

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Diseño e implementación de un tele robot con el rol de recepcionista  
para detectar personas mediante un sistema de visión con altura  
dinámica

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

### **Ingenieros en Mecatrónica**

Presentado por:

Pedro Farinango Salazar

Lissette Elvira Medina Chalen

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

# DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres Pedro Farinango y Gina Salazar, y a mis hermanos, Emanuel y Annie Farinango por brindarme todo su apoyo incondicional a lo largo de la carrera, tanto en lo económico como anímico.

También a mis mejores amigos Brandon Lazo y Heyde Velasco, con quienes hemos mantenido una amistad desde el colegio y me han aconsejado y escuchado en cualquier momento.

Finalmente, a mi grupo de trabajo de la universidad conformado por Brandon Lazo, Paulo Valarezo, Carlos Pillajo, Melissa Banchón, Lissette Medina y mi persona, donde se lograron proyectos de calidad y el intercambio de habilidades y conocimiento de cada uno.

**Pedro Farinango Salazar**

# DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, Pablo Medina y Leonor Chalen, quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y me han alentado con paciencia y sabiduría. A mis profesores, por su dedicación y enseñanza que me han inspirado y motivado a lo largo de la carrera.

A Pedro Farinango, Brandon Lazo, y demás personas que con su ayuda me han permitido culminar la vida universitaria y con quienes he pasado buenos momentos llenos de aprendizaje.

**Lisette Elvira Medina Chalen**

# AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi familia y amigos que me brindaron su apoyo incondicional de diferentes maneras para poder salir adelante como persona y profesional.

A mi compañera de tesis Lissette Medina por mostrar su disponibilidad, apoyo y tolerancia en la realización de este trabajo.

Por último, a cada uno de los profesores de la ESPOL que me proporcionaron sus conocimientos y acompañado a lo largo de la carrera.

**Pedro Farinango Salazar**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi padre por ser un pilar fundamental en mi vida, por su paciencia, amor, confianza, y comprensión durante todo este tiempo. A mi madre, por su apoyo incondicional.

A mi amigo y compañero, Pedro Farinango, con quien logré culminar este proyecto de manera exitosa y quien me ha brindado su apoyo y paciencia a lo largo de la carrera universitaria.

A mis profesores, quienes me han brindado sus conocimientos y constituyen la base de mi vida profesional.

A mis amigas, Liliana y Ariana, por sostenerme en los momentos de incertidumbre. A Brandon, Melissa, y Paulo por su compañerismo y aporte en mi vida universitaria. A Francisco, por ser un gran amigo y creer en mí en todo momento.

A mi mascota, Scrappy, por acompañarme en altas horas de la noche mientras estudiaba.

**Lisette Elvira Medina Chalen**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Pedro Farinango Salazar* y *Lisette Elvira Medina Chalen* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

  
Pedro Farinango Salazar

  
Lisette Medina Chalen

# EVALUADORES

.....  
**Carlos Saldarriaga, Ph.D.**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Dennys Paillacho, Ph.D**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En entornos de oficina, el uso de la telepresencia robótica radica en la necesidad de gestionar las relaciones e interacciones con los usuarios a grandes distancias para el caso en que la persona recepcionista no se encuentre en el lugar, de manera que el cliente pueda ser atendido o se le permita acceso al lugar, ahorrando tiempo y dinero en la búsqueda de reemplazos u otras formas para atender a los clientes. De esa manera, el presente proyecto propone el desarrollo de un sistema de tele robot con rol de recepcionista mediante un sistema de visión por computadora y un sistema de altura ajustable de una pantalla de forma automática según la estatura del usuario.

El diseño final del sistema de tele robot estuvo conformado por una estructura móvil pero no autónoma y un mecanismo de transmisión lineal por tornillo de potencia y dos ejes guías, el cual fue modelado en el software Inventor e implementado mediante el mecanizado de piezas y la selección de elementos mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control que permitieron el desplazamiento de una computadora All in One a una altura deseada; el controlador utilizado fue Arduino UNO, el cual fue programado con el lenguaje C++. Por otro lado, los materiales empleados para la construcción del sistema fueron aluminio y PETG, los cuales ofrecen características de alta resistencia y bajo peso.

De esa manera, el sistema de transmisión lineal del tele robot propuesto es capaz de soportar y desplazar una pantalla en función de la estatura del usuario local detectada por un algoritmo de visión por computadora.

**Palabras Clave:** Tele robot, visión por computadora, mecanismo de transmisión lineal, altura ajustable, interacción remota.



