVIMIENTO VERTICAL DE LA ANTORCHA DE PLASMA PARA EL CORTE DE ACERO**", elaborado por el estudiante **Carlos Daniel López Villacis**, portador de la cédula de ciudadanía número **180516444-7**, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el trabajo experimental (o proyecto técnico) es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, junio 2025

.....

Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Carlos Daniel López Villacis**, con C.C. **180516444-7** declaro que los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente proyecto técnico con el tema: **"AUTOMATIZACIÓN DEL MOVIMIENTO VERTICAL DE LA ANTORCHA DE PLASMA PARA EL CORTE DE ACERO"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones de mi exclusiva responsabilidad autor del proyecto técnico, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor,

Ambato, junio 2025

.....

Carlos Daniel López Villacis

C.C. 180516444-7

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi proyecto técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia y mis derechos de autor.

Ambato, junio 2025

.....

Carlos Daniel López Villacis

C.C. 180516444-7

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del proyecto técnico, realizado por el estudiante **Carlos Daniel López Villacis**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: " **AUTOMATIZACIÓN DEL MOVIMIENTO VERTICAL DE LA ANTORCHA DE PLASMA PARA EL CORTE DE ACERO**".

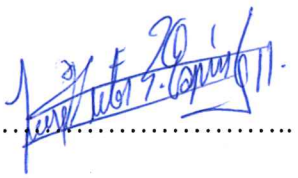
Ambato, junio 2025

Para constancia firma:



.....

Ing. Oscar Analuiza



.....

Ing. Víctor Espín

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Geoconda y Guillermo, quienes con su amor, sacrificio y sabiduría me han enseñado que no hay obstáculos imposibles cuando se trabaja con dedicación y pasión. Agradezco profundamente su apoyo incondicional durante toda mi vida y especialmente en este largo y exigente camino académico. Su confianza en mí ha sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanos Sebastián y Alejandro, quienes siempre han sido una fuente de inspiración y fortaleza. Gracias por estar siempre presentes, por su aliento constante y por enseñarme que juntos somos más fuertes.

A mi novia Melanie, gracias por tu amor incondicional, por ser mi compañera, mi confidente y mi mayor apoyo en cada paso que di durante esta etapa. Has sido mi fuerza en los momentos de duda y cansancio, motivándome a seguir adelante cuando todo parecía difícil, me has mostrado el verdadero significado de apoyo mutuo y amor. Este logro también es tuyo, porque sin ti no hubiese llegado tan lejos. Tu presencia en mi vida ha hecho este proceso mucho más llevadero y significativo.

A mis amigos, Carolina, Samuel, Alex, Adrián, y Welford, que durante todo este proceso me han brindado su apoyo, su paciencia y su compañía. Gracias por entender los sacrificios y por ayudarme a mantenerme motivado, incluso cuando las fuerzas flaqueaban. Su amistad ha sido una de las más grandes bendiciones en este viaje.

A todas las personas que, de alguna forma, han contribuido a mi crecimiento personal y profesional, ya sea con una palabra de aliento, una crítica constructiva o un gesto de apoyo. Cada uno de ustedes ha dejado una huella en mi vida y ha sido una parte esencial en este logro.

Este trabajo no solo es el resultado de mis esfuerzos, sino también de la energía, la dedicación y el amor de todas las personas que me rodean y que han creído en mí. A ellos les debo mi perseverancia y mi pasión por seguir aprendiendo y creciendo cada día.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor, Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc., por su dedicación, paciencia y valiosos consejos. Su guía ha sido esencial para el desarrollo de este trabajo y para mi crecimiento académico.

A todos los docentes y compañeros que, con sus aportes y enseñanzas, me han enriquecido durante mi formación, y a todos aquellos que compartieron su conocimiento y experiencia durante el desarrollo de esta tesis.

A la Universidad Técnica de Ambato por brindarme las herramientas y el ambiente necesario para alcanzar este logro.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron con su apoyo emocional, profesional y personal para que este proyecto fuera posible.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA i
APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO viii
ÍNDICE DE FIGURAS x
ÍNDICE DE TABLAS xi
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS xii
RESUMEN EJECUTIVO xiii
ABSTRACT xiv
CAPÍTULO I 15
MARCO TEÓRICO 15
1. 1 Justificación 15
1.1.1 Antecedentes investigativos 16
1.1.2 Antecedentes históricos 18
1.1.3 Corte por plasma 20
1.1.4 Control de altura de la antorcha 22
1.1.5 Actuadores lineales en la automatización 22
1.1.6 Automatización del corte de plasma 24
1.1.7 Sensores de proximidad y retroalimentación 24
1.1.8 Tendencias y avances en la automatización del corte de plasma 29
1.2 Objetivos 29
1.2.1 Objetivo general 29
1.2.2 Objetivos específicos 29
CAPÍTULO II 30
METODOLOGÍA 30

2.1 Equipos y materiales 31
2.2 Métodos 36
2.2.1 Método cuantitativo 36
2.2.2 Método bibliográfico 36
2.2.3 Etapas del proyecto 37
CAPÍTULO III 39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 39
3. Análisis y discusión de los resultados 39
3.1 Selección de equipos y materiales. 39
3.2 Diseño del eje z 39
3.3 Pruebas de diseño y resistencia 51
3.4 Selección de componentes electrónicos 57
3.5 Pruebas de funcionamiento. 64
3.6 Costos 64
CAPÍTULO IV 68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 68
4.1 Conclusiones 68
4.2 Recomendaciones 69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70
Anexos 73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sensor de retroalimentación THC3T-03 28
Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto. 38
Figura 3. Datasheet motor NEMA 17 47
Figura 4. Motor Nema 17. 47
Figura 5. Catálogo husillo de rosca trapezoidal 48
Figura 6. Husillo roscado y motor acoplados. 48
Figura 7. Husillo roscado (simulación). 49
Figura 8. Catálogo chumacera de piso 50
Figura 9. Base de soporte. 51
Figura 10. Tensiones de Von Mises de la base de soporte. 52
Figura 11. Desplazamientos base de soporte. 53
Figura 12. Factor de seguridad de la base soporte 53
Figura 13. Soporte motor a pasos. 54
Figura 14. Tensiones de Von Mises soporte motor a pasos. 55
Figura 15. Desplazamientos soporte motor a pasos. 55
Figura 16. Factor de seguridad del soporte motor a pasos. 56
Figura 17. Driver DM542A. 57
Figura 18. THC3T-03 en funcionamiento. 62
Figura 19. Diagrama de conexión. 63
Figura 20. Diagrama eléctrico 63

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I CALSIFICACIÓN DE SOPLETES PAC 21
TABLA II LISTADO DE MATERIALES 31
TABLA III LISTADO DE EQUIPOS 34
TABLA IV PESO DE ELEMENTOS DEL EJE Z 41
TABLA V TENSIONES DE VON MISES DE LA BASE DE SOPORTE 52
TABLA VI DESPLAZAMIENTOS PARA LA BASE DE SOPORTE 53
TABLA VII FACTOR DE SEGURIDAD DE LA BASE DE SOPORTE 54
TABLA VIII TENSIONES DE VON MISES SOPORTE MOTOR A PASOS 55
TABLA IX DESPLAZAMIENTOS SOPORTE MOTOR A PASOS 56
TABLA X FACTOR DE SEGURIDAD DEL SOPORTE MOTOR A PASOS 56
TABLA XI CONFIGURACIÓN DE LA CORRIENTE DE SALIDA DEL DRIVER DM542A 58
TABLA XII CONFIGURACIÓN DE LOS MICROPASOS DEL DRIVER DM542A 58
TABLA XIII CONFIGURACIÓN COMPLETA DEL DRIVER DM542A 58
TABLA XIV PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO THC3T 60
TABLA XV CONFIGURACIÓN DE PINES PARA INTEGRAR EL THC CON EL MACH3 61
TABLA XVI RESULTADOS PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO 64
TABLA XVII COSTOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES 65
TABLA XVIII COSTOS ELEMENTOS ACTUADOR LINEAL 65
TABLA XIX COSTOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS, ELECTRÓNICOS Y DE CONTROL 66
TABLA XX COSTOS TRANSPORTE Y MANO DE OBRA 67
TABLA XXI RESUMEN DE COSTOS 67

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

THC	Torch Height Controller
CNC	Computer Numerical Control
PAC	Plasma Arc Cutting
IA	Inteligencia Artificial

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto se enfoca en el diseño y desarrollo de un prototipo de automatización vertical para la antorcha de corte de plasma, con el objetivo de mejorar la precisión y la eficiencia del proceso de corte, garantiza cortes más limpios y consistentes. La máquina está destinada al corte de tubos redondos, y se busca mantener la altura constante de la antorcha a lo largo del corte, optimiza así la calidad del trabajo.

El enfoque metodológico empleado incluye métodos cuantitativos, experimentales y bibliográficos. En la fase cuantitativa, se realizaron cálculos matemáticos para determinar parámetros esenciales del sistema, como el torque necesario de los motores, la presión adecuada para el corte y la flexión en los ejes del prototipo. El método experimental permitió validar el prototipo mediante pruebas de funcionamiento en condiciones reales de corte, ajustar los parámetros de operación, como la presión de oxígeno y la altura de la antorcha, para obtener los mejores resultados. Finalmente, el método bibliográfico se utilizó para recopilar información técnica relevante sobre sistemas similares y tecnologías emergentes, proporciona un marco teórico sólido que guía el diseño y desarrollo del prototipo.

El prototipo diseñado incluye un sistema de control electrónico para el movimiento vertical del eje Z, utiliza actuadores lineales, motores a pasos y sensores de proximidad para mantener una distancia constante entre la antorcha y la superficie del material. A través de este sistema automatizado, se busca minimizar las variaciones en la altura de la antorcha, lo que a su vez mejora la calidad del corte y aumenta la productividad del proceso.

Las pruebas de funcionamiento realizadas validaron la eficacia del prototipo, permitiendo lograr cortes precisos y consistentes. Este prototipo proporciona una solución eficiente para el corte de tubos redondos, optimiza el proceso y garantiza calidad, precisión y reducidos márgenes de error.

PALABRAS CLAVE: ANTORCHA, AUTOMATIZACIÓN, EJE Z, PLASMA.

ABSTRACT

This project focuses on the design and development of a vertical automation prototype for the plasma cutting torch, with the objective of improving the accuracy and efficiency of the cutting process, ensuring cleaner and more consistent cuts. The machine is intended for cutting round tubes, and the aim is to maintain a constant torch height throughout the cut, thus optimizing the quality of the work.

The methodological approach employed includes quantitative, experimental and bibliographic methods. In the quantitative phase, mathematical calculations were performed to determine essential parameters of the system, such as the necessary torque of the motors, the adequate pressure for cutting and the bending in the axes of the prototype. The experimental method allowed the prototype to be validated by means of operating tests under real cutting conditions, adjusting the operating parameters, such as oxygen pressure and torch height, to obtain the best results. Finally, the bibliographic method was used to gather relevant technical information on similar systems and emerging technologies, providing a solid theoretical framework to guide the design and development of the prototype.

The performance tests carried out validated the efficiency of the prototype, allowing precise and consistent cuts to be achieved. This prototype provides an efficient solution for cutting round tubes, optimizing the process and guaranteeing quality, precision and reduced margins of error.

KEY WORDS: TORCH, AUTOMATION, Z-AXIS, PLASMA.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. 1 Justificación

El corte mediante plasma se ha convertido en una de las tecnologías más sobresalientes dentro de la industria dedicada a la metalurgia, esto se debe a que su capacidad de cortar materiales es accesible, exacta y mucho más rápida. Dicho proceso puede llevarse a cabo dentro de una amplia gama de materiales ya sea el acero, el cobre, el aluminio, entre muchos otros. Por otro lado, puede contar con algunas desventajas si no se sabe aplicar de manera adecuada, entre ellas se puede encontrar la inestabilidad del corte, además de que depende netamente de la intervención humana y sus tiempos de inactividad pueden resultar molestos.

La automatización del corte por plasma, mediante la integración de CNC (Control Numérico Computarizado) y THC (Control de altura de antorcha), ha representado un avance significativo al mejorar la precisión, velocidad y eficiencia del proceso. Según [1], el uso de CNC permite controlar con precisión los movimientos de la antorcha, lo que garantiza que el corte se realice con alta repetibilidad y consistencia, elimina los errores humanos que pueden ocurrir con el corte manual. La automatización contribuye a una mayor calidad del corte, ya que el sistema de CNC ajusta automáticamente los parámetros como la velocidad y la potencia, lo que asegura cortes más limpios y precisos [2].

Por otro lado, el sistema THC se encarga de ajustar la altura de la antorcha de plasma durante el corte, lo que es esencial para mantener una distancia constante entre la boquilla y el material. Según [3], este ajuste continuo mejora la calidad del corte al evitar que la boquilla entre en contacto innecesario con el material, lo que también contribuye a la eficiencia energética del proceso. La automación mediante CNC y THC no solo optimiza el uso de energía, sino que también permite realizar cortes más rápidos, reduciendo el desperdicio de material y aumenta la rentabilidad [4].

Además, los avances en la tecnología de corte por plasma automatizado han permitido una mejora en la sostenibilidad de los procesos industriales. La automatización no solo mejora la precisión y calidad del corte, sino que también contribuye a la reducción de los costos operativos, ya que la capacidad de ajustar automáticamente los parámetros de corte y la

altura de la antorcha minimiza el consumo de energía y el desgaste de los consumibles [5]. Además, la optimización del consumo energético es uno de los beneficios clave de la automatización, ya que el sistema ajusta el uso de energía según las necesidades del proceso en tiempo real, lo que reduce los costos y mejora la eficiencia operativa [6].

En cuanto a la productividad, la integración de sistemas de control avanzados como CNC y THC permite realizar cortes de manera continua y eficiente, sin la necesidad de intervención manual. La automatización mejora la flexibilidad del proceso de corte, ya que permite adaptar rápidamente las máquinas a diferentes tipos de material y geometría de la pieza sin necesidad de ajustes manuales, lo que mejora la eficiencia general del proceso de producción [7].

Por último, la investigación sobre automatización en el corte por plasma busca mejorar la calidad, la eficiencia energética y la sostenibilidad del proceso de fabricación en la industria metalúrgica. Según [8], la capacidad de los sistemas automatizados para ajustar dinámicamente los parámetros del corte en función del material y las condiciones del proceso contribuye significativamente a la optimización de los recursos y a la reducción de la huella de carbono de las operaciones industriales.

En resumen, la automatización del corte por plasma con la integración de CNC y THC es una estrategia clave para mejorar la calidad del corte, aumentar la productividad, reducir los costos operativos y promover la sostenibilidad en la industria. Este trabajo se justifica al abordar los desafíos que enfrenta la industria metalúrgica, ofreciendo soluciones prácticas para mejorar los procesos de producción, incrementar su competitividad en el mercado y reducir su impacto ambiental.

1.1.1 Antecedentes investigativos

El estudio y la mejora del corte por plasma automatizado han sido temas de investigación desde hace varios años, ya que esta tecnología es fundamental para la producción de piezas de alta precisión en diversos sectores industriales. A lo largo del tiempo, diversas investigaciones han demostrado los beneficios de integrar sistemas CNC y THC para optimizar el proceso de corte por plasma [2].

Una de las primeras investigaciones sobre la integración de sistemas CNC en máquinas de corte por plasma, se centró en el diseño e implementación de un sistema automatizado que permitió un control preciso de los movimientos de la antorcha, mejora la calidad del corte y reduciendo los tiempos de inactividad en comparación con los métodos manuales. Este trabajo fue clave para comprender cómo la automatización podía mejorar la repetibilidad y precisión del corte, dos factores esenciales para la fabricación de piezas de alta calidad [2].

Por su parte, investigó el impacto de la automatización del corte por plasma en la calidad y eficiencia del proceso. Sus investigaciones mostraron que la integración de sistemas CNC y THC no solo mejoraba la precisión del corte, sino que también contribuía significativamente a la reducción del consumo de energía y al ahorro de material. De acuerdo con sus hallazgos, la automatización en el corte por plasma no solo optimiza la calidad del corte, sino que también incrementa la productividad al reducir el número de ajustes manuales, lo que mejora la eficiencia operativa [2].

En la misma línea, se profundizó en el control de la altura de la antorcha y su relación con la calidad del corte. Su estudio se enfocó en cómo el uso de THC mejora la precisión al mantener una distancia constante entre la boquilla y el material, lo que evita distorsiones en los cortes. Además, este ajuste dinámico contribuye a la reducción de la variabilidad en los cortes, lo que es crucial para aplicaciones que requieren tolerancias estrictas, como las utilizadas en la industria aeroespacial y automotriz [3].

En una investigación sobre la eficiencia energética en los procesos de corte por plasma, se destacó cómo los sistemas CNC y THC no solo mejoran la precisión y calidad del corte, sino que también permiten realizar ajustes en tiempo real para optimizar el consumo de energía. Este control en el uso de energía es crucial, ya que el corte por plasma es un proceso intensivo en energía, y la optimización de este recurso contribuye a una producción más económica y sostenible [4].

Por otro lado, se realizó una investigación exhaustiva sobre la sostenibilidad y el impacto ambiental del corte por plasma automatizado. Su estudio mostró que la automatización del corte por plasma mediante CNC y THC reduce significativamente la huella de carbono de las operaciones, ya que optimiza el uso de materiales y energía, disminuyendo el desperdicio durante el proceso. Este tipo de soluciones contribuye a que las empresas operen de manera

más sostenible y cumplan con las normativas ambientales que exigen una menor emisión de gases contaminantes [5].

Además, se investigó cómo la automatización en el corte por plasma mejora la productividad en fábricas de alta demanda, especialmente en aquellas que necesitan cortar una amplia variedad de piezas de diferentes materiales. En su estudio, demostró que los sistemas CNC y THC aumentan la eficiencia al permitir ajustes rápidos sin detener el proceso de producción, lo que reduce los tiempos de configuración y mejora el flujo de trabajo [6].

Finalmente, se evaluó el impacto de la automatización en el consumo energético en la industria metalúrgica. Su investigación mostró que los sistemas CNC y THC permiten una optimización significativa del uso de energía, reduciendo tanto los costos como el impacto ambiental del proceso. Estos avances no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también alinean los procesos industriales con las tendencias de sostenibilidad y responsabilidad ambiental [7].

En resumen, los estudios previos han demostrado que la automatización del corte por plasma mediante sistemas CNC y THC proporciona beneficios clave como la mejora de la calidad del corte, la reducción de costos operativos, la optimización energética, el aumento de la productividad y la sostenibilidad del proceso. Las investigaciones de [2], [3], [4], [5], [6], y [7] respaldan la importancia de explorar e implementar soluciones automatizadas en el corte por plasma para mejorar los procesos industriales y contribuir al desarrollo de la industria 4.0.

1.1.2 Antecedentes históricos

El corte por plasma es una tecnología que ha evolucionado considerablemente desde su invención. Su origen se remonta a la década de 1950, cuando los avances en la tecnología de la electricidad y los gases ionizados permitieron desarrollar métodos más rápidos y eficientes para cortar metales. Originalmente, el proceso de corte por plasma se utilizaba de manera manual, donde los operarios controlaban el movimiento de la antorcha y la potencia de corte. Sin embargo, esta técnica no estaba exenta de limitaciones, como la variabilidad en la calidad del corte, la necesidad de intervención humana constante y la falta de precisión en piezas con geometrías complejas [11].

En la década de 1960, los avances tecnológicos en control numérico y sistemas de automatización comenzaron a introducirse en diversas industrias, incluida la industria metalúrgica. El control numérico computarizado (CNC), que se desarrolló inicialmente para la industria de la maquinaria, pronto se aplicó al corte por plasma. Según [11], este avance permitió que las máquinas de corte por plasma fueran programables, lo que significaba que podían realizar cortes de manera repetitiva y consistente sin la intervención directa del operador. Esta tecnología permitió a las empresas mejorar la precisión y velocidad del corte y abrir nuevas posibilidades para cortar materiales más gruesos y complejos.

A lo largo de las décadas de 1970 y 1980, el uso de CNC en sistemas de corte por plasma se hizo cada vez más popular, permitiendo a las empresas mejorar tanto la calidad como la eficiencia en sus procesos de producción. La introducción de robots industriales y motores servosistemas en los años 80 revolucionó la automatización del corte por plasma. Este período fue clave para el desarrollo de máquinas de corte por plasma de alta precisión, donde las empresas comenzaron a utilizar robots controlados por CNC para realizar cortes complejos en piezas metálicas [1].

A finales de los años 90, los avances en la tecnología de control de altura de antorcha (THC) comenzaron a integrarse en los sistemas de corte por plasma. El THC es un sistema automatizado que ajusta la altura de la antorcha para mantenerla a una distancia constante del material durante el corte. Según [3], la introducción del THC permitió mantener una distancia constante entre la boquilla de plasma y el material, lo que resultó en cortes de mayor calidad y uniformidad. Este desarrollo fue crucial para optimizar los procesos de corte cuando se trabajaba con materiales de diferentes grosores y superficies irregulares.

El corte por plasma automatizado comenzó a dominar la industria metalúrgica a principios del siglo XXI, gracias a los avances en la informática y la tecnología de sensores. Los sistemas CNC y THC se combinaron para crear máquinas de corte que podían adaptarse a las necesidades específicas de cada cliente sin la necesidad de intervención manual. Los sistemas avanzados no solo mejoraron la calidad del corte, sino que también reducían los costos operativos y aumentaban la eficiencia energética al optimizar el uso de energía en el proceso de corte [4] [5].

A medida que avanzaba la tecnología, la integración de sensores de altura y sensores de temperatura permitió a las máquinas de corte por plasma ajustar automáticamente los parámetros de corte en función de las condiciones del material y las variaciones en la temperatura. Esto dio lugar a sistemas más inteligentes, capaces de aprender y adaptarse a diferentes configuraciones de corte. Los sistemas automatizados comenzaron a incorporar capacidades de monitoreo en tiempo real, permitiendo ajustes instantáneos para mejorar aún más la precisión y reducir el desperdicio de material [6].

En la actualidad, según [8] el corte por plasma automatizado es una de las tecnologías clave en la industria 4.0, donde los sistemas de corte no solo son autónomos, sino que están conectados en redes inteligentes que permiten a las empresas monitorear y optimizar el proceso de corte en tiempo real. El futuro del corte por plasma se basa en la integración de tecnologías como la inteligencia artificial (IA) y el big data, que permitirán a las empresas predecir patrones y realizar cortes aún más eficientes y precisos [7].

En resumen, la evolución del corte por plasma desde sus inicios como un proceso manual hasta la integración de sistemas CNC, THC y tecnologías avanzadas ha sido fundamental para mejorar la calidad, la precisión, la productividad y la sostenibilidad en la industria metalúrgica. Los avances en la automatización y el control del proceso no solo han reducido los costos operativos, sino que también han permitido a las empresas enfrentar los desafíos de un mercado global cada vez más competitivo, ofreciendo productos de alta calidad y a precios más accesibles.

1.1.3 Corte por plasma

El corte por plasma es un proceso que utiliza un chorro de gas ionizado a altas temperaturas para cortar materiales conductores. La eficiencia y precisión del corte dependen en gran medida de los componentes mecánicos y electrónicos involucrados en el proceso [1].

- Fuente de plasma: La fuente de plasma es responsable de generar el chorro de plasma, que se produce al ionizar un gas mediante un arco eléctrico. Este plasma alcanza temperaturas de hasta 30000°C, lo que permite cortar materiales metálicos con alta precisión. La fuente de plasma debe ser robusta, ya que soporta temperaturas extremadamente altas y está expuesta a intensas cargas eléctricas [1].

- Gas de corte: El gas utilizado en el corte por plasma juega un papel crucial en la calidad del corte. Gases como aire comprimido, oxígeno y nitrógeno se utilizan para crear el plasma. La selección del gas depende del tipo de material y de las propiedades que se deseen en el borde del corte [2].
- Boquilla de corte: La boquilla enfoca el plasma hacia el material que se desea cortar. Su diseño y mantenimiento son fundamentales para la eficiencia del proceso. Las boquillas deben resistir temperaturas extremadamente altas y evitar la dispersión del plasma para lograr un corte limpio y preciso [3].

Para la generación del plasma se debe considerar varios factores, entre los cuales se tiene, como se genera el plasma, tipo de cortadora de plasma, que tipo de gas se emplea para el corte, así como el voltaje y amperaje necesarios.

Según [13] el corte de plasma conocido como PAC (Plasma arc cutting) cumple como principio fundamental el separar metal mediante la aplicación de un arco constreñido, el cual funde al área en la que enfoca dicho arco, mientras al mismo tiempo un chorro de gas ionizado (plasma), el cual es expulsado por el orificio de constricción a altas velocidades, así elimina el material derretido. Durante este proceso las temperaturas pueden alcanzar fácilmente entre 10000° a 14000°C.

Además [13] menciona que existen diferentes tipos de sopletes PAC, para diferentes rangos de corriente, los cuales pueden ser clasificados o encapsulados, en 3 grupos, se representan en la **TABLA I** a continuación:

TABLA I

CLASIFICACIÓN DE SOPLETES PAC

Clasificación de sopletes PAC	
Baja potencia	30 A o menos
Media potencia	30 A - 100 A
Alta potencia	100 A – 1000 A

1.1.4 Control de altura de la antorcha

El control de la altura de la antorcha es un proceso crucial en el corte por plasma. Mantener la distancia correcta entre la boquilla y la superficie del material garantiza un corte preciso y de calidad. La automatización de este control se realiza a través de varios componentes mecánicos y electrónicos, incluyendo actuadores lineales y sensores de proximidad.

Según [13] existen dos tipos de métodos que se pueden emplear para el inicio del arco, los cuales son el inicio con arco piloto, que es el más común, y el inicio por retracción del electrodo. Para el primer caso se produce un arco entre el electrodo, generalmente conocido como arco no transferido, este no conecta con la pieza de trabajo. Este arco es el encargado de proporcionar una guía conductora de electricidad entre el electrodo y la pieza de trabajo para así poder iniciar el arco de corte principal.

- Sensores de proximidad: Los sensores de proximidad miden la distancia entre la boquilla y la superficie del material, lo que permite a la máquina realizar ajustes en tiempo real. Los sensores más comunes son los inductivos, capacitivos y láseres, siendo estos últimos altamente precisos y sin desgaste [4].
- Sistema de control de altura (THC): El THC ajusta la posición de la antorcha, utiliza señales de los sensores de proximidad. Este sistema realiza los ajustes necesarios para asegurar que la altura de la antorcha sea constante, incluso si la superficie del material varía durante el corte [5].
- Motor a pasos y actuadores lineales: Los motores a pasos permiten ajustar la posición de la antorcha con gran precisión, mientras que los actuadores lineales son fundamentales para convertir el movimiento rotacional de los motores a pasos en un movimiento lineal preciso. La precisión de estos movimientos es esencial para mantener la calidad constante en el corte [6].

1.1.5 Actuadores lineales en la automatización

Los actuadores lineales son una parte fundamental de los sistemas de automatización en el corte por plasma. Su función principal es transformar el movimiento rotacional de un motor (en este caso, el motor a pasos) en un movimiento lineal controlado, lo que permite ajustar la altura de la antorcha en el proceso de corte. Los actuadores lineales son esenciales en la

automatización porque permiten que el sistema realice ajustes rápidos y precisos, esto mejora la eficiencia del corte [6].

- Construcción de los actuadores lineales: Los actuadores lineales están compuestos por varios componentes clave como el motor eléctrico, husillo roscado, guías lineales, carro o soporte [6].
- Motor eléctrico: Proporciona el movimiento rotacional necesario para accionar el actuador [6].
- Husillo roscado: El husillo roscado convierte el movimiento rotacional del motor en movimiento lineal. Este componente es crítico porque proporciona la precisión y fuerza necesarias para mover la antorcha verticalmente [6].
- Guías lineales: Las guías proporcionan un camino estable para el movimiento del actuador, minimiza la fricción y asegura que el movimiento sea suave y preciso [6].
- Carro o soporte: El carro o soporte es la parte del actuador que se mueve a lo largo de las guías, así realiza el ajuste de altura de la antorcha. El carro está acoplado al husillo y se mueve hacia arriba o hacia abajo dependiendo de la dirección del giro del motor [6].
- Tipos de actuadores lineales: Existen diferentes tipos de actuadores lineales, entre los cuales los más comunes en la automatización del corte por plasma son los actuadores eléctricos. Los actuadores eléctricos son preferidos en aplicaciones de alta precisión debido a su capacidad para ser controlados electrónicamente y por su fiabilidad. Otros tipos incluyen los actuadores neumáticos e hidráulicos, aunque estos no se utilizan tanto en el corte por plasma debido a que requieren un control más complejo y no ofrecen la misma precisión [6].
- Funcionamiento: El actuador lineal trabaja de la siguiente manera: cuando el motor recibe una señal del sistema de control, comienza a girar el husillo roscado. El husillo, a su vez, mueve el carro, lo que ajusta la altura de la antorcha. Este proceso se realiza con una precisión extremadamente alta, lo que asegura que la distancia entre la antorcha y el material se mantenga constante durante el corte [6].

1.1.6 Automatización del corte de plasma

La automatización del corte por plasma se ha convertido en una tendencia clave en la industria moderna, ya que mejora significativamente la eficiencia y precisión del proceso de corte. Los sistemas automatizados integran componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos para controlar cada aspecto del proceso [7].

- Control numérico computarizado (CNC): El CNC es el sistema central en el proceso de automatización. Este sistema permite programar las trayectorias de corte y ajustar los parámetros operativos como la velocidad y el tipo de gas, optimiza así el proceso de corte. Gracias a la programación de código G, el CNC puede realizar cortes precisos sin necesidad de intervención manual [2].
- Actuadores lineales y motor a pasos: Los actuadores lineales permiten que la antorcha se mueva con alta precisión en el eje vertical, lo que es crucial para mantener la altura constante y optimizar la calidad del corte. Los motores a pasos trabajan en conjunto con los actuadores lineales para controlar el movimiento y la velocidad de la antorcha [6].
- Sistema de retroalimentación: El sistema de retroalimentación mide en tiempo real la distancia de la antorcha desde la superficie del material y ajusta la altura según sea necesario. Los sensores de proximidad y la retroalimentación continua permiten ajustar dinámicamente el proceso de corte, lo que asegura una calidad constante [6].

1.1.7 Sensores de proximidad y retroalimentación

Los sensores de proximidad permiten medir en tiempo real la distancia entre la antorcha y la superficie del material, dicho sensor envía esta información al sistema de control. Estos sensores permiten realizar ajustes automáticos en la altura de la antorcha, lo que asegura que la antorcha se mantenga a la distancia óptima durante el corte [7].

Los sensores de proximidad y sensores de retroalimentación juegan un papel esencial en los sistemas automatizados de corte por plasma, especialmente en los controles de altura de antorcha (THC). Estos sensores permiten ajustar la altura de la antorcha en tiempo real, así garantiza que la distancia entre la boquilla y el material se mantenga constante durante el corte, lo que mejora la calidad del corte, la precisión y reduce el desgaste de los consumibles [7].

1.1.7.1 Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad son dispositivos que detectan la presencia de un objeto cercano sin necesidad de contacto físico. Según [3], los más utilizados en el contexto de THC incluyen los siguientes tipos:

Sensores inductivos

Estos sensores detectan la presencia de materiales metálicos mediante un campo magnético, lo que permite detectar la distancia entre la antorcha y el material durante el corte. Según [3], los sensores inductivos son ampliamente utilizados en la industria debido a su alta fiabilidad en ambientes industriales con vibraciones y condiciones extremas.

Sensores capacitivos

Estos sensores detectan cualquier material, conductor o no conductor, mediante cambios en el campo eléctrico. Son ideales para detectar la proximidad de la antorcha con materiales no metálicos, ya que no dependen de la conductividad del material. Este tipo de sensores son útiles en cortes de materiales plásticos o madera, donde el metal no es el principal material [3].

Sensores ópticos (Fotoeléctricos)

Utilizan luz infrarroja para detectar la proximidad de un objeto. Son precisos para medir la distancia entre la boquilla de plasma y el material en sistemas de corte de precisión. Estos sensores ofrecen un control más fino en la distancia, lo que resulta en un ajuste más preciso de la altura. Se sugiere que los sensores ópticos son muy efectivos cuando se requiere alta precisión en el control de altura en sistemas automatizados de corte [2].

Sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos miden la distancia a través de ondas acústicas. En sistemas de corte por plasma, estos sensores son útiles para medir la distancia a larga distancia cuando la visibilidad de la antorcha está obstruida o cuando hay materiales irregulares [2].

1.1.7.2 Sensores de retroalimentación

Los sensores de retroalimentación proporcionan información al sistema de control sobre el movimiento y la posición de la antorcha, permitiendo un ajuste en tiempo real. En los sistemas de THC, estos sensores son fundamentales para mantener la altura constante durante todo el proceso de corte [4].

Encoders ópticos

Los encoders ópticos son utilizados para medir el movimiento angular de la antorcha, proporciona información precisa sobre su posición en el eje Z. Se menciona que estos sensores son esenciales para mantener la precisión de la antorcha, ya que permiten detectar pequeños cambios en la posición y realizar ajustes inmediatos en la altura [4].

Potenciómetros

Los potenciómetros son sensores que miden el movimiento angular de la antorcha utiliza un resistor variable. Este tipo de sensor es utilizado en sistemas de retroalimentación lineales, donde el objetivo es mantener la distancia constante entre la antorcha y el material. Santos [6] destaca que los potenciómetros son simples y económicos, y son adecuados para aplicaciones donde el movimiento es relativamente pequeño.

Sensores de lazo cerrado (Closed-loop systems)

Los sistemas de retroalimentación de lazo cerrado son sistemas que continuamente ajustan la posición de la antorcha, utiliza sensores como encoders y potenciómetros. Estos sistemas ajustan el movimiento vertical de la antorcha en tiempo real para asegurar que la distancia de corte se mantenga constante, lo que mejora la calidad del corte. Se explica que la retroalimentación precisa es esencial para garantizar una producción continua de piezas con alta calidad [5].

1.1.7.3 Sensores empleados en el THC3T-03

El sistema THC3T-03 cuenta con un potenciómetro como elemento se censado y retroalimentación. El potenciómetro en el sistema THC3T-03 desempeña un papel fundamental en la retroalimentación de la posición de la antorcha de plasma. Este sensor permite realizar ajustes automáticos de la altura de la antorcha durante el proceso de corte

por plasma, lo que garantiza que la distancia entre la boquilla de la antorcha y el material se mantenga constante, lo que mejora la calidad del corte y optimiza el rendimiento del proceso [3].

1.1.7.3.1 Funcionamiento del potenciómetro

El potenciómetro es un sensor de posición que mide la variación angular o lineal de un componente, en este caso, el movimiento vertical de la antorcha. Cuando la antorcha de plasma se mueve hacia arriba o hacia abajo, el potenciómetro detecta estos cambios en la posición y envía señales al sistema de control THC3T-03, el cual ajusta automáticamente la altura de la antorcha [3].

Este ajuste constante es crucial para mantener una distancia constante entre la boquilla de plasma y el material, lo que asegura una mayor precisión en el corte. Según [3], los potenciómetros permiten realizar ajustes muy finos en la posición de la antorcha, lo que resulta en un corte más limpio y uniforme.

1.1.7.3.2 Ventajas del potenciómetro en el THC3T-03

Precisión y control

Los potenciómetros permiten un control preciso de la altura de la antorcha, así garantiza que la distancia entre la boquilla y el material se mantenga constante, lo que resulta en una alta calidad del corte. Según [4], los ajustes dinámicos realizados por el THC3T-03 mediante potenciómetros permiten un corte más limpio y uniforme, lo que es esencial para aplicaciones que requieren tolerancias estrictas.

Sencillez y fiabilidad

Los potenciómetros son componentes económicos y sencillos, lo que hace que el sistema sea fiable y fácil de mantener. A diferencia de otros sensores de retroalimentación más complejos, los potenciómetros tienen una alta durabilidad y son muy efectivos en entornos industriales con altas temperaturas y vibraciones. Además, su funcionamiento es relativamente simple, por lo que la comprensión de su uso es sumamente intuitiva [4].

Ajuste continuo y dinámico

El uso de un potenciómetro permite ajustes continuos de la altura de la antorcha a medida que se detectan variaciones en la distancia. Esto es especialmente importante cuando se cortan materiales con superficies irregulares o cuando se usan diferentes tipos de materiales, como el acero o el aluminio, que pueden requerir ajustes dinámicos para mantener la calidad del corte. Se destaca la capacidad de los sistemas de retroalimentación en tiempo real, que aseguran que la antorcha se mantenga siempre a la altura ideal durante todo el proceso de corte [5].

1.1.7.3.3 Función específica en el THC3T-03

El potenciómetro dentro del THC3T-03 es clave para garantizar que el sistema mantenga una distancia constante entre la boquilla y el material durante el proceso de corte. El sistema de control utiliza la señal proporcionada por el potenciómetro para ajustar la altura de la antorcha en función de la variación de la distancia medida. Este proceso ocurre en tiempo real, lo que significa que, incluso si la superficie del material varía o si la antorcha se mueve accidentalmente, el sistema realizará ajustes instantáneos para optimizar el corte [6].

De acuerdo con [6], el uso de un potenciómetro en combinación con otros sensores (como los sensores inductivos y ópticos) garantiza que el sistema THC3T-03 sea capaz de realizar ajustes rápidos y precisos en el movimiento de la antorcha, lo que es esencial para mantener la calidad constante en la producción de piezas de precisión. En la **Figura 1** se aprecia el potenciómetro incluido en el sistema del THC3T-03.



Figura 1. *Sensor de retroalimentación THC3T-03 [25].*

1.1.8 Tendencias y avances en la automatización del corte de plasma

El futuro de la automatización del corte por plasma está siendo impulsado por el avance de las tecnologías inteligentes y la mejora en la eficiencia energética. Entre las tendencias más destacadas se encuentran:

- Inteligencia artificial y aprendizaje automático: La IA y el aprendizaje automático permiten a los sistemas adaptarse a las condiciones de corte en tiempo real, así mejora la eficiencia y reduciendo la necesidad de intervención humana [8].
- Conectividad y monitoreo remoto: El Internet facilita la supervisión y el ajuste remoto de los sistemas de corte, lo que permite la mejora continua del proceso y facilita el mantenimiento predictivo [9].
- Mejoras en la eficiencia energética: La integración de sistemas de control avanzados permite ajustar dinámicamente el consumo de energía, reduciendo costos operativos y mejora la sostenibilidad de los procesos industriales [10].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Automatizar el movimiento vertical de la antorcha de plasma para el corte de acero.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las variables para el control de altura de la antorcha de plasma.
- Seleccionar y construir el mecanismo para el control de altura.
- Aplicar pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo del prototipo de automatización del movimiento vertical de la antorcha de plasma comienza con el diseño del sistema. En esta etapa, se seleccionan los componentes principales del prototipo: motores a pasos, actuadores lineales, sensores de proximidad para medir la distancia de la antorcha al material, y los sistemas de control de altura (THC) y CNC. El THC será el primer componente conectado, ya que se encarga de gestionar la altitud de la antorcha de forma autónoma durante el proceso de corte. Posteriormente, el CNC se conecta al THC para gestionar los movimientos de la antorcha en términos de trayectoria y velocidad, así garantiza un control preciso durante todo el corte.

Una vez que el diseño del sistema está listo, se inicia el desarrollo del prototipo. Esto implica el montaje de la estructura mecánica que sostendrá la antorcha y permitirá que los actuadores lineales ajusten la altura de manera precisa. Durante esta fase, se instalan también los sensores de proximidad para medir la distancia entre la antorcha y la superficie del material, y se conectan los componentes al driver de motores a pasos. Luego, el sistema CNC se integra con el sistema de control para coordinar la secuencia de movimientos, así garantiza que la antorcha se mueva de manera precisa y eficiente.

A continuación, se realiza la programación y configuración del sistema. En esta fase, se programa el driver de motores a pasos para controlar el movimiento de la antorcha según las instrucciones del CNC, mientras que el THC se configura para ajustar la altura de la antorcha en tiempo real. Además, los sensores de proximidad se ajustan para asegurar que las mediciones de altura sean precisas y consistentes durante todo el proceso de corte.

Una vez que el sistema ha sido configurado, se realiza la fase de pruebas iniciales. Estas pruebas comienzan con una prueba en vacío, donde el sistema se activa sin cortar material, para verificar que todos los componentes, como los actuadores y el sistema de control, funcionen correctamente. Después, se realizan pruebas de corte, se utiliza materiales de prueba, para evaluar la precisión del control de altura y la calidad del corte. Estas pruebas permiten identificar posibles ajustes en los parámetros del sistema, como la velocidad de movimiento de la antorcha o la configuración del THC.

Tras las pruebas, se realizan ajustes al sistema. Esta fase incluye la modificación de los parámetros de control, el ajuste de la corriente del motor y la revisión de la configuración de la altura de corte, todo con el fin de mejorar la precisión y estabilidad del sistema. Es posible también optimizar el comportamiento del sistema en función de los resultados obtenidos durante las pruebas de corte.

2.1 Equipos y materiales

En la siguiente sección se describirán los diferentes equipos y materiales que fueron empleadas en la elaboración del presente proyecto. Dentro de la **TABLA II**, se encuentran los materiales empleados.

TABLA II

LISTADO DE MATERIALES

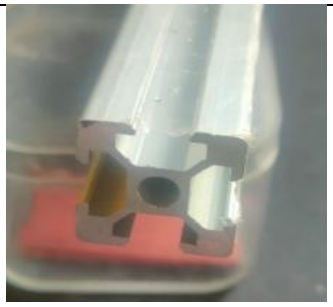
N°	Elemento	Figura	Especificación
1	Perfil Cuadrado		Se emplea en la construcción de estructuras metálicas.
2	Perfil de aluminio estructural		Empleado en construcción de estructuras metálicas de menor impacto.
3	Platina		Empleado para la creación de soportes o refuerzos estructurales.

TABLA II

LISTADO DE MATERIALES (CONTINUACIÓN)

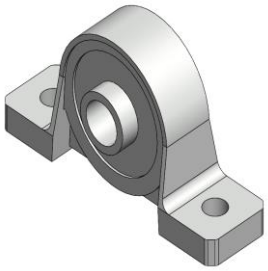
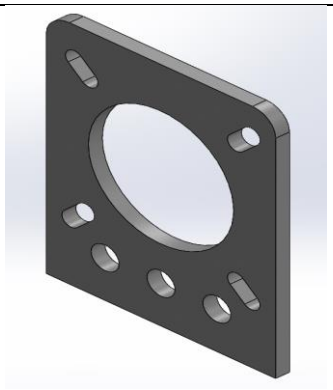
N°	Elemento	Figura	Especificación
4	Angulo de montaje de aluminio a 45°		Se usa para la unión de uno dos perfiles de aluminio.
5	Eje liso de acero		Se emplea para aplicaciones de soporte o guía para el recorrido de ejes.
6	Eje roscado (Kit)		Es el encargado de la conversión de movimiento de tipo rotativo en uno lineal.
7	Soporte de aluminio para eje liso		Se principal función es la de proveer de soporte y evitar la rotación de un eje liso.
8	Chumacera		Componente mecánico encargado de soportar y guiar un eje.

TABLA II

LISTADO DE MATERIALES (CONTINUACIÓN)

N°	Elemento	Figura	Especificación
9	Acople Flexible		Componente mecánico encargado de unir dos ejes, permitiendo la transmisión de movimiento.
10	Soporte motor a pasos		Base acrílica, metálica o polimérica, encargada de dar soporte y sostén a un motor a pasos.
11	Caja de proyectos		Caja plástica, empleada para el almacenamiento y organización de los componentes del proyecto.

Estos son todos los materiales que se van a emplear para la elaboración del prototipo de automatización vertical de una antorcha para corte de plasma, además de una breve descripción que se complementa junto con las respectivas imágenes referenciales de cada uno de los materiales.

A continuación, se muestra la **TABLA III** la cual detalla todos los Equipos que fueron empleados dentro de este proyecto.

TABLA III

LISTADO DE EQUIPOS

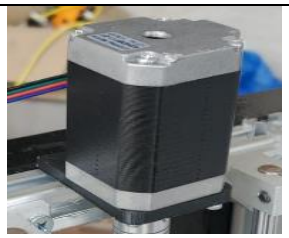
N°	Elemento	Figura	Especificación
1	Motor a pasos		Motor a pasos, empleado cuando se necesita precisión.
2	Driver		Dispositivo electrónico encargado de convertir las señales enviadas por el controlador, en señales eléctricas.
3	Controlador THC (Torch Height Controller)		Controlador de altura de antorcha, se encarga de mantener constante la altura de una antorcha de plasma.
4	Fuente de alimentación		Dispositivo que transformar energía de un tipo en otra.
5	Tronzadora		Maquina empleada para realizar varios tipos de cortes.

TABLA III

LISTADO DE EQUIPOS (CONTINUACIÓN)

N°	Elemento	Figura	Especificación
6	Amoladora		Herramienta multifuncional, corta, pule, lija y desbasta.
7	Soldadora (MIG)		Maquina empleada para la unión de piezas metálicas.
8	Taladro de banco		Maquina utilizada para realizar orificios en múltiples superficies.
10	Cortadora de plasma		Herramienta empleada para el corte de metales.
11	Compresor de aire		Máquina que comprime aire del ambiente dentro de un tanque presurizado.
12	Computador portátil		Máquina utilizada para el diseño y modelado de las diferentes piezas de cualquier proyecto.

2.2 Métodos

La metodología de este proyecto emplea tres enfoques principales: cuantitativo, experimental y bibliográfico. El método cuantitativo se centra en realizar cálculos matemáticos y análisis técnicos para determinar los parámetros clave del sistema, como el torque y la presión de gas necesarios para el corte. El método experimental se enfoca en realizar pruebas físicas para validar el rendimiento del prototipo, se ajusta parámetros como la altura de la antorcha y la presión de oxígeno para optimizar la calidad del corte. Finalmente, el método bibliográfico se utiliza para recopilar información de artículos científicos y fuentes especializadas, lo que proporciona un marco teórico y las mejores prácticas para el diseño y desarrollo del sistema. Estos enfoques combinados aseguran un desarrollo sólido y bien fundamentado del prototipo.

Para asegurar el cumplimiento de esta necesidad personal, se utilizaron métodos cuantitativos, experimentales y bibliográficos.

2.2.1 Método cuantitativo

El método cuantitativo se enfoca en realizar cálculos técnicos precisos para determinar los parámetros clave del sistema de automatización vertical de la antorcha de corte de plasma. A través de modelos matemáticos y simulaciones, se calculan aspectos como el torque necesario para los motores a pasos, el caudal y presión del gas requerido para el corte, y la precisión de la altura de la antorcha en función de los ajustes que se deben realizar para mantener una distancia constante del material. Además, se realiza un análisis de flexión en los componentes del eje Z para asegurar que el sistema no pierda rigidez durante el ajuste automático. Este método asegura que el diseño y el sistema de control operen dentro de los límites de precisión y eficiencia requeridos.

2.2.2 Método bibliográfico

El método bibliográfico se utiliza para recopilar información relevante de artículos científicos, tesis, libros técnicos y revistas especializadas sobre la automatización del corte por plasma, el control de altura de antorchas y las tecnologías asociadas. Este método permite profundizar en los avances más recientes en la automatización del corte por plasma, identificar tecnologías emergentes y adaptar soluciones previas a los requerimientos específicos del proyecto. La información obtenida es fundamental para comprender las

mejores prácticas y guiar el diseño del sistema, así se asegura que el prototipo sea innovador y cumpla con los estándares actuales de la industria.

2.2.3 Etapas del proyecto

Fase 1: Identificación de la necesidad y recolección de información

En esta fase, se identifican los requisitos técnicos necesarios para el control del eje Z en el corte de tubos redondos de hasta 2.5 pulgadas de diámetro. Se recopilan datos esenciales sobre las especificaciones de corte, tales como la precisión en la altura de la antorcha y los parámetros que influyen en la calidad del corte, como la presión de oxígeno y la velocidad de corte. Además, se realiza una investigación bibliográfica sobre las tecnologías de control de altura y los sistemas utilizados en el corte de tubos, lo que proporciona la base para el diseño del prototipo.

Fase 2: Diseño del sistema de control del eje z

El objetivo de esta fase es diseñar el sistema encargado del control vertical del movimiento de la antorcha en el eje Z. Se diseñan los actuadores lineales necesarios para ajustar la altura de la antorcha, junto con el driver de motor a pasos que permitirá el movimiento preciso. Además, se integran sensores de proximidad que medirán la distancia entre la antorcha y la superficie del tubo en tiempo real, lo que garantizará que la altura se mantenga constante durante todo el proceso de corte. Este diseño busca asegurar cortes precisos y uniformes, manteniendo la antorcha a la distancia óptima del material.

Fase 3: Pruebas de funcionamiento y ajuste

Una vez que el sistema de control del eje Z ha sido implementado, se realizan pruebas de funcionamiento para verificar que el prototipo cumpla con los objetivos establecidos. En estas pruebas, se cortan tubos redondos de hasta 2.5 pulgadas de diámetro, así se evalúa la precisión de la altura de la antorcha durante el corte.

A partir de los resultados obtenidos, se realizan pequeños ajustes finos en los parámetros del sistema, como la configuración del driver de motor a pasos, la respuesta de los sensores de proximidad y el control de la altura de la antorcha, con el fin de mejorar la calidad del corte.

En la **Figura 2** se describe de manera simplifica el proceso para la metodología que se aplica al proyecto en forma de un diagrama de flujo. Esto con el fin de poder definir de manera clara cuales son los diferentes pasos o fases que se debe tener en cuenta a la hora de su ejecución, para así asegurar que se cumplan y obtener el resultado esperado.

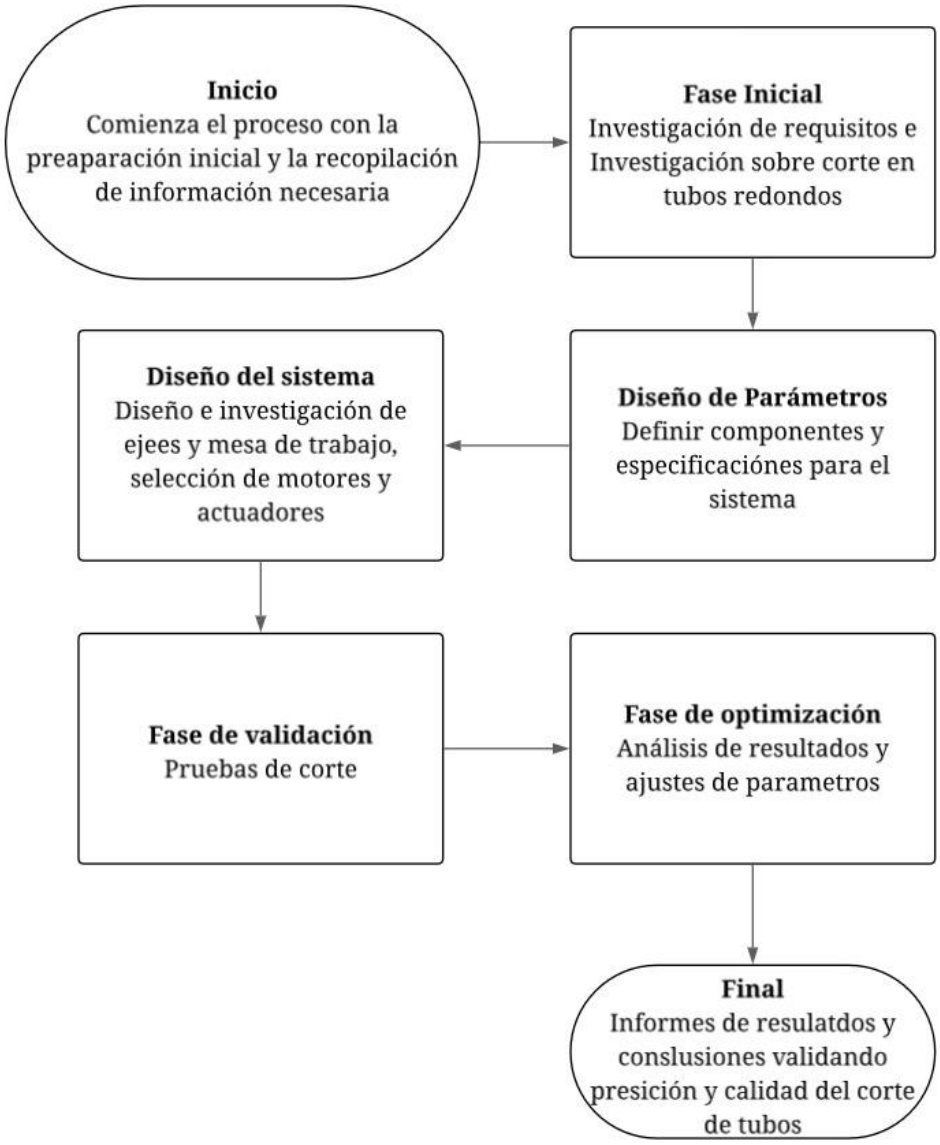


***Figura 2**. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto.*

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. Análisis y discusión de los resultados

3.1 Selección de equipos y materiales.

Primordialmente, se toma en cuenta las necesidades específicas para la aplicación de este prototipo, que como ya se mencionó con anterioridad, ya que la necesidad primordial es que este prototipo pueda cortar tubos redondos de hasta 2.5 pulgadas de diámetro. Según [12], se menciona dentro de sus catálogos que los espesores de los tubos redondos, en este caso tubo redondo estructural negro, oscilan entre 1.5 – 3 mm (Anexo 1). Se seleccionó un tubo de 2.5 pulgadas de diámetro y 2 mm de espesor.

3.1.1 Altura de corte

Para determinar la altura de corte es importante identificar el caso concreto en el que se va a emplear el PAC, ya que esta depende de varios factores entre los que se encuentran el tipo de superficie sobre la que se va a aplicar, el tipo de equipo, espesor de la pieza de trabajo y el tipo de antorcha y boquilla, ya que dependiendo de ello se puede determinar la distancia optima entre la antorcha y la pieza de trabajo. Esto es una característica fundamental, ya que influye directamente en la generación del arco de plasma.

Eventualmente cuando la punta de la antorcha se encuentra lo suficientemente cerca de la pieza de trabajo, el arco principal es activado, según [18] la distancia óptima para que esto suceda es de 3.175 mm, ya que el corte se realiza con la antorcha demasiado cerca de la pieza de trabajo, puede producir que el arco se apague, se producirá salpicadura de metal derretido en la boquilla, lo cual reduciría su vida útil, además de que la calidad del corte será deficiente.

3.2 Diseño del eje z

Dentro del eje z uno de los principales componentes, ya que este es el encargado de proveer movimientos precisos por parte de la antorcha, así se controla su altura. Este elemento es el encargado de convertir el movimiento rotacional en movimiento traslacional o lineal, convirtiendo así la rotación de un motor en movimientos verticales, ya sea hacia arriba o hacia abajo.

Para la correcta selección del husillo se deben tener en cuenta varios factores como la carga máxima, tipo de rosca, paso de rosca, entre otros. Se empleo un husillo roscado trapezoidal, con un paso l = 1.5mm, debido a las condiciones que se presentan.

3.2.1 Cálculo par torsional para el motor y husillo

Es imprescindible calcular el par torsional que va a realizar el eje, según [17] se debe determinar un diámetro medio con la siguiente ecuación:

$$dm = d - \frac{l}{2} \qquad (1)$$

Donde:

dm = Diámetro medio de husillo

d = Diámetro de husillo

l = Paso del husillo

Se tiene un diámetro de 8mm y un paso l de 1.5 mm.

$$dm = 8 - \frac{1.5}{2}$$

$$dm = 7.25\ mm$$

Lo cual da como resultado un diámetro medio de husillo de 7.25 mm.

Posteriormente es necesario determinar una fuerza F que va a actuar sobre el eje, para lo cual se realiza la suma de todos los componentes que van a intervenir en dicha acción, para este caso se cuenta con un peso aproximado de 1500 gramos, 1.5 Kg, como se muestre en la **TABLA IV**; esto se multiplica por la fuerza de la gravedad y nos da un total de 14.72N y según [11] el coeficiente de fricción entre acero que conforma el husillo y el bronce que conforma la tuerca es de μ = 0.1.

TABLA IV

PESO DE ELEMENTOS DEL EJE Z

Elemento	Cantidad	Peso unitario [Kg]	Peso [Kg]
Aluminio estructural 20x20x140	2	0.061	0.122
Aluminio estructural 20x20x200	2	0.088	0.176
Eje roscado trapezoidal	1	0.053	0.053
Tuerca de latón	1	0.013	0.013
Soporte tuerca de latón	1	0.014	0.014
Chumacera	1	0.052	0.052
Eje liso	2	0.078	0.156
Rodamiento lineal	2	0.015	0.030
Acople flexible	1	0.013	0.013
Soporte Nema 17	1	0.008	0.008
Soporte eje liso	4	0.008	0.032
Placa base	1	0.178	0.178
Antorcha de plasma	1	0.650	0.650
Total [Kg]			1.497

Se debe determinar el torque de subida y el torque de bajada, para lo cual se emplean las siguientes formulas.

$$Ts = \frac{F * dm}{2}\left(\frac{l + \pi\mu * dm}{\pi * dm - \mu * l}\right) \quad (2)$$

Donde:

Ts = Torque de subida.

F = Fuerza que va a actuar sobre el eje.

dm = Diámetro medio del husillo.

l = Paso del husillo.

μ = Coeficiente de fricción

$$Ts = \frac{1.5 * 7.25}{2}\left(\frac{1.5 + \pi(0.1) * 7.25}{\pi * 7.25 - (0.1 * 1.5)}\right) = 8.91\ N.mm$$

$$Tb = \frac{F * dm}{2}\left(\frac{\pi\mu * dm - l}{\pi * dm + \mu * l}\right) \quad (3)$$

Donde:

Tb = Torque de bajada.

F = Fuerza que va a actuar sobre el eje.

dm = Diámetro medio del husillo.

l = Paso del husillo.

μ = Coeficiente de fricción

$$Tb = \frac{1.5 * 7.25}{2}\left(\frac{(\pi * 0.1) * 7.25 - 1.5}{\pi * 7.25 + (0.1 * 1.5)}\right) = 1.81\ N.mm$$

La ecuación (3) representa el torque necesario para subir, se aplica los datos mencionados con anterioridad y se obtiene un valor de 8.91 N.mm, este valor representa el torque necesario para poder levantar el eje z.

La ecuación (4) representa el torque necesario para poder bajar, se aplican los datos mencionados anteriormente y se obtiene un valor de 1.81 N.mm, este valor representa el torque necesario para poder bajar el eje z.

Con esto se concluye que el torque máximo es el de subida, según [17] a este torque se debe aplicar un factor de seguridad, por lo cual se emplea un valor de 1.5 y la siguiente ecuación:

$$Tmotor = Tmax * Factor\ de\ seguridad \quad (4)$$

$$\boldsymbol{Tmotor = 0.00891 * 1.5 = 0.013365\ N.m}$$

3.2.2 Cálculos para la selección de del husillo

La selección de un husillo roscado trapezoidal o cuadrado para aplicaciones de transmisión de movimiento lineal implica varios pasos técnicos, que incluyen el cálculo de la fuerza axial, la potencia transmitida, el torque y las características de la rosca.

Datos Iniciales:

- Diámetro del husillo (do): 8 mm
- Paso de la rosca (l): 1.5 mm
- Coeficiente de fricción (μ): 0.1
- Torque del motor NEMA 17 (T): 0.8 Nm
- Velocidad del motor (n): 2000 RPM (velocidad de operación, ver Figura 3)

Cálculo del Ángulo de Fricción (ϕ)

El ángulo de fricción (ϕ) es un parámetro que describe la resistencia al deslizamiento entre las roscas del husillo y la tuerca, se calcula como:

$$\phi = tg^{-1}(\mu) \qquad (5)$$

Donde:

Φ = Ángulo de fricción.

μ = Coeficiente de fricción (Según [11], se toma un valor de 0.1)

$$\phi = tg^{-1}(0.1) \approx 5.71°$$

Cálculo del Diámetro Medio (dm)

El diámetro medio dm de la rosca se calcula a partir del diámetro del husillo y el paso de la rosca l:

$$dm = do - \frac{l}{2}$$

Donde:

dm = Diámetro medio del husillo.

do = Diámetro inicial del husillo.

l = Paso de rosca del husillo.

$$dm = 8 - \frac{1.5}{2} = 7.25mm$$

Cálculo de la Velocidad Angular (ω)

La velocidad angular ω es la rapidez con la que el husillo gira, se calcula con la fórmula:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \qquad (6)$$

Donde:

ω = Velocidad angular.

n = Número de revoluciones por minuto del motor. Según la (Figura 3) n = 2000 RPM.

$$\omega = \frac{2\pi * 2000}{60} = 209.44\ rad/s$$

Cálculo de la Potencia Transmitida por el Motor

La potencia P transmitida por el motor se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = T * \boldsymbol{\omega} \qquad (7)$$

Donde:

P = Potencia transmitida por el motor.

ω = Velocidad angular.

T = Torque máximo del motor.

$$P = 0.8 * 209.44 = 167.55\ W$$

Cálculo de la Velocidad Lineal (v)

La velocidad lineal v se calcula a partir de la velocidad angular ω\omega y el radio del husillo r, que se obtiene del diámetro medio dm:

$$v = \omega * r \quad (8)$$

donde:

v = Velocidad lineal.

ω = Velocidad angular.

r = Diámetro medio del husillo sobre 2.

$$r = \frac{dm}{2} = \frac{7.25}{2} = 3.625\ mm = 0.00365\ m$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$v = 167.55 * 0.00365 = 0.612\ m/s$$

Cálculo de la Fuerza Axial (Fa)

Con los datos de la potencia P = 167.55 y la velocidad lineal v = 0.612 m/s, se calcula la fuerza axial Fa, se emplea la siguiente fórmula:

$$Fa = \frac{P}{nv} \quad (9)$$

Donde:

Fa = Fuerza axial.

P = Potencia transmitida por el motor.

n = Eficiencia del husillo trapezoidal.

$$n = \frac{tg(\alpha - \phi)}{tg(\alpha - \phi)} \quad (10)$$

Donde:

$\alpha =$ Ángulo de la rosca, según [17] este es de 30° generalmente.

$\phi =$ Ángulo de fricción

$$n = \frac{tg(30 - 5.71)}{tg(30 - 5.71)} = 0.63$$

Sustituyendo los valores:

$$Fa = \frac{167.55}{0.63 * 0.765} = 347.65\ N$$

Cálculo del Torque Requerido

Finalmente, con la fuerza axial Fa = 273.77 N, se calcula el torque necesario para mover el husillo:

$$T = Fa * \left(\frac{dm}{2}\right) \qquad \textit{(11)}$$

Donde:

T = Torque requerido.

Fa = Fuerza axial.

dm = Diámetro medio del husillo.

$$T = 347.65 * \left(\frac{0.00365}{2}\right) = 0.63\ N$$

3.2.3 Selección de motor y husillo.

El valor correspondiente al torque mínimo que el motor debe tener para poder realizar el movimiento es de 0.63 N. Según [19] se puede encapsular dentro del grupo de motor a pasos es pequeño (Anexo 2). En la **Figura 3** se muestra el Datasheet para la selección del motor, por cuestión de accesibilidad y disponibilidad se adquiere un motor Nema 17 de 60 mm, para no forzar el motor a su máxima capacidad. Y en la **Figura 4** se muestra el motor real.



Phases	2
Steps/Revolution	2000
Step Accuracy	±5%
Shaft Load	20,000 Hours at 1000 RPM
Axial	25 N (5.6 lbs.) Push
	65 N (15 lbs.) Pull
Radial	29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
IP Rating	40
Approvals	RoHS
Operating Temp	-20° C to +40° C
Insulation Class	B, 130° C
Insulation Resistance	100 MegOhms

Description	Length	Mounted Rated Current	Mounted Holding Torque		Winding Ohms	mH	Detent Torque		Rotor Inertia		Motor Weight	
(Stack)	"L" Max	Amps	Nm Typ.	oz-in Typ.	±10% @ 20°C	Typ.	mNm	oz-in	g cm2	oz-in2	kg	lbs
Single	39.8 mm (1.57 in)	2	0.48	68	1.04	2.2	15	2.1	57	0.31	0.28	0.62
Double	48.3 mm (1.90 in)	2	0.63	89	1.3	2.9	25	3.5	82	0.45	0.36	0.79
Triple	62.8 mm (2.47 in)	2	0.83	120	1.49	3.8	30	4.2	123	0.67	0.6	1.3

Figura 3. *Datasheet motor NEMA 17 [26].*



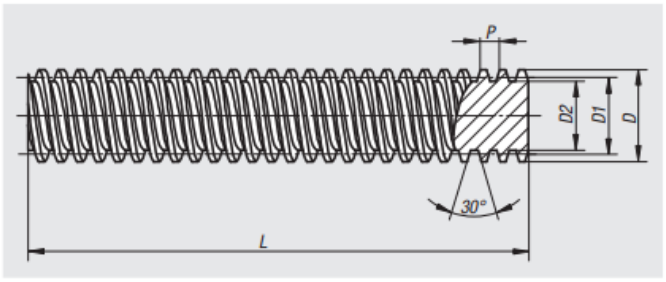
Figura 4. *Motor Nema 17.*

Para la selección del husillo se toma en cuenta el catálogo del fabricante Norelem [27], para lo cual dentro de la **Figura 5** se toman los datos contemplados dentro de los cálculos se selecciona el siguiente husillo.

Husillos de rosca trapezoidal

de una rosca a la derecha o izquierda





Material:
Acero de cementación 1.0401 (C15) o acero inoxidable 1.4301 (husillos trapezoidales de acero inoxidable 1.4305).

Versión:
Acero laminado, acabado natural.
Acero inoxidable hasta Tr 40x7 laminado, anillado encima, acabado natural.

Referencia Rosca a la derecha laminada	Referencia Rosca a la izquierda laminada	Material del cuerpo de base	DxP	D1 mín.	D1 máx.	D2	L
24000-081511X1000	24000-081521X1000	acero de cementación	Tr 8x1,5	7,013	7,183	5,921	1000
24000-100211X1000	24000-100221X1000	acero de cementación	Tr 10x2	8,739	8,929	7,191	1000
24000-100311X1000	24000-100321X1000	acero de cementación	Tr 10x3	8,191	8,415	5,84	1000
24000-120311X1000	24000-120321X1000	acero de cementación	Tr 12x3	10,191	10,415	7,84	1000
24000-140311X1000	24000-140321X1000	acero de cementación	Tr 14x3	12,191	12,415	10,135	1000

Figura 5. *Catálogo husillo de rosca trapezoidal [26].*

Una vez seleccionados estos dos componentes se conectan mediante un acople flexible, lo cual permite que conectar el eje al motor, para transmitir movimiento y potencia, permitiendo al mismo tiempo cierta desalineación entre ellos y absorbiendo vibraciones.

Esto ayuda a proteger los componentes conectados de daños por desalineación o vibraciones excesivas, así se mejora la eficiencia y la vida útil del sistema. Finalmente, en la **Figura 6** se muestra el sistema montado.

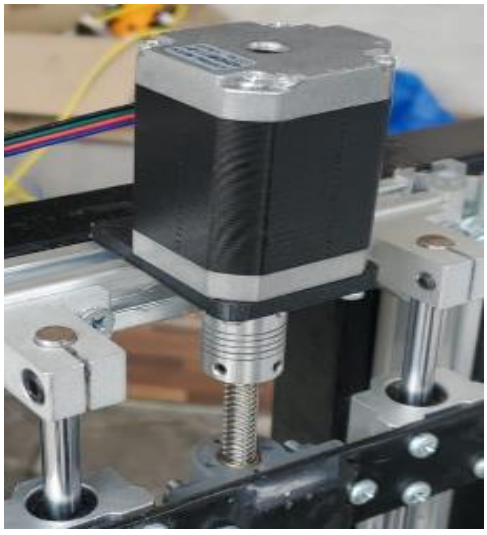


Figura 6. *Husillo roscado y motor acoplados.*

Una vez concluidos los cálculos y la respectiva comprobación de funcionamiento, se procede a modelar el husillo, tal como se observa en la **Figura 7**.

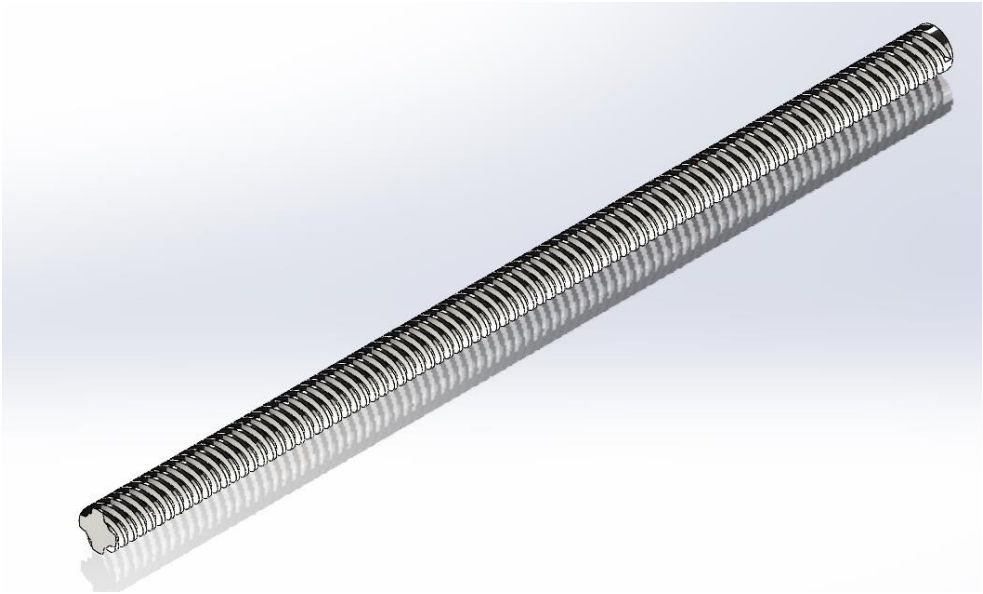


Figura 7. *Husillo roscado (simulación).*

3.2.4 Selección de chumacera de piso

La selección adecuada de una chumacera para un eje de 8 mm sometido a una carga axial dinámica de 347 N requiere evaluar la capacidad del rodamiento para resistir dicha carga y garantizar la durabilidad del sistema. Para esta dimensión, se recomienda un rodamiento estándar tipo KP008, que incluye las siguientes características técnicas típicas: carga dinámica radial básica Cr aproximada de 9000 N y carga estática radial básica Cor cercana a 4500 N [28], [29].

Se considera que las chumaceras estándar soportan cargas axiales dinámicas equivalentes a aproximadamente el 25% de la carga dinámica radial, la capacidad axial admisible Ca se calcula como:

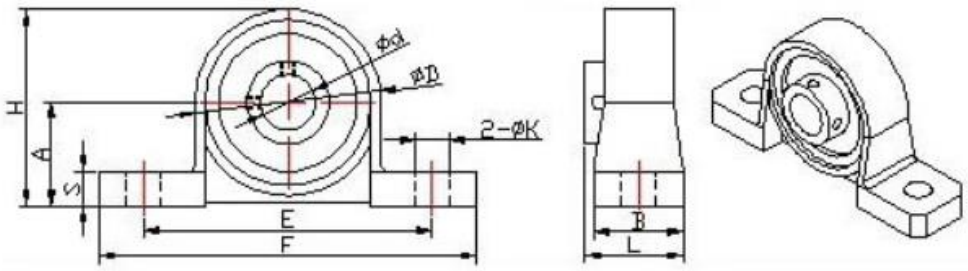
$$Ca = 0.25 \times Cr = 0.25 \times 9000 = 2250 \text{ N}$$

Dado que la carga axial dinámica aplicada Fa = 347 N es significativamente menor que Ca, se concluye que la chumacera KP008 es adecuada para la aplicación [28], [30].

Desde la perspectiva metrológica, el apriete del rodamiento sobre el eje se realiza mediante tornillos prisioneros, que ejercen una presión puntual controlada para evitar deslizamientos axiales. El ajuste dimensional debe cumplir con las normas ISO para rodamientos en ejes, así se garantiza un ajuste interferente o de transición, con tolerancias que aseguren ausencia de juego axial y radial, protegiendo tanto al eje como al rodamiento de deformaciones y desgaste prematuro [28].

La selección de una chumacera con diámetro nominal igual al eje (8 mm) permite un montaje directo sin necesidad de manguitos adaptadores, así se simplifica el proceso, reduciendo costos y se aumenta la precisión del acople. Esta práctica es recomendable siempre que exista disponibilidad de la medida en catálogo [29].

En conclusión, para un eje de 8 mm sometido a una carga axial dinámica de 347 N, la chumacera KP008 cumple con los requerimientos técnicos y de montaje, así se asegura la funcionalidad y durabilidad del sistema bajo las condiciones planteadas. A continuación, en la **Figura 8** se muestra las características de la chumacera seleccionada.



Referencia	d (mm)	Dimensiones(mm)								
		A	H	E	F	S	D	B	L	K
P08	8	15	29	42	55	5	27	13	15	5
P000	10	18	35	52	67	6	33	16	19	6.5
P001	12	19	38	56	71	6	38	16	19	6.5
P002	15	22	43	62	80	7	42	16	20	6.5
P004	20	28	55	80	100	9.5	54	20	25	10
P005	25	32	62	90	112	10	60	20	25	10
P006	30	37	71	106	132	11	67	26	30	12.5

Figura 8. *Catálogo chumacera de piso [31].*

3.3 Pruebas de diseño y resistencia

Para los elementos que fueron diseñados y fabricados, se realizó una serie de pruebas, tales como tensiones de Von Mises, desplazamiento y deformación unitaria, para determinar su correcto desempeño y funcionamiento.

3.3.1 Base de soporte

Dentro del diseño de la base de soporte, el cual se representa en la **Figura 9**, se empleó tubo cuadrado negro, el cual es el más versátil que se puede encontrar dentro del mercado. Se modeló y se diseñó según las medidas específicas del proyecto, se procedió a cortar los tubos con las medidas específicas, con ángulos de 45°, para posteriormente unirlos con soldadura tipo GMAW.

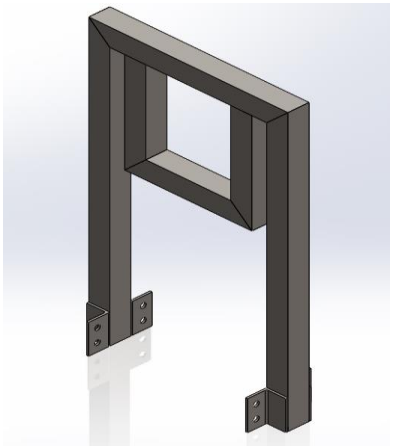


Figura 9. *Base de soporte.*

Posteriormente se realizó un estudio estático para poder determinar tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias. Para determinar la fuerza promedio a la cual se encuentra sometida la estructura, se desglosa los pesos aproximados de los elementos que conforman el eje Z. Los resultados se presentan a en la **TABLA IV**.

Se obtiene un valor de 1.497 Kg, por lo que para un caso práctico se redondea a 1.5 Kg, esto a su vez se multiplica por la gravedad para obtener la fuerza que se aplica a la estructura.

$$F = m * g \qquad \textbf{(12)}$$

Donde:

m: masa

g: gravedad

$$F = 1.5 * 9.8 = 14.715\ N$$

Esta es la fuerza que se aplica para los respectivos estudios.

3.3.1.1 Tensiones

En la **Figura 10** se aprecia los resultados del estudio de tensiones realizado a la base soporte.

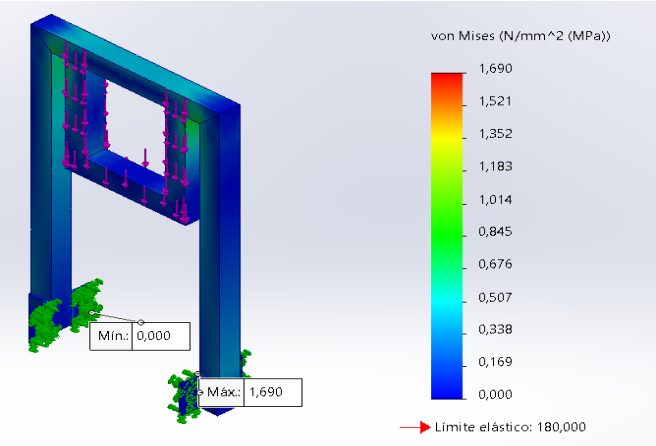


Figura 10. *Tensiones de Von Mises de la base de soporte.*

En la **TABLA V** se representan los valores mínimos y máximos de las tensiones de Von Mises de la base soporte.

TABLA V

TENSIONES DE VON MISES DE LA BASE DE SOPORTE

Tensión Mínima de Von Mises	Tensión Máxima de Von Mises
0.000 MPa	1.690 MPa

3.3.1.2 Desplazamiento

En la **Figura 11** se aprecia los resultados del estudio de desplazamiento realizado a la base soporte.

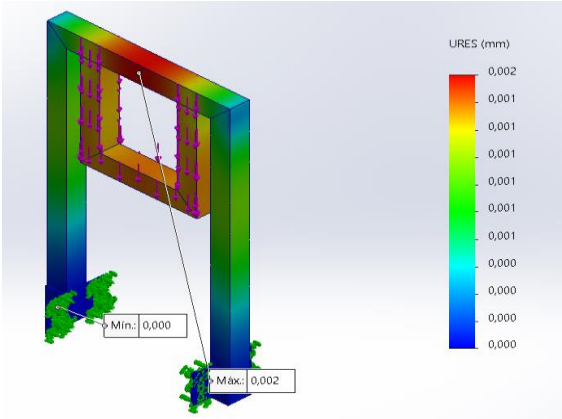


Figura 11. *Desplazamientos base de soporte.*

En la **TABLA VI** se representan los valores mínimos y máximos de los desplazamientos en la base de soporte.

TABLA VI

DESPLAZAMIENTOS PARA LA BASE DE SOPORTE

Desplazamiento Mínimo	**Desplazamiento Máximo**
0.000 mm	0.002 mm

3.3.1.3 Factor de seguridad

En la **Figura 12** se aprecia los resultados del estudio del factor de seguridad realizado a la base soporte.

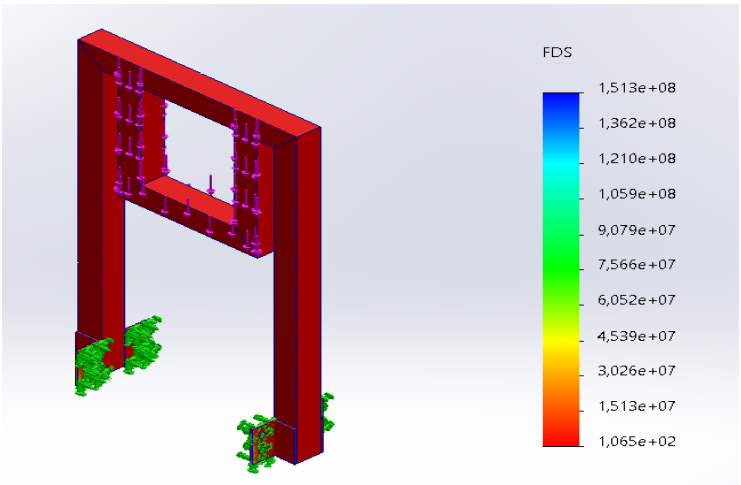


Figura 12. *Factor de seguridad de la base soporte.*

En la TABLA VII se representan los valores mínimos y máximos del factor de seguridad en la base de soporte.

TABLA VII

FACTOR DE SEGURIDAD DE LA BASE DE SOPORTE

Factor de seguridad Mínimo	**Factor de seguridad Máxima**
1.06	15.13

3.3.2 Soporte motor a pasos

Para su diseño se midió, diseño y construyo el siguiente soporte a medida, la fuerza empleada para su diseño es de 0.77 N, ya que el motor solo pesa 0.078 Kg, multiplicado por la gravedad. Su diseño se observa en la **Figura 13**. Para la construcción de este se empleó manufactura por adicción, en material de PETG.

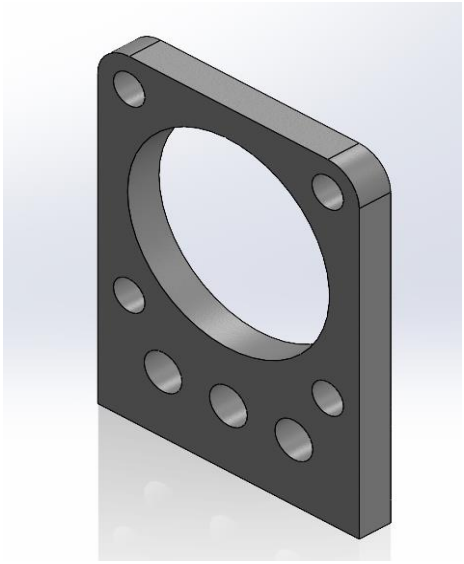


Figura 13. *Soporte motor a pasos.*

3.3.2.1 Tensiones

En la **Figura 14** se aprecia los resultados del estudio de tensiones realizado al soporte del motor a pasos.

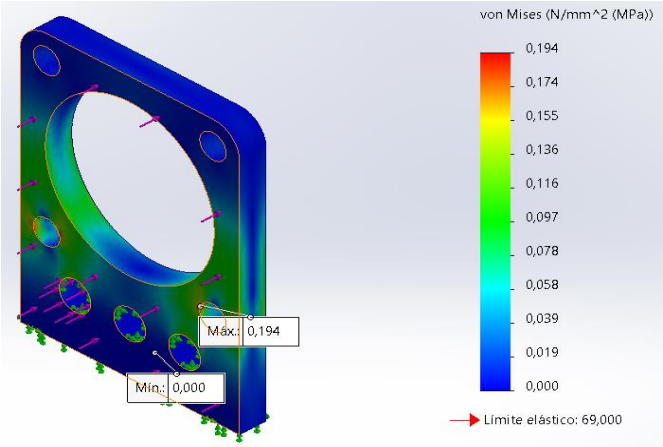


Figura 14. *Tensiones de Von Mises soporte motor a pasos.*

En la **TABLA VIII** se representan los valores mínimos y máximos de las tensiones de Von Mises del soporte motor a pasos.

TABLA VIII

TENSIONES DE VON MISES SOPORTE MOTOR A PASOS

Tensión Mínima de Von Mises	**Tensión Máxima de Von Mises**
0.000 MPa	0.194 MPa

3.3.2.2 Desplazamiento

En la **Figura 15** se aprecia los resultados del estudio de desplazamiento realizado al soporte del motor a pasos.

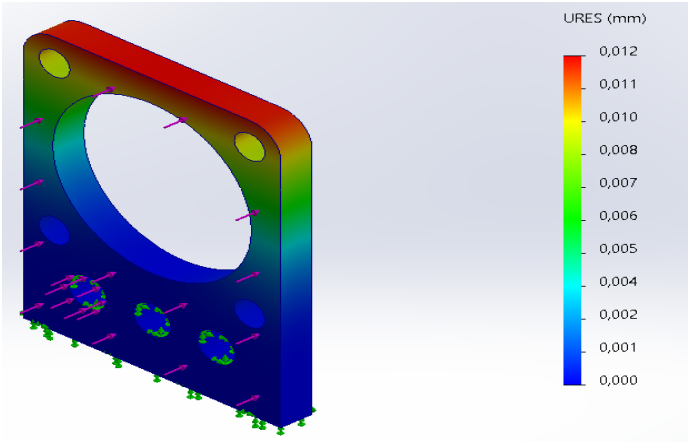


Figura 15. *Desplazamientos soporte motor a pasos.*

En la **TABLA IX** se representan los valores mínimos y máximos de los desplazamientos en el soporte motor a pasos.

TABLA IX

DESPLAZAMIENTOS SOPORTE MOTOR A PASOS

Desplazamiento Mínimo	**Desplazamiento Máximo**
0.000 mm	0.012 mm

3.3.2.3 Factor de seguridad

En la **Figura 16** se aprecia los resultados del estudio del factor de seguridad realizado al soporte del motor a pasos.

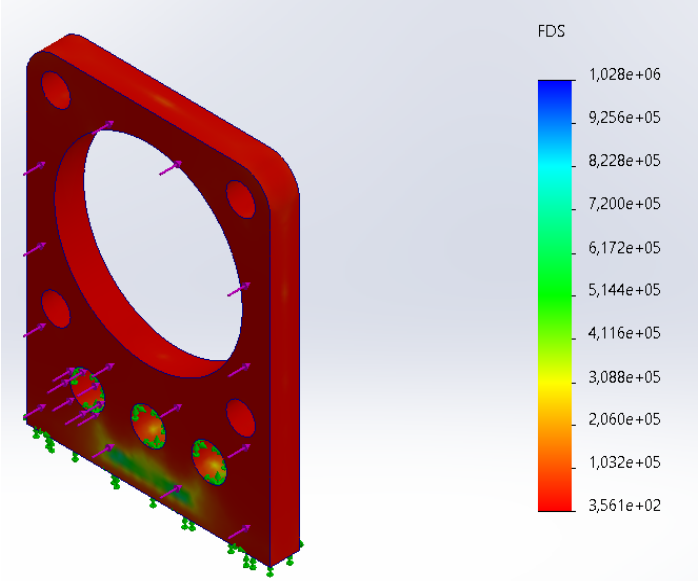


Figura 16. *Factor de seguridad del soporte motor a pasos.*

En la TABLA X se representan los valores mínimos y máximos del factor de seguridad del soporte motor a pasos.

TABLA X

FACTOR DE SEGURIDAD DEL SOPORTE MOTOR A PASOS

Deformación unitaria Mínima	**Deformación unitaria Máxima**
3.56	10.28

3.4 Selección de componentes electrónicos

3.4.1 Selección del driver para el control del motor a pasos.

El controlador de motor paso a paso DM542A, **Figura 17**, incorpora un bloque de ocho micro interruptores que permiten ajustar dos parámetros críticos: la corriente de salida (I_RMS) y la resolución de micro pasos. Se detalla la configuración recomendada para un motor NEMA 17 (I_RMS≈1.7 A), así se optimiza el torque, temperatura y suavidad de movimiento.



Figura 17. *Driver DM542A.*

3.4.1.1 Configuración controlador DM542A para motor NEMA 17

- **Ajuste de corriente RMS (SW1–SW3)**

El controlador de motor a pasos DM542A incorpora un bloque de ocho micro interruptores que permiten ajustar dos parámetros críticos: la corriente de salida (I_RMS) y la resolución de micropasos. Para un motor NEMA 17 cuyo valor nominal es I_RMS = 1.7 A, se recomienda configurar el driver en el nivel inmediatamente inferior (1.55 A RMS) a fin de proteger el bobinado y mantener una buena relación torque-temperatura [22], [23].

Todos estos parámetros se encuentran especificados dentro del manual de funcionamiento del driver citado como [22]. Además, en la **TABLA XI** se realiza un resumen ordenado de los parámetros mencionados.

- **Configuración de la corriente de salida (SW1-SW3)**

TABLA XI

CONFIGURACIÓN DE LA CORRIENTE DE SALIDA DEL DRIVER DM542A

SW1	SW2	SW3	I_RMS (A)	I_max
1	1	0	1.55	2.19

- **Resolución de micropasos (SW4-SW8)**

Se mantiene 1/16 de paso (16 micropasos por paso completo, es decir, 3 200 microsteps por revolución de 200 pasos) para un buen compromiso entre suavidad y velocidad. Dentro de la **TABLA XII** se muestra la configuración que se debe tener en cuenta según [22].

TABLA XII

CONFIGURACIÓN DE LOS MICROPASOS DEL DRIVER DM542A

SW4	SW5	SW6	SW7	SW8	Microsteps
0	0	1	0	0	16

A continuación, en la **TABLA XIII**, se detalla la configuración completa del driver, más adecuada para un motor NEMA 17.

TABLA XIII

CONFIGURACIÓN COMPLETA DEL DRIVER DM542A

Interruptor	Posición	Descripción
SW1	ON	Bit 0 de corriente (LSB)
SW2	ON	Bit 1 de corriente
SW3	OFF	Bit 2 de corriente (MSB)
SW4	OFF	Bit 0 de microsteps (LSB)
SW5	OFF	Bit 1 de microsteps

TABLA XIII

CONFIGURACIÓN COMPLETA DEL DRIVER DM542A (CONTINUACION)

Interruptor	Posición	Descripción
SW6	ON	Bit 2 de microsteps
SW7	OFF	Bit 3 de microsteps
SW8	OFF	Bit 4 de microsteps (MSB)

Con esta configuración, se garantiza un nivel de corriente seguro por debajo de la nominal del NEMA 17, reduciendo el riesgo de sobrecalentamiento, a la vez que se mantiene una elevada suavidad y precisión en el control de movimiento.

3.4.2 Selección del THC

Para la realización de este prototipo se contaba con un THC de la marca Robot3T, por lo cual se aplicó el mismo. Además, este se conectó a una tarjeta MACH3. A continuación, se detalla sus características y funcionamiento.

3.4.2.1 Características y funcionamiento del THC3T-03 de Robot3T

El THC3T-03 es un controlador de altura de antorcha (THC) diseñado para controlar y mantener una distancia constante entre la antorcha de corte de plasma y la pieza de trabajo durante el proceso de corte. Esto se logra mediante un ajuste automático basado en la tensión del arco, lo cual mejora significativamente la calidad y precisión del corte. Este sistema es especialmente útil para aplicaciones de corte por plasma en las que es crucial mantener una altura constante a medida que la antorcha se mueve sobre la pieza de trabajo.

El THC3T-03 requiere una tensión de alimentación de 220 V AC y dispone de un divisor de tensión integrado con ratio 1: 50 (configurable a 1: 100 mediante micro interruptores en la placa divisora) para adaptar el voltaje de arco de hasta 660 V DC al rango de trabajo de la electrónica interna

3.4.2.2 Señales de control y salida

- ARC_OK: contacto seco que cierra cuando el voltaje de arco se estabiliza dentro de los parámetros definidos.

- UP/DOWN (o PULS+/DIR+ en modo Step/Dir): dos salidas para comandar el driver del eje Z.
- GND señales: común para las salidas de control (máx. 150 mA @ 100 V DC).

3.4.2.3 Parámetros ajustables

Los valores se seleccionan al pulsar el botón enter para cambiar de modo, y Up/Down para incrementar o decrementar el valor mostrado en la pantalla de 4 dígitos. Dentro de la **TABLA XIV** se detallan los parámetros con su respectivo rango y descripción.

TABLA XIV

PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO THC3T

Parámetro	Rango	Descripción
U	10–300	Voltaje objetivo (×0,1 V); define la **altura de corte** en modo auto.
A	001–075	**Área de control**; banda ΔV = ±A·0.01 V en torno a U para activar el ajuste automático.
S	100–800	**Sensibilidad** a variaciones de voltaje; valores altos hacen el sistema más reactivo.
d	001–099	**Delay** antes de emitir ARC_OK (0.1–9.9 s); evita falsas detecciones al iniciar el arco.
v	001–099	**Error en régimen**; tolerancia ±v·0.1 V para mantener la altura establecida.

3.4.2.4 Recomendaciones de ajuste inicial

- **U** = 150 → 15.0 V controla aproximadamente 15 mm sobre la superficie del tubo.
- **A** = 50 → ±5.0 V de margen para entrar/salir de control automático sin oscilar.
- **S** = 200 → sensibilidad media (ajústala entre 100–300 para tu fuente de plasma).
- **d** = 10 → retardo 1.0 s, suficiente para estabilizar el arco tras el encendido.
- **v** = 3 → ±0.3 V de tolerancia, balance entre precisión y estabilidad del movimiento

3.4.2.5 Interfaz visual y LEDs

- **LED rojo**: alimentación.
- **LED amarillo**: modo Run (TC habilitado).
- **LED verde**: Height OK.
- **Display digital**: muestra el valor activo durante la parametrización o el voltaje medido en operación.

3.4.3 Integración del THC3T-03 con Mach3

3.4.3.1 Asignación de pines en "Ports and Pins"

Configure Mach3 para leer y generar las señales de THC desde/para el breakout board. Dentro de la **TABLA XV** se detalla los parámetros a configurar siguiendo las recomendaciones de [24].

TABLA XV

CONFIGURACIÓN DE PINES PARA INTEGRAR EL THC CON EL MACH3

Señal	Tipo	Puerto	Pin	Función en Mach3
ARC_OK	Entrada	Port 2	10	"Probe" (se puede renombrar) para detección de arco estabilizado.
THC_UP	Salida	Port 2	12	"Output #1" → movimiento Z hacia arriba.
THC_DOWN	Salida	Port 2	13	"Output #2" → movimiento Z hacia abajo.

3.4.3.2 Configuración de señales en Mach3

En Config → Ports and Pins → Input Signals, habilite el pin 10 de Port 2 y se asigna la función "Probe".

- En Config → Ports and Pins → Output Signals,
- Active Output #1 en Port 2 Pin 12 para la señal UP.
- Active Output #2 en Port 2 Pin 13 para la señal DOWN.

3.4.3.3 Sincronización del avance Z con feedrate

En modo Step/Dir, Mach3 enviará los pulsos Z al DM542A a la misma velocidad que el avance de corte. Para mantener la distorsión axial mínima, compruebe en Config → Motor Tuning que la "Steps per" para el eje Z coincide con 3200 microsteps/rev y "Velocity" no exceda la capacidad de pulso por segundo del driver [25], [26].

3.4.3.4 Macros adicionales y seguridad

Macro de arranque.

- Active relés (M3).
- Espere a ARC_OK.
- Inicie avance.

Macro de parada.

- Pare avance (feed hold).
- Desactive THC (M63).
- Apague plasma (M5)

En la **Figura 18** se puede observar el controlador funcionando, además en la **Figura 19** se observa un diagrama sencillo de conexión del sistema. Por otro lado, en la **Figura 20** se observa un diagrama mucho más detallado sobre su conexión.



Figura 18. *THC3T-03 en funcionamiento.*

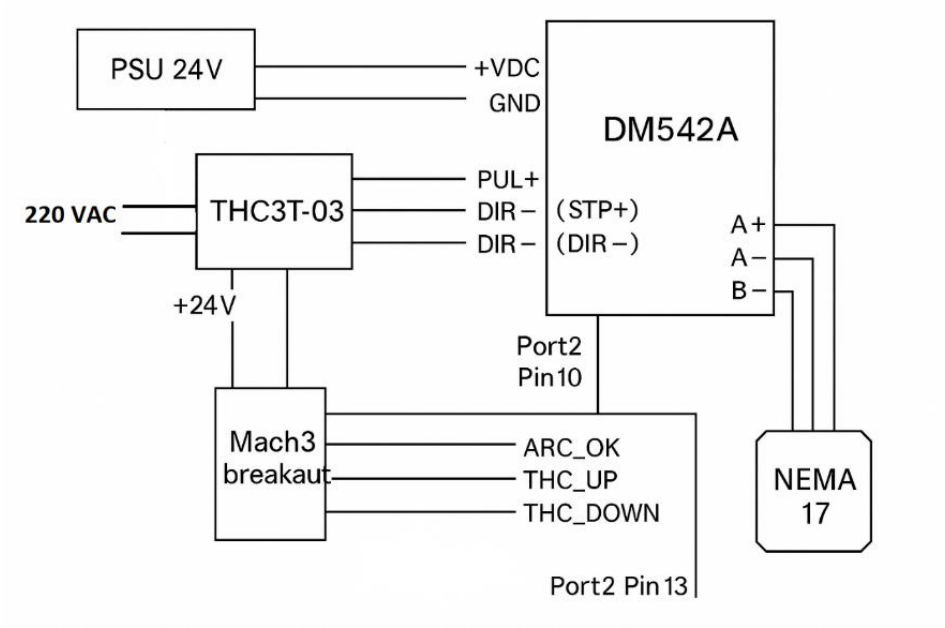


Figura 19. *Diagrama de conexión.*

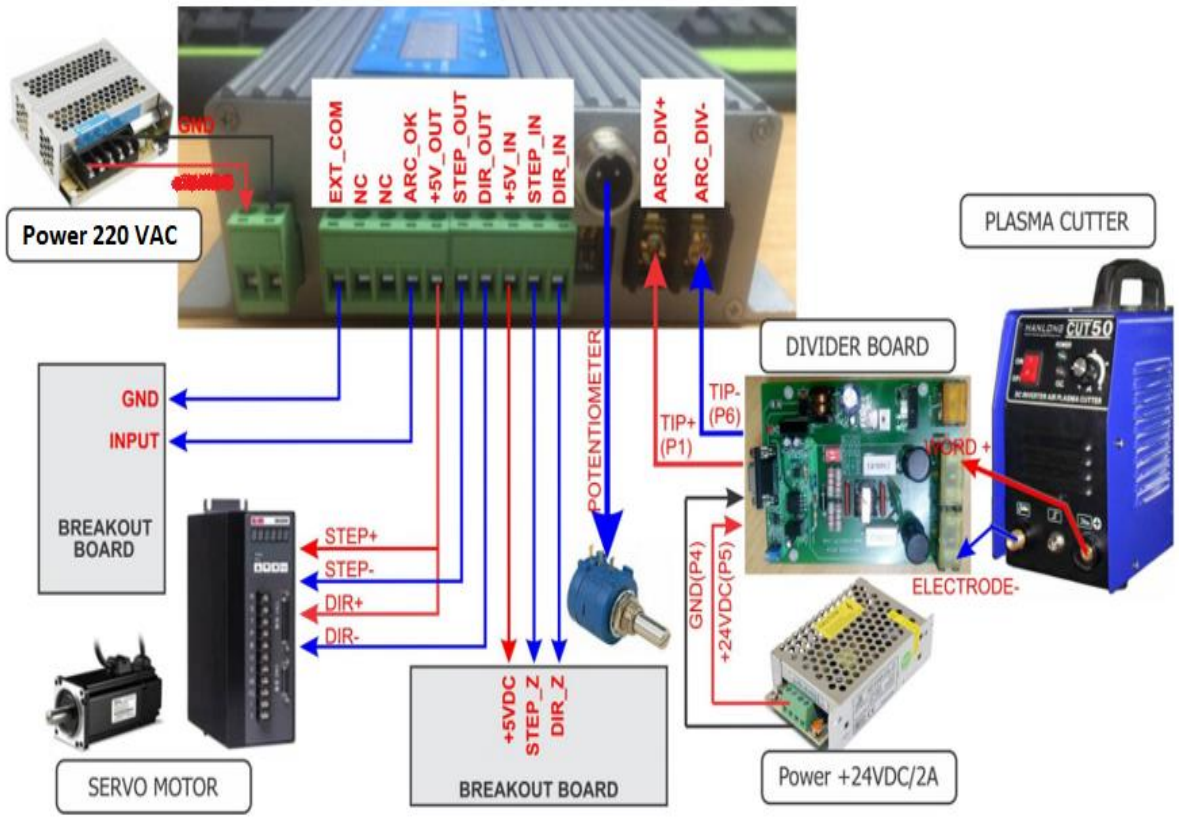


Figura 20. *Diagrama eléctrico [20].*

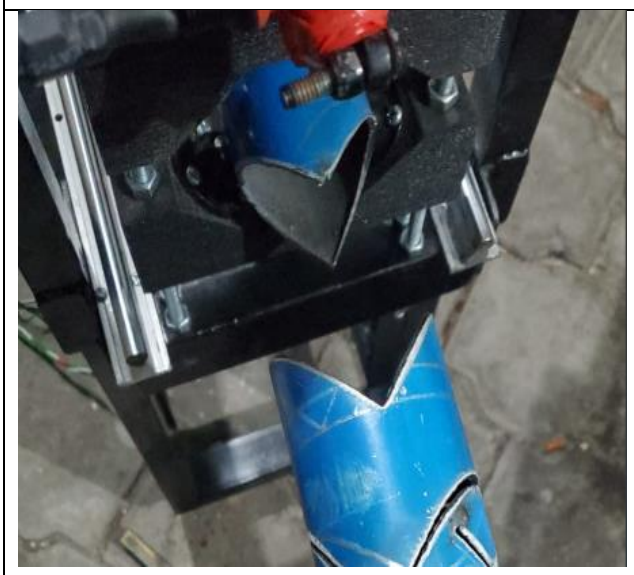
3.5 Pruebas de funcionamiento.

Finalmente, una vez realizados las conexiones descritas anteriormente y configurado todos los parámetros necesarios, se realizaron pruebas de funcionamiento. Para realizar las pruebas de funcionamiento, se realizó la programación de G-code para realizar un corte tipo "boca de pez" a un ángulo de 90° (Anexo 3).

Con este código y los parámetros de configuración establecidos, se procedió a realizar la prueba de funcionamiento y se obtuvieron los resultados descritos dentro de la **TABLA XVI**.

TABLA XVI

RESULTADOS PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

Resultados obtenidos en la prueba de funcionamiento	
Boca de pez a 90°	
	Se concluyo de manera exitosa la prueba de funcionamiento con los parámetros establecidos y el código asignado.

3.6 Costos

Una parte fundamental para la sustentación de este prototipo es el apartado de costos, aquí se procede a detallar de manera clara y ordenada el valor de cada uno de los elementos empleados para su desarrollo, desde la **TABLA XVII** hasta la **TABLA XX**. Este tipo de análisis permite determinar si el proyecto es viable y rentable dentro del ambiente al que se va a enfocar.

TABLA XVII

COSTOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Costos elementos estructurales			
Material	Cantidad	Precio unitario [USD]	Precio [USD]
Tubo estructural cuadrado negro 30*30*1.5	3	1.86	5.57
Platina 30*4	2	1.42	2.84
Tornillería	1	10.00	10.00
Total [USD]			18.41

TABLA XVIII

COSTOS ELEMENTOS ACTUADOR LINEAL

Costos elementos actuador lineal			
Material	Cantidad	Precio unitario [USD]	Precio [USD]
Motor NEMA 17	1	21.74	21.74
Perfil de aluminio V-slot	1	10.00	10.00
Rodamiento lineal con soporte	2	3.92	7.83
Soporte para eje SK8	4	3.83	15.30
Chumacera de piso KP08	1	2.61	2.61
Husillo roscado trapezoidal 8 mm paso 1.5	1	8.27	8.27
Camisa diámetro 8 mm	1	2.61	2.61
Tuerca de bronce diámetro 8 mm	1	2.61	2.61
Acople flexible 5 mm a 8 mm	1	2.53	2.53
Soporte de esquina para perfil de aluminio	4	2.18	8.70
Total [USD]			94.50

TABLA XIX

COSTOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS, ELECTRÓNICOS Y DE CONTROL

Costos elementos eléctricos, electrónicos y de control			
Material	Cantidad	Precio unitario [USD]	Precio [USD]
Cable flexible calibre 10 4mm	15	0.8261	12.31
Cable concéntrico 3*18	8	0.6957	5.57
Breaker 2*20 riel ls	1	8.2609	8.26
Caja 2 ESP RIEL	1	3.0870	3.09
Batería 9V	1	1.7391	1.74
Enchufe TW S/P 220V	1	4.5652	4.57
Tomacorriente TW S/P 220V	1	3.6957	3.70
Estaño 60/40	1	1.3043	1.30
Caja mediana para proyectos	1	16.84	16.84
Fuente de alimentación 110V-24V	1	20.00	20.00
Cortadora de plasma PTK IP CUT40	1	189.99	189.99
Controlador THC3T-03	1	170	170
XHC MKX-ET Ethernet USB Mach3 Board	1	447.62	447.62
Driver DM542A	1	49.75	49.75
Cautín 40W	1	4.00	4.00
Total [USD]			944.90

Hasta este punto se detalló todos y cada uno de los valores unitarios de los elementos adquiridos para la construcción de prototipo. A continuación, se detalla de la misma manera los costos operativos, como transporte y mano de obra. Toda esta información se encuentra dentro de la **TABLA XX**.

TABLA XX

COSTOS TRANSPORTE Y MANO DE OBRA

Costos transporte y mano de obra			
Material	Cantidad	Precio unitario [USD]	Precio [USD]
Transporte de materiales	1	20.00	20.00
Servicio de corte y soldadura de material estructural	1	18.00	18.00
Ensamblaje de componentes	2	20.00	40.00
Instalaciones eléctricas y electrónicas	2	20.00	40.00
Servicio de pintura	1	15.00	15.00
Total [USD]			153.00

Resumen de costos

Una vez desglosado el precio de cada uno de los materiales clasificados en diferentes áreas se obtiene el siguiente resumen, el cual se detalla en la **TABLA XXI**. Donde se puede apreciar el costo total aproximado del proyecto.

TABLA XXI

RESUMEN DE COSTOS

Descripción	Precio [USD]
Costos elementos estructurales	18.41
Costos elementos actuador lineal	94.50
Costos elementos eléctricos, electrónicos y de control	944.90
Costos transporte y mano de obra	153.00
Total [USD]	1210.81

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El análisis y cálculo de las variables esenciales como la altura de corte, el área de control, la sensibilidad y el delay, para el control de altura de la antorcha de plasma permitió identificar los factores más relevantes que afectan la precisión del corte. Entre ellos están, la velocidad de corte, y la precisión de los sensores de proximidad fueron fundamentales para configurar el sistema de control, permitiendo que el movimiento de la antorcha se ajuste de manera precisa y eficiente durante el proceso de corte. La correcta determinación de estas variables garantiza la calidad constante del corte, así se minimiza cualquier error en la altura de la antorcha.
- La implementación de actuadores lineales y motores a pasos ha resultado en un mecanismo robusto y eficiente para el control del eje Z. La integración de sensores de proximidad ha permitido que el sistema ajuste automáticamente la altura de la antorcha en función de las variaciones del material durante el corte. Este mecanismo no solo optimiza la precisión del corte, sino que también mejora la repetibilidad y la productividad del proceso, así se elimina la necesidad de intervención manual constante.
- Las pruebas de funcionamiento realizadas validaron la efectividad del sistema de automatización vertical de la antorcha, así se demuestra que puede mantener la precisión en la altura de corte de manera consistente. Durante las pruebas, se observó que el sistema ajustaba la antorcha de forma adecuada, incluso en situaciones de corte prolongado, y que la calidad del corte se mantenía estable a lo largo del proceso. Además, la reducción de intervenciones manuales ha permitido mejorar la productividad general del sistema, haciéndolo más eficiente y menos propenso a errores humanos.
- El controlador THC3T-03 es una herramienta altamente útil durante el proceso de corte, sin embargo, su potencial no se aprovecha completamente en esta aplicación. Este sistema resulta especialmente ideal para situaciones donde la geometría de la pieza de trabajo es irregular, ya que su capacidad para adaptarse a formas complejas lo convierte en una opción excepcional. Los sensores de retroalimentación son fundamentales en este contexto, ya que permiten la reubicación automática de la antorcha, así se

garantizan ajustes precisos y continuos en tiempo real durante el corte, lo que optimiza la calidad del trabajo.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda investigar y optimizar el ajuste dinámico de la altura de la antorcha en tiempo real, especialmente al trabajar con materiales irregulares o de diferente densidad, como acero inoxidable o materiales compuestos. La incorporación de sensores de presión adicionales podría ayudar a identificar cambios en las características del material y ajustar la altura de manera más precisa, así se garantiza una mejor calidad en cortes complejos o de difícil acceso.
- Para mejorar la rapidez y precisión del sistema, se recomienda incrementar la capacidad de respuesta de los actuadores lineales, se usan versiones con mayor torque y velocidad de movimiento. Esto permitirá que el sistema ajuste la antorcha con mayor rapidez, especialmente en condiciones de corte acelerado o con materiales que requieren ajustes más frecuentes. Además, se podría considerar la utilización de motor a pasos en lugar de motores a pasos para obtener un control más preciso y eficiente.
- Se sugiere realizar pruebas más exhaustivas en una gama de materiales con diferentes características, como aleaciones metálicas, materiales con recubrimientos especiales o materiales de mayor espesor. Estas pruebas permitirán ajustar el sistema para que sea más versátil y capaz de adaptarse a diversas condiciones de corte, lo que ampliará su aplicación en diferentes sectores industriales. Además, se recomienda evaluar la durabilidad del sistema para asegurar que el prototipo pueda operar de manera confiable durante largas jornadas de trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] R. J. Carvajal Cabrera, "Tesis I. M. 485," Universidad Técnica de Ambato, 2020.
[2] A. Camarena, "Automatización del Corte por Plasma: Impacto en la Calidad y Eficiencia," Revista de Innovación Industrial, vol. 40, no. 2, pp. 98-112, 2021.

[3] L. Rodríguez, "Mejoras en el Control de Altura de la Antorcha para el Corte por Plasma," Journal of Manufacturing Processes, vol. 27, pp. 49-58, 2022.

[4] F. P. Mazzanti, "Plasma Arc Cutting Systems: Integration of CNC and THC," Journal of Engineering Applications, vol. 16, no. 7, pp. 90-104, 2019.

[5] S. Garcia, "Advanced Plasma Cutting Techniques: Applications and Developments," International Journal of Manufacturing Science, vol. 10, no. 4, pp. 65-78, 2020.

[6] L. Santos, "Optimizing Plasma Cutting with Automated Systems," Review of Industrial Automation, vol. 32, no. 1, pp. 50-63, 2020.

[7] M. A. Mendoza, "Energy Consumption in Plasma Cutting: A Study of Automated Systems," Journal of Sustainable Manufacturing, vol. 8, pp. 100-113, 2021.

[8] T. Yamada, "Cutting Technology for Metal Plates," Fabrication Technology Journal, vol. 5, pp. 12-20, 2020.

[9] A. Martínez, "Tendencias futuras en la automatización del corte por plasma," Revista de Innovación Industrial, vol. 10, no. 1, pp. 34-47, 2022.

[10] F. Díaz, "Avances en el aprendizaje automático para sistemas de corte," Revista de Robótica y Automatización, vol. 5, no. 3, pp. 78-90, 2021.

[11] J. Piquer, "Diseño e implementación de una máquina CNC con funcionalidad de taladradora," Revista de Ingeniería y Tecnología, vol. 33, no. 3, pp. 120-134, 2021.

[12] DIPAC Manta S.A., "Tubo Estructural Redondo Negro," Dipac Manta, 2023. En línea]. Disponible en: https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-redondo-negro/

[13] American Welding Society, Manual de soldadura, 8a ed., vol. 2. 1991.

[14] Hypertherm, "Gas selection guide for plasma cutting aluminum, stainless steel, and mild steel," Hypertherm, 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.hypertherm.com/resources/more-resources/articles/guide-to-plasma-gas-selection/

[15] PTK Herramientas Ecuador, "Cortadora por Plasma 40A – 220V," PTK Herramientas Ecuador, 2023. [En línea]. Disponible en: https://ptk.com.ec/producto/cortadora-por-plasma-40a-220v/

[16] INGCO, "Compresor de aire AC301008," INGCO, 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ingco.com/es/product/air-compressor/AC301008

[17] R. Budynas y J. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8a ed. Mexico:

McGrawHill, 2008.

[18] C. T. Ferrón, Corte por plasma y oxicorte: FMEH0209, 1a ed., vol. 0. Málaga: IC

Editorial, 2023.

[19] Gian Transmission, “A Comprehensive Guide to Motor a pasos Sizes,” Gian Transmission, n.d. [En línea]. Disponible en: https://www.gian-transmission.com/a-comprehensive-guide-to-servo-motor-sizes/

[20] Robot3T, "THC3T-03 Torch Height Controller," 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.robot3t.com/thc3t-03.

[21] Robot3T, "THC3T-03 Features and Specifications," 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.robot3t.com/thc3t-03-features.

[22] Leadshine Technology Co., “DM542 Digital Stepper Drive User Manual,” Rev. 1.0, 2012. [Online]. Disponible en: https://kitaez-cnc.com/f/dm542.pdf

[23] Pololu Corporation, “Stepper Motor NEMA-17 Specifications,” 2020. [Online]. Available: https://www.pololu.com/file/0J310/nema17.pdf

[24] ArtSoft Inc., “Mach3® CNC Control Software Manual,” Version 4.0, 2019.

[25] CNC Master, "THC 3T-02 Mach3," CNC Master [Online]. Disponible en: https://cncmasteronline.wixstudio.com/plasma/product-page/thc-3t-02-mach3

[26] PBC Linear, "Stepper Motor Support Datasheet," 2020. [Online]. Disponible en: https://pages.pbclinear.com/rs/909-BFY-775/images/DataSheet-Stepper-Motor-Support.pdf

[27] NORELEM, "Husillos y tuercas roscadas, Rodavigo Suministros Industriales," 2024. [Online]. Disponible en: https://rodavigo.net/catalogos/NORELEM/03%20Elementos%20para%20máquinas/08%20Husillos%20y%20tuercas%20roscadas.pdf

[28] SKF, Manual de rodamientos, SKF Group, 2003.

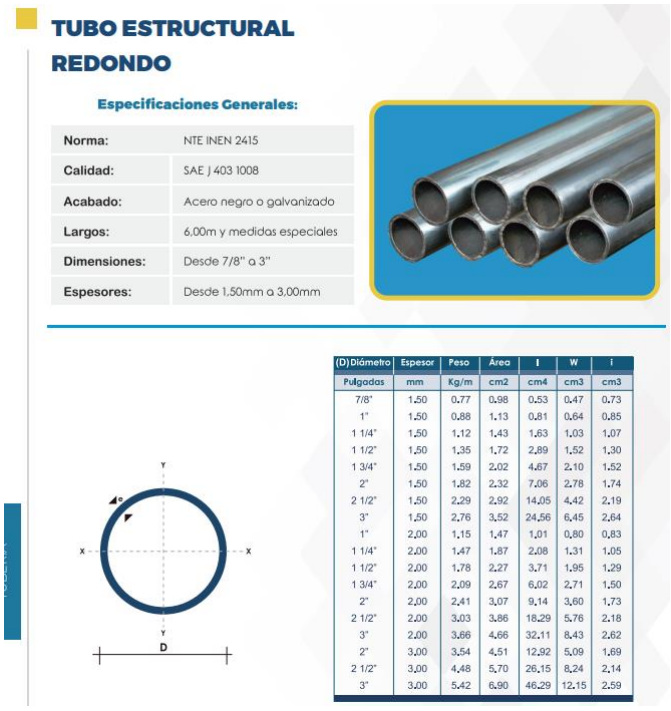
[29] Norelem, Catálogo de elementos para máquinas, 2024. [Online]. Disponible en: https://rodavigo.net/catalogos/NORELEM

[30] INA/FAG, Unidades de soporte de rodamientos, Schaeffler Technologies.

[31] Schaeffler Iberia, "UCP201-08-J7 Soporte de apoyo," medias.schaeffler.es, 2022. [Online]. Disponible en: https://medias.schaeffler.es/es/producto/housings/soportes/soporte-con-rodamientos-autoalineables/ ucp201-08-j7/p/401497

Anexos

Anexo 1: Catálogo Dipac Tubo Estructural Redondo Negro.



TUBO ESTRUCTURAL REDONDO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largos:	6,00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 7/8" a 3"
Espesores:	Desde 1,50mm a 3,00mm

(D) Diámetro	Espesor	Peso	Área	I	W	i
Pulgadas	mm	Kg/m	cm2	cm4	cm3	cm3
7/8"	1,50	0,77	0,98	0,53	0,47	0,73
1"	1,50	0,88	1,13	0,81	0,64	0,85
1 1/4"	1,50	1,12	1,43	1,63	1,03	1,07
1 1/2"	1,50	1,35	1,72	2,89	1,52	1,30
1 3/4"	1,50	1,59	2,02	4,67	2,10	1,52
2"	1,50	1,82	2,32	7,06	2,78	1,74
2 1/2"	1,50	2,29	2,92	14,05	4,42	2,19
3"	1,50	2,76	3,52	24,56	6,45	2,64
1"	2,00	1,15	1,47	1,01	0,80	0,83
1 1/4"	2,00	1,47	1,87	2,08	1,31	1,05
1 1/2"	2,00	1,78	2,27	3,71	1,95	1,29
1 3/4"	2,00	2,09	2,67	6,02	2,71	1,50
2"	2,00	2,41	3,07	9,14	3,60	1,73
2 1/2"	2,00	3,03	3,86	18,29	5,76	2,18
3"	2,00	3,66	4,66	32,11	8,43	2,62
2"	3,00	3,54	4,51	12,92	5,09	1,69
2 1/2"	3,00	4,48	5,70	26,15	8,24	2,14
3"	3,00	5,42	6,90	46,29	12,15	2,59

Anexo 2: Medidas comunes de motor a pasos.

Servo Motor Size	Torque Range	Speed Range	Typical Applications
Micro	< 0.1 Nm	1000–5000 RPM	Small robots, drones, hobbyist projects
Small	0.1–1 Nm	1000–6000 RPM	Medical gadgets, 3D printers, and CNC machines
Medium	1–10 Nm	500–3000 RPM	Industrial robots, packaging machines
Large	> 10 Nm	100–1500 RPM	Heavy machinery, conveyor systems

Anexo 3: G-code boca de pez a 90°.

Código boca de pez 90°.

%

G20

G90

G17

G0 X3.0 Z0.0

M03

F10.0

G1 A0 Z0.0000

G1 A10 Z0.2171

G1 A20 Z0.4275

G1 A30 Z0.6250

G1 A40 Z0.8035

G1 A50 Z0.9576

G1 A60 Z1.0825

G1 A70 Z1.1746

G1 A80 Z1.2310

G1 A90 Z1.2500

G1 A100 Z1.2310

G1 A110 Z1.1746

G1 A120 Z1.0825

G1 A130 Z0.9576

G1 A140 Z0.8035

G1 A150 Z0.6250

G1 A160 Z0.4275

G1 A170 Z0.2171

G1 A180 Z0.0000

G1 A190 Z-0.2171

G1 A200 Z-0.4275

G1 A210 Z-0.6250

G1 A220 Z-0.8035

G1 A230 Z-0.9576

G1 A240 Z-1.0825

G1 A250 Z-1.1746

G1 A260 Z-1.2310

G1 A270 Z-1.2500

G1 A280 Z-1.2310

G1 A290 Z-1.1746

G1 A300 Z-1.0825

G1 A310 Z-0.9576

G1 A320 Z-0.8035

G1 A330 Z-0.6250

G1 A340 Z-0.4275

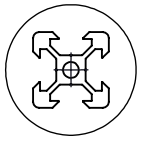
G1 A350 Z-0.2171

G1 A360 Z-0.0000

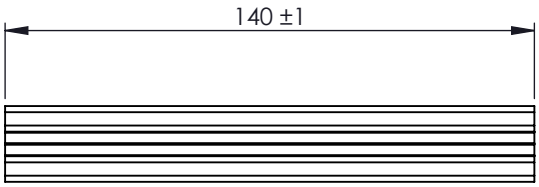
M05

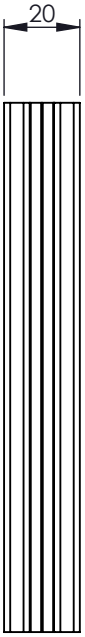
G0 Z0.0

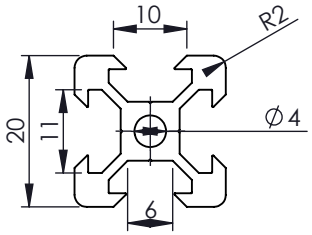
M30



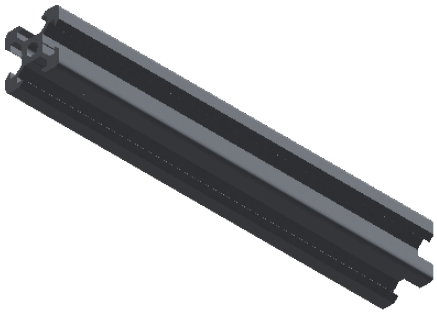
A







DETALLE A
ESCALA 1 : 1



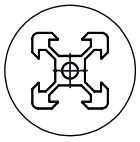
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 0.5	0.061 kg	Aleación 6061 Aluminio	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	

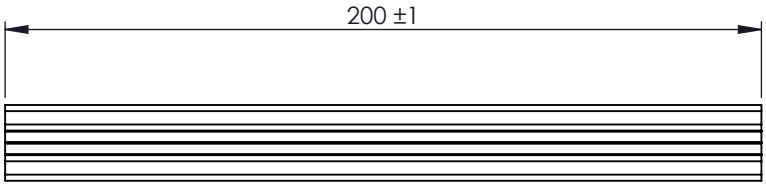
Denominación: Aluminio estructural 20x20x140

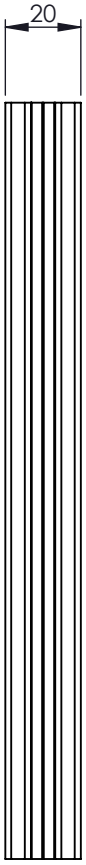
Escala: 1: 2

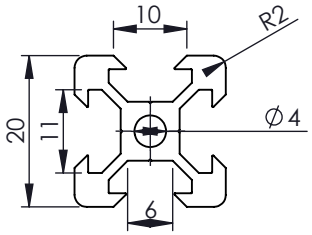
Registro:

N4

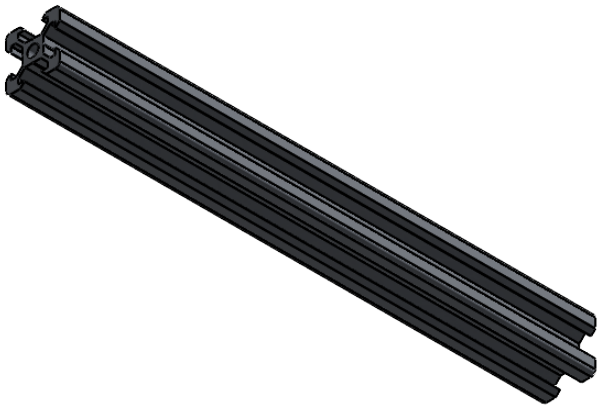




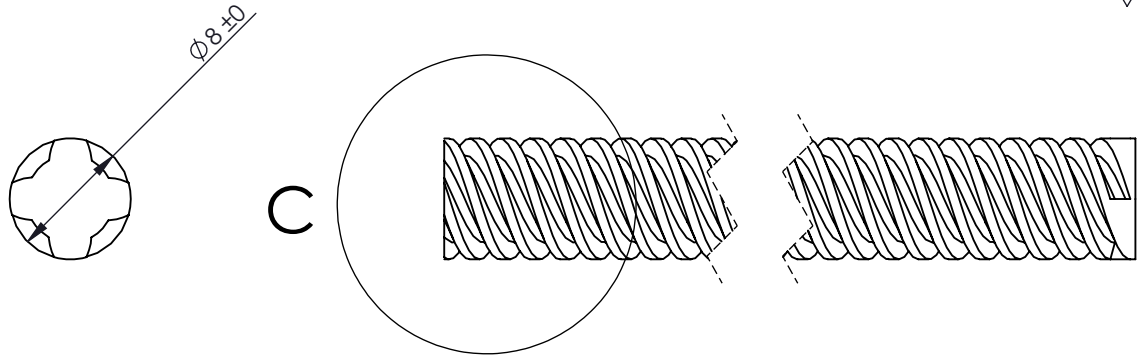


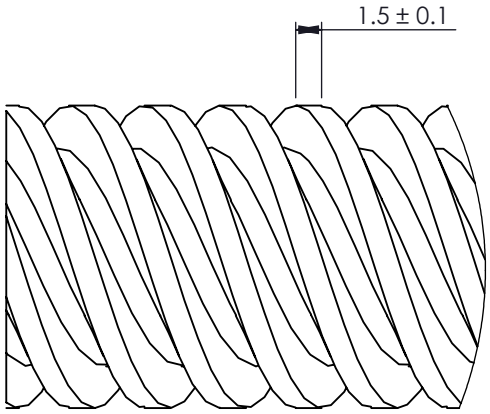


DETALLE B
ESCALA 1 : 1

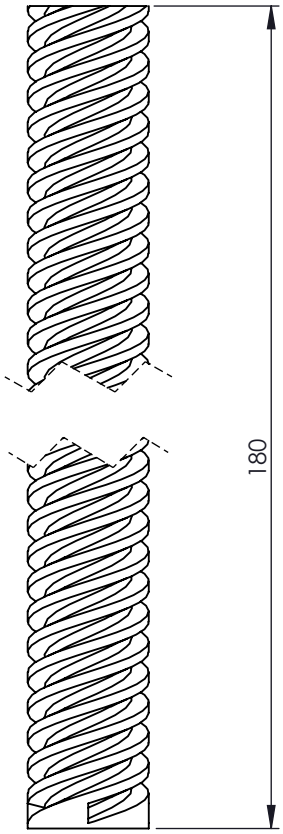


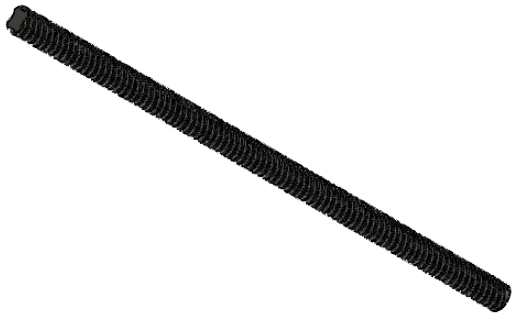
				Tolerancia ± 0.5		(Peso) 0.088 kg	Materiales: Aleación 6061 Aluminio
					Fecha	Nombre	Denominación: Aluminio estructural 20x20x200 — Escala: 1: 2
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 2 — Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución





DETALLE C
ESCALA 5 : 1





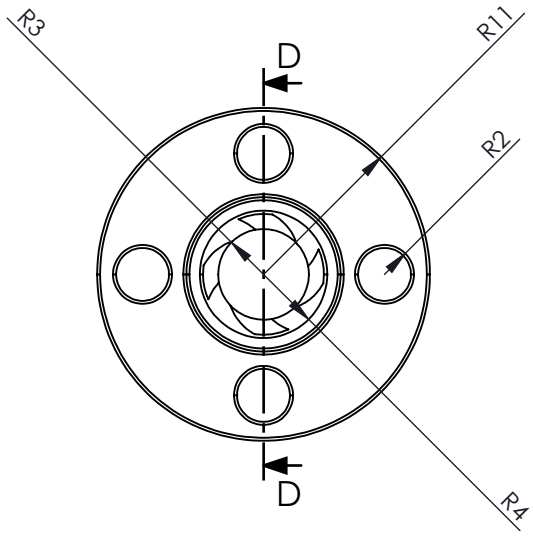
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 0.5	0.053 kg	Acero 1.040 C15	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 3	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	

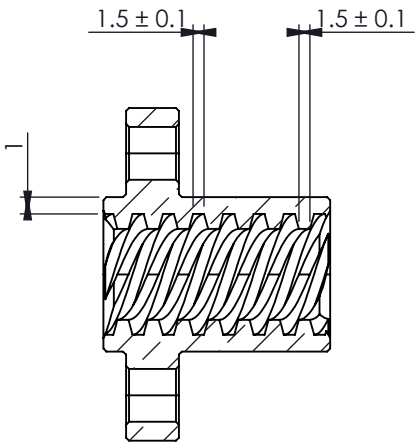
Denominación: Eje roscado trapezoidal 8mm

Escala: 2:1

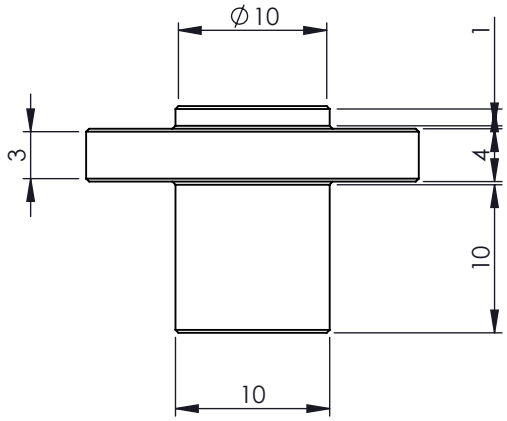
Registro:

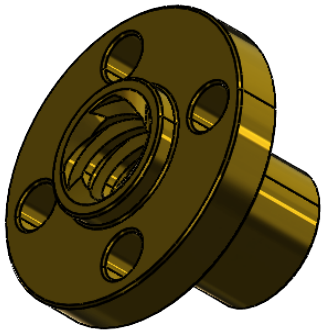
N6





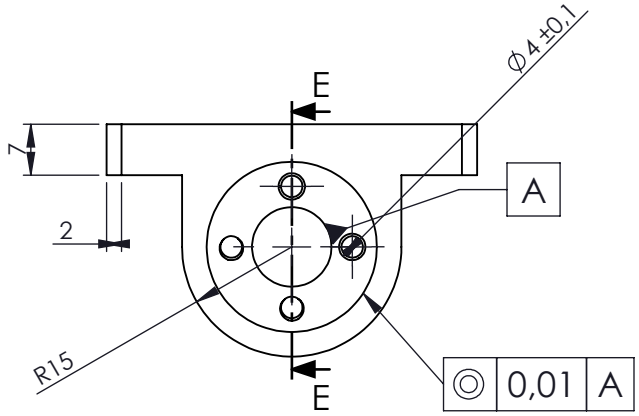
CORTE D-D

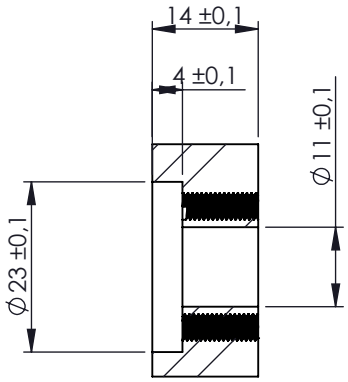




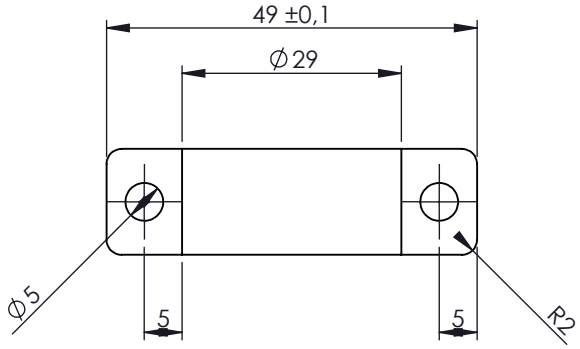
				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.013 kg	Materiales: Bronce	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	Denominación: Tuerca de latón
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	Escala: 2:1
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 4
							Sustitución
							Registro:

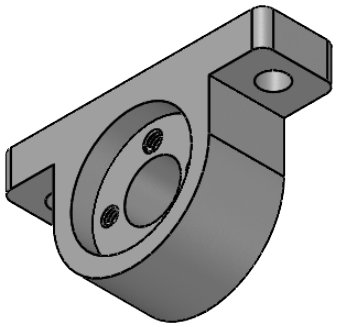
N10





CORTE E-E





				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 0.5	0.014 kg	PTG	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica			

Denominación: Soporte tuerca de latón

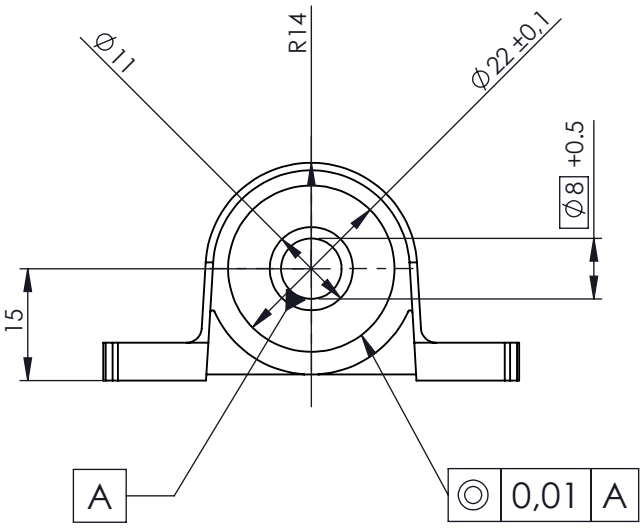
Escala: 1: 2

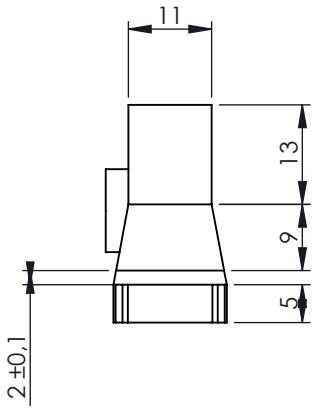
Número del dibujo: 5

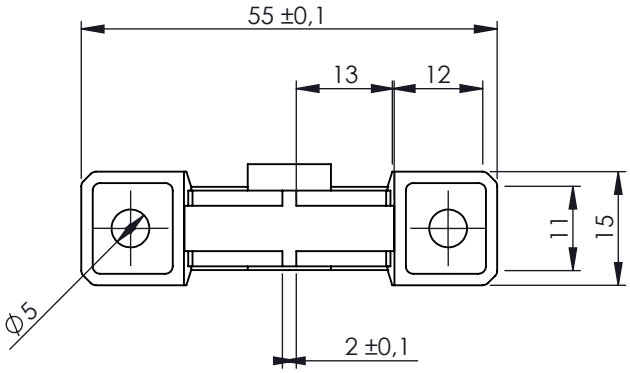
Registro:

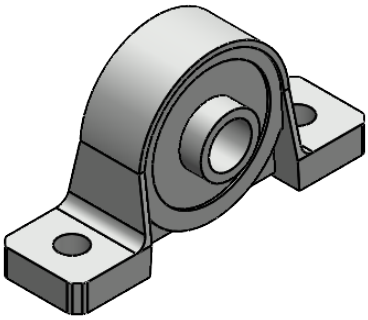
Sustitución

N7

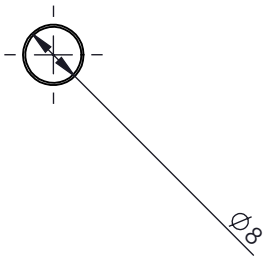


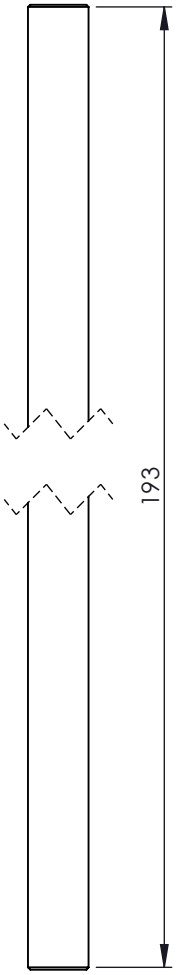


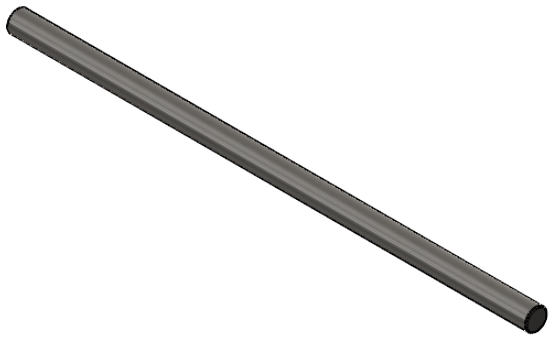




				Tolerancia ± 0.5		(Peso) 0.052 kg	Materiales: Varios
					Fecha	Nombre	Denominación: Chumacera
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	Escala: 1: 1
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 6
							Sustitución
							Registro:



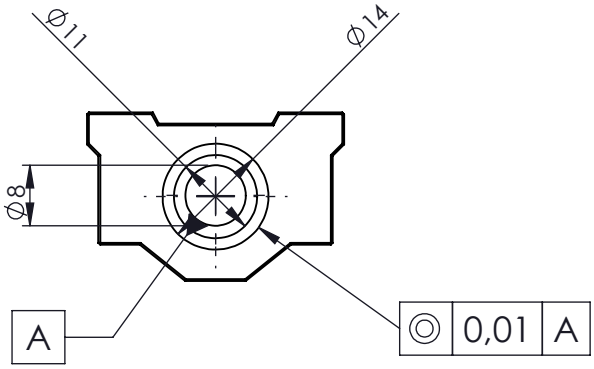


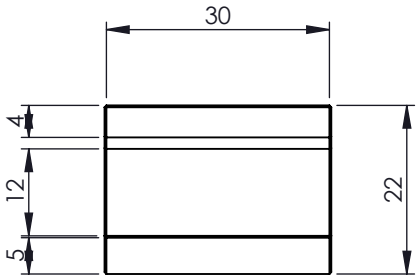


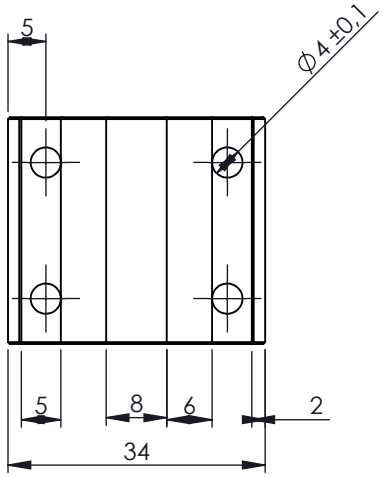
				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.078 kg	Materiales: AISI 304	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	Denominación: Eje liso
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	Escala: 1: 2
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 7
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución

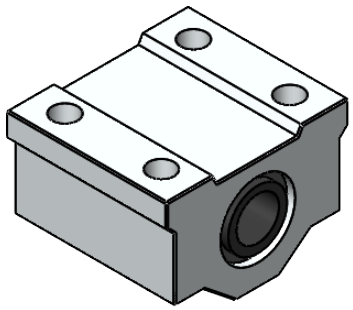
Registro:

N8









				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 0.5	0.015 kg	Varios	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica			

Denominación: Rodamiento lineal

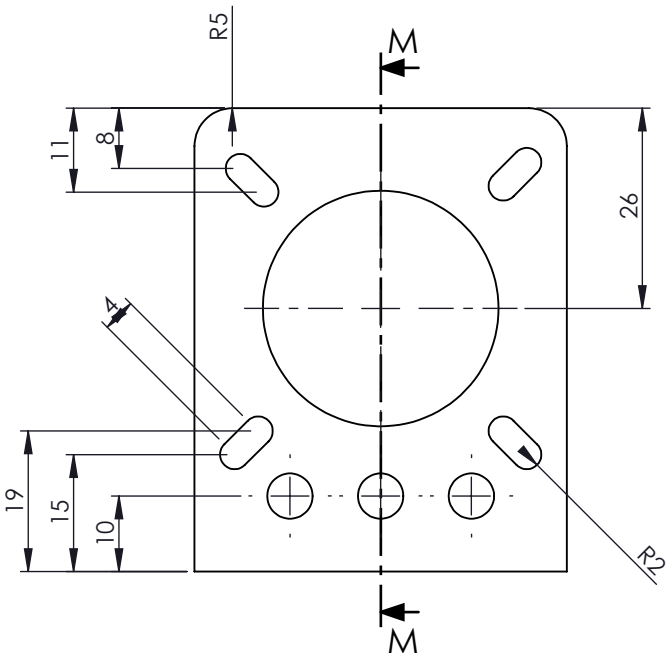
Escala: 1: 1

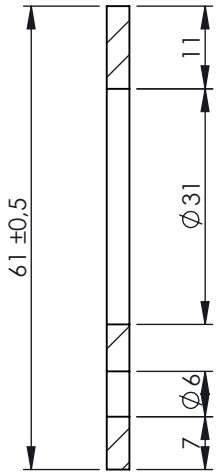
Número del dibujo: 8

Registro:

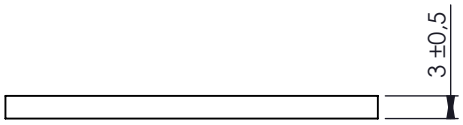
Sustitución

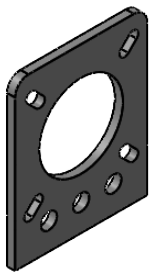
N10





CORTE M-M
ESCALA 1 : 1





				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 0.5	0.008 kg	PETG	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

Denominación: Soporte Nema 17

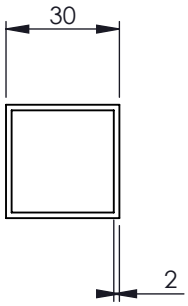
Escala: 1: 1

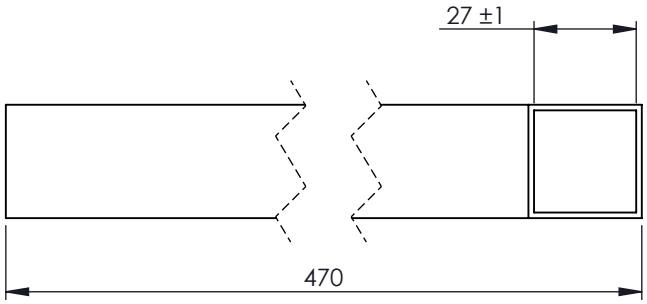
Número del dibujo: 10

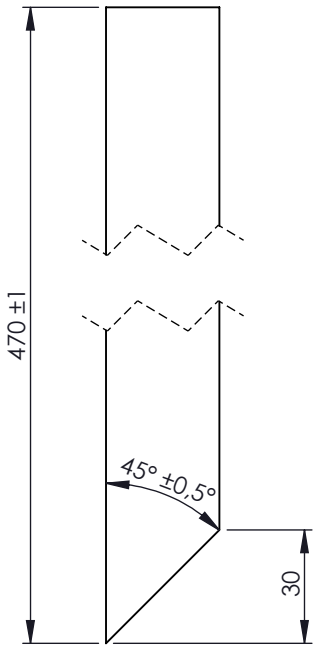
Registro:

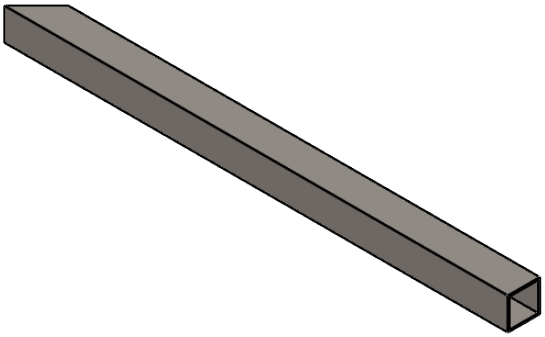
Sustitución

N8



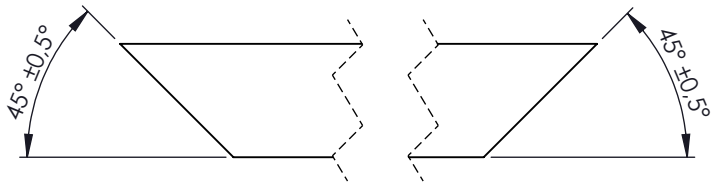


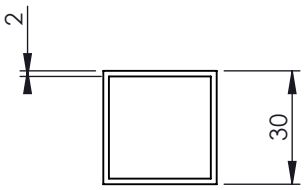


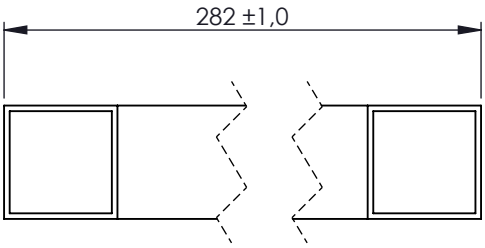


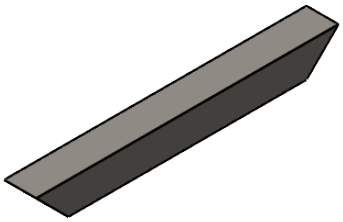
				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.61 kg	Materiales: ASTM A36 Acero	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	Denominación: Soporte lateral — Escala: 1: 2
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 11 — Registro:
							Sustitución

N8







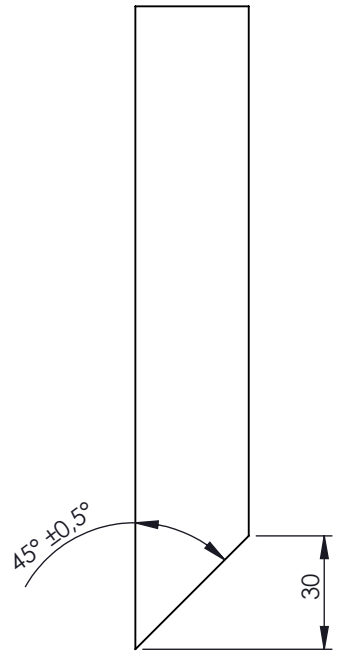


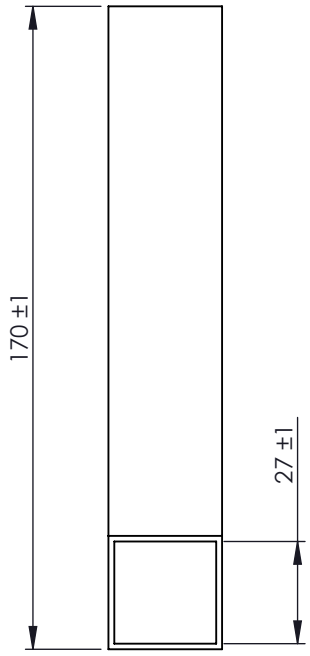
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 0.5	0.33 kg	ASTM A36 Acero	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	

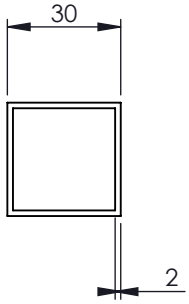
Denominación: Soporte longitudinal

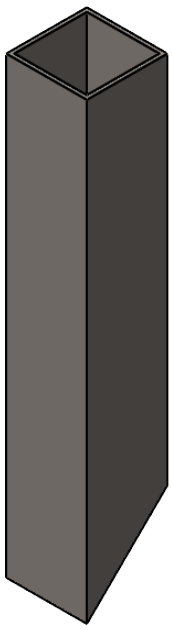
Escala: 1: 2

Registro:



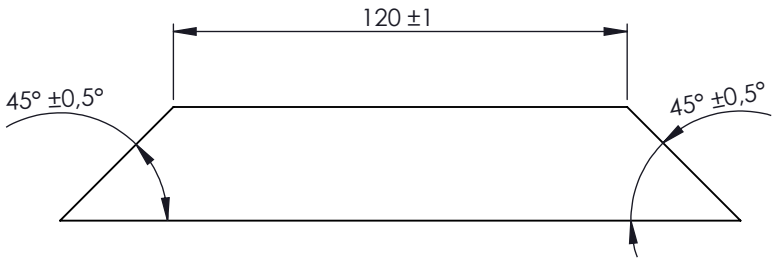


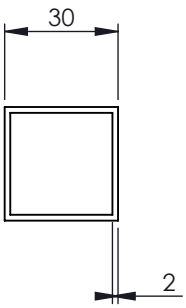


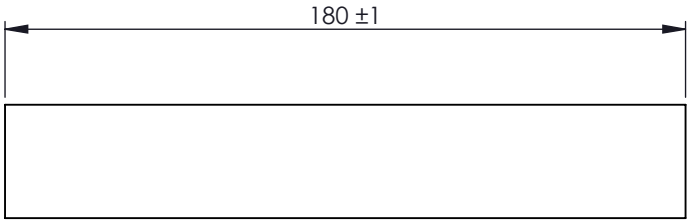


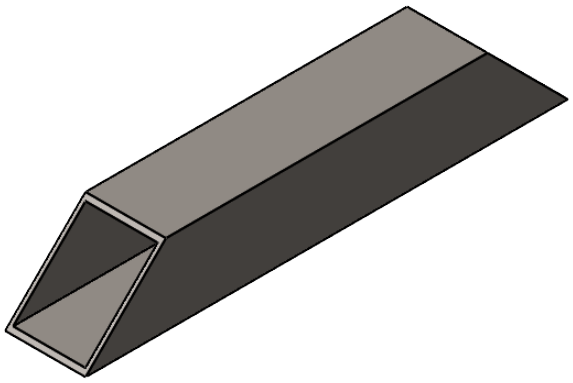
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 0.5	0.2 kg	ASTM A36 Acero	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	Denominación: Soporte central vertical
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	Escala: 1: 2
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 13	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	

N8



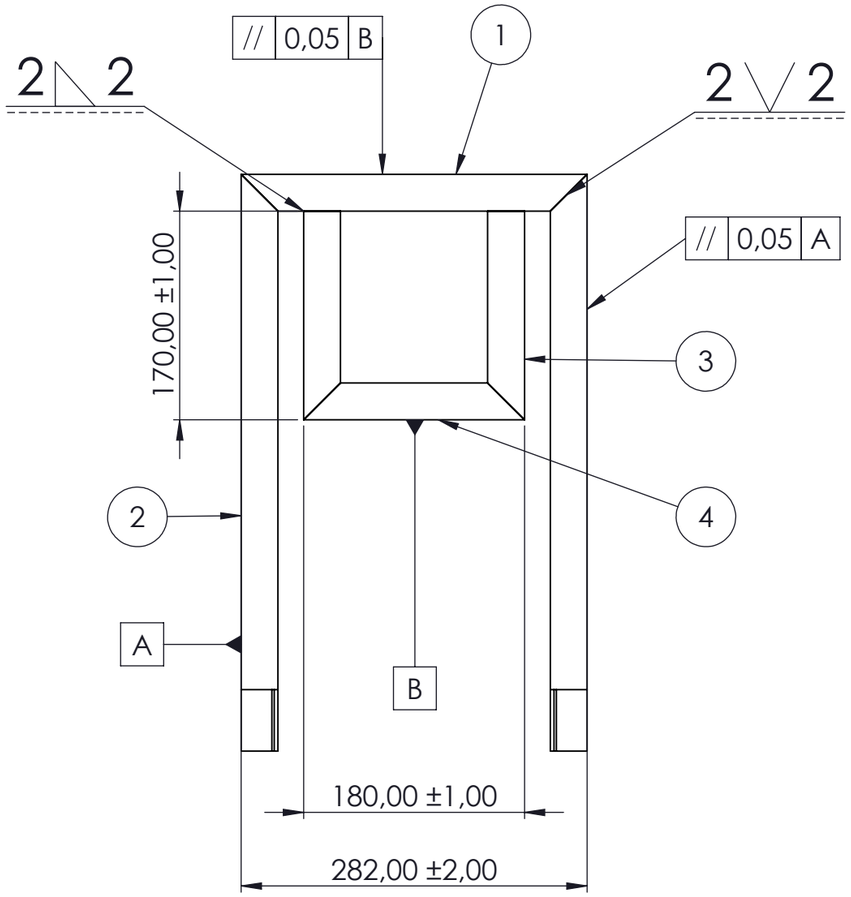


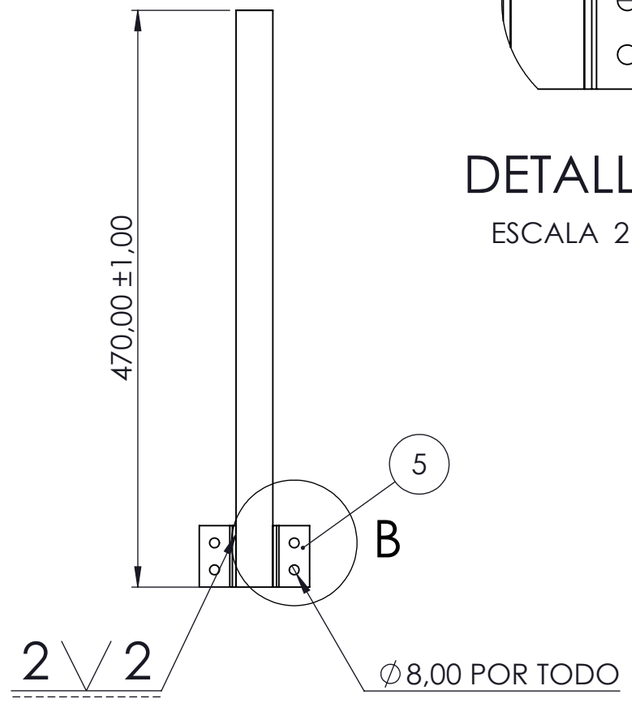


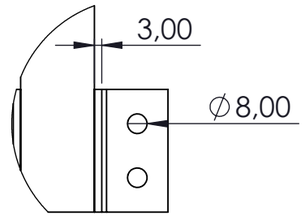


				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.2 kg	Materiales: ASTM A36 Acero	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	8/7/2025	López D.	Denominación: Soporte central longitudinal
				Revisó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	Escala: 1: 2
				Aprobó:	8/7/2025	Ing. Peña F.	
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 14
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución

Registro:

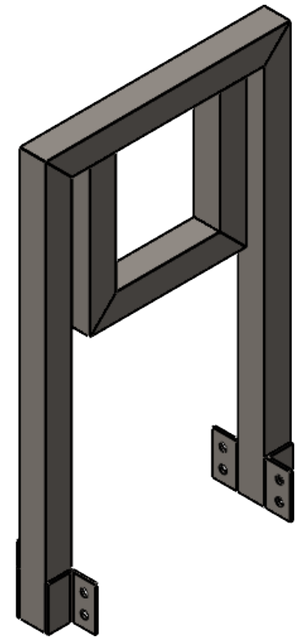


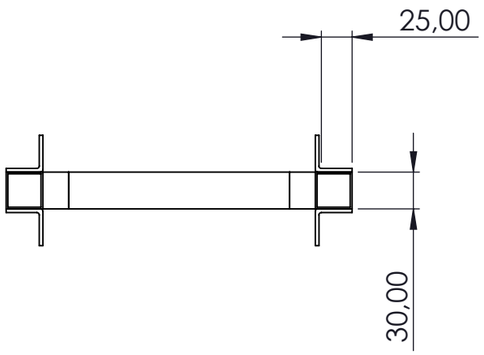




DETALLE B

ESCALA 2 : 5





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte Longitudinal		1
2	Soporte Lateral		2
3	Soporte Central Vertical		2
4	Soporte Central Longitudinal		1
5	Ancláje		4

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: ± 0.5

(Peso): 2.53 Kg

Materiales: ASTM A36 Acero

	Fecha	Nombre
Dibujó:	23/06/25	López D.
Revisó:	23/06/25	Ing. Peña F.
Aprobó:	23/06/25	Ing. Peña F.

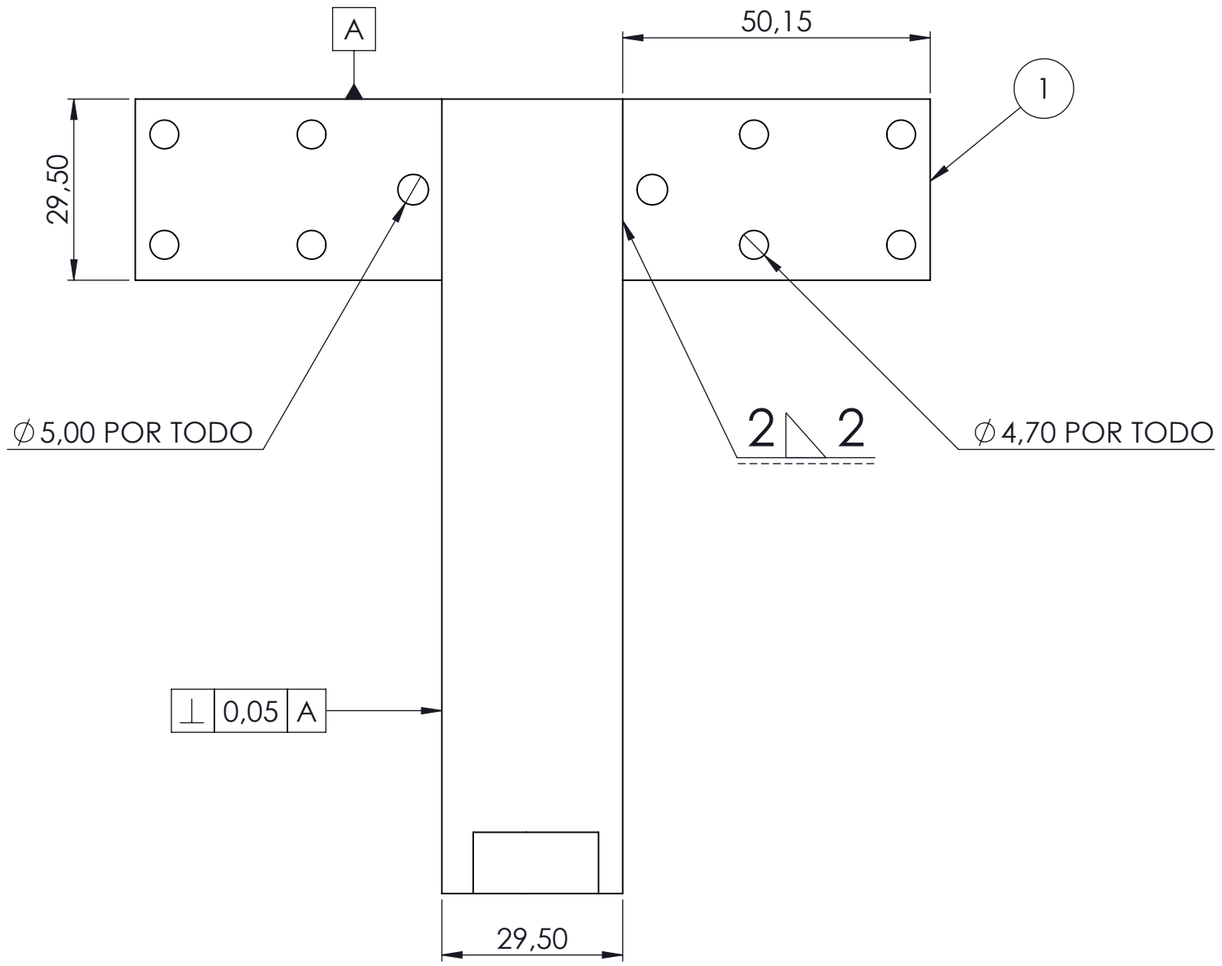
UTA
Ingeniería Mecánica

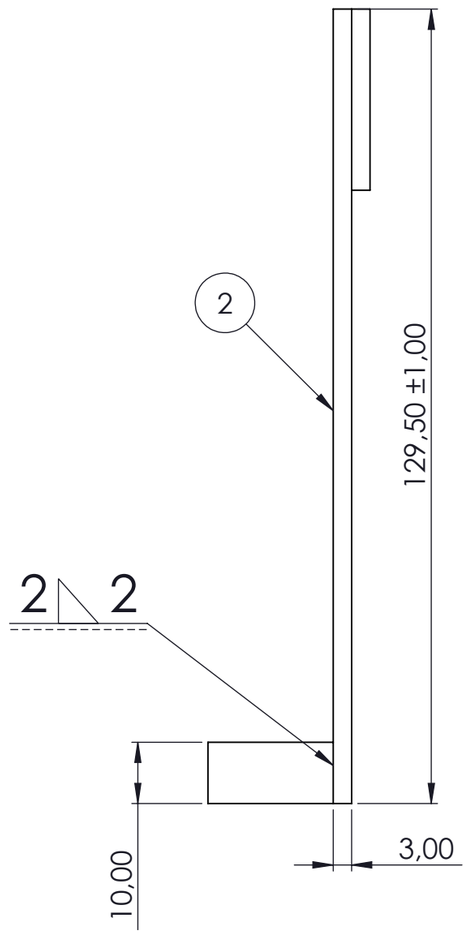
Denominación: Estructura soporte

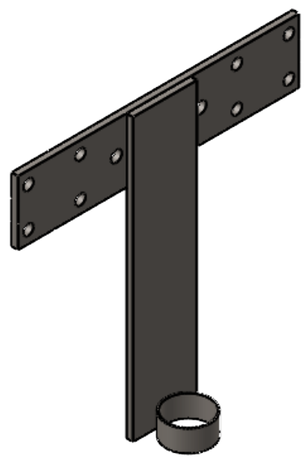
Escala: 1:5

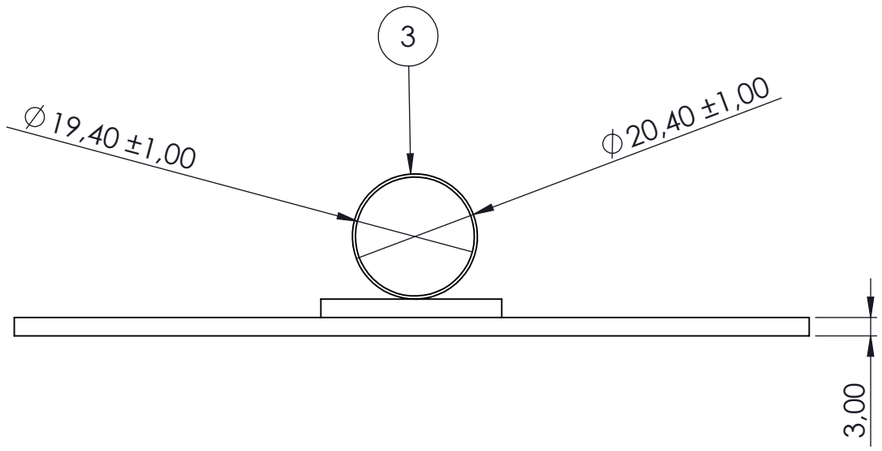
Número del dibujo: 15

(Sustitución)









N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Placa Base		1
2	placa base 2		1
3	Placa base 3		1

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: ± 0.5

(Peso): 0.18 Kg

Materiales: ASTM A36 Acero

	Fecha	Nombre
Dibujó:	23/06/25	López D.
Revisó:	23/06/25	Ing. Peña F.
Aprobó:	23/06/25	Ing. Peña F.

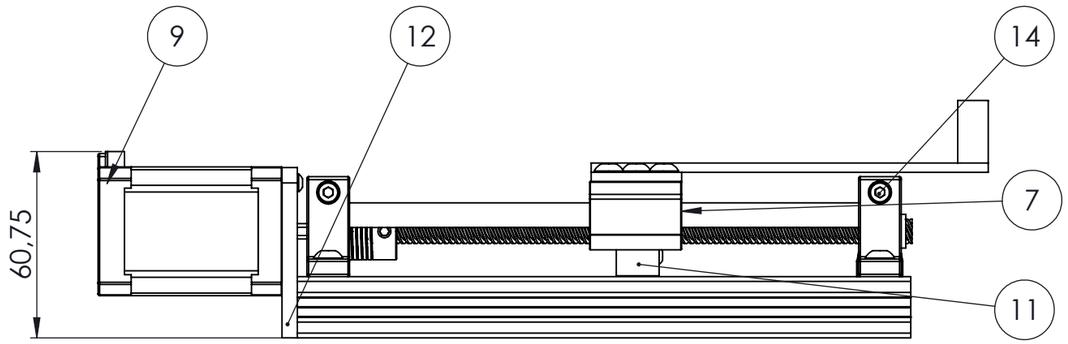
UTA
Ingeniería Mecánica

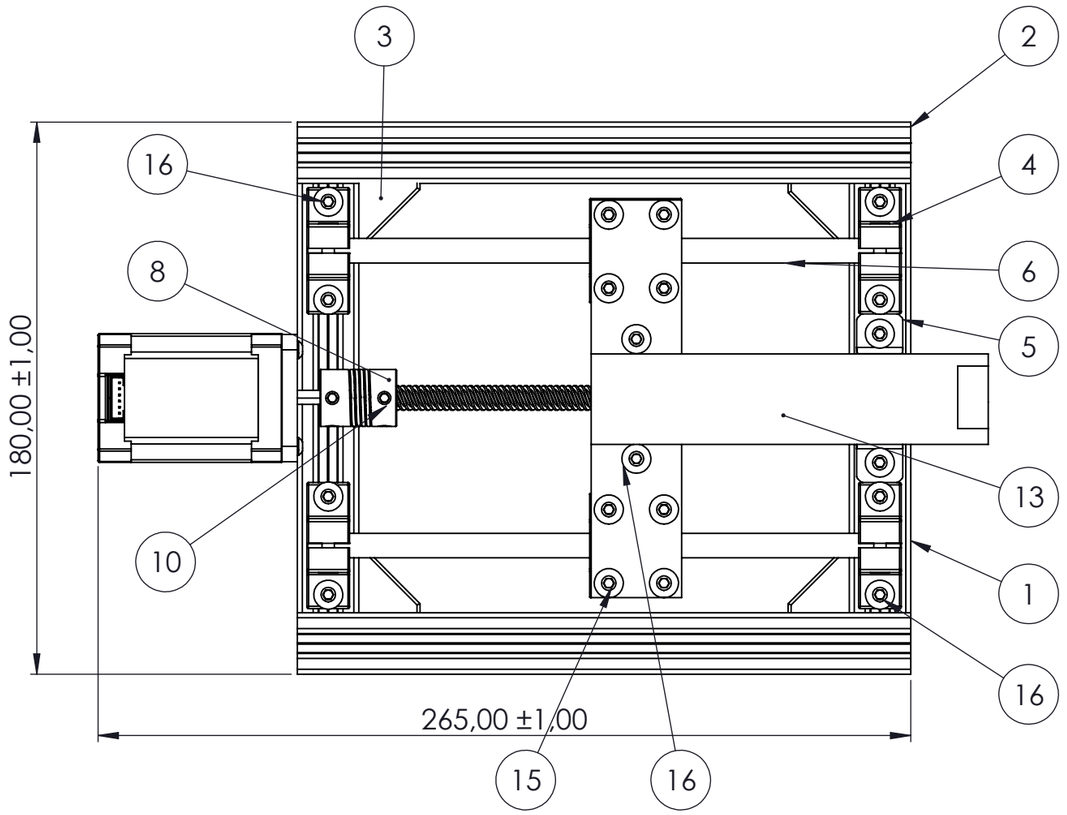
Denominación: Placa base

Escala: 1:1

Número del dibujo: 16

(Sustitución)





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Aluminio estructural 20x 20x140		2
2	Aluminio estructural 20x20x200		2
3	CTA20-01-PMT - KIT CANTONEIRA EM ALUMÍNIO 20x20x17mm		4
4	Soporte SK8UU para eje liso 8mm		4
5	Chumacera_8mm_ D_Interno		1
6	Soporte liso 8mm		2
7	Rodamiento Lineal eje 8mm Chumacera SC8UU		2
8	AcopleFlexible	AcopleFlexible	1
9	NEMA 17 Stepper Motor 60mm-NEMA 17 Stepper Motor 60mm		1
10	8mm Eje roscado		1
11	Soporte central		1
12	Sopote servomotor		1
13	Placa base final		1
14	B18.3.1M - 4 x 0.7 x 12 Hex SHCS -- 12CHX		4
15	B18.3.4M - 5 x 0.8 x 20 SBHCS --N		8
16	B18.3.4M - 5 x 0.8 x 10 SBHCS --N		12
17	B18.3.4M - 3 x 0.5 x 6 SBHCS --N		1
18	B18.3.4M - 3 x 0.5 x 8 SBHCS --N		1
19	B18.3.4M - 3 x 0.5 x 12 SBHCS --N		4

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: ± 0.5

(Peso): 0.98 Kg

Materiales: Varios

	Fecha	Nombre
Dibujó:	23/06/25	López D.
Revisó:	23/06/25	Ing. Peña F.
Aprobó:	23/06/25	Ing. Peña F.

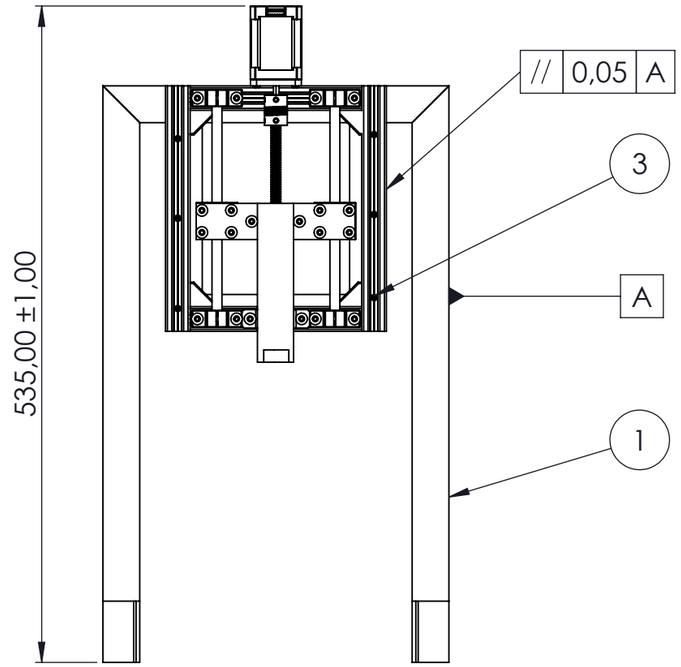
UTA
Ingeniería Mecánica

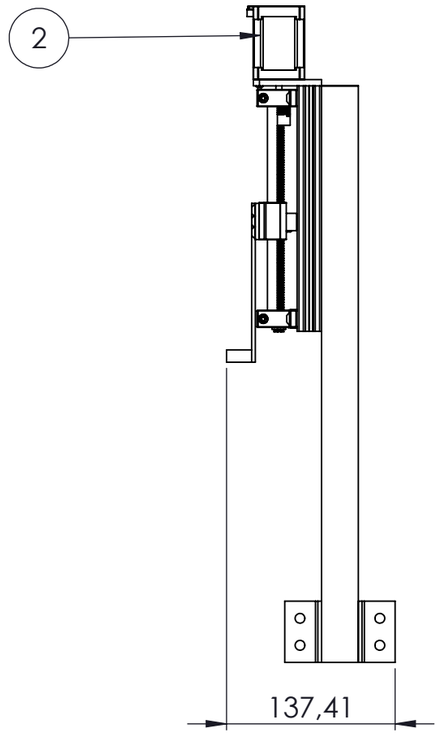
Denominación: Eje Z

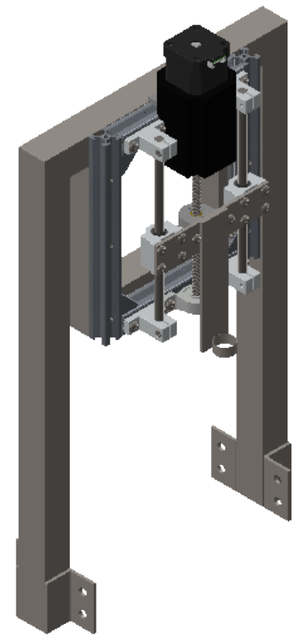
Escala: 1:1

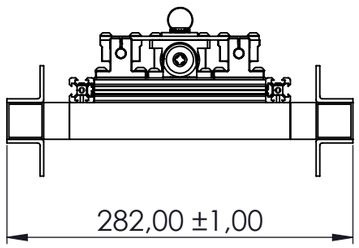
Número del dibujo: 17

(Sustitución)









N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura Soporte		1
2	Eje z		1
3	PHT 2.5x16x15.1-slot-D-N		6

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: ± 0.5

(Peso): 3.41 Kg

Materiales: Varios

	Fecha	Nombre
Dibujó:	23/06/25	López D.
Revisó:	23/06/25	Ing. Peña F.
Aprobó:	23/06/25	Ing. Peña F.

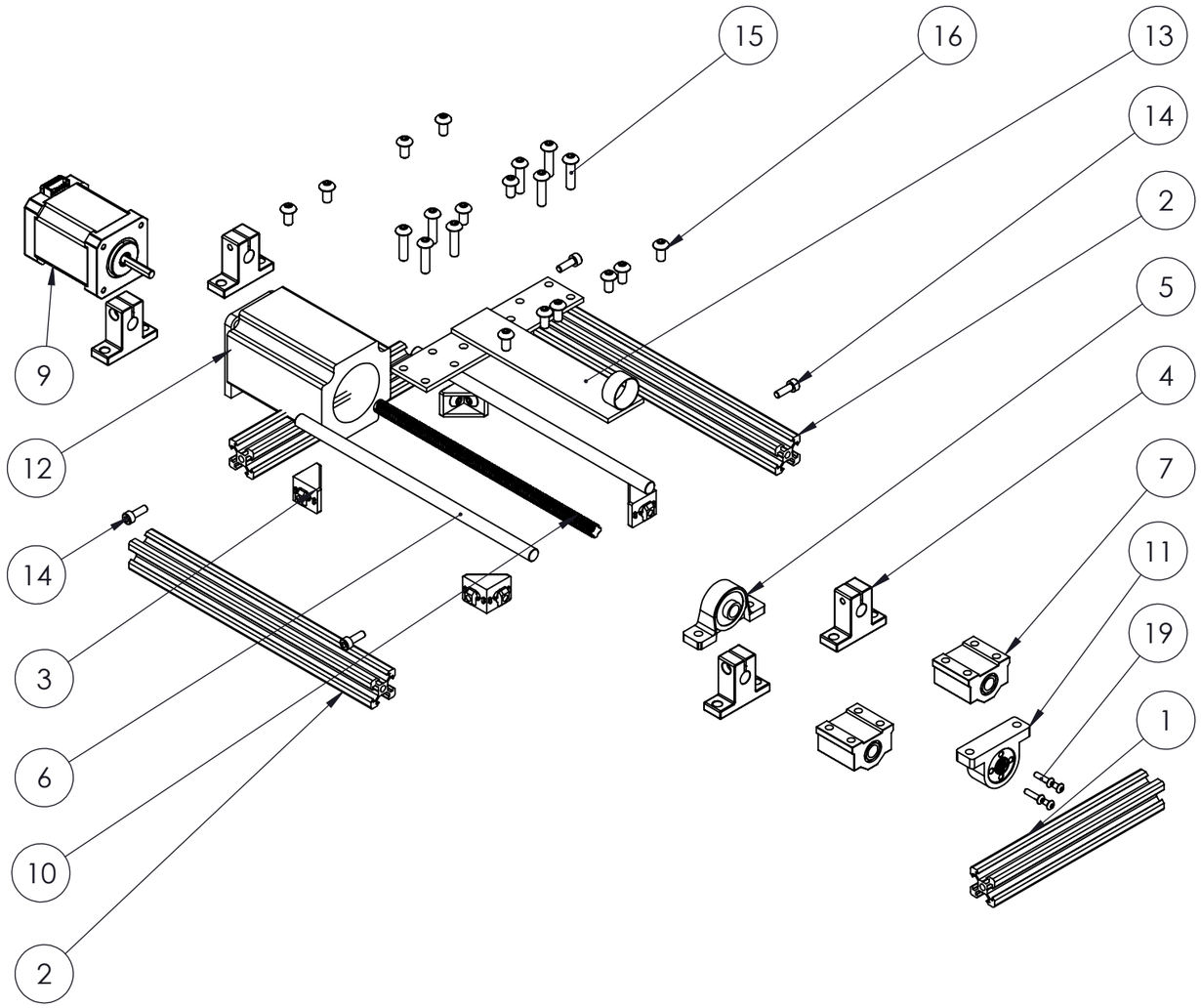
UTA
Ingeniería Mecánica

Denominación: Eje completo

Escala: 1:5

Número del dibujo: 18

(Sustitución)



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Aluminio estructural 20x 20x140		2
2	Aluminio estructural 20x20x200		2
3	CTA20-01-PMT - KIT CANTONEIRA EM ALUMÍNIO 20x20x17mm		4
4	Soporte SK8UU para eje liso 8mm		4
5	Chumacera_8mm_ D_Interno		1
6	Soporte liso 8mm		2
7	Rodamiento Lineal eje 8mm Chumacera SC8UU		2
8	AcopleFlexible		1
9	NEMA 17 Stepper Motor 60mm-NEMA 17 Stepper Motor 60mm		1
10	8mm Eje roscado		1
11	Soporte central		1
12	Sopote servomotor		1
13	Placa base final		1
14	B18.3.1M - 4 x 0.7 x 12 Hex SHCS -- 12CHX		4
15	B18.3.4M - 5 x 0.8 x 20 SBHCS --N		8
16	B18.3.4M - 5 x 0.8 x 10 SBHCS --N		12
17	B18.3.4M - 3 x 0.5 x 6 SBHCS --N		1
18	B18.3.4M - 3 x 0.5 x 8 SBHCS --N		1
19	B18.3.4M - 3 x 0.5 x 12 SBHCS --N		4

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: ± 0.5

(Peso): 3.41 Kg

Materiales: Varios

	Fecha	Nombre
Dibujó:	23/06/25	López D.
Revisó:	23/06/25	Ing. Peña F.
Aprobó:	23/06/25	Ing. Peña F.

UTA
Ingeniería Mecánica

Denominación: Eje completo

Escala: 1:2

Número del dibujo: 19

(Sustitución)