



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

TEMA:

“Diseño y construcción de un prototipo de máquina de corte de plasma cnc para placas de hierro de 6 mm de espesor para la empresa POWERSTEM CIA LTDA”

Trabajo de titulación, modalidad proyecto técnico, presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato.

AUTOR: Cristian Samuel Quishpe Toapanta

TUTOR: Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero Mg.

AMBATO – ECUADOR

2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DE CORTE DE PLASMA CNC PARA PLACAS DE HIERRO DE 6 mm DE ESPESOR PARA LA EMPRESA POWERSTEM CIA LTDA”**, elaborado por el Sr. Cristian Samuel Quishpe Toapanta, portador de la cédula de ciudadanía: C.C. 1850461367 estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente 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. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Samuel Quishpe Toapanta, con C.C. 1850461367, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DE CORTE DE PLASMA CNC PARA PLACAS DE HIERRO DE 6 mm DE ESPESOR PARA LA EMPRESA POWERSTEM CIA LTDA”**, así como también las ideas de diseño, figuras, tablas, discusión de los resultados, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del trabajo técnico, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Junio de 2025



Cristian Samuel Quishpe Toapanta

C.C. 1850461367

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos 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 procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando nuestros derechos de autor.

Ambato, Junio de 2025



Cristian Samuel Quishpe Toapanta

C.C. 1850461367

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Cristian Samuel Quishpe Toapanta de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DE CORTE DE PLASMA CNC PARA PLACAS DE HIERRO DE 6 mm DE ESPESOR PARA LA EMPRESA POWERSTEM CIA LTDA”**.

Ambato, Junio de 2025



Ing. Christian Byron Castro, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Gonzalo Eduardo Lopez, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación a Dios quien siempre me ha dado fuerzas para seguir a delante, a mi madre Susana y a mi padre Pablo que siempre han estado apoyándome y motivándome, a mi hermana Jackeline, a mi hermano Javier que los aprecio mucho, a mi sobrina Nadia que es uno de los motivos para no rendirme, a toda mi familia que siempre estuvo motivándome y a mis amigos con quienes pase buenos y malos momentos durante todo este tiempo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme las fuerzas necesarias para llegar a este punto de mi vida, me ayudado a superar problemas y obstáculos que se han ido presentando a lo largo todo este tiempo.

A mis padres, que son la parte más importante de mi vida, ellos siempre han estado aquí para mí, en los mejores y peores momentos nunca dejaron de apoyarme. Agradezco sus consejos que siempre los llevaré conmigo y han hecho de mí una mejor persona, los admiro porque a pesar los problemas y dificultades que han tenido supieron sacarnos adelante junto con mis hermanos.

A mis hermanos, que siempre estuvieron conmigo y que me han apoyado y motivado a seguir adelante, a mi hermana que a pesar de la distancia me apoya incondicionalmente y siempre está ahí apoyando a la familia (te extraño mucho), a mi hermano que lo admiro mucho por su forma de ser e incluso me hubiera gustado ser como él. A ambos les deseo lo mejor.

A mis tíos, quienes también supieron apoyarme a seguir adelante y superarme, sus consejos siempre están presentes ya que me han ayudado a tomar decisiones a lo largo de toda mi vida, los aprecio y los considero como mis padres.

A mis amigos, todas aquellas personas que fueron importantes y parte de este proceso, desde los que conozco en el colegio hasta los que conocí en la universidad, a los que siguen presentes y a los que ya no están, un agradecimiento especial, gracias por estar presentes todo este tiempo, juntos pasamos todo lo que se nos presentaba mientras entrabamos en clases y sabemos que no ha sido fácil llegar hasta aquí.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

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 DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I.	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Tema del trabajo técnico	1
1.2. Antecedentes Investigativos.....	1
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II.	6
METODOLOGÍA	6
2.1. Materiales.....	6
2.2. Máquinas y equipos	11
2.3. Instrumentos de medición.....	12
2.4. Métodos.....	13
CAPÍTULO III.....	17

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
3.1. Diseño de la cortadora de plasma	17
3.2. Control	37
3.3. Partes y funcionamiento del prototipo	38
3.4. Pruebas	40
3.5. Resultados obtenidos	51
3.6. Costos.....	53
CAPÍTULO IV.....	59
4.1. CONCLUSIONES	59
4.2. RECOMENDACIONES.....	61
MATERIALES DE REFERENCIA.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS.....	64
A – MATERIALES.....	64
B – PARÁMETROS DE CORTE	70
C – PLACA CONTROLADORA.....	71
D – PROPIEDADES	72
E – FICHA TÉCNICA.....	75
F – CIRCUITO INTEGRADO TB6560AHQ	77
G – DEFECTOLOGÍA EN EL CORTE POR ARCO DE PLASMA	78
H – FICHA TÉCNICA DEL PROTOTIPO	79
I – MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Diagrama de Flujo.....	15
Figura. 2. Diagrama de diseño del prototipo.	16
Figura. 3. Diagrama de construcción del prototipo	16
Figura. 4. Consumibles del plasma.....	17
Figura. 5. Electrodo.	23
Figura. 6. Diseño del eje Z.....	24
Figura. 7. Diagrama de cargas (W).....	25
Figura. 8. Diagrama de fuerzas cortantes (V).....	26
Figura. 9. Diagrama de momentos (M).....	26
Figura. 10. Sección circular maciza (flexión máxima).....	27
Figura. 11. Sección circular maciza (esfuerzo cortante).	27
Figura. 12. Bloque EGH15CA.....	28
Figura. 13. Riel EGR15	28
Figura. 14. Kit de husillo de bolas SFU.....	29
Figura. 15. Diseño de la mesa de trabajo.	30
Figura. 16. Dimensionamiento del área de trabajo.	30
Figura. 17. Diseño y simulación de fuerzas aplicadas.....	31
Figura. 18. Análisis estructural de deformación.	32
Figura. 19. Análisis de soldadura.....	32
Figura. 20. Soldaduras horizontales y verticales.	33
Figura. 21. Cordón de soldadura (Verticales).	33
Figura. 22. Cordón de soldadura (horizontales).	34
Figura. 23. Unión en T.....	35
Figura. 24. Placa controladora CNCUSB.	37
Figura. 25. Mesa de trabajo.	38
Figura. 26. Eje X.....	38

Figura. 27. Eje Z.	39
Figura. 28. Prototipo de máquina de corte de plasma CNC.	39
Figura. 29. Probeta para pruebas de corte.....	40
Figura. 30. Rango de presión de trabajo (58 – 72,5) Psi.....	40
Figura. 31. Defectología en cortes realizados con arco de plasma.	46
Figura. 32. Resultado de corte.	47
Figura. 33. Entrada de corte.....	51
Figura. 34. Defectología de inicio de corte.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de materiales para el prototipo.	6
Tabla 2. Máquinas y equipos usados para la construcción.....	11
Tabla 3. Instrumentos de medición empleados	12
Tabla 4. Altura y presión de trabajo de la antorcha.....	41
Tabla 5. Resultados de la primera prueba de corte de figuras.....	45
Tabla 6. Resultado de la segunda prueba de corte de figuras.....	47
Tabla 7. Resultado de la tercera prueba de corte de figuras.....	48
Tabla 8. Resultado de la cuarta prueba de corte de figuras.....	50
Tabla 9. Resultados de figuras.	52
Tabla 10. Lista de materiales utilizados para la construcción de la mesa de trabajo.	53
Tabla 11. Lista de materiales utilizados para la construcción del eje X.....	53
Tabla 12. Lista de materiales utilizados para la construcción del eje Y.	54
Tabla 13. Lista de materiales utilizados para la construcción del eje Z.....	54
Tabla 14. Listado de materiales para la construcción de la parte eléctrica.	54
Tabla 15. Cortadora de plasma.....	55
Tabla 16. Mano de obra directa e indirecta.	55
Tabla 17. Costo total	56
Tabla 18. Limpieza de componentes	56
Tabla 19. Frecuencia de mantenimiento.....	57

RESUMEN EJECUTIVO

La empresa POWERSTEM CIA LTDA., dedicada a la reparación y mantenimiento de maquinaria pesada realizaba cortes con métodos tradicionales como es el oxicorte o en el caso de necesitar piezas pequeñas con una amoladora con un disco de corte, estos procesos representaban pérdidas en los tiempos producción, y no garantizaban una buena calidad de cortes e incluso el excesivo uso de calor podía llegar a deformar las piezas que se realizaban, por eso en el presente proyecto se diseña y construye un prototipo de máquina de corte de plasma CNC para placas de hierro de 6 mm de espesor. Este prototipo permitió mantener e incluso aumentar los tiempos de producción, además de poder realizar más tipos de figuras o piezas que sean requeridas con más precisión, para ello se consideró las necesidades de la empresa, la cual no solo busca mejorar sus procesos, si no también posicionarse como una empresa más competitiva en el área.

Para desarrollar este proyecto se empezó con la búsqueda de información de prototipos que se hayan realizado, esto permitió generar una idea del diseño y los materiales que son necesarios para la construcción, además se realizó un análisis de las alturas de corte a diferentes presiones y con variación de la velocidad, lo que permitió establecer ciertos parámetros con los que se realizan pruebas de corte y se determina con cuales se obtiene un mejor resultado. Para finalmente realizar pruebas de corte de figuras y determinar cuál es el porcentaje de error que tiene la pieza de diseño con respecto a la pieza obtenida del corte y con esto también se comprueba el correcto funcionamiento del movimiento de los ejes.

PALABRAS CLAVES: DISEÑO, CONSTRCCIÓN, PLASMA, CNC, CORTES.

ABSTRACT

The company POWERSTEM CIA LTDA. dedicated to the repair and maintenance of heavy machinery made cuts with traditional methods such as oxy-fuel cutting or in the case of needing small parts with a grinder with a cutting disc, these processes represented losses in production times, and did not guarantee a good quality of cuts and even the excessive use of heat could deform the pieces that were made, so in this project a prototype of CNC plasma cutting machine for iron plates of 6 mm thick is designed and built. This prototype allowed to maintain and even increase production times, in addition to being able to make more types of figures or parts that are required with more precision, for this we considered the needs of the company, which not only seeks to improve its processes, but also to position itself as a more competitive company in the area.

To develop this project we started with the search of information of prototypes that have been made, this allowed us to generate an idea of the design and the materials that are necessary for the construction, in addition an analysis of the cutting heights at different pressures and with variation of the speed was made, which allowed to establish certain parameters with which cutting tests are made and it is determined with which ones a better result is obtained. To finally perform cutting tests of figures and determine what is the percentage of error that has the design piece with respect to the piece obtained from the cut and with this also checks the correct operation of the movement of the axes.

KEYWORDS: DESIGN, CONSTRUCTION, PLASMA, CNC, CUTS.

CAPÍTULO I.

MARCO TEÓRICO

1.1. Tema del trabajo técnico

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DE CORTE DE PLASMA CNC PARA PLACAS DE HIERRO DE 6 mm DE ESPESOR PARA LA EMPRESA POWERSTEM CIA LTDA.

1.2. Antecedentes Investigativos

Para la realización de este proyecto técnico se ha buscado diferentes trabajos e investigaciones realizadas con temas que estén relacionados con lo planteado y de los cuales se espera obtener información que permita complementar y sustentar técnicas y metodologías al mismo.

Según [1], realizaron un prototipo de cortadora plasma. Establecieron lo necesario para realizar una CNC y seleccionaron los componentes para los diferentes sistemas con los que está compuesta la máquina. En las pruebas de funcionamiento se evaluaron costos, eficiencia, rapidez y precisión, en comparación de realizarlo de forma manual. Una de las partes a considerar de este estudio es la selección de algunos componentes, la máquina es eficiente al trabajar con motores a pasos lo que disminuye significativamente los costos, además de mantenerse los tiempos de producción con una precisión aceptable en piezas no tan complejas.

Los autores [2], determinaron los parámetros de corte en planchas metálicas definiendo cuáles son las dimensiones para una cortadora CNC, diseñar los componentes, etc., como resultados describen varias características que fueron desarrolladas, como son: mecánicas, dinámicas, estructurales, de corte, de seguridad, etc., concluyen que lo principal es la seguridad del usuario, además de realizar piezas con gran precisión en talleres metalmecánicos, determinaron las dimensiones de las planchas metálicas a cortar según las dimensiones estándar, además de realizar ciertos diseños y cálculos para los componentes de la máquina. La parte importante es que la boquilla que utilizan es la recomendada por el fabricante y es capaz de cortar espesores que van desde los

0.5 mm hasta los 12.7 mm, además de incluir tablas donde se muestran ciertos parámetros a considerar en el corte para los consumibles que se usaron.

Según [3], automatizaron una cortadora de plasma tomando en cuenta los espesores de los materiales metálicos entre 1 y 50 mm. Lo que busca es diseñar el sistema mecánico, la mesa de trabajo, subsistemas de seguridad. Concluyeron que el espesor a cortar está limitado por la potencia de la máquina. Recomiendan realizar el diseño del sistema mecánico y de la mesa de trabajo que permita colocar todas las piezas además de resistir el peso de estas.

Según [4], en este artículo se presenta teóricamente el corte por plasma y los diferentes tipos de arco de plasma conocidos, además de información relevante como es: el arco eléctrico, suministro de energía y dispositivos de seguridad. Concluye que el plasma se desarrolla mediante un arco eléctrico el cual eleva la temperatura del gas y lo transforma en plasma, se dan tres procesos electrofísicos en el arco eléctrico que son ionización, emisión electrónica y recombinación. Este artículo cuenta con información teórica con la cual se puede detallar ciertos aspectos del funcionamiento del plasma.

El autor [5], realizó el diseño de la estructura usando un software CAD con lo que establece las características y materiales que se van a utilizar, seleccionan componentes electrónicos y eléctricos que se van a utilizar y se construye la máquina con respecto al diseño y los materiales seleccionados. Concluyendo que se estudiaron los requisitos del “Quality Function Deployment” o (QFD) donde está el diseño de una cortadora de plasma CNC, el diseño realizado muestra como sería el producto final y en caso de existir algún fallo este podría ser modificado fácilmente. Y finalmente realizaron pruebas de corte en planchas metálicas de 3 mm de espesor. En esta tesis recomienda el uso de software para el diseño, además de utilizar métodos como el QFD para establecer la calidad del producto.

Según [6], sigue una metodología estructural lo cual le permite abarcar programación, normas de máquinas, automatización, CAD/CAM y un proceso de comunicación gráfica. El objetivo es automatizar el eje Z de una cortadora de plasma CNC, realizar el diseño para este mecanismo, definir el controlador

que reguló la altura de la antorcha y realizar una comparación en el corte de los materiales con la automatización de este eje y sin la automatización. Como resultado el índice de riesgo fue eliminado, ya que se evita el contacto directo entre el operador y la máquina, de esta manera el “Torch height controller” o (THC) es el encargado de controlar el nivel de altura con respecto al material que se va a mecanizar y mantenerlo paralelo a una distancia constante. Este estudio aporta con información sobre el diseño y automatización de coordenadas del eje Z y es relevante para la realización de este proyecto.

Según [7], para mejorar la calidad de corte en los metales realiza un estudio con relación al análisis y alcance de resultados, por lo que es un estudio descriptivo – explicativo y tiene parte de una investigación experimental. Para esto realiza el corte de metales con plasma de forma manual y otro con pantógrafo CNC, esto con fin de identificar la calidad del corte. Como resultados realizaron una comparativa de ambos métodos uno para determinar la precisión de corte y otro para el acabado superficial. Concluyen que el uso del control numérico computarizado (CNC) en el corte con plasma influye aumentando la calidad y precisión de corte en metales, tal es la calidad que las piezas realizadas no requieren de otros procesos de acabado superficial. La información que obtiene mediante la comparación de un proceso manual y uno automatizado muestra la importancia que tiene una de esas máquinas para el desarrollo de este proyecto.

El autor [8], utilizó el método deductivo dividido en tres partes, las cuales son: mecánica, electrónica y software donde desarrolla cada una con el fin de obtener la automatización de una cortadora de plasma CNC para obtener una mayor exactitud y precisión en las tareas realizadas, reduciendo los costos de producción y el tiempo que tarda en realizarse, sin necesidad que el operario deba tener un alto conocimiento para la manipulación, además de mantener su seguridad en todo momento. En los resultados se comprueban los ejes X-Y, las trayectorias circulares, además de una comparación de un corte manual y uno hecho por la máquina también tomaron en cuenta el tiempo en el que fue realizado, por lo tanto, concluyen que el diseño, construcción y automatización que realizaron cumple con ciertos parámetros que fueron solicitados, además de obtener mejoras de precisión y rapidez de corte.

Según [9], se presenta algunos conceptos primarios, complementarios y teóricos para el diseño y construcción de corte por plasma CNC, las pruebas que realizaron principalmente fueron de movilidad sin la utilización del plasma, para calibrar y corregir el sistema. Como conclusiones resaltan el uso del control numérico para facilitar los procesos de corte de placas de metal de hasta $\frac{1}{4}$ in de espesor, la implementación del sistema cartesiano que ayuda en el movimiento para mayor precisión y el software utilizado permite una interacción amigable con el usuario. El diseño y los cálculos de los diferentes esfuerzos sirven como referencia y guía de lo que se realizó.

Según [10], se realizaron ensayos en probetas de acero ASTM A36 y AISI 304, con el fin de determinar los parámetros de corte de un plasma CNC de acuerdo con la norma AWS C4.6M:2006. En los resultados se incluyen varias tablas donde colocan los valores obtenidos, ya que fueron realizados a diferentes espesores, velocidades de avance, etc., esperando obtener tolerancias de rugosidad en las diferentes probetas. Concluyen que según la normativa los materiales seleccionados cumplen con las propiedades químicas para el corte por plasma, además de definir varios parámetros y condiciones necesarias para el estudio. La investigación cuenta con muchas pruebas para determinar los parámetros tales como amperaje, velocidad de corte y espesor, que están relacionados para la obtención de un buen proceso por lo hay que tomar en cuenta algunas de las condiciones que se emplean.

Según [11], diseño y construyo una CNC cortadora por plasma, además de documentar e investigar el funcionamiento y las características del corte por plasma, diseñar la estructura y el sistema mecánico de la máquina garantizando la seguridad del operario. En los resultados realizan pruebas de corte en circunferencias de 20 – 150 mm de diámetros, y determinan sus tolerancias y desviación estándar. Concluyen es necesario usar herramientas que ayuden en el diseño y la construcción, también los cálculos matemáticos que junto al diseño permitieron determinar cuál es el de trabajo. La información por destacar es que está realizando para planchas de acero de hasta 10 mm de espesor, además de utilizar motores de paso para el movimiento de los ejes y utiliza una transmisión de piñón – cremallera.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de máquina de corte de plasma cnc para placas de hierro de 6 mm de espesor para la empresa POWERSTEM CIA LTDA.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros necesarios para el corte de plasma utilizando oxígeno como gas de corte.
- Diseñar las partes que conforman la máquina cortadora de plasma a fin de reconocer su funcionamiento mecánico.
- Realizar pruebas de la máquina para verificar su correcto funcionamiento.

CAPÍTULO II.

METODOLOGÍA

Este proyecto se enfoca en el diseño de un prototipo de cortadora de plasma CNC, donde se explicarán los diferentes pasos para su construcción, que tipo de control va a usar, además de describir los parámetros de corte con los que va a trabajar la máquina. Con el objetivo de realizar cortes limpios para mejorar y mantener la productividad de la empresa.

La metodología utilizada es cuantitativa, mediante el uso de métodos matemáticos comprobar el caudal con su mínima y máxima presión de trabajo, el torque necesario de los motores a paso, el cálculo de flexión en el diseño de los ejes, entre otros cálculos que son necesarios para realizar este proyecto. Para finalmente realizar pruebas de funcionamiento con los parámetros establecidos y con los requisitos de la empresa, la cual busca realizar cortes con diseños más variados.

2.1. Materiales

En la Tabla 1, se muestra el listado de materiales que se usaron para la construcción del prototipo.

Tabla 1. Lista de materiales para el prototipo.

Nº / Producto	Imagen	Descripción
1. Motor a pasos		Motor paso a paso nema 23 de 3.0 A, convierte los pulsos eléctricos en movimiento mecánico, garantizan precisión en sus movimientos y sus pasos estándar son de 1.8°.

Tabla 1. Lista de materiales para el prototipo (Continuación).

N° / Producto	Imagen	Descripción
2. Pulsador de parada de emergencia		Es un dispositivo de seguridad el cual cumple la función de parar o detener el funcionamiento de una equipo, máquina o sistema de forma segura en caso de un mal funcionamiento, situaciones peligrosas o de emergencia.
3. Pulsador doble		Estos pulsadores sirven para abrir o cerrar un circuito eléctrico.
4. Ventilador enfriador		Este dispositivo es el encargado de disipar el calor que generan los componentes electrónicos durante el funcionamiento.
5. Foco piloto		Este dispositivo muestra el estado de funcionamiento en el que se encuentra un equipo o proceso, usado principalmente en aplicaciones industriales.

Tabla 1. Lista de materiales para el prototipo (Continuación).

Nº / Producto	Imagen	Descripción
6. Interruptor diferencial		Es un dispositivo de seguridad eléctrica, encargado de detectar y cortar la energía cuando existe una fuga de corriente protegiendo los equipos y al operador.
7. Contactor auxiliar		Este dispositivo permite o interrumpe el paso de corriente a los elementos de señalización o bobinas de los contactores.
8. Bornera		Este elemento permite realizar conexiones eléctricas de forma segura y sencilla, ya que es un punto de reunión para cables.
9. Transformador		Este objeto es el encargado de convertir la energía eléctrica de corriente alterna de un nivel de voltaje a otro diferente en este caso de 110 a 12 V, sin alterar la potencia o la frecuencia.
10. Filtro manómetro regulador		Este dispositivo mantiene una presión de salida constante, además de filtrar y eliminar impurezas como aceite, agua, polvo, etc.

Tabla 1. Lista de materiales para el prototipo (Continuación).

N° / Producto	Imagen	Descripción
11. Tubo estructural cuadrado negro		Tubo estructural cuadrado, utilizado para la construcción de estructuras, su forma facilita la unión entre elementos estructurales.
12. Tubo estructural rectangular negro		Tubo estructural rectangular, se usa en la construcción de estructuras.
13. Platinas		Platinas, utilizada en aplicaciones de construcción como elementos de refuerzo, conexiones y soporte, etc.
14. Kit de husillo de bolas		Convierte el movimiento rotatorio en lineal, utiliza rodamiento de bolas que minimizan la fricción. Se usa en equipos que requieren un movimiento y control preciso.
15. Riel		Este elemento sirve como guía de movimiento, proporcionando un movimiento suave y preciso en máquinas automatizadas como CNC.

Tabla 1. Lista de materiales para el prototipo (Continuación).

Nº / Producto	Imagen	Descripción
16. Rodamiento		Este elemento trabaja junto con un riel sobre el cual se mueve de forma lineal garantizando movimientos suaves y precisos.
17. Riel		Este riel proporciona un movimiento lineal suave y preciso, es utilizado en varias aplicaciones de máquinas CNC.
18. Bloque lineal		Este componente junto con el riel es el encargado de soportar el movimiento de las piezas garantizando precisión en sus movimientos.
19. Tanque de oxígeno industrial		Este tanque es el encargado de almacenar oxígeno a presión el cual se usa en diversas aplicaciones industriales.

Los materiales que se mencionan en la tabla 1, son utilizados para realizar la construcción del prototipo y que este funcione correctamente, evitando cualquier tipo de corto circuito en el cableado o en el operador. Los tubos de acero cuadrados y las platinas son utilizados para la construcción de la mesa de trabajo.

2.2. Máquinas y equipos

En la Tabla 2, se detalla sobre las máquinas y equipos que fueron necesarios para realizar la construcción de este prototipo.

Tabla 2. Máquinas y equipos usados para la construcción.

Nº / Producto	Imagen	Descripción
1. Soldadora		Esta máquina es la encargada de unir dos o más elementos metálicos, mediante el uso de calor y aporte de material que se da por un electrodo.
2. Taladro magnético		Esta herramienta con ayuda de un imán se adhiere a una superficie ferromagnética, garantizando que las perforaciones sean precisas y seguras.
3. Amoladora		Esta herramienta trabaja con diferentes discos los cuales le permiten realizar cortes, pulir, lijar, etc., en diferentes materiales.
4. Guillotina para metal		Esta herramienta corta perfiles metálicos en diferentes ángulos, de manera rápida y precisa.

Tabla 2. Máquinas y equipos usados para la construcción (Continuación).

Nº / Producto	Imagen	Descripción
5. Esmeril		También conocido como esmeril de banco sirve para pulir, desbastar y afilar materiales como metal, plástico o madera.

2.3. Instrumentos de medición

En la Tabla 3., se indican los instrumentos de medición que se utilizaron durante la construcción de este prototipo.

Tabla 3. Instrumentos de medición empleados

Nº / Producto	Imagen	Descripción
1. Calibrador		Este es un instrumento de medición de alta precisión que permite medir longitudes, diámetros internos y externos, espesores y profundidades.
2. Flexómetro		Es un instrumento de medición mediante una cinta flexible, la cual permite medir en centímetros y metros ya sea longitudes, ancho y alturas de objetos.
3. Multímetro		Esta es una herramienta eléctrica portátil, la cual mide ciertos parámetros eléctricos como son: Corriente, resistencia y voltaje.

Tabla 3. Instrumentos de medición empleados (Continuación).

Nº / Producto	Imagen	Descripción
4. Escuadra		Esta herramienta sirve para comprobar y señalar ángulos rectos que deben tener 90°, es comúnmente usado en las construcciones, carpintería y dibujo técnico.

2.4. Métodos

En esta parte se menciona la metodología que se realizó para el desarrollo de este proyecto técnico basado en el diseño y la construcción de un prototipo de máquina de corte de plasma cnc para placas de hierro de 6 mm de espesor para la empresa POWERSTEM CIA LTDA. El uso de varios métodos como el cuantitativo, experimental, bibliográfico y de campo, aseguraron que el prototipo cumpla con las necesidades de empresa, con la realización de piezas más complejas y manteniendo la productividad.

- Cuantitativo

Mediante la obtención de datos numéricos se pudo determinar ciertos parámetros de trabajo que son necesarios para el diseño y la operación del prototipo. Y es parte fundamental para determinar su correcto funcionamiento, ya que mediante pruebas se determina si los cortes que está realizando son de las medidas que se requieren y se esperan por parte de la empresa que patrocina el proyecto.

- Bibliográfica

La recolección de información de artículos, tesis, maestrías, etc., permite recopilar información sobre el tema que se va a desarrollar, por lo que es necesario el uso de fuentes, además de realizar un estudio del contenido que proporcionan para identificar las partes que pueden ser útiles o relevantes para el trabajo a desarrollar.

- **Experimental**

Con este método se podrá realizar varias pruebas cambiando y controlando las diferentes variables que se desean analizar o estudiar, con lo que se obtendrá resultados estables que sean confiables, además de determinar cuáles son los parámetros con los que se debería trabajar.

En esta parte se permite experimentar con los parámetros del equipo, utilizando los que ya se han establecido o buscando uno que, de mejores resultados, en este caso se busca a diferentes alturas de la antorcha y a diferentes presiones del oxígeno, cual es el que proporciona un corte más limpio.

- **Campo**

Para esta investigación es necesario realizar diferentes pruebas que se acerquen al trabajo real que debe realizar, una de ellas es la propuesta que se deben cortar placas de 6 mm de espesor, por lo que se realiza realizar pruebas que muestren que cortar ese espesor. Además, que es capaz de realizar figuras como circunferencias, cuadrados, rectángulos, etc., Se observa cómo trabaja el prototipo con el diseño realizado y según vaya realizando más cortes se podrá ver qué aspectos pueden ser mejorados en cuanto al movimiento de sus ejes y sus parámetros de corte.

Etapas del proyecto

- **Etapa 1: Necesidad e investigación**

Se debe identificar la necesidad para el desarrollo de este prototipo, y para conocer más acerca del corte de plasma se va a investigar y establecer sus parámetros de corte, los cuales son necesarios, ya que de ellos dependerá la calidad que se obtiene en las piezas que se quieran realizar.

- **Etapa 2: Diseño de las partes que componen este prototipo**

Se debe diseñar y construir cada una de las partes por las que está compuesto este prototipo como son eje X, eje Y, eje Z y la mesa de trabajo, que son las principales partes por las que está compuesto.

- Etapa 3: Pruebas de funcionamiento

Para verificar su correcto funcionamiento una vez que el prototipo este completo se va a realizar cortes de figuras básicas como son rectángulos, cuadrados, círculos y triángulos, con medidas establecidas para determinar el margen de error que tiene entre el diseño y la pieza real que se corta.

Diagrama de flujo

En la Figura. 1., se presenta el diagrama de flujo para el uso del prototipo.

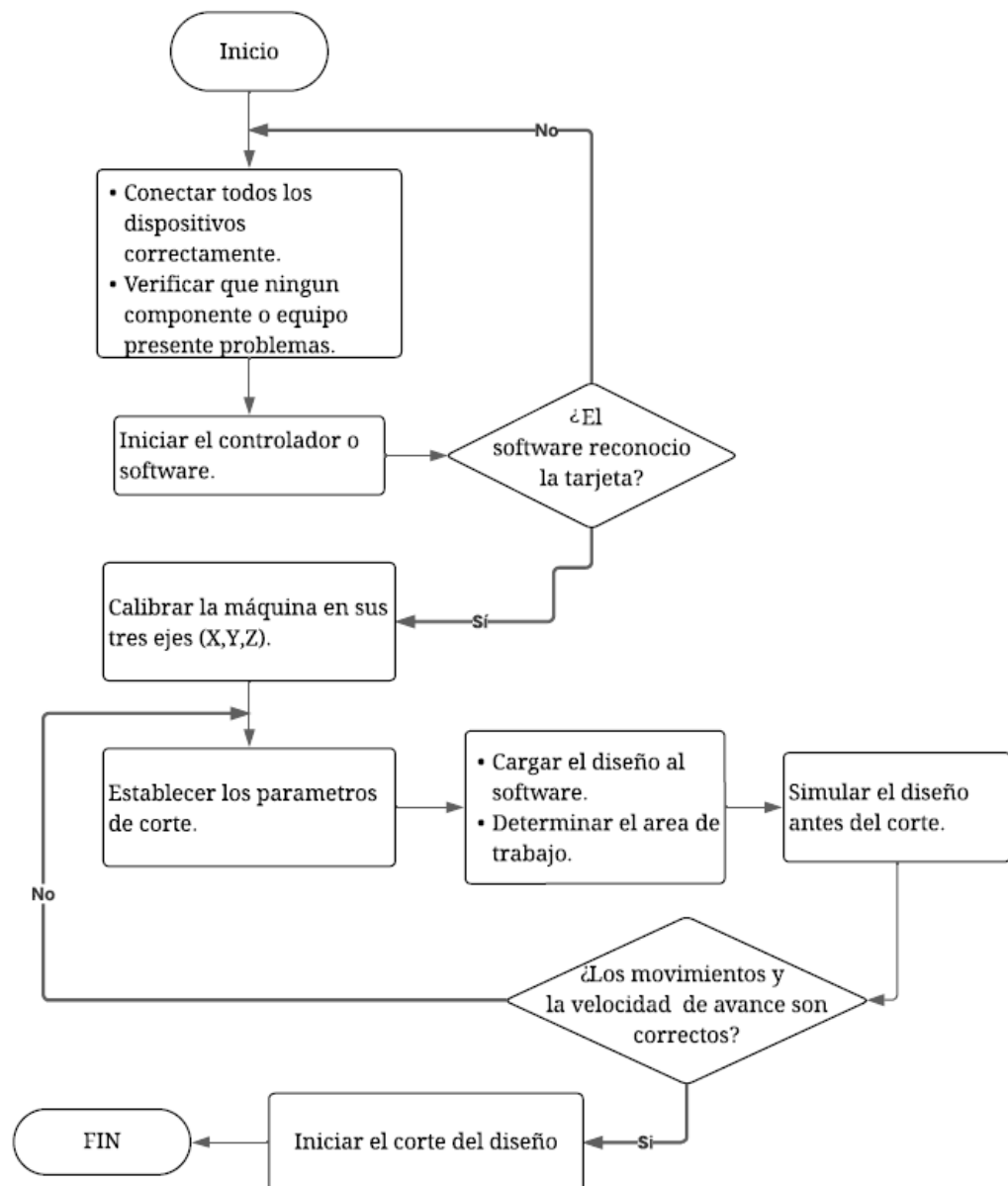


Figura. 1. Diagrama de Flujo.

Diagrama de diseño

Los pasos que fueron necesarios seguir para el diseño del prototipo se muestran en la Figura 2.

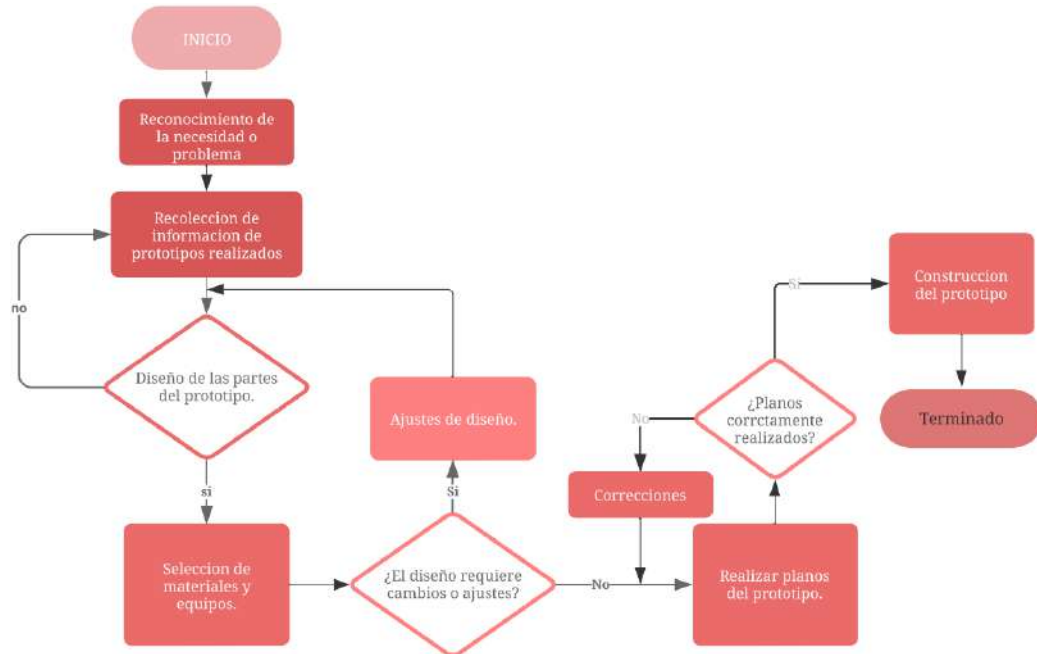


Figura. 2. Diagrama de diseño del prototipo.

Diagrama de construcción

El diagrama para la construcción del prototipo se muestra en Figura 3.

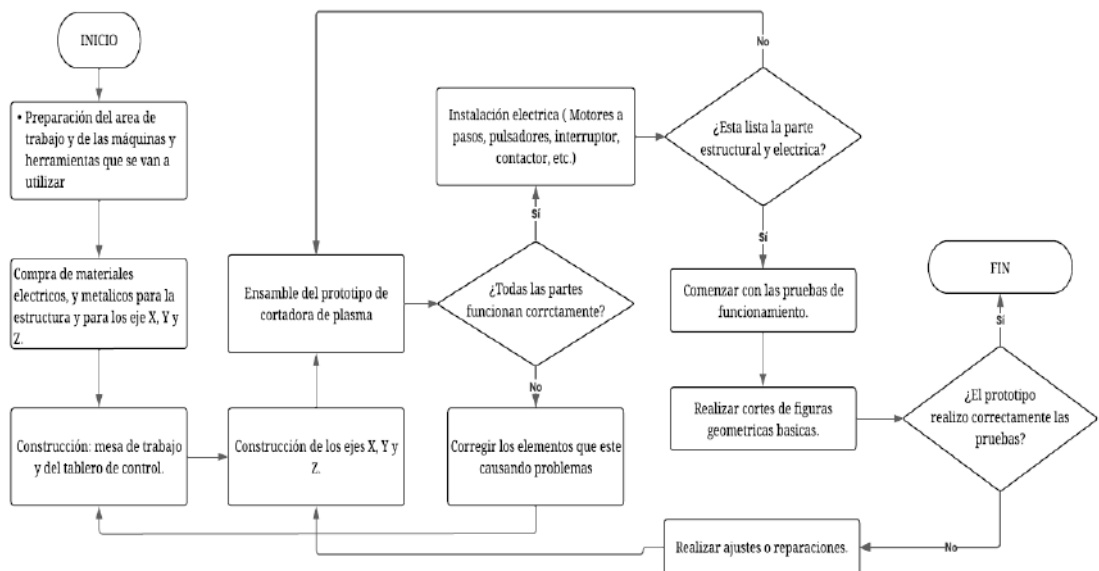


Figura. 3. Diagrama de construcción del prototipo

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño de la cortadora de plasma

Generación del plasma

Un plasma de arco se puede generar a través de la combustión de múltiples gases (Oxígeno, Argón, Hidrogeno, Nitrógeno y Aire), estos gases se calientan por un arco que genera un plasma y con un soplete que cuenta con un arco constreñido forman el arco de plasma.

Para que se constriña el arco es necesario que este pase por un orificio y que bajo un electrodo tenga corriente, cuando se cumplen estas condiciones y el gas de plasma pasa por el arco, este eleva rápidamente la temperatura provocando que se expanda y que aumente su velocidad y sale por el orificio de la boquilla hacia la pieza de trabajo. También se debe tomar en cuenta que la velocidad e intensidad con la que trabaja el plasma va a depender de variables como: la distancia de separación entre la boquilla y el material de trabajo, presión, gas utilizado, corriente eléctrica, flujo constante, tamaño de la boquilla de constricción y diámetro del orificio constrictor que se muestran en la Figura. 4 [12].

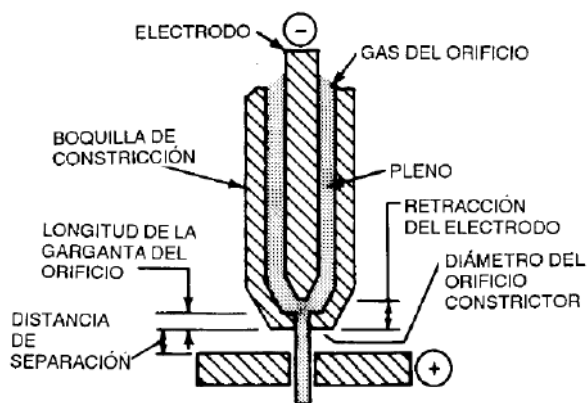


Figura. 4. Consumibles del plasma

- Clasificación de los sopletes PAC

De baja potencia: 30 A o menos

De media potencia: 30 A - 100 A

De alta potencia: 100 A - 1000 A

- **Necesidad de piezas más controladas**

La empresa POWERSTEM CIA. LTDA., se dedica a la reparación y mantenimiento de maquinaria pesada, en la cual se incluye el corte de placas de metal, por lo general en placas de acero ASTM A36 de 6 mm de espesor, las formas son variables y se requiere la facilidad y flexibilidad de generar nuevos diseños, pero principalmente se espera realizar cortes circulares, rectangulares, entre otras figuras geométrías básicas y diseños que puedan ser realizados en el programa con el fin de mantener o aumentar los tiempos de producción y obtener cortes más controlados tanto en sus diseños como en la calidad.

Material y gas que se va a utilizar para cortar

Para determinar el material que se va a cortar hay que considerar que sean metálicos y eléctricamente conductores para que se genere el plasma. Para realizar este tipo de corte se va a ocupar oxígeno (O_2) como gas de corte por las propiedades que tiene.

- **Oxígeno como gas de corte**

El oxígeno cuenta con ciertas propiedades que son similares al nitrógeno como su conductividad y peso atómico, es capaz de formar enlaces con el hierro fácilmente, esto produce el óxido de hierro. Esta reacción produce bastante calor (exotérmico) lo que ayuda y mejora la velocidad de corte. Por lo general el oxígeno se ocupa como gas de corte o como gas protector en aceros con baja o sin aleación [13].

Como menciona [14], el oxígeno es un gas óptimo para el corte por plasma y es usado para cortar acero al carbono con un espesor de hasta 1.25 in (31.75 mm) cuando se requiere un corte de calidad. Hay que considerar que, al usar el oxígeno como gas de corte, la vida útil de los consumibles es menor, además que es más caro que usar aire comprimido, pero no requiere de un gas secundario por que la escoria se expulsa fácilmente y se tiene un buen acabado en la superficie donde no se necesita de limpieza u otro tipo de tratamiento.

Parámetros de corte

Los parámetros de corte son las condiciones con las que debe cortar la máquina o equipo para realizar su trabajo, algunas de ellas son alturas de corte, velocidad de corte, boquillas, etc.

Cálculo de caudal volumétrico

Con los datos que se tienen se espera llegar a un valor aproximado del caudal volumétrico que será necesario para realizar el corte. Para ello se utiliza la ecuación de Bernoulli (1).

$$P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho g h_1 = P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2 \quad (1)$$

Se simplifica la ecuación tomando en cuenta que la velocidad (V_1) y la altura (h_1) son despreciables en la primera etapa al igual que la altura (h_2) ya que se encuentran a un mismo nivel, lo importante de esto son las presiones a las que se encuentran.

$$\cancel{P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho g h_1} = \cancel{P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2}$$
$$P_1 = P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2}$$

- Se despeja la velocidad (V_2).

$$\sqrt{V_2^2} = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$
$$V_2 = \sqrt{\frac{2(\Delta P)}{\rho}}$$

- Se reemplaza en la ecuación de flujo másico en la ecuación y se obtiene.

$$Q = \rho * A * \sqrt{\frac{2(\Delta P)}{\rho}}$$

En la ecuación (2) se incluye el coeficiente de descarga (cd) cuando se controla flujo por válvulas no lineales.

$$Q = cd * A * \sqrt{2\rho_{O_2}(\Delta P)} \quad (2)$$

Como el equipo trabaja en un rango de presión establecido por el fabricante se va a realizar el cálculo a la presión mínima y máxima recomendada. Además, tomando en cuenta la boquilla que se va a utilizar.

Datos

Según [15], el coeficiente de descarga (cd) para boquillas varía entre 0,6 a 0,9. Para el proyecto se asume un valor de 0.8 (Revisar el anexo D3).

La densidad del oxígeno cuando está a presión de una atmosfera (1 atm es igual a 101325 Pascales), y a 25°C es de: $\rho_{O_2} = 1,32 \frac{kg}{m^3}$. (Revisar el Anexo D1).

$\Delta P = \text{Diferencia de presión.}$

$d = 1 \text{ mm, Diámetro de la boquilla [16]}$

$$d = 1 \text{ mm} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}}{2} \right)^2 = 7,85 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

Según [16], la presión mínima y máxima con la que puede trabajar el equipo es de: 58 Psi – 72,5 Psi. (Revisar el Anexo D2).

Presión de trabajo mínima

$$P_{min} = 399895,5 \text{ Pa [58 Psi]}$$

$$\Delta P = P_{min} - P_{atm} = (399895,5 - 101325) \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 298570,5 \text{ Pa (43,30 Psi)}$$

- Se reemplaza los datos a la ecuación (2).

$$Q = 5,57 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

- Se determina el caudal volumétrico con la ecuación (3).

$$Q_v = \frac{Q}{\rho_{O_2}} \quad (3)$$

$$Q_v = 4,22 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

- Se determina la velocidad del flujo con la ecuación (4).

$$Q = V * A \quad (4)$$

$$V = \frac{Q_v}{A}$$

$$V = 538,04 \frac{m}{s}$$

Presión de trabajo máxima

Siguiendo el mismo procedimiento que para la presión mínima se obtiene:

$$P_{max} = 499869,37 \text{ Pa } [72,5 \text{ Psi}]$$

$$\Delta P = P_{max} - P_{atm} = (499869,37 - 101325) \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 398544,37 \text{ Pa } (57,80 \text{ Psi})$$

- Se reemplaza los datos en la ecuación (2).

$$Q = 6,44 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

- Caudal volumétrico

$$Q_v = 4,87 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

- Velocidad del flujo

$$V = 621,66 \frac{m}{s}$$

Alturas de corte

Para determinar las alturas de corte hay que tener en cuenta que también pueden depender del tipo de equipo y soplete que se vaya a usar, además de los

espesores que se desean cortar. Dependiendo del tipo de soplete que se use este requiere una distancia entre la punta y la pieza de trabajo.

En el caso de utilizar una máquina controlada por una computadora se utilizan sopletes mecanizados, en este caso es necesario mantener una altura de corte, esta altura o distancia debe considerar las tolerancias para obtener las mediadas deseadas en la pieza cortada [12].

También se debe considerar que cuando más distancia se tenga, menor será el arco y mayor su expansión realizando cortes más anchos y con bordes que tienden a ser redondos, además de que la escoria se acumule en la parte inferior del corte. Mientras que si la distancia es menor los consumibles se desgastaran rápidamente como la boquilla si está muy cerca formará un arco con la pieza de trabajo, lo que reduce considerablemente su vida útil.

Como menciona [13], el error más común en el PAC es pegar mucho la antorcha a la pieza de trabajo lo provoca un gran daño en los consumibles y componentes internos, por lo que considera que la distancia óptima de corte es de 3.175 mm.

Caudal volumétrico del material

Para determinar el caudal volumétrico no se va a considerar el tamaño de la boquilla, en cambio se toma en cuenta la altura de corte, que para el presente proyecto se asume que es de 3 mm, conociendo esto y el espesor de la placa de 6 mm, reemplazamos los datos en la ecuación (5) para conocer el volumen.

$$V = \pi(r)^2(e) \quad (5)$$

$$V = 4,24 \times 10^{-8} m^3$$

Una vez conocido el volumen y considerando que esta cantidad es la que se desprende por segundo durante el corte, se reemplaza en la ecuación (6) de caudal volumétrico.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (6)$$

$$Q = 4,24 \times 10^{-8} \frac{m^3}{s}$$

○ Electrodo

Para realizar los cortes en placas de 6 mm de espesor se va a utilizar una potencia media que va desde los 30 hasta los 100 Amperios. El electrodo que

se muestra en la Figura. 5., es un consumible para la antorcha de corte de plasma y es el encargado de mantener el arco sin añadir material durante la fusión. El material del que este hecho es importante ya que debe tener un punto de fusión elevado.

Además, este es un electrodo de media potencia el cual según [16], requiere al menos de 25 a 30 A para que se inicie el plasma de forma estable y se mantiene en un rango de trabajo estable entre los 30 y 60 A.



Figura. 5. Electrodo.

Características del electrodo:

- Material: Cobre y Hafnio
- Electrodo para antorcha de corte por plasma.
- Para boquilla de antorcha de IPT-62, PT-60

Velocidades de corte

Es la velocidad a la que la antorcha realizará sus movimientos dentro de la zona de trabajo, esta puede depender de varios factores, principalmente dependiendo del espesor y el material a cortar. La velocidad está directamente relacionada con la calidad del corte.

Diseño de los ejes X, Y y Z.

Eje Z

El eje Z de la máquina, que se muestra en la Figura. 6., se encarga de realizar un movimiento vertical para subir o bajar la antorcha para realizar el corte, mediante un motor se definirá la altura a la que debe estar con respecto con respecto a la pieza de trabajo

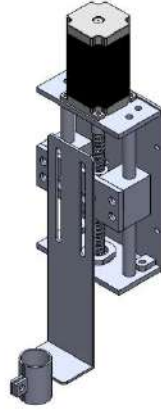


Figura. 6. Diseño del eje Z

- **Torque**

Para determinar el par torsional que debe realizar un tornillo según [17], primero se determina el diámetro medio con la ecuación (7) con el valor de diámetro d de 12 mm y longitud de paso l de 2 mm.

$$dm = d - \frac{l}{2} \quad (7)$$

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

Para determinar la fuerza de compresión que debe subir el eje Z, se obtiene a partir de la suma del peso de cada uno de los elementos que sostienen la antorcha, incluido el peso de este. Para establecer el torque necesario para subir se usa la ecuación (8) y para bajar la ecuación (9), conociendo que los valores de la fuerza de compresión F es de 50 N y el coeficiente de fricción f es de 0,09 según [17], (Revisar anexo D4).

Torque necesario:

- Para subir

$$Tr = \frac{F * dm}{2} \left(\frac{l + \pi f * dm}{\pi * dm - f * l} \right) = 40,87 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (8)$$

- Para bajar

$$Tl = \frac{F * dm}{2} \left(\frac{\pi f * dm - l}{\pi * dm + f * l} \right) = 8,79 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (9)$$

Ejes X – Y

Para el diseño de los ejes hay que considerar las cargas a las que va a estar expuesto cada uno de ellos y los materiales que se van a utilizar en su construcción, ya que estos deben ser capaz de soportar las cargas a las que van a estar expuestos y el trabajo que deben realizar.

Cálculo de flexión eje X

Según [18], para determinar el esfuerzo de flexión máxima que se produce, se considera como una viga simplemente apoyada con una carga puntual en el centro ya que es la zona más alejada entre los dos apoyos y donde más flexión se produce. Ver Anexo A12.

- Diagrama W (Cargas)

Para la carga puntual se aplica la masa de 25 kg correspondiente a los componentes del eje Z que se moverán sobre el eje X.

$$P = m * g$$

$$P = 25 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 245,25 \text{ N}$$

- En la Figura. 7., se muestra el diagrama de cargas con respecto al eje X.

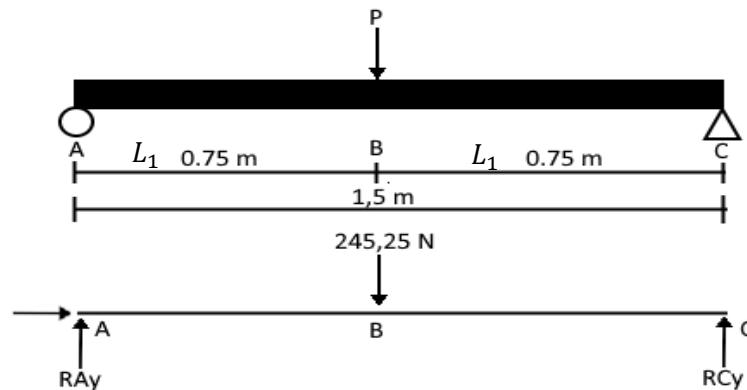


Figura. 7. Diagrama de cargas (W)

$$\sum M_A = 0$$

$$-(P)(L_1) + Rcy(L_1) = 0$$

$$Rcy = \frac{(P)(L_1)}{(L_1)} = 245,25 \text{ N}$$

Cuando la viga es simétrica se divide para los dos apoyos.

$$R_{cy} = \frac{245,25 \text{ N.m}}{2} = 122,63 \text{ N}$$

$$\therefore R_{Cy} = R_{Ay} = 122,63 \text{ N}$$

- Diagrama V o diagrama de fuerzas cortantes se muestra en la Figura. 8.

$$V_{AI} = 0 \quad ; \quad V_{AD} = 0 + 122,63 \text{ N}$$

$$V_{BI} = 122,63 + 0 = 122,63 \text{ N} \quad ; \quad V_{BD} = 122,63 - 245,25 = -122,63 \text{ N}$$

$$V_{CI} = -122,63 + 0 = -122,63 \text{ N} \quad ; \quad V_{CD} = -122,63 + 122,63 = 0$$

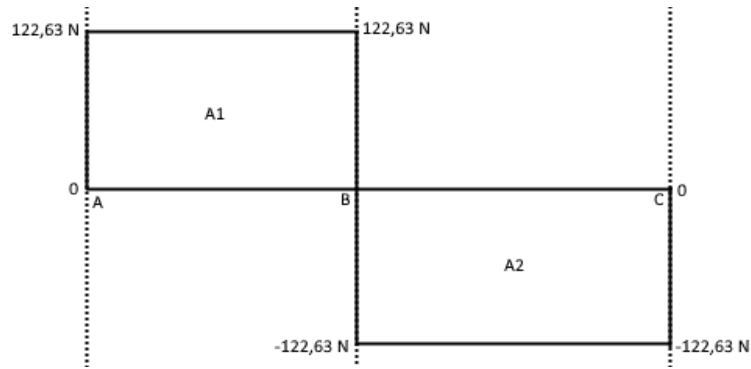


Figura. 8. Diagrama de fuerzas cortantes (V)

- Diagrama M o diagrama de momentos se muestra en la Figura. 9.

$$A1 = (0,75)(122,63) = 91,97$$

$$A2 = (0,75)(-122,63) = -91,97$$

$$M_A = 0$$

$$M_B = 0 + 91,97 = 91,97$$

$$M_C = 91,97 - 91,97 = 0$$

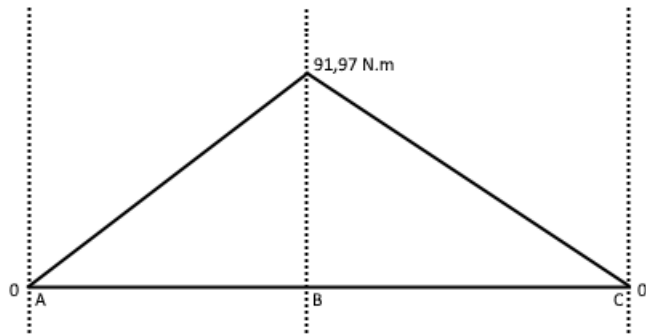


Figura. 9. Diagrama de momentos (M).