## **ABSTRACT**

*In office environments, the use of robotic telepresence lies in the need to manage relationships and interactions with users over long distances in case the receptionist is not on site, so that the user or customer can be attended or allowed access to the place, saving time and money in finding replacements or other ways to attend users. Thus, this project proposes the development of a tele-robot system with the role of receptionist through a computer vision system and an automatic height-adjustable system according to the user's height.*

*The final design of the tele-robot system consisted of a mobile but not autonomous structure and a linear transmission mechanism by a power screw and two guide axes, which was modeled in Inventor software and implemented through the machining of parts and the selection of mechanical, electrical, electronic and control elements that allowed the displacement of an All in One computer to a desired height; the controller used was Arduino UNO, which was programmed with the C++ language. On the other hand, the materials used for the construction of the system were aluminum and PETG, which offer high resistance and low weight characteristics.*

*Thus, the linear transmission system of the proposed tele-robot can support and move a screen depending on the height of the local user detected by a computer vision algorithm.*

*Keywords: Tele-robot, computer vision, linear transmission mechanism, adjustable height, remote interaction.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
CAPÍTULO 1	
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	2
1.2    Justificación del problema.....	3
1.3    Objetivos.....	4
1.3.1    Objetivo general .....	4
1.3.2    Objetivos específicos .....	4
1.4    Marco teórico .....	5
1.4.1    Telepresencia.....	5
1.4.2    Telepresencia robótica .....	5
1.4.3    Mecanismos de transmisión lineal.....	7
1.4.4    Introducción al sistema de visión por computador.....	10
1.4.5    Estado del arte .....	10
CAPÍTULO 2	
2.    Metodología .....	14
2.1    Selección de la alternativa de solución .....	14
2.2    Proceso de diseño .....	17
2.3    Requerimientos de diseño .....	17

2.4	Diseño conceptual .....	18
2.5	Selección de mecanismo de transmisión lineal .....	20
2.6	Diseño del robot de telepresencia .....	21
2.6.1	Diseño del soporte de la computadora.....	21
2.6.2	Diseño del carro vertical.....	23
2.6.3	Selección de estructura móvil del tele robot.....	26
2.7	Sistema eléctrico y de control .....	26
2.7.1	Selección de actuadores .....	27
2.7.2	Selección del Driver para el motor .....	29
2.7.3	Selección de sensores .....	30
2.7.4	Selección de la fuente de poder .....	32
2.7.5	Selección del controlador .....	33
2.7.6	Arquitectura de comunicación .....	34
 CAPÍTULO 3		
3.	Resultados y análisis .....	36
3.1	Soporte de la computadora.....	36
3.2	Sistema de transmisión por tornillo de potencia .....	38
3.3	Diseño 3D del sistema de transmisión lineal .....	39
3.4	Diagrama de flujo de programación .....	41
3.5	Diagrama de conexiones eléctricas .....	42
3.6	Programación .....	42
3.7	Implementación del sistema de transmisión lineal .....	43
3.8	Análisis de costos .....	46
 CAPÍTULO 4		
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	50
4.1	Conclusiones .....	50

4.2 Recomendaciones ..... 51

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ISO	International Organization for Standardization
PRoP	Personal Roving Presence
LCD	Liquid Crystal Display
LIDAR	Light Detection and Ranging
PaP	Paso a Paso
PETG	Poliéster de Glicol
PLA	Ácido Poliláctico
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
PWM	Pulse Width Modulation
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
IDE	Integrated Development Environment
CNC	Computer Numerical Control
PPR	Pulsos por Revolución
CPR	Conteos por Revolución
VDC	Voltaje de Corriente Continua
VAC	Voltaje de Corriente Alterna
NA	Normalmente Abierto
NC	Normalmente Cerrado
RMS	Root Mean Square
MDF	Medium Density Fiberboards
TIG	Tungsten Inert Gas
MIG	Metal Inert Gas

## SIMBOLOGÍA

mm	Milímetro
cm	Centímetro
kg	Kilogramo
N	Newton
m	Metro
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
V	Voltio
A	Amperio
W	Watt
kHz	Kilohertz
g	Gramo
rpm	Revolución por minuto
mA	Miliamperio
$\Omega$	Ohmios
M $\Omega$	Megaohmio
$\mu$ s	Microsegundo
mH	Milihenrio

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tele-robot PRoP (Personal Roving Presences).....	6
Figura 1.2 Sistema piñón-cremallera .....	8
Figura 1.3 Banda sincrónica estándar .....	8
Figura 1.4 Aplicación de los tornillos de transmisión de potencia: Un gato accionado manualmente .....	9
Figura 1.5 Mecanismo de biela-manivela-corredera para un motor de combustión interna de un cilindro .....	9
Figura 1.6 Videoconferencia empresarial .....	11
Figura 1.7 Robot de telepresencia móvil (ESPE) .....	11
Figura 1.8 Robot de telepresencia móvil (UPS) .....	12
Figura 1.9 Robots móviles comerciales .....	13
Figura 2.1 Metodología de diseño.....	17
Figura 2.2 Diseño conceptual del tele robot con diferentes estaturas de usuarios ...	18
Figura 2.3 Computadora All in One .....	19
Figura 2.4 Diseño 3D del soporte de la computadora: (1) Platina, (2) Placa de conexión, (3) Pieza de agarre, (4) Perfil cuadrado, (5) Perfil ángulo.....	22
Figura 2.5 Sistema de transmisión de potencia / eje z .....	23
Figura 2.6 Rosca Acme .....	25
Figura 2.7 Soporte de piso móvil para TV .....	26
Figura 2.8 Motor paso a paso NEMA 23 - 1.3 N.m .....	28
Figura 2.9 Acople telaraña 8 a 8 mm .....	29
Figura 2.10 Driver DM542T para Nema 23 .....	30
Figura 2.11 Final de carrera .....	31
Figura 2.12 Encoder rotatorio incremental E38S6G5 .....	32
Figura 2.13 Acople flexible de 6.35 a 8 mm .....	32
Figura 2.14 Fuente de poder .....	33
Figura 2.15 Arduino UNO R3 .....	34
Figura 2.17 Arquitectura de comunicación.....	35
Figura 3.1 Entorno de análisis de elementos finitos: Aplicación de fuerzas y restricciones.....	36

Figura 3.2 Tensión de Von Mises y desplazamiento máximo de la placa de conexión del carro vertical.....	39
Figura 3.3 Soporte del carro vertical: (1) Perfil de aluminio serie V 20x20, (2) Placa de unión L serie 20, (3) Soporte para eje SK12, (4) Soporte de motor, (5) Placa de unión de dos huecos serie 20.....	40
Figura 3.4 Diseño final del sistema del tele robot .....	41
Figura 3.5 Diagrama de flujo de la lógica de programación .....	41
Figura 3.6 Diagrama de conexiones eléctricas del sistema .....	42
Figura 3.7 Piezas mecanizadas del soporte de la computadora: placa de conexión del tornillo de potencia, placa de conexión del soporte de la computadora, platinas de soporte superiores e inferiores y perfil cuadrado .....	43
Figura 3.8 Perfil ángulo mecanizado.....	44
Figura 3.9 Ensamble del soporte de la computadora.....	44
Figura 3.10 Ensamble final del mecanismo de transmisión lineal.....	45
Figura 3.11 Pruebas de funcionamiento del sistema de transmisión lineal con la computadora All in one .....	46



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Peso específico de cada criterio .....	16
Tabla 2.2 Tabla de conclusiones .....	16
Tabla 2.3 Requerimientos del sistema .....	18
Tabla 2.4 Dimensiones de la computadora All in One con base .....	19
Tabla 2.5 Dimensiones y peso de la computadora (sin base) .....	19
Tabla 2.6 Mecanismos de transmisión lineal .....	20
Tabla 2.7 Características mecánicas del soporte de la computadora .....	22
Tabla 2.8 Especificaciones del soporte .....	26
Tabla 2.9 Características de las alternativas de los motores .....	27
Tabla 2.10 Tabla comparativa de las alternativas de motores .....	27
Tabla 2.11 Especificaciones eléctricas del motor paso a paso NEMA 23.....	29
Tabla 2.12 Especificaciones eléctricas del Driver seleccionado .....	30
Tabla 2.13 Especificaciones eléctricas del final de carrera.....	31
Tabla 2.14 Especificaciones eléctricas del encoder E38S6G5 .....	32
Tabla 2.15 Especificaciones eléctricas de la fuente de poder .....	33
Tabla 2.16 Especificaciones técnicas del Arduino Uno.....	34
Tabla 3.1 Resultados del análisis de elementos finitos del soporte de la computadora .....	37
Tabla 3.2 Resultados del Generadores de Componentes de Eje de Inventor .....	38
Tabla 3.3 Tipo de herramienta para el mecanizado de las piezas del soporte de la computadora .....	44
Tabla 3.4 Costos de implementación: sistema mecánico .....	47
Tabla 3.5 Costos de implementación: sistema electrónico, eléctrico y de control.....	48
Tabla 3.6 Costos de implementación: Gastos Varios .....	48
Tabla 3.7 Costo total de implementación del sistema de tele robot .....	48
Tabla 3.8 Comparativo de sistemas de robot de telepresencia .....	49

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la telepresencia es una tecnología ampliamente utilizada para la comunicación virtual entre individuos desde cualquier ubicación geográfica con el objetivo de ahorrar costos de traslado y tiempo de desplazamiento de las personas.

La telepresencia robótica es un medio que permite la conexión a una ubicación remota mediante la telepresencia convencional con el valor agregado de desplazarse y actuar en un determinado lugar. Una de las distintas aplicaciones de la telepresencia robótica es en el área social, el cual se basa en la interacción entre usuarios para brindar asesoría y ayuda en diversas actividades diarias de oficina y atención médica [1].

El sistema de telepresencia robótica social consta tanto del robot físico compuesto por sensores y actuadores como de la interfaz utilizada para el control y comunicación del robot, de manera que se permita la reunión de las personas a través de audio y video para la interacción social, considerando aspectos como la movilidad, la comunicación bidireccional y la maniobrabilidad del sistema [2]. Dichas funcionalidades se logran a través de una pantalla de visualización, sistemas de audio, una cámara web, ruedas, fuente de alimentación, etc.

Los robots de telepresencia se originan a partir de la necesidad de realizar un trabajo a distancia, logrando un alcance social ilimitado en circunstancias que la persona encargada de brindar una atención, no se encuentre en el lugar indicado por motivos de salud, ubicación, percances, entre otros. Por lo tanto, el presente proyecto propone el diseño e implementación de un tele robot de altura dinámica con el rol de recepcionista para la atención a clientes y, de esta forma, brindar una mejor interacción con el usuario de forma remota.

## 1.1 Descripción del problema

El avance de las tecnologías de comunicación ha impulsado a la sociedad a buscar herramientas tecnológicas que permitan realizar actividades de interacción social a grandes distancias, optimizando el tiempo y los recursos económicos que implican movilizarse de un lugar a otro.

En las aplicaciones de entorno de oficina, el área administrativa de una empresa se encarga de gestionar las relaciones e interacciones con los clientes para obtener toda la información posible de acuerdo con los requerimientos de estos, y de esa forma brindar servicios de atención, asesoría o permisos de acceso a distintos lugares de la entidad de trabajo. Cuando un cliente llega a una oficina, espera ser atendido por un recepcionista que le atienda sus inquietudes; sin embargo, en casos de que la persona encargada del lugar no se encuentre o haya tenido inconvenientes y actividades que le impidan asistir presencialmente, el cliente no podrá ser atendido y tendría que volver en otro momento, generando molestias en las personas.

De esta manera, la necesidad de buscar reemplazos u otras formas para atender a los clientes representa gastos de tiempo y dinero debido a la movilización de personal, por lo que este proyecto se enfoca en diseñar e implementar un tele robot compuesto por un mecanismo de transmisión lineal para el desplazamiento vertical de una pantalla según la estatura del usuario, el cual está acoplado a una base o plataforma de ruedas; por lo que el recorrido de la pantalla debe estar en un rango de 150cm - 190cm considerando la altura mínima y máxima en Ecuador [3].

## 1.2 Justificación del problema

Llevar a cabo el diseño e implementación de un tele robot tiene diversas ventajas en varios campos, donde su finalidad es la operación a distancia de un sistema o máquina, principalmente a través de redes inalámbricas. Algunas de las aplicaciones donde se puede hacer el uso de un robot de telepresencia son: videoconferencias, exploraciones marinas, telemedicina y la manipulación de materiales peligrosos para el ser humano [4].

En el ámbito de la videoconferencia se utilizan computadoras portátiles, celulares móviles o tabletas como dispositivos para transmitir en alta calidad el audio y video que permita dar una sensación de presencia física de una o varias personas, mejorando la interacción entre usuarios. Este sistema puede ser usado en el hogar, oficinas, escuela, hospitales, etc.; para las exploraciones marinas se tienen diferentes tipos de robots que pueden sumergirse en zonas que no son seguras o accesibles para los seres humanos; en el caso de la telemedicina, existen manipuladores que realizan operaciones quirúrgicas con mayor precisión de lo que podría hacer un cirujano de forma física; y para la manipulación de materiales peligrosos se utilizan robots que pueden tener contacto con materiales radioactivos o perjudiciales para la salud de las personas que trabajan en este campo.

Según lo establecido en algunos objetivos del plan nacional del buen vivir 2017-2021, se destaca el de promover el desarrollo y transferencia de tecnologías para el impulso de la matriz productiva [5]. Por lo tanto, el trabajo actual propone el diseño, control y construcción de un robot de telepresencia con rol de recepcionista, el cual está compuesto por un mecanismo de transmisión lineal de altura variable, así como también de la integración de un algoritmo de visión por computador para detectar un usuario y, en base a eso, cambiar la altura de una pantalla según la estatura de la persona para mejorar la interacción entre las personas que realizan la videoconferencia.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar un tele robot con el rol de recepcionista para la correcta interacción entre usuarios mediante un sistema de visión por computadora y un mecanismo de transmisión lineal que permita el cambio de altura de una pantalla de forma dinámica.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Dimensionar un mecanismo de transmisión lineal para el desplazamiento de una pantalla dentro de un rango de 150 a 190 cm.
- Seleccionar los componentes mecánicos y electrónicos mediante los requerimientos y limitaciones del sistema para el funcionamiento y control de altura ajustable de la pantalla del tele robot.
- Integrar un algoritmo de visión por computadora al sistema de control para la detección del usuario y el cambio de altura de la pantalla de acuerdo con su estatura.
- Implementar un mecanismo de altura dinámica del sistema del tele robot de acuerdo a criterios de diseño mecánico, electrónico y de programación para la validación de su funcionamiento.

## **1.4 Marco teórico**

Actualmente, el rápido crecimiento de las tecnologías de comunicación como 4G y 5G ha permitido establecer una transmisión estable de audio, video y datos [1], de manera que es posible que la interacción humano-robot amplíe su horizonte para simplificar la manera en que los seres humanos interactúan entre sí de forma remota.

### **1.4.1 Telepresencia**

La telepresencia se define como el conjunto de tecnologías que permite la transmisión de imagen y audio de una persona a lugares distantes, proporcionando al usuario la sensación de estar presente en un lugar diferente a su ubicación real, de forma que la posición, acciones, movimientos, voz, etc., puedan ser detectados, transmitidos y duplicados en la ubicación remota para producir dicho efecto [6].

El término de telepresencia se originó en un artículo de 1980 por Marvin Minsky [6], quien expuso su idea basada en un antiguo concepto de tele operación que se enfocó en dar a un usuario remoto la sensación de estar presente en un lugar distinto.

Inicialmente los sistemas de telepresencia se limitaban a proyectar una imagen irreal con una transmisión de audio y video de baja calidad [7], no obstante, en la actualidad, el avance de tecnología en redes y comunicación permite experimentar un entorno visual de gran desempeño, de manera que pronósticos estadísticos sugieren que una organización podría aumentar su productividad hasta en un 40% [8], debido a las ventajas que brinda la telepresencia tales como: agilidad en la toma de decisiones, ahorro de tiempo y dinero debido a movilización del personal, y amplia comunicación a distintos lugares del mundo.

### **1.4.2 Telepresencia robótica**

La telepresencia robótica, también llamada tele robótica, puede considerarse como un subcampo de la telepresencia cuyo objetivo es la presencia a través de la incorporación en una plataforma robótica [9]. Dichos sistemas varían de acuerdo con el diseño y funcionalidad que dependen directamente del uso y aplicación.

Generalmente, un robot de telepresencia está compuesto por los siguientes elementos: una plataforma móvil, un monitor o pantalla, una cámara, micrófonos, bocinas, conexión de red inalámbrica, etc. [10] De acuerdo con la aplicación, se consideran también sensores y actuadores adicionales que permiten un control dinámico en tiempo real.

Uno de los primeros sistemas de telepresencia robótica se observa en la Figura 1.1 [9], denominado PRoP, el cual consistía en una plataforma robótica móvil, una pantalla LCD, una cámara, un micrófono, un hardware de mano/brazo robótico con un puntero de 2 grados de libertad para realizar gestos simples. Dicho robot tenía el objetivo de permitir que el piloto se incorporara por completo en espacios remotos reales además del registro de interacciones y movimientos.



**Figura 1.1 Tele-robot PRoP (Personal Roving Presences) [9]**

#### **1.4.2.1 Telepresencia robótica social**

El objetivo de la telepresencia robótica social es fomentar una interacción social entre individuos.

Una de las aplicaciones de los sistemas de telepresencia robótica en este aspecto corresponde a los entornos de oficina, donde la distancia geográfica representa una limitación significativa. Dichos sistemas permiten disminuir el transporte de los empleados y también dar acceso inmediato a otro sitio donde se necesita personal, al mismo tiempo que disminuye costos de viaje para las empresas.

Uno de los desafíos que presenta un sistema de telepresencia robótica en un entorno de oficina radica en cómo se ven afectadas las normas sociales en el lugar de trabajo cuando la interacción se produce a través de este sistema. Según entrevistas, observaciones y encuestas realizadas con personas después de 2 a 18 meses de experiencia con el uso de estos sistemas [9], los autores determinaron que los usuarios locales y remotos interactuaban casi como si los usuarios remotos estuvieran en el lugar físicamente.

### **1.4.3 Mecanismos de transmisión lineal**

Una de las funcionalidades que puede incluir un sistema de telepresencia robótica en la interacción social es determinar la altura de un usuario local y controlar la altura de imagen del usuario remoto transmitida a través de un monitor o pantalla para mantener fácilmente contacto visual entre ambos usuarios; esto, debido a que la altura representa un aspecto importante para que la interacción entre individuos se desarrolle de forma eficiente.

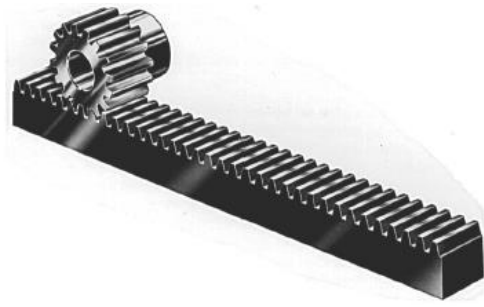
Existen diversos mecanismos de accionamiento lineal que permiten desplazar dicha pantalla para lograr una altura ajustable, estos mecanismos pueden ser: piñón-cremallera, banda sincrónica, tornillo de potencia, biela-manivela-corredera, etc.

#### **1.4.3.1 Mecanismo piñón-cremallera**

Según la Figura 1.2 [11], el mecanismo de piñón-cremallera se compone de un piñón o rueda dentada de dientes rectos que engrana con una cremallera, la cual es una barra dentada; cuando el piñón gira, la cremallera se desplaza longitudinalmente.

Este tipo de mecanismo es reversible, de forma que la aplicación más común es la transformación del movimiento giratorio a lineal, o viceversa [11].





**Figura 1.2 Sistema piñón-cremallera [11]**

#### **1.4.3.2 Banda sincrónica**

Es un mecanismo de transmisión que evita el deslizamiento entre los componentes, ya que sus poleas son dentadas y se adaptan como engranes como se observa en la Figura 1.3. Son capaces de transmitir potencia y torque elevados con una eficiencia del 98%, por otro lado, a pesar de que son más caras que las bandas en V convencionales, las bandas sincrónicas pueden funcionar en frío y tiene un tiempo de vida más prolongado. Este mecanismo puede proporcionar movimientos lineales como lo hacen para el desplazamiento de algunos ejes de impresoras 3D si se coloca una carga en una parte del recorrido de la banda sincrónica [12].

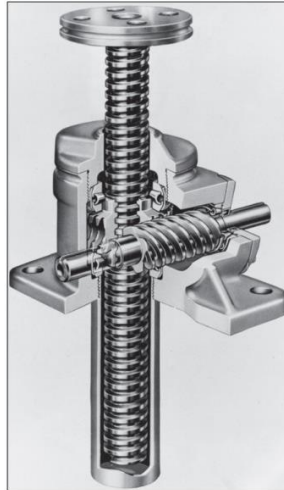


**Figura 1.3 Banda sincrónica estándar [12]**

#### **1.4.3.3 Mecanismo de tornillo de potencia**

Un tornillo de potencia es un dispositivo que consiste en cambiar el movimiento giratorio a movimiento lineal con el objetivo de transmitir potencia [13]. Este mecanismo está compuesto por un tornillo, también denominado husillo, y una tuerca. Su funcionamiento consiste en que, si se mantiene fijo el tornillo, el desplazamiento angular de la tuerca produce el movimiento longitudinal de esta y viceversa.

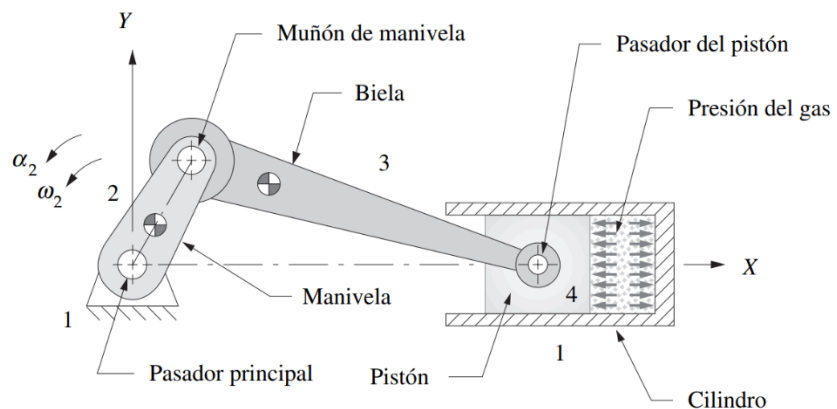
En la Figura 1.4 se muestra una de las aplicaciones de este mecanismo, el cual es un gato accionado manualmente.



**Figura 1.4 Aplicación de los tornillos de transmisión de potencia: Un gato accionado manualmente [13]**

**1.4.3.4 Mecanismo biela-manivela-corredera**

Este mecanismo transforma el movimiento giratorio en un movimiento alternativo, el cual consiste en un trayecto de ida y vuelta. Está formado por un elemento giratorio llamado manivela, el cual está conectado con una barra rígida denominada biela, de manera que, al girar la manivela, la biela retrocede y avanza generando el movimiento alternativo como se muestra en la Figura 1.5 [12].



**Figura 1.5 Mecanismo de biela-manivela-corredera para un motor de combustión interna de un cilindro [12]**

#### 1.4.4 Introducción al sistema de visión por computador

Un sistema de visión por computador consiste en el cálculo que involucra contenido visual tales como imágenes, videos, íconos y cualquier formato que contenga píxeles. Dentro de este sistema se pueden dar tareas específicas como [14]:

**Clasificación de objetos:** Se basa en el entrenamiento de un modelo en un conjunto de datos, de manera que el modelo clasifica nuevos objetos que pertenecen a una o más categorías de entrenamiento.

**Identificación de objetos:** Un modelo reconoce una instancia específica de un objeto, por ejemplo, analizando dos caras en una imagen.

En el contexto de la telepresencia robótica, el uso de la visión por computador radica en que una de las tareas del robot es el procesamiento de imágenes provenientes de la cámara de video que posee el tele robot, esto con el fin de detectar al usuario local y en base a eso realizar alguna acción.

#### 1.4.5 Estado del arte

En Ecuador, existen algunas empresas que se dedican a la telepresencia y videoconferencia (Figura 1.6) tales como: TELALCA, DOS, GMS, EXTREMIS y ROMSE GROUP. Dichas empresas proporcionan salas de videoconferencia con alta definición en video y excelente calidad de audio. A su vez, las sesiones de videoconferencia son fáciles de usar y poseen una gran compatibilidad e integración con la mayoría de los dispositivos y aplicaciones de colaboración empresarial. Por último, brindan videoconferencias a través de la Nube que permite la creación de salas virtuales, garantizando comunicaciones encriptadas y seguras [15].

Las características mencionadas anteriormente proporcionan a las empresas una gran flexibilidad para trabajar con otros clientes desde zonas remotas, de esta forma, evita el desplazamiento a lugares distantes, reduciendo tiempo y dinero a las empresas.



**Figura 1.6 Videoconferencia empresarial [15]**

En la actualidad, no hay evidencia de que se comercialice robots de telepresencia en Ecuador, pero existen tesis realizadas en la Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador (ESPE) y la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) sede en Cuenca tituladas “Diseño y construcción del prototipo de un robot móvil para la telepresencia controlado a través de internet” [7] y “Diseño, construcción y programación de un prototipo de robot móvil para aplicaciones de telepresencia” [2] respectivamente.

En el caso de la ESPE, se basó en el diseño y construcción de un robot de telepresencia móvil controlado mediante internet como se observa en la Figura 1.7, el cual posee dos grados de libertad para la cámara y pantalla, de forma que se puede ajustar el campo visual de la videoconferencia entre los usuarios. Además, tiene implementado un algoritmo Viola Jones para la detección de rostros y sensores infrarrojos para evitar colisiones.



**Figura 1.7 Robot de telepresencia móvil (ESPE) [7]**

La UPS presentó el diseño de un robot móvil de tracción diferencial para usarlo en aplicaciones de telepresencia (Figura 1.8). Posee un sensor LIDAR y una cámara RGB-D para la percepción del ambiente, además propone un algoritmo de seguimiento de personas y un software para realizar la videoconferencia que en conjunto dan una mejor interacción entre las personas. Cabe mencionar que el dispositivo puede ser teleoperado de forma externa.



**Figura 1.8 Robot de telepresencia móvil (UPS) [2]**

Por otro lado, en el ámbito internacional existen un sin número de robots dedicados a la telepresencia que son comerciales tales como: Giraff, QB, Beam, VGo, MantaroBot Classic, Double, Jazz Connect, IRobot Ava, Mebot, entre otros [9].

IRobot Ava, Double y QB (Figura 1.9) son algunos de los robots comerciales que poseen una altura variable de la pantalla que transmite la videoconferencia, en promedio, tienen un desplazamiento variable de 100 a 152 cm, cabe mencionar que el ajuste de la altura se lo realiza de forma manual según lo desee el usuario mediante comandos ejecutados en el teclado. A su vez, poseen una navegación inteligente y autónoma, donde los usuarios que tienen acceso al robot de manera remota tienen que especificar el destino y este se moverá automáticamente a la ubicación deseada dentro de la empresa [9].



**Figura 1.9 Robots móviles comerciales [9]**

El presente proyecto toma como referencia las características que hacen a un robot basado en la telepresencia, de la misma manera, busca mejorar el sistema de ajuste de altura de la pantalla para que lo realice de manera automática en función de la estatura del usuario local, esto se lo realiza través de un algoritmo de visión por computadora que deberá estar conectado al sistema de control del tele robot. Cabe destacar que en este proyecto no se realizará el desplazamiento autónomo del tele robot, sino más bien su movilización será de forma manual o asistida por el usuario local.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En esta sección se presenta el procedimiento utilizado para llevar a cabo los objetivos planteados del presente proyecto, describiendo las diferentes alternativas de solución y eligiendo la opción más viable de acuerdo con los requerimientos del sistema para la selección de los componentes mecánicos, eléctricos y de control, de manera que se cumpla con cada etapa del proceso de diseño.

### 2.1 Selección de la alternativa de solución

En base a la problemática descrita en el capítulo anterior, se propusieron tres alternativas de solución para el sistema del tele robot, las cuales se describen a continuación:

- **Alternativa 1:**

Diseño de un tele robot con una pantalla de altura ajustable mediante control remoto, el cual posee una base fija para la estructura del cuerpo y utiliza una tablet para la transmisión de la videollamada, a su vez, su fuente de alimentación es por tomacorriente.

- **Alternativa 2:**

Diseño de un tele robot con una pantalla de altura ajustable mediante un botón de teclado, el cual posee una base móvil autónoma para la estructura del cuerpo y utiliza una LCD con Raspberry para la transmisión de la videollamada; funciona a través de baterías debido a su movilización.

- **Alternativa 3:**

Diseño de un tele robot con una pantalla de altura ajustable automática de acuerdo con la estatura del usuario mediante un algoritmo de visión por computadora. La estructura del cuerpo es móvil pero no autónoma y utiliza una computadora táctil All in One para la transmisión de la video llamada, a su vez, su fuente de alimentación es por tomacorriente.

Para la selección de la mejor alternativa, se empleó un método de evaluación de soluciones estableciendo criterios que se muestran en la Tabla 2.1, en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas, así como también la ponderación relativa entre ellos. Primero, se definió el rango de importancia de cada criterio y se

realizó la evaluación del peso específico de cada uno de ellos mediante la Tabla 2.1, sabiendo que:

- **1:** Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor;  $>$ ) que el de las columnas.
- **0.5:** Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ( $=$ ) al de las columnas.
- **0:** Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor;  $<$ ) que el de las columnas.

A continuación, se detallan brevemente los criterios:

- **Capacidad:** Posibilidad que tiene el tele robot para soportar una pantalla de acuerdo con su peso.
- **Altura Variable:** Capacidad de mover de manera lineal la altura de la pantalla donde se transmite la videollamada en un rango definido.
- **Autonomía:** Comportamiento autónomo del tele robot para desplazar la pantalla de videollamada de acuerdo con la estatura del usuario local.
- **Tiempo de operación:** Tiempo continuo en el cual el tele robot está funcionando en un día laboral.
- **Viabilidad:** Posibilidad de dimensionar y diseñar el mecanismo del tele robot a nivel local.
- **Desplazamiento:** Capacidad de la estructura del tele robot para movilizarse y posicionarse en un lugar requerido.
- **Mantenimiento:** Baja frecuencia con la que se realiza labores correctivas y preventivas del sistema del tele robot.



**Tabla 2.1 Peso específico de cada criterio**

Capacidad > Altura variable > Autonomía > Tiempo de operación > Viