



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE MECATRÓNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA CNC ADAPTABLE A UNA MÁQUINA
COSEDORA INDUSTRIAL DE ZAPATOS PARA LA EMPRESA
PANTANERO CIA. LTDA.

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: LENIN JOSUE TAPIA ROLDAN
SEBASTIAN ONOFRE VAZQUEZ GONZALEZ

TUTOR: ING. CHRISTIAN MAURICIO COBOS MALDONADO PH.D.

Cuenca – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Lenin Josue Tapia Roldan con documento de identificación N° 0107197907 y Sebastian Onofre Vazquez Gonzalez con documento de identificación N° 0350121737; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Lenin Josue Tapia Roldan
0107197907



Sebastian Onofre Vazquez Gonzalez
0350121737

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Lenin Josue Tapia Roldan con documento de identificación N° 0107197907 y Sebastian Onofre Vazquez Gonzalez con documento de identificación N° 0350121737, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño de un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos para la empresa PANTANERO CIA. LTDA.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Lenin Josue Tapia Roldan
0107197907



Sebastian Onofre Vazquez Gonzalez
0350121737

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Christian Mauricio Cobos Maldonado con documento de identificación N° 0104015938, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO DE UN SISTEMA CNC ADAPTABLE A UNA MÁQUINA COSEDORA INDUSTRIAL DE ZAPATOS PARA LA EMPRESA PANTANERO CIA. LTDA.”, realizado por Lenin Josue Tapia Roldan con documento de identificación N° 0107197907 y Sebastian Onofre Vazquez Gonzalez con documento de identificación N° 0350121737, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Christian Cobos', is written over a horizontal line.

Ing. Christian Mauricio Cobos Maldonado, Ph.D.
0104015938

Dedicatoria

Lenin Josue

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, ya que con su esfuerzo, paciencia y apoyo me han permitido cumplir este objetivo. Han sido un ejemplo a lo largo de mi vida y me han guiado durante todo este proceso, manteniéndome firme ante todas las adversidades.

De igual manera a todas las personas quienes han sido parte de este proceso, como lo son familiares, compañeros, amigos y docentes ya que han sido un gran apoyo durante todo este tiempo.

Lo dedico a Dios quien ha sido el guía a lo largo de mi vida y me ha permitido llegar a este punto de mi vida.

Sebastian Onofre

A mis progenitores y consanguíneos por ser los primeros en creer en mis capacidades, por ser fuente interminable de amor, comprensión y apoyo a lo largo de mi vida y por ser mi mayor inspiración para lograr mis metas académicas y personales.

De igual manera dedico este trabajo a mis familiares, amigos, compañeros y docentes que fueron parte fundamental de mi proceso de formación profesional y contribuyeron de manera directa o indirecta en este logro personal.

Al supremo creador por ser el guía principal de mi camino, ya que por su misericordia me ha puesto en este lugar permitiéndome crecer personal y profesionalmente .

Agradecimientos

Lenin Josue

Agradezco a la vida y a todas las personas que han sido parte de la mía, principalmente a mis padres quienes desde mi primer segundo de vida estuvieron conmigo y me han seguido acompañando hasta hoy, con su esfuerzo, amor, comprensión, apoyo y motivación han formado la persona que soy actualmente.

Agradezco a mis abuelos quienes siempre han estado presentes y motivándome a seguir con este proceso, a mis tíos quienes siempre han estado prestos en apoyarme en cada objetivo.

Al Ing. Christian Cobos, quien me ha compartido su conocimiento para poder desarrollar este trabajo de titulación y a sido un gran ser humano, pues se ha encargado de hacer todo este proceso más ameno.

Sebastian Onofre

Expreso mi mas profundo sentido de agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma me han brindado su apoyo, conocimiento y aliento a lo largo de esta etapa de mi vida. En especial agradezco a mis padres por su apoyo incondicional durante mi formación académica, ya que gracias al ejemplo y valores que me han inculcado dieron forma al ser humano que soy.

Agradezco de igual forma a mis demás familiares y amigos por su comprensión y aliento que han servido de motivación para superar los desafíos que se han presentado durante este camino y seguir logrando mis metas y propósitos.

Por último y no menos importante agradezco a mi tutor Ing. Christian Cobos, por impartir su amplio conocimiento, por su guía, paciencia, y dedicación en cada etapa de este trabajo de titulación. Sus valiosos comentarios y aportes fueron de vital importancia para enriquecer el presente trabajo.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XV
Abstract	XVI
1. Introducción	1
2. Problema	1
2.1. Antecedentes	1
2.2. Descripción del problema	2
2.3. Importancia y alcances	2
2.4. Delimitación	3
2.4.1. Espacial o geográfica	3
2.4.2. Temporal	3
2.4.3. Sectorial o institucional	3
2.5. Problema General	4
2.6. Problemas Específicos	4
3. Objetivos	4
3.1. Objetivo General	4
3.2. Objetivos Específicos	4
4. Hipótesis	5
4.1. Hipótesis General	5
4.2. Hipótesis Específicas	5

5. Marco Teórico	5
5.1. Diseño Mecatrónico	5
5.2. Proceso de costura	6
5.3. Máquinas cosedoras industriales	7
5.4. Tipos de puntadas	8
5.5. Tipos de máquinas CNC	9
5.6. Programación CNC	10
5.6.1. Código G	10
5.6.2. Estructura de Bloques	11
5.7. Sistemas de transmisión de movimiento	11
5.7.1. Husillo de bolas	11
5.7.2. Piñón-cremallera	12
5.7.3. Motor lineal	13
5.8. Sistemas mecánicos de guiado lineal	14
5.8.1. Guía lineal de contacto deslizante	14
5.8.2. Guía lineal de contacto rodante	14
5.9. Controlador CNC	15
5.10. Arquitectura general de una máquina herramienta CNC	16
5.10.1. Unidad de entrada y salida de datos	16
5.10.2. Unidad de memoria interna e interpretación de órdenes	16
5.10.3. Unidad de cálculo	17
5.10.4. Unidad de enlace de la máquina herramienta con los servomecanismos	17
5.10.5. Drivers para el control de motores	18
5.10.6. Motores paso a paso	18
5.10.7. Servomotores	19
5.11. Sensores de posición	20
5.11.1. Sensor de posición Óptico	20
5.11.2. Sensor de posición Inductivo	21
5.11.3. Sensor de posición Capacitivo	21
5.11.4. Sensor final de carrera	22
5.12. Eficiencia del proceso de costura	22
5.13. Máquinas cosedoras CNC	23

6. Marco metodológico	25
6.1. Caracterización de los componentes mecánicos y eléctricos de la máquina industrial de costura IVOM AQ serie IVM 55	25
6.1.1. Máquina	25
6.1.2. Componentes mecánicos	26
6.1.3. Componentes eléctricos	27
6.2. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño	27
6.2.1. Requisitos y requerimientos del diseño	27
6.2.2. Especificaciones de las métricas del diseño	28
6.2.3. Modelos de subsistemas	29
6.3. Selección de los componentes, mecánicos, eléctricos y electrónicos para la adecuación del diseño del sistema CNC adaptable a la máquina industrial de costura IVOM AQ serie IVM 55	31
6.3.1. Selección del tipo de actuador, controlador, sistema mecánico de transmisión de movimiento y sistema mecánico de guiado lineal	32
6.4. Selección de los componentes para el diseño	40
6.4.1. Sistema mecánico	40
6.4.2. Sistema eléctrico	43
6.4.3. Sistema electrónico	44
6.4.4. Sistema de control	45
6.5. Propuesta del diseño del sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos	48
6.5.1. Diseño del sistema adaptable a una máquina de coser	48
6.5.2. Cálculo de esfuerzos en la estructura mecánica del sistema CNC	52
6.5.3. Análisis de la estructura por medio de elementos finitos	64
6.5.4. Dimensionamiento del motor	70
6.5.5. Selección del motor	74
6.5.6. Cálculo de los pasos por unidad del motor	75
6.6. Esquema electrónico del sistema CNC	77
6.7. Configuración del software Mach 3	79
6.7.1. Requisitos para la instalación del software Mach3	80
6.7.2. Configuración inicial	81
6.7.3. Configuración de las señales de salida para ejes y husillo	82
6.7.4. Configuración de las señales de entrada	83
6.7.5. Configuración de los puertos de entrada de los encoders	84

6.7.6. Configuración de los motores	85
6.8. Simulación del diseño mecánico y movimiento del sistema CNC adaptable . .	87
6.8.1. Simulación del movimiento del sistema CNC	87
6.9. Análisis de costos	90
6.9.1. Componentes mecánicos	90
6.9.2. Componentes eléctricos, electrónicos y de control	92
6.9.3. Costos de manufactura	92
6.9.4. Costo total	94
7. Resultados	94
7.1. Resultado de la identificación de parámetros iniciales para el diseño de un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos	94
7.2. Resultado de la propuesta de diseño de un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos	95
7.3. Resultados del análisis de costos	96
7.4. Resultados de la evaluación del diseño mecatrónico de un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos	97
7.4.1. Resultados de la evaluación del diseño mecánico	97
7.4.2. Resultados de la evaluación de la velocidad de costura	98
8. Conclusiones	99
9. Recomendaciones	100
Referencias	104
ANEXOS	105

Lista de Tablas

1.	Códigos G más utilizados.	10
2.	Tabla de los requisitos y requerimientos del diseño.	28
3.	Tabla de las especificaciones de las métricas del diseño.	29
4.	Tabla comparativa de las especificaciones de los actuadores.	32
5.	Tabla de ponderación para la selección del motor.	33
6.	Tabla comparativa de las especificaciones de los sensores de posición.	34
7.	Tabla de ponderación para la selección del tipo de sensor de posición.	35
8.	Tabla comparativa de las especificaciones del controlador numérico.	36
9.	Tabla de ponderación para la selección del Controlador.	36
10.	Tabla comparativa de las especificaciones de los sistemas mecánicos de transmisión de movimiento.	37
11.	Tabla de ponderación para la selección del sistema mecánico de transmisión de movimiento.	38
12.	Tabla comparativa de las especificaciones de los sistemas mecánicos de guiado lineal.	39
13.	Matriz de decisión del sistema mecánico de guiado lineal.	40
14.	Especificaciones Linear ball bearing guideway KUV15-B-ES.	41
15.	Especificaciones Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6.	42
16.	Fuente de alimentación ALITOVE S-360-24.	43
17.	Sensor de posición Moujen ME-8104.	44
18.	Especificaciones de la tarjeta de control USB Mach 3 BSMCEO4U-PP.	46
19.	Especificaciones del driver de motor paso a paso de lazo cerrado CL57T.	48
20.	Parámetros del mallado de la estructura mecánica.	65
21.	Especificaciones del motor paso a paso de lazo cerrado Nema 23 23HS30-5004D-E1000.	75
22.	Especificaciones del motor paso a paso de lazo cerrado Nema 23 23HS30-5004D-E1000.	86
23.	Tabla de costos de los componentes mecánicos.	90
24.	Tabla de costos de los componentes eléctricos, electrónicos y de control.	92
25.	Tabla de costos de manufactura.	93
26.	Costo total del sistema CNC.	94
27.	Parámetros iniciales de la máquina de costura.	95

28.	Componentes de la propuesta de diseño de un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de calzado.	96
29.	Resultados del análisis estructural de los puntos críticos de la estructura mecánica del sistema CNC.	97
30.	Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.	98
31.	Comparación de la costura manual y la propuesta del sistema automatizado.	99

Lista de Figuras

1.	Diagrama de proceso de Costura	7
2.	Clasificación de las puntadas según la norma ISO 4915.	9
3.	Estructura de Bloques	11
4.	Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6.	12
5.	Mecanismo piñón-cremallera.	12
6.	Motor lineal	13
7.	Guía lineal de contacto deslizante	14
8.	Guía lineal con rodamiento de bolas.	15
9.	Guía lineal con rodamiento de rodillos.	15
10.	Software de control	16
11.	Motor paso a paso Nema 23	18
12.	Servomotor de corriente alterna.	20
13.	NEXIO BAS-342HX	24
14.	Mitsubishi serie PLK-G6030	25
15.	Máquina de costura IVOM AQ	26
16.	Modelo estático.	30
17.	Modelo dinámico.	30
18.	Modelo electrónico	31
19.	Modelo de durabilidad.	31
20.	Linear ball bearing guideway KUV E15-B-ES.	41
21.	Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6.	42
22.	Fuente de alimentación ALITOVE DC S-360-24.	43
23.	Sensor de posición Moujen ME-8104.	44
24.	Tarjeta de control USB Mach 3 BSMCEO4U-PP (4 ejes).	45
25.	Driver de motor paso a paso de lazo cerrado CL57T.	47
26.	Sistema mecánico de movimiento en el eje X.	49
27.	Sistema mecánico de movimiento en dos ejes X y Y.	50
28.	Sistema mecánico adaptable a una máquina de coser.	51
29.	Adaptación del diseño del sistema CNC a la máquina industrial de costura IVOM AQ serie IVM 55.	52
30.	Estructura mecánica del sistema CNC.	53
31.	Diagrama de cuerpo libre del perfil angular A.	54
32.	Diagrama de fuerza cortante del perfil angular A.	55

33.	Diagrama de momento flector del perfil angular A.	55
34.	Sección transversal del perfil angular A.	57
35.	Diagrama de cuerpo libre del perfil angular B.	60
36.	Diagrama de fuerza cortante del perfil angular B.	61
37.	Diagrama de momento flector del perfil angular B.	61
38.	Sección transversal del perfil angular B.	62
39.	Mallado de la estructura mecánica.	65
40.	Asignación de las fuerzas que soporta la estructura mecánica.	66
41.	Análisis de esfuerzos de Von Mises.	67
42.	Análisis de esfuerzos de Von Mises en el perfil angular A.	68
43.	Análisis de esfuerzos de Von Mises en el perfil angular B.	69
44.	Análisis de la deformación total de la estructura mecánica.	70
45.	Motor paso a paso de lazo cerrado Nema 23 23HS30-5004D-E1000.	74
46.	Esquema electrónico del sistema.	78
47.	Esquema electrónico del controlador.	79
48.	Ventana principal del software Mach3.	80
49.	Ventana de configuración inicial.	82
50.	Ventana Configuration Ports & Pins / Motor Outputs.	83
51.	Ventana Configuration Ports & Pins / Input Signals.	84
52.	Ventana Configuration Ports & Pins / Encoder/MPG's.	85
53.	Ventana Motor Tuning and Setup.	86
54.	Modelo simplificado del sistema CNC adaptable.	87
55.	Sistema de control de movimiento.	88
56.	Gráfica de torque y velocidad del sistema CNC.	89

Resumen

El presente trabajo de titulación plantea una propuesta de diseño de un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos, con el fin de automatizar y reducir el tiempo del proceso de costura y mejorar la calidad del producto final ya que el proceso actualmente es guiado de forma manual.

Los procesos manuales que se llevan a cabo en la producción industrial de calzado de seguridad aportaron en gran medida en la identificación de las necesidades a satisfacer en la industria textil. En el mercado existe maquinaria de costura industrial que automatiza el proceso de costura, sin embargo, esta tiene un costo elevado, además que no están disponibles en el mercado nacional, por lo que para adquirir es necesario hacer una importación. Debido a esto las máquinas industriales de costura tradicionales han servido de base para proponer el diseño de un sistema CNC que automatice el proceso de costura, brindando una alternativa a la industria textil.

Fruto de esto se obtuvo un sistema mecatrónico, compuesto por sistemas mecánicos de transmisión de movimiento, sistemas mecánicos de guiado lineal, actuadores, drivers, sensores, software y tarjetas de control que permiten procesar el código-G de un determinado molde de costura para controlar el movimiento del sistema tanto en el eje X como en el eje Y.

Una vez realizó el diseño mecánico del sistema CNC, mediante el análisis de elementos finitos se verificó que la resistencia de la estructura mecánica al ser sometida a cargas propias del sistema, además esta no sufrirá deformaciones significativas que afecten su funcionalidad; esto permitió validar el diseño mecánico propuesto. Para el control del sistema se propone utilizar el controlador CNC Mach 3 debido a su fácil implementación ya que corre sobre el sistema operativo Windows, el software convierte una computadora en una interfaz del controlador de una máquina CNC, adicional a esto se seleccionó una tarjeta de control USB para controlar el movimiento de los actuadores mediante el procesamiento de código G.

Palabras clave: Código-G, Sistema CNC, Mach 3, Sistema mecánico de transmisión de movimiento, Sistema mecánico de guiado lineal, Pasos por unidad, perfil angular.

Abstract

This degree project proposes the design of a CNC system adaptable to an industrial shoe sewing machine, in order to automate and reduce the time of the sewing process and improve the quality of the final product, since the process is currently guided manually.

The manual processes that are carried out in the industrial production of safety footwear contributed greatly in the identification of the needs to be satisfied in the textile industry. There is industrial sewing machinery that automates the sewing process; nevertheless, it is expensive and is not available in the domestic market, so it is necessary to import it in order to acquire it. Because of this, the traditional industrial sewing machines have served as the basis for proposing the design of a CNC system that automates the sewing process, providing an alternative to the textile industry.

As a result of this, a mechatronic system was obtained, composed of mechanical motion transmission systems, mechanical linear guidance systems, actuators, drivers, sensors, software and control cards that allow processing the G-code of a certain sewing mold to control the movement of the system in both the X and Y axis.

Once the mechanical design of the CNC system was carried out, by means of the finite element analysis it was verified that the resistance of the mechanical structure when subjected to the system's own loads, in addition this will not suffer significant deformations that affect its functionality; this allowed validating the proposed mechanical design. For the control of the system it is proposed to use the Mach 3 CNC controller due to its easy implementation since it runs on the Windows operating system, the software converts a computer into a CNC machine controller interface, in addition to this a USB control card was selected to control the movement of the actuators through the processing of G-code.

Keywords: G-code, CNC system, Mach 3, Mechanical motion transmission system, Mechanical linear guidance system, Steps per unit, L-shaped angle beams.

1. Introducción

El sistema CNC (Control Numérico por Computadora) ha revolucionado la industria manufacturera al permitir la automatización y precisión en diversos procesos de fabricación. En este contexto, se planteó la posibilidad de adaptar un sistema CNC a una máquina de coser, con el objetivo de mejorar la eficiencia y calidad en el proceso de costura para zapatos y otros productos textiles. La adaptación de un sistema CNC a una máquina de coser implica la incorporación de componentes electrónicos y software de control que permiten programar y ejecutar de forma automática distintas operaciones de costura. Esto elimina la dependencia de la destreza manual del operador y reduce los errores humanos, logrando resultados más precisos y consistentes en la producción.

Además, el sistema CNC adaptable a una máquina de coser ofrece la posibilidad de programar patrones de costura complejos y personalizados, lo que amplía las capacidades de diseño y permite la creación de prendas más elaboradas y detalladas. Asimismo, se pueden almacenar y reutilizar programas de costura, lo que agiliza los tiempos de producción y facilita la reproducción de modelos en serie. Otro beneficio clave de esta adaptación es la capacidad de monitorear y ajustar parámetros de costura en tiempo real. Mediante sensores y retroalimentación del sistema, es posible detectar irregularidades en la puntada, tensión del hilo o velocidad de costura, permitiendo realizar correcciones automáticas para garantizar una calidad constante.

2. Problema

2.1. Antecedentes

En Ecuador, las pequeñas y medianas industrias de calzado constituyen una importante área de crecimiento económico, siendo uno de los sectores más importantes en la generación de empleo (Erazo y Narváez, 2020). El sector industrial de calzado ecuatoriano está compuesto principalmente por alrededor de 5800 empresas de origen familiar, gran parte de ellas artesanales (Arévalo, 2021).

En Tungurahua se concentra el 68% de la producción nacional de calzado. En esa provincia se encuentra el 38,9% de todas las empresas manufactureras de calzado, el 79,4% de todas las empresas curtidoras y el 69,7% de todas las empresas que proveen material y maquinaria

para el sector. Por su parte, la provincia del Azuay (que incluye principalmente a Cuenca, Gualaceo y Chordeleg) concentra el 24,8% de todas las empresas manufactureras de calzado (Oleas, Angulo, y Trávez, 2013).

En todas las empresas existen actividades que pueden afectar la integridad física de los trabajadores, por lo que es una obligación de las instituciones velar por la seguridad de todo el personal. Para salvaguardar al empleado de los riesgos que corre al realizar sus actividades diarias que tienen que ver con procesos industriales, es necesario brindar indumentaria de seguridad para que se logre un buen desempeño en las labores dentro del área de riesgo, por ejemplo: casco, guantes, cinturones, arnés, botas y zapatos de seguridad (Avegno, Moreira, y Parrales, 2009).

PANTANERO CIA. LTDA. es una empresa ubicada en la ciudad de Cuenca provincia del Azuay, la cual fue fundada el 01 de agosto de 1978, se especializa en la fabricación de zapatos de seguridad industrial y trabajo. Sus clientes principales son las instituciones, empresas públicas y privadas. El proceso de elaboración del calzado comienza por el diseño, en base a este se procede con la obtención de la materia prima necesaria, posterior a esto se realiza el troquelado y rebajado de los filos resultantes del corte, luego se desbasta ciertas partes del cuero para ser adheridas entre sí, después se realiza el proceso de costura guiado manualmente, a continuación se ejecuta el proceso de montado en el cual el calzado obtendrá sus dimensiones y forma finales, concluyendo con el cardado para la posterior inyección de la planta.

2.2. Descripción del problema

En el mercado nacional existe una amplia demanda de calzado de seguridad industrial, para la fabricación de este tipo de calzado la empresa PANTANERO CIA. LTDA. realiza el proceso de costura del cuero guiado de forma manual, lo que requiere mano de obra calificada para garantizar mayor precisión en la elaboración del producto, actualmente el país no cuenta con el personal apto para realizar este proceso lo que implica la disminución de precisión y el aumento del tiempo en el aparado del calzado.

2.3. Importancia y alcances

En la actualidad el proceso de costura es guiado manualmente, por lo que no se garantiza la precisión en aparado del calzado y el tiempo en el que se realiza el proceso es muy prolongado,

en consecuencia a esto los principales afectados son los clientes y los productores de calzado de seguridad, ya que al no cumplir con dichos requerimientos no se satisface al mercado perdiendo incidencia en el mismo, lo que repercute en pérdidas para la empresa productora.

Salazar (2017) afirma que:

"La producción de calzado se obtiene ya sea con métodos de montaje manual o semi automatizado; no se cuenta en el país con instalaciones de calzado automatizadas en su totalidad. El montaje manual demanda de artesanos con habilidades adquiridas a lo largo de varios años de experiencia". (pág. 20).

Actualmente existe no se cuenta con el personal calificado para realizar el proceso de aparado de los cortes de cuero que componen el calzado, por lo que la costura no cuenta con un alto grado de precisión y el tiempo de producción aumenta. Al diseñar un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos se pretende automatizar el proceso y disminuir el tiempo de costura. De esta manera la empresa PANTANERO CIA. LTDA. cumplirá con la demanda del mercado.

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

Para la realización del presente trabajo de titulación se recabará y analizará la información en la infraestructura de la Universidad Politécnica Salesiana.

2.4.2. Temporal

El trabajo de titulación se desarrollará en el periodo académico 62, el cual comprende desde el mes de marzo hasta el mes de agosto de 2023 con un total de 240 horas.

2.4.3. Sectorial o institucional

La propuesta del trabajo de titulación está inmerso dentro del sector industrial de calzado y la empresa en la que se desarrollará es PANTANERO CIA. LTDA.

2.5. Problema General

- ¿Es posible diseñar un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrán identificar los parámetros iniciales para el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura?
- ¿Es factible proponer el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura?
- ¿Es viable evaluar el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura?
- ¿Es posible analizar el costo de implementación del diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso reducir el tiempo de costura?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar los parámetros iniciales para el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.
- Proponer el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.
- Evaluar el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.

- Analizar el costo de implementación del diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

- El diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos permitirá automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.

4.2. Hipótesis Específicas

- Se identificarán los parámetros iniciales para el diseño de un sistema CNC con el fin de adaptarlo a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.
- Se propondrá el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.
- Se evaluará el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.
- Se analizará el costo de implementación del diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.

5. Marco Teórico

5.1. Diseño Mecatrónico

La ingeniería mecatrónica es definida como una sinergia de la ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, ingeniería de software y el control para el diseño, fabricación y automatización de productos y procesos industriales. Al integrar estas áreas de conocimiento nacen nuevos métodos y tecnologías que optimizan un producto o proceso industrial.

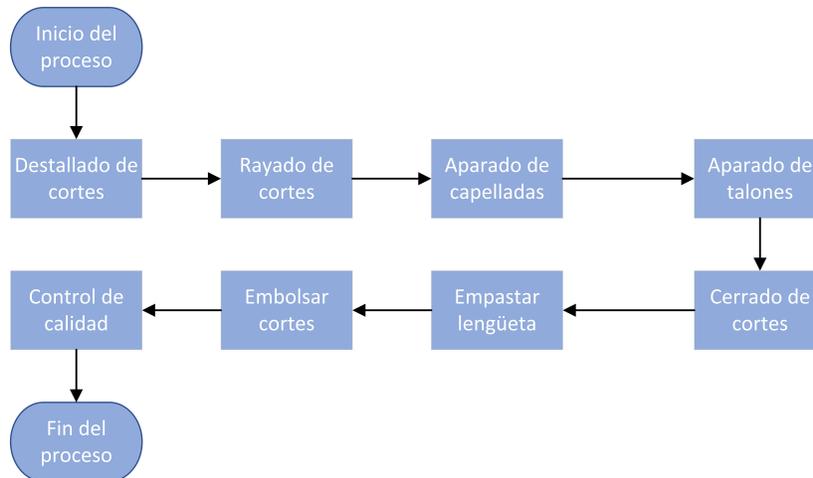
El diseño mecatrónico tiene un enfoque de ingeniería integral, en el cual se aplica esta sinergia de ingenierías mencionada anteriormente en el diseño y fabricación de equipos, máquinas y procesos industriales, estos se diseñan como si fueran una serie de sistemas separados, por una parte el sistema mecánico, por otra el sistema eléctrico, por otra el sistema electrónico y por otra parte separada el sistema de control a pesar de que estos sistemas en la práctica no están separados si no más bien forman parte de la máquina y están integrados y relacionados unos con otros. En el diseño mecatrónico predomina el fundamento de diseñar todas las partes y componentes de una máquina con el objetivo de cumplir el propósito final en lugar de desarrollar una sola parte de la misma, de esta manera no se compromete el desempeño final. (Niño, 2003)

5.2. Proceso de costura

El proceso de costura empieza por el destallado de cortes, esta operación consiste en disminuir el espesor de los filos resultantes del troquelado de la materia prima, permitiendo que las uniones no queden abultadas. El siguiente paso consiste en el rayado de los cortes, estos trazos delimitan la zona de unión entre los mismos. Después se realiza el aparado de capelladas, esto se basa en unir con pegamento los cortes que forman la capellada y posterior al pegado se hacen costuras que refuerzan y adornan misma, estas costuras son hechas en máquina de dos agujas y una columna o una aguja. Luego en el aparado de talones se arma el talón del calzado, donde se pega y cose esta parte del calzado en una máquina de una aguja. A continuación, se une la capellada y el talón mediante costura y pegamento realizando así el cerrado de los cortes, esto se realiza en una máquina de una o dos agujas. Ahora se empasta la lengüeta, es decir, se le cose a la lengüeta el forro y una esponja, esta unión se la hace en una máquina de una aguja. Después se acolchonan los laterales y el talón por medio de esponjas y forros esto se realiza en el paso de embolsar los cortes con una máquina de una aguja y ribeteadora. Como último paso se realiza un control de calidad, se inspecciona los cortes aparados donde se verifican las costuras, su rectitud y otros defectos. El diagrama del proceso se describe en la Figura 1 (Chipantiza, 2017; Chérrez, 2021).

Figura 1

Diagrama de proceso de Costura.



Nota: Se puede observar el diagrama de proceso de costura para calzado de seguridad industrial.

5.3. Máquinas cosedoras industriales

La primera máquina de coser fue inventada en Inglaterra en el año 1755 por Elías Howe. Está formada por un conjunto de mecanismos cuyo principal objetivo es formar puntadas a una alta velocidad entrelazadas por dos hilos, el hilo superior es surtido por la aguja la cual atraviesa las dos partes y se entrelaza con el hilo inferior. Esta una de las herramientas más utilizadas en la industria textil (Encalada, 2013).

- **Máquina recta de una aguja**

Este tipo de máquinas son las más utilizadas en la industria textil y del calzado, su principio de funcionamiento se basa en entrelazar el hilo superior con el inferior, de esta manera se da forma a la costura (Encalada, 2013).

- **Máquina recta de dos agujas**

Su principio de funcionamiento es igual al de la máquina recta de una aguja, pero a diferencia que esta permite realizar costuras de dos puntadas, mediante el uso de dos agujas y dos hilos (Castillo, 2005).

- **Máquina ribeteadora**

Su función es la de colocar ribetes en el calzado, es decir los refuerzos o adornos que se le colocan al calzado en los bordes de las uniones entre piezas, se usa principalmente para trabajos de producción en masa y extrapesados (Calicostura, 2016).

- **Máquina de columna**

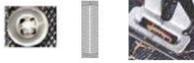
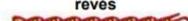
El propósito de estas máquinas es trabajar en tejidos gruesos y medianos, por lo que son usadas en el proceso de costura de calzado, la columna ayuda a realizar la costura en partes de difícil acceso, algo de destacar de esta máquina es el tamaño del carrete de hilo, la cual es más grande y se ubica verticalmente, favoreciendo una costura más fuerte, también se puede usar agujas más gruesas y largas (Calicostura, 2016).

5.4. Tipos de puntadas

Como se observa en la Figura 2, conforme a la norma ISO 4915, para el proceso de costura en la industria textil existen diferentes tipos de puntadas según su delineación, entre las más importantes están: cadena de un solo hilo, puntada invisible de un solo hilo, doble despunte (tipo de puntada más común), puntada doble despunte en Zig Zag, puntada cadeneta, puntada cadeneta en Zig Zag.

Figura 2

Clasificación de las puntadas según la norma ISO 4915.

Delineación de la puntada		ISO 4915 Número	Aplicaciones comunes	Requerimientos	Descripción de la puntada
Vista por el derecho	Vista por el revés				
Cadeneta de un solo hilo 		101	Puntada hilvanada para el diseño de prendas o el cierre de bolsas.	Especificar las PPP (SPI)	La puntada se forma cuando la aguja pasa la tela y se entrelaza con el mismo hilo en el revés de la costura, con la ayuda de un extensor.
Cadeneta de un solo hilo o Doble pespunte. Botonera, Ojalera o Bartack 	* 304 Doble pespunte, es preferida cuando la seguridad de la puntada es más importante.	101 o 304	Pegado de botones, Ojales, o Remates	1) Pegado de botones – especificar las puntadas por ciclo. (Ej. 8, 16, 32) 2) Ojales – especificar largo y ancho (1/2", etc.) 3) Remate – especificar el largo y el ancho del remate.	Camisas de punto – El largor del ojal es generalmente de 1/2 pulgada, es hecho horizontal con aproximadamente 85-90 puntadas
Puntada invisible de un solo hilo. 	Las puntadas no se ven ni en el derecho ni en el revés de la costura.	103	Puntada invisible dobladillos, hilvanar, haciendo pasadores, trencillas.	Especificar 1) PPP 3 - 5 PPP 2) No saltar puntadas o 1 o 2 puntadas saltadas.	La puntada se forma cuando el hilo de la aguja se entrelaza entre si en la parte superior del material. El hilo pasa por la capa superior y en forma horizontal por la parte inferior sin penetrarla completamente.
Doble pespunte – la más común de todas las puntadas 	Hilo de la bobina en el revés 	301	Puntada más común, una sola aguja cosiendo, puntadas rectas.	Especificar las PPP.	La puntada se forma cuando la aguja traspasa el material y el hilo de ésta se entrelaza con el hilo de la bobina en el centro de la costura. Las puntadas lucen igual en el derecho y en el revés.
Puntada doble pespunte en Zig Zag 		304	Prendas interiores, ropa deportiva, ropa infantil, sudaderas	Especificar 1) PPPI 2) largo y/o ancho del Zig-Zag (1/8", 3/16", 1/4")	La puntada es formada con hilo de la aguja y de la bobina que se entrelazan en el centro de la costura simétricamente en forma de zig-zag. También, se usa para identificar remates, pegado de botones y ojales.
Puntada Cadeneta 	Hilo del corchete en el revés 	401	Cadeneta con una sola aguja – Costura principal en tejidos.	Especificar PPP.	La puntada es formada cuando la aguja traspasa el material y el hilo de ésta se entrelaza con el hilo del corchete y a su vez es jalado hacia el revés de la costura.
Puntada cadeneta en Zig Zag 	Hilo del corchete en el revés 	404	Zig-Zag cadeneta para ropa infantil y dobladillos, puntadas superiores, etc.	Especificar 1) PPP 2) Largo y ancho del Zig Zag (1/8", 3/16", 1/4")	La puntada es formada con la aguja y el corchete en el revés de la costura y forma el zigzag simétricamente.

Nota: Se observan los tipos de puntada dentro de la norma ISO 4915, además de información de la aplicación, requerimientos y descripción de la puntada. (AMERICAN & EFIRD, 2006).

5.5. Tipos de máquinas CNC

■ Máquinas de control punto a punto

Este tipo de máquinas sirven para mecanizar únicamente puntos iniciales y finales mas no la trayectoria, es decir la máquina solo sigue los puntos previamente determinados en la programación, no se puede controlar los parámetros iniciales de la máquina como la velocidad. Es el control más simple, sencillo y económico (Gaibor y Carrión, 2015).

■ Máquinas de control Paraxial

Este tipo de control logra una excelente precisión en el posicionamiento de la herramienta, permite la programación de desplazamientos y el control de los parámetros iniciales de

la máquina. Debido a la ausencia de la interpolación solo se puede controlar un motor a la vez. Mediante este control se pueden mecanizar contornos (Gaibor y Carrión, 2015).

- **Máquinas de control interpolar o continuo**

Son las que más acciones pueden realizar, proporcionan la posibilidad de mecanizar cualquier tipo de trayectorias. Estas máquinas tienen una orientación clara del diseño de las piezas a mecanizar. Es un control más preciso, permite mecanizar contornos curvilíneos ya que se puede controlar más de un motor a la vez (Gaibor y Carrión, 2015).

5.6. Programación CNC

5.6.1. Código G

El código G es un lenguaje de programación utilizada en el ámbito de la fabricación la cual no es más que coordenadas parametrizadas, en las cuales se indica al sistema CNC variables de control como: el posicionamiento, velocidad de desplazamiento en vacío, velocidad de avance en mecanizado, velocidad de giro de husillo, etc. Este código puede ser desarrollado por el operario de la maquina con un conocimiento y dominio de código G, o ser generado con la ayuda de software CAM. En la Tabla 1 se describen algunos de los códigos G más utilizados:

Tabla 1

Códigos G más utilizados.

Código	Descripción
G00	Desplazamiento rápido en vacío
G01	Interpolación lineal con control de velocidad desplazamiento
G02	Interpolación circular en sentido horario
G03	Interpolación circular en sentido antihorario
G90	Coordenadas de trabajo absolutas

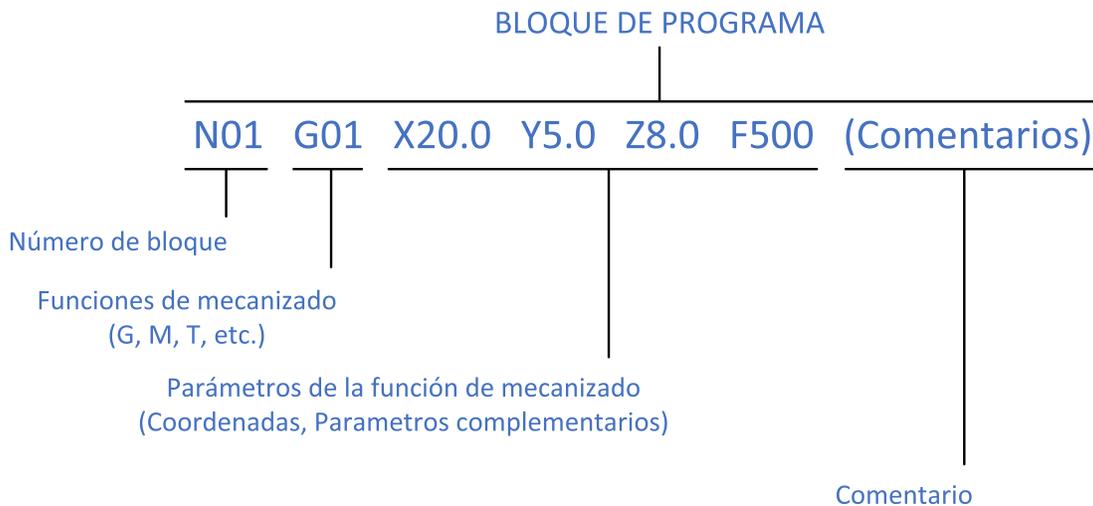
Nota: En la tabla se observan los códigos G más utilizados para operaciones de mecanizado.

5.6.2. Estructura de Bloques

La estructura en bloques es un método mediante el cual se envían las órdenes a la máquina para que mediante los actuadores se realice el desplazamiento y se obtenga el mecanizado deseado. La máquina ejecuta las operaciones conforme a los datos entregados por el programa de mecanizado por lo que cada orden cuenta con una estructura definida denominada bloque. En la Figura 3 se observa un ejemplo de programación CNC en estructura de bloques.

Figura 3

Estructura de Bloques.



Nota: Se puede observar un ejemplo de bloque de programación en código G.

5.7. Sistemas de transmisión de movimiento

5.7.1. Husillo de bolas

Un husillo de bolas es un sistema mecánico que transforma un movimiento rotatorio en lineal, compuesto por un eje roscado el cual proporciona una rodadura helicoidal a unos rodamientos de bolas que actúan como un tornillo de precisión (ver Figura 4). Al girar el eje, las bolas se desplazan a lo largo de la rosca, lo que produce el movimiento lineal. Debido a que el movimiento es rotatorio el rozamiento disminuye y la fricción del mecanismo, además como el esfuerzo se reparte entre varias bolas es resistente altas cargas (Wikipedia, 2023b).

Figura 4

Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6.



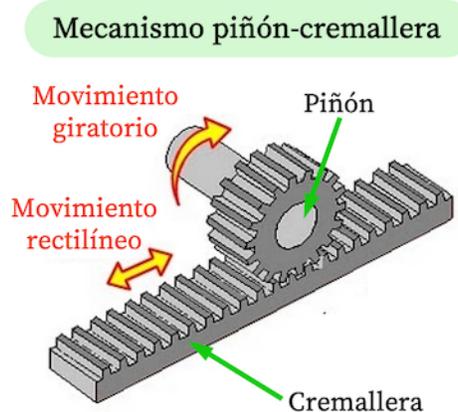
Nota: Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6 (THK, 2023a).

5.7.2. Piñón-cremallera

Un mecanismo piñón-cremallera es un sistema mecánico conformado por dos elementos dentados, que convierte un movimiento rotacional en un movimiento traslacional (ver Figura 5). El engranaje circular denominado piñón encaja con una barra dentada denominada cremallera, por lo que, cuando se aplica un giro al piñón desplaza de manera lineal la cremallera (Wikipedia, 2023a).

Figura 5

Mecanismo piñón-cremallera.



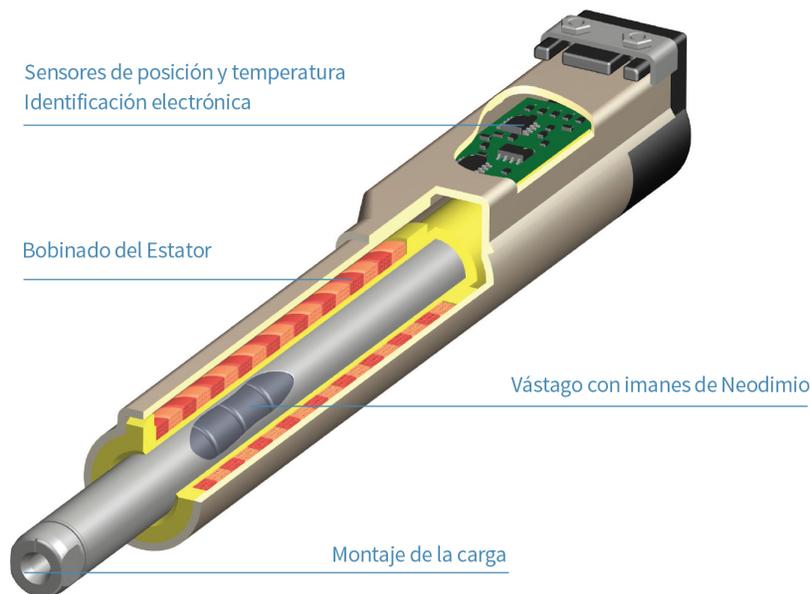
Nota: Se puede observar el mecanismo piñón-cremallera, en el cual el piñón tiene un movimiento rotacional mientras que la cremallera un movimiento lineal (Ingenierizando, 2023).

5.7.3. Motor lineal

Es un motor eléctrico que posee el estator y rotor distribuidos de una manera específica que en vez de producir un movimiento rotatorio (torque) produce un movimiento lineal (fuerza). Tiene como principio de funcionamiento la interacción de los campos magnéticos. Está compuesto por la parte móvil y por la parte fija (imanes permanentes) la cual genera campos magnéticos. Al excitar la bobina con corriente eléctrica se genera un campo magnético que interactúa con el campo fijo, al variar la polaridad y la intensidad de la corriente se puede controlar la velocidad y la dirección del movimiento lineal del motor. La fuerza aplicada por el actuador es proporcional a la corriente eléctrica y al campo magnético (Wikipedia, 2023c). En la Figura 6 se observa el motor lineal y las partes que lo componen.

Figura 6

Motor lineal.



Nota: Se puede observar el motor lineal y las partes que lo componen (Torres, 2023).

5.8. Sistemas mecánicos de guiado lineal

5.8.1. Guía lineal de contacto deslizante

Los dos elementos del par prismático se encuentran en contacto directo o entre los componentes se usa un recubrimiento con bajo coeficiente de fricción (ver Figura 7). Se utilizan en mecanismos que requieren pocos movimientos, bajas velocidades, sitios expuestos a suciedad, soporta grandes cargas y en función de la superficie de contacto. (Sinadrives, 2021; Torres, 2022).

Figura 7

Guía lineal de contacto deslizante.



Nota: Se puede observar como se encuentra constituido el sistema para el desplazamiento lineal. (Aerotécnica, 2016).

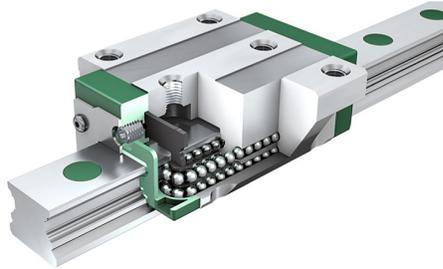
5.8.2. Guía lineal de contacto rodante

Está constituido por elementos rodantes (ruedas, rodillos o bolas) entre los componentes del par prismático, estos elementos ayudan a reducir la fricción que se genera al momento de desplazarse por las guías. Al ser menor la fricción se pueden desplazar a mayor velocidad sin generar un desgaste considerable, soportan grandes cargas, gran precisión, es necesaria la lubricación de los elementos rodantes para evitar un desgaste prematuro y es necesario que la superficie de montaje cuente con cierta precisión para evitar cierta resistencia y/o enclavamientos. (Sinadrives, 2021; Torres, 2022).

- **Guía lineal con rodamiento de bolas (ver Figura 8).**

Figura 8

Guía lineal con rodamiento de bolas.

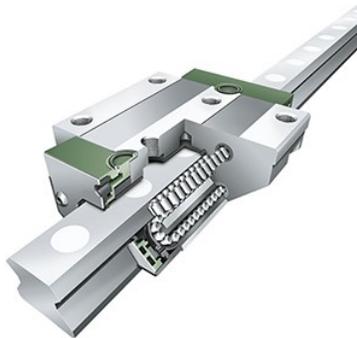


Nota: Estructura de una guía con rodamiento de bolas y sus partes (SCHAEFFLER, 2023b).

- **Guía lineal con rodamiento de rodillos (ver Figura 9).**

Figura 9

Guía lineal con rodamiento de rodillos.



Nota: Estructura de una guía con rodamiento de rodillos y sus partes (SCHAEFFLER, 2023b).

5.9. Controlador CNC

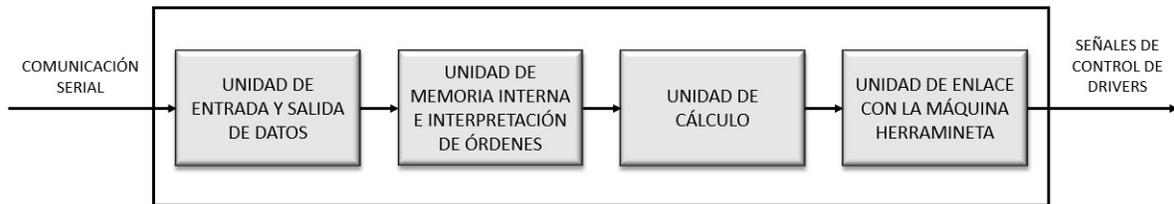
El controlador CNC, es un dispositivo electrónico que permite la calibración, configuración y el control de las maquinarias CNC. Este dispositivo es el encargado de procesar el lenguaje de programación Código G para que la herramienta ejecute los movimientos necesarios para realizar el maquinado de una pieza. (Peters, 2018).

5.10. Arquitectura general de una máquina herramienta CNC

En la Figura 10 se muestra la arquitectura de un sistema CNC el cual en base a la programación realizada envía las señales a los drivers de control de motores.

Figura 10

Software de control



Nota: Se pueden observar las distintas unidades que conforman la arquitectura general de una máquina herramienta CNC.

5.10.1. Unidad de entrada y salida de datos

La unidad de entrada y salida de datos es utilizada con el fin de ingresar el programa de mecanizado o modificar el mismo, utilizando un lenguaje que el controlador pueda procesar en el caso de maquinaria CNC se utiliza el Código G. Puede ser un panel de control, una pantalla táctil, un teclado etc. La unidad de entrada y salida de datos debe facilitar una rápida edición de programas y una cómoda inserción y borrado de bloques, búsqueda de una dirección en memoria, etc. (Marín, 2012).

5.10.2. Unidad de memoria interna e interpretación de órdenes

En las máquinas herramientas de programación manual, así como en las de programación mixta, la unidad de memoria interna almacena el programa de mecanizado además de las compensaciones, velocidades y elecciones de la herramienta. Debido a que las unidades de entrada y salida de datos han ido evolucionando surgió la necesidad de ampliar las unidades de memoria con la finalidad de almacenar en la misma un programa de mecanizado sofisticado. Estas unidades están compuestas de memorias no volátiles es decir su información permanece

almacenada, aunque desaparezca la fuente de potencia del circuito, por ejemplo en el caso de un fallo en la red, denominadas RAM (Marín, 2012).

5.10.3. Unidad de cálculo

Terminada la interpretación de un bloque o una línea de información, esta unidad es la responsable de establecer el conjunto de órdenes que se utilizaran posteriormente para el accionamiento y mando de la máquina, es decir esta unidad brinda la información necesaria para la ejecución de una operación de mecanizado. El controlador lee los bloques de programación necesarios para realizar un ciclo de trabajo, el controlador es capaz de interpretar la trayectoria del mecanizado, la velocidad de avance, la compensación de la herramienta, el cambio de utillaje, el sentido de giro, la refrigeración entre otras operaciones. La unidad de cálculo, de acuerdo con la nueva cota a alcanzar, calcula el camino a recorrer según los diversos ejes (Marín, 2012).

5.10.4. Unidad de enlace de la máquina herramienta con los servomecanismos

La acción fundamental del control numérico es comandar los actuadores (servomotores, motores de pasos) de una máquina CNC, los cuales son los encargados que producir el desplazamiento en unos determinados ejes de movimiento tanto del utillaje como de la mesa. Si se considera un desplazamiento en el plano se accionarán 2 motores, si es un desplazamiento en el espacio se accionaran 3 motores y así sucesivamente. En el caso de un control numérico punto a punto y paraxial, las órdenes suministradas a cada uno de los motores no tienen ninguna relación entre sí; en cambio en un control numérico de contorno, las órdenes deberán estar relacionadas según una ley bien definida.

Para el mando de los motores de la máquina se pueden usar dos tipos de sistemas de control lazo abierto y lazo cerrado. En el sistema de lazo abierto los motores se accionan a partir de las órdenes suministradas por la unidad de cálculo y además no existe una retroalimentación de la posición real de las herramientas ni de los parámetros de corte. Por otro lado, en un sistema de lazo cerrado las órdenes para el accionamiento de los motores dependen tanto de la unidad de cálculo como de la retroalimentación de la posición real suministrada por los sensores de posición y velocidad (Peters, 2018).

5.10.5. Drivers para el control de motores

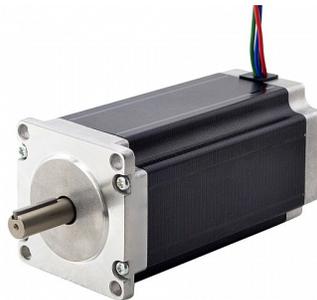
La palabra Driver puede tener muchos significados (en software, la palabra driver se asocia a un controlador de dispositivos"). Aquí tenemos que limitar nuestra definición a cualquier equipo electrónico inteligente que proporcione un control ajustable de la velocidad para un motor (Peters, 2018).

5.10.6. Motores paso a paso

El motor paso a paso también conocido como Stepper es un actuador electromecánico que transforma impulsos eléctricos en desplazamientos angulares, es decir el eje del motor gira una determinada cantidad de grados dependiendo del control (ver Figura 11). Este tipo de actuadores cuentan con alta precisión y repetitividad en desplazamiento y posicionamiento (Wikipedia, 2023d).

Figura 11

Motor paso a paso Nema 23.



Nota: Se puede observar un motor a pasos Nema 23 (STEPPERONLINE, 2023b).

■ Motores paso a paso Unipolares

Este tipo de motores cuentan generalmente con 5 o 6 cables de salida que vienen dados por su tipo de conexión interna. Se caracterizan por su facilidad de control, estos utilizan un cable común a la fuente de alimentación y posteriormente se van colocando las otras líneas a tierra en un orden específico para generar cada paso, si tienen 6 cables es porque cada par de bobinas tienen un común separado, si tiene 5 cables es porque las cuatro bobinas tienen un polo común (Wikipedia, 2023d).

- **Motores paso a paso Bipolares**

Este tipo de motores cuentan generalmente con 5 o 6 cables de salida. Al ser motores bipolares se dificulta el control de estos, ya que se requiere el cambio de dirección del flujo de la corriente que circula por las bobinas en una determinada secuencia para realizar el desplazamiento angular deseado (Wikipedia, 2023d).

5.10.7. Servomotores

Un servomotor es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de posicionarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable en esa posición. Se compone de un motor y un circuito de control, y también proporciona potencia proporcional para cargas mecánicas. El servomotor incluye un sistema de regulación que permite controlar tanto la velocidad como la posición del motor (ver Figura 12).

Es posible modificar un servomotor para convertirlo en un motor de corriente continua estándar. Aunque en ese caso pierde la capacidad de control característica del servo, aún conserva sus características de fuerza, velocidad y baja inercia. La cantidad de corriente requerida por un servomotor depende de su tamaño, y el fabricante suele indicar el consumo de corriente específico. Este consumo está principalmente determinado por el par del servo y puede superar un amperio cuando el servo está bloqueado o bajo carga máxima.

Los servomotores utilizan la técnica de modulación por ancho de pulsos (PWM) para controlar la dirección o posición de los motores de corriente continua. La mayoría de ellos operan a una frecuencia de 50 hertz, lo que significa que las señales PWM tienen un período de 20 milisegundos (Wikipedia, 2023g).

Figura 12

Servomotor de corriente alterna.



Nota: Se puede observar un servomotor de corriente alterna. (STEPPERONLINE, 2023a).

5.11. Sensores de posición

5.11.1. Sensor de posición Óptico

Dispositivo conocido como final de carrera o sensor de contacto, también llamado "interruptor de límite". Estos dispositivos pueden ser electrónicos, neumáticos o mecánicos, y se colocan al final del recorrido de un elemento móvil, como una cinta transportadora, con el propósito de enviar señales que pueden modificar el estado de un circuito. En su interior, estos sensores pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores, dependiendo de la función que cumplen cuando son accionados. Por esta razón, existe una amplia variedad de finales de carrera en el mercado.

Los finales de carrera se fabrican en diferentes materiales, como metal, plástico o fibra de vidrio. Estos sensores operan en dos modos: positivo y negativo. En el modo positivo, el sensor se activa cuando el elemento a controlar realiza una tarea que eleva el eje y entra en contacto con el objeto móvil mediante el contacto NC (normalmente cerrado). Si el muelle de presión se rompe, el sensor se desconecta. En el modo negativo, ocurre lo contrario al modo anterior. Cuando el objeto controlado tiene una protuberancia que empuja el eje hacia abajo, se fuerza el resorte de copa y se cierra el circuito del sensor (Wikipedia, 2023e).

5.11.2. Sensor de posición Inductivo

Los sensores de proximidad inductivos utilizan una bobina interna que induce corrientes de Foucault en el material a detectar. Estas corrientes generan un campo magnético que se opone al campo magnético de la bobina del sensor, lo que resulta en una disminución de la inductancia de la bobina. Esta disminución de la inductancia provoca una reducción en la impedancia del sensor. Luego, el oscilador del sensor puede generar nuevamente el campo magnético con su amplitud normal. En este punto, el circuito detector detecta el cambio de impedancia y envía una señal al amplificador de salida para que restablezca el estado de salida del sensor.

Si el sensor está configurado como "Normal Abierto", activará la salida cuando el objeto metálico ingrese a la zona de detección. Por el contrario, si el sensor está configurado como "Normal Cerrado", la salida se desactivará cuando el objeto metálico se acerque al sensor (Wikipedia, 2023f).

5.11.3. Sensor de posición Capacitivo

Un condensador es un dispositivo eléctrico que almacena carga eléctrica. Normalmente está compuesto por dos placas conductoras separadas por un material aislante. La capacidad de almacenamiento de carga de un condensador varía según el tamaño de las placas, el grado de superposición entre ellas, la separación y la permeabilidad del material aislante. En su forma más básica, un sensor de posición capacitivo mide la separación entre las placas. Estos sensores suelen utilizarse para medir cargas, deformaciones y presiones en rangos inferiores a 1 mm.

Otro método para detectar la posición rotatoria o lineal es mediante el uso de una serie de placas que se cortan o graban a lo largo del eje de medición. Cuando otra placa se desplaza a través de estas placas, la capacitancia de los circuitos a lo largo del eje varía, lo que indica la posición relativa de las dos partes. Los sensores de posición capacitivos son poco comunes y rara vez se utilizan en aplicaciones relacionadas con la seguridad. Lamentablemente, al igual que la superposición de las placas, la capacitancia también se ve afectada por factores como la temperatura, la humedad, los materiales circundantes y la presencia de sustancias extrañas, lo que dificulta la ingeniería de un sensor de posición estable y altamente preciso (Celera Motion, 2023).

5.11.4. Sensor final de carrera

El sensor fin carrera también conocido como interruptor de límite, es un dispositivo que tiene como fin detectar la posición límite del recorrido de un elemento móvil por ejemplo un sistema de guiado lineal o una banda transportadora, puede ser de tipo electrónico, neumático, mecánico o electromecánico. En su interior estos dispositivos tienen interruptores normalmente abiertos, normalmente cerrados o conmutadores que se encargan de cerrar o abrir un circuito que detiene los actuadores provocando que el elemento móvil se detenga en las posiciones límites configuradas.

5.12. Eficiencia del proceso de costura

De acuerdo con Herrera (2018) "la eficiencia de costura es el principal indicador de planta y afecta directamente a la utilidad de la compañía; por lo tanto, cualquier intento de mejora se verá reflejado en los resultados al final de cada periodo".

- **Costura con máquina no programable**

Tomando como referencia el estudio realizado en la empresa LENICAL, se considera al proceso de costura como el cuello de botella, debido a que los maquiladores pueden realizar de 20 a 25 pares diarios en un turno de 8 horas, por lo que para eliminar este cuello de botella es necesaria la intervención de otro operario o la extensión de horas de trabajo, donde estos dos casos se verán reflejados en el aumento del gasto de producción. Al realizar la costura con una máquina no programable se pueden dar costuras caídas, flojas, torcidas, tensión en la costura, un mal remate, costuras reventadas y falla del calado, lo que puede significar pérdidas económicas para la empresa (Astudillo, 2013).

La creciente variedad de nuevos modelos, particularmente en las líneas de proceso de costura, puede tener un impacto en el tiempo de configuración de la máquina y en las habilidades del operador en las líneas de producción. La capacidad del operador para realizar el proceso puede disminuir a medida que el modelo cambia ya que tiene un proceso diferente que puede resultar en una disminución de la eficiencia del proceso de producción (Kentli, Dal, y Alkaya, 2013).

- **Costura con máquina programable**

Con las máquinas de costura programables se puede prescindir de la intervención humana, lo que garantiza la precisión evitando costuras caídas, flojas, torcidas, tensión en la

costura, un mal remate, costuras reventadas y falla del calado, liberando de esta manera el cuello de botella que se genera en el proceso de costura en la fabricación de calzado y aumentando la velocidad de producción y disminuyendo el gasto que se genera en el proceso mencionado.

El uso de máquinas programables permite reducir el tiempo de producción ya que estas máquinas alcanzan una velocidad de 2800 puntadas/minuto gracias a un mecanismo de alimentación rígido además mantiene estable la tensión del hilo lo que garantiza la calidad de la costura (Brother Internationale Industriemaschinen GmbH, 2022).

5.13. Máquinas cosedoras CNC

- **NEXIO BAS-342HX**

Cuenta con una velocidad de costura de 2800 puntadas/minuto gracias a un mecanismo de alimentación rígido, mantiene estable la tensión del hilo, lo que garantiza la calidad de la costura, el motor de 550 W produce un alto torque a distintas velocidades, esto permite una fuerte penetración de la aguja, el hilo superior cuenta con tensión digital, así que no es necesaria la intervención del operador, en el caso de que exista una rotura del hilo se detiene la costura y se notifica al personal y para la comunicación con el operario una pantalla táctil LCD de 7 pulgadas, siendo muy intuitiva con sus funciones programables en simples pasos (ver Figura 13).

Este modelo se usa para la costura de jeans, bolsos, zapatos y artículos de coche (Brother Internationale Industriemaschinen GmbH, 2022).

Figura 13

NEXIO BAS-342HX



Nota: Máquina cosedora de patrones electrónicos programables. (Brother Internationale Industriemaschinen GmbH, 2022).

■ Mitsubishi serie PLK-G6030

Una máquina de grandes dimensiones de trabajo 600 x 300 mm. Al tener estas dimensiones es posible realizar una parte superior izquierda y derecha mientras el trabajador estriba las plantillas, por ende, se optimiza el tiempo y aumenta el rendimiento de la producción. Cuenta con una pantalla táctil para cambiar o crear nuevos modelos en la misma máquina o por medio de un ordenador con el software PTN-GX (ver Figura 14).

La máquina se usa en la industria del calzado, bolsos, automotriz, cinturones de seguridad, etc. (Global International B.V., 2022)

Figura 14

Mitsubishi serie PLK-G6030



Nota: Máquina de costura de patrones computarizada. (Global International B.V., 2022).

6. Marco metodológico

6.1. Caracterización de los componentes mecánicos y eléctricos de la máquina industrial de costura IVOMAQ serie IVM 55

6.1.1. Máquina

Esta máquina nos permite un punto tipo 301 el cual se encuentra dentro de la norma ISO 4915 (ver en la Figura 2, en este equipo la distancia máxima entre puntos es de 7mm, permite un sistema de agujas 134 el cual se trata de agujas con punta redonda, con un diámetro de 1,6 mm y diámetro del talón de 2 mm. Como se observa en la Figura 15, el diseño de esta máquina a sido desarrollado en base a la norma reguladora del MTE-NR-12 y a normas técnicas Brasileñas (NBR 14153, NBR 14009, ABNT NBR 213-1/213-2)(Ivomaq, 2020).

Figura 15

Máquina de costura IVOMAQ.



Nota: Máquina de costura IVOMAQ IVM 5524 (Ivomaq, 2020).

6.1.2. Componentes mecánicos

- **Embrague:** El embrague de un motor clutch nos permite transmitir el movimiento del motor hacia la máquina mediante un disco de fricción, el cual es accionado mediante un mecanismo de embrague, el mismo se activa al momento de ejercer cierta presión con los pies sobre el pedal, el cual por medio del tirante transmite este movimiento y acciona el embrague; el motor permanece encendido constantemente y sus revoluciones son independientes al tipo de costura que se esté realizando o el material que se esté cosiendo.
- **Accionador de rodilla:** Es un accionador mecánico, el cual al empujar con la rodilla hacia un lateral permite elevar el sistema de prensa tela, este sistema permite que el material que se está cosiendo no llegue a arrugarse y tener un mejor direccionamiento para la trayectoria que se sigue.

- **Conjunto de tensión:** Es un sistema completamente mecánico que por medio del movimiento de vaivén del prensa telas permite tener una tensión constante del hilo, además de esto el prensa telas transmite el movimiento a un sistema de platos el cual está unido a una especie de resorte por donde pasa el hilo y este es constantemente tensionado y se puede variar la tensión dependiendo el ángulo de entrada sobre el resorte.

6.1.3. Componentes eléctricos

- **Motor de fricción:** El motor de la máquina de coser necesita una alimentación de 220 V monofásica, cuenta con una potencia de 3/4 CV, lo cual equivale a 550 W, este motor permite realizar un máximo de 2500 puntadas por minuto, está diseñada para ser usada con distintos materiales desde ligeros hasta pesados, siendo algunos de estos cuero sintético, natural, textil, imitación de caro e incluso algunos materiales plásticos que son utilizados en calzado deportivo (Ivomaq, 2020).
- **Interruptor de inicio directo:** Se encuentra diseñado para soportar hasta 20 amperios y 380 Voltios, su modo de operación es en apagado con pulsador, tiene una calificación de protección IP54 (Ivomaq, 2020).

6.2. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño

6.2.1. Requisitos y requerimientos del diseño

En la Tabla 2 se establece los requisitos y requerimientos previo al diseño del sistema CNC en base a los parámetros iniciales. Los requisitos hacen referencia a los parámetros técnicos que no pueden ser modificados en ninguna etapa del diseño, por otra parte, los requerimientos son las especificaciones solicitadas por parte de la empresa.

Tabla 2

Tabla de los requisitos y requerimientos del diseño.

Requisitos	Requerimientos
El sistema CNC debe ser adaptable a una máquina de costura existente en la empresa.	El sistema mecánico que se va a adaptar debe ser ligero.
El sistema de transmisión de movimiento de los motores a la mesa debe producir un desplazamiento de esta en dos ejes X, Y.	El costo del sistema debe ser menor al de una máquina existente en el mercado que cumpla con funciones similares.
La máquina debe ser programable, con el fin de poder realizar varios tipos de costura según se la empresa lo requiera.	Mantenibilidad.
Se necesita una retroalimentación de la posición de la aguja en el momento del proceso de aparado de calzado.	Los actuadores que producen el movimiento de la mesa deben ser eléctricos.
La adaptación del sistema CNC a la máquina no debe provocar alteraciones en el funcionamiento de esta.	El diseño debe ser correspondiente con la estética de la máquina.

Nota: En la tabla se observan las métricas del diseño con sus respectivas especificaciones

6.2.2. Especificaciones de las métricas del diseño

En la Tabla 3 se especifica las métricas establecidas para el diseño del sistema CNC adaptable.

Tabla 3

Tabla de las especificaciones de las métricas del diseño.

Métrica	Dimensión
Dimensiones de la máquina	$0,04m * 0,03m * 0,043m$
Área de costura	$0,05m^2 - 0,07m^2$
Velocidad de costura	$1200ppm - 2500ppm$
Desplazamiento de la aguja	$44mm$
Dimensión del molde	$0,06m^2 - 0,08m^2$
Tamaño de puntada	$1mm - 7mm$
Precisión de desplazamiento	$0,1mm$
Masa total	$10kg - 15kg$
Velocidad de desplazamiento lineal	$0m/s - 1,66m/s$
Nivel de protección de los dispositivos	$IP62 - IP68$

Nota: En la tabla se observan las métricas del diseño con sus respectivas especificaciones

6.2.3. Modelos de subsistemas

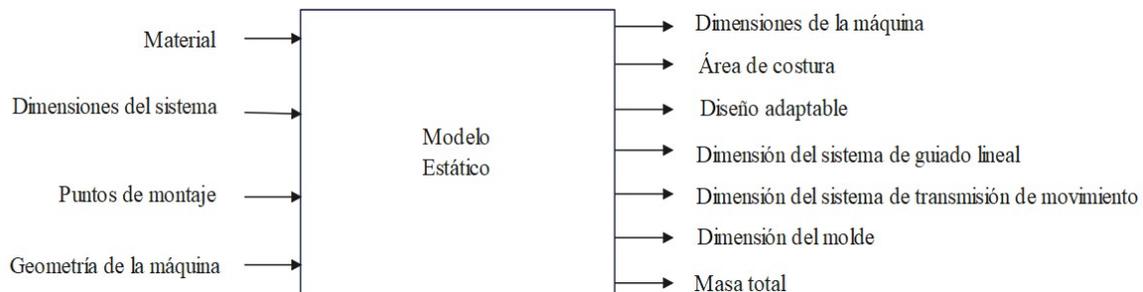
Para establecer las especificaciones finales del “Sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos”, es necesario identificar los modelos de los subsistemas que forman parte de este. Cada modelo está compuesto por las variables de diseño (entradas del modelo) y por las métricas (salidas del modelo).

- **Modelo estático**

En la Figura 16 se establece el modelo estático del sistema CNC.

Figura 16

Modelo estático.



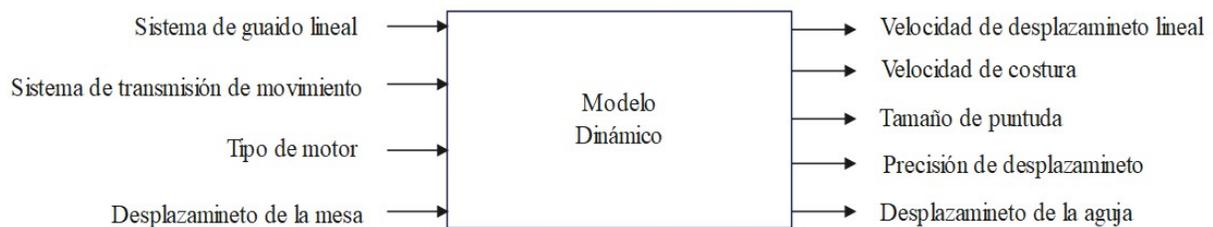
Nota: Modelo estático basado en las variables de diseño (entradas del modelo) y métricas (salidas del modelo).

- **Modelo dinámico**

En la Figura 17 se establece el modelo dinámico del sistema CNC.

Figura 17

Modelo dinámico.



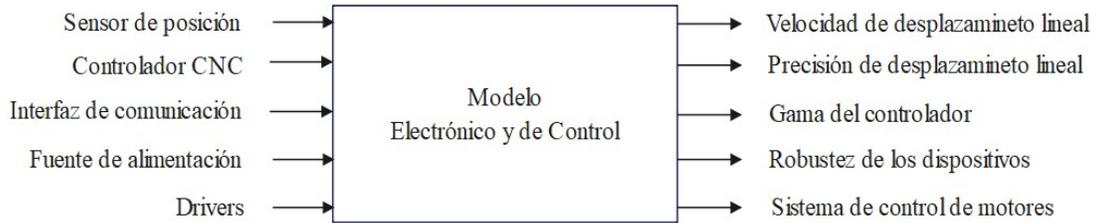
Nota: Modelo dinámico basado en las variables de diseño (entradas del modelo) y métricas (salidas del modelo).

- **Modelo electrónico y de control**

En la Figura 18 se establece el modelo electrónico y de control del sistema CNC.

Figura 18

Modelo electrónico.



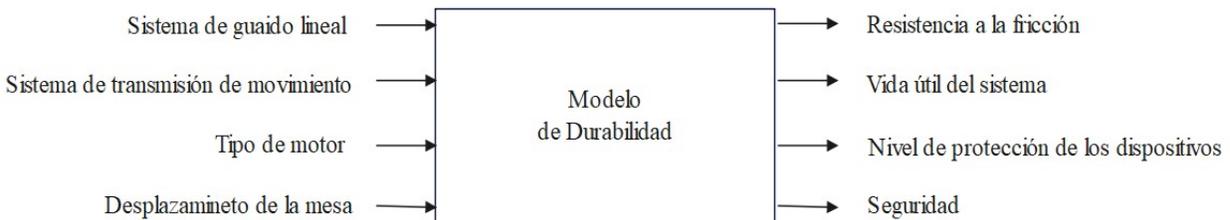
Nota: Modelo electrónico basado en las variables de diseño (entradas del modelo) y métricas (salidas del modelo).

■ **Modelo de durabilidad**

En la Figura 19 se establece el modelo de durabilidad del sistema CNC.

Figura 19

Modelo de durabilidad.



Nota: Modelo de Modelo de durabilidad basado en las variables de diseño (entradas del modelo) y métricas (salidas del modelo).

6.3. Selección de los componentes, mecánicos, eléctricos y electrónicos para la adecuación del diseño del sistema CNC adaptable a la máquina industrial de costura IVOMAQ serie IVM 55

6.3.1. Selección del tipo de actuador, controlador, sistema mecánico de transmisión de movimiento y sistema mecánico de guiado lineal

■ Motores

Los principales tipos de motores que se utilizan en la maquinaria CNC son los servomotores y los motores paso a paso, la principal diferencia entre estos es el principio de funcionamiento y el tipo de control. En la Tabla 4 se exponen las especificaciones de cada uno.

Tabla 4

Tabla comparativa de las especificaciones de los actuadores.

Motor	Paso a paso	Servomotor
Sistema de retroalimentación	No tiene	Encoder, resolver
Generación de calor	Alta	Baja
Par producido	Bajo	Alto
Daños por sobrecarga	Menos propenso a daños	Más propenso a daños
Eficiencia	Menor eficiencia	Mayor eficiencia
Costo	Bajo	Alto

Nota: En la tabla se observa la comparación de ciertas especificaciones técnicas entre un motor paso a paso y un servomotor (Barba, 2021).

Para la selección del actuador, se realizó una matriz de decisión como se observa en la Tabla 5, mediante la cual se identificó la mejor opción considerando las especificaciones de los motores paso a paso y de los servomotores expuestas en la Tabla 4. Se otorgo un valor cuantitativo llamado factor de ponderación el cual mide el nivel de importancia de cada especificación, el actuador que con la mayor calificación será el adecuado para esta aplicación.

Tabla 5

Tabla de ponderación para la selección del motor.

	Sistema de retroalimentación	Generación de calor	Par producido	Daños por sobrecarga	Eficiencia	Costo	Rango
Factor de ponderación	0.15	0.1	0.2	0.15	0.1	0.3	1.0
Motor Paso a paso	2 0.3	4 0.4	4 0.8	10 1.2	6 0.6	10 3	6.1
Servomotor	8 1.2	9 0.9	9 1.8	1 0.15	9 0.9	1 0.3	5.25

Nota: Matriz de decisión del actuador.

Se optó por usar motores a pasos ya que el sistema CNC adaptable no requiere de un par elevado y estos motores con relación al costo son significativamente más baratos, permitiendo así la factibilidad de la implementación del sistema.

■ Sensor de posición

Para detectar la posición de un objeto existen diferentes tipos de sensores, cada uno de estos cuenta con un principio de funcionamiento único, entre los más comunes. Para la selección del de sensor de posición determinado se debe tener en cuenta ciertas características que sean compatibles con el diseño, como por ejemplo el material del objeto a detectar la posición y el rango de detección del sensor entre otras, en la Tabla 6 se muestran las especificaciones de los sensores de posición inductivos, capacitivos, ópticos y electromecánicos.

Tabla 6

Tabla comparativa de las especificaciones de los sensores de posición.

Sensor	Óptico	Inductivo	Capacitivo	Electromecánico
Rango de detección	0,5-50 mm	1-50 mm	0,5-50 mm	1-20 mm
Material de detección	Reflectivo	Ferromagnético	Varios	Varios
Precisión	Alta	Alta	Media	Baja
Detección	No contacto	No contacto	No contacto	Contacto
Robustez	Media	Alta	Media	Alta
Vida útil (ciclos)	10 millones	100 millones	100 millones	10 millones
Costo	Alto	Medio	Medio	Bajo

Nota: En la tabla se observa la comparación de ciertas especificaciones técnicas de los siguientes sensores de posición: óptico, inductivo, capacitivo, electromecánico (Celera Motion, 2023).

Para elegir el sensor adecuado, se llevó a cabo un proceso de evaluación utilizando una matriz de decisión como se observa en la Tabla 7. Esta matriz nos ayuda a identificar la opción óptima, esto al considerar las características específicas de los diversos tipos de sensores de posición mencionados en la Tabla 6. Se asignó un valor numérico denominado factor de ponderación, que medirá el nivel de importancia de cada especificación. El sensor que obtenga la puntuación más alta será el indicado para esta aplicación.

Tabla 7

Tabla de ponderación para la selección del sensor de posición.

	Rango de detección	Material de detección	Precisión	Detección	Robustez	Vida útil	Costo	Rango
Factor de ponderación	0.1	0.1	0.1	0.2	0.15	0.1	0.25	1.0
Sensor óptico	10 1	5 0.5	10 1	1 0.2	5 0.75	5 0.5	1 0.25	4.2
Sensor inductivo	8 0.8	3 0.3	10 1	1 0.2	10 1.5	10 1	5 1.25	6.05
Sensor capacitivo	10 1	10 1	5 0.5	1 0.2	5 0.75	10 1	5 1.25	5.7
Sensor electromecánico	5 0.5	10 1	1 0.1	10 2	10 1.5	5 0.5	10 2.5	8.1

Nota: Matriz de decisión del sensor de posición.

Se optó por usar un sensor electromecánico, en este caso un final de carrera, ya que este al ser un sensor de contacto, es adecuado para aplicaciones en las que se requiera realizar el control de movimiento de un sistema, como es el caso. Además, que su costo es bajo en comparación a los otros tipos de sensores.

■ **Controlador numérico**

El controlador numérico es un dispositivo electrónico que permite la calibración, configuración y el control de las maquinarias CNC. Existen diferentes clasificaciones del tipo de controlador una de ellas es por la gama del este. Esta clasificación define las características del controlador como la precisión, resolución, distintas capacidades de compensaciones, protocolos de comunicación, costo, etc. A continuación, en la Tabla 8 se exponen las especificaciones de los controladores de gama alta y gama baja.

Tabla 8

Tabla comparativa de las especificaciones del controlador numérico.

Controlador	Gama alta	Gama baja
Monitoreo de vida útil de la herramienta	Sí	No
Compensación de dilatación térmica	Sí	No
Control de inercia mecánica	Si	No
Conexión USB	Sí	Sí
Compatibilidad con smartphones	Sí	No
Costo	Elevado	Bajo

Nota: En la tabla se observa la comparación de ciertas especificaciones técnicas entre un controlador de gama alta y un controlador de gama baja (Cobos y Peralta, 2023).

Con el fin de elegir el controlador adecuado, se lleva a cabo un proceso de evaluación utilizando una matriz de decisión como se observa en la Tabla 9. Esta matriz nos permitirá identificar la opción óptima al considerar las especificaciones de los controladores de alta y baja gama mencionados en la Tabla 8. Se asignará un valor numérico, conocido como factor de ponderación, para medir la importancia de cada especificación. El controlador que obtenga la puntuación más alta será el adecuado para esta aplicación.

Tabla 9

Tabla de ponderación para la selección del Controlador.

	Monitores vida útil de herramienta	Compensación de dilatación térmica	Control de inercia mecánica	Conexión Ethernet	Compatibilidad con smartphones	Costo	Rango
Factor de ponderación	0.05	0.05	0.05	0.3	0.05	0.5	1.0
Controlador gama baja	1 0.05	1 0.05	1 0.05	10 0.3	1 0.05	10 5	5.5
Controlador gama alta	10 0.5	10 0.5	10 0.5	10 0.3	10 0.5	1 0.5	2.8

Nota: Matriz de decisión del controlador.

Se seleccionó un controlador de gama baja por el bajo costo y porque no se requiere un monitoreo continuo del desgaste de la herramienta ni una compensación de dilatación térmica de la misma, ya que, el proceso de costura no implica grandes esfuerzos a la herramienta (aguja). El controlador de gama baja tiene una precisión y resolución aceptable para la aplicación en la máquina de costura industrial, además que un controlador de gama baja utiliza un software de programación que se ejecuta en un computador por lo que es necesaria la comunicación Ethernet para la transferencia de datos.

■ **Sistema mecánico de transmisión de movimiento**

En aplicaciones de transmisión de movimiento, las principales variables a controlar son velocidad, aceleración y posición, los sistemas más utilizados son: husillos de bolas, motores lineales y piñón-cremallera. En la Tabla 10 se observan las especificaciones de los diferentes sistemas mecánicos de transmisión de movimiento.

Tabla 10

Tabla comparativa de las especificaciones de los sistemas mecánicos de transmisión de movimiento.

Sistema de transmisión	Motor lineal	Husillo de bolas	Piñón-cremallera
Velocidad	Alta	Media	Alta
Mantenibilidad	Alta	Media	Media
Precisión	Alta	Alta	Alta
Carrera	Hasta 2000mm	Superior a 2000mm	Superior a 2000mm
Eficiencia	97%	90-95%	85-90%
Costo	Elevado	Bajo	Medio

Nota: En la tabla se observa la comparación de ciertas especificaciones técnicas de los siguientes sistemas mecánicos de transmisión de movimiento: motor lineal, husillo de bolas y piñón-cremallera (SINADRIVES, 2020).

Con el propósito de elegir el sistema mecánico adecuado para la transmisión de movimiento, se lleva a cabo un proceso de evaluación utilizando una matriz de decisión como se observa en la Tabla 11. Esta matriz nos permitirá identificar la opción óptima al considerar las especificaciones de cada sistema mencionadas en la Tabla 10. Asignaremos un valor numérico, conocido como factor de ponderación, para medir la importancia de cada especificación. El sistema que obtenga la puntuación más alta será el adecuado para esta aplicación.

Tabla 11

Tabla de ponderación para la selección del sistema mecánico de transmisión de movimiento.

	Velocidad	Mantenibilidad	Precisión	Carrera	Eficiencia	Costo	Rango
Factor de ponderación	0.15	0.1	0.15	0.2	0.1	0.30	1.0
Motor lineal	10 1.5	10 1	10 1.5	6 1.2	9 0.9	2 0.6	6.7
Husillo de bolas	6 0.9	6 0.6	9 1.35	10 2	8 0.8	10 3	8.65
Piñon cremallera	8 1.2	6 0.6	8 1.2	10 2	7 0.7	6 1.8	7.5

Nota: Matriz de decisión del sistema mecánico de transmisión de movimiento.

Se seleccionó el sistema de transmisión de movimiento husillo de bolas, ya que este es el indicado para aplicaciones de carrera superior a 2000mm, también un factor diferencial para la selección de este sistema fue su bajo costo con respecto a los motores lineales los cuales encajan en este tipo de aplicaciones.

■ **Sistema mecánico de guiado lineal**

Existen diferentes tipos de sistemas de guiado mecánicos, neumáticos e hidráulicos, como en la empresa no se cuenta con compresores ni bombas hidráulicas en el área de costura, se seleccionará un sistema de guiado lineal de tipo mecánico. En la Tabla 12 se observan las especificaciones de los diferentes sistemas mecánicos de guiado lineal.

Tabla 12

Tabla comparativa de las especificaciones de los sistemas mecánicos de guiado lineal.

Sistema de guiado	Linear ball guideway	Roller ball guideway	Box guideway
Rigidez	50-70%	70-90%	100%
Corte	Ligero	Ligero	Alta resistencia
Materiales	Blandos	Blandos	Múltiples
Velocidad	100 m/min	100 m/min	20 m/min
Precisión	0,0001mm	0,0001mm	0,001mm
Desgaste	Bajo	Bajo	Bajo
Fricción	2-50%	10-30%	100%

Nota: En la tabla se observa la comparación de ciertas especificaciones técnicas de los siguientes sistemas de mecánicos de guiado lineal: linear ball guideway, roller ball guideway y box guideway (Cobos y Peralta, 2023).

Con el objetivo de seleccionar el sistema mecánico adecuado para el guiado lineal, se lleva a cabo un proceso de evaluación utilizando una matriz de decisión como se observa en la Tabla 13. Esta matriz nos ayudará a identificar la opción óptima al considerar las especificaciones de los diversos sistemas mencionados en la Tabla 12. Se asignará un valor numérico, conocido como factor de ponderación, para medir la importancia de cada especificación. El sistema que obtenga la puntuación más alta será el indicado para esta aplicación.

Tabla 13

Tabla de ponderación para la selección del sistema mecánico de guiado lineal.

	Velocidad	Materiales	Precisión	Desgaste	Fricción	Rigidez	Costo	Rango
Factor de ponderación	0.15	0.05	0.15	0.1	0.25	0.1	0.2	1.0
Linear ball guideway	10 1.5	8 0.4	10 1.5	9 0.9	9 2.25	6 0.6	10 2	9.15
Roller ball guideway	10 1.5	8 0.4	10 1.5	9 0.9	8 2	8 0.8	8 1.6	8.7
Box guideway	2 0.3	10 0.5	8 1.2	9 0.9	1 0.25	10 1	2 0.4	4.55

Nota: En la tabla se observa la comparación de ciertas especificaciones técnicas de los siguientes sistemas mecánicos de transmisión de movimiento: motor lineal, husillo de bolas y piñón-cremallera.

El sistema mecánico de guiado lineal que se eligió es el Linear ball guideway, debido a que el sistema CNC que se adaptará a una máquina cosedora industrial no presenta vibraciones ni cargas elevadas, además se trabaja a altas velocidades por lo que se requiere de un coeficiente de fricción bajo. El costo del sistema es bajo por lo que se adapta a las necesidades de la empresa.

6.4. Selección de los componentes para el diseño

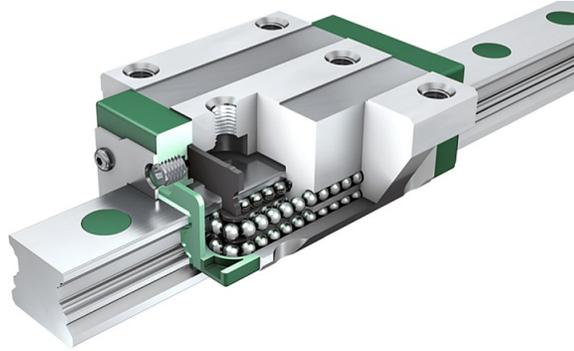
6.4.1. Sistema mecánico

- **Linear ball bearing guideway KUV15-B-ES**

Es un sistema de guiado lineal monorraíl, compuesto de una guía lineal y un rodamiento de lineal de bolas. Se utiliza para sistemas de guiado lineal con alta capacidad de carga y rigidez, con alta precisión de desplazamiento y baja fricción. Estos sistemas son adecuados para longitudes de carreras largas e ilimitadas (SCHAEFFLER, 2023b).

Figura 20

Linear ball bearing guideway KUVE15-B-ES.



Nota: Linear ball bearing guideway KUVE15-B-ES (SCHAEFFLER, 2023b).

En la Tabla 14 se exponen las especificaciones técnicas de la guía lineal de bolas.

Tabla 14

Especificaciones Linear ball bearing guideway KUVE15-B-ES.

Especificaciones	Linear ball bearing guideway KUVE15-B-ES.
Capacidad de carga dinámica	7,2 KN
Capacidad de carga estática	14,5 KN
Momento estático en el eje X	150 Nm
Momento estático en el eje Y	100 Nm
Momento estático en el eje Z	100 Nm
Velocidad máxima	360 <i>m/min</i>
Aceleración máxima	150 <i>m/s²</i>

Nota: En la tabla se observa las especificaciones técnicas Linear ball bearing guideway KUVE15-B-ES (SCHAEFFLER, 2023a).

- **Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6**

Husillo de bolas de eje laminado para mayor precisión de desplazamiento, compuesto de un tornillo esférico compacto con una tuerca incorporada con una tubería de retorno. La circunferencia del reborde se corta de manera plana en la parte superior e inferior, lo que permite que el centro del eje se ubique en una posición baja (THK, 2023a).

Figura 21

Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6.



Nota: Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6 (THK, 2023a).

En la Tabla 15 se presentan las especificaciones técnicas del husillo de bolas laminado.

Tabla 15

Especificaciones Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6.

Especificaciones	Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6.
Diámetro exterior	10mm
Diámetro de la brida	42mm
Paso	6mm
Capacidad de carga dinámica	2,8 KN
Capacidad de carga estática	4,9 KN

Nota: En la tabla se observa las especificaciones técnicas del Husillo de bolas laminado BTK 1006V-2.6 (THK, 2023b).

6.4.2. Sistema eléctrico

- **Fuente de alimentación ALITOVE S-360-24**

Fuente de alimentación de 24V DC, 15A, 360W, adaptador de transformador de conmutación regulado Universal, entrada de CA de 110V/220V (ALITOVE, 2023).

Figura 22

Fuente de alimentación ALITOVE S-360-24.



Nota: Fuente de alimentación ALITOVE S-360-24 (ALITOVE, 2023).

En la Tabla 16 se indican las especificaciones técnicas de la fuente de alimentación.

Tabla 16

Fuente de alimentación ALITOVE S-360-24.

Especificaciones	Fuente de alimentación ALITOVE S-360-24.
Entrada	110V AC/220V AC - 50/60Hz
Voltaje de salida	24V DC
Corriente de salida	15A máx.
Potencia de salida	3600W
Temperatura de trabajo	-10 a 50 °C

Nota: En la tabla se observa las especificaciones técnicas de la Fuente de alimentación ALITOVE S-360-24 (ALITOVE, 2023).

6.4.3. Sistema electrónico

- **Sensor de posición Moujen ME-8104**

Interruptor de límite industrial compacto, 1 NA, 1 NC, contacto aislado de ruptura doble, 5 A, IP65, tornillo de conexión a tierra interno (Moujen, 2023).

Figura 23

Sensor de posición Moujen ME-8104.



Nota: Sensor de posición Moujen ME-8104 (Moujen, 2023).

En la Tabla 17 se presentan las especificaciones técnicas del sensor de posición.

Tabla 17

Sensor de posición Moujen ME-8104.

Especificaciones	Sensor de posición Moujen ME-8104.
Velocidad de operación	0,5-50 mm/s
Corriente alterna nominal	5A - 250V
Corriente continua nominal	0,4A - 115V
Temperatura de operación	-15 a 50 °C
Grado de protección	IP65

Nota: En la tabla se observa las especificaciones técnicas del Sensor de posición Moujen ME-8104 (Moujen, 2023).

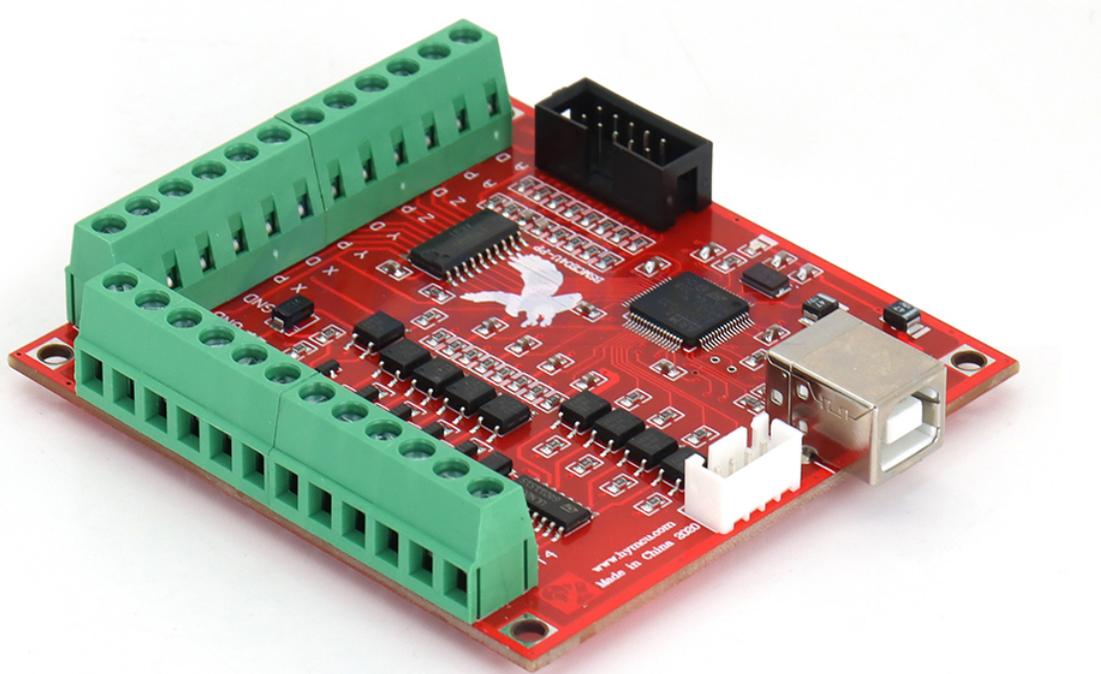
6.4.4. Sistema de control

- **Tarjeta de control USB CNC Mach 3 BSMCEO4U-PP (4 ejes)**

Es un controlador USB CNC de máximo 4 ejes, es decir es capaz de controlar 4 motores paso a paso o servomotores, esta diseñada para usarse mediante el software MACH 3 y es compatible con todas las versiones del sistema operativo de Windows, por lo que se puede controlar mediante laptops y tablets. Se usa generalmente para controlar maquinaria CNC (Vancura, 2021).

Figura 24

Tarjeta de control USB Mach 3 BSMCEO4U-PP (4 ejes).



Nota: Tarjeta de control USB Mach 3 BSMCEO4U-PP (4 ejes) (Vancura, 2021).

En la Tabla 18 se exponen las especificaciones de la tarjeta de control USB Mach3.

Tabla 18

Especificaciones de la tarjeta de control USB Mach 3 BSMCEO4U-PP.

Especificaciones	Tarjeta de control BSMCEO4U-PP
Alimentación	12-24 VDC
Frecuencia máxima	100 KHz
Interfaz de comunicación	USB
Entradas	12 entradas digitales
Control de inversor	Salida analógica 0-10 VDC
Entradas de uso general	4 entradas
Salidas de aislamiento	4 salidas
Sistema operativo	Windows

Nota: En la tabla se observa las especificaciones técnicas de la tarjeta de control USB Mach 3 BSMCEO4U-PP (Vancura, 2021).

- **Driver de motor paso a paso de lazo cerrado CL57T**

Es un driver para controlar motores paso a paso de lazo cerrado, con realimentación de posición mediante un encoder. Toma las señales del controlador y las amplifica y envía al motor para realizar el control de este (STEPPERONLINE, 2023c).

Figura 25

Driver de motor paso a paso de lazo cerrado CL57T.



Nota: Driver de motor paso a paso de lazo cerrado CL57T (STEPPERONLINE, 2023c).

En la Tabla 19 se presentan las especificaciones técnicas del driver de motor paso a paso.

Tabla 19

Especificaciones del driver de motor paso a paso de lazo cerrado CL57T.

Especificaciones	Driver CL57T
Corriente máxima de salida	0 – 8A
Voltaje de funcionamiento	24VDC
Frecuencia de entrada de pulso	0 – 500kHz
Ancho de pulso	2us
Corriente de señal de entrada lógica	7 – 16mA

Nota: En la tabla se observa las especificaciones técnicas del driver de motor paso a paso de lazo cerrado CL57T (STEPPERONLINE, 2023c).

6.5. Propuesta del diseño del sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos

6.5.1. Diseño del sistema adaptable a una máquina de coser

- **Diseño del sistema mecánico de movimiento en el eje X**

Como se observa en la Figura 26, para el movimiento en el eje X se utilizó cuatro guías lineales de bolas para que el desplazamiento sea fluido, estas cuatro guías deben estar conectadas entre sí, esto con el fin de que solo con un actuador se genere el movimiento sobre este eje.

Figura 26

Sistema mecánico de movimiento en el eje X.



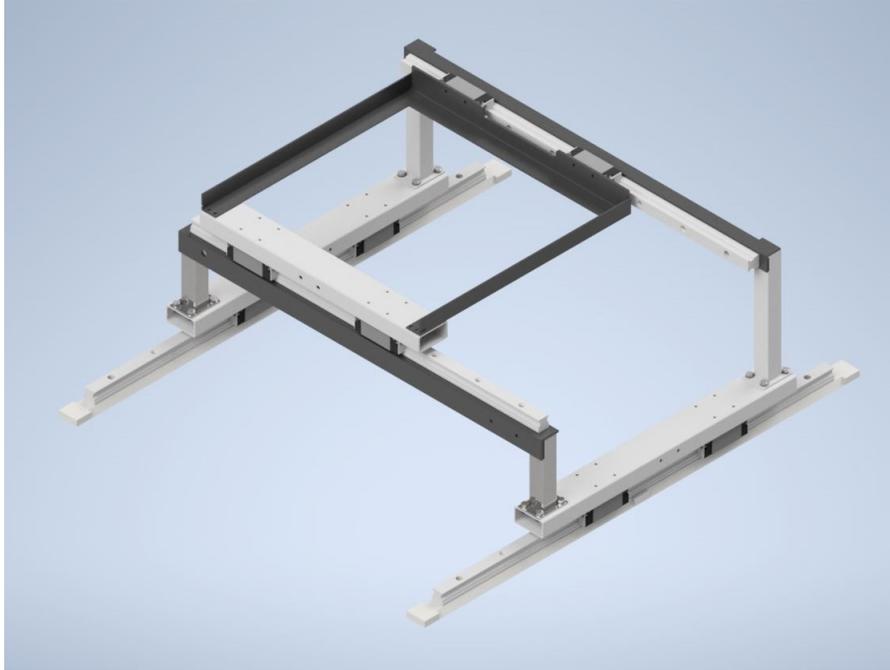
Nota: Diseño del sistema mecánico que permite el desplazamiento sobre el eje X.

■ Diseño del sistema mecánico de movimiento en el eje Y

Como se puede ver en la Figura 27, para realizar el movimiento en el eje Y, se implementó cuatro guías lineales adicionales, las cuales están conectadas entre sí, pero su movimiento es independiente al primer eje, de igual manera solo se necesita un actuador para generar el movimiento en este eje.

Figura 27

Sistema mecánico de movimiento en dos ejes X y Y.



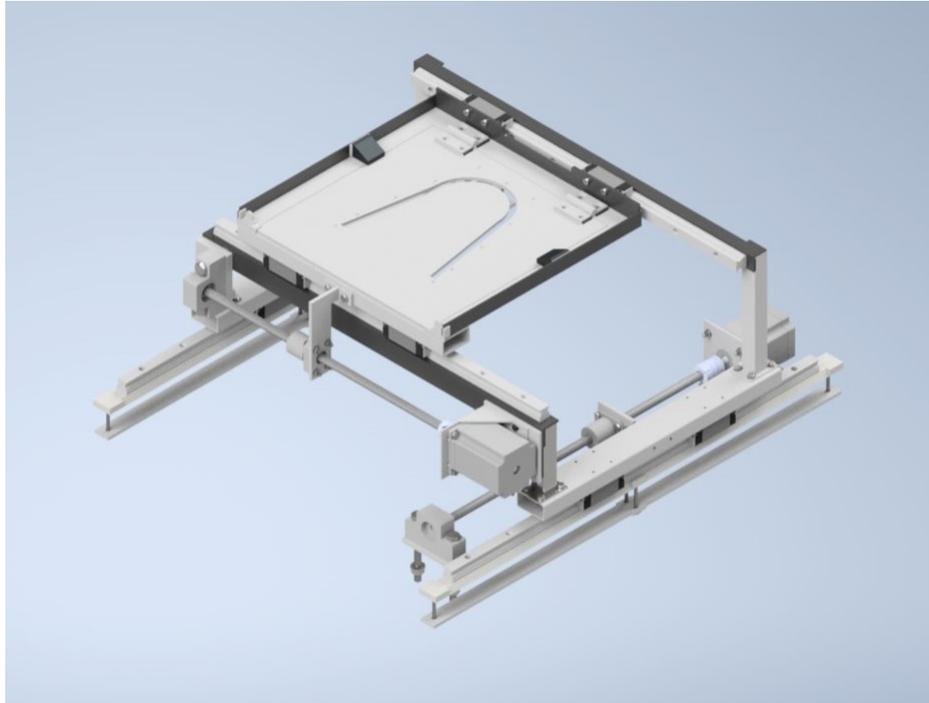
Nota: Diseño del sistema mecánico que permite el desplazamiento sobre dos ejes X y Y.

- **Diseño del mecanismo de transmisión de movimiento**

Como se observa en la Figura 28, teniendo el sistema con movimiento en dos ejes se implementó el mecanismo de transmisión de movimiento con el respectivo actuador, lo cual permite controlar la trayectoria del sistema.

Figura 28

Sistema mecánico adaptable a una máquina de coser.



Nota: Diseño del sistema mecánico adaptable a una máquina de coser para movimiento en 2 ejes.

- **Adaptación del diseño del sistema CNC a la máquina industrial de costura IVOMAQ serie IVM 55**

Una vez diseñado el sistema mecánico de movimiento en el eje X y Y, se adaptó el sistema CNC a la máquina de costura IVOMAQ serie IVM 55 por medio de placas de acero negro galvanizado sujetas mediante uniones roscadas (véase la Figura 29).

Figura 29

Adaptación del diseño del sistema CNC a la máquina industrial de costura IVOMAQ serie IVM 55.



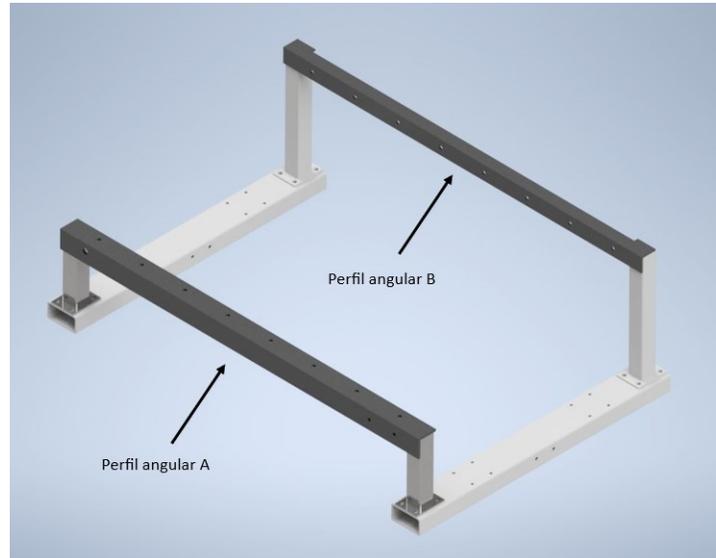
Nota: Se observa la adaptación del diseño del sistema CNC a la máquina industrial de costura IVOMAQ serie IVM 55.

6.5.2. Cálculo de esfuerzos en la estructura mecánica del sistema CNC

En la Figura 30 se observa la estructura mecánica que da soporte al sistema CNC. Esta estructura soporta el peso del molde, de los sistemas de transmisión de movimiento y de guiado lineal y de los actuadores, por lo que está sometida a esfuerzos y deformaciones que deben ser analizados con el fin de validar el diseño mecánico del sistema.

Figura 30

Estructura mecánica del sistema CNC.



Nota: Estructura mecánica que da soporte al sistema CNC, en la misma se especifican los perfiles angulares que van a soportar la mayor carga.

Con la adición del molde, actuadores, de los sistemas de transmisión de movimiento y de guiado lineal, es necesario realizar un análisis de la deformación y los esfuerzos que soporta la estructura con el fin de identificar si el material soporta los esfuerzos y deformaciones solicitados sin superar el límite elástico lo que modificaría sus características mecánicas generando un fallo.

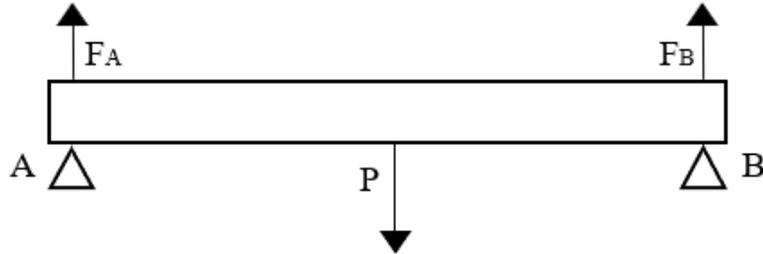
Para este análisis se tomó en cuenta los elementos más críticos de la estructura, en este caso son los perfiles angulares los que van a soportar mayores esfuerzos y deformaciones, por lo que se realizó un análisis de esfuerzos de flexión mediante el diagrama de esfuerzo cortante y de momento flector. Debido a que los perfiles angulares tienen una geometría diferente y no soportan la misma carga, se realiza un análisis por separado.

■ Análisis de esfuerzos en el perfil angular A.

En la Figura 31 se observa el diagrama de cuerpo libre del perfil angular A, este soporta un peso de 2 kg.

Figura 31

Diagrama de cuerpo libre del perfil angular A.



Nota: Diagrama de cuerpo libre del perfil angular A, donde se observan las fuerzas y reacciones que actúan sobre el mismo, además de los puntos de apoyo.

Se realiza una sumatoria de fuerzas en Y para determinar las reacciones en A y B.

$$\sum F_y = 0 \quad (1)$$

$$F_A + F_B - P = 0 \quad (2)$$

Donde:

$$P = 2kg * 9,81m/s^2 \rightarrow P \approx 20N$$

Debido a que las reacciones se encuentran a la misma distancia del peso P tienen igual magnitud, evaluando en (2) se tiene.

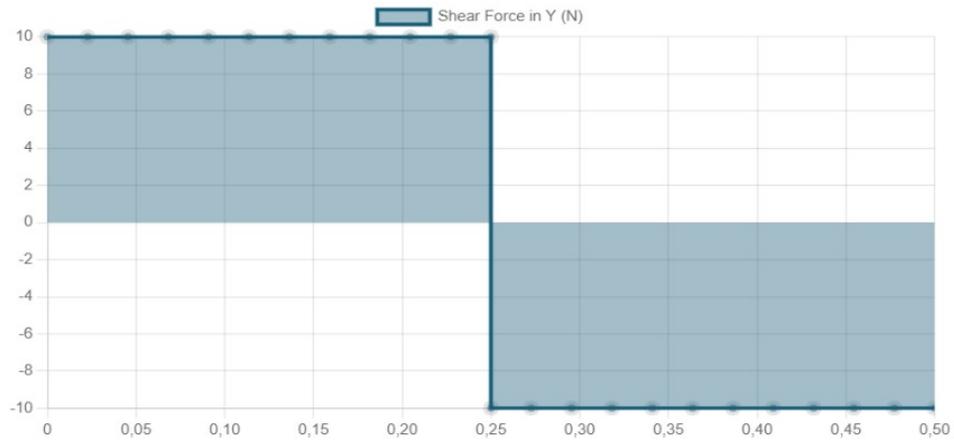
$$F_A = F_B = \frac{P}{2}$$

$$F_A = F_B = 10N$$

Una vez calculadas las fuerza y reacciones que intervienen en el perfil angular A, se realiza el diagrama de las fuerzas cortantes y de momento flector como se observa en la Figura 32 y Figura 33 respectivamente.

Figura 32

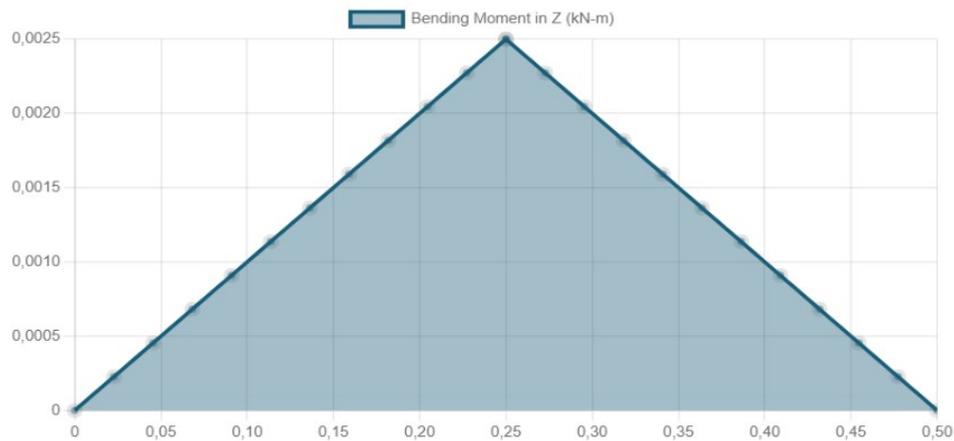
Diagrama de fuerza cortante del perfil angular A.



Nota: Diagrama de fuerza cortante del perfil angular A, donde se observan las variaciones de la magnitud de la fuerza cortante que actúa sobre el perfil con sus condiciones de apoyo.

Figura 33

Diagrama de momento flector del perfil angular A.



Nota: Diagrama de momento flector del perfil angular A, donde se observa el momento resultante de la fuerza P y las reacciones en los apoyos A y B.

Analizando el diagrama que se observa en la Figura 33, el momento flector es igual a 0,625Nm.

Una vez calculado el momento flector del perfil angular A, se procede a calcular el esfuerzo máximo que este soporta.

$$\sigma_{max} = \frac{M * c}{I} \quad (3)$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo de flexión

M = Momento flector

c = Distancia desde el eje neutro al punto de aplicación de la fuerza

I = Inercia de la viga

Para el cálculo de la inercia del perfil angular se utilizó el teorema de Steiner, se tiene en cuenta que es una viga en forma de L con agujeros, por lo que, se tiene que calcular tanto la inercia de la sección transversal como la de los agujeros.

Teorema de Steiner para el cálculo de la inercia de una viga respecto a un eje:

$$I_X = I_{OX} + A * dy^2 \quad (4)$$

Donde:

$$I_{OX} = \frac{(b) * (h)^3}{12} \quad (5)$$

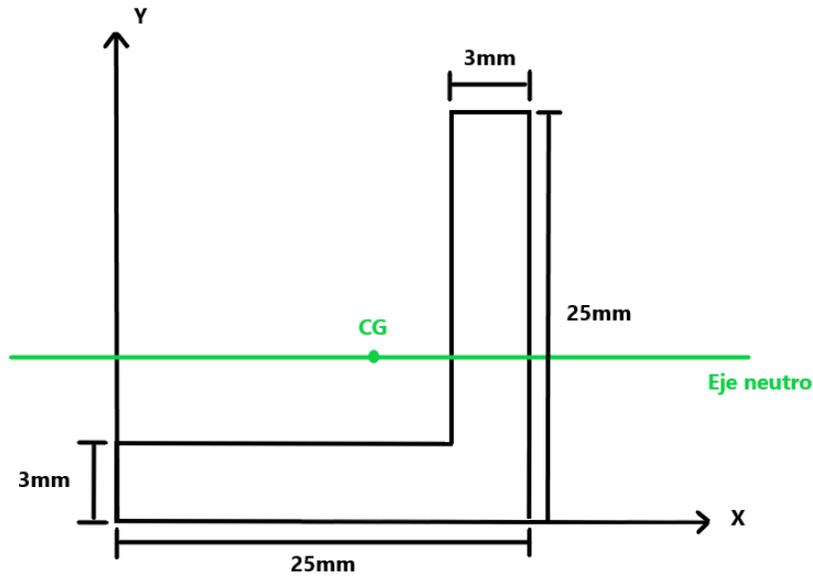
$$A = (b) * (h) \quad (6)$$

$$dy = (Y_{CG} - Y_{OCG}) \quad (7)$$

En la Figura 34 se observa la sección transversal del perfil angular A, para calcular la inercia, se divide la sección en dos rectángulos. El eje neutro es paralelo al eje X y pasa por el centro de gravedad de la figura. También se especifican las medidas.

Figura 34

Sección transversal del perfil angular A.



Nota: Sección transversal del perfil angular A, donde se observan las dimensiones y el centro de gravedad, necesarios para el cálculo de la inercia de esta viga.

Cálculo del centro de gravedad de la viga:

$$X_{CG} = \frac{(22mm * 3mm * 11mm) + (3mm * 25mm * 23,5mm)}{(22mm * 3mm) + (3mm * 25mm)}$$

$$X_{CG} = 17,65mm$$

$$Y_{CG} = \frac{(22mm * 3mm * 1,5mm) + (3mm * 25mm * 12,5mm)}{(22mm * 3mm) + (3mm * 25mm)}$$

$$Y_{CG} = 7,35mm$$

Evaluando en (4) tenemos:

$$I_X = \frac{(22 * 3^3)}{12} + 22 * 3 * (7,35 - 1,5)^2 + \frac{(3 * 25^3)}{12} + 3 * 25 * (12,5 - 7,35)^2$$

$$I_X = 8203,6225 * 10^{-12} m^4$$

Cada agujero contribuirá a una reducción en la inercia total de la viga. Para calcular la inercia de cada uno de estos usaremos la fórmula del momento de inercia de un cilindro respecto a su eje central:

$$I_{agujero} = \frac{(pi) * (d^4)}{64} \quad (8)$$

Donde: d = diámetro del agujero

Inercia de los agujeros de 4,6mm de diámetro:

Evaluando en (5) tenemos:

$$I_{agujero} = \frac{(pi) * (4,6mm)^4}{64}$$

$$I_{agujero} = 21,97 * 10^{-12} m^4$$

Inercia de los agujeros de 4mm de diámetro:

Evaluando en (5) tenemos:

$$I_{agujero} = \frac{(pi) * (4mm)^4}{64}$$

$$I_{agujero} = 12,56 * 10^{-12} m^4$$

Inercia del agujero de 8mm de diámetro:

Evaluando en (5) tenemos:

$$I_{agujero} = \frac{(pi) * (8mm)^4}{64}$$

$$I_{agujero} = 201,06 * 10^{-12} m^4$$

La inercia total es igual a:

$$I = I_X - I_{agujeros} \quad (9)$$

Evaluando en (9) tenemos:

$$I = (8203,6225 - 8 * 21,97 - 2 * 12,56 - 201,06) * 10^{-12} m^4$$

$$I = 7801,68 * 10^{-12} m^4$$

Una vez calculada la inercia del ángulo evaluamos en (3) para obtener el máximo esfuerzo que este va a soportar.

$$\sigma_{max} = \frac{(0,625 Nm) * (0,01765 m)}{7801,68 * 10^{-12} m^4}$$

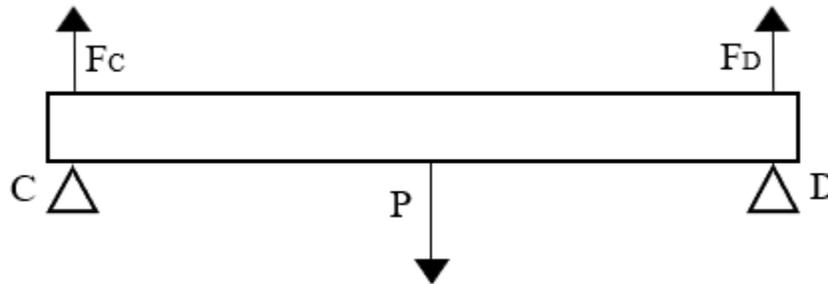
$$\sigma_{max} = 1,41 MPa$$

■ **Análisis de esfuerzos en el perfil angular B.**

En la Figura 35 se observa el diagrama de cuerpo libre del perfil angular B, este soporta un peso de 1kg.

Figura 35

Diagrama de cuerpo libre del perfil angular B.



Nota: Diagrama de cuerpo libre del perfil angular B, donde se observan las fuerzas y reacciones que actúan sobre el mismo, además de los puntos de apoyo.

Se realiza una sumatoria de fuerzas en Y para determinar las reacciones en C y D.

$$\sum F_y = 0 \quad (1)$$

$$F_C + F_D - P = 0 \quad (10)$$

Donde:

$$P = 1kg * 9,81m/s^2 \rightarrow P \approx 10N$$

Puesto que las reacciones de los apoyos se encuentran a la misma distancia del peso P tienen igual magnitud, evaluando en (4) se tiene.

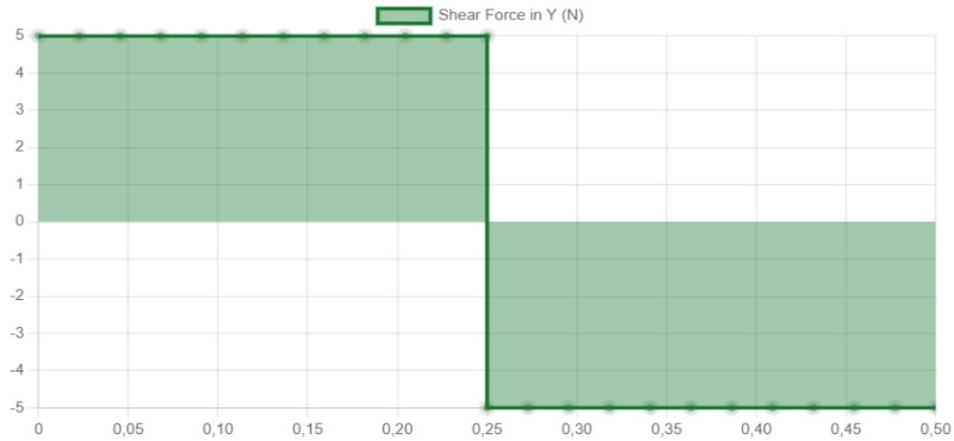
$$F_C = F_D = \frac{P}{2}$$

$$F_C = F_D = 5N$$

Una vez calculadas las fuerza y reacciones que intervienen en el perfil angular B, se realiza el diagrama de las fuerzas cortantes y de momento flector como se observa en la Figuras 36 y Figura 37 respectivamente.

Figura 36

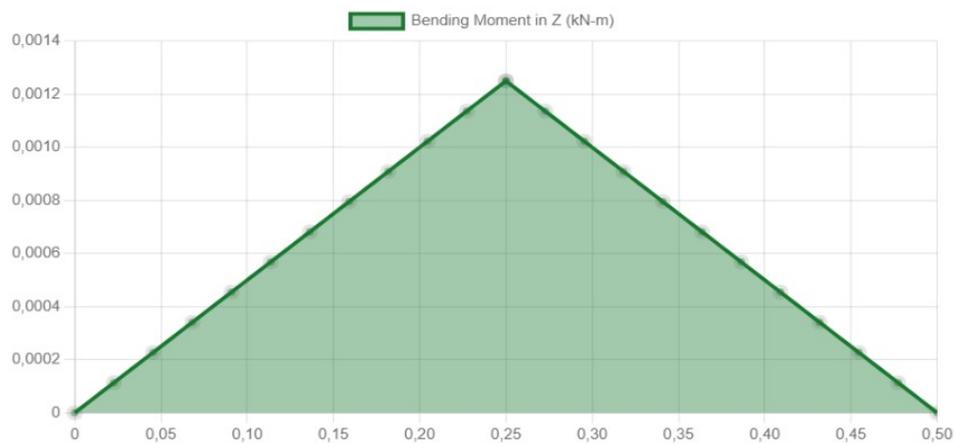
Diagrama de fuerza cortante del perfil angular B.



Nota: Diagrama de fuerza cortante del perfil angular B, donde se observan las variaciones de la magnitud de la fuerza cortante que actúa sobre el perfil con sus condiciones de apoyo.

Figura 37

Diagrama de momento flector del perfil angular B.



Nota: Diagrama de momento flector del perfil angular B, donde se observa el momento resultante de la fuerza P y las reacciones en los apoyos C y D.

Analizando el diagrama que se observa en la Figura 37, el momento flector es igual a 0,3125Nm.

Una vez calculado el momento flector del perfil angular B, se procede a calcular el esfuerzo máximo que este soporta aplicando la ecuación (3).

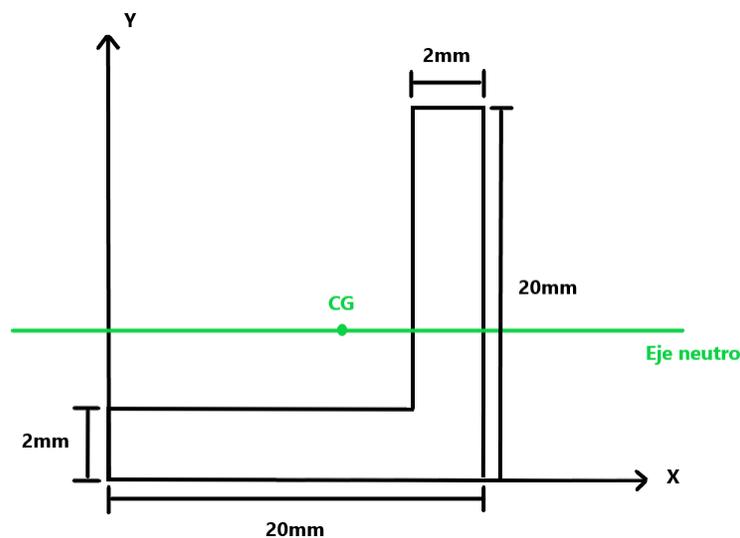
$$\sigma_{max} = \frac{M * c}{I} \quad (3)$$

Para calcular la inercia del perfil angular B se procede de la misma manera que en el perfil angular A.

En la Figura 38 se observa la sección transversal del ángulo B, para calcular la inercia la figura se divide en dos rectángulos. El eje neutro es paralelo al eje X y pasa por el centro de gravedad de la figura. También se especifican las medidas necesarias para el cálculo de la inercia.

Figura 38

Sección transversal del perfil angular B.



Nota: Sección transversal del perfil angular B, donde se observan las dimensiones y el centro de gravedad, necesarios para el cálculo de la inercia de esta viga.

Cálculo del centro de gravedad de la viga:

$$X_{CG} = \frac{(18mm * 2mm * 9mm) + (2mm * 20mm * 19mm)}{(18mm * 2mm) + (2mm * 20mm)}$$

$$X_{CG} = 14,26mm$$

$$Y_{CG} = \frac{(18mm * 2mm * 1mm) + (2mm * 20mm * 10mm)}{(18mm * 2mm) + (2mm * 20mm)}$$

$$Y_{CG} = 5,74mm$$

Evaluando en (4) tenemos:

$$I_X = \frac{(18 * 2^3)}{12} + 18 * 2 * (5,74 - 1)^2 + \frac{(2 * 20^3)}{12} + 2 * 20 * (10 - 5,74)^2$$

$$I_X = 2880,071 * 10^{-12}m^4$$

Cada agujero contribuirá a una reducción en la inercia total de la viga.

Inercia de los agujeros de 4,6mm de diámetro:

Evaluando en (5) tenemos:

$$I_{agujero} = \frac{(pi) * (4,6mm)^4}{64}$$

$$I_{agujero} = 21,97 * 10^{-12}m^4$$

Para calcular la inercia total de la viga evaluamos en (9):

$$I = (2880,071 - 8 * 21,97) * 10^{-12}m^4$$

$$I = 2704,311 * 10^{-12}m^4$$

Una vez calculada la inercia del perfil angular evaluamos en (3) para obtener el máximo esfuerzo que este va a soportar.

$$\sigma_{max} = \frac{(0,3125Nm) * (0,01426m)}{2704,311 * 10^{-12}m^4}$$

$$\sigma_{max} = 1,65MPa$$

6.5.3. Análisis de la estructura por medio de elementos finitos

Luego de realizar el cálculo analítico de los esfuerzos que soportan los elementos críticos de la estructura del sistema CNC, se procedió a realizar un análisis por medio de elementos finitos mediante el software ANSYS, con el fin de corroborar los datos obtenidos analíticamente.

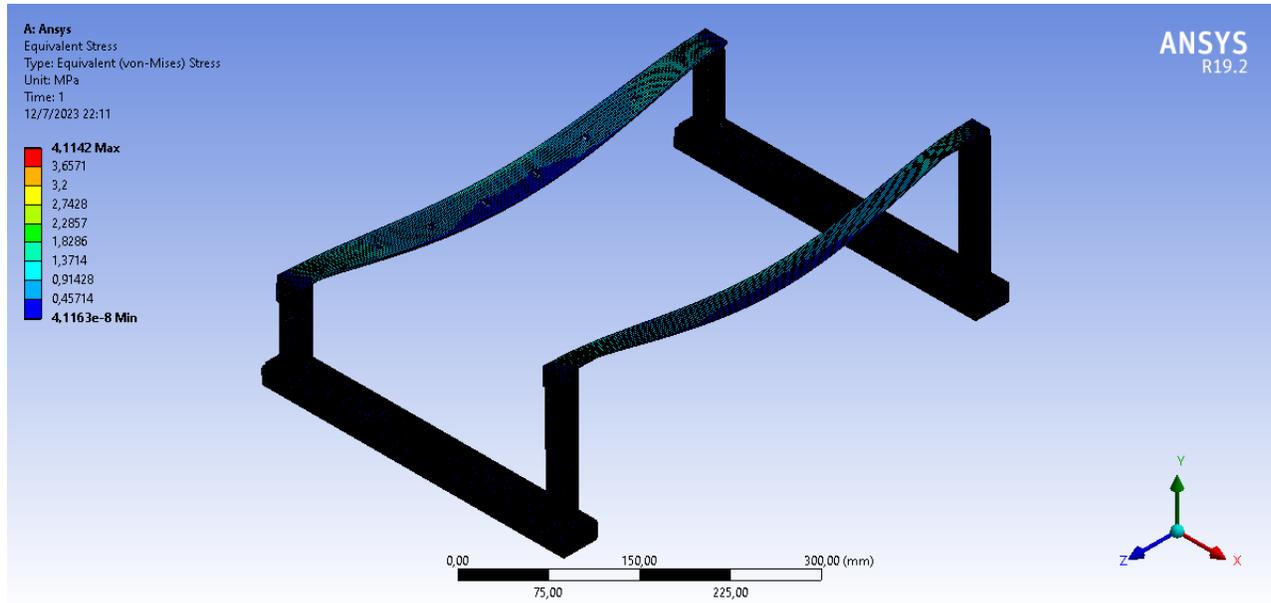
Para que los datos obtenidos en el software sean considerados válidos se requiere realizar un mallado superior al 80%, con el fin de que exista convergencia en la solución independientemente del método numérico que se use para esta.

- Mallado de la estructura mecánica

Para el mallado de la estructura mecánica en primer lugar se importó el modelo 3D del software en el que fue diseñado. En el software CAE se configuro los materiales de los diferentes elementos que forman parte de la estructura analizada. El material de los perfiles angulares es ASTM A 36 – SAE J 403 1008, el material de los soportes es acero negro galvanizado. Una vez asignado el material correspondiente a cada elemento se procede a aplicar las técnicas de mallado con el objetivo de lograr un 80% como se observa en la Figura 39.

Figura 39

Mallado de la estructura mecánica.



Nota: Se observa el mallado de la estructura mecánica con un porcentaje de 83,888%.

En la Tabla 20 se observan los parámetros del mallado de la estructura mecánica:

Tabla 20

Parámetros del mallado de la estructura mecánica.

Parámetro	Dato
Porcentaje del mallado	83,888%
Número de nodos	518632
Número de elementos	222987

Nota: En la tabla se observa los parámetros del mallado de la estructura mecánica del sistema CNC.

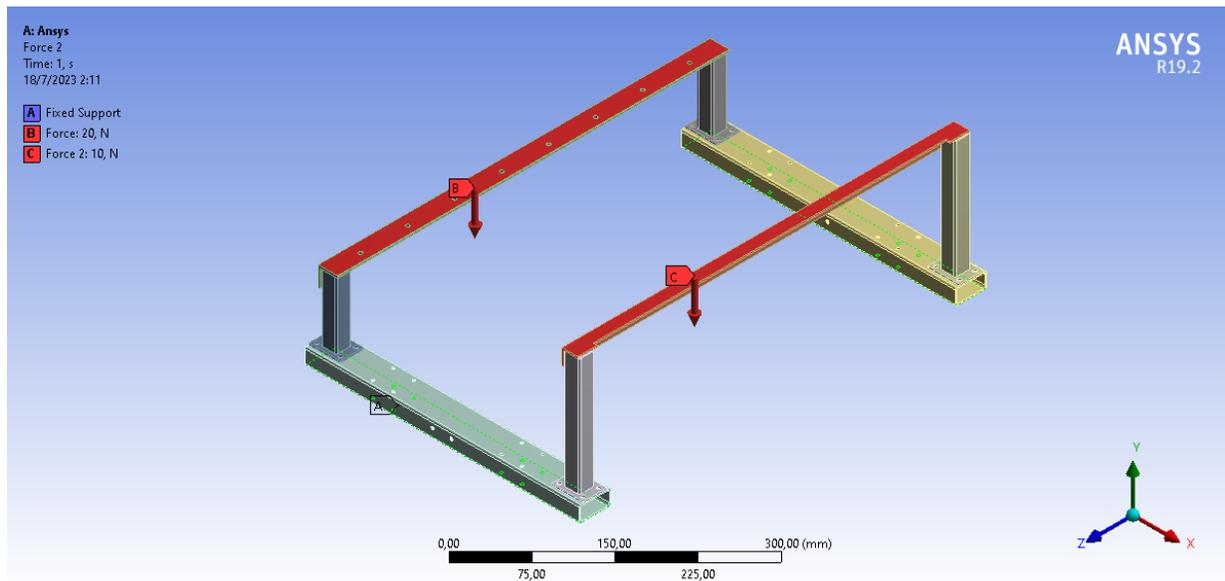
■ Asignación de las fuerzas que soporta la estructura mecánica

Como se había mencionado anteriormente los elementos críticos que se van a analizar de la estructura son los perfiles angulares A y B, ya que estos son los que van a soportar la carga del molde y de las guías del eje Y. Como se observa en la Figura 40, para el análisis de los esfuerzos que soportan estas vigas, se colocó dos fuerzas en el eje Y negativo, la fuerza B tiene una magnitud de 20 N y es la que soporta el perfil angular A y la fuerza C tiene una magnitud de 10 N y es la que soporta el perfil angular B.

Se considero que las fuerzas no son aplicadas en punto fijo, ya que, el sistema CNC al desplazarse en el eje Y aplica una fuerza a lo largo de toda la viga, por lo que estas fuerzas se aplican en toda la longitud de esta teniendo en cuenta que la parte central de la viga es la que va a sufrir mayor deformación debido a que está más alejada de los soportes. Se asigno un tipo de contacto Bonded entre los soportes verticales y los ángulos ya que estos en la vida real están unidos por medio de soldadura. Adicional a esto se colocó un soporte fijo en las barras que están en contacto con la superficie.

Figura 40

Asignación de las fuerzas que soporta la estructura mecánica.



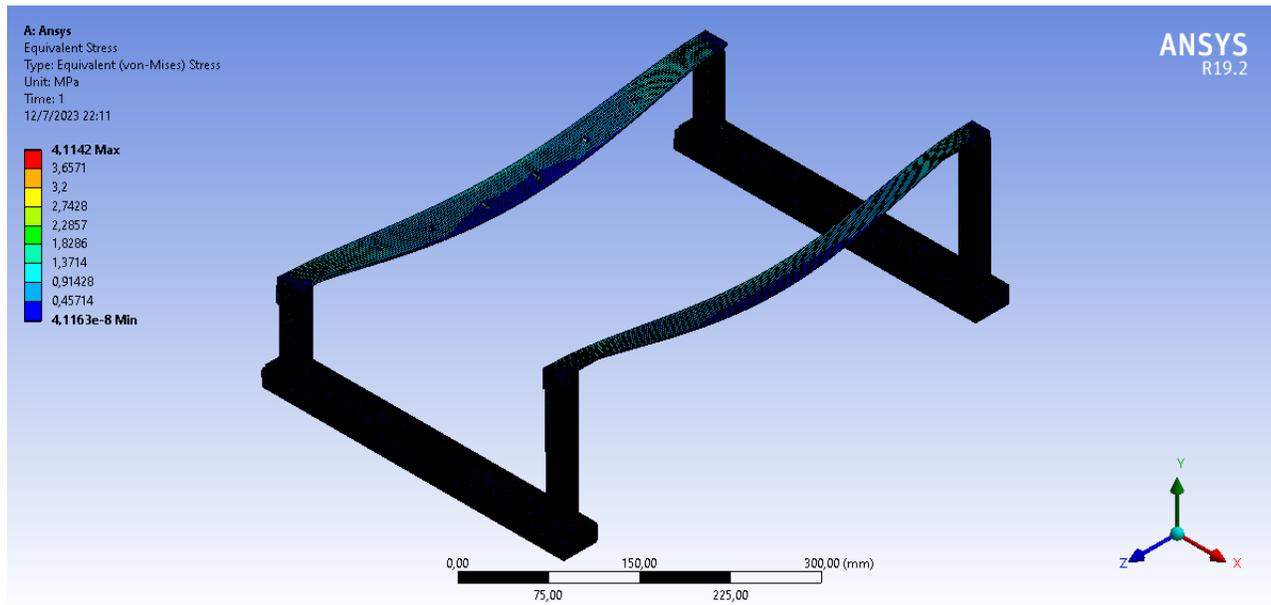
Nota: Se observa los cuerpos sobre los cuales se aplican las fuerzas para el análisis de esfuerzos así como los soportes fijos y contactos que intervienen en el análisis.

■ Análisis de esfuerzos

Como se observa en la Figura 41, se analizó el esfuerzo equivalente de Von Mises. Una vez asignadas las fuerzas que actúan sobre la estructura se procedió a realizar el cálculo mediante el software de los esfuerzos que soportan las vigas.

Figura 41

Análisis de esfuerzos de Von Mises.



Nota: Análisis del esfuerzo de Von Mises en la estructura mecánica.

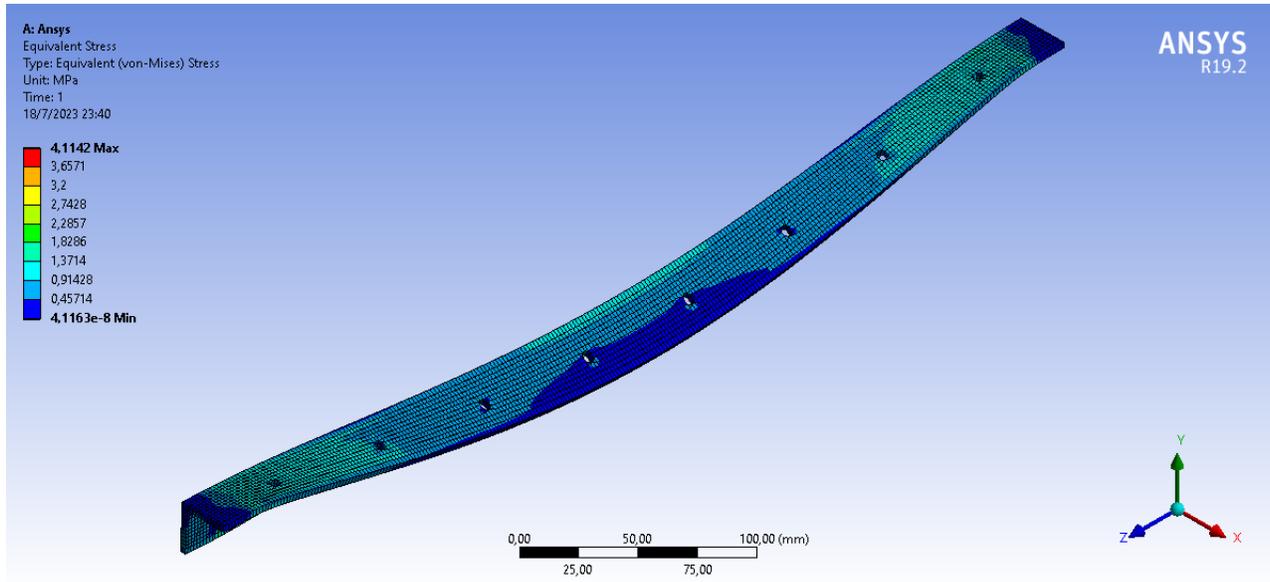
Para analizar las vigas se ocultaron los demás elementos de la estructura mecánica, esto con el fin de visualizar de mejor manera los esfuerzos que actúan sobre cada una de estas, así el análisis fue más riguroso.

Perfil angular A:

Como se observa en la Figura 42, el perfil angular A está sometido a un esfuerzo máximo de 1,40 MPa

Figura 42

Análisis de esfuerzos de Von Mises en el perfil angular A.



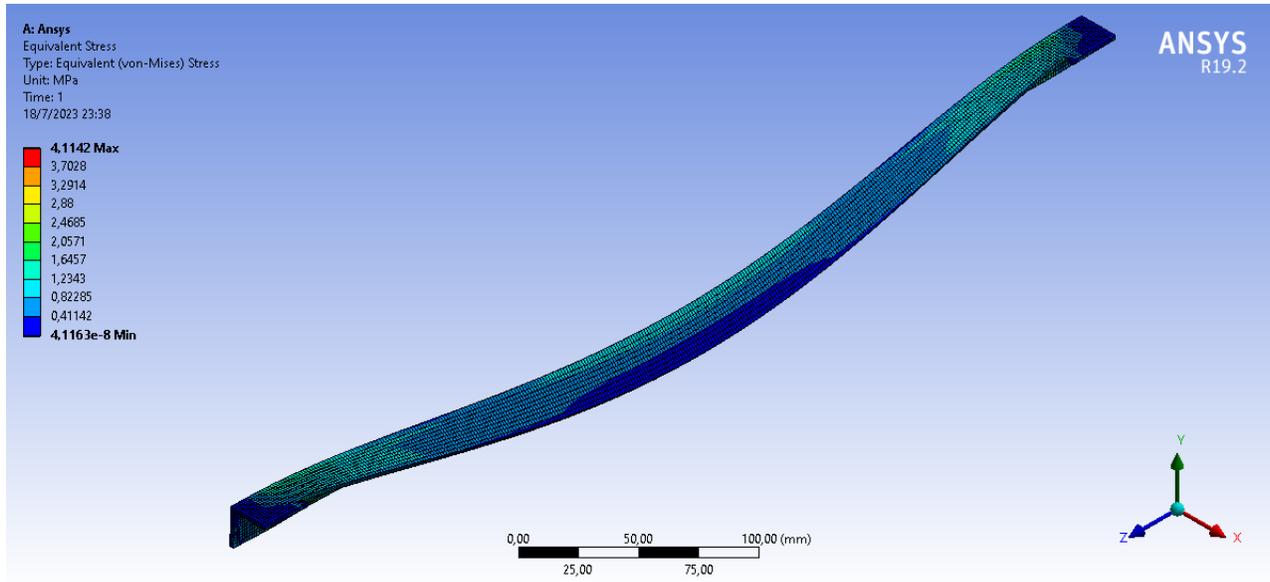
Nota: Se observa el análisis de esfuerzos de Von Mises en el perfil angular A.

Perfil angular B:

Como se observa en la Figura 43, el perfil angular B está sometido a un esfuerzo máximo de 1,6457 MPa

Figura 43

Análisis de esfuerzos de Von Mises en el perfil angular B.



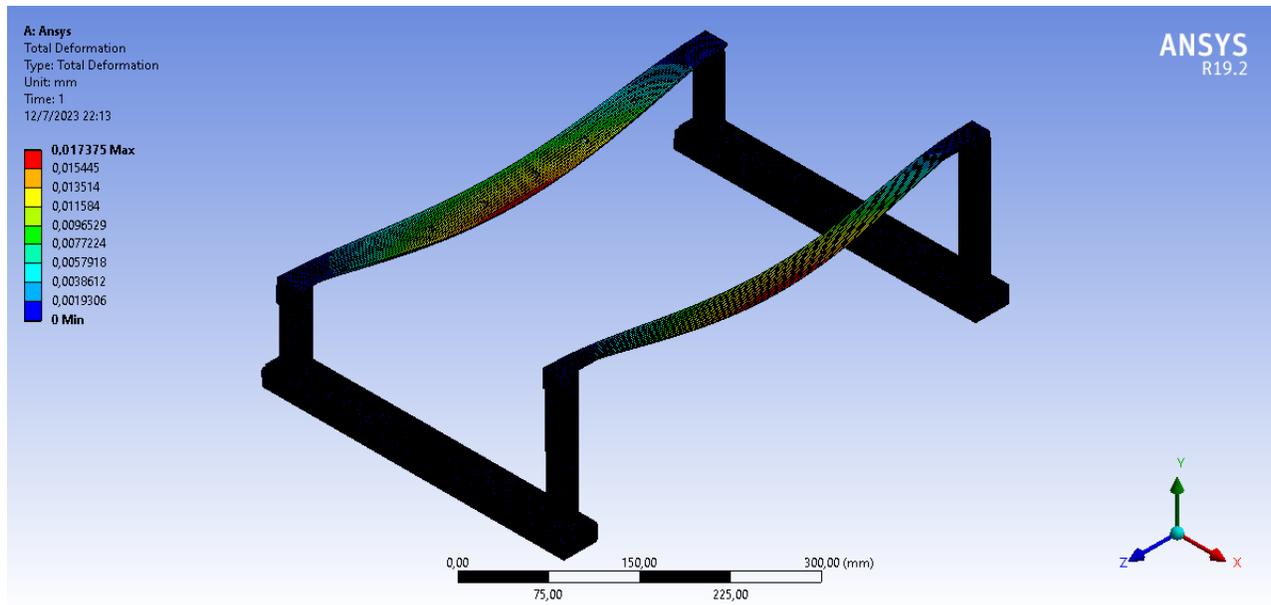
Nota: Se observa el análisis de esfuerzos de Von Mises en el perfil angular B.

■ **Análisis de deformación total**

Como se observa en la Figura 44, se realizó el análisis de la deformación que sufre la estructura al momento de aplicar una carga sobre esta. La estructura a estar sometida a cargas que actúan directamente sobre los perfiles angulares A y B, esta sufre una deformación máxima de $17,375 * 10^{-3} mm$

Figura 44

Análisis de la deformación total de la estructura mecánica.



Nota: Se observa el análisis de la deformación total de la estructura mecánica.

6.5.4. Dimensionamiento del motor

- Fórmula para el cálculo del torque del motor

$$T_L = \frac{F_A * P_H}{2 * \pi * \eta_1} \quad (11)$$

Donde:

P_H = paso de la rosca del husillo

F_A = carga axial soportada por el husillo

η_1 = rendimiento del husillo

- Fórmula para el cálculo de la carga axial soportada por el husillo:

$$F_A = F_L + F_V + N * \mu_s \quad (12)$$

Donde:

F_L = carga en dirección del eje del husillo que soporta la mesa

F_V = carga vertical soportada por la mesa

N = fuerza normal

μ_s = coeficiente de rozamiento de las guías

- Fórmula para el cálculo de la carga vertical soportada por la mesa:

$$F_V = W * g \quad (13)$$

Donde:

W = Peso que soporta la mesa

g = gravedad

- Fórmula para el cálculo del rendimiento del husillo:

$$\eta_1 = \frac{1 - \mu * \tan \varphi}{1 + \frac{\mu}{\tan \varphi}} \quad (14)$$

Donde:

μ = coeficiente de rozamiento a la rodadura

$\tan \varphi$ = tangente del ángulo de la hélice de la rosca del husillo

- Fórmula para el cálculo de la tangente del ángulo de la hélice de la rosca del husillo:

$$\tan \varphi = \frac{P_H}{\pi * d} \quad (15)$$

Donde:

P_H = paso de la rosca del husillo

d = diámetro de la rosca nominal del husillo

- Cálculo de la carga vertical soportada por la mesa:

Datos:

$$W = 10 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Evaluable en (13):

$$F_V = 10 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_V = 98,1 \text{ N}$$

- Cálculo de la carga axial soportada por el husillo:

Datos:

$$F_L = 0 \text{ (no existen fuerzas cortantes)}$$

$$F_V = 98,1 \text{ N}$$

$$\mu_s = 0,3$$

Evaluable en (12):

$$F_A = 0 + 98,1 \text{ N} + 98,1 \text{ N} * 0,3$$

$$F_A = 127,53 \text{ N}$$

- Cálculo de la tangente del ángulo de la hélice de la rosca del husillo:

Datos:

$$P_H = 6 \text{ mm}$$

$$d = 10 \text{ mm}$$

Evaluable en (15):

$$\tan \varphi = \frac{6 \text{ mm}}{\pi * 10 \text{ mm}}$$

$$\tan \varphi = 0,191$$

- Cálculo del rendimiento del husillo:

Datos:

$$\mu = 0,3$$

$$\tan \varphi = 0,191$$

Evaluando en (14):

$$\eta_1 = \frac{1 - 0,3 * 0,191}{1 + \frac{0,3}{0,191}}$$

$$\eta_1 = 0,367$$

- Cálculo del torque del motor

Datos:

$$F_A = 98,247 \text{ N}$$

$$P_H = 6 \text{ mm}$$

$$\eta_1 = 0,367$$

Evaluando en (11):

$$T_L = \frac{127,53 \text{ N} * 6 * 10^{-3} \text{ m}}{2 * \pi * 0,367}$$

$$T_L = 0,332 \text{ Nm}$$

- Factor de seguridad para el dimensionamiento del motor

$$T = T_L * F_s \tag{16}$$

Datos:

$$F_s = 2$$

$$T_L = 0,332 \text{ Nm}$$

Evaluando en (16):

$$T = 0,332Nm * 2$$

$$T = 0,664Nm$$

6.5.5. Selección del motor

- En la Figura 45 se observa el actuador seleccionado, Motor paso a paso de lazo cerrado Nema 23 23HS30-5004D-E1000

Figura 45

Motor paso a paso de lazo cerrado Nema 23 23HS30-5004D-E1000.



Nota: Motor paso a paso de lazo cerrado Nema 23 23HS30-5004D-E1000 (STEPPERONLINE, 2023c).

En la Tabla 21 se exponen las especificaciones técnicas del driver de motor paso a paso.

Tabla 21

Especificaciones del motor paso a paso de lazo cerrado Nema 23 23HS30-5004D-E1000.

Especificaciones	Motor Nema 23 23HS30-5004D-E1000
Número de fases	2
Torque	2 Nm
Corriente nominal/fase	5 A
Resistencia de fase	0,42 Ω
Inductancia	1,7 mH
Diámetro del eje	8 mm
Ángulo de paso	1,8°
Precisión de paso	$\pm 5\%$
Resolución del encoder	1000 PPR
Alimentación del encoder	4-5 VDC
Corriente de salida del encoder	100 mA

Nota: En la tabla se observa las especificaciones técnicas del motor paso a paso de lazo cerrado Nema 23 23HS30-5004D-E1000 (STEPPERONLINE, 2023c).

6.5.6. Cálculo de los pasos por unidad del motor

El número de pasos que envía el software Mach3 depende del sistema mecánico de transmisión de movimiento (husillo de bolas) y de las características del motor. Para realizar el cálculo de los pasos por unidad del motor se procede de la siguiente manera.

- **Cálculo de las revoluciones del motor por unidad**

Debido a que el eje del motor se acopla directo al eje del husillo de bolas y no hay ningún sistema de reducción o amplificación, las revoluciones del tornillo por unidad son iguales a las revoluciones del motor por unidad.

$$\text{Revoluciones/unidad} = \frac{1}{P_H} \quad (17)$$

Donde:

P_H = paso de la rosca del husillo

Datos:

$P_H = 6 \text{ mm}$

Evaluando en (7):

$$\text{Revoluciones/unidad} = \frac{1}{6\text{mm}}$$

$$\text{Revoluciones/unidad} = 0,1667$$

■ Cálculo de los pasos por revolución del motor

$$\text{Pasos/revolución} = \frac{360^\circ}{\text{ángulo de paso}} \quad (18)$$

Datos:

Ángulo de paso = $1,8^\circ$

Evaluando en (8):

$$\text{Pasos/revolución} = \frac{360^\circ}{1,8^\circ} * 10$$

$$\text{Pasos/revolución} = 2000$$

■ Cálculo de los pasos por unidad

$$\text{Pasos/unidad} = \text{Pasos/revolución} * \text{revoluciones/unidad} \quad (19)$$

Datos:

Pasos/revolución = 2000

Revoluciones/unidad = 0,1667

Evaluando en (9):

$$Pasos/unidad = 2000 * 0,1667$$

$$Pasos/unidad = 333,4$$

Para tener un desplazamiento lineal de 1mm el motor a pasos debe realizar un movimiento de 333,4 pasos, con estos cálculos se puede obtener el número de pasos que debe dar el motor para obtener un desplazamiento determinado.

6.6. Esquema electrónico del sistema CNC

En la Figura 46 se indica el diagrama de conexión de los componentes electrónicos del sistema CNC, a continuación, se describe la función de cada uno de ellos:

- **Software Mach 3**

La computadora se encarga de correr el software, el cual genera el código G y envía las órdenes a la tarjeta de control mediante un cable USB, esta transforma las órdenes del en señales, posteriormente enviadas a los drivers para realizar el control de los motores.

- **Fin Carrera**

Hay 4 interruptores fin carrera, los cuales se encargan de detectar los límites mecánicos de la mesa de trabajo de la máquina. Cuando las guías llegan a su límite mecánico tanto en el eje X como en el eje Y se activan estos interruptores deteniendo los motores.

- **Paro de emergencia**

Es un requisito de las máquinas industriales, este pulsante corta el suministro de energía del todo el sistema CNC en caso de emergencia, es activado por el usuario.

- **Relé**

El relé aísla el circuito en caso de un sobre voltaje o corriente, sirve para salvaguardar la integridad de los diferentes dispositivos del sistema CNC.

- **Tarjeta de control USB Mach 3**

La tarjeta de control recibe las instrucciones enviadas por el ordenador, estas instrucciones son transformadas en señales electrónicas para ser enviadas a los drivers, por ejemplo el número de pasos de los motores.

- **Fuente de Alimentación**

La fuente de alimentación suministra energía eléctrica al sistema CNC, el cual incluye drivers, motores, tarjeta de control, sensores, relés y pulsantes.

- **Drivers**

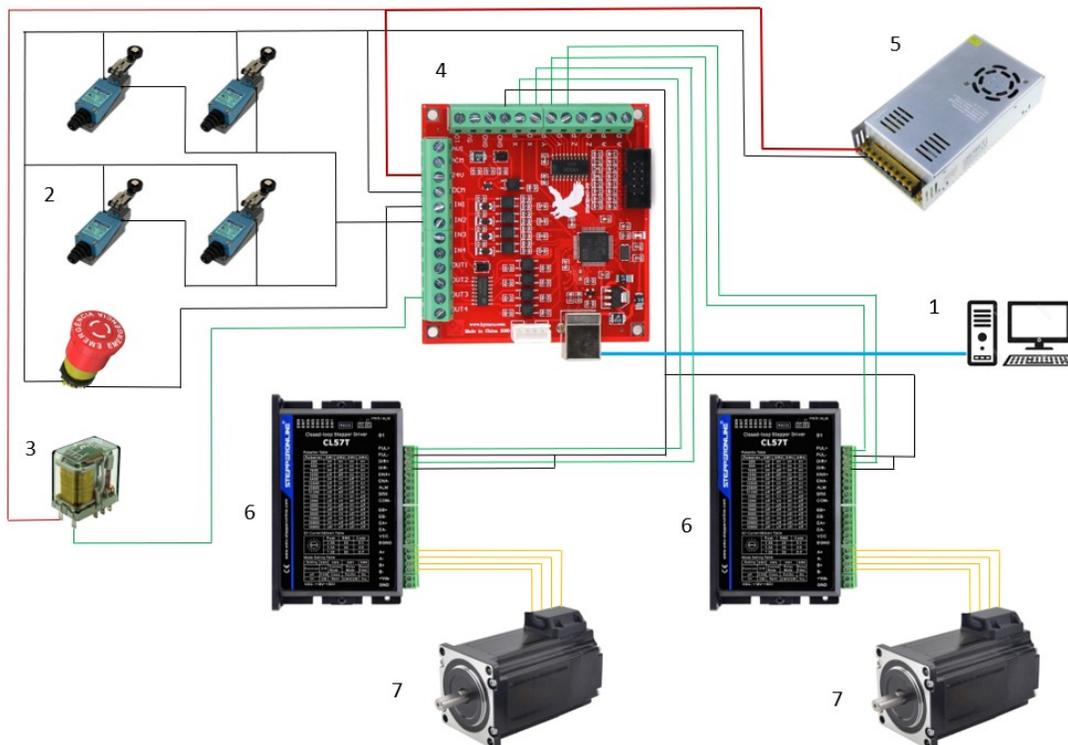
Estas tarjetas electrónicas reciben e interpretan las señales enviadas por la tarjeta de control y las transforman en corriente. Controlan la alimentación eléctrica de los actuadores para realizar el movimiento de la mesa de trabajo.

- **Motores a pasos**

Los actuadores se encargan de realizar el movimiento de la mesa de trabajo. Los motores a pasos para desplazar la mesa de trabajo 1mm requieren 333,4 pasos.

Figura 46

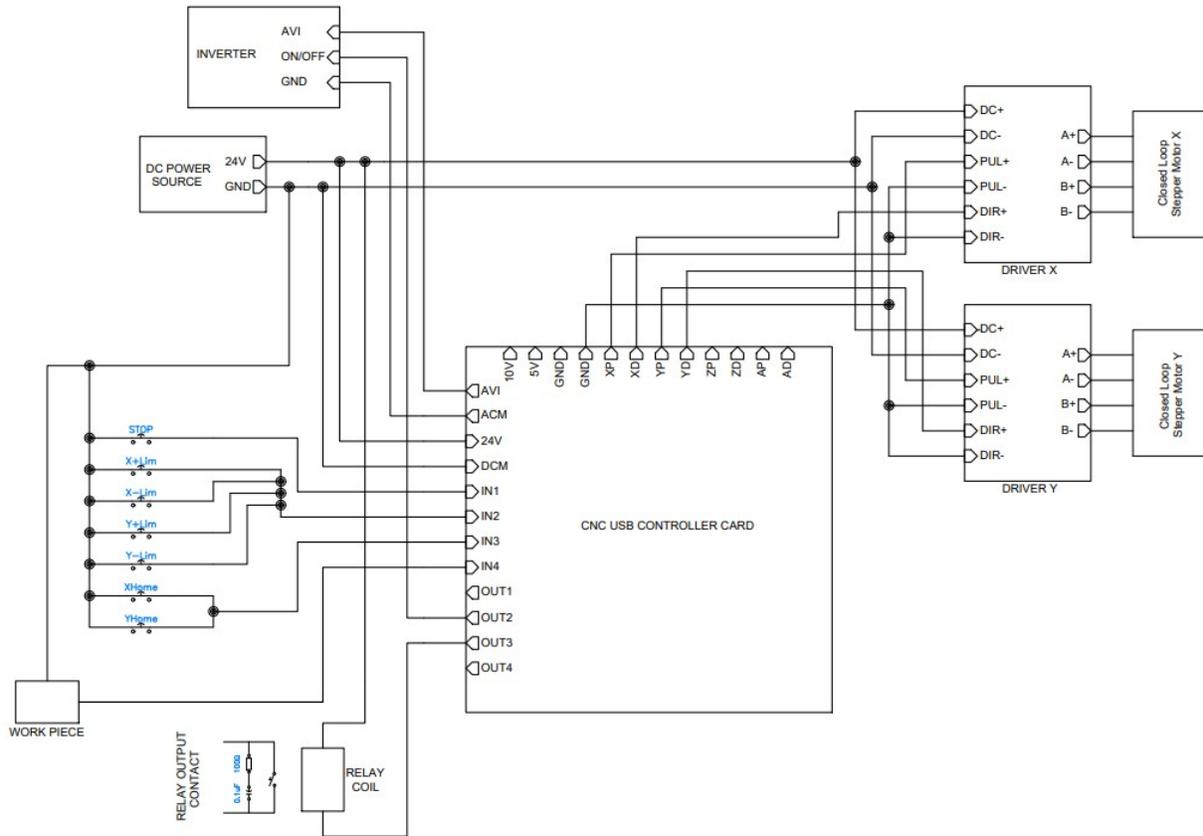
Esquema electrónico del sistema.



Nota: Esquema electrónico del sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos

Figura 47

Esquema electrónico del controlador.



Nota: Esquema electrónico del sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos

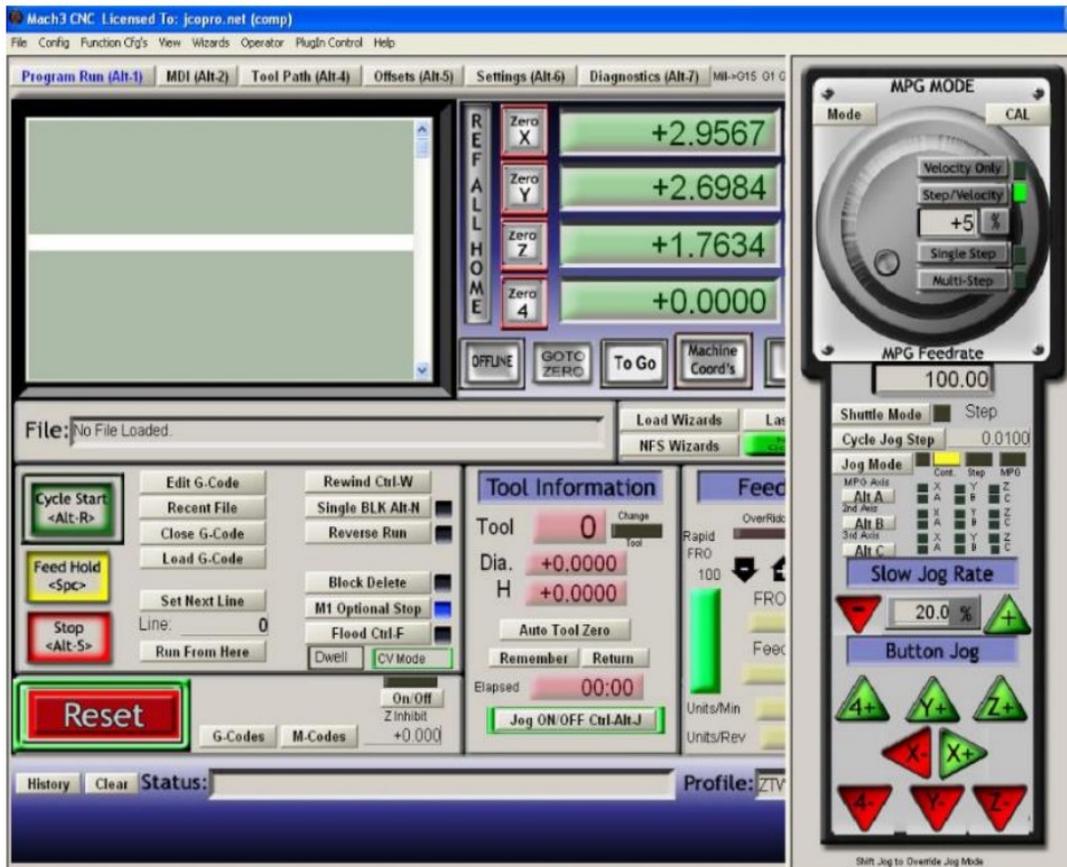
6.7. Configuración del software Mach 3

El software Mach3 utiliza una computadora como una interfaz del controlador de una máquina CNC. Este programa corre sobre el sistema operativo Windows, y sirve para controlar el movimiento de servomotores y motores a pasos mediante el procesamiento de código G. Es un software sofisticado con características avanzadas en distintas tareas de mecanizado, pero a su vez es intuitivo y personalizable (Newfangled Solutions, 2023).

En la Figura 48 se observa la ventana principal del software Mach3.

Figura 48

Ventana principal del software Mach3.



Nota: Ventana principal del software Mach3, en la que se puede observar las distintas configuraciones que se realizan para el control de los actuadores (Newfangled Solutions, 2023).

6.7.1. Requisitos para la instalación del software Mach3

- PC de escritorio o laptop con sistema operativo Windows
- Sistema operativo Windows 2000, XP, Vista, 7 de 32 Bits o 64 Bits
- CPU de 1GHZ

- 512MB de memoria RAM
- Tarjeta de vídeo dedicada de 32MB de RAM o superior

6.7.2. Configuración inicial

- **Configuración de las direcciones de los puertos a usar**

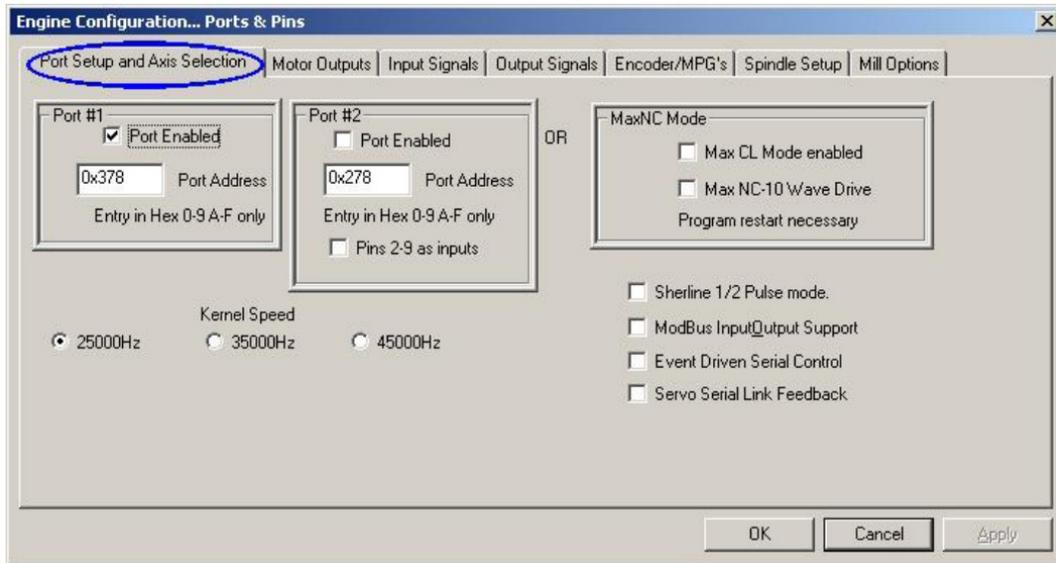
En la Figura 49 se observa la ventana de configuración de direcciones de puertos. En caso de una sola tarjeta de control PCI no se debe cambiar la configuración por defecto del puerto (0x378). Si se va a utilizar más de una tarjeta de control verificar en el administrador de dispositivos, verificar la dirección del puerto y configurar en la ventana.

- **Configuración de la velocidad de frecuencia de la máquina**

En la Figura 49 se observa la ventana de configuración de la velocidad de frecuencia de la máquina. La frecuencia necesaria para el control de cada eje varía en función de su velocidad máxima y la cantidad de pulsos requeridos. En el caso de un sistema de motores paso a paso, es probable que una frecuencia de 25.000 Hz sea apropiada. En este caso se utiliza un controlador de 10 micro pasos, debido a esto se obtendrán alrededor de 750 RPM para un motor paso a paso estándar con un ángulo de paso de 1,8°. Una vez termina esta configuración aplicar los cambios realizados.

Figura 49

Ventana de configuración inicial.



Nota: Ventana de configuración inicial, en esta se configura la dirección de los puertos del dispositivo y la velocidad de la máquina (Newfangled Solutions, 2023).

6.7.3. Configuración de las señales de salida para ejes y husillo

En la ventana Configuration Ports & Pins, seleccionar la pestaña Motor Outputs, como se observa en la Figura 50. Se definen los puertos donde serán conectados los drivers de los motores para el eje X y Y, para habilitar el puerto se debe dar clic en la casilla correspondiente.

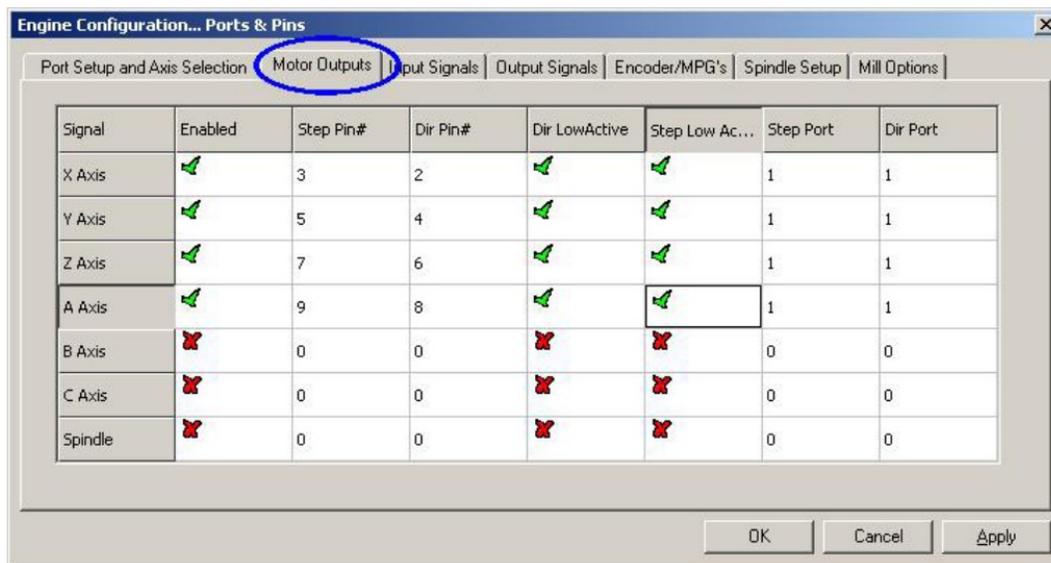
En caso de que la velocidad del husillo sea controlada por el software Mach 3, se debe habilitar la casilla correspondiente al eje sobre el cual se va a realizar el control. Se asigna un puerto en la casilla de Step pin# si el control es por medio de PWM con relés para el control de dirección, por el contrario, se asigna un puerto en las casillas Step Pin# y Dir Pin# si se realiza un control completo del motor.

La interfaz indica que para el eje X se tiene disponible los pines 3 y 2, en la casilla Step pin# se coloca el puerto #3 para los pulsos y en la casilla Dir pin# se coloca el puerto #2 para la dirección de giro del motor, de igual manera para el eje Y a diferencia que este tiene disponible los pines 5 y 4, para los pulsos y para la dirección del motor respectivamente. Una

vez termina esta configuración aplicar los cambios realizados.

Figura 50

Ventana Configuration Ports & Pins / Motor Outputs.



Nota: Ventana Configuration Ports & Pins / Motor Outputs, en esta se configuran los puertos de salida donde serán conectados los drivers de los motores para realizar el control de velocidad y dirección de giro de estos (Newfangled Solutions, 2023).

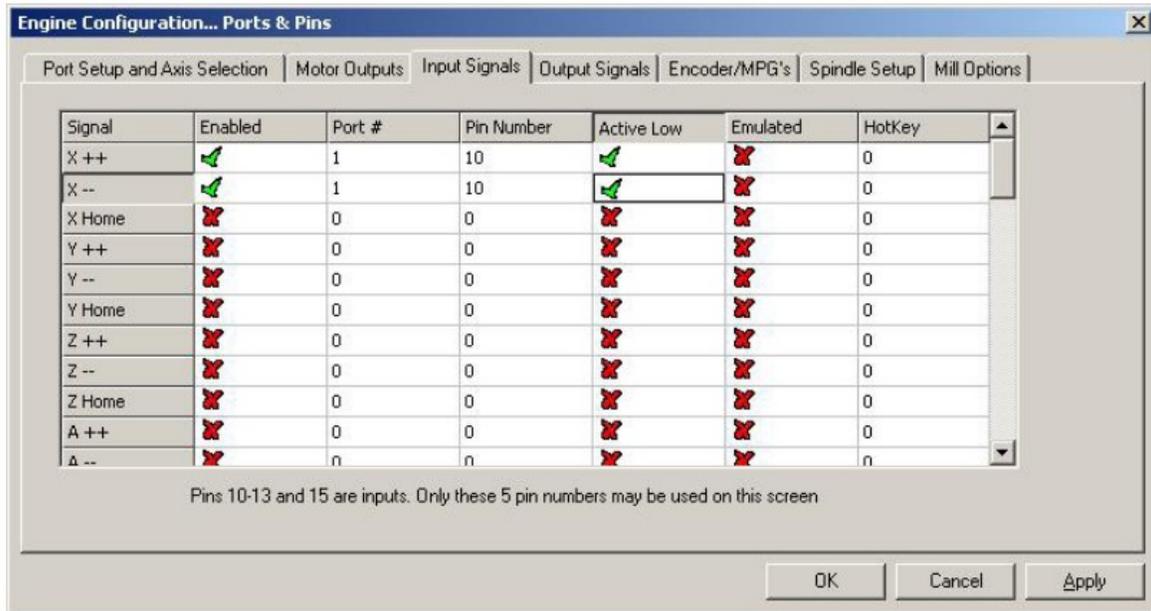
6.7.4. Configuración de las señales de entrada

En la ventana Configuration Ports & Pins, seleccionar la pestaña Input Signals, como se observa en la Figura 51. Las entradas corresponden a los finales de carrera y al paro de emergencia. Para habilitar las entradas se debe dar clic en la casilla correspondiente.

En caso de que se estén utilizando finales de carrera para detectar los límites en el eje X y Y, y además finales de carrera para la posición de inicio se debe habilitar las casillas X Home, Y Home, X++, X--, Y++ y Y--, además de la casilla para el paro de emergencia Stop. Una vez termina esta configuración aplicar los cambios realizados.

Figura 51

Ventana Configuration Ports & Pins / Input Signals.



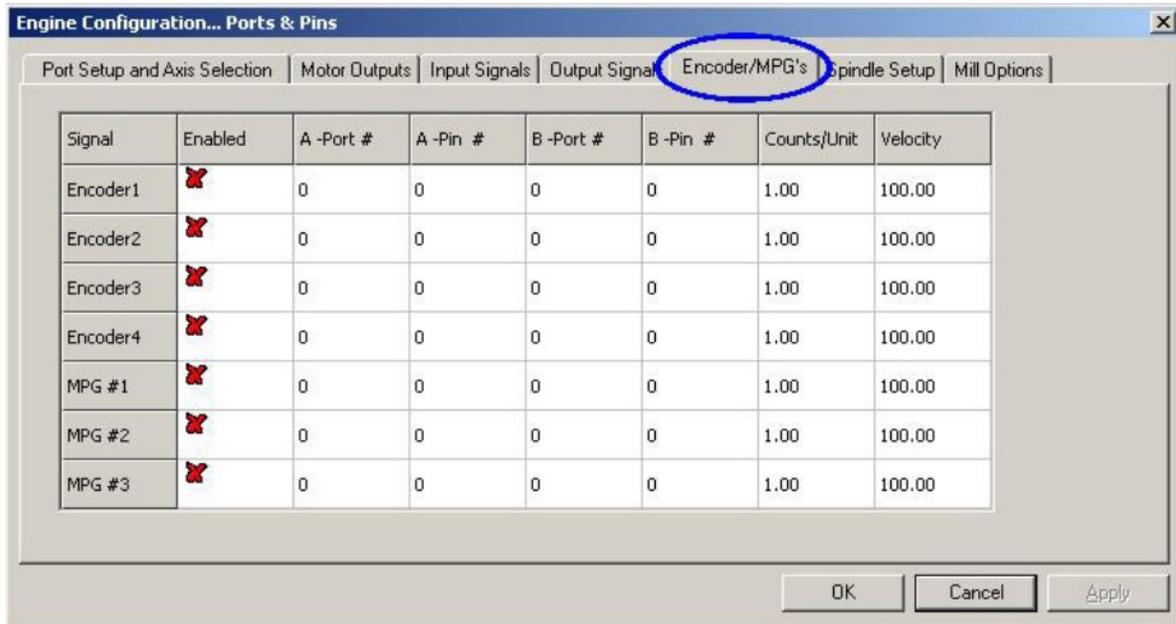
Nota: Ventana Configuration Ports & Pins / Input Signals, en esta se configuran los puertos de entrada de los finales de carrera y del paro de emergencia (Newfangled Solutions, 2023).

6.7.5. Configuración de los puertos de entrada de los encoders

En la ventana Configuration Ports & Pins, seleccionar la pestaña Encoder/MPG's, como se observa en la Figura 52. En esta pestaña se definen los puertos de conexión de los encoder así como la resolución de los mismos. Para habilitar las entradas de los encoder se debe dar clic en la casilla correspondiente, Encoder1 y Encoder2. Una vez termina esta configuración aplicar los cambios realizados.

Figura 52

Ventana Configuration Ports & Pins / Encoder/MPG's.



Nota: Ventana Configuration Ports & Pins / Encoder/MPG's, en esta se configuran los puertos de entrada de los encoder de los motores (Newfangled Solutions, 2023).

6.7.6. Configuración de los motores

En la ventana principal se elige la ventana de configuraciones y se da clic en Ajustes de motores, para dirigirnos a la ventana Motor Tuning and Setup, como se observa en la Figura 53. En esta ventana se configura los pasos por unidad, la velocidad y la aceleración de los motores.

Para configurar los pasos por unidad de los motores, es necesario realizar los cálculos previos (estos cálculos fueron realizados en la sección 6.7.6), este valor se coloca en la casilla Steps per. La velocidad y la aceleración del motor se obtiene a partir de la hoja de datos del fabricante.

En la Tabla 22 se observan los datos de los pasos por unidad, velocidad y aceleración de los motores que se deben ingresar en el software.

Tabla 22

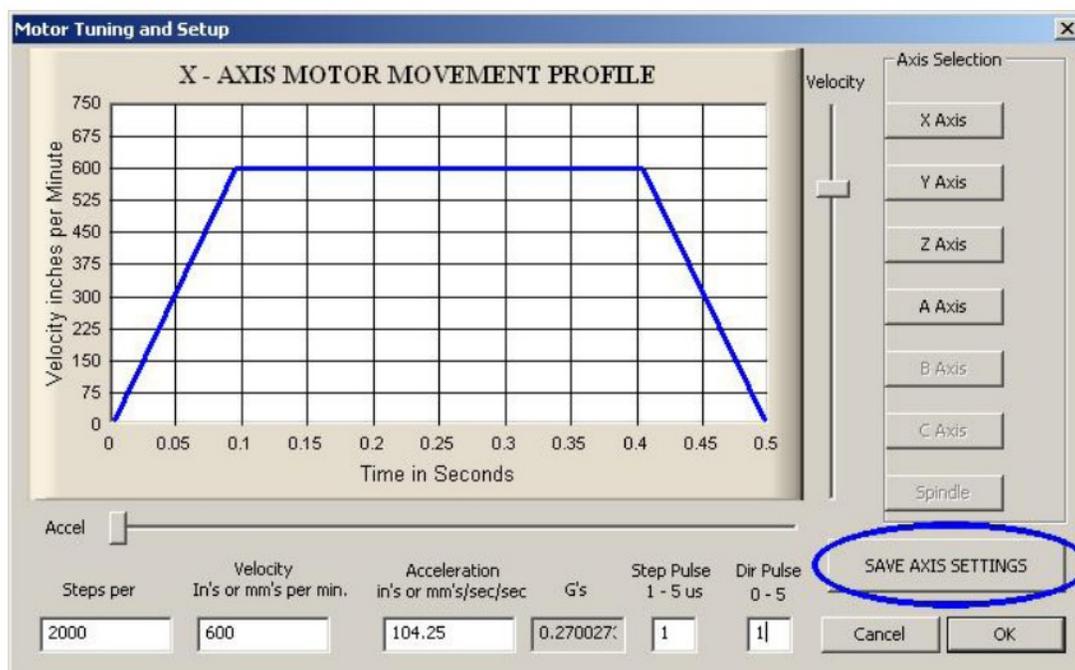
Especificaciones del motor paso a paso de lazo cerrado Nema 23 23HS30-5004D-E1000.

N°	Parámetro	Dato
1	Pasos por unidad	333,4
2	Velocidad	9000 <i>mm/min</i>
3	Aceleración	230,769 <i>mm/s²</i>

Nota: En la tabla se observa las especificaciones técnicas del motor paso a paso de lazo cerrado Nema 23 23HS30-5004D-E1000 (STEPPERONLINE, 2023c).

Figura 53

Ventana Motor Tuning and Setup.



Nota: Ventana Motor Tuning and Setup, en ventana se configuran los motores indicando los pasos por unidad, la velocidad y la aceleración de cada uno (Newfangled Solutions, 2023).

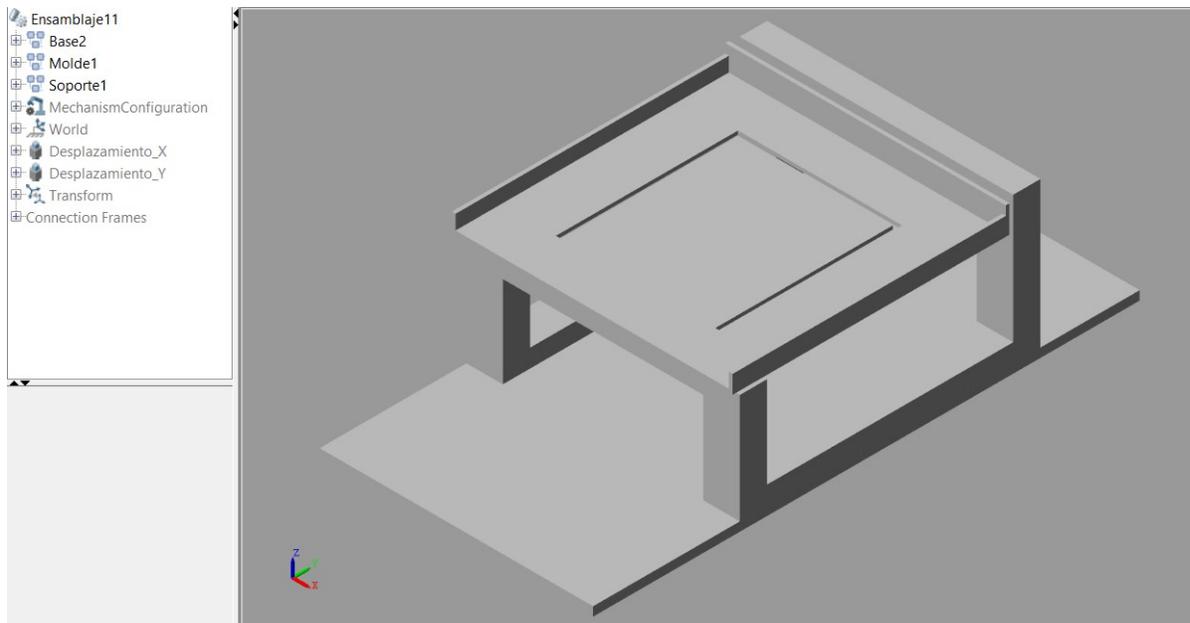
6.8. Simulación del diseño mecánico y movimiento del sistema CNC adaptable

6.8.1. Simulación del movimiento del sistema CNC

Se llevó a cabo un modelado del sistema CNC adaptable simplificado (véase la Figura 54) para simular el movimiento. En este modelo, se hizo especial énfasis en las superficies de contacto entre los componentes móviles y su dimensión. Para la simulación en Simulink Multibody, se importó el modelo desde inventor y se tuvo en cuenta el peso total del conjunto, así como la fricción que se presenta entre las partes móviles.

Figura 54

Modelo simplificado del sistema CNC adaptable.



Nota: Modelado del sistema CNC adaptable simplificado importado desde inventor a Matlab-Simulink Multibody.

■ Configuración del elemento mecánico

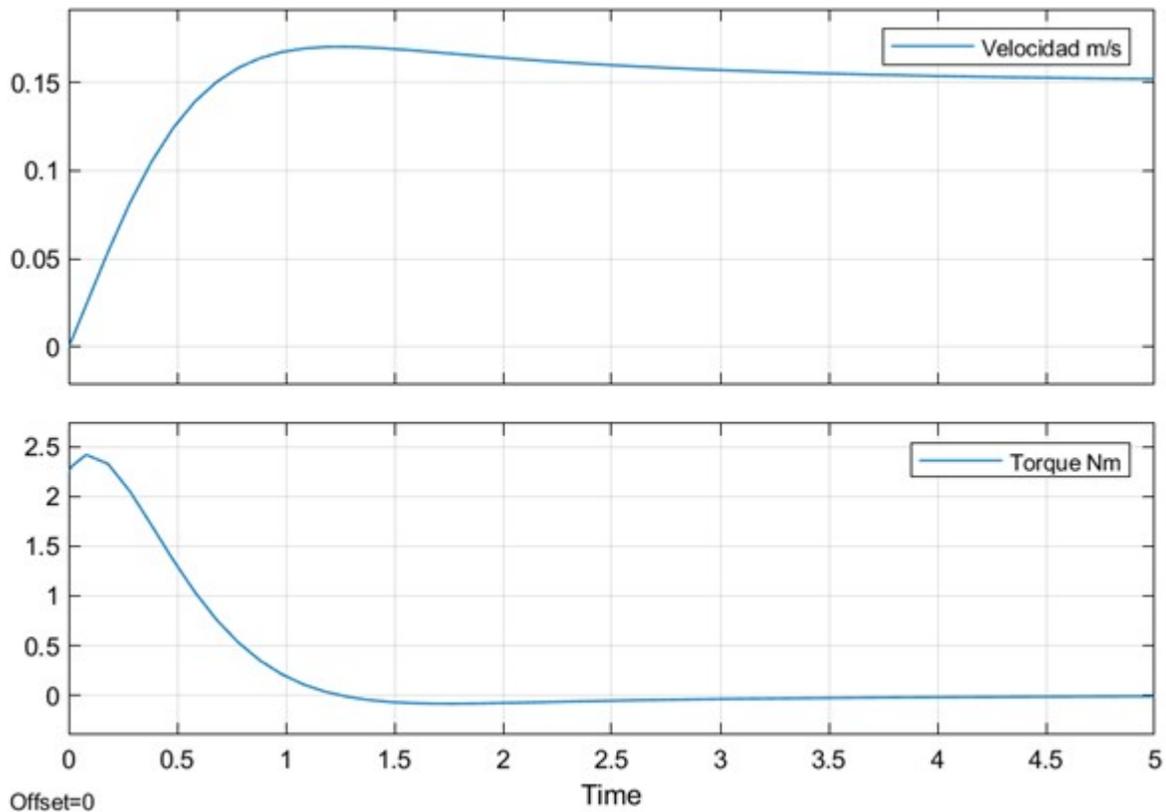
Al considerar los datos del material y la geometría de cada elemento del sistema mecánico, se obtiene la información suficiente para determinar el peso individual de cada elemento. La fricción que existe entre las partes móviles viene dada por el sistema mecánico de

▪ Respuesta del sistema

En el eslabón prismático del sistema, se centra el análisis de las variables de respuesta de velocidad y torque, ya que es en este componente donde se genera el desplazamiento en el eje X. Para validar el actuador seleccionado, se compara esta respuesta con las características del motor elegido. De esta manera, se verifica la adecuación y el rendimiento del actuador con relación a los requisitos del sistema.

Figura 56

Gráfica de torque y velocidad del sistema CNC.



Nota: Gráfica de la respuesta de torque y velocidad del sistema CNC.

Como se observa en la Figura 56, para alcanzar la velocidad requerida de 0.15m/s es necesario aplicar un torque de entre 2Nm y 2,5Nm inicialmente para vencer la inercia de la estructura mecánica, posterior a este pico el torque se estabiliza ya que por inercia del sistema

mecánico existe una fuerza en la misma dirección, incluso en un instante el torque es negativo, esto quiere decir que se disminuye la corriente del motor con el fin de frenar el desplazamiento del sistema CNC para que no se supere la velocidad de referencia.

6.9. Análisis de costos

Se llevo a cabo un análisis de costos con el fin de verificar la viabilidad de la implementación de un sistema CNC que se adapte a una máquina industrial de costura. Este análisis se enfoca en evaluar el valor de los componentes mecánicos y electrónicos, así como el costo de fabricación de determinados elementos. Es importante destacar que no se considerará el costo del estudio, la simulación, el modelado y el análisis realizado.

6.9.1. Componentes mecánicos

Como se observa en la Tabla 23, dentro de los componentes mecánicos utilizados para el diseño del sistema CNC se incluyen elementos normalizados, entre los cuales algunos se suministran premanufacturados, mientras que otros se presentan como componentes para su ensamblaje.

Tabla 23

Tabla de costos de los componentes mecánicos.

Componente	Especificación	Cantidad	Costo U	Costo T
Eje roscado	Acero inox. 405x10 mm	2	12\$	24\$
Placa acero negro	110x140x4 mm	1	2\$	2\$
Husillo de bolas	10 mm	2	11\$	22\$
Unidad de soporte	10 mm	2	12\$	24\$
Tubo rectangular	40x20x1,5	2 m	2,1\$	4,2\$
Plancha de acero lamin. cal.	1000x1000x2 mm	1	6,3\$	6,3\$
Guía de bolas	INA KUVE15-B-ES	8	45\$	360\$
Guía lineal	Acero ixox. 300 mm	6	5\$	30\$
Platina	1"x3/8"	2 m	3\$	6\$

Acople	10 mm	2	3,5\$	7\$
Barra de acero	1"x1"x120 mm	1	3,5\$	3,5\$
Placa de acero	50x65x12 mm	1	2\$	2\$
Bisagra	acero inoxidable	2	2\$	4\$
Tubo cuadrado	20x2 mm	1 m	1,75\$	1,75\$
Ángulo	20x20x2 mm	2 m	1,4\$	2,8\$
Ángulo	25x25x2 mm	2 m	1,65\$	1,65\$
Placa de acero	80x30x8 mm	1	0,9\$	0,9\$
Platina de acero	1"x1/8"	1 m	2,2\$	2,2\$
Tornillo hexagonal	DIN 933 M4x10	2	0,15\$	0,3\$
Tornillo hexagonal	ISO 4017 M8x80	2	0,42\$	0,84\$
Tornillo hexagonal	ISO 4017 M5x16	8	0,32\$	2,56\$
Tornillo hexagonal	ISO 4017 M4x20	8	0,25\$	2\$
Tornillo hexagonal	ISO 4762 M4x12	25	0,18\$	4,5\$
Tornillo hexagonal	ISO 4762 M4x10	28	0,16\$	4,48\$
Tornillo hexagonal	ISO 4017 M5x12	2	0,28\$	0,56\$
Tornillo hexagonal	ISO 4017 M8x45	2	0,37\$	0,74\$
Tornillo hexagonal	ISO 7380 M4x12	4	0,16\$	0,64\$
Tornillo hexagonal	ISO 4017 M4x16	16	0,2\$	3,2\$
Tornillo hexagonal	ISO 4017 M4x8	16	0,13\$	2,08\$
Tornillo hexagonal	ISO 4017 M4x40	8	0,34\$	2,72\$
Tornillo hexagonal	ISO 7380 M4x40	4	0,3\$	1,2\$
Tuerca	ISO 4032 M5	6	0,26\$	1,56\$
Arandela	ISO 7089 5 mm	6	0,05\$	0,3\$
Arandela	ISO 7089 4 mm	84	0,05\$	4,2\$
Tuerca	ISO 4035 M4	16	0,21\$	3,36\$

Arandela	ISO 7093 4 mm	8	0,05\$	0,4\$
Arandela	ISO 7089 8 mm	4	0,08\$	0,32\$
Tuerca	ISO 4032 M8	4	0,3\$	1,2\$

Nota: Tabla del costo de componentes mecánicos en el mercado local.

6.9.2. Componentes eléctricos, electrónicos y de control

En la Tabla 24, se detalla el costo los actuadores, sensores y controlador del sistema CNC.

Tabla 24

Tabla de costos de los componentes eléctricos, electrónicos y de control.

Componente	Especificación	Cantidad	Costo U	Costo T
Fin de carrera	Moujen ME-8104	4	32\$	128\$
Software Mach 3		1	200\$	200\$
Paro de emergencia	Modelo HL-LA37	1	2,85\$	2,85\$
Relé	HH54P-24V	1	3,5\$	3,5\$
Tarjeta Mach 3	Control USB BSMCEO4U-PP	1	20\$	20\$
Fuente de alimentación	ALITOVE S-360-24	1	25\$	25\$
Driver	CL57T	1	51\$	51\$
Motor a pasos	Nema 23 23HS30-5004D-E1000.	2	35\$	70\$

Nota: Tabla del costo de los componentes eléctricos, electrónicos y de control.

6.9.3. Costos de manufactura

Ciertos elementos necesitan tener un proceso de manufactura para cumplir con los requerimientos del diseño del sistema CNC, a continuación en la Tabla 25 se detallan los costos de manufactura de estos componentes.

Tabla 25*Tabla de costos de manufactura.*

Componente	Especificación	Cantidad	Costo U	Costo T
Unión movimiento X	Acero negro y galvanizado	1	8\$	8\$
Unión guías X	Acero negro y galvanizado.	2	7\$	14\$
Base soporte vertical	Acero negro y galvanizado	4	6\$	24\$
Placa base motor X	Acero negro y galvanizado	1	7\$	7\$
Base guía inferior	Acero negro y galvanizado	2	19\$	38\$
Seguro fijador	Acero negro y galvanizado	2	9\$	18\$
Seguro	Acero negro y galvanizado	2	8\$	16\$
Molde superior	Acero laminado en caliente	1	17\$	17\$
Placa base motor Y	Acero negro y galvanizado	1	5\$	5\$
Fijador	Acero negro y galvanizado	2	7\$	14\$
Ángulo 1	Acero negro	1	4,5\$	4,5\$
Ángulo 2	Acero negro	1	4,5\$	4,5\$
Molde base	Acero negro y galvanizado	1	21\$	21\$
Unión movimiento Y	Acero negro y galvanizado	1	10\$	10\$
Unión guías Y	Acero negro y galvanizado	1	6\$	6\$
Ángulo 3	Acero negro	1	5,5\$	5,5\$
Base unidad de soporte	Acero negro y galvanizado	1	4\$	4\$
Ángulo 4	Acero negro	1	6\$	6\$
Ángulo 5	Acero negro	1	6\$	6\$
Base inferior mesa	Acero negro y galvanizado	2	23\$	46\$
Base motor	Acero negro y galvanizado	2	9\$	18\$

Nota: Tabla del costo de manufactura en un taller del sector.

6.9.4. Costo total

En la Tabla 26, se expone el costo total de los componentes mecánicos, electrónicos, eléctricos, de control y además el costo de manufactura de ciertos elementos.

Tabla 26

Costo total del sistema CNC.

Costo Total	
Costo de componentes mecánicos	542,06\$
Costo de componentes electromecánicos y de control	500,35\$
Costo de manufactura	292,5\$
Costo de ensamblaje	365\$
Costo de ingeniería	3.840\$
Costo de máquina	2500\$
Total	8.039,91\$

Nota: En la tabla se observa el costo total del sistema CNC adaptable a una máquina de costura.

7. Resultados

7.1. Resultado de la identificación de parámetros iniciales para el diseño de un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos

Se logro identificar los componentes de la máquina de costura y su funcionamiento, en base a las dimensiones de la máquina se establecieron los parámetros iniciales para el diseño del sistema CNC adaptable como se observa en la Tabla 27.

Tabla 27

Parámetros iniciales de la máquina de costura.

Parámetro	Especificación
Puntada	Tipo 301 norma ISO 4915
Tamaño de puntada	1-7 mm
Velocidad	1200-2500 ppm
Área de costura	0,068 m ²
Área de implementación	0,24 m ²
Alimentación	220 V

Nota: Tabla de los parámetros iniciales de la máquina de costura.

7.2. Resultado de la propuesta de diseño de un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos

Se propuso un sistema que permite controlar el movimiento de la mesa de trabajo en dos ejes X y Y, el control del sistema dependen de los componentes mecánicos, eléctricos, electrónico y de control (ver Tabla 28) para procesar el código G y generar la trayectoria requerida para el proceso de costura.

Tabla 28

Componentes de la propuesta de diseño de un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de calzado.

Componente	Especificación
Mecanismo	Tuerca y tornillo
Actuador	Motor paso a paso de lazo cerrado
Sensor	Fin de carrera
Controlador	Controlador CNC gama baja
Sistema mecánico de transmisión	Husillo de bolas
Sistema mecánico de guiado lineal	Guía lineal de bolas
Fuente de alimentación	Fuente de 24 VDC

Nota: Tabla de los elementos utilizados en el diseño de un sistema CNC adaptable a una máquina de costura.

7.3. Resultados del análisis de costos

El análisis de costos realizado permite evaluar la viabilidad económica de la implementación del sistema. Para llevar a cabo esta propuesta, es necesario importar ciertos componentes que no están disponibles en el mercado local, lo que incrementa el costo de implementación. El precio de la máquina de costura automatizada de interés para la empresa es de aproximadamente \$20.000. Es importante destacar que, a diferencia de dicha máquina, el costo del sistema propuesto no incluye el valor de la máquina de costura tradicional en la cual se llevará a cabo la implementación.

A pesar de este hecho, el costo del sistema se estima alrededor de \$1.514,91, lo cual es un precio más accesible para la empresa en comparación con la máquina automatizada, haciendo factible la implementación de este sistema en las máquinas existentes en la empresa.

7.4. Resultados de la evaluación del diseño mecánico de un sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de zapatos

7.4.1. Resultados de la evaluación del diseño mecánico

Luego de realizar los cálculos de los esfuerzos que soportan los ángulos A y B, se comparan con los valores obtenidos mediante el análisis por elementos finitos mediante el software ANSYS. Como se observa en la Tabla 29, existe un porcentaje de error mínimo entre los valores de los esfuerzos calculados en el perfil angular A y B con respecto a los valores simulados en los mismos. Por lo tanto, para realizar el análisis del esfuerzo máximo que soportan las vigas con el esfuerzo máximo del material se utilizan los valores de los esfuerzos simulados.

Tabla 29

Resultados del análisis estructural de los puntos críticos de la estructura mecánica del sistema CNC.

Viga	σ_{max} Calculado	σ_{max} Simulado	%error
Ángulo A	1,65 MPa	1,6457 MPa	0,26 %
Ángulo B	1,41 MPa	1,4014 MPa	0,61 %

Nota: En la tabla se observa la comparativa de los esfuerzos calculados y simulados de los perfiles angulares B, así como el porcentaje de error entre estos valores.

En la Tabla 30 se observan las propiedades mecánicas del acero ASTM A36 (material de los perfiles angulares analizados), necesarias para realizar el análisis de resultados de los esfuerzos que soportan las vigas.

Tabla 30

Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.

Propiedad mecánica	Valor
Esfuerzo a la fluencia mínimo	250 MPa
Esfuerzo a la tensión	400-550 MPa
Elongación mínima en 50mm	23%
Módulo de elasticidad	200 GPa

Nota: En la tabla se observa la comparativa de los esfuerzos calculados y simulados tanto del ángulo A como del ángulo B, así como el porcentaje de error entre estos valores (ASTM, 2005).

Al aplicar una carga de 20N sobre el perfil A y una carga de 10 N sobre el perfil B, estos van a soportar un esfuerzo de 1,4014 MPa y 1,65 MPa respectivamente, comparándolos con el esfuerzo mínimo a la fluencia del material (valor mínimo de esfuerzo en el cual el material comienza a deformarse plásticamente) el cual es de 250 MPa, se llega a la conclusión de que el material seleccionado es óptimo para construir estas vigas ya que el esfuerzo máximo que estas soportan no superan el permisible del material esto quiere decir que se mantiene en la zona de elasticidad y las propiedades mecánicas del elemento no se modifican. La zona más crítica de las vigas es el punto más alejado de los soportes ya que este será el que sufra mayor deformación $17,375 * 10^{-3}mm$, esto es otro indicador de que el material no supera la zona elástica.

7.4.2. Resultados de la evaluación de la velocidad de costura

La velocidad máxima de costura con la implementación del sistema CNC es de 0,15m/s, pero para este análisis se toma una velocidad media de costura de 0,12m/s y se comparara con la velocidad de costura manual (véase la Tabla 31). El tamaño de puntada de la máquina es de 4 mm, en base a los datos mencionados anteriormente se establecerán las puntadas por minuto (ppm), ya que esta es la norma de la velocidad en las que trabajan las máquinas de costura.

Tabla 31

Comparación de la costura manual y la propuesta del sistema automatizado.

Costura	Velocidad m/s	Velocidad ppm
Manual	0,08 m/s	1200 ppm
Automatizada	0,12 m/s	1800 ppm

Nota: Tabla comparativa entre la costura manual y automatizada.

La costura automatizada es un 25% más rápida en comparación con la costura manual, además que hay un mejor control de calidad en el producto final gracias a la resolución del controlador y la precisión del sistema mecánico de guiado lineal.

8. Conclusiones

La identificación de los parámetros iniciales de la máquina de costura nos permitió tener una visión más acertada para la propuesta de diseño del sistema CNC para la automatización y reducción del tiempo de costura. Al considerar aspectos como el análisis de la máquina cosedora, el estudio de los patrones de costura, el diseño del sistema CNC y la programación, se obtuvo una serie de variables las cuales se pudo manipular para mejorar la eficiencia del proceso de costura.

La propuesta del diseño del sistema CNC se logró adaptar con éxito a la máquina de costura sin realizar modificaciones que afecten su desempeño, es decir al retirar el sistema CNC la maquina puede seguir funcionando con normalidad. El diseño implementado permite el movimiento en dos ejes, lo cual es fundamental para establecer una trayectoria en dos dimensiones, tal como se requiere en el proceso de costura de zapatos. El diseño del sistema CNC propuesto es posible adaptarlo a máquinas con dimensiones y características similares a la

El diseño del sistema CNC cuenta con la capacidad mecánica de soportar su propio peso e inercia, la deformación que llega a tener es insignificante lo que certifica el funcionamiento sin que la estructura mecánica sufra afecciones.

La velocidad de costura del sistema CNC es más rápida en comparación con el proceso de costura manual realizado en la empresa Pantanero CIA. LTDA., debido a que en la actualidad el proceso de armado del calzado es guiado de forma manual no se garantiza la precisión de la costura en el producto final y el tiempo de producción aumenta, ya que el factor humano está sujeto a fallos los mismos que pueden ser evitados al automatizar la máquina. La implementación de un sistema CNC adaptable a la máquina cosedora industrial de zapatos automatiza y reduce el tiempo del proceso de costura. La propuesta de diseño se realiza con el fin de ser implementada en la industria de calzado, de esta manera se verán beneficiados los acreedores de esta indumentaria de seguridad industrial.

Al ser un sistema CNC adaptable a máquinas de costura industriales existentes, los costos de implementación de esta propuesta de diseño son menores a los de adquisición de una máquina con estas características.

9. Recomendaciones

Debido a que el software Mach 3 es utilizado principalmente en maquinaria CNC de mecanizado como tornos, fresadoras, cortadoras plasma routers CNC, etc., es necesario realizar pruebas con un prototipo de la propuesta de diseño del sistema para verificar la adaptación del controlador a esta tarea puntual, previo a la implementación del sistema en la industria textil.

Una vez realizado el análisis de resultados, en los cuáles se verificó que la implementación del sistema CNC adaptable a una máquina cosedora industrial de calzado aumenta la velocidad del proceso de costura y la calidad del producto final, se recomienda a la empresa considerar la implementación de este sistema.

Referencias

- Aerotécnica. (2016). *Guía de Fricción No Regulable (DFG115-CASSNA)*. [Disponible en: <https://aerotecnica.es/producto/guia-de-friccion-no-regulable-dfg115-cassna/>; Accedido el: 4 de abril del 2023].
- ALITOVE. (2023). *Dc 24v 15a 360w power supply universal regulated switching transformer adapter led driver 110v/220v ac input for led strip cctv radio*. [Disponible en: https://www.alitove.net/product/power-supply-adapter/24v-power-supply?product_id=90; Accedido el: 10 de mayo del 2023].
- AMERICAN & EFIRD, I. (2006). *ISO Stitch Terminology*. [Disponible en: <https://www.amefird.com/wp-content/uploads/2009/10/Stitch-Type-Matrix-Spanish.pdf>; Accedido el: 2 de diciembre del 2022].
- Arévalo, W. (2021). *Análisis económico del cantón Cevallos del sector calzado de la provincia de Tungurahua del período 2017-2019*. Universidad Técnica de Ambato.
- ASTM. (2005). *Standar specification for carbon structural steel*. American Society for Testing and Materials.
- Astudillo, C. (2013). *Plan para la implementación de estándares de calidad, ambiente y seguridad en la sección de montaje de la empresa LENICAL*. [Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4845/1/UPS-CT002658.pdf>; Accedido el: 9 de diciembre del 2022].
- Avegno, D., Moreira, E., y Parrales, A. (2009). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTITUCIÓN DE UNA IMPORTADORA DE CALZADO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL CON DISTRIBUCIÓN EN EL TERRITORIO ECUATORIANO*. ESPOL.
- Barba, F. (2021). *Servomotor y motor a pasos*. [Unidad Profesional de Ingeniería Interdisciplinaria Guanajuato].
- Brother Internationale Industriemaschinen GmbH. (2022). *Nexio bas-342hx*. [Disponible en: https://industrialsewingmachine.global.brother/es-emea/e_pattenn/bas342h/index.aspx; Accedido el: 5 de diciembre del 2022].
- Calicostura. (2016). *¿que tipo de maquina de coser elegir?* [Disponible en: <https://calicostura.webnode.es/1/para-que-sirve-cada-maquina-de-coser>; Accedido el: 8 de diciembre del 2022].
- Castillo, O. (2005). *ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE ROPA*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Celera Motion. (2023). *Guía introductoria para sensores de posición*. [Disponible en:

<https://www.celeramotion.com/zettlex/es/asistencia/documentacion-tecnica/sensores-de-posicion/>; Accedido el : 10 de mayo del 2023.

- Chipantiza, D. (2017). *GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN PARA REDUCIR DESPERDICIOS DE TIEMPO DEL PROCESO DE APARADO UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE CAMBIO RÁPIDO DE HERRAMIENTAS (SMED) EN INDUSTRIAS DE MANUFACTURA DE CALZADO DE CUERO*. Universidad Técnica de Ambato.
- Chérrez, M. (2021). *Rediseño del calzado industrial S13 utilizando el patronaje Strobel en la empresa Buffalo Industrial*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Cobos, C., y Peralta, J. (2023). *Selección de maquinaria cnc y programación con mastercam*. [Disponible en: <https://prezi.com/p/n6uj1clsvgen/seleccion-de-maquinaria-cnc-y-programacion-con-mastercam/?fallback=1>; Accedido el : 10 de mayo del 2023.
- Encalada, L. (2013). *RECOMENDACIONES DE USO DE LA MÁQUINA DE COSER SEGÚN LA BASE TEXTIL*. Universidad del Azuay.
- Erazo, J., y Narváez, C. (2020). *La gestión del capital intelectual y su impacto en la efectividad organizacional de la industria de cuero y calzado en la Provincia de Tungurahua-Ecuador*. Revista Espacios, 41(21).
- Gaibor, J., y Carrión, C. (2015). *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA CNC PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO PARA COMPONENTES SMD”*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Global International B.V. (2022). *SERIE PLK-G6030*. [Disponible en: <https://globalsew.pt/product/plk-g6030-series/>; Accedido el: 2 de diciembre del 2022].
- Herrera, J. (2018). *Mejora en la eficiencia y en el ambiente de trabajo en Texgroup S.A.* [Disponible en: <https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/IngenieriaIndustrial/article/view/2445>; Accedido el : 8 de diciembre del 2022].
- Ingenierizando. (2023). *Mecanismo piñón-cremallera*. [https://www.ingenierizando.com/maquinas-y-mecanismos/pinon-cremallera/; Accedido el : 17 de mayo del 2023.
- Ivomaq. (2020). *MÁquinas de costura industrial de columna con triple transporte rotativo*. Ivomaq3.
- Kentli, A., Dal, V., y Alkaya, A. (2013). *Minimizing machine changeover time in product line in an apparel industry*. Tekstil ve Konfeksiyon, 23(2), pp. 159-167.
- Marín, B. (2012). *MÓDULO CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO*. UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA CCAV NEIVA.
- Moujen. (2023). *Me-8104 - moujen*. [Disponible en:

- <https://www.moujenswitch.com/product/me-8104/>; Accedido el : 17 de mayo del 2023.
- Newfangled Solutions. (2023). *Mach3 cnc controller software installation and configuration*. [<https://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3MillInstallConfig.pdf>]; Accedido el : 17 de mayo del 2023.
- Niño, P. (2003). *Diseño mecatrónico, un curso de aplicación de nuevas tecnologías*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina.
- Oleas, J., Angulo, D., y Trávez, C. (2013). *Boletín mensual de análisis sectorial de MIPYMES. Zapatos de cuero de vestir para exportación*. FLACSO - MIPRO.
- Peters, J. (2018). *Introducción al control numérico computarizado (CNC)*. [Disponible en: [https://wiki.ead.pucv.cl/Introducción_al_control_numérico_computarizado\(CNC\)](https://wiki.ead.pucv.cl/Introducción_al_control_numérico_computarizado(CNC))]; Accedido el : 4 de abril del 2023.
- Salazar, E. (2017). *MODELO DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PARA EL PROCESO DE MONTAJE EN INDUSTRIAS DE MANUFACTURAS DE CALZADO DE CUERO*. Universidad Técnica de Ambato.
- SCHAEFFLER. (2023a). *Ball monorail guidance system kuve15-b-es*. [Disponible en: <https://medias.schaeffler.us/en/product/linear/linear-guidance-systems/monorail-guidance-systems/four-row-linear-recirculating-ball-bearing-%26-guideway-assemblies/units/kuve15-b-es/p/2048772>]; Accedido el : 10 de mayo del 2023.
- SCHAEFFLER. (2023b). *Sistemas con recirculación a bolas*. [Disponible en: <https://www.schaeffler.es/es/productos-y-soluciones/industria/portafolio-de-productos/sistemas-de-guiado-lineal/sistemas-con-recirculacion-a-bolas/>]; Accedido el : 11 de abril del 2023.
- SINADRIVES. (2020). *¿correa, husillo, piñón cremallera o motor lineal?* [Disponible en: <https://sinadrives.com/es/correa-husillo-pinon-cremallera-o-motor-lineal/>]; Accedido el : 2 de mayo del 2023.
- Sinadrives. (2021). *¿Cuál es la guía lineal más adecuada para mi aplicación?* [Disponible en: <https://sinadrives.com/es/cual-es-la-guia-lineal-mas-adecuada-para-mi-aplicacion/>]; Accedido el: 4 de abril del 2023].
- STEPPERONLINE. (2023a). *Kit de servomotor de ca de 400 w serie t6, 3000 rpm, 1,27 nm con freno, codificador de 17 bits, ip65*. [Disponible en: <https://www.omc-stepperonline.com/es/kit-de-servomotor-de-ca-de-400-w-serie-t6-3000-rpm-1-27-nm-con-freno-codificador-de-17-bits-ip65-t6-rs400h2b3-m17s>]; Accedido el

- : 17 de mayo del 2023.
- STEPPERONLINE. (2023b). *Motor nema 23 3nm/425oz.in con eje de 9 mm para nmr30*. [Disponible en: <https://www.omc-stepperonline.com/es/motor-paso-a-paso-nema-23-3nm-425oz-in-con-eje-de-9-mm-para-reductor-de-velocidad-de-engranaje-helicoidal-nmr30-23hs45-4204s-rv>; Accedido el : 17 de mayo del 2023.
- STEPPERONLINE. (2023c). *Serie ts 2.0 nm/283.22 oz.in kit de cnc paso a paso de bucle cerrado de 1 eje motor nema 23 y controlador*. [Disponible en: <https://www.omc-stepperonline.com/es/serie-ts-2-0-nm-283-28oz-in-kit-de-cnc-paso-a-paso-de-bucle-cerrado-de-1-eje-motor-nema-23-y-controlador-1-cl57t-s20-v41>; Accedido el : 17 de mayo del 2023.
- THK. (2023a). *Husillo de bolas*. [Disponible en: <https://www.thk.com/?q=es/node/4283>; Accedido el : 10 de mayo del 2023.
- THK. (2023b). *Tuerca estándar modelo btk-v*. [Disponible en: <https://tech.thk.com/es/products/thkdlinks.php?id=361>; Accedido el : 10 de mayo del 2023.
- Torres, G. (2022). *Guías lineales: funcionamiento y ventajas para tu industria*. [Disponible en: <https://n9.cl/2t65k>; Accedido el: 4 de abril del 2023].
- Torres, G. (2023). *Cualidades de los motores lineales*. [<https://urany.net/blog/cualidades-de-los-motores-lineales>; Accedido el : 17 de mayo del 2023.
- Vancura, B. (2021). *Mach3 usb motion card (bsmceo4u-pp) installation manual*. [<http://vancura.biz/files/BSMCEO4U>Accedido el : 17 de mayo del 2023.
- Wikipedia. (2023a). *Cremallera*. [Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cremallera\(mecanismo\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Cremallera(mecanismo)); Accedido el : 4 de abril del 2023.
- Wikipedia. (2023b). *Husillo de bolas*. [Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Husillo_de_bolas; Accedido el : 4 de abril del 2023.
- Wikipedia. (2023c). *Motor lineal*. [Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_lineal; Accedido el : 4 de abril del 2023.
- Wikipedia. (2023d). *Motor paso a paso*. [Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?>; Accedido el : 4 de abril del 2023.
- Wikipedia. (2023e). *Sensor final de carrera*. [Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_final_de_carrera; Accedido el : 4 de abril del 2023.
- Wikipedia. (2023f). *Sensor inductivo*. [Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_inductivo; Accedido el : 4 de abril del 2023.
- Wikipedia. (2023g). *Servomotor*. [Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor>; Accedido el : 4 de abril del 2023.

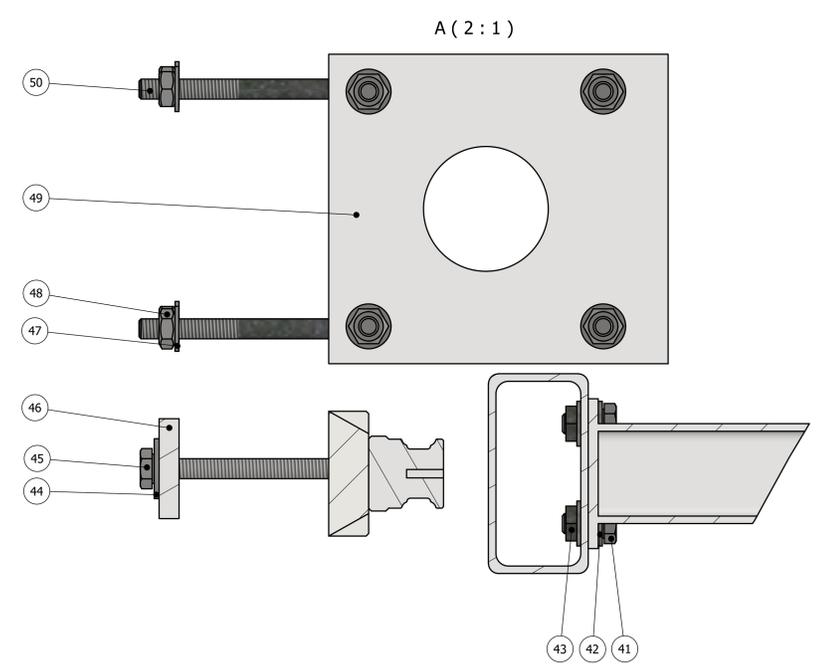
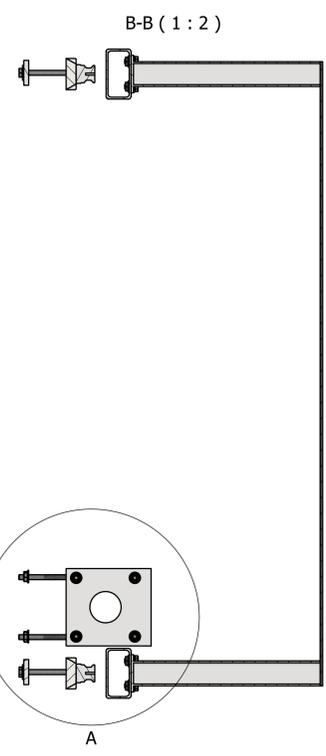
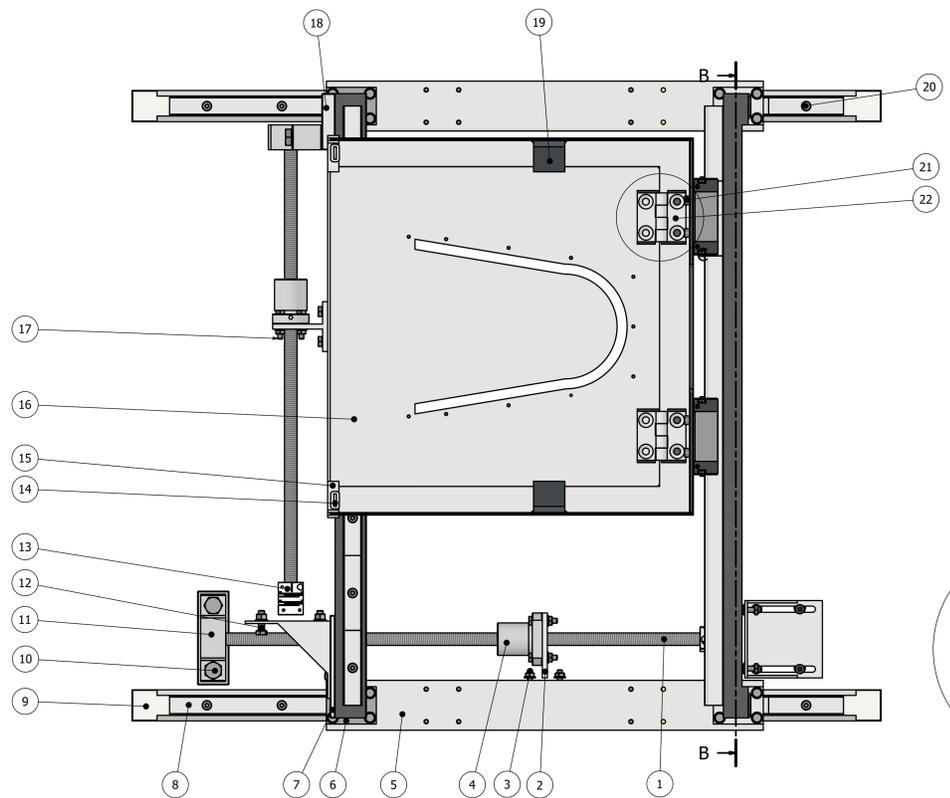
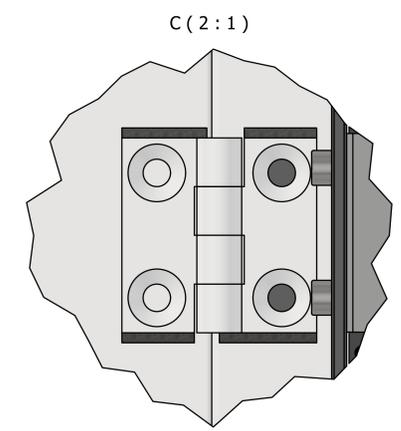
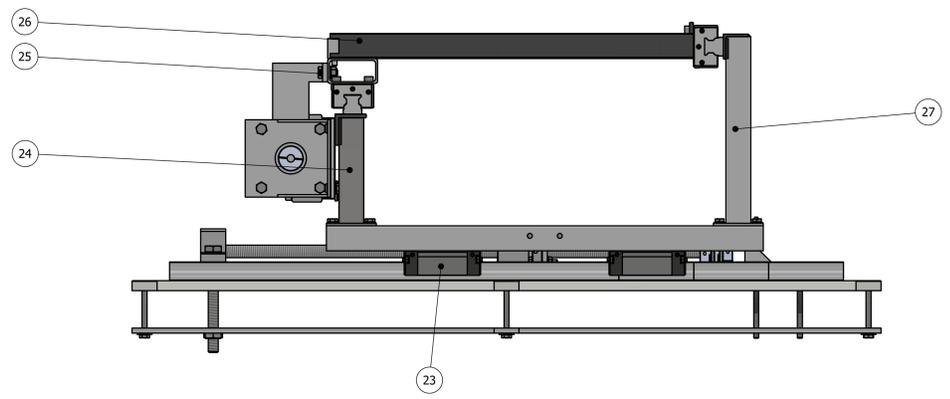
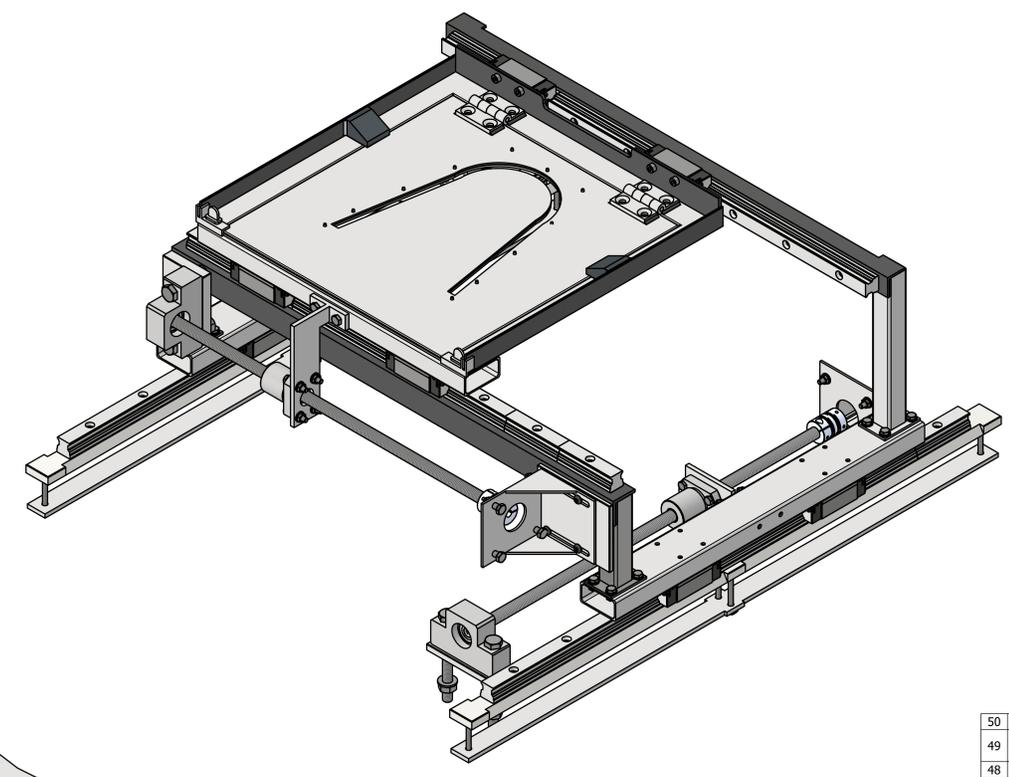
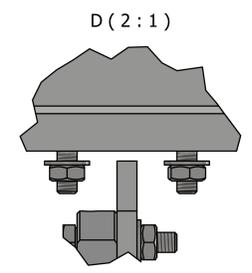
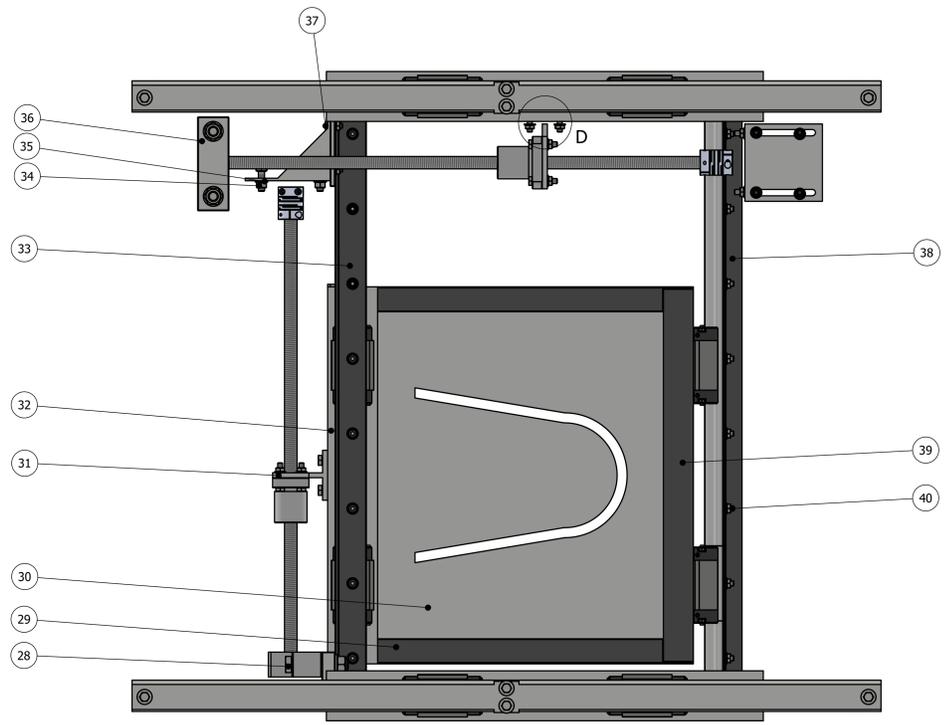
ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia lógica

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Es posible diseñar un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura?	Diseñar un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.	El diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos permitirá automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.	-VI: Diseño. -VD: Tiempo de costura	Diseño Tiempo de costura.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrán identificar los parámetros iniciales para el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura?	Identificar los parámetros iniciales para el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.	Se identificará los parámetros iniciales para el diseño de un sistema CNC con el fin de adaptarlo a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.	-VI: Diseño. -VD: Tiempo de costura	Máquinas cosedoras industriales, tipos de puntadas
¿Es factible proponer el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura?	Proponer el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.	Se propondrá el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.	-VI: Diseño. -VD: Tiempo de costura	Sistemas CNC - tipos
¿Es viable evaluar el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura?	Evaluar el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.	Se evaluará el diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.	-VI: Diseño. -VD: Tiempo de costura	Eficiencia del proceso de costura.
¿Es posible analizar el costo de implementación del diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura?	Analizar el costo de implementación del diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.	Se analizará el costo de implementación del diseño de un sistema CNC adaptable a una cosedora industrial de zapatos para automatizar el proceso y reducir el tiempo de costura.	-VI: Diseño. -VD: Tiempo de costura	Máquinas cosedoras CNC.

Anexo B: Planos



Pos. Cant.	Denominación	Norma	Material	
50	4	Perno M4x40	ISO 7380	Acero zincado negro
49	2	Base motor	ASTM A36	Acero negro y galvanizado
48	4	Tuerca M8	ISO 4032	Acero zincado negro
47	4	Arandela 8	ISO 7089	Acero zincado negro
46	2	Base_inferior_mesa	NTE INEN 115	Acero negro y galvanizado
45	8	Tornillo M4x40	ISO 4017	Acero zincado negro
44	8	Arandela 4.2	ISO 7093	Acero zincado negro
43	16	Tuerca M4	ISO 4035	Acero zincado negro
42	84	Arandela 4.1	ISO 7089	Acero zincado negro
41	16	Tornillo M4x8	ISO 4017	Acero zincado negro
40	16	Tornillo M4x16	ISO 4017	Acero zincado negro
39	1	Angulo 5	ASTM A36	Acero negro
38	1	Angulo 4	ASTM A36	Acero negro
37	4	Tornillo M4x12	ISO 7380	Acero zincado negro
36	1	Base unidad de soporte	NTE INEN 115	Acero negro y galvanizado
35	6	Arandela 5		
34	6	Tuerca M5	ISO 4032	Acero zincado negro
33	1	Angulo 3	ASTM A36	Acero negro
32	1	Union guías Y	NTE INEN 2415	Acero negro y galvanizado
31	1	Unión de movimiento Y	ASTM A36	Acero negro y galvanizado
30	1	Molde base	NTE INEN 115	Acero laminado en caliente
29	1	Angulo 2	ASTM A36	Acero negro
28	2	Tornillo M8x45	ISO 4017	Acero zincado negro
27	2	Soporte vertical 2	NTE INEN 2415	Acero negro y galvanizado
26	1	Angulo 1	ASTM A36	Acero negro
25	2	Tornillo M5x12	ISO 4017	Acero zincado negro
24	2	Soporte vertical 1	NTE INEN 2415	Acero negro y galvanizado
23	8	Guía de bolas		
22	2	Bisagra K1085		Acero inoxidable 1.4401
21	28	Tornillo M4x10	ISO 4762	Acero de alta resistencia
20	25	Tornillo M4x12	ISO 4762	Acero zincado negro
19	2	Fijador	NTE INEN 115	Acero negro y galvanizado
18	1	Placa base motor Y	NTE INEN 115	Acero negro y galvanizado
17	8	Tornillo M4x20	ISO 4017	Acero zincado negro
16	1	Molde superior	NTE INEN 115	Acero laminado en caliente
15	2	Seguro	NTE INEN 115	Acero negro y galvanizado
14	2	Seguro fijador	NTE INEN 115	Acero negro y galvanizado
13	2	Acople		Aleación de aluminio
12	8	Tornillo M5x16	ISO 4017	Acero zincado negro
11	2	Unidad de soporte		
10	2	Tornillo M8x80	ISO 4017	Acero zincado negro
9	2	Base guía inferior	NTE INEN 115	Acero negro y galvanizado
8	4	Guía lineal		Hierro con aleación de zinc
7	1	Placa base motor X	NTE INEN 115	Acero negro y galvanizado
6	4	Base soporte vertical	NTE INEN 115	Acero negro y galvanizado
5	2	Union guías x	NTE INEN 2415	Acero negro y galvanizado
4	2	Usillo de bolas		
3	2	Tornillo M4x10	DIN 933	Acero zincado negro
2	1	Unión de movimiento X	ASTM A36	Acero negro y galvanizado
1	2	Eje roscado	AISI 420	Acero inoxidable



A6
105x148

A5
148x210

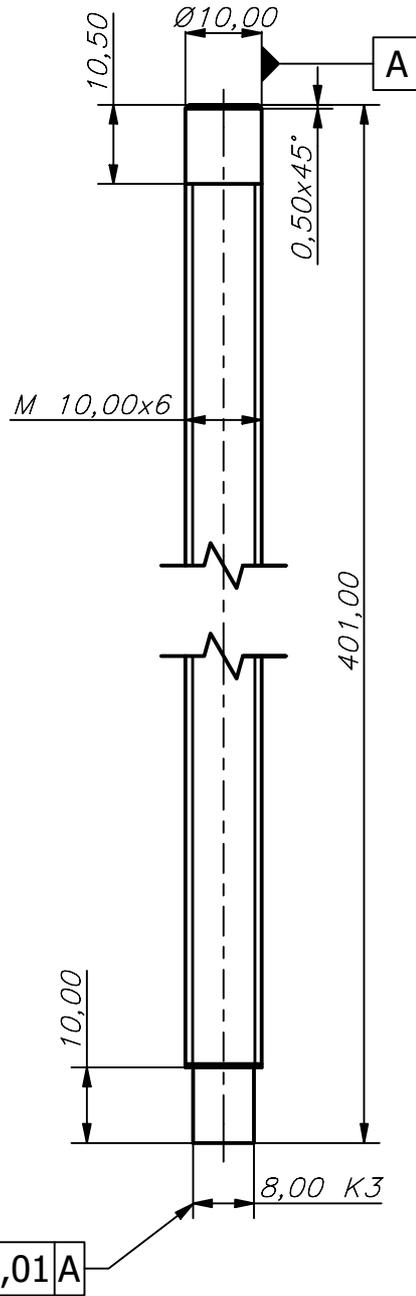
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



1	2	Eje roscado	AISI 420	Acero inoxidable	$\text{Ø}10 \times 420 \times 6$
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		
Comprobado	Ing. C. Cobos.	28/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		Eje roscado			Escala: 1:1
					Lámina N° 01/23



UNIVERSIDAD POLITECNICA
SALESIANA



A6
105x148

A5
148x210

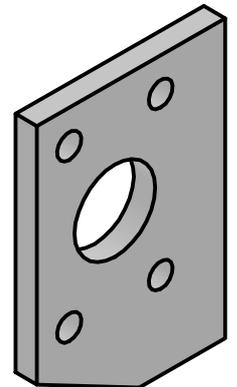
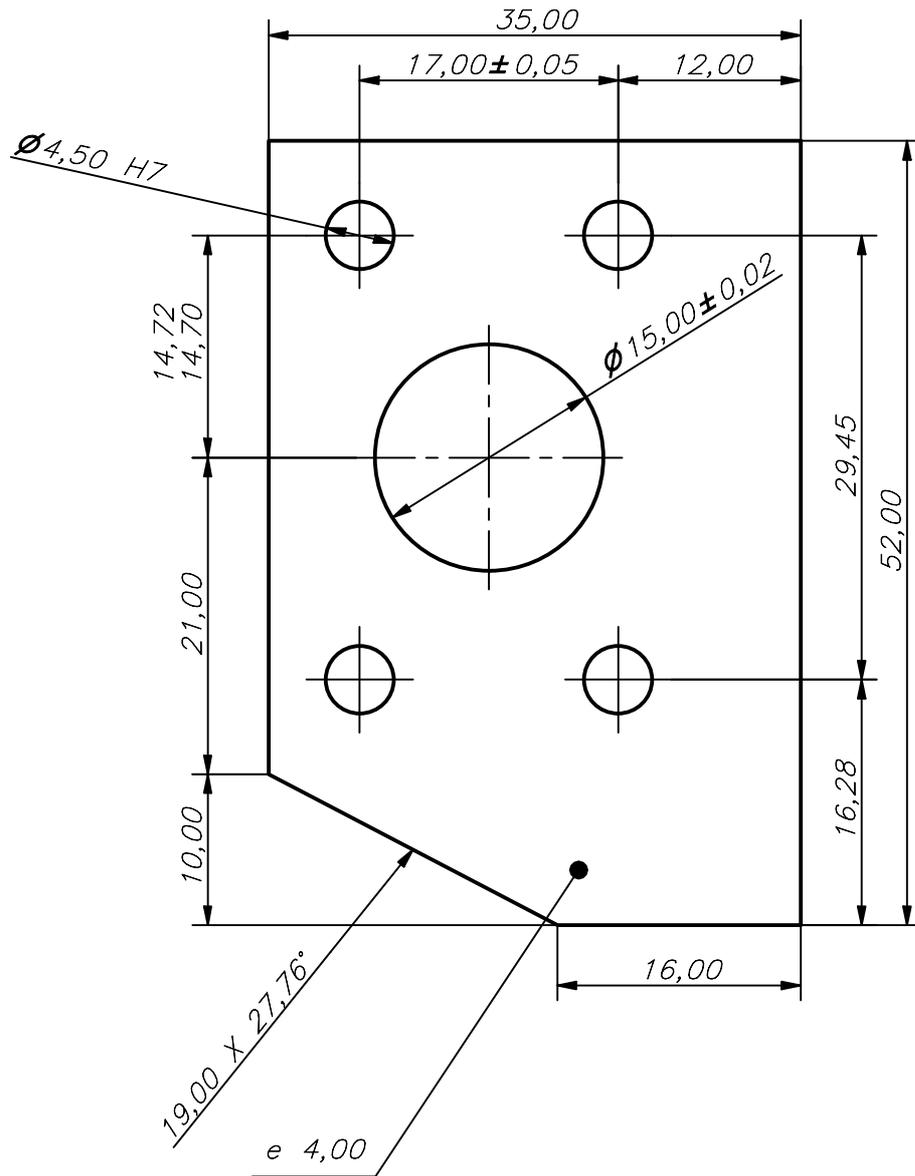
A4
210x297

A3
297x420

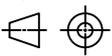
A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



Nota: Todas las aristas son chaflanes de 0,5x45

2	1	Union de movimiento x	ASTM A36	Ace. neg. y galv.	40x55
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección	Union movimiento x				Escala: 2:1
					Lámina N° 01/23



A6
105x148

A5
148x210

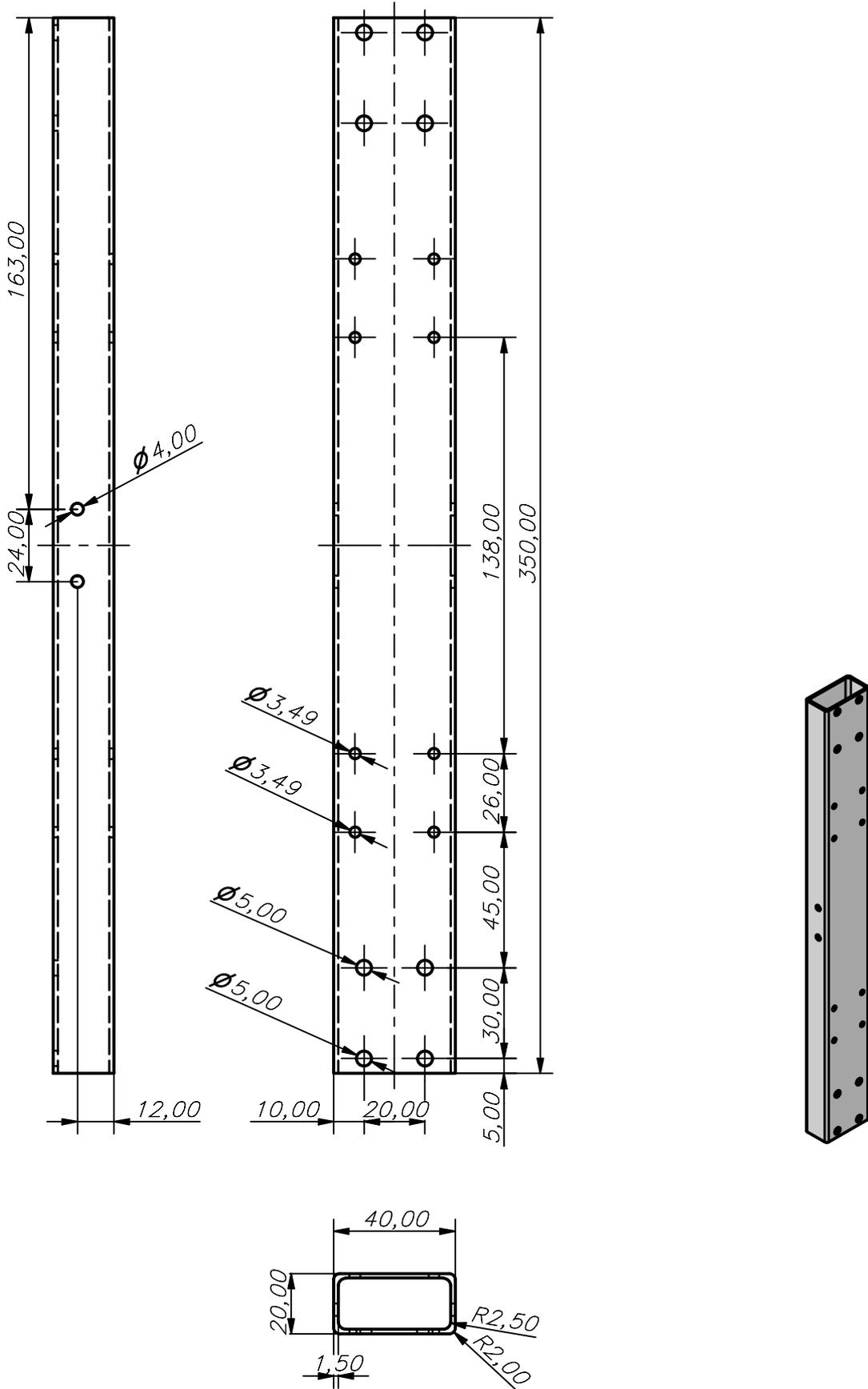
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



5	2	Union de guías x	NTE INEN2415	Ace. neg. y galv.	20x40x360
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		Union guías x			Escala: 1:2
					Lámina N° 03/22



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA



A6
105x148

A5
148x210

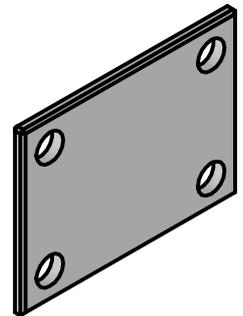
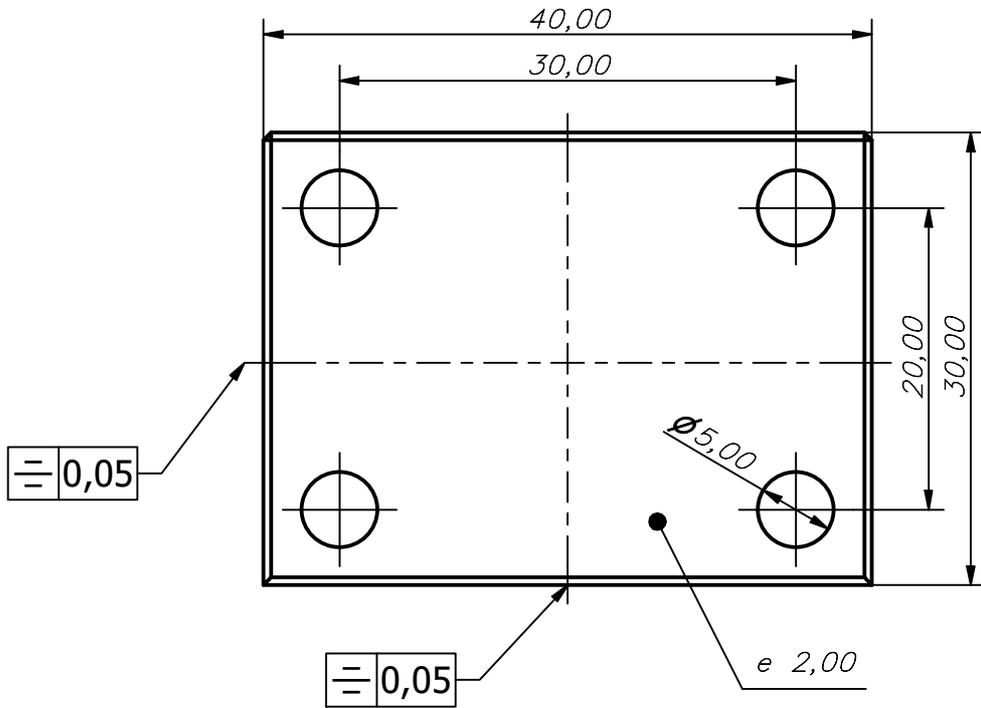
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



Nota: Todas las aristas son chaflanes de 0,5x45

6	4	Base soporte vertical	NTE INEN 115	Ace. neg. y galv.	45x35x2
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección	Base soporte vertical				Escala: 2:1
					Lámina N° 04/22



A6
105x148

A5
148x210

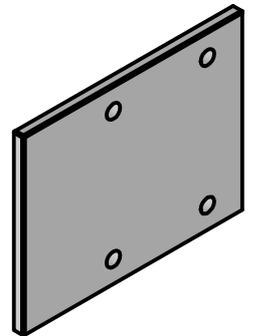
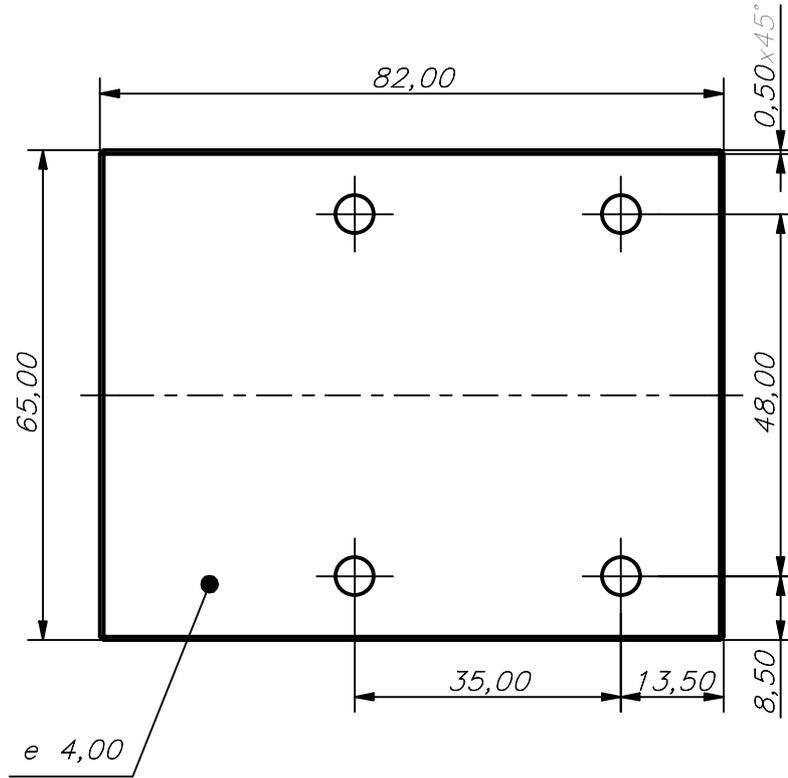
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



Nota: Todas las aristas son chaflanes de 0,5x45

7	1	Placa base motor X	NTE INEN 115	Ace. neg. y galv.	70x85x4
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		Placa base motor X			Escala: 1:1
					Lámina N° 05/22



A6
105x148

A5
148x210

A4
210x297

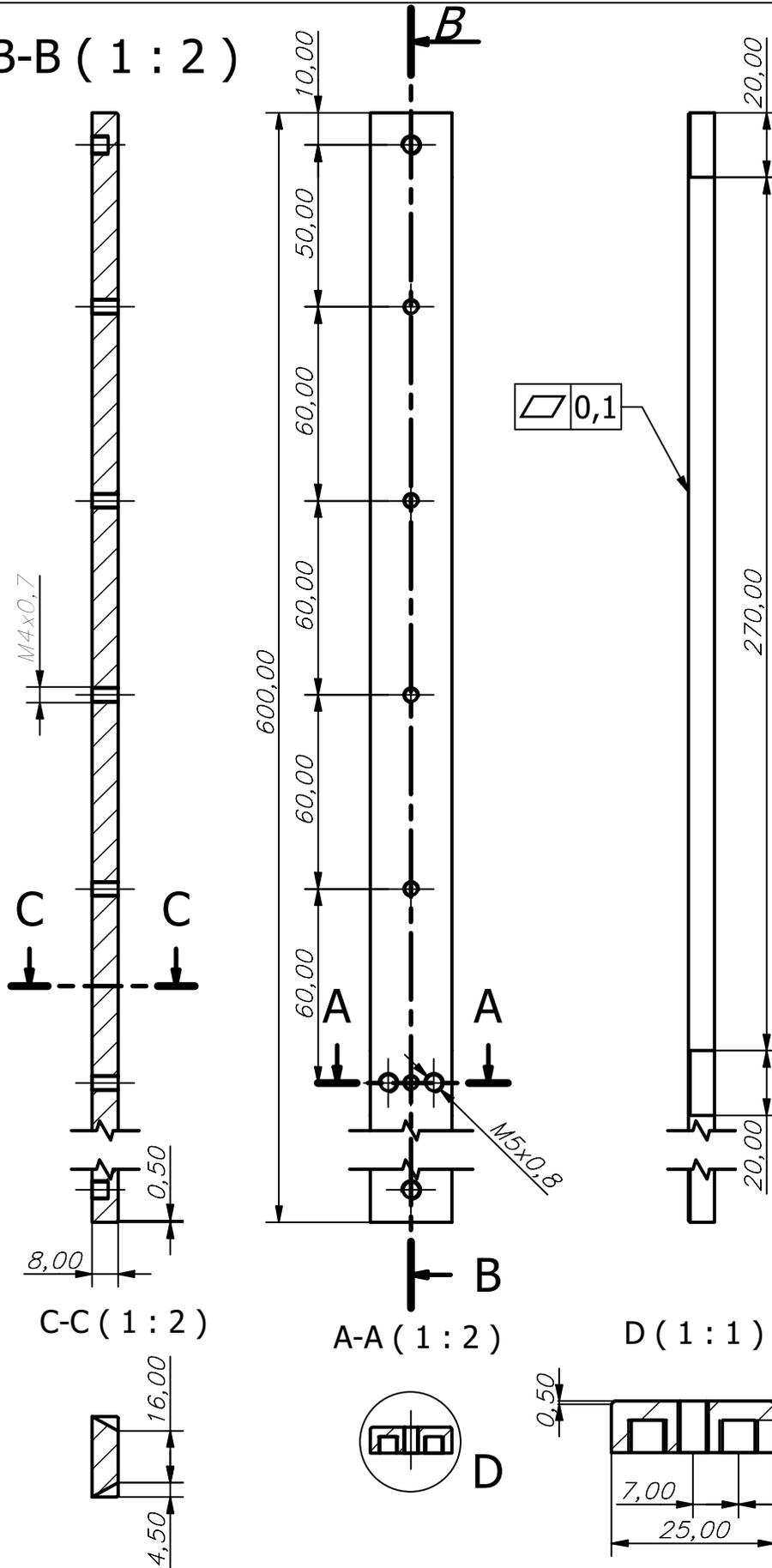
A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189

B-B (1:2)



9	2	Base soporte vertical	NTE INEN 115	Ace. neg. y galv.	605x10x25
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		Base guía inferior			Escala: 1:2
					Lámina N° 06/22



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA



A6
105x148

A5
148x210

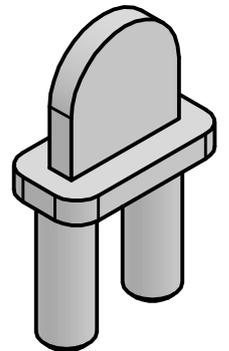
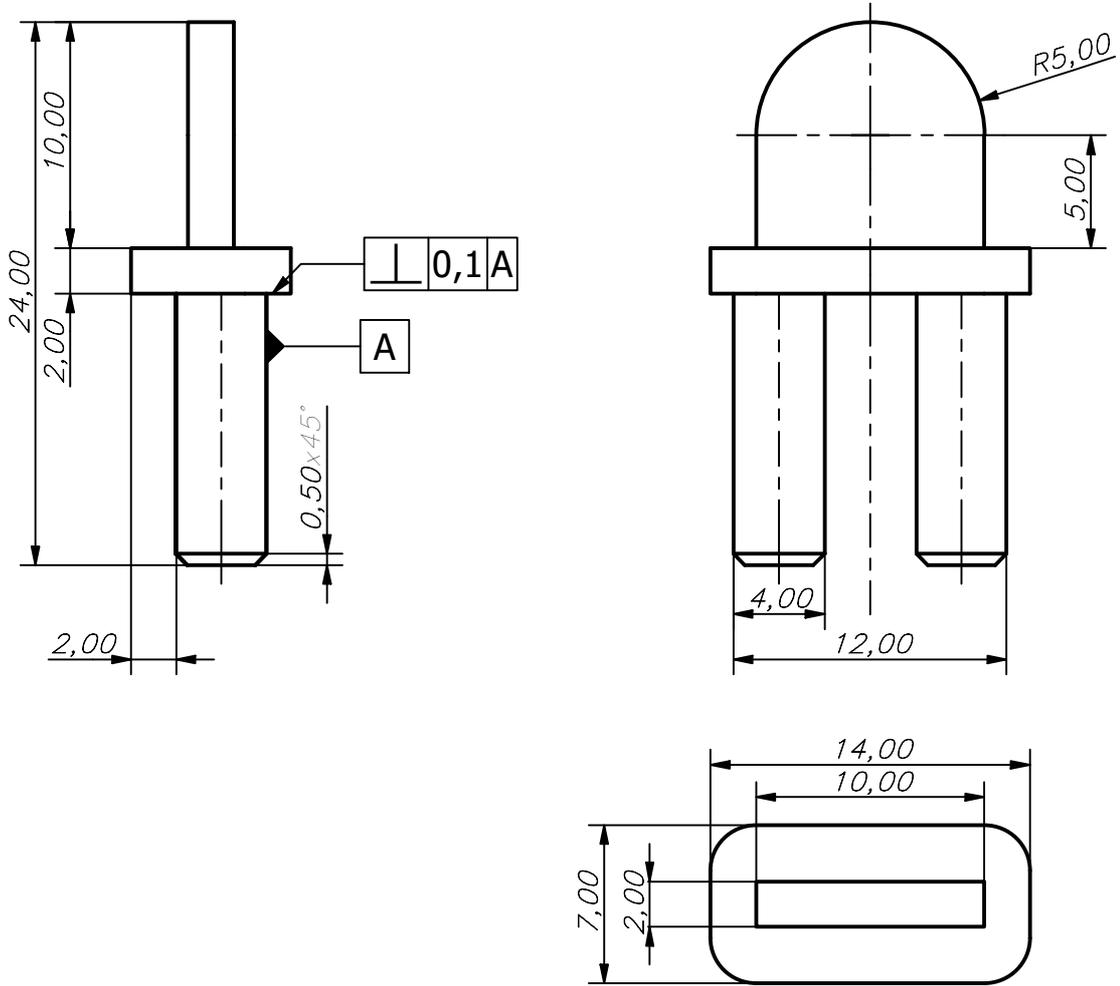
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



14	2	Seguro fijador	NTE INEN 115	Ace. neg. y galv.	25x10x15
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	Ingeniería Mecatrónica	 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA	
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	SEDE MATRIZ CUENCA		
Proyección	Seguro fijador				Escala: 3:1
					Lámina N° 07/22



A6
105x148

A5
148x210

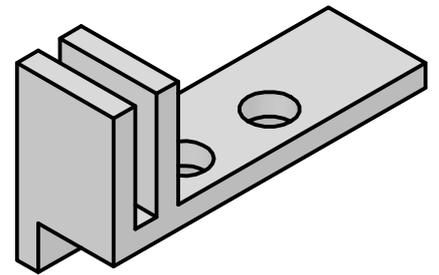
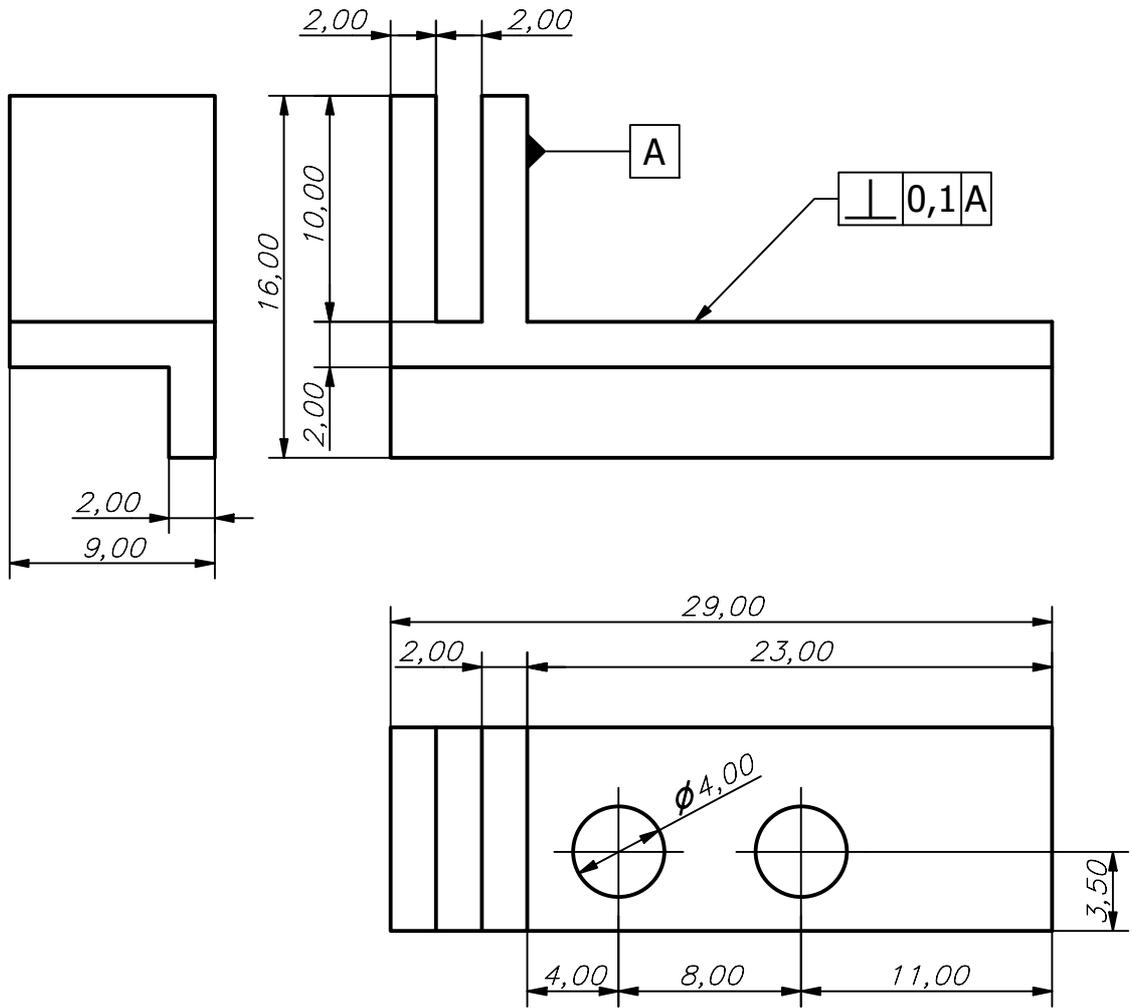
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



15	2	Seguro	NTE INEN 115	Ace. neg. y galv.	30x20x10
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección	Seguro				Escala: 3:1
					Lámina N° 08/22



A6
105x148

A5
148x210

A4
210x297

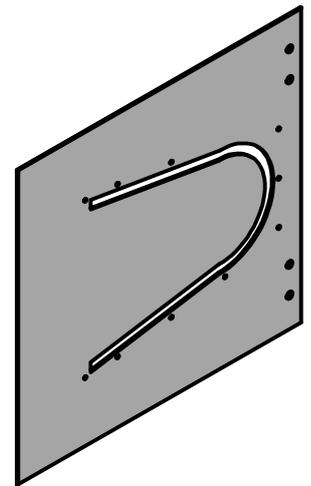
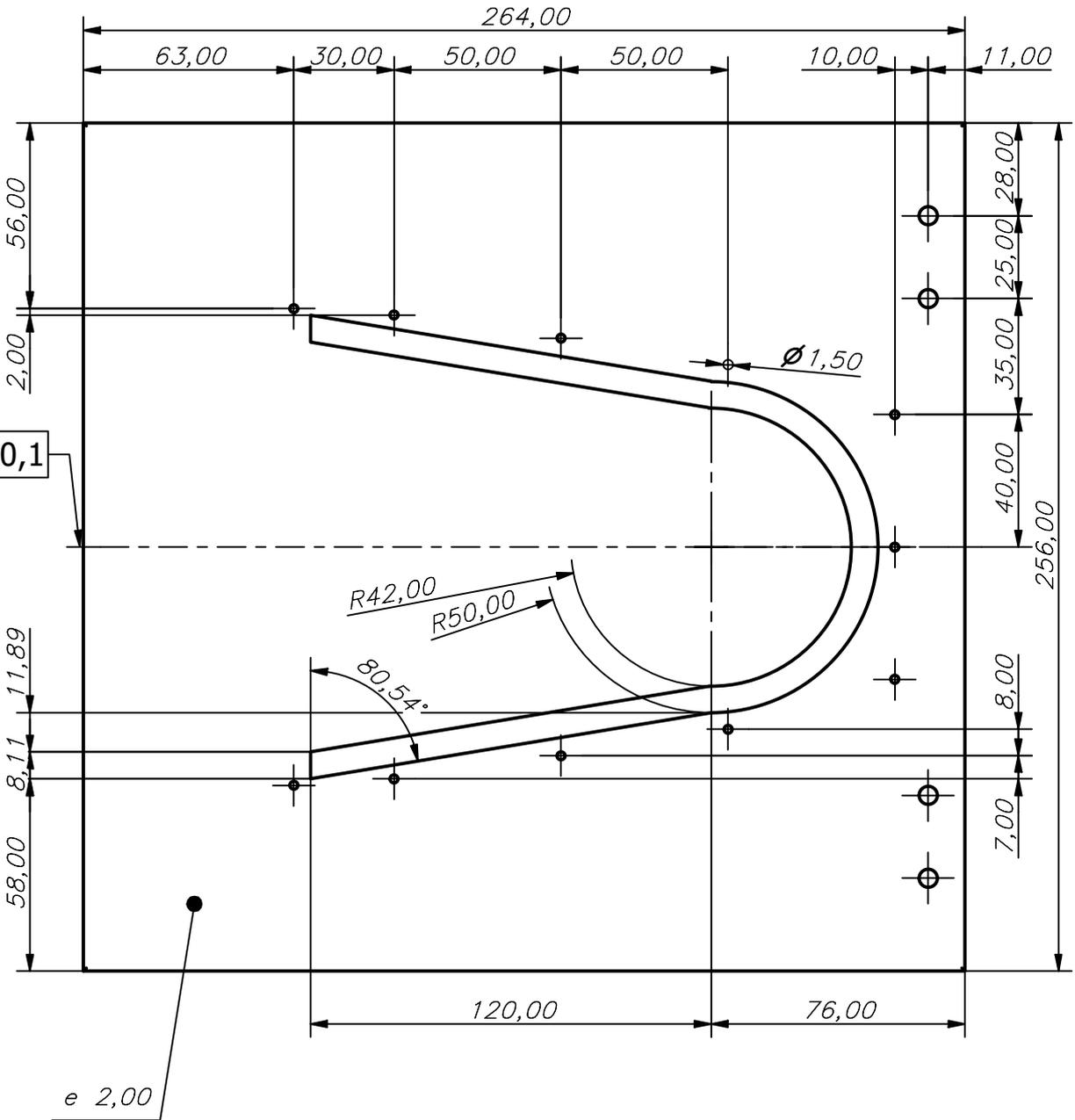
A3
297x420

A2
420x594

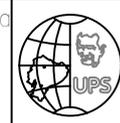
A1
594x841

A0
841x1189

$\frac{0,1}{\equiv}$



16	1	Molde superior	NTE INEN 115	Ace. neg. y galv.	265x260x2
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección	Molde superior				Escala: 1:2
					Lámina N° 09/22



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA



A6
105x148

A5
148x210

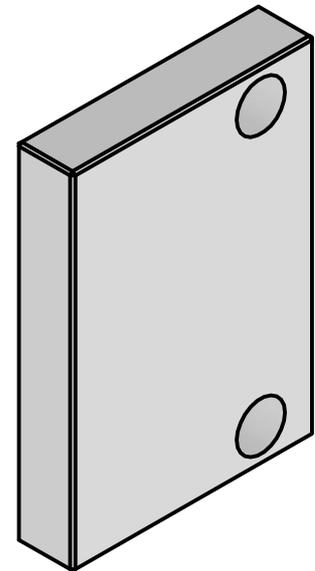
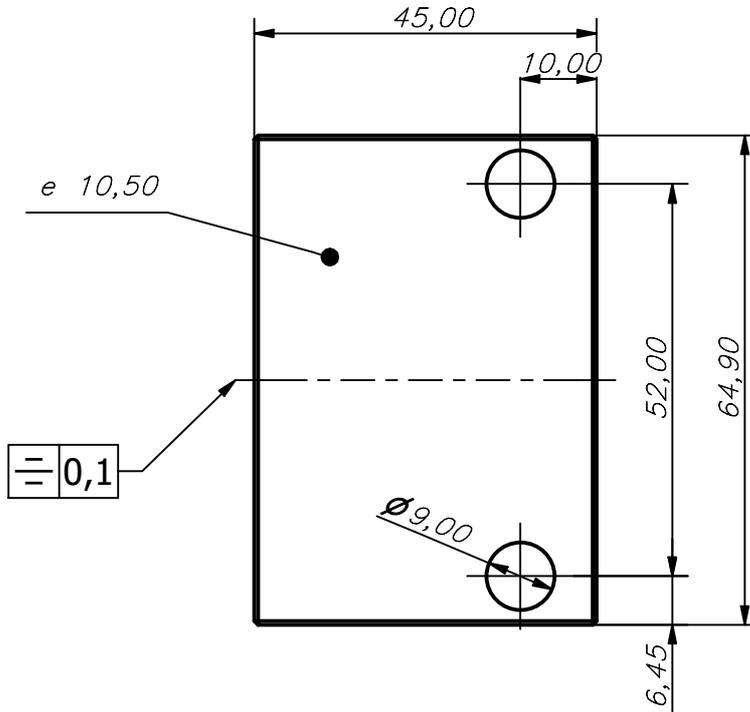
A4
210x297

A3
297x420

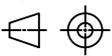
A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



Nota: Todas las aristas son chaflanes de 0,5x45

18	1	Placa base motor Y	NTE INEN 115	Ace. neg. y galv.	50x65x12
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección	Placa base motor Y				Escala: 1:1
					Lámina N° 10/22



A6
105x148

A5
148x210

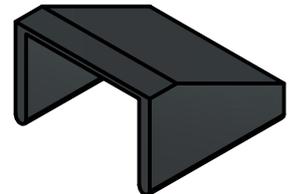
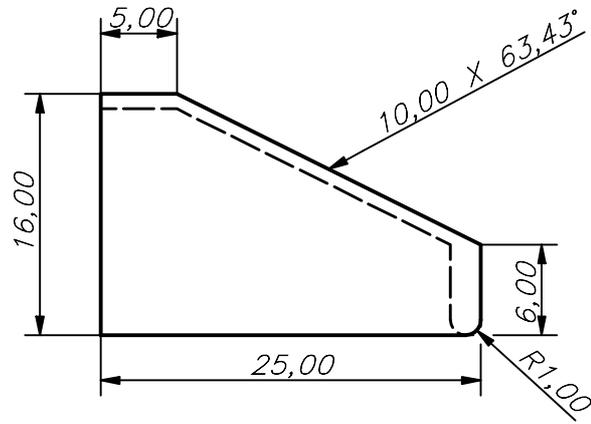
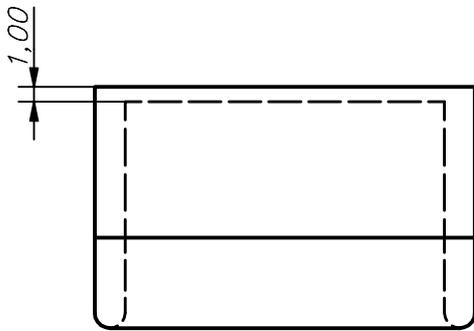
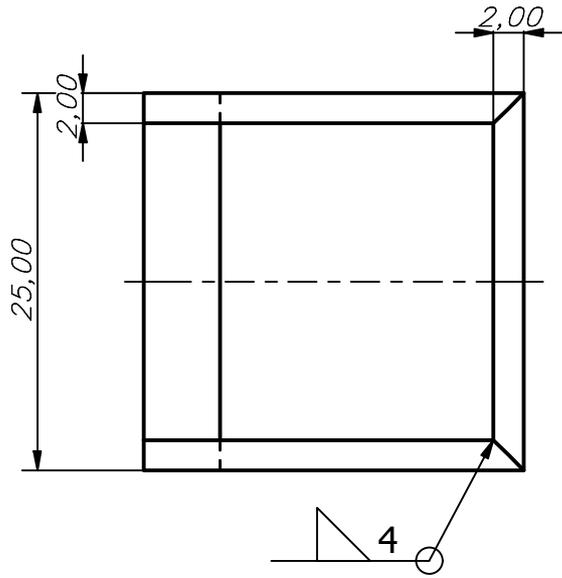
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



19	2	Fijador	NTE INEN 115	Ace. neg. y galv.	
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección	Fijador				Escala: 2:1
					Lámina N° 11/22



A6
105x148

A5
148x210

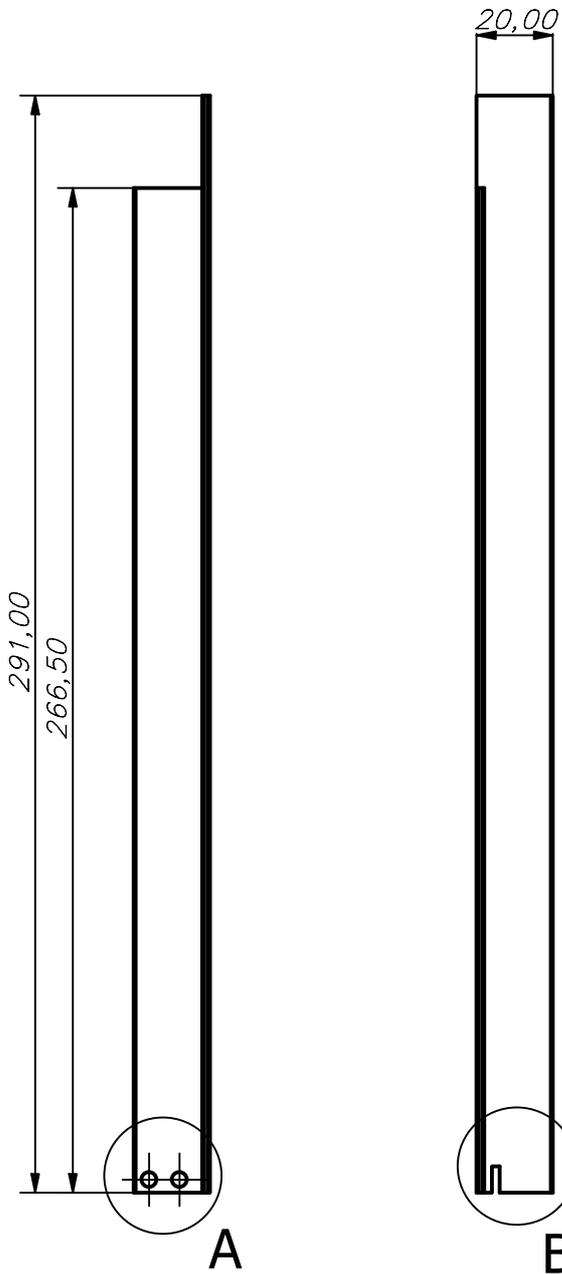
A4
210x297

A3
297x420

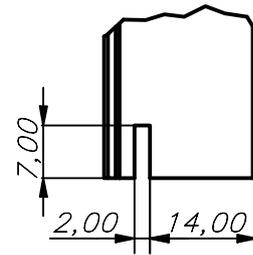
A2
420x594

A1
594x841

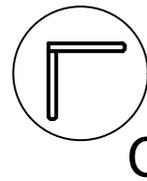
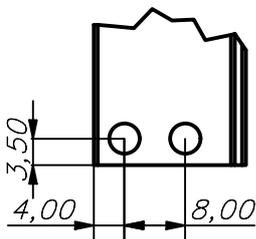
A0
841x1189



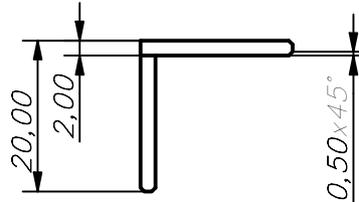
B (1 : 1)



A (1 : 1)



C (1 : 1)



26	1	Angulo 1	ASTM A36	Ace. neg.	300
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		Angulo 1			Escala: 1:2
					Lámina N° 12/22



A6
105x148

A5
148x210

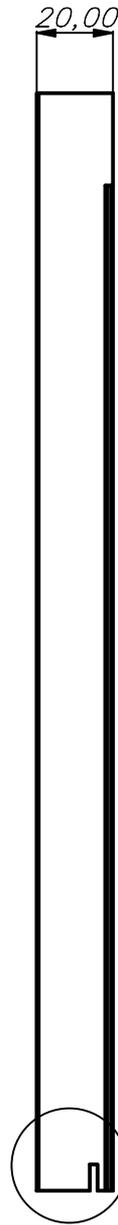
A4
210x297

A3
297x420

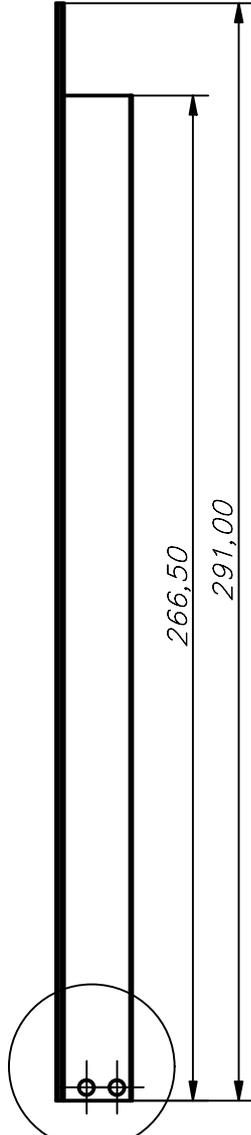
A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189

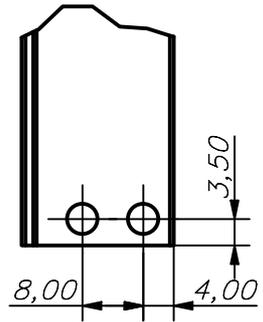


A

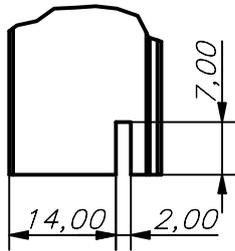


B

B (1 : 1)

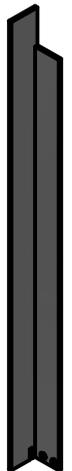
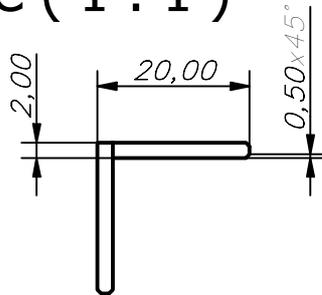


A (1 : 1)



C

C (1 : 1)



29	1	Angulo 2	ASTM A36	Ace. neg.	300
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		ANGULO 2			Escala: 1:2
					Lámina N° 13/22



A6
105x148

A5
148x210

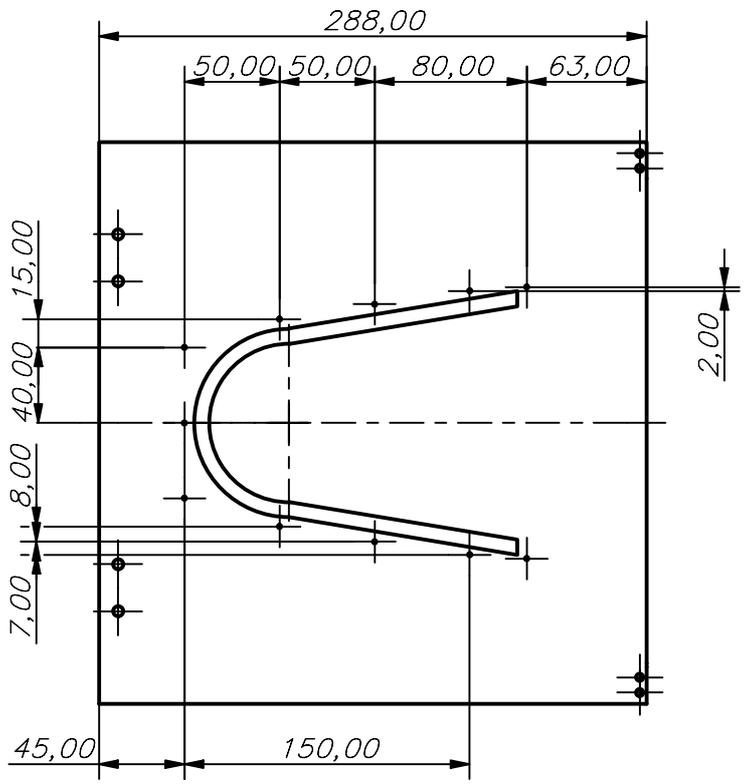
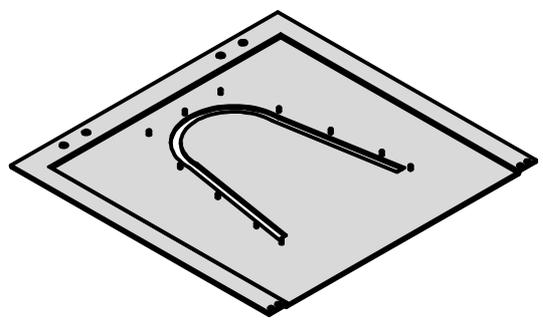
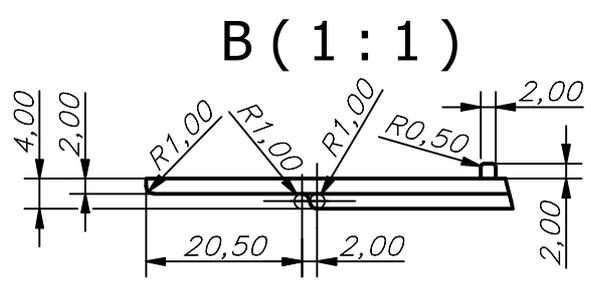
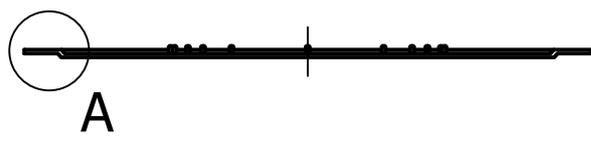
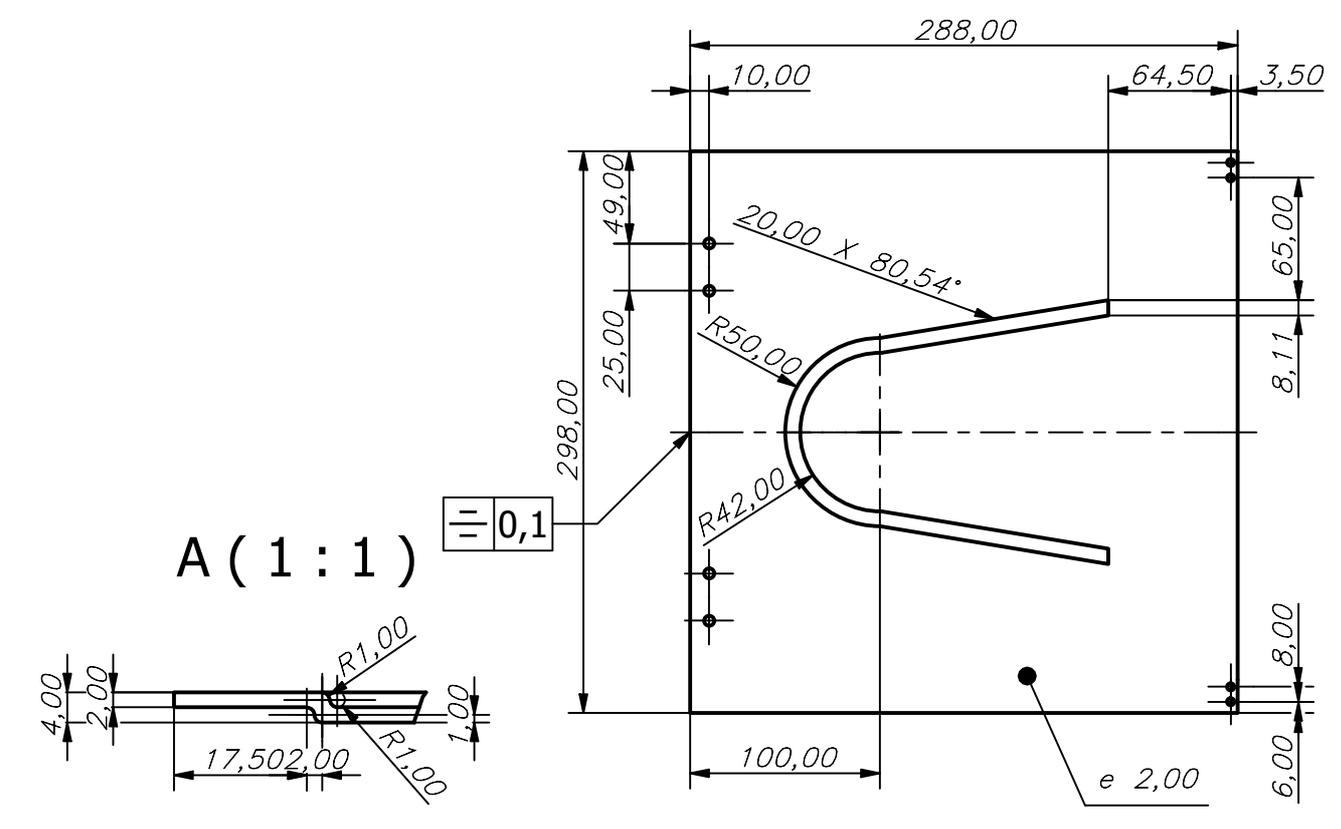
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



30	1	Molde base	NTE INEN 115	Ace. lam. cali.	300x290x2
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		Molde base			Escala: 1:4
					Lámina N° 14/22



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA



A6
105x148

A5
148x210

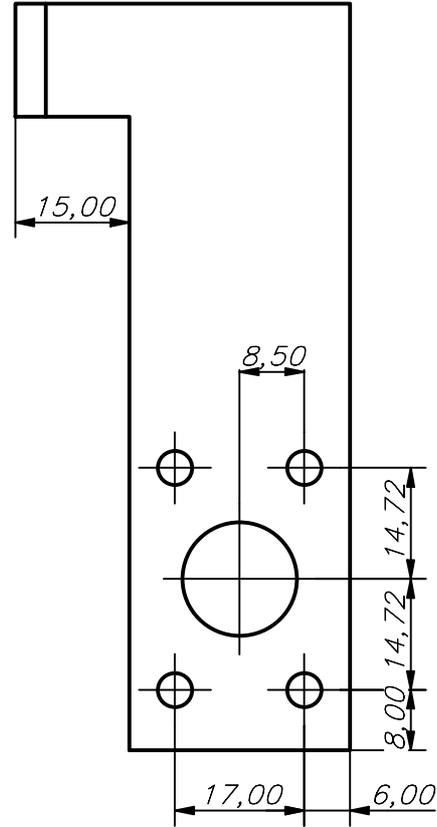
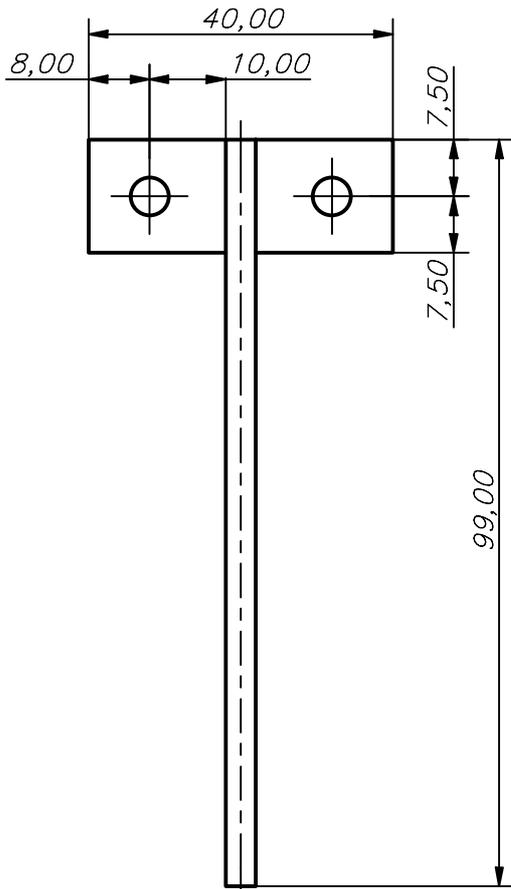
A4
210x297

A3
297x420

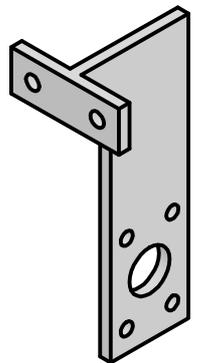
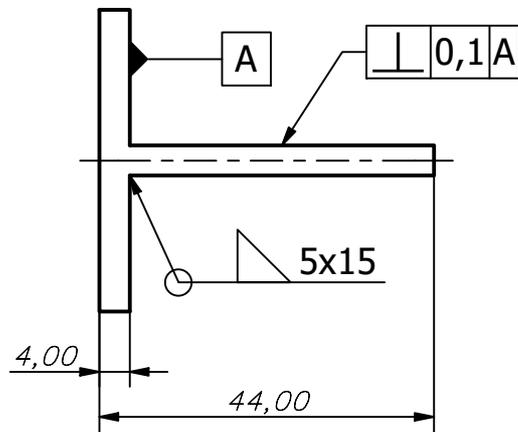
A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



$\equiv 0,1$



31	1	Union movimiento Y	ASTM A36	Ace. neg. y galv.	45X50X4
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		Union movimiento y			Escala: 1:1
					Lámina N° 15/22



AB-AB (1 : 2)

A6
105x148

A5
148x210

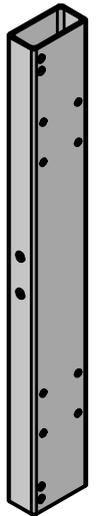
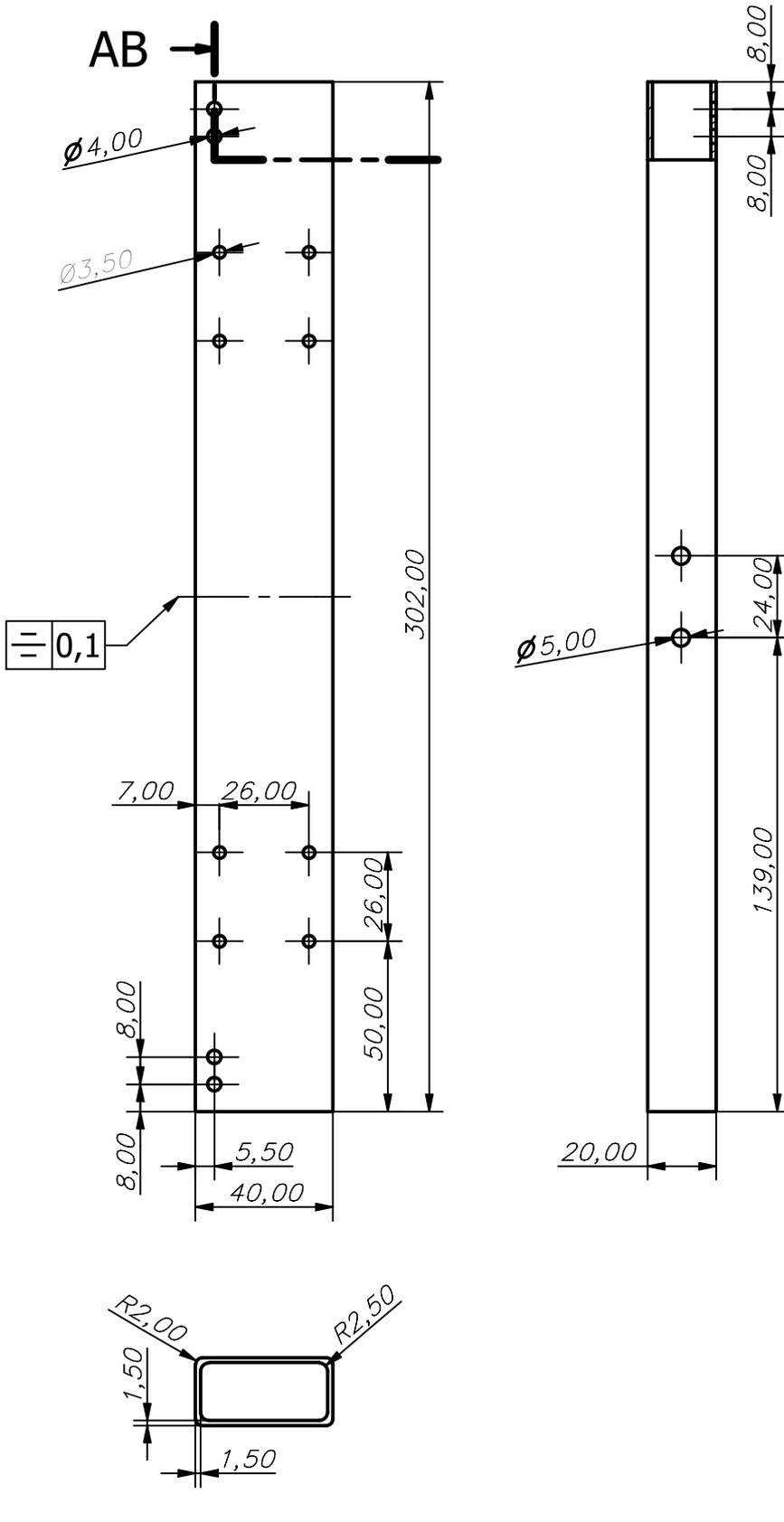
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



32	1	Union guias Y	NTE INEN 2415	Ace. neg. y galv.	20x40x310
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	Fecha	21/06/2023	Ingeniería Mecatrónica	
Comprobado	Ing. C. Cobos.	Fecha	26/06/2023	SEDE MATRIZ CUENCA	
Proyección	Union guias Y				Escala: 1:1
					Lámina N° 16/22



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA



A6
105x148

A5
148x210

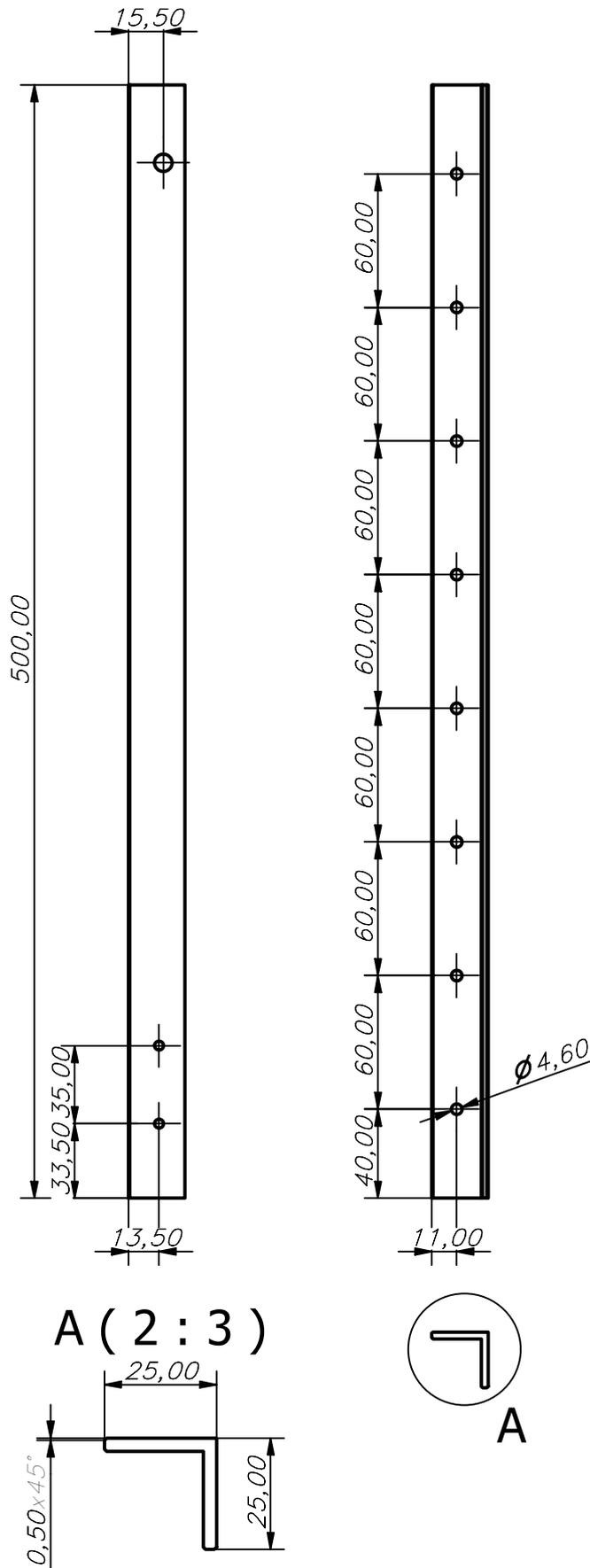
A4
210x297

A3
297x420

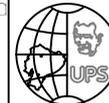
A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



33	1	Angulo 3	ASTM A36	Ace. neg.	505
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	Fecha	Ingeniería Mecatrónica		
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	SEDE MATRIZ CUENCA		
Proyección	Angulo 3				Escala: 1:3
					Lámina N° 17/22



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA



A6
105x148

A5
148x210

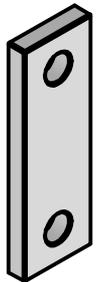
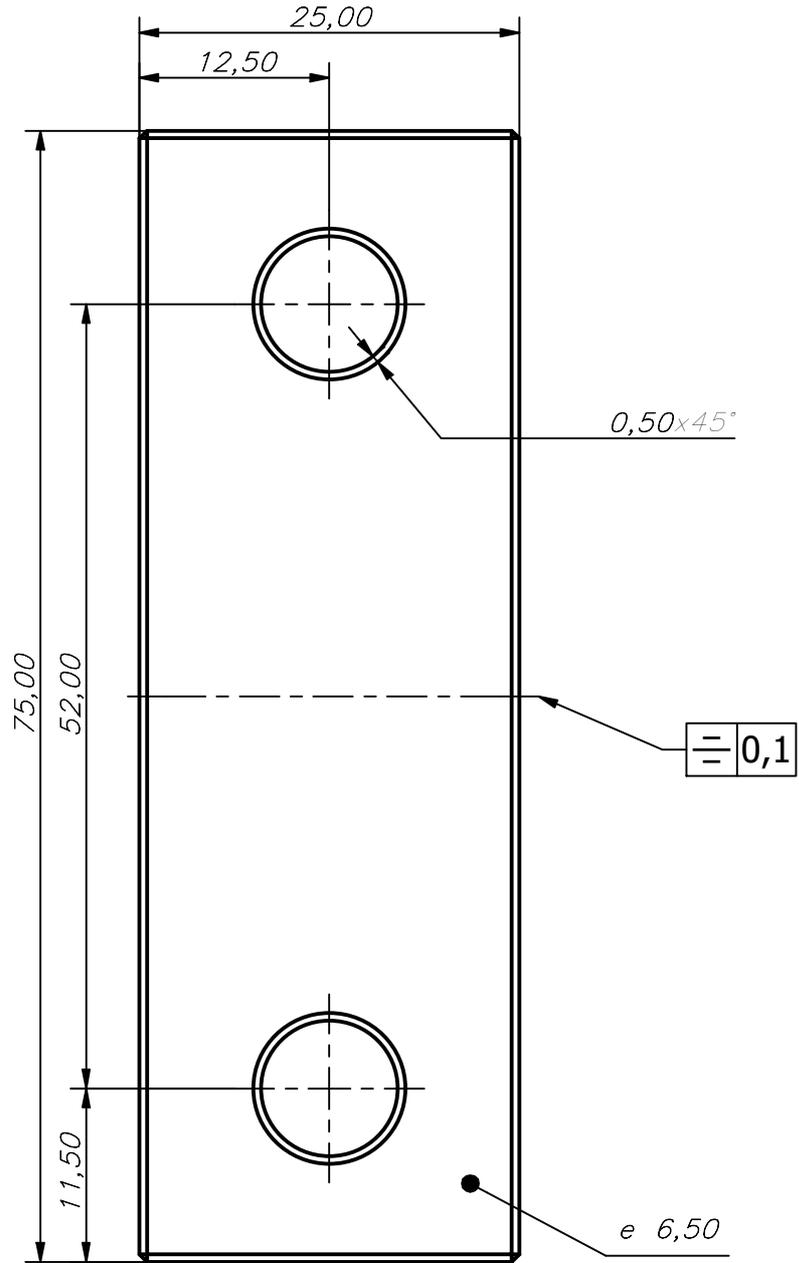
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



Nota: Todas las aristas son chaflanes de 0,5x45

36	1	Base unidad de soporte	NTE INEN 115	Ace. neg. y galv.	80x30x8
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		Base unidad de soporte			Escala: 2:1
					Lámina N° 18/22



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA



A6
105x148

A5
148x210

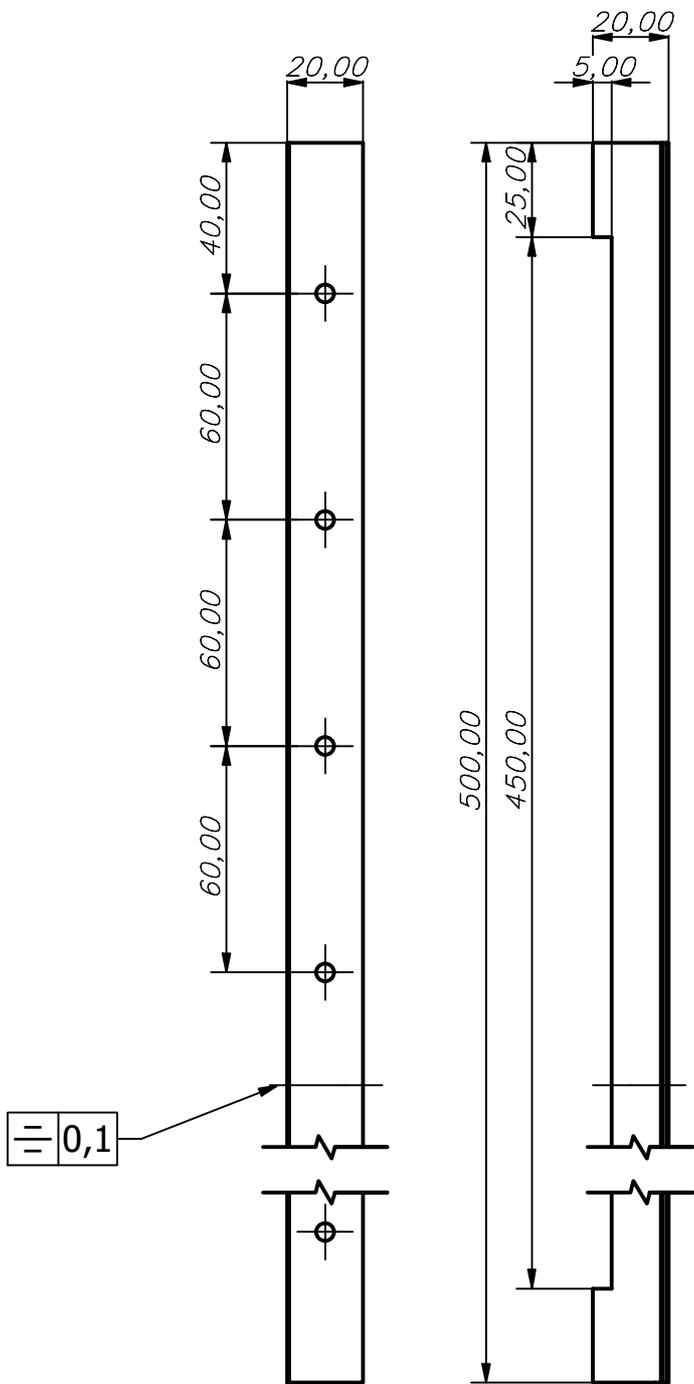
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

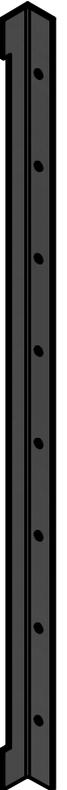
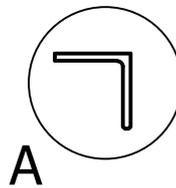
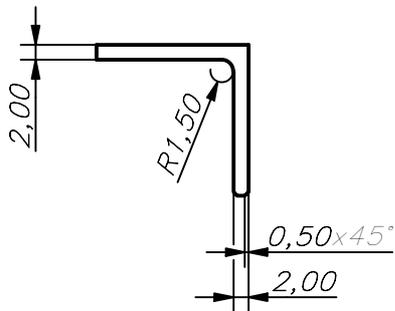
A1
594x841

A0
841x1189



$\frac{0,1}{\equiv}$

A (1:1)



38	1	Angulo 4	ASTM A36	Ace. neg.	505
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		Angulo 4			Escala: 1:2
					Lámina N° 19/22



A6
105x148

A5
148x210

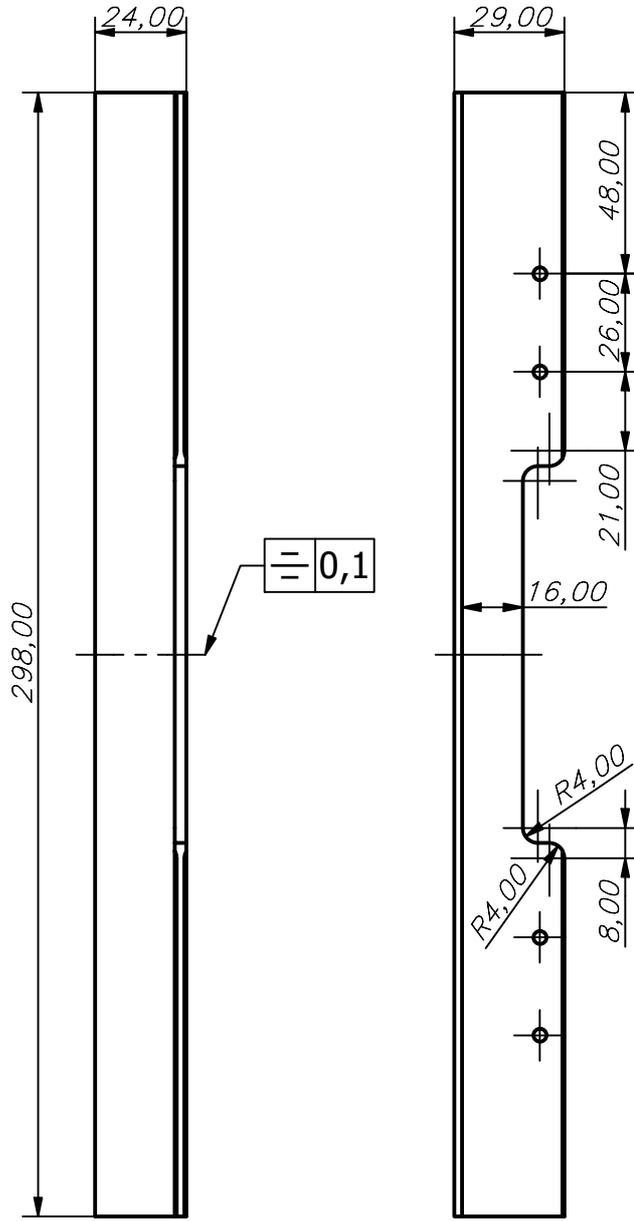
A4
210x297

A3
297x420

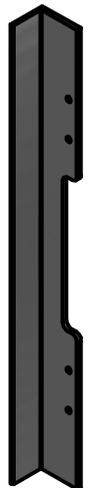
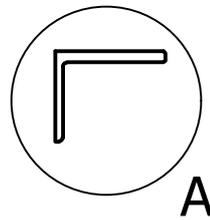
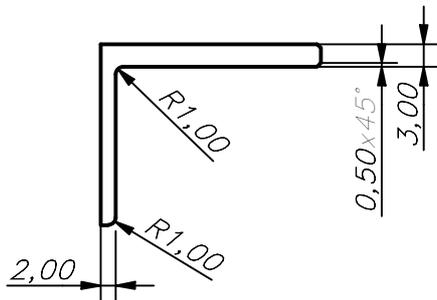
A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



A (1 : 1)



39	1	Angulo 5	ASTM A36	Ace. neg.	300
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Comprobado		Ing. C. Cobos.	26/06/2023	SEDE MATRIZ CUENCA	
Proyección		Angulo 5			Escala: 1:2
					Lámina N° 20/22



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA



A6
105x148

A5
148x210

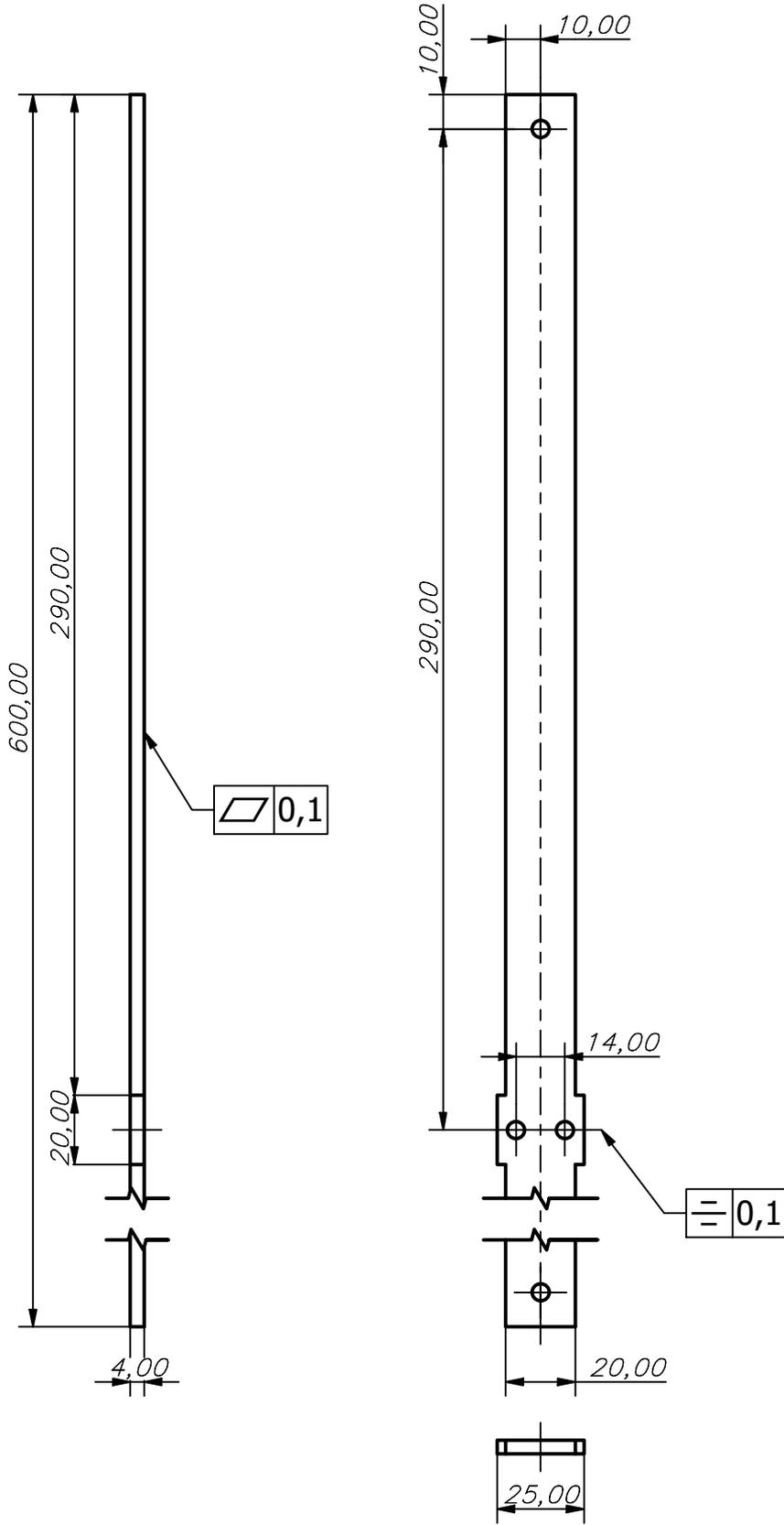
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



46	2	Base inferior mesa	NTE INEN 115	Ace. neg. y galv.	600x26x5
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material	Dim. en bruto
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado	J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		
Comprobado	Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección	Base inferior mesa				Escala: 1:2
					Lámina N° 21/22



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA



A6
105x148

A5
148x210

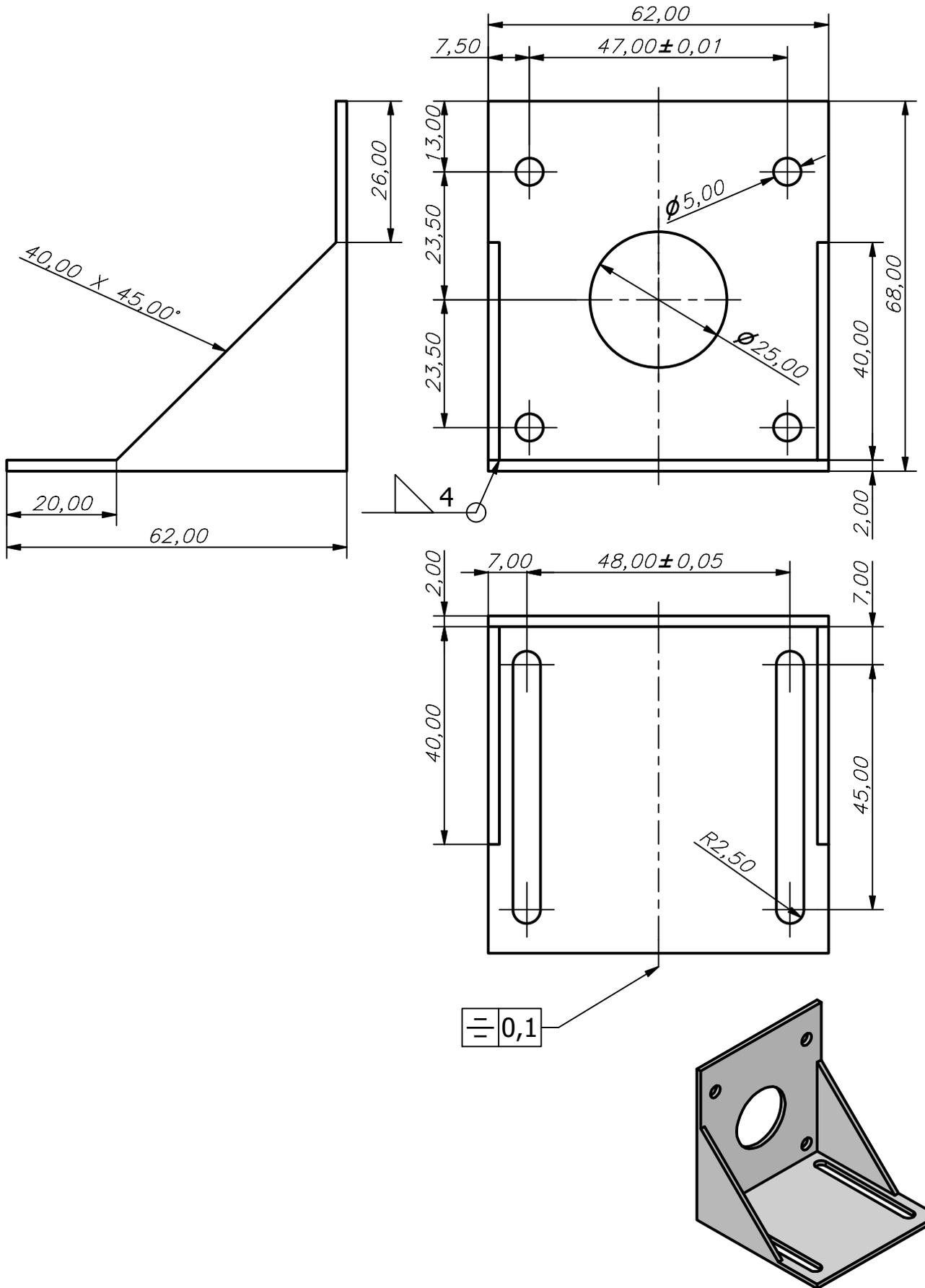
A4
210x297

A3
297x420

A2
420x594

A1
594x841

A0
841x1189



49	2	Base motor		ASTM A36	Ace. neg. y galv.	70x65x2
Pos.	Cant.	Denominación		Norma	Material	Dim. en bruto
Dibujado		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecatrónica		 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Comprobado		J. Tapia, S. Vazquez	21/06/2023	SEDE		
		Ing. C. Cobos.	26/06/2023	MATRIZ CUENCA		
Proyección		Base motor				Escala: 1:1
						Lámina N° 22/22