DATOS

Momento (M) = 91,97 N.m

Diámetro del eje = 20 mm = 0.02 m

- Para determinar el esfuerzo de flexión máxima se utiliza la ecuación (10).

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} \quad (10)$$

En la Figura. 10. sección circular maciza se muestra como determinar el esfuerzo de flexión máxima para un eje.

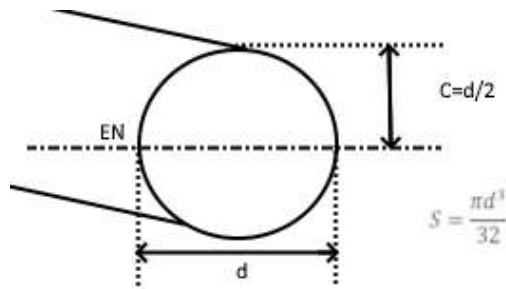


Figura. 10. Sección circular maciza (flexión máxima).

$$S = \frac{\pi(0.02)^3}{32} = 7,85 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{91,97 \text{ N.m}}{7,85 \times 10^{-7} \text{ m}^3} = 1171 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{max} = 117,09 \text{ MPa.}$$

- Para determinar el esfuerzo cortante máximo se utiliza la ecuación (11).

$$\tau_{max} = \frac{4V}{3A} \quad (11)$$

En la Figura. 11. sección circular maciza se indica como determinar el esfuerzo cortante máximo que se produce tomando en cuenta la forma del eje que es circular, revisar el anexo D5.

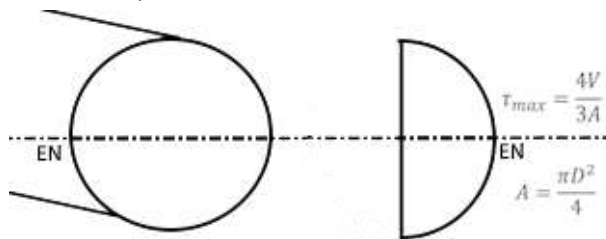


Figura. 11. Sección circular maciza (esfuerzo cortante).

$$A = \frac{\pi(0.02)^2}{4} = 3,142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Se utiliza la fuerza cortante obtenida en el diagrama (122,63 N).

$$\tau_{max} = \frac{4(122,63)}{3(3,142 \times 10^{-4})} = 520437 \frac{N}{m^2}$$

$$\tau_{max} = 520,44 \text{ kPa}$$

Eje Y

Para el diseño del eje Y, y el movimiento que este debe realizar, se utilizan guías lineales las cuales según [19], tienen las siguientes características, empezando que pertenece a la serie EG lo que indica que tiene una alta resistencia a la carga y con un diseño de cuatro filas que le da una alta rigidez, cuenta con una misma carga en cuatro diferentes direcciones, además de una autoalimentación que corrige posibles errores de instalación y mejora la precisión.

- Bloque CG

Modelo: Bloque EGH15CA.



Figura. 12. Bloque EGH15CA

Este bloque que se muestra en la Figura. 12. cuenta con ciertas características, las principales son una carga estática de 16,19 kN y una carga dinámica de 7,83 kN, específicamente para este modelo, para obtener más especificaciones y características acerca de este componente revisar el Anexo A 5 y Anexo A 6.

- Riel CG

Modelo: EGR15



Figura. 13. Riel EGR15

Sobre estos rieles que se observan en la Figura. 13. van colocados los bloques para que se de el movimiento del eje Y, para revisar la nomenclatura y medidas de este modelo de riel (Revisar el Anexo A7 y Anexo A8).

Motores para los ejes X, Y y Z.

Para que se de el movimiento en estos ejes se utilizaran motores a paso, específicamente uno en el eje X, en el eje Y y eje Z estos tendrán las mismas características, el modelo seleccionado es el nema 23, específicamente el modelo 23HS9430B, las especificaciones y medidas de este motor son estándar y vienen dadas por el fabricante (Revisar los anexos A1, A2 y A3).

Husillo de bolas para los ejes X, Y.



Figura. 14. Kit de husillo de bolas SFU.

Modelo:

- **Eje X** → SFU1605-4-1500mm
- **Eje Y** → SFU2505-4-1700mm

Un husillo de bolas que se indica en la Figura.14. convierte un movimiento rotatorio en un movimiento lineal con ayuda de una tuerca la cual tiene un sistema de bolas que disminuye la fricción entre componentes, y permite realizar movimientos precisos. (Revisar los anexos A9, A10, A11)

Mesa de trabajo

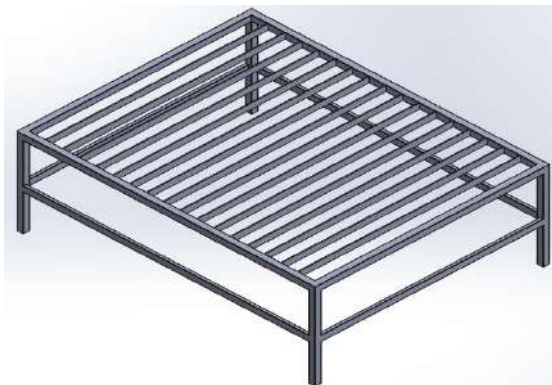


Figura. 15. Diseño de la mesa de trabajo.

Para determinar el diseño que mejor se acomode a las necesidades, se debe considerar todo el trabajo que va a realizar en la Figura. 15. se muestra un diseño estructural, ya que principalmente debe soportar todos los elementos que van a estar en constante movimiento además de sus pesos, también debe resistir el peso de las planchas de acero durante todo el proceso de trabajo. Se debe realizar un modelo el cual sea resistente a los constantes cambios de velocidades que se puedan dar, además de resistir a los diferentes cambios y aumentos de temperatura y permitir un fácil mantenimiento o reemplazo de sus componentes o piezas de ser necesario.

Dimensionamiento

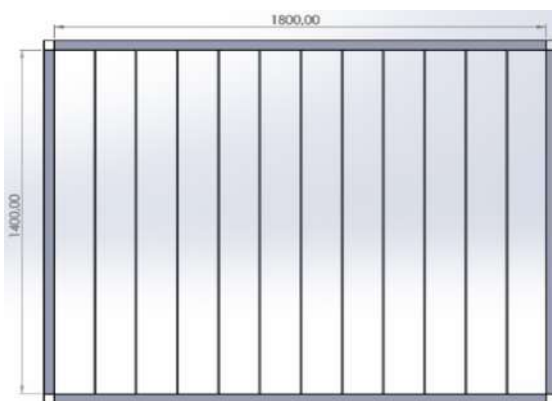


Figura. 16. Dimensionamiento del área de trabajo.

Es importante definir cuáles son las medidas con las que se va a diseñar y construir la mesa de trabajo, en la Figura. 16. se muestra el dimensionamiento. Por lo que, para determinar las medidas primero se consideró cuáles son las medidas estándar de una plancha, según el catálogo del fabricante DIPAC las

planchas laminadas al caliente en acero ASTM A36 miden aproximadamente 1220 x 2440 milímetros.

Por lo que se considera el tamaño de la plancha más el área de trabajo de la boquilla y que esta llegue sin problema a cubrir el área total de trabajo a lo ancho de la placa que se considera un aumento de 100 mm a cada lado para que no exista choques o partes a las que no pueda llegar por los componentes del eje Z y a lo largo no es necesario que entre completamente una plancha, según los requerimientos de la empresa esta debe ser de un largo mínimo de 1800 mm, una vez establecidas las medidas se realiza el diseño requerido.

- Soldadura

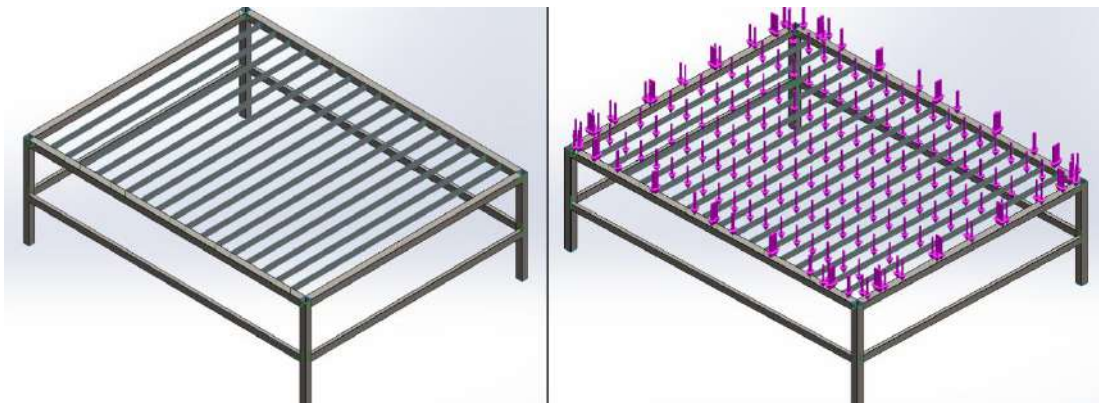


Figura. 17. Diseño y simulación de fuerzas aplicadas.

Para unir los diferentes elementos por los que está formada la mesa se utiliza soldadura, ya que es un proceso donde se unen dos o más piezas de metal como es el acero, mediante el uso de calor extremo. En la Figura. 17., se muestra un análisis estructural de la mesa de trabajo, asignando todas las cargas a las que va a ser sometida, por lo que también se toma en cuenta la carga de los ejes X, Z y el peso de la plancha de acero que irá sobre la mesa. Esto se realiza con el fin de seleccionar las partes de la mesa donde irá el cordón de soldadura, además de asignar las fuerzas a las que está sometido y determinar si resiste las tensiones, desplazamientos, deformaciones y estimar cual es el tamaño de soldadura para los diferentes cordones que forman la mesa.

Para el análisis estructural que se muestra en la Figura. 18., se asignan los elementos que están en contacto y que van a ser unidos mediante soldadura y se asume un tamaño de soldadura y mediante la simulación se analiza si

estos valores necesitan atención o son aceptados según la carga que deben soportar. Además, determina cual es el desplazamiento máximo y mínimo que se da en la mesa de trabajo

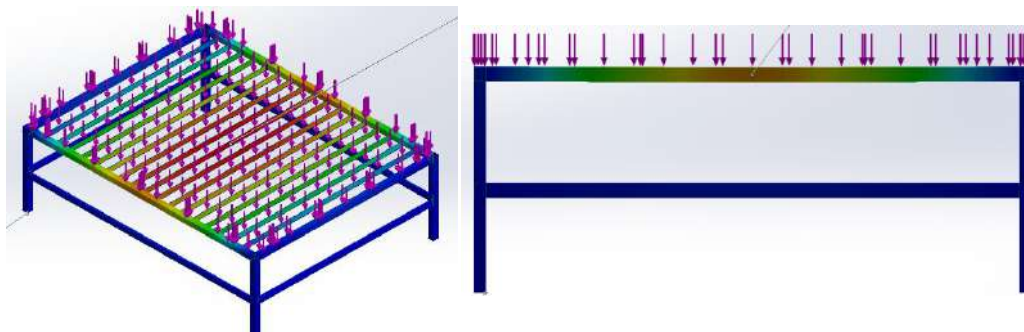


Figura. 18. Análisis estructural de deformación.

Los resultados que se obtienen muestran una deformación máxima de 2.95 mm en el centro de la mesa, específicamente en el centro de la rejilla. Estos resultados no son significativos, ya que los valores no son elevados, además que la fuerza que se aplique sobre la rejilla solo es durante el tiempo en que este realizando un trabajo de corte.

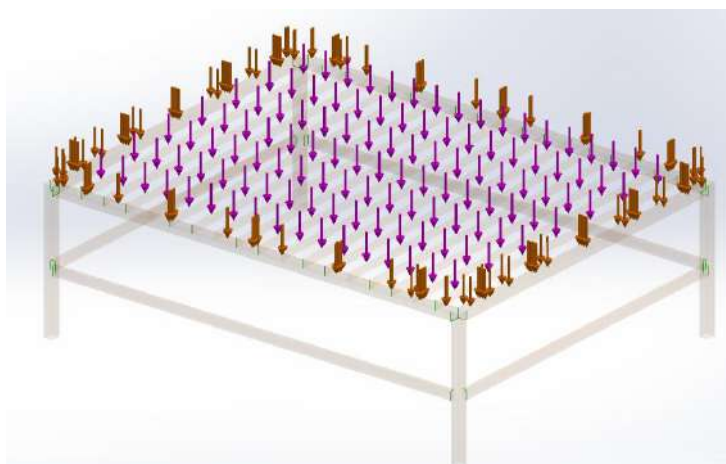


Figura. 19. Análisis de soldadura.

Los cordones de soldadura recomendados como se muestran en la Figura. 19., de análisis estructural como se ve están entre los 2 y 3 mm, sin embargo, en las esquinas donde se produce la mayor resistencia de fuerzas recomienda realizar soldadura 4 mm de tamaño

Resistencia de la soldadura

Para el análisis de resistencia de la soldadura, se toma en cuenta el tamaño de soldadura recomendado en el análisis estructural y se determina la carga máxima de la junta soldada.

Según [20], para la selección de las ecuaciones para una soldadura de filete hay ciertas consideraciones a tomar en cuenta como es el valor de t_w (garganta de soldadura) y $\frac{L}{t}$ que es una relación de la longitud de soldadura con respecto al espesor del material que se va a soldar, si t_w es menor que el espesor se usa la ecuación (12) para determinar la carga máxima de la junta soldada P , además de conocer la resistencia a la tracción del material F_u que según [20], tiene un valor de 400 MPa (Revisar Anexo D6), y además se conoce la longitud de soldadura L que es la distancia que se va a soldar o el tamaño del cordón de soldadura que es de 0.04 m, en la Figura. 20., se muestra los cordones de soldadura que unen los tubos cuadrados que conforman la mesa de trabajo.

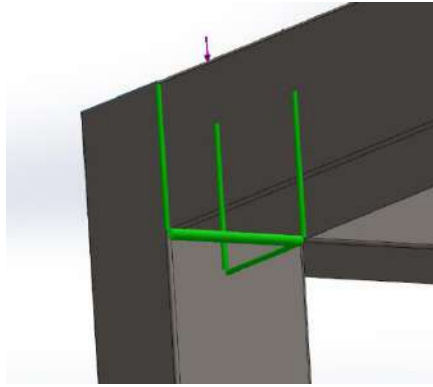


Figura. 20. Soldaduras horizontales y verticales.

$$P = 0,3t_wLF_u \quad (12)$$

Por lo que se empieza determinando el valor con la ecuación (13) que es la garganta de soldadura teórica, se conoce el valor del tamaño de soldadura w que siempre es el menor valor.

$$t_w = 0,707w \quad (13)$$

En la Figura. 21. se estima los tamaños de soldadura con los que se realizara el cálculo y se determina el valor de t_w para saber si la ecuación (9) es aplicable en este caso.

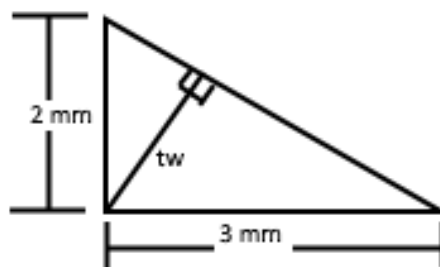


Figura. 21. Cordón de soldadura (Verticales).

$$t_w = 0,707(2) = 1,41 < t$$

$$P = 0,3(0,00141 \text{ m})(0,04 \text{ m}) \left(400 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

$$P = 6768 \text{ N}$$

La carga máxima de soldadura calculada para los cordones verticales resiste la carga distribuida que se coloca sobre la mesa de trabajo

Soldaduras horizontales

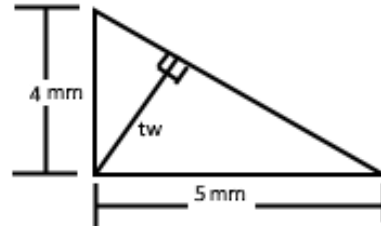


Figura. 22. Cordón de soldadura (horizontales).

En la Figura. 22., se muestran los valores del tamaño de soldadura horizontal con el que se va a realizar el cálculo, para determinar si soportara o no la carga que se va a aplicar.

$$t_w = 0,707(4) = 2,83 > t$$

Según [20], cuando la garganta de soldadura es mayor que el espesor del material se utiliza $\frac{L}{t}$ la ecuación seleccionada dependerá de si este valor es mayor o menor a 25.

$$\frac{40 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 20 < 25$$

Dado que el valor es menor que 25, para determinar la carga máxima de la junta soldada se utiliza la ecuación (14), donde se conoce la longitud de soldadura L que es de 40 mm, el espesor del material t de 2 mm.

$$\therefore P = 0,4 \left(1 - 0,01 \frac{L}{t} \right) t(L) F_u \quad (14)$$

$$P = 0,4 \left(1 - 0,01 \frac{0,04 \text{ m}}{0,002 \text{ m}} \right) 0,002 \text{ m}(0,04 \text{ m}) \left(400 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

$$P = 10240 \text{ N}$$

La carga máxima es mayor porque los tamaños de soldadura son mayores ya que deben soportar la carga que se coloque sobre la mesa, la Figura. 22 muestra los cordones horizontales de la mesa.

Soldadura de platinas

Según [20], la soldadura de filete para juntas en T como se muestra en la Figura. 23., el menor valor es 4 (W_1).

$$t_w = 0,707w = 2,83 > t$$

$$\frac{30 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 15 < 25$$

El valor de la longitud de la soldadura es el ancho de la platina (30 mm) y el menor espesor (2 mm).

$$\therefore P = 0,4 \left(1 - 0,01 \frac{L}{t} \right) t(L) F_u = 8160 \text{ N}$$

En el caso de las platinas, son las que van a soportar el peso de la placa de acero por eso esta sería la capacidad de carga disponible para cada una de ellas, con el fin de soportar el peso que se vaya a colocar sobre ellas.

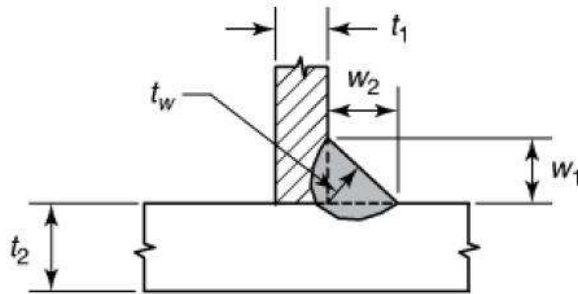


Figura. 23. Unión en T.

Factor de seguridad de soldadura

Una vez determinada la carga máxima (P) de los cordones de soldadura y conociendo los valores de las cargas a las que están expuestos por los diferentes componentes y el peso de la placa de trabajo (245 kg o 2411 N), mediante la ecuación (15), se calcula el factor de seguridad (FS) para los cordones.

$$FS = \frac{\tau_{admisible}}{\tau_{aplicado}} \quad (15)$$

FS vertical

$$FS = \frac{6768 \text{ N}}{2411 \text{ N}} = 2,80$$

FS horizontal

$$FS = \frac{10240 \text{ N}}{2411 \text{ N}} = 4,24$$

FS platinas

$$FS = \frac{8160 \text{ N}}{2411 \text{ N}} = 3,38$$

Los factores de seguridad recomendados para soldaduras con una carga dinámica moderada según [17], están entre 3 y 4. Se considera que es una carga dinámica por los diferentes movimientos que realizan los ejes para realizar el corte.

3.2. Control

- Controlador CNC.

Para el control, se selecciona la placa controladora USBCNC TB6560 de 4 ejes, porque dentro del mercado es una de las opciones más económicas, además de contar con fáciles conexiones y su configuración inicial es amigable con el usuario. Cuenta con drivers integrados [21], capaces de controlar motores paso a paso Nema 23, revisar Anexo F.

Placa controladora USBCNC TB6560 de 4 ejes TOPCHANCES

Modelo: USB6560AXIS4

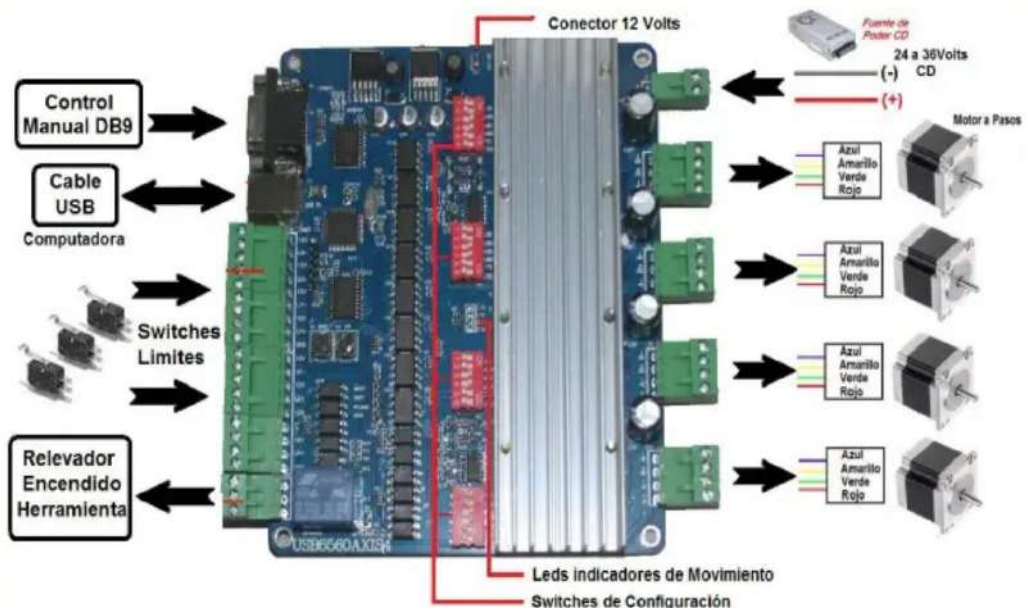


Figura. 24. Placa controladora CNCUSB.

Esta es una placa de control CNC (Figura 24), que cuenta con 4 entradas y una entrada USB, ideal para el control de motores paso a paso de dos fases y con un máximo de 3 A. El diseño de esta placa controladora esta específicamente hecha para usarla por medio de un puerto USB y únicamente puede ser usada con un software CNC que fue diseñado específicamente para la placa. Un punto muy importante y que hay que considerar es que no es compatible con softwares como KCAM4, MACH3, entre otros programas CNC.

Cuenta con cuatro configuraciones de corriente: 0,75A; 1,5A; 2,25A; 3,0A. Además, cuenta con una entrada para un control manual que puede ayudar en el ajuste de las coordenadas, como definir el punto cero de la herramienta. Cuenta con una salida de alimentación aislada de 12V la cual se puede ocupar

en aplicaciones externas para ventiladores, también cuenta con una entrada de 12V CC. Para ver más detalladamente las partes por las que está compuesto este controlador (revisar el Anexo C).

3.3. Partes y funcionamiento del prototipo

Para el diseño y construcción se debe considerar todos los parámetros previamente establecidos, además de conocer todos los materiales necesarios y disponibles en el mercado. La construcción parte de la mesa como se muestra en la Figura. 25., donde se establecen las dimensiones del área de trabajo y el tamaño de los ejes.



Figura. 25. Mesa de trabajo.

En la mesa se incluye las guías lineales para el movimiento del eje Y, y se considera la altura a la que se va a colocar el eje X y que este se mueva libremente sin interferir con los demás componentes, en la Figura. 26., se observa los componentes que conforman el eje X.



Figura. 26. Eje X.

Este eje se encarga de mover todos los elementos que componen el eje Z que se muestra en la Figura. 27.



Figura. 27. Eje Z.

El movimiento vertical que realiza el eje Z sirve para regular la altura de trabajo con respecto a la mesa, en este caso para posicionar la antorcha de corte para placas de acero de 6 mm de espesor.

Cada uno de estos ejes fue diseñado y construido considerando cada uno de los materiales disponibles y que estos cumplan con las características necesarias de resistencia y de trabajo. Cuentan con guías lineales que facilitan su movimiento y los ejes X, Y cuentan con un husillo de bolas que junto con los motores a paso dan un movimiento preciso, el diseño se muestra en la Figura. 28.



Figura. 28. Prototipo de máquina de corte de plasma CNC.

3.4. Pruebas

Para realizar las pruebas de corte y determinar con cuál de los parámetros de altura y de presión se obtienen mejores resultados, se realizaron probetas de 60 mm x 200 mm en placas de acero de 6 mm de espesor, ya que las dimensiones de probetas para ensayos por corte térmico de procesos PAC no tienen especificaciones. En la Figura. 29., se muestra la probeta realizada para las pruebas de corte.

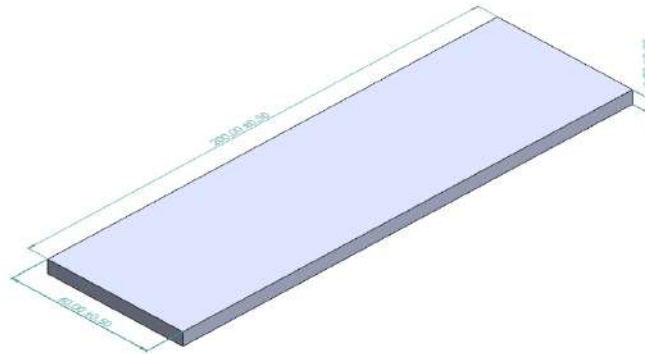


Figura. 29. Probeta para pruebas de corte.

3.4.1. Pruebas de altura de la antorcha.

Pruebas de altura y presión para el corte.

En la Tabla 4., se muestran los resultados de las diferentes pruebas de corte realizadas con el fin de determinar con cual parámetros se obtiene la mejor calidad de corte realizada por este prototipo de cortadora de plasma CNC en placas de acero de 6 mm de espesor.

En la Figura. 30., se muestra el rango de presiones en las que trabaja que de entre 58 Psi – 72,5 Psi.



Figura. 30. Rango de presión de trabajo (58 – 72,5) Psi.

Se realizan pruebas con una longitud de corte de 150 mm, para determinar mediante las alturas de corte y la presión de trabajo cual produce un corte más

limpio y con menos acumulación de escoria adherida en la parte inferior de la placa.

Tabla 4. Altura y presión de trabajo de la antorcha.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
Alturas de corte				
DATOS INFORMATIVOS				
Tipo de estudio:	Proyecto técnico	Codificación:	CP1	
Fecha de ejecución:	26/05/2025	Equipo:	Cortadora de plasma	
Realizado por:	Cristian Quishpe	Revisado por:	Ing. Mauricio Carrillo, Mg.	
PARÁMETROS DE TRABAJO				
Amperaje constante: 40 A		Longitud de corte: 150 mm		
Velocidad de corte (m/min).	Presión de trabajo (Psi).	Cortes (Imágenes)		
Altura de la antorcha: 3,175 mm,				
0,4	72,5	Vista Superior. Vista inferior Vista lateral 		
0,4	70	Vista superior Vista inferior 		

0,5	70	Vista superior  Vista inferior  Vista lateral 
0,3	70	Vista superior  Vista inferior  Vista lateral 
0,4	65	Vista superior  Vista inferior  Vista lateral 
0,4	60	Vista superior  Vista inferior  Vista lateral 
0,4	58	Vista superior 

		Vista inferior  Vista lateral 
Altura de la antorcha: 5 mm		
0,4	72,5	Vista superior  Vista inferior  Vista lateral 
0,4	70	Vista superior  Vista inferior 
0,5	70	Vista superior  Vista inferior  Vista lateral 
0,3	70	Vista superior  Vista inferior  Vista lateral 
0,4	65	Vista superior 

		Vista inferior  Vista lateral 
0,4	60	Vista superior  Vista inferior  Vista lateral 
0,4	58	Vista superior  Vista inferior  Vista lateral 
OBSERVACIONES		
• A una presión de 72,5 Psi, a 3,175 mm de altura se produce un corte limpio con poca acumulación de escoria en la entrada, a 5 mm se produce acumulación de escoria en la parte inferior de la pieza. • A una presión de 70 Psi, a 3,175 mm de altura realiza un corte limpio, a 5 mm un corte limpio, si variamos la velocidad de corte a 0,5 m/min, a 3,175 mm se produce una acumulación de escoria y formación de gotas en la parte inferior de la pieza (Anexo G), a 5 mm se produce escoria en la parte inferior de la pieza. A 0,3 m/min, en ambas alturas se produce acumulación de escoria en la parte inferior. • A una presión de 65 Psi, a 3,175 mm se da un corte limpio con poca acumulación de escoria en la entrada, a 5 mm mucha acumulación de escoria en la parte inferior. • A una presión de 60 Psi, a 3,175 mm se produce acumulación de escoria en la entrada y en gran parte inferior del corte, a 5 mm mucha acumulación de escoria en la parte inferior.		

- A una presión de 58 Psi, en ambas alturas se da mucha acumulación de escoria en la parte inferior de la pieza, incluso con partes de corte incompletas.

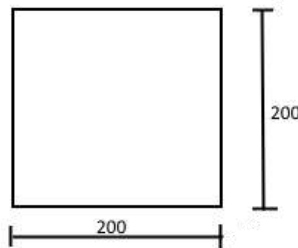
3.4.2. Pruebas de corte de figuras.

Una vez determinada la altura de la antorcha con respecto a la presión de trabajo, se realiza pruebas de corte de figuras geométricas básicas con el fin de determinar la calidad y precisión que tiene el prototipo. Además de verificar que el sistema mecánico esté funcionando correctamente y que los códigos G sean correctamente generados e interpretados por el software de diseño asistido por computadora CAD.

- Primera prueba

En la Tabla 5., se muestra los resultados de la primera figura realizada por corte.

Tabla 5. Resultados de la primera prueba de corte de figuras.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
Primera prueba de corte				
DATOS INFORMATIVOS				
Tipo de estudio:	Proyecto técnico	Codificación:	PC1	
Fecha de ejecución:	01/06/2025	Equipo:	Cortadora de plasma	
Realizado por:	Cristian Quishpe	Revisado por:	Ing. Mauricio Carrillo, Mg.	
ESPECIFICACIONES				
Descripción		Figura		
Figura: Cuadrado Medidas: 200 mm x 200 mm				
PARAMETROS DE TRABAJO				

Altura de la antorcha (mm).	Velocidad de corte (m/min).	Amperaje (A)	Presión de trabajo (Psi).
3	0,4	40	70
RESULTADO			
			
OBSERVACIONES			
• Cuando la altura de la antorcha es demasiada cercana a la placa, se puede producir un choque o que la antorcha se pegue a la placa con el material derretido causando que se detenga mientras el arco sigue encendido causando que la parte superior se funda en sus bordes, como se muestra en la Figura. 31., este problema se dio al estar finalizando el corte de la figura. • Las medidas obtenidas de la pieza no fueron las estimadas, por lo que es necesario volver a calibrar todos los ejes. • Con respecto a su angulosidad, en el borde superior ni en el borde inferior, no se formó el defecto conocido como chaflan.			



Figura. 31. Defectología en cortes realizados con arco de plasma.

- Segunda prueba

Con la primera prueba de corte realizada podemos observar cuales son los principales problemas que suceden y que defectos pueden darse en las placas, por lo que es importante seguir los parámetros corte con una correcta calibración de la máquina. En la Figura. 32., se muestra la calidad del corte con todas las condiciones previamente

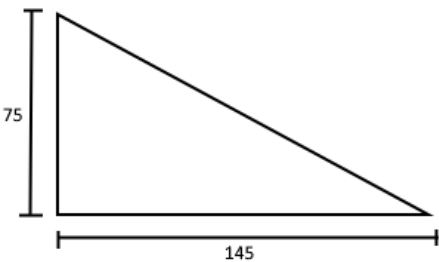
establecidas, se observa que es un corte limpio, sin acumulación de gotas o escoria y sin mordeduras, tanto en su borde superior como en su borde inferior. Se realiza otra



Figura. 32. Resultado de corte.

prueba en la Tabla 6., con una figura diferente, para además de comprobar el corte de diferentes figuras, comprobar que el movimiento mecánico de sus ejes sea correcto.

Tabla 6. Resultado de la segunda prueba de corte de figuras.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Segunda prueba de corte					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto técnico	Codificación:	PC2		
Fecha de ejecución:	01/06/2025	Equipo:	Cortadora de plasma		
Realizado por:	Cristian Quishpe	Revisado por:	Ing. Mauricio Carrillo, Mg.		
ESPECIFICACIONES					
Descripción			Figura		
Figura: Triangulo rectángulo Medidas: 145 mm x 75 mm					
PARAMETROS DE TRABAJO					
Altura de la antorcha (mm).	Velocidad de corte (m/min).	Amperaje (A)		Presión de trabajo (Psi).	
3	0,4	40		70	
RESULTADO					



OBSERVACIONES

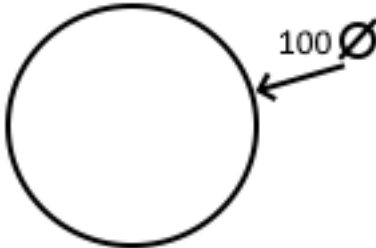
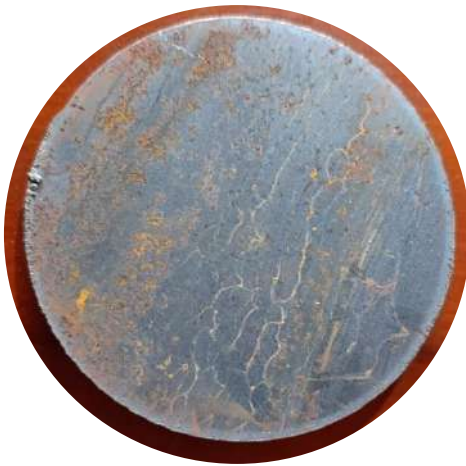
- Al verificar que las placas que se van a cortar estén ubicadas correctamente planas y perpendiculares al eje de la antorcha se evita cualquier tipo de rose o choque durante el corte.
- Con las correcciones del equipo el corte realizado se acerca más a las dimensiones diseñadas.
- En los bordes superiores de esta pieza cortada no muestran defectos.
- En los bordes inferiores presenta una mínima cantidad de escoria es sus esquinas más cerradas, a diferencia del ángulo de 90° donde el corte es limpio.

- Tercera prueba

Con las correcciones previas se va mejorando el resultado de los cortes en cada figura, además de comprobar el correcto funcionamiento de la máquina. Se realiza otra prueba de corte de una geometría un poco más compleja como es una circunferencia, ya que los dos ejes X y Y deben moverse sincronizadamente para formar el círculo. En la Tabla 7., se muestran los resultados.

Tabla 7. Resultado de la tercera prueba de corte de figuras.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Tercera prueba de corte			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Proyecto técnico	Codificación:	PC3
Fecha de ejecución:	01/06/2025	Equipo:	Cortadora de plasma

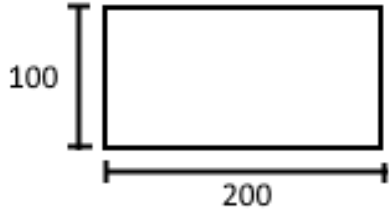
Realizado por:	Cristian Quishpe	Revisado por:	Ing. Mauricio Carrillo, Mg.
ESPECIFICACIONES			
Descripción		Figura	
Figura: Circulo Medidas: diámetro 100 mm			
PARAMETROS DE TRABAJO			
Altura de la antorcha (mm).	Velocidad de corte (m/min).	Amperaje (A)	Presión de trabajo (Psi).
3	0,4	40	70
RESULTADO			
			
OBSERVACIONES			
- Los ejes X y Y se mueven correctamente sincronizados para realizar una circunferencia. - En el borde superior se muestra solo se muestra una pequeña salpicadura del material derretido en la entrada del corte a la figura. - En el borde inferior la acumulación de gotas o escoria se ha vuelto mínima y dejando a la figura con medidas más cercanas a las diseñadas.			

- Cuarta prueba

Finalmente, para comprobar que todas las correcciones realizadas en el equipo funcionan correctamente se realiza una última prueba que se muestra en la Tabla 8.

con una figura diferente con el fin de haber corroborado que la máquina puede realizar los diferentes movimientos para realizar figuras geométricas básicas y con una calidad de corte aceptable conforme a los parámetros establecidos.

Tabla 8. Resultado de la cuarta prueba de corte de figuras.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Cuarta prueba de corte					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Proyecto técnico	Codificación:	PC4		
Fecha de ejecución:	01/06/2025	Equipo:	Cortadora de plasma		
Realizado por:	Cristian Quishpe	Revisado por:	Ing. Mauricio Carrillo, Mg.		
ESPECIFICACIONES					
Descripción			Figura		
Figura: Rectángulo Medidas: 200 mm x 100 mm					
PARAMETROS DE TRABAJO					
Altura de la antorcha (mm).	Velocidad de corte (m/min).	Amperaje (A)	Presión de trabajo (Psi).		
3	0,4	40	70		
RESULTADO					
					
OBSERVACIONES					
• No presenta defectos en el borde superior ni inferior. • No hay acumulación de gotas o escoria.					

Para realizar cada uno de los cortes de estas figuras, se consideró una distancia de entrada de aproximadamente 15 mm como se muestra en la Figura. 33., esta distancia es para que la pieza no se vea afectada por el inicio del arco de corte el cual provoca salpicadura y un ligero ensanchamiento en el punto donde inicia el corte como se muestra en la Figura. 34.

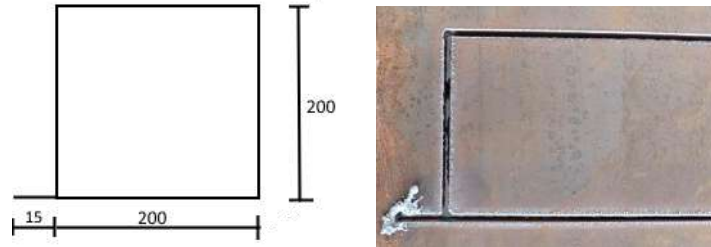


Figura. 33. Entrada de corte.



Figura. 34. Defectología de inicio de corte.

3.5. Resultados obtenidos

Se realizó el corte de 4 figuras las cuales son:

- Cuadrado (200 mm x 200 mm)
- Triángulo rectángulo (145 mm x 75 mm)
- Círculo (100 mm diámetro)
- Rectángulo (200 mm x 100mm)

Para evaluar las medidas obtenidas en cada figura se utiliza el pie de rey o también conocido como calibrador, además se evaluará la calidad del corte, las curvas, escorias, etc., en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de figuras.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

INGENIERIA CIVIL Y MECANICA

CARRERA DE MECÁNICA

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
DATOS INFORMATIVOS				
Tipo de estudio:	Proyecto técnico	Codificación:	RO1	
Fecha de ejecución:	03/06/2025	Equipo:	Cortadora de plasma	
Realizado por:	Cristian Quishpe	Revisado por:	Ing. Mauricio Carrillo, Mg.	
Resultados obtenidos en las figuras realizadas				
Figura	Medidas de diseño	Medidas de corte	Porcentaje de error	Observación
Cuadrado	200 mm x 200 mm	204 mm x 205 mm	2,23%	Ligera acumulación de escoria.
Triangulo rectángulo	145 mm x 75 mm	144 mm x 73,5 mm	1,50%	Ligera acumulación de escoria en los ángulos más cerrados.
Circulo	100 mm (Diámetro)	99 mm (Diámetro)	1,01 %	Corte limpio.
Rectángulo	200 mm x 100 mm	199 mm x 99,5 mm	0,50 %	Corte limpio.

Con ayuda de la ecuación (15) se determina el porcentaje de error del tamaño de las figuras reales con respecto a las medidas de los diseños.

$$\%E = \frac{|Valor\ experimental - Valor\ real|}{|valor\ real|} \times 100\% \quad (15)$$

3.6. Costos

Es importante conocer detalladamente los costos de los materiales, piezas, componentes, entre otros procesos que son necesarios en la construcción de este prototipo de cortadora de plasma CNC. Un estudio de los costos nos permitirá identificar si este proyecto técnico fue rentable para su propósito.

En la Tabla 10., se muestra la lista de materiales utilizados en el diseño de la mesa de trabajo.

Tabla 10. Lista de materiales utilizados para la construcción de la mesa de trabajo.

MATERIALES PARA LA MESA DE TRABAJO			
Materiales (mm)	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costos (\$)
Tubo estructural rectangular negro 40x20x2	1	12,90	12,90
Tubo estructural cuadrado negro 40x40x2	2	16	32
Platina 30x4	4	8,50	34
TOTAL			78,90

En la Tabla 11., se muestran los diferentes materiales. que se utilizaron para la construcción del eje X.

Tabla 11. Lista de materiales utilizados para la construcción del eje X.

MATERIALES PARA EL EJE X			
Materiales	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costos (\$)
Motor paso a paso (Nema 23)	1	60	60
Kit husillo de bolas SFU1605-4-1500mm BK/BF12	1	116,51	116,51
Riel 20mm para SBR20	3(metros)	45,88	137,64
Rodamiento lineal SBR20	4	11,32	45,28
Soporte de montaje aluminio SFU1605	1	13,39	13,39
Acople D30L35	1	14,28	14,28
Tubo rectangular 20x10x2	1	20	20
TOTAL			407,10

En la Tabla 12. Se indican los materiales que forman parte de la construcción del eje Y del prototipo.

Tabla 12. Lista de materiales utilizados para la construcción del eje Y.

MATERIALES PARA EL EJE Y			
Materiales	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costos (\$)
Motor paso a paso (Nema 23)	1	60	60
Riel EGR15	4(metros)	60,95	243,80
Bloque EGH15CA	4	26,65	106,60
Kit husillo de bolas SFU2505-4-1700mm BK/BF20	1	180,80	180,80
Soporte de montaje aluminio para SFU2505-2510	1	16,96	16,96
Acople D45L66	1	15,84	15,84
Placas de Acero A36	1x1(metro)	12,50	12,50
Perfil C 80x40x2	2 (metros)	3	6
TOTAL			642,50

En la Tabla 13. Se indican los materiales necesarios para la construcción del eje Z

Tabla 13. Lista de materiales utilizados para la construcción del eje Z

MATERIALES PARA EL EJE Z			
Materiales	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costos (\$)
Motor paso a paso (Nema 23)	1	60	60
Placas de Acero A36	1 (espesor 6 mm)	12,50	12,50
Eje de transmisión	2 (Ø14)	10	20
Placas de Acero A36	1 (espesor 3 mm)	10	10
Bloques de nylon	2	5	10
TOTAL			112,50

En la Tabla 14. Se muestran todos los componentes que conforman la parte eléctrica para el funcionamiento del prototipo.

Tabla 14. Listado de materiales para la construcción de la parte eléctrica.

MATERIAL ELECTRICO			
Materiales	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costos (\$)
Placa controladora USBCNC TB6560	1	90	90
Pulsador doble	1	6	6

Tabla 14. Listado de materiales para la construcción de la parte eléctrica
(Continuación)

Materiales	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costos (\$)
Interruptor diferencial	1	40	40
Contactador auxiliar	1	15	15
Foco piloto	1	3	3
Filtro manómetro regulador	1	30	30
Transformador 110 a 12 V	1	40	40
Bornera	1	10	10
Licencia	1	60	60
Cable	10 (metros)	2	20
Botón de paro de emergencia	1	22	22
Fusibles	1	20	20
TOTAL			356

En la Tabla 15, se muestra la cortadora de plasma utilizada.

Tabla 15. Cortadora de plasma.

EQUIPOS			
Materiales	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costos (\$)
Cortadora de plasma Elite cut 40	1	802,99	802,99

En la Tabla 16., se analiza los costos de mano de obra directa e indirecta durante la construcción del prototipo.

Tabla 16. Mano de obra directa e indirecta.

MANO DE OBRA		
Directa	Descripción	Costo (\$)
	Soldadura	200
	Conexiones eléctricas	192
Subtotal		392
Indirecta	Descripción	Costo (\$)
	Diseño técnico e ingeniería	400
Subtotal		400
GASTOS INDIRECTOS		
Descripción		Costo (\$)
Herramientas		204,52
Alimentación		75
Transporte de material		57,33
Subtotal		336,85

En la Tabla 17., se muestra el costo total, que sería la suma de todos los materiales que se utilizaron, el equipo comprado, la mano de obra y gastos indirectos.

Tabla 17. Costo total.

RUBRO	
Descripción	Costo (\$)
Materiales para la mesa de trabajo	78,90
Materiales para el eje X	407,10
Materiales para el eje Y	642,50
Materiales para el eje Z	112,50
Material eléctrico	356
Equipos	802,99
Mano de obra	392
	400
Gastos indirectos	336,85
Total	3528,84

- Mantenimiento

En esta máquina es necesario realizar limpieza y mantenimiento de los componentes, para que no exista ningún problema durante la operación, además de evitar que se acelere el desgaste de los componentes móviles. En la Tabla 18., se muestra la frecuencia con la que se debe realizar una limpieza de los componentes.

Tabla 18. Limpieza de componentes

LIMPIEZA DE COMPONENTES				
Nº	Actividad	Frecuencia	Aplicación	Herramientas para limpieza
1	Limpieza de las guías de los ejes X, Y y Z.	Antes de cada uso del equipo.	Manual	Aire comprimido, paño seco o humedecido con un poco de aceite limpio.
2	Limpieza de los Husillos.	Después de un uso continuo.	Manual	Paño seco o humedecido con un poco de aceite limpio.

Tabla 18. Limpieza de componentes (Continuación)

3	Limpieza de la mesa de trabajo.	Antes de cada uso del equipo	Manual	Aire comprimido, Cepillo de alambre.
4	Limpieza de los bloques guía.	Después de un uso continuo.	Manual	Paño seco o humedecido con un poco de aceite limpio, brocha de cerdas suaves.

En la Tabla 19., se muestra con qué frecuencia se debe realizar mantenimiento de los componentes de la máquina.

Tabla 19. Frecuencia de mantenimiento.

FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO				
Mesa de trabajo				
Nº	Actividad	Aplicación	Tiempo	Herramientas para limpieza.
1	Limpieza de la estructura	Manual	Antes de cada uso	Cepillo de alambre, aire comprimido
2	Inspección de la estructura (partes soldadas)	Manual	Cada 100 horas	Inspección visual, tintas penetrantes.
EJE X				
1	Limpieza regular	Manual	Antes y después de cada uso	Aire comprimido, paño seco o humedecido con un poco de aceite limpio.
2	Lubricación de guías y bloques.	Manual	120 horas	Paño humedecido con aceite y pistola de engrase.

Tabla 19. Frecuencia de mantenimiento (Continuación)

EJE Y				
1	Limpieza regular	Manual	Antes y después de cada uso	Aire comprimido, paño seco o humedecido con un poco de aceite limpio.
2	Lubricación de guías y bloques	Manual	120 horas	Paño humedecido con aceite y pistola de engrase.
3	Revisión del sistema de transmisión	Manual	60 horas	Paño humedecido con aceite y pistola de engrase.
EJE Z				
1	Limpieza regular	Manual	Antes y después de cada uso	Aire comprimido, paño seco o humedecido con un poco de aceite limpio.
2	Lubricación de guías y bloques	Manual	120 horas	Paño humedecido con aceite y pistola de engrase.
3	Revisión del sistema de transmisión	Manual	60 horas	Paño humedecido con aceite y pistola de engrase.

CAPÍTULO IV

4.1. CONCLUSIONES

- Para el diseño y construcción de este prototipo de máquina de corte de plasma CNC para placas de hierro 6 mm de espesor, se utilizaron diferentes métodos de investigación como el bibliográfico que permitió la recolección de información acerca de temas similares en cuanto a la construcción y mediante el método cuantitativo se obtuvieron datos confiables de diseño que garantizan el correcto funcionamiento del prototipo según las necesidades de la empresa. En la selección de materiales se busca aquellos que estén disponibles en el mercado y que sean de bajo costo.
- Se determinaron los parámetros bajo los cuales debe trabajar el equipo, una vez que se construyó el prototipo se llevaron a cabo 5 pruebas y en cada una se realizaban dos cortes de 150 mm a una altura de 3mm a 5mm en las cuales se cambiaba la presión trabajo para determinar cuál realiza un corte más limpio, a la máxima presión de trabajo del equipo de 72,5 Psi a 70 Psi, los cortes son más limpios sin la presencia de gotas o escoria que suelen acumularse en la parte inferior de la pieza, de 70 Psi a 60 Psi el equipo no tiene la presión necesaria para realizar los cortes en este tipo de placas (6 mm de espesor), por lo que en la parte inferior de la pieza se da una gran acumulación de gotas y de escoria, en la mínima presión de trabajo que puede proporcionar el equipo antes de marcar un error por falta de presión, que es 58 Psi los cortes son incompletos para este tipo de placas generando una excesiva acumulación de escoria en la parte inferior. De esta manera se demostró que la mejor presión de trabajo está entre 70 Psi y 72,5 Psi, la presión menor a esto no garantiza un buen corte en este tipo de placas. Adicionalmente se realizaron pruebas de corte variando la velocidad de 0,5 m/min (a 70 Psi) el avance es demasiado rápido, lo que provoca la formación de escoria y gotas en la parte inferior de la pieza, a una velocidad de 0,3 m/min (a 70 Psi) el material se funde más lento lo que provoca una acumulación de escoria en la parte inferior de la pieza que no puede ser expulsado correctamente.
- Se realizaron cortes de figuras básicas como lo pedía la empresa, tanto para verificar el correcto funcionamiento de los tres ejes de la máquina, como

también para corroborar que las piezas realizadas tengan las medidas que se realizan en los diseños. En la primera prueba de un cuadrado se obtuvo un porcentaje de error del 2,23 % con respecto a sus medidas de diseño, por lo que fue necesario calibrar nuevamente el equipo antes de las siguientes pruebas, en las siguientes pruebas se realizó un triángulo rectángulo, un círculo y un rectángulo estas piezas presentaron un porcentaje de error entre el 0,5% y 1,5%, lo que para la empresa fue un valor aceptable con respecto a los cortes que requieren.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa utilizar una alternativa diferente con respecto al gas de corte, ya que el consumo de oxígeno es muy elevado. Una alternativa más económica que se le sugiere utilizar es aire comprimido que con ayuda de un compresor se puede obtener los niveles de presión que requiere el equipo, adicionalmente para garantizar que los cortes mantengan su calidad se recomienda colocar un filtro de humedad, ya que mientras más seco sea el aire para el corte, mejores serán los resultados.
- Antes de realizar cualquier tipo de corte el equipo debe ser calibrado en sus tres ejes para minimizar el porcentaje de error en las medidas de las piezas que se vaya a realizar, además de tomar en cuenta los parámetros de corte con los que va a trabajar, ya que esto está directamente relacionado con la calidad de la pieza que se espera obtener.
- Para aumentar la seguridad de la máquina y del usuario, se recomienda realizar una repotenciación de este prototipo de cortadora de plasma CNC, donde se incluya finales de carrera en los ejes y los transportadores de cables o también conocidos como cadena de arrastre de cables.

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Murillo, D. Bustillos, O. Lara, J. Achote, y F. Rovayo, “Diseño de una cortadora de plasma como herramienta de apoyo para la enseñanza en carreras de ingeniería”, *Revista Científica A.S.A*, 2020.
- [2] K. Mirallas y P. Portes, “Diseño de una Máquina Cortadora por Plasma CNC”, 2015.
- [3] L. Perez, “Automatización de una máquina cortadora plasma para materiales metálicos de espesores entre 1 y 50 mm”, 2020.
- [4] J. Portal, E. López, y A. Valdés, “Fundamentos electricos del corte por plasma”, *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 2, 2004.
- [5] A. Robalino, “Diseño y construcción de una máquina CNC cortadora de plasma para el corte de planchas metálicas en el taller Mecánico Industrial Robalino de la Ciudad de RIOBAMBA”, 2018.
- [6] J. Cisneros, “Automatización del eje de coordenadas Z de la cortadora de plasma CNC de la Carrera de Ingeniería Automotriz”, 2018.
- [7] W. Gómez y A. Medina, “Corte por Plasma con la Tecnica de Control Numérico Computarizado, para Mejorar la Calidad de Corte de Metales Del I.E.S.T.P. Nueva Esperanza 2019.”, 2019.
- [8] A. Naranjo, “Control numérico computarizado aplicado a la automatización de una cortadora a plasma”, 2017.
- [9] R. Artiaga, G. Bolaños, A. Martínez, y E. Reyes, “Diseño y construcción de un sistema para corte por plasma, usando tecnicas de control numérico computarizado”, 2015.
- [10] J. Alvarez y A. Quilligana, “Estudio de los parámetros de corte por oxicorte y plasma CNC de acuerdo a la norma AWS C4.6M:2006 para la empresa MAQUINARIAS ESPÍN”, 2022.
- [11] M. Suntaxi, “Diseño y construcción de una máquina CNC cortadora por plasma para planchas de acero de hasta 10mm de espesor”, 2017.

- [12] American Welding Society, *Manual de soldadura*, 8a ed., vol. 2. 1991.
- [13] C. T. Ferrón, *Corte por plasma y oxicorte : FMEH0209*, 1a ed., vol. 0. Málaga: IC Editorial, 2023.
- [14] SQUICKMON'S, "Plasma Cutting Gases: Types And How To Choose". Consultado: el 19 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://squickmons.com/plasma-cutting-gases-types-and-how-to-choose/>
- [15] G. Gómez, R. Galarza, y O. Rodríguez, "Orificios", *Universidad Militar Nueva Granada*, mar. 2014, Consultado: el 3 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/orificios-31867038/31867038>
- [16] Elite Keep Working, "EliteCUT 40s Plasma CutterSIC40 DV". [En línea]. Disponible en: www.ELITETOOLS.com
- [17] R. Budynas y J. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 8a ed. Mexico: McGrawHill, 2008.
- [18] A. Pytel y F. Singer, *Resistencia de Materiales.*, 4a ed. México: Oxford University Press México, 2008.
- [19] "Perfiles CNC – Perfiles, guías y accesorios para máquinas CNC". [En línea]. Disponible en: <https://perfilesnc.com/>
- [20] American Welding Society, "AWS D1.3 Structural Welding Code - Sheet Steel.", núm. 6, jul. 2017.
- [21] TOSHIBA, "TB6560AHQ, TB6560AFG PWM Chopper-Type Bipolar Driver IC for Stepping Motor Control", ene. 2011.

ANEXOS

A – MATERIALES

A1

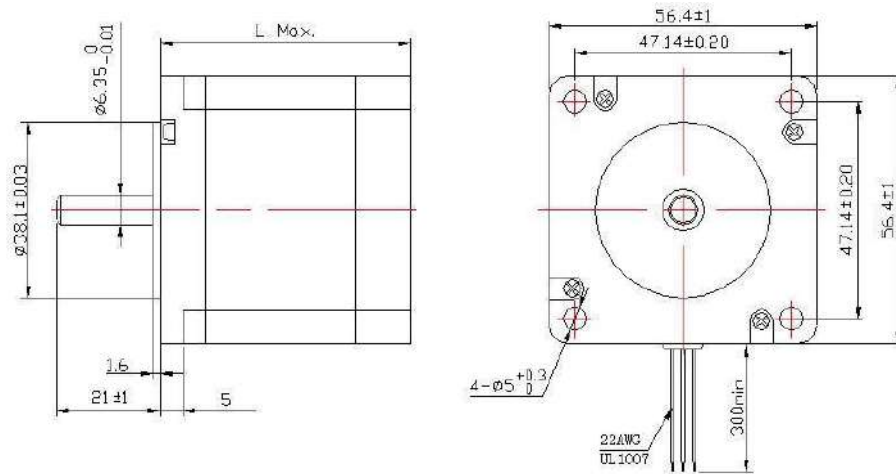
modelo	longitud del motor
23HS0XXX	41mm
23HS4XXX	45mm
23HS1XXX	51mm
23HS5XXX	56mm
23HS6XXX	64mm
23HS7XXX	76mm
23HS8XXX	100mm
23HS9XXX	112mm

A2

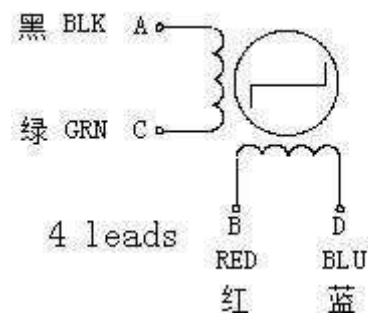
(especificaciones electricas) :

Serie	Paso Ángulo (°)	Motor Longitud (mm)	Clasificado Actual (A)	Fase Resistencia (Ω)	Fase Inductancia (mH)	Tenencia Esfuerzo de torsión (N.cm)	Fijador Esfuerzo de torsión (N.cm)	Rotor Inercia (g.cm ²)	Dirigir Cable (No.)	Motor Peso (gramo)
						Mínimo)	máx.)			
23HS0610	1.8	41	1.0	5.2	5.5	40	2.5	150	6	470
23HS04062	1.8	41	0,62	12	24	55	2.5	150	4	470
23HS0420	1.8	41	2.0	1.2	2.5	55	2.5	150	4	470
23HS44062	1.8	45	0,62	12	26	80	2.8	190	4	520
23HS4425	1.8	45	2.5	1.0	2.2	80	2.8	190	4	520
23HS14062	1.8	51	0,62	13	28	110	2.8	190	4	520
23HS1425	1.8	51	2.5	1.2	3.2	110	2.8	190	4	520
23HS1608	1.8	51	0,8	6.8	9.2	62	3.0	230	6	590
23HS5615	1.8	56	1.5	3.2	5.5	90	3.5	280	6	590
23HS5425	1.8	56	2.5	1.3	4.2	110	3.5	280	4	680
23HS5430	1.8	56	3.0	0,8	2.4	110	3.5	280	4	680
23HS5442	1.8	56	4.2	0,4	1.2	110	3.5	280	4	680
23HS6410	1.8	64	1.0	7.5	20	150	5.0	380	4	850
23HS6425	1.8	64	2.5	1.5	4.5	150	5.0	380	4	850
23HS6430	1.8	64	3.0	0,8	2.3	150	5.0	380	4	850
23HS6442	1.8	64	4.2	0,55	1.2	150	5.0	380	4	850
23HS7615	1.8	76	1.5	4.5	7.8	140	6.0	440	6	1050
23HS7425	1.8	76	2.5	1.8	6.5	180	6.0	440	4	1050
23HS7430	1.8	76	3.0	1.0	3.5	180	6.0	440	4	1050
23HS8742	1.8	76	4.2	0,6	1.8	180	6.0	440	4	1050
23HS8430	1.8	78	3.0	1.4	5.5	190	6.5	450	4	1050
23HS8442	1.8	100	4.2	0,8	3.0	250	6.8	680	4	1250
23HS9430	1.8	112	3.0	1.6	6.8	280	12	800	4	1700
23HS9442	1.8	112	4.2	0,9	3.7	280	12	800	4	1700

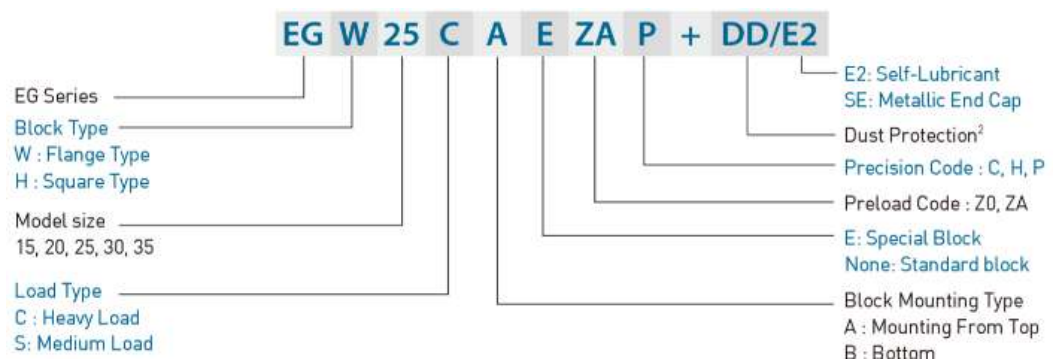
A3



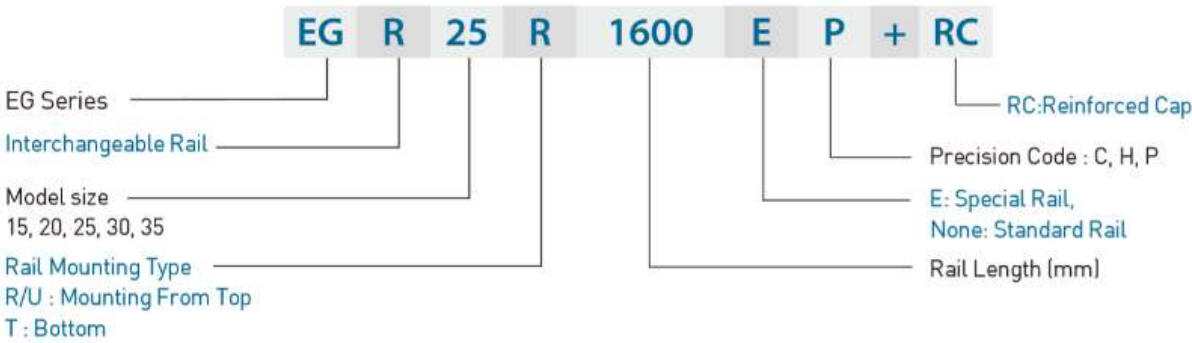
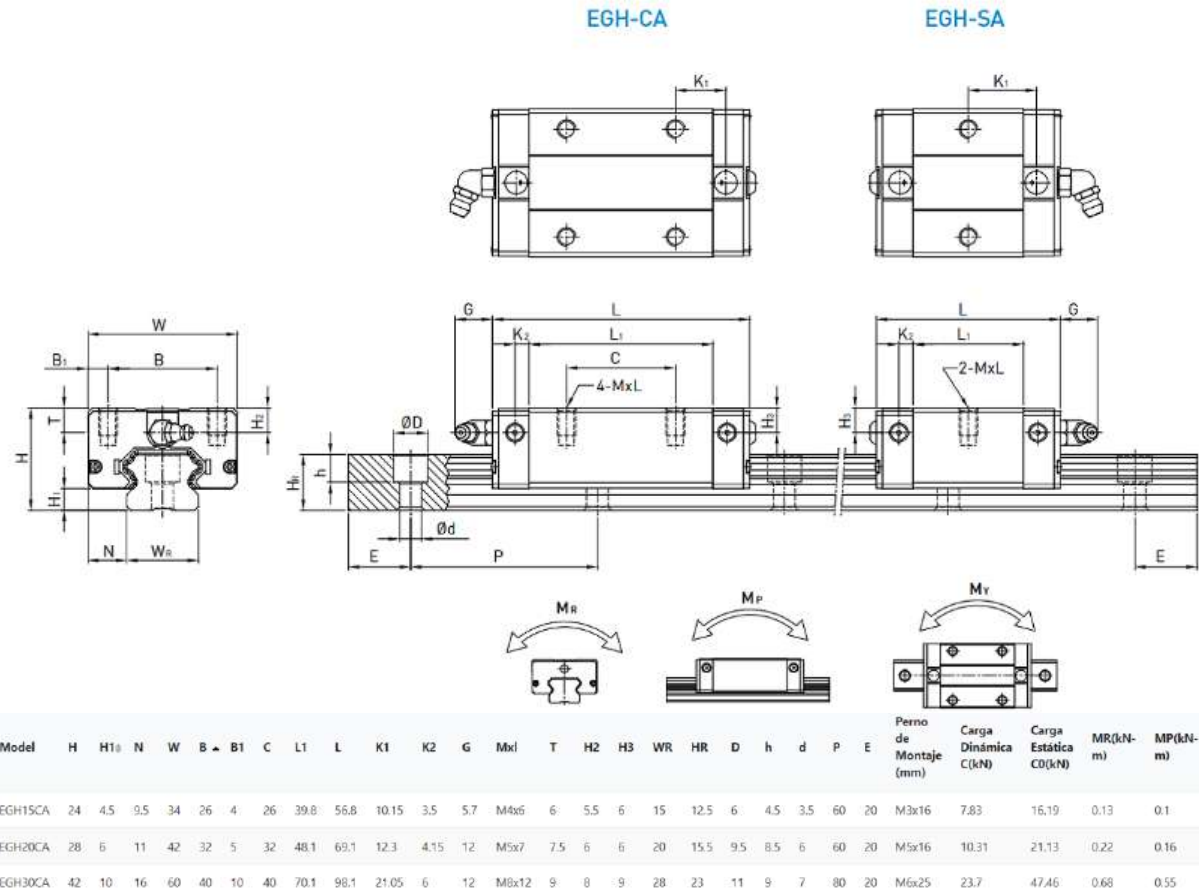
A4



A5



EGH-CA



EGR



Technical drawing of a mechanical part, showing a side view and a top view.

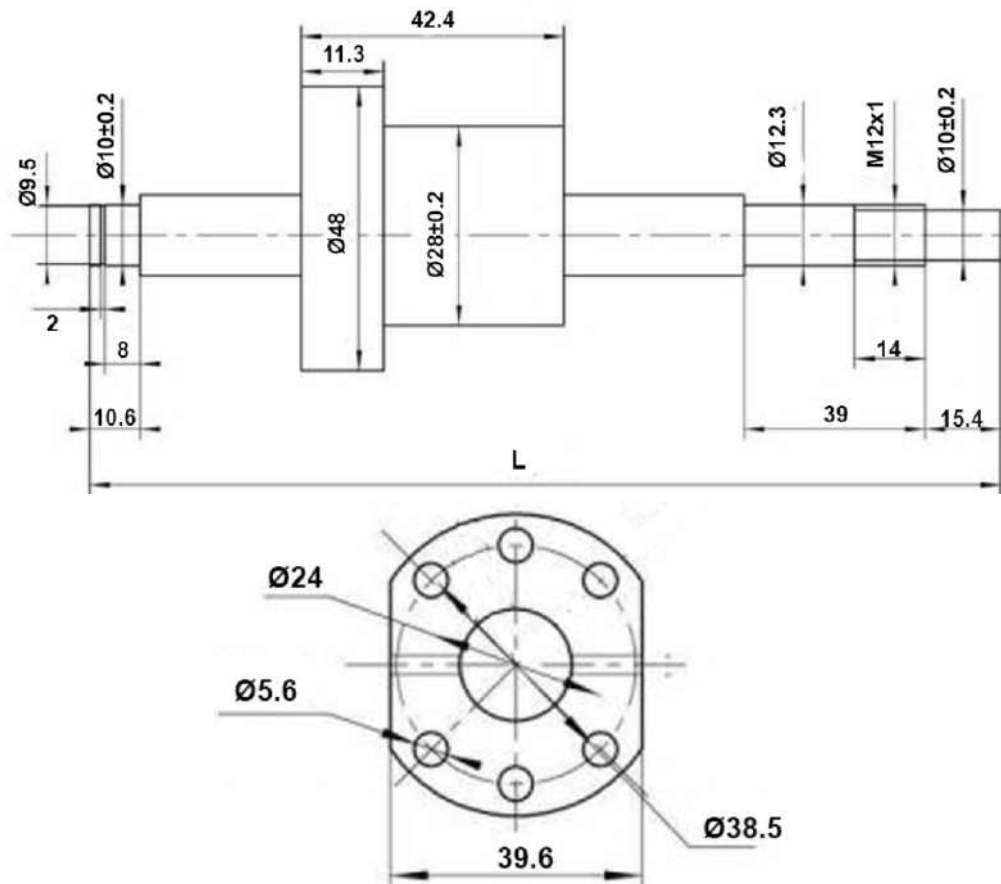
Side View Dimensions:

- Left end: $\varnothing 15$ diameter, length 3.
- First step: $\varnothing 15 \pm 0.2$ diameter, length 9.4.
- Second step: $\varnothing 62.4$ diameter, length 10.7.
- Third step: $\varnothing 36 \pm 0.2$ diameter, length 42.5.
- Fourth step: $\varnothing 15$ diameter, length 39.7.
- Fifth step: M15x1 thread, length 20.
- Sixth step: $\varnothing 12 \pm 0.2$ diameter, length 11.5.
- Total length: L.

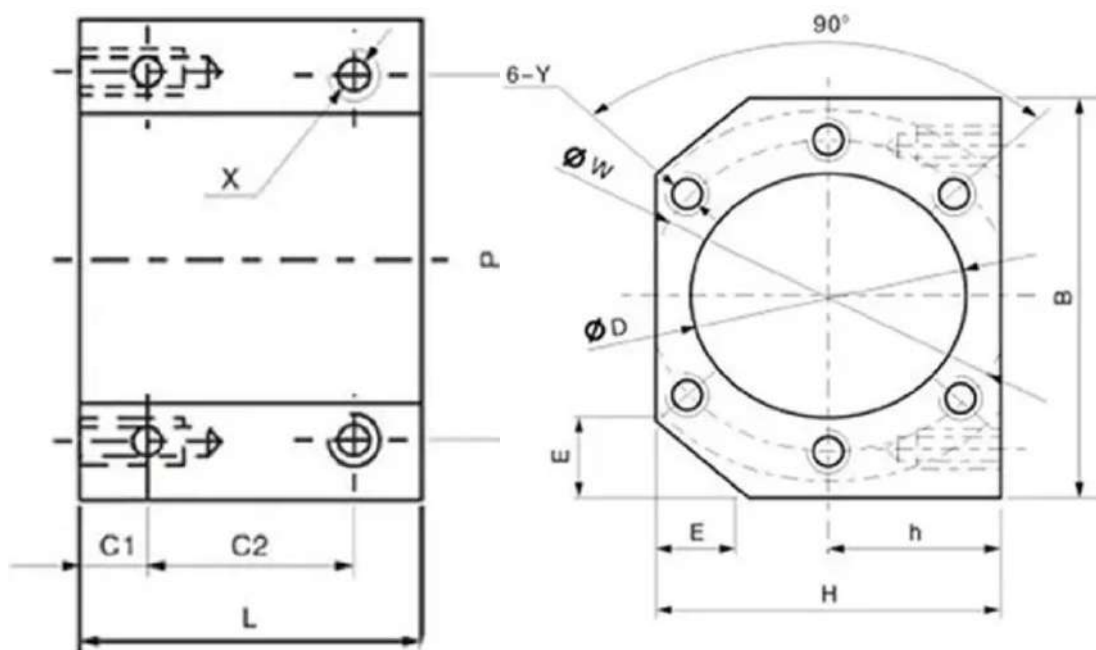
Top View Dimensions:

- Outer diameter: $\varnothing 50.7$.
- Inner diameter: $\varnothing 34.5$.
- Central hole diameter: $\varnothing 6.4$.
- Width: 47.

A10

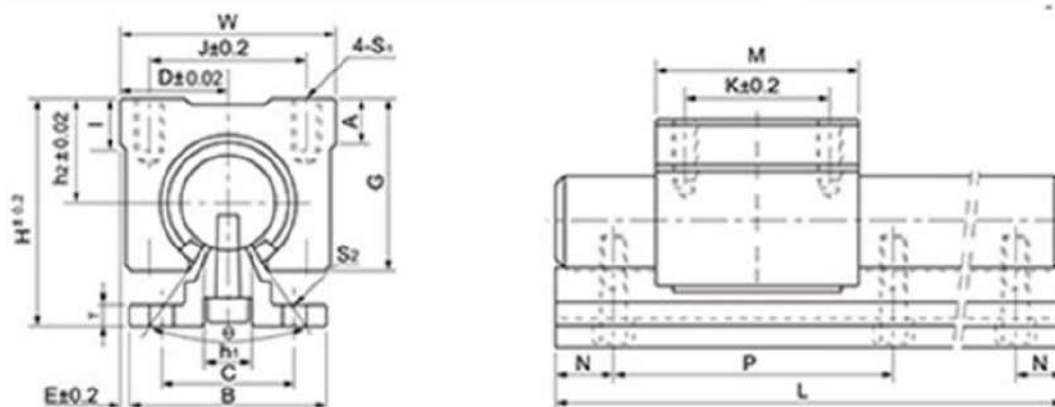


A11



MODELO	D	B	H	H	E	L	C1	C2	P	X	W	Y
1204	23.6	50	30.05	15	/	36	6.5	23.3	35	M4	32	M3
1605	28	52	40	20	12	40	8	24	40	M5	38	M5
2005	35.8	62	43.5	22.7	12	40	8	24	48	M5	47	M5
2510	40	66	48	24	13	40	8	24	50	M6	51	M6

A12



MODELO	DIAMETRO	CARGA DINÁMICA CON	CARGA ESTÁTICA CON	PESO DEL BLOQUE (G)	PESO DE LA RIEL (G/M)	D	H2	H	E	θ	W	G	A	B	T	M	S1X1	J
SBR12UU	Ø12	510	780	100	1880	20	17	37,4	3	80°	40	27	8	34	4,5	39	M5x10	28
SBR16UU	Ø16	770	1170	150	2560	22,5	20	45	2,5	80°	45	33	9	40	5	45	M5x12	32
SBR20UU	Ø20	860	1370	200	3500	24	23	50	1,5	50°	48	39	11	45	5	50	M5x12	35
SBR25UU	Ø25	980	1560	450	5300	30	27	60	2,5	60°	60	47	14	55	6	65	M6x12	40

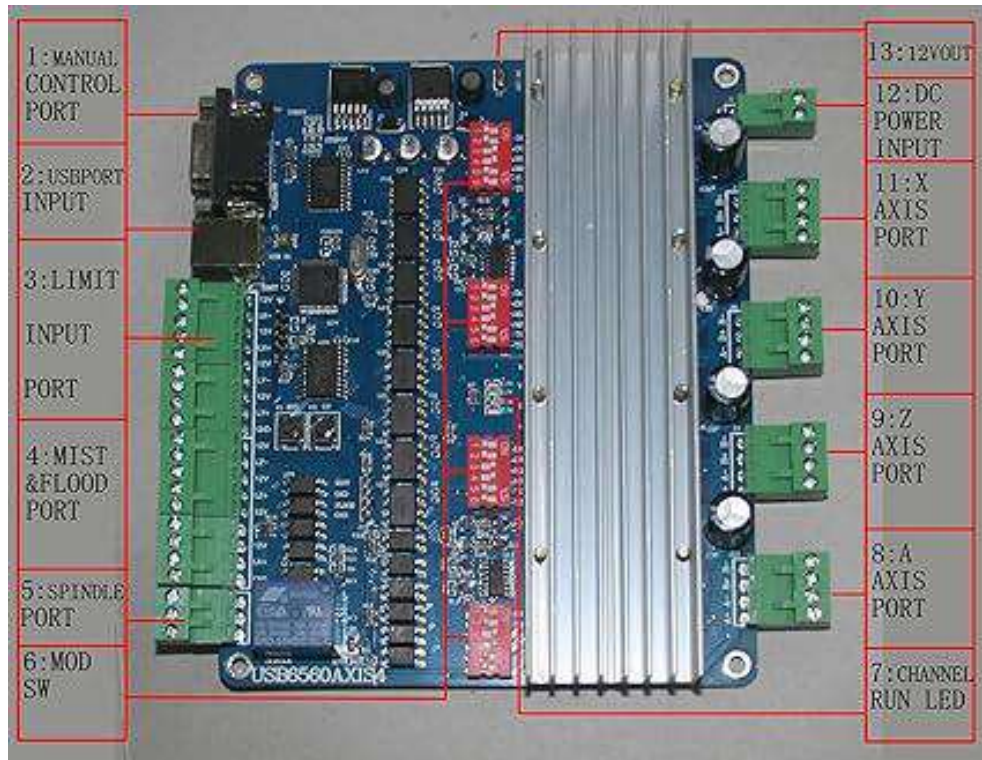
B – PARÁMETROS DE CORTE

B1

Velocidad de corte (m/min) cuando el corte es a 40 A.

Grosor de corte (mm)	0.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acero blando		8		1.5			0.4			
Acero galvanizado		8		1.5			0.4			
Acero inoxidable		8		1.5			0.4			
Aluminio		8		1.5						
Latón		0.75								
Cobre rojo		0.75								

C – PLACA CONTROLADORA



- 1- Manual control port (Puerto de control manual)
- 2- USBPORT input (Entrada Puerto USB)
- 3- Limit input port (Puerto de entrada de limite)
- 4- Mist&Flood port (Puerto)
- 5- Spindle port (Puerto de husillo)
- 6- Mod SW
- 7- Channel run led (Led de funcionamiento de canal)
- 8- A axis port (Puerto eje A)
- 9- Z axis port (Puerto eje Z)
- 10- Y axis port (Puerto eje Y)
- 11- X axis port (Puerto eje X)
- 12- DC power input (Entrada de alimentación DC)
- 13- 12V out (Salida 12V)

D – PROPIEDADES

D1

TABLA A-16

Propiedades de gases a la presión de 1 atm (*conclusión*)

Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
<i>Nitrógeno, N₂</i>							
-50	1.5299	957.3	0.02001	1.366×10^{-5}	1.390×10^{-5}	9.091×10^{-6}	0.6655
0	1.2498	1 035	0.02384	1.843×10^{-5}	1.640×10^{-5}	1.312×10^{-5}	0.7121
50	1.0564	1 042	0.02746	2.494×10^{-5}	1.874×10^{-5}	1.774×10^{-5}	0.7114
100	0.9149	1 041	0.03090	3.244×10^{-5}	2.094×10^{-5}	2.289×10^{-5}	0.7056
150	0.8068	1 043	0.03416	4.058×10^{-5}	2.300×10^{-5}	2.851×10^{-5}	0.7025
200	0.7215	1 050	0.03727	4.921×10^{-5}	2.494×10^{-5}	3.457×10^{-5}	0.7025
300	0.5956	1 070	0.04309	6.758×10^{-5}	2.849×10^{-5}	4.783×10^{-5}	0.7078
400	0.5072	1 095	0.04848	8.727×10^{-5}	3.166×10^{-5}	6.242×10^{-5}	0.7153
500	0.4416	1 120	0.05358	1.083×10^{-4}	3.451×10^{-5}	7.816×10^{-5}	0.7215
1 000	0.2681	1 213	0.07938	2.440×10^{-4}	4.594×10^{-5}	1.713×10^{-4}	0.7022
1 500	0.1925	1 266	0.11793	4.839×10^{-4}	5.562×10^{-5}	2.889×10^{-4}	0.5969
2 000	0.1502	1 297	0.18590	9.543×10^{-4}	6.426×10^{-5}	4.278×10^{-4}	0.4483
<i>Oxígeno, O₂</i>							
-50	1.7475	984.4	0.02067	1.201×10^{-5}	1.616×10^{-5}	9.246×10^{-6}	0.7694
0	1.4277	928.7	0.02472	1.865×10^{-5}	1.916×10^{-5}	1.342×10^{-5}	0.7198
50	1.2068	921.7	0.02867	2.577×10^{-5}	2.194×10^{-5}	1.818×10^{-5}	0.7053
100	1.0451	931.8	0.03254	3.342×10^{-5}	2.451×10^{-5}	2.346×10^{-5}	0.7019
150	0.9216	947.6	0.03637	4.164×10^{-5}	2.694×10^{-5}	2.923×10^{-5}	0.7019
200	0.8242	964.7	0.04014	5.048×10^{-5}	2.923×10^{-5}	3.546×10^{-5}	0.7025
300	0.6804	997.1	0.04751	7.003×10^{-5}	3.350×10^{-5}	4.923×10^{-5}	0.7030
400	0.5793	1 025	0.05463	9.204×10^{-5}	3.744×10^{-5}	6.463×10^{-5}	0.7023
500	0.5044	1 048	0.06148	1.163×10^{-4}	4.114×10^{-5}	8.156×10^{-5}	0.7010
1 000	0.3063	1 121	0.09198	2.678×10^{-4}	5.732×10^{-5}	1.871×10^{-4}	0.6986
1 500	0.2199	1 165	0.11901	4.643×10^{-4}	7.133×10^{-5}	3.243×10^{-4}	0.6985
2 000	0.1716	1 201	0.14705	7.139×10^{-4}	8.417×10^{-5}	4.907×10^{-4}	0.6873
<i>Vapor de agua, H₂O</i>							
-50	0.9839	1 892	0.01353	7.271×10^{-6}	7.187×10^{-6}	7.305×10^{-6}	1.0047
0	0.8038	1 874	0.01673	1.110×10^{-5}	8.956×10^{-6}	1.114×10^{-5}	1.0033
50	0.6794	1 874	0.02032	1.596×10^{-5}	1.078×10^{-5}	1.587×10^{-5}	0.9944
100	0.5884	1 887	0.02429	2.187×10^{-5}	1.265×10^{-5}	2.150×10^{-5}	0.9830
150	0.5189	1 908	0.02861	2.890×10^{-5}	1.456×10^{-5}	2.806×10^{-5}	0.9712
200	0.4640	1 935	0.03326	3.705×10^{-5}	1.650×10^{-5}	3.556×10^{-5}	0.9599
300	0.3831	1 997	0.04345	5.680×10^{-5}	2.045×10^{-5}	5.340×10^{-5}	0.9401
400	0.3262	2 066	0.05467	8.114×10^{-5}	2.446×10^{-5}	7.498×10^{-5}	0.9240
500	0.2840	2 137	0.06677	1.100×10^{-4}	2.847×10^{-5}	1.002×10^{-4}	0.9108
1 000	0.1725	2 471	0.13623	3.196×10^{-4}	4.762×10^{-5}	2.761×10^{-4}	0.8639
1 500	0.1238	2 736	0.21301	6.288×10^{-4}	6.411×10^{-5}	5.177×10^{-4}	0.8233
2 000	0.0966	2 928	0.29183	1.032×10^{-3}	7.808×10^{-5}	8.084×10^{-4}	0.7833

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

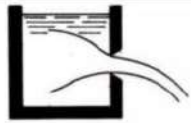
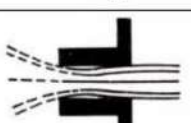
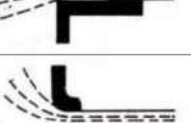
Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente basados en varias fuentes.

INTERPOLACION	
°C	kg/m^3
0	1.4277
25	1.317
50	1.2068

D2

MODEL	ELITE CUT 40S
STANDARS	CE / EN60974 - 1
REGULATION RANGE	10 - 40 AMP
DUTY CYCLE	50%
OPEN CIRCUIT VOLTAGE	330V
DIMENSIONS	49 x 33 x 19 Cm
WEIGHT	6.5 Kg
MAX. OUTPUT 110/220 V	20A / 40A
FREQUENCY	50 / 60 Hz
INPUT VOLTAGE	110 / 220V +/- 10%
QUALITY CUTTING THICKNESS	20 mm (6 mm 110V)
MAXIMUM CUTTING THICKNESS	25 mm (10 mm 110V)
WORKING PRESSURE (PRESET)	58 - 72.5 PSI
IP RATING	IP21S
INSULATION CLASS	F

D3

<i>Casos</i>	<i>Cc</i>	<i>Cv</i>	<i>Cd</i>	<i>Observaciones</i>
	0.62	0.985	0.61	Valores medios para orificios comunes de pared delgada.
	0.52	0.98	0.51	Vena libre.
	1.00	0.75	0.75	Vena adherida.
	0.62	0.985	0.61	Vena libre (valores medios).
	1.00	0.82	0.82	Vena adherida.
	1.00	0.98	0.98	Bordes redondeados acompañando los filetes líquidos.

D4

Combinación	En operación	Arranque
Acero suave sobre hierro fundido	0.12	0.17
Acero duro sobre hierro fundido	0.09	0.15
Acero suave sobre bronce	0.08	0.10
Acero duro sobre bronce	0.06	0.08

D5

Forma de la viga	Fórmula	Forma de la viga	Fórmula
 Rectangular	$\tau_{\text{máx}} = \frac{3V}{2A}$	 Circular hueca con pared delgada	$\tau_{\text{máx}} = \frac{2V}{A}$
 Circular	$\tau_{\text{máx}} = \frac{4V}{3A}$	 Viga I estructural (con pared delgada)	$\tau_{\text{máx}} = \frac{V}{A_{\text{Alma}}}$

D6

Group No.	ASTM Steel Specifications	Yield Strength ^{a,b}		Tensile Strength ^{a,b}	
		ksi	MPa	ksi	MPa
ASTM A53/A53M	Gr A	30	205	48	330
	Gr B	35	240	60	415
ASTM A109/A109M	Temper 4	—	—	48 ^d	330 ^d
	Temper 5	—	—	44 ^d	300 ^d
ASTM A500 (Round structural tubing)	Gr A	33	230	45	310
	Gr B	42	290	58	400
	Gr C	46	315	62	425
	Gr D	36	250	58	400
ASTM A500 (Shaped structural tubing)	Gr A	39	270	45	310
	Gr B	46	315	58	400
	Gr C	50	345	62	425
	Gr D	36	250	58	400
ASTM A501/A501M	Gr A	36	250	58	400
ASTM A572/A572M	Gr 42	42	290	60	415

E – FICHA TÉCNICA



Keep Working

eliteCUT^{40S}

SIC400DV
INVERSOR PARA CORTE POR PLASMA



CORTE PLASMA



40A
Potencia



50%
Ciclo de trabajo



95a260V
Voltaje



AUTO VOLT
Ahorro de un 30% en consumo eléctrico comparado a inversores tradicionales



PANTALLA LED
Pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles

PANEL DE CONTROL



Indicador de entrada de corriente

Indicador de salida de arco/corte

Indicador de advertencia

Pantalla LED

Perilla de regulación de corriente de soldadura

DATOS TÉCNICOS

Corriente de entrada	95 a 260V (+/-10%)
Frecuencia	50/60 Hz
Voltaje en vacío	330V
Rango de regulación 110/220V	10 – 20A / 10 – 40A
Consumo eléctrico a 110/220V	19.0A / 21.0A

Aislamiento / IP	I.CL.H / 21S
Estandares	NOM-J-038-1-A-CE-2016/EN60974
Inicio arco	Arranque por arco piloto
Compresor	Mínimo 60 PSI constantes 6.5 CFM

INCLUYE



Conjunto pinza de masa



Antorcha PLASMA

ESPEORES DE CORTE



Recomendado



Máximo



Separación



TAMAÑO



PESO

Equipos de soldadura portables y de bajo peso.

MEDIDAS PRODUCTO

LARGO	46.0 cm
ANCHO	19.0 cm
ALTO	31.0 cm

MEDIDAS CAJA INDIVIDUAL



LARGO	ANCHO	ALTO	PESO
53.0 cm	30.0 cm	38.5 cm	14.5 Kg

CONOCE MAS
LEARN MORE



KEEP WORKING

www.elitetools.co



F – CIRCUITO INTEGRADO TB6560AHQ

Pin Functions

Pin No.		I/O	Symbol	Functional Description	Remarks
TB6560 AHQ	TB6560 AFG				
1	42	Input	TQ2	Torque setting input (current setting)	Internal pull-down resistor
2	43	Input	TQ1	Torque setting input (current setting)	Internal pull-down resistor
3	45	Input	CLK	Clock input for microstepping	Internal pull-down resistor
4	47	Input	ENABLE	H: Enable; L: All outputs OFF	Internal pull-down resistor
5	48	Input	$\overline{\text{RESET}}$	L: Reset (The outputs are reset to their initial states.)	Internal pull-down resistor
6	50/51	—	SGND	Signal ground (for control block)	(Note 1)
7	53	—	OSC	A CR oscillation circuit is connected to this pin. Performs output chopping.	
8	55/56	Input	VM _B	Motor power supply pin (for phase-B driver)	(Note 1)
9	61/62	Output	OUT _{BM}	OUT _B output	(Note 1)
10	64 (*)	—	PGNDB	Power ground	
11	2/4 (*)	—	N _{FB}	Connection pin for a B-channel current sensing resistor Two pins of the TB6560AFG should be short-circuited.	(Note 1)
12	6/7	Output	OUT _{BP}	OUT _B output	(Note 1)
13	10/11	Output	OUT _{AM}	OUT _A output	(Note 1)
14	13/14 (*)	—	N _{FA}	Connection pin for an A-channel current sensing resistor Two pins of the TB6560AFG should be short-circuited.	(Note 1)
15	16	—	PGNDA	Power ground	
16	19/20	Output	OUT _{AP}	OUT _A output	(Note 1)
17	23	Output	M _O	Initial state sensing output. This pin is enabled in the initial state.	Open drain
18	25/26	Input	VM _A	Motor power supply pin (for phase-A driver)	(Note 1)
19	28	Output	Protect	When TSD is activated: High; when in normal state: High-Z.	Open drain
20	30/31	Input	V _{DD}	Power supply pin for control block	(Note 1)
21	33	Input	CW/CCW	Rotation direction select input. L: Clockwise; H: Counterclockwise	Internal pull-down resistor
22	35	Input	M2	Excitation mode setting input	Internal pull-down resistor
23	36	Input	M1	Excitation mode setting input	Internal pull-down resistor
24	38	Input	DCY2	Current decay mode setting input	Internal pull-down resistor
25	39	Input	DCY1	Current decay mode setting input	Internal pull-down resistor

G – DEFECTOLOGÍA EN EL CORTE POR ARCO DE PLASMA

Defectología del corte por plasma				
Localización	Defecto	Ac. Carbono	Ac. Inoxidable	Aluminio
Borde superior	Redondeado	Velocidad alta. Dist. boquillapieza muy lejos	Velocidad alta. Dist. boquillapieza muy lejos	Raras veces
	Con gotas y escoria	Dist. boquillapieza muy lejos. Se elimina fácilmente	Dist. boquillapieza muy lejos. H ⁽¹⁾ Alto	Dist. boquillapieza muy lejos
	Rugosidad superficial	Dist. boquillapieza muy corta	Concentración de H errónea. Mal ajuste velocidad	H Insuficiente
	Chafilán	Velocidad alta. Dist. boquillapieza muy lejos	Velocidad alta. Dist. boquillapieza muy lejos	Velocidad alta. H Insuficiente
	Mordedura	Intensidad alta. H Excesivo	Intensidad alta. H Excesivo	Rara vez
Borde inferior	Redondeado	Velocidad alta	rara vez	Rara vez
	Con gotas y escorias	Velocidad alta. Dist. lejos Exceso de H	Velocidad baja. H Excesivo	Velocidad alta
	Con rugosidad superficial	Dist. boquillapieza muy lejos	H Excesivo	H Insuficiente
	Chafilán	Rara vez	Rara vez	H Excesivo
Perpendicularidad	Divergencia superior e inferior	Rara vez	Intensidad alta H excesivo	Velocidad baja. Intensidad alta. H excesivo
	Convergencia superior e inferior	Velocidad alta	Velocidad alta. Intensidad baja	Rara vez

H – FICHA TÉCNICA DEL PROTOTIPO

FICHA TÉCNICA			
Ficha de:	Máquina: Prototipo de cortadora de plasma CNC.	Equipo:	Sistema: Automatizado
		EMPRESA	POWESTEM
		MODELO	CPCCNC
		SERIE	001
		Cortadora de plasma CNC	
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
Tipo de operación	Automático	Peso (kg)	92,87
Material de corte	Acero ASTM A36	Número de Ejes	3 (Eje X, Eje Y y Eje Z)
Espesor de corte	Placas de 6 mm	Velocidad de avance recomendada	0,4 m/min
Amperaje de trabajo	40 A	Alturas de corte	3 mm – 5 mm
Motores a paso	Nema 23	Gas de corte	Oxígeno
COMPONENTES			
Descripción	Material	Justificación técnica	
Mesa de trabajo	Tubo estructural y platinas.	Usado para el diseño de estructuras.	
Eje X	Varios	Están compuestos de varios elementos como husillo de bolas que con los motores a paso dan movimiento, guías lineales y partes de perfiles estructurales que forman los ejes.	
Eje Y	Varios		
Eje Z	Varios		

I – MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

PASOS PREVIOS A REALIZAR CORTES	
PASO 1: Se determina cual es el diseño o la figura que se quiere realizar, se hace un pequeño bosquejo con el fin de planificar lo que se quiere cortar.	PASO 2: Con ayuda de algún programa de software de diseño gráfico o de dibujo asistido por computadora CAD, se realiza la figura con las medidas que sean requeridas.
PASO 3: Para el diseño se debe considerar las entradas para la antorcha, ya que cuando se inicia directamente sobre la figura esta puede verse afectada por el arco de inicio, provocando que parte de la pieza se derrita, afectando el resultado final y las medidas deseadas.	PASO 4: Guardar el archivo en un formato compatible con el programa que va a realizar el trabajo de corte, en este caso puede ser en .dxf, .nc o G-Code.
PASO 5: Antes de cargar el diseño en el programa se debe comprobar que los ejes estén correctamente calibrados, de no ser el caso con ayuda del mismo programa se toman mediciones y este corrige las distancias que está realizando con respecto a la distancia real que se movió.	PASO 6: Subir el archivo compatible con el programa y seleccionar las unidades usadas puede ser en milímetros o pulgadas, si todo esta correctamente este mostrara la figura y se generaran los códigos.
PASO 7: Revisar las líneas de código, en este caso se trabaja en absolutas (G90), milímetros (G21) y en el plano XY (G17).	Paso 8: Ya que, al generarse automáticamente los códigos, este coloca la activación del plasma antes de lo requerido, por lo que hay que modificar donde se quiere que inicie el corte (M03) y de igual manera en que parte se apague (M05).
Paso 9	PASO 10

Se extrae el código completo del diseño y manualmente se modifica el encendido y el apagado de la antorcha, además de la velocidad y la altura de trabajo.	Se vuelve a cargar el código con dichas modificaciones, algunas de ellas son extraídas de los parámetros de cortes y de las pruebas realizadas con el fin de obtener la mejor calidad al momento de cortar.
PASO 11: Establecer el punto cero de la máquina, que es donde va a empezar y a donde va a retornar una vez terminado los cortes.	Paso 12: Iniciar el trabajo de corte.

SERVICIOS TÉCNICOS EN MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN

Dir.: Abdón Calderón Miguel Iturralde Sn Imbabura y Carchi

Email: powerstem2018@hotmail.com Telf: 0939243353

Ruc: 2290337111001

LAGO AGRIO - SUCUMBÍOS - ECUADOR

INFORME

Ambato, 12 de junio de 2025

Señores:

Universidad Tecnica de Ambato

Facultad de Ingenieria Civil y Mecánica

Mecánica

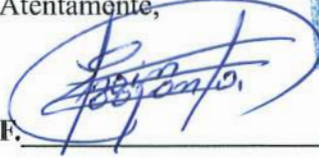
Presente,

De mi consideración.

Reciba un cordial saludo, a la vez que me permito informar que los trabajos estimados para la fabricación de la máquina presentada como proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, el mismo que consiste en el **"Diseño y construcción de un prototipo de máquina de corte de plasma cnc para placas de hierro de 6 mm de espesor para la empresa POWERSTEM CIA LTDA"**, misma que fue aprobado y bajo los términos correspondientes ha sido construida con ayuda y financiamiento de la empresa "POWERSTEM CIA LTDA" y con la colaboración del tesista, Sr Cristian Samuel Quishpe Toapanta con C.C. 1850461367, quien ha presentado la colaboración correspondiente respecto al cálculo y construcción mecánica de dicha máquina.

La fabricación de la máquina ha sido concluida y se ha realizado las pruebas correspondientes cumpliendo con los parámetros de diseño y las exigencias de corte de placas de 6 mm de espesor y que realice cortes de figuras. Es todo lo que puedo informar en lo que respecta a la culminación de este prototipo el cual facilitara el trabajo de corte de piezas.

Atentamente,


F. _____

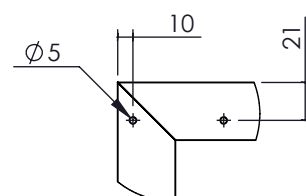
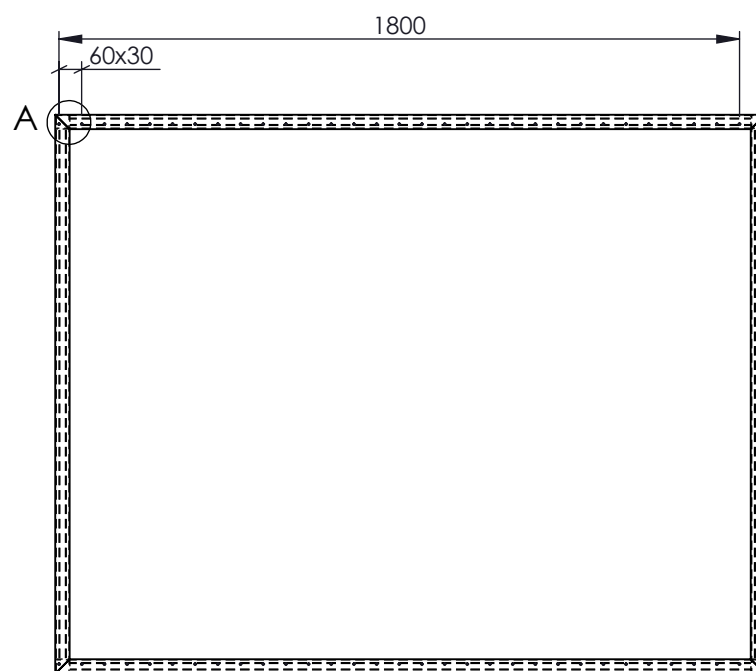
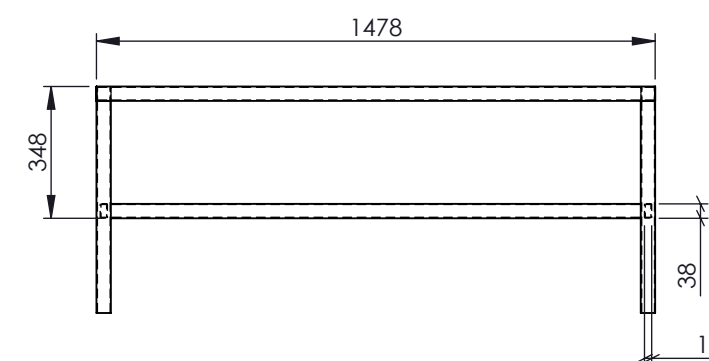


Gerente General

Toapanta Moposita Jesús Efraín

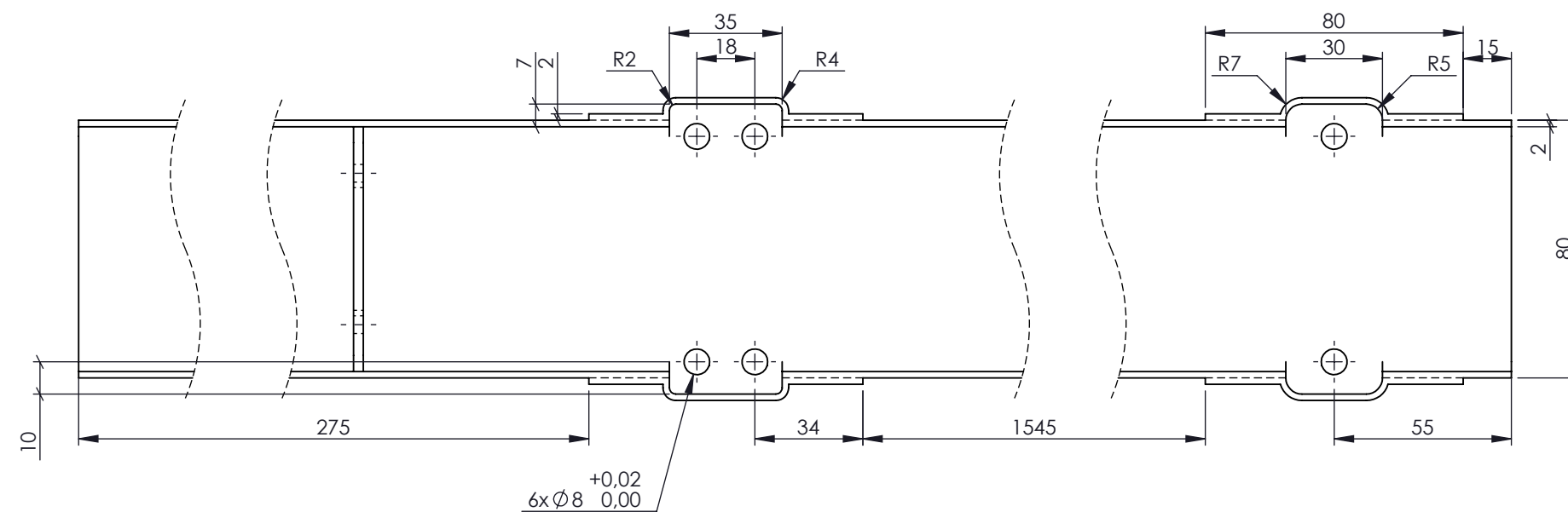
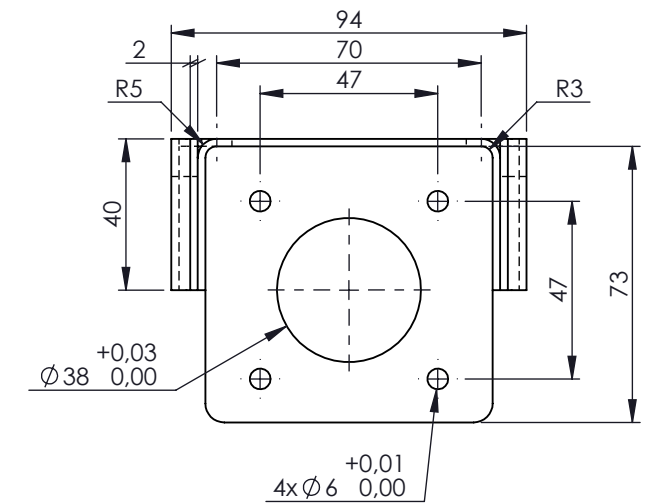
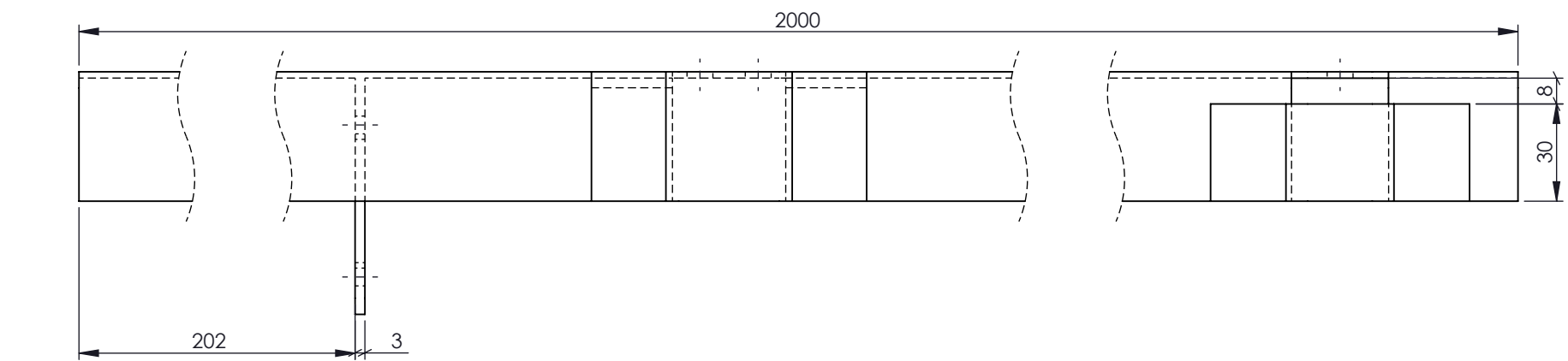
C.C: 1802806818

PLANOS

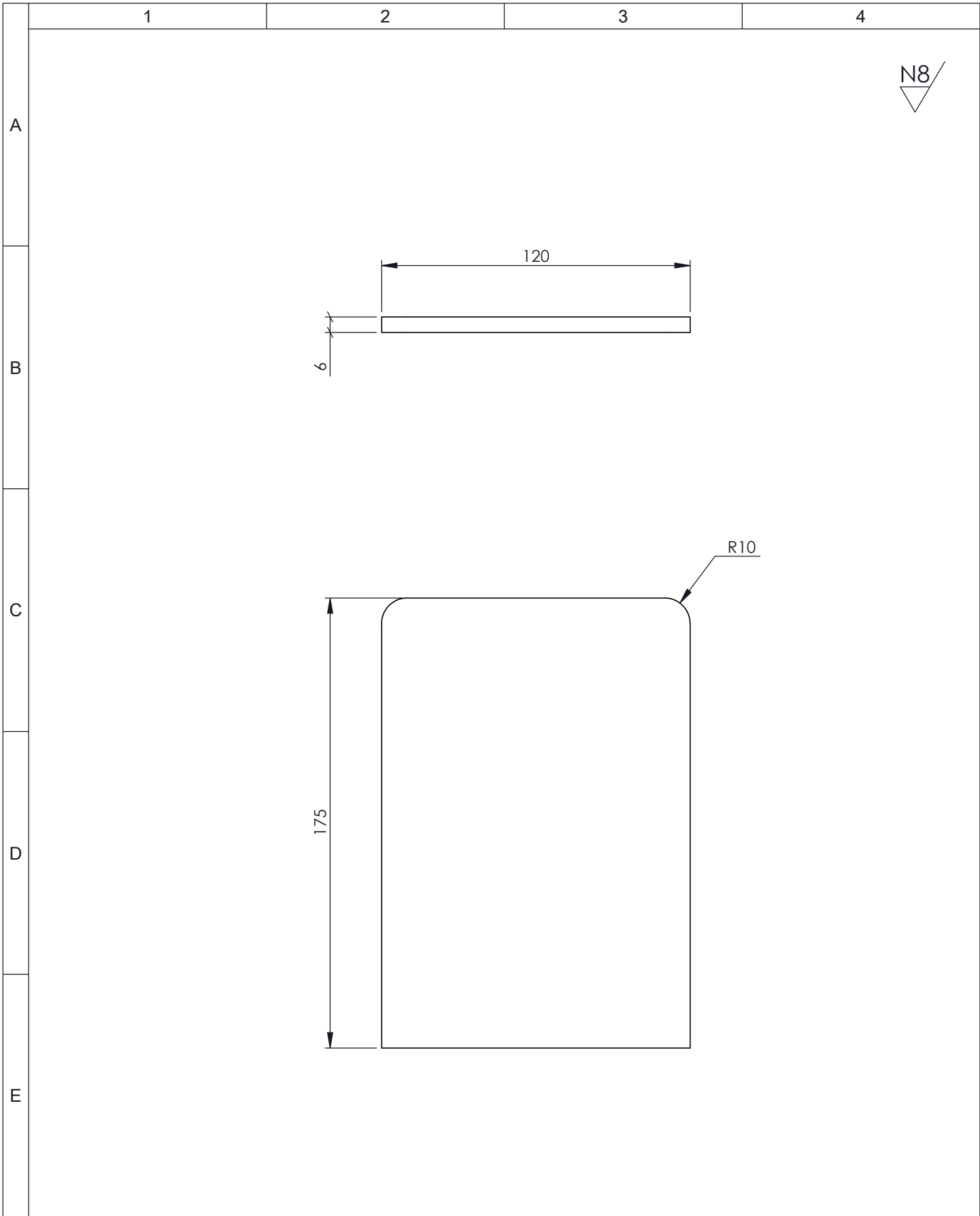


DETALLE A
ESCALA 1 : 5

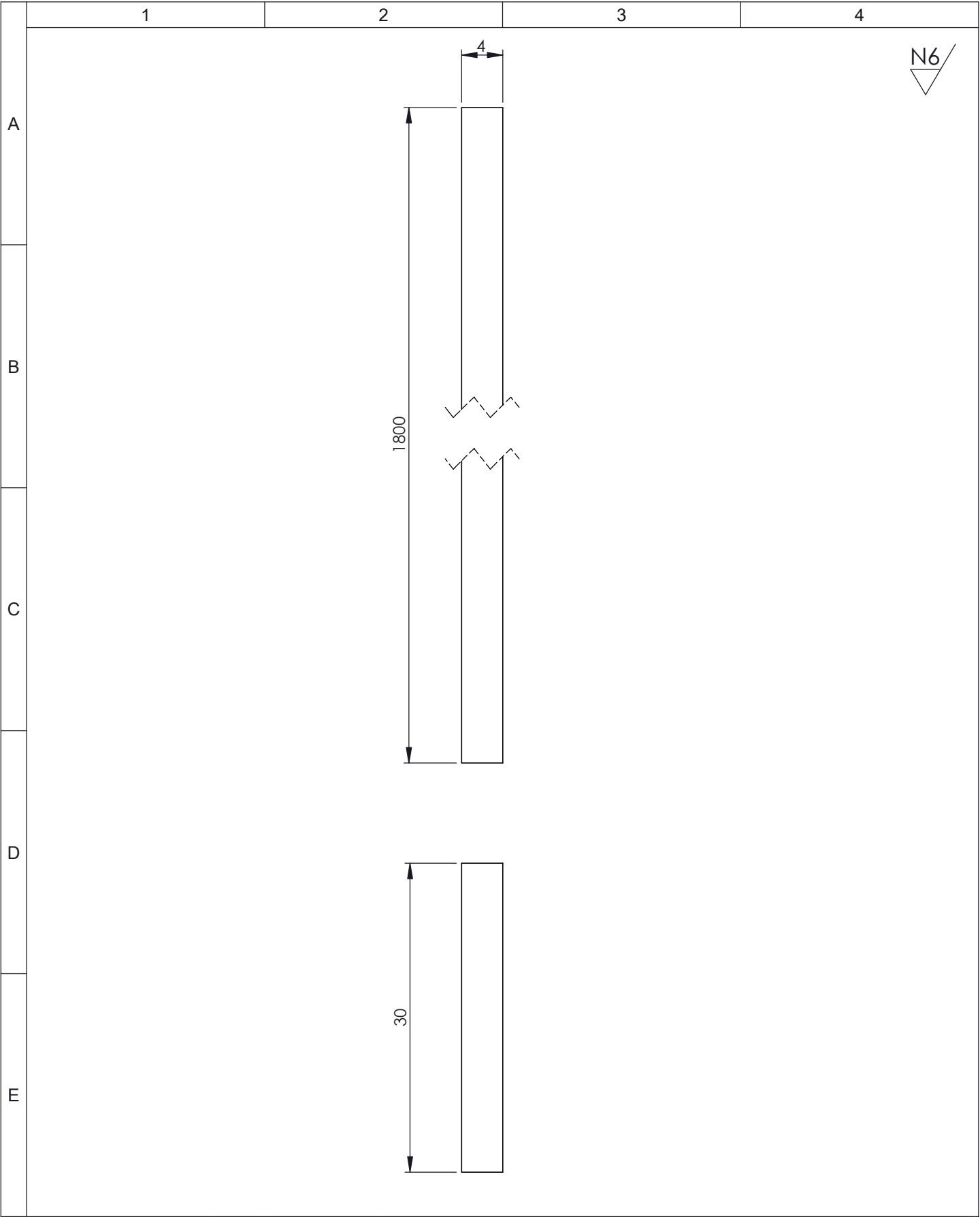
[illegible]



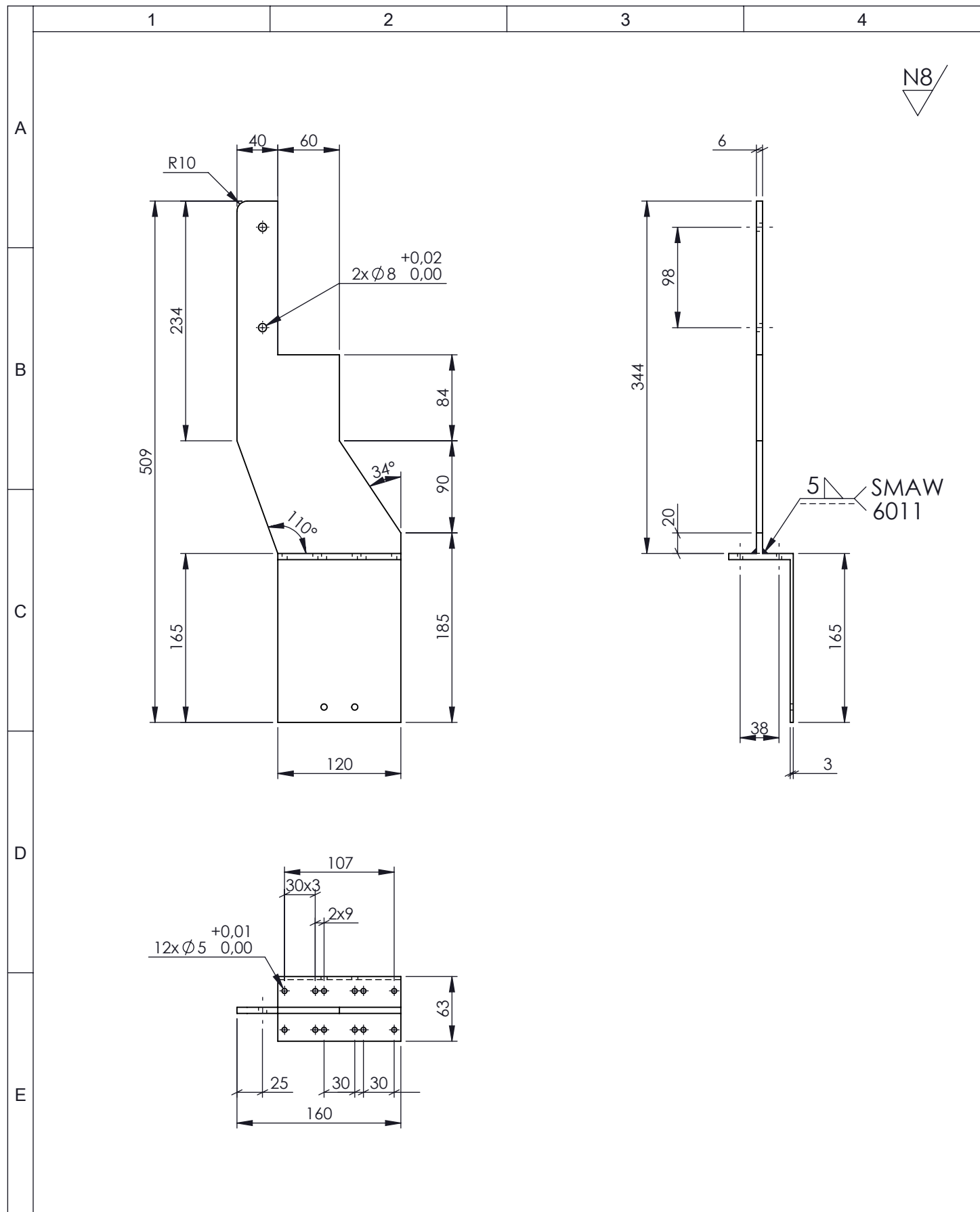
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:
				± 0.5	5.02 kg	ASTM A36
					Fecha	Nombre
				Dibujó:	9/6/2025	Quishpe C.
				Revisó:	9/6/2025	Ing. Carrillo C.
				Aprobó:	9/6/2025	Ing. Carrillo C.
				UTA Ingeniería Mecánica		Número de dibujo: 1 - 3
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución
						Registro:



				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.99 kg	Materiales: ASTM A36		
					Fecha	Nombre	Denominación: Topes	Escala: 1: 2
				Dibujó:	2/6/2025	Quishpe C.		
				Revisó:	2/6/2025	Ing. Carrillo C.		
				Aprobó:	2/6/2025	Ing. Carrillo C.		
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 1-4	Registro: 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución	



				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 1.70 kg	Materiales: ASTM A36		
					Fecha	Nombre	Denominación: Platina central	Escala: 2: 1
				Dibujó:	2/6/2025	Quishpe C.		
				Revisó:	2/6/2025	Ing. Carrillo C.		
				Aprobó:	2/6/2025	Ing. Carrillo C.		
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 1-6	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución	



Technical drawing of a mechanical part, showing front and side views with dimensions and a feature callout.

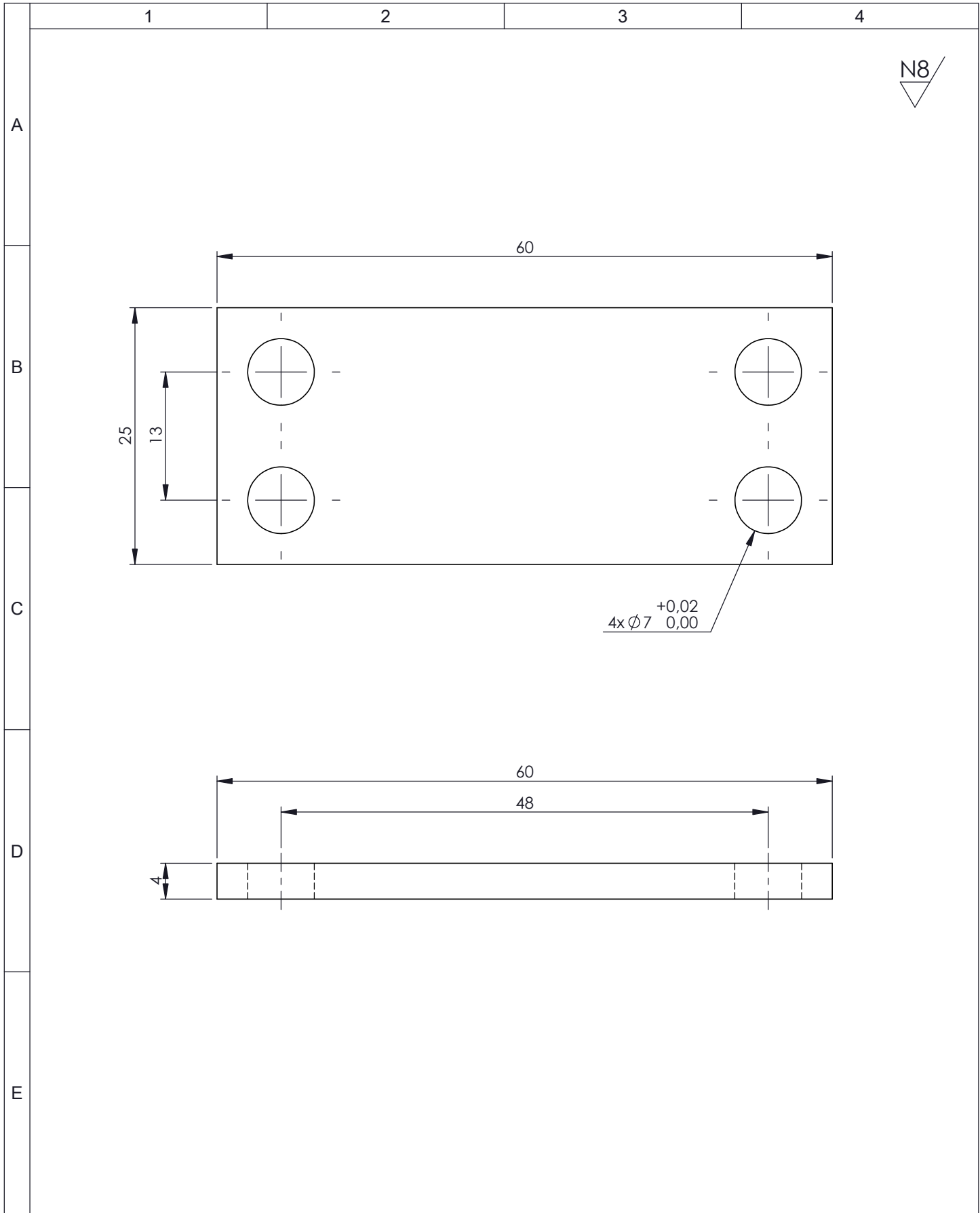
Front View (Top):

- Overall width: 60
- Overall height: 20
- Distance from top edge to center of holes: 10
- Two circular holes, each with a diameter of $\phi 7$.
- Feature callout: $2 \times \phi 7 \begin{smallmatrix} +0,02 \\ 0,00 \end{smallmatrix}$

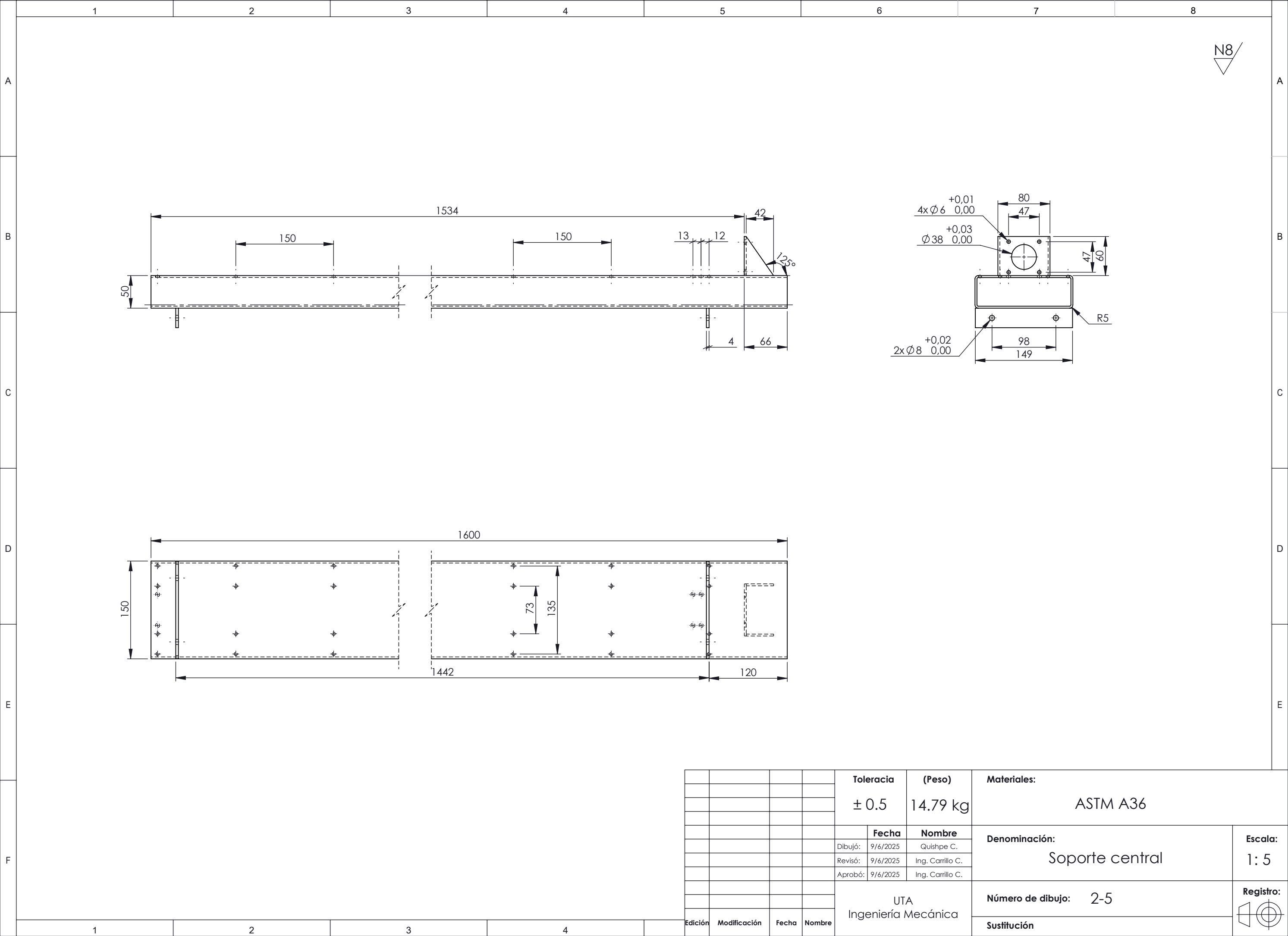
Side View (Bottom):

- Overall length: 48
- Overall thickness: 4
- Internal features are indicated by dashed lines.

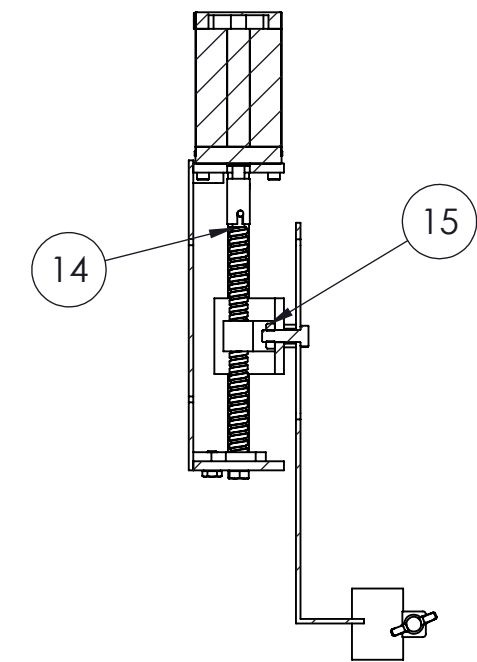
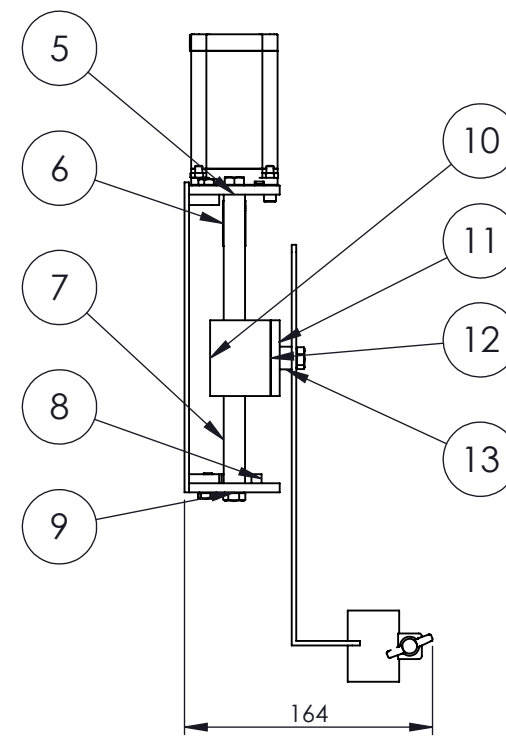
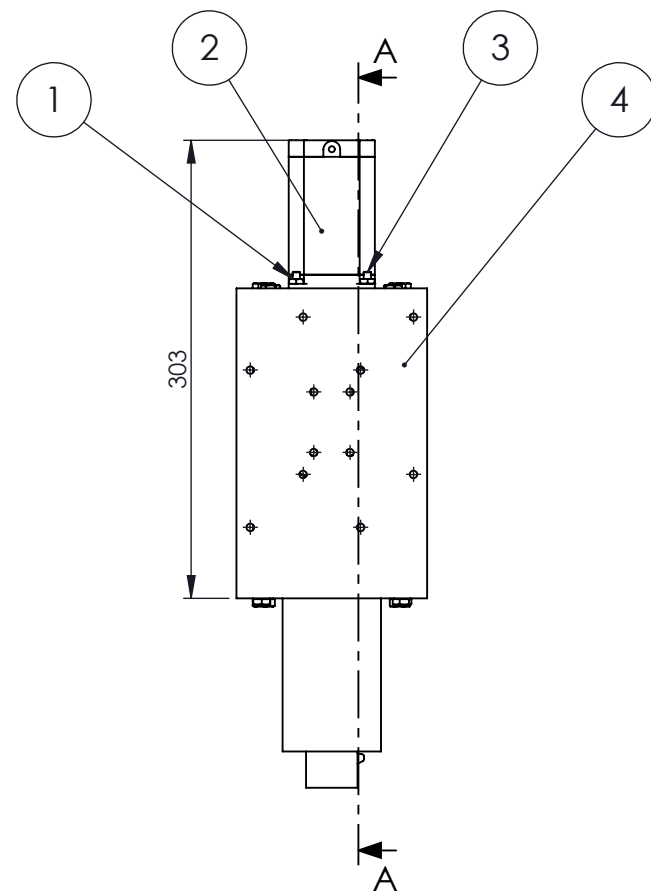
				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.03 kg	Materiales: ASTM A36		
					Fecha	Nombre	Denominación: Alza pequeño	Escala: 2: 1
			Dibujó:	3/6/2025	Quishpe C.			
			Revisó:	3/6/2025	Ing. Carrillo C.			
			Aprobó:	3/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 2-3		Registro: 
						Sustitución		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



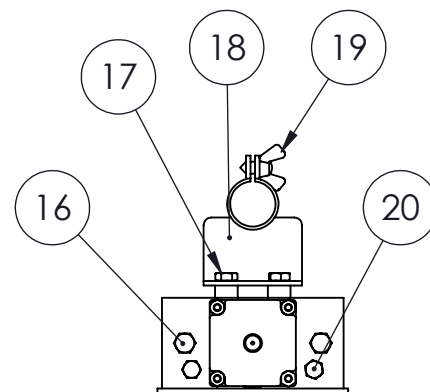
				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.04 kg	Materiales: ASTM A36			
					Fecha	Nombre	Denominación: Alza grande	Escala: 2: 1	
				Dibujó:	3/6/2025	Quishpe C.			
				Revisó:	3/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				Aprobó:	3/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				UTA			Número del dibujo: 2-4	Registro: 	
				Ingeniería Mecánica			Sustitución		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

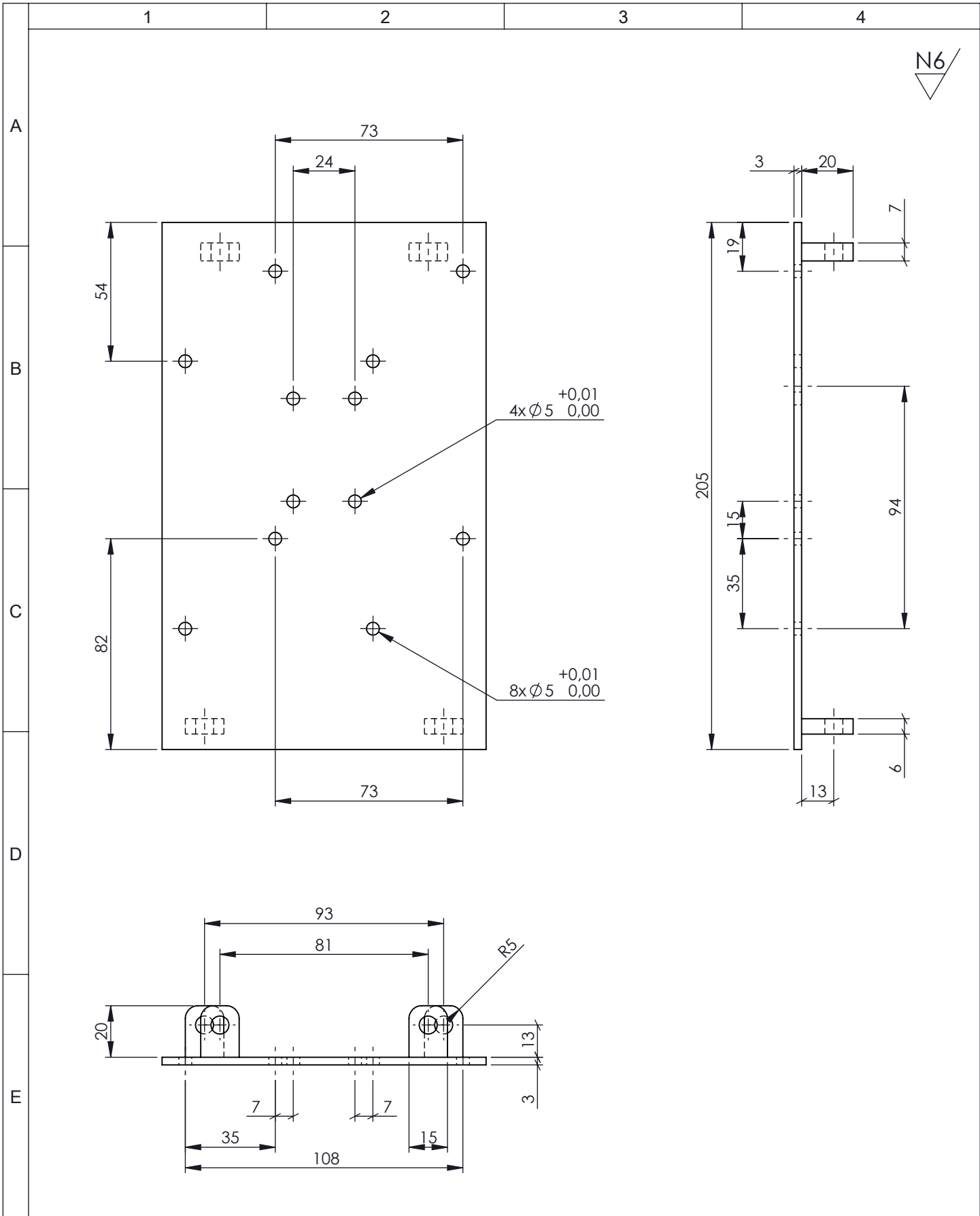


<

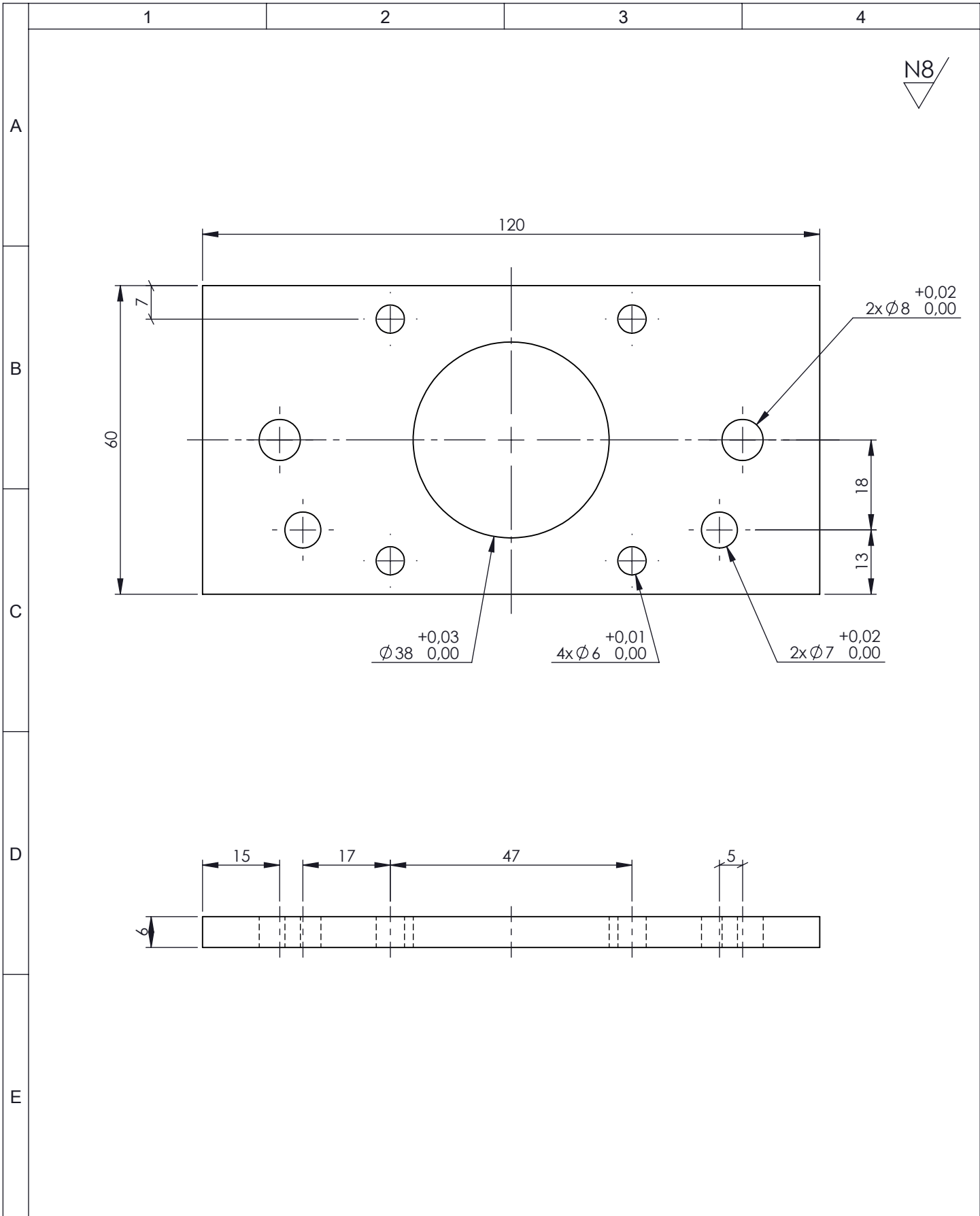


CORTE A-A
ESCALA 1 : 5

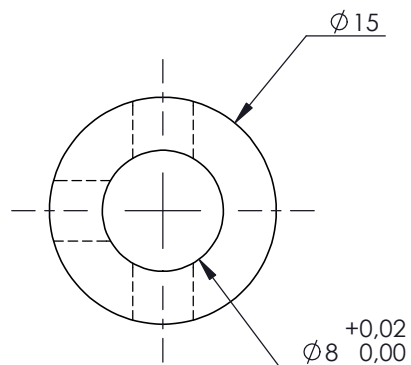
[illegible]



				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.65 kg	Materiales: ASTM A36			
					Fecha	Nombre	Denominación: Placa sujetadora	Escala: 1 : 2	
				Dibujó:	9/6/2025	Quishpe C.			
				Revisó:	9/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				Aprobó:	9/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				UTA			Número del dibujo: 3-1	Registro: 	
				Ingeniería Mecánica					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución		



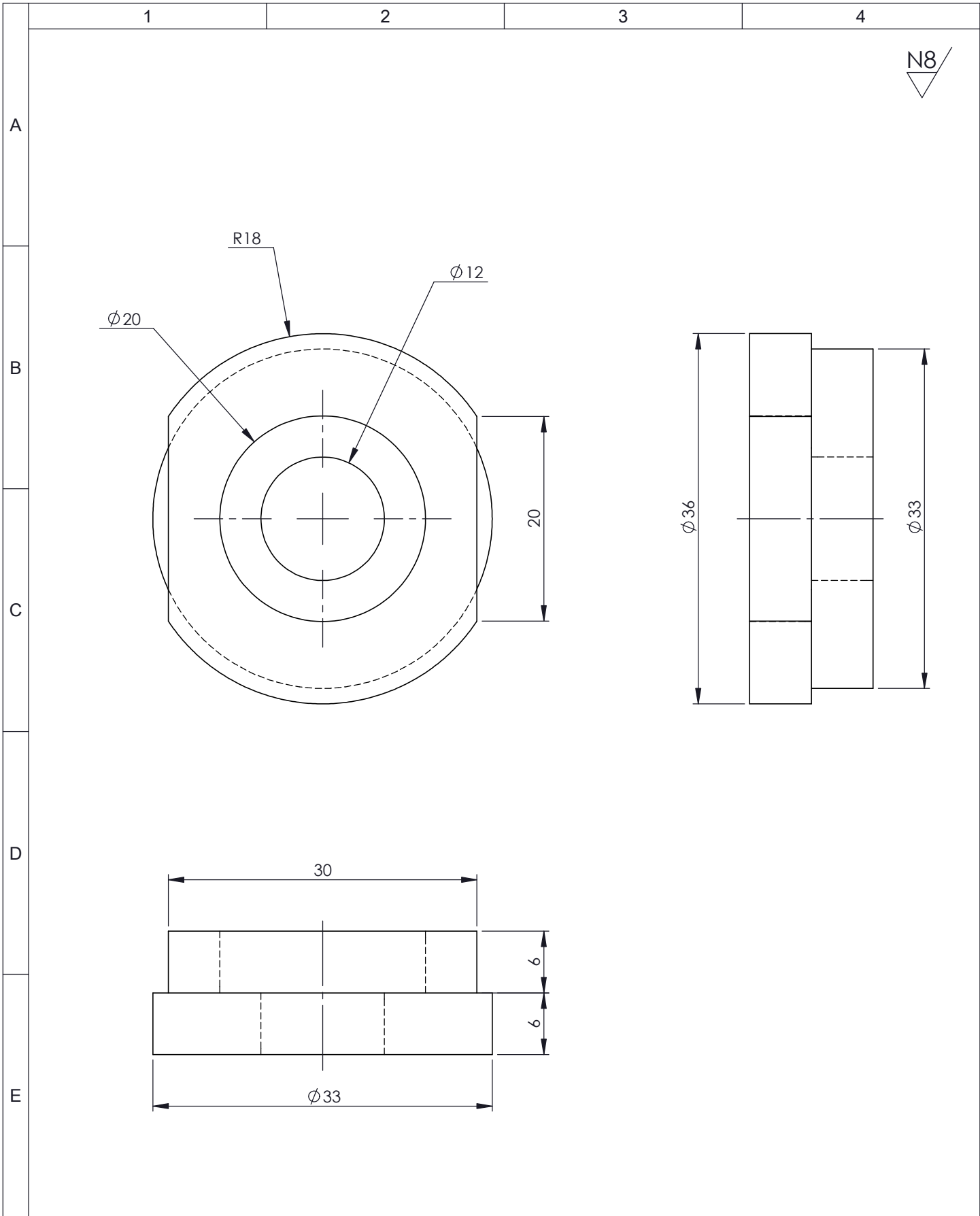
				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.27 kg	Materiales: ASTM A36		
						Denominación: Placa superior		
						Número del dibujo: 3-2		
						Sustitución		
						Registro:		
						Edición		
						Modificación		
						Fecha		
						Nombre		
						Dibujó: 9/6/2025		
						Revisó: 9/6/2025		
						Aprobó: 9/6/2025		
						UTA		
						Ingeniería Mecánica		



				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.03 kg	Materiales: ASTM A36		
					Fecha	Nombre	Denominación: Acople	Escala: 2: 1
				Dibujó:	5/6/2025	Quishpe C.		
				Revisó:	5/6/2025	Ing. Carrillo C.		
				Aprobó:	5/6/2025	Ing. Carrillo C.		
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 3-3	Registro: 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución	

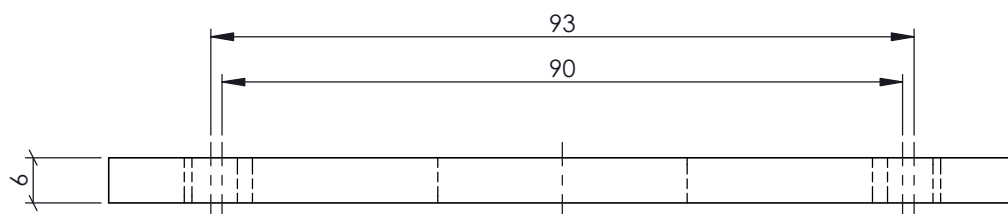
	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				
E				

				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.22 kg	Materiales: AISI 1018			
					Fecha	Nombre	Denominación: Eje guía	Escala: 2: 1	
				Dibujó:	5/6/2025	Quishpe C.			
				Revisó:	5/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				Aprobó:	5/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				UTA			Número del dibujo: 3-4	Registro: 	
				Ingeniería Mecánica					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución		

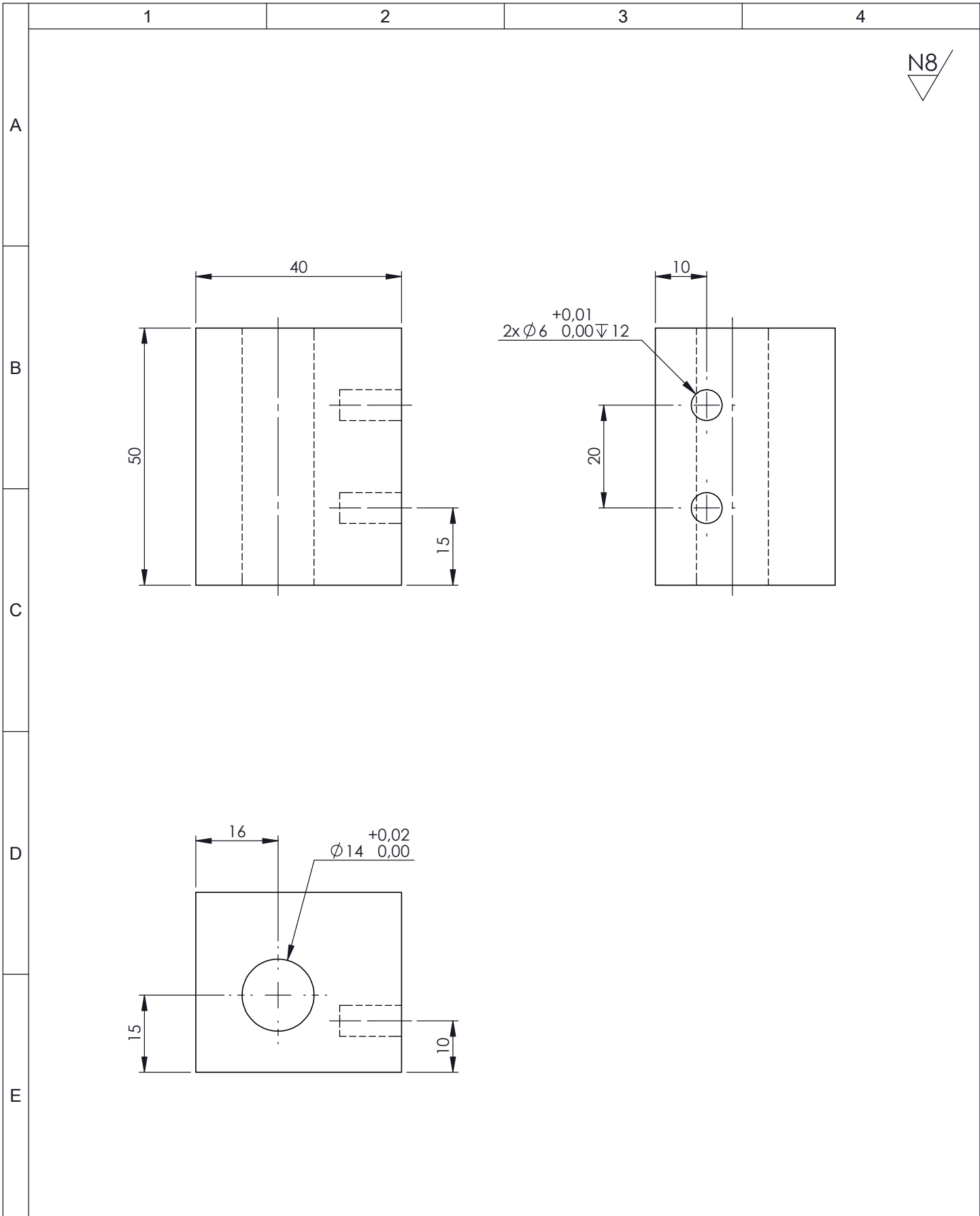


N8

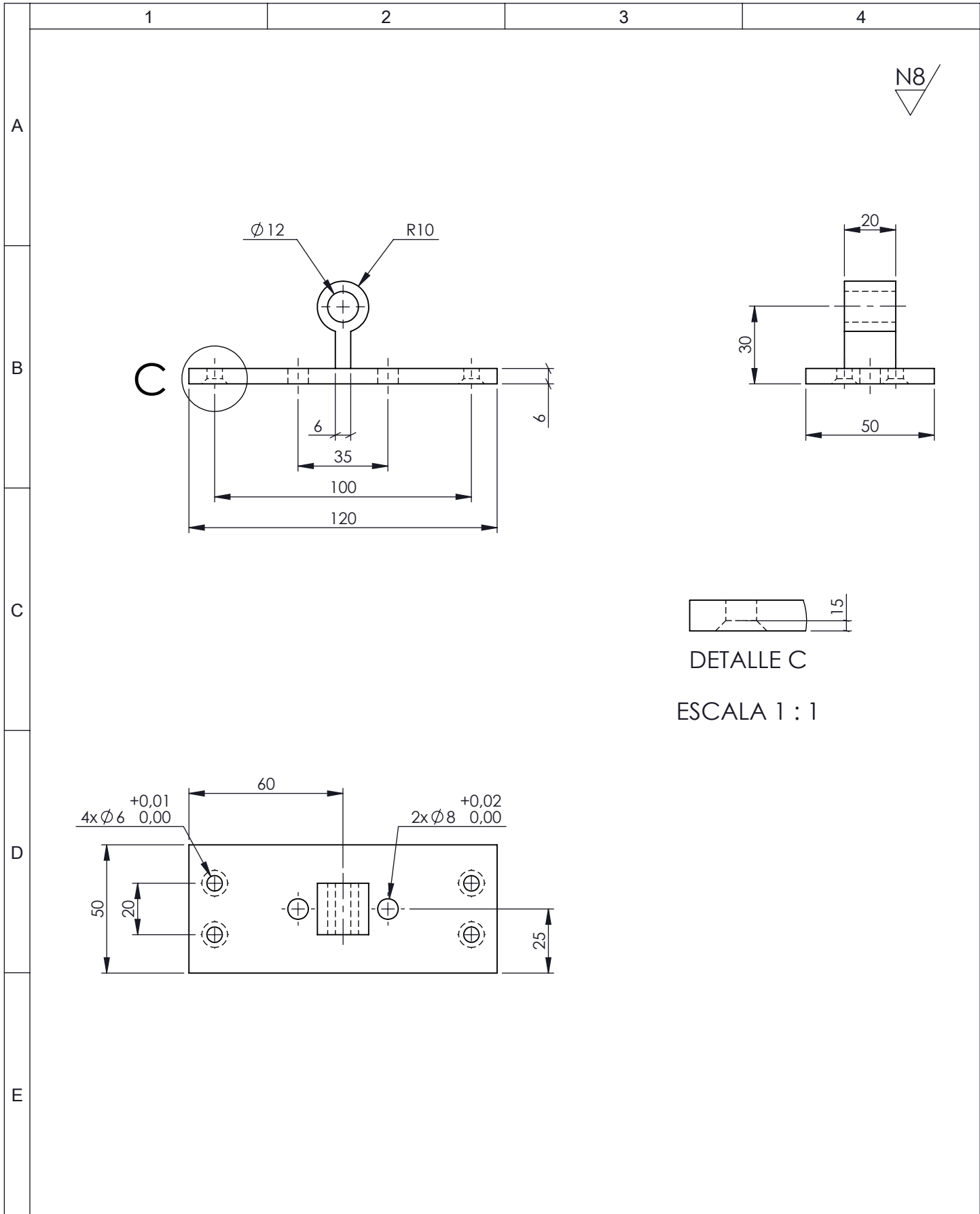
				Tolerancia		(Peso)	Materiales:		
				± 0.5		0.01 kg	Nylon		
					Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
				Dibujó:	5/6/2025	Quishpe C.			
				Revisó:	5/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				Aprobó:	5/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				UTA			Número del dibujo: 3-5		Registro:
				Ingeniería Mecánica					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución		



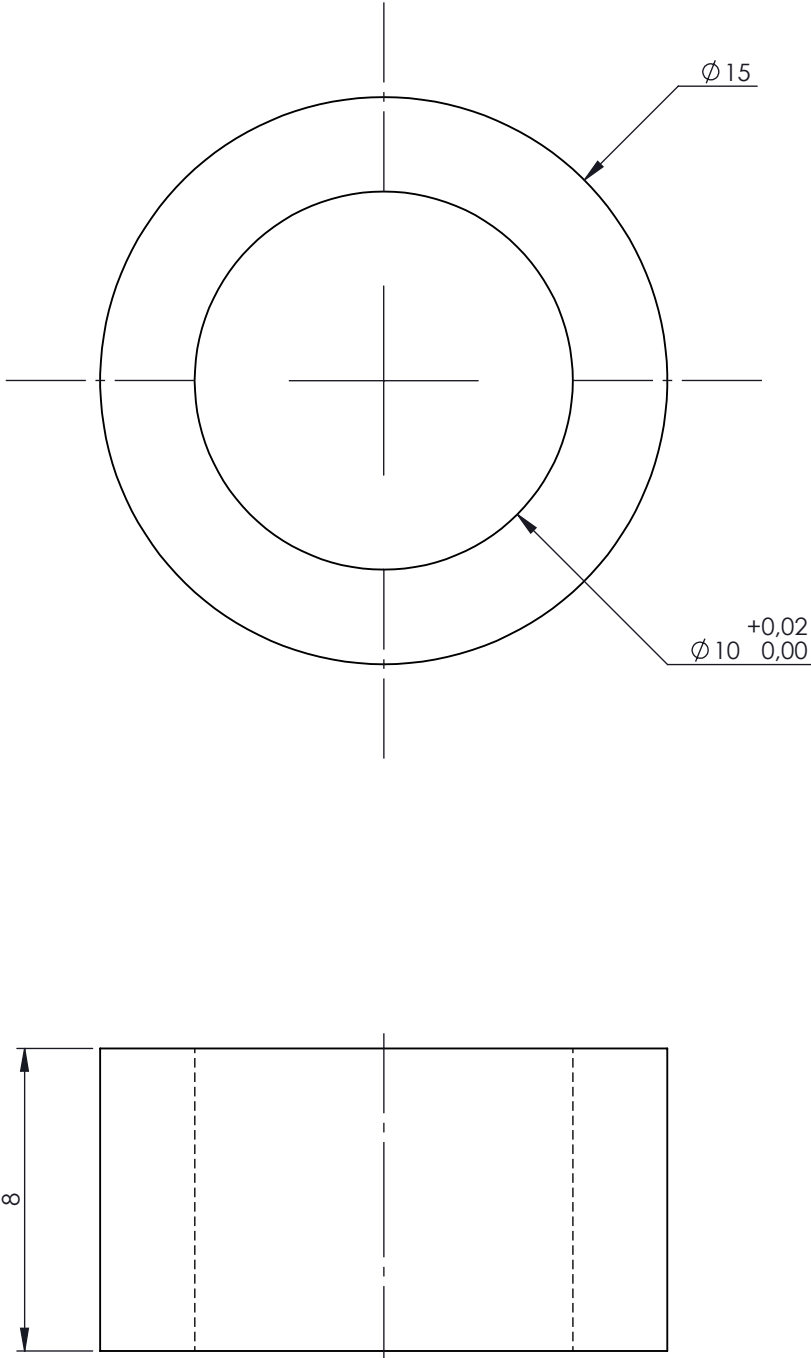
				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.29 kg	Materiales: ASTM A36		
					Fecha	Nombre	Denominación: Placa Inferior	Escala: 1: 1
			Dibujó:	5/6/2025	Quishpe C.			
			Revisó:	5/6/2025	Ing. Carrillo C.			
			Aprobó:	5/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 3-6		Registro: 
						Sustitución		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



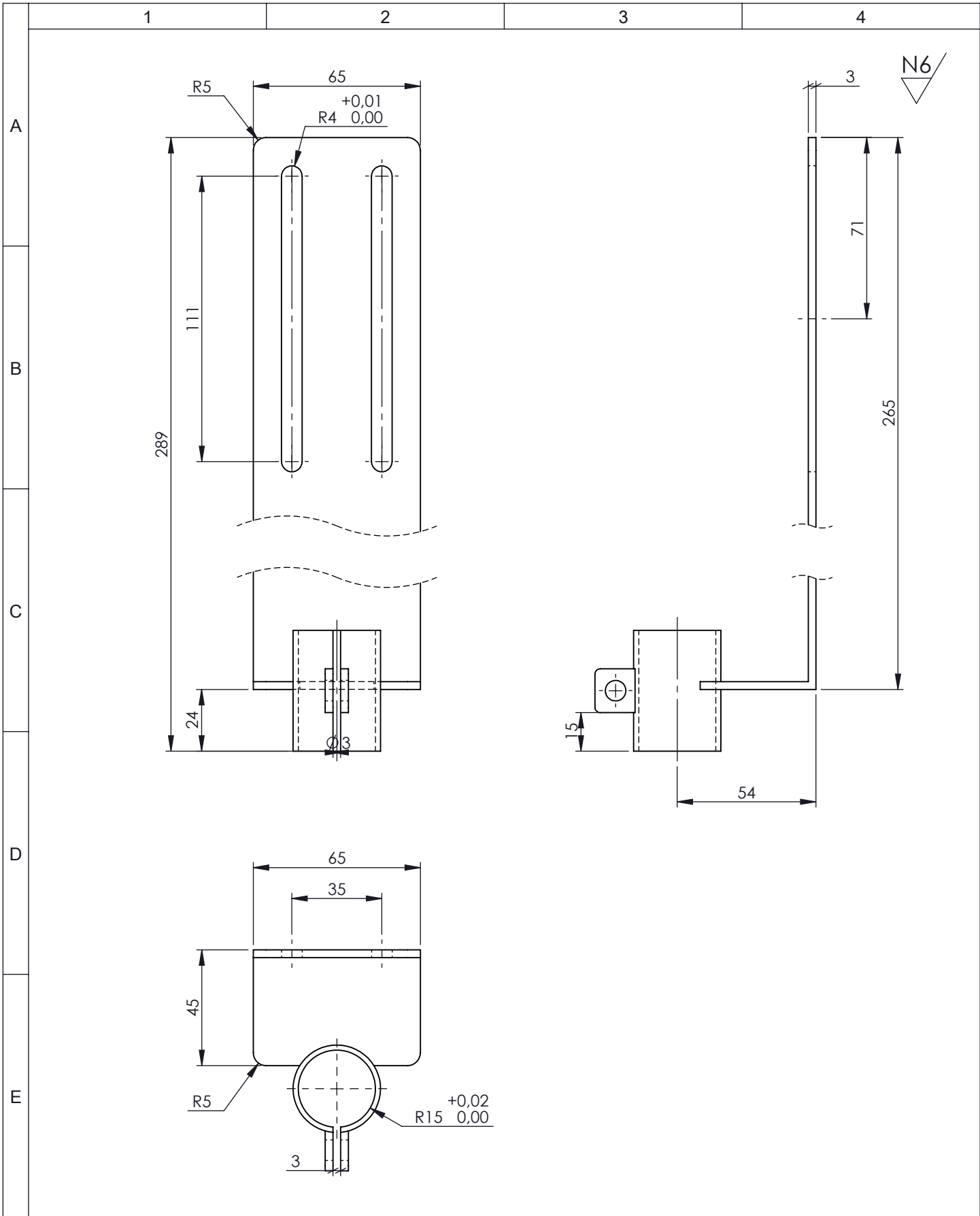
				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.07 kg	Materiales: Nylon		
						Denominación: Bloque guía derecho - izquierdo	Escala: 1: 1	
				Dibujó:	5/6/2025			Quishpe C.
				Revisó:	5/6/2025			Ing. Carrillo C.
				Aprobó:	5/6/2025			Ing. Carrillo C.
				UTA		Número del dibujo: 3-7	Registro: 	
				Ingeniería Mecánica				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución		



				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.32 kg	Materiales: ASTM A36		
						Denominación: Placa guía	Escala: 1 : 2	
				Fecha	Nombre			
				Dibujó: 9/6/2025	Quishpe C.			
				Revisó: 9/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				Aprobó: 9/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 3-8	Registro: 	
						Sustitución		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				
E				

				Tolerancia ± 0.5	(Peso) 0.01 kg	Materiales: ASTM A36			
					Fecha	Nombre	Denominación: Separador	Escala: 5: 1	
				Dibujó:	9/6/2025	Quishpe C.			
				Revisó:	9/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				Aprobó:	9/6/2025	Ing. Carrillo C.			
				UTA			Número del dibujo: 3-9	Registro: 	
				Ingeniería Mecánica					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución		



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 0.5	0.50 kg		
						ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 9/6/2025	Quishpe C.		
				Revisó: 9/6/2025	Ing. Carrillo C.		
				Aprobó: 9/6/2025	Ing. Carrillo C.	Número del dibujo: 3-10	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica		Sustitución	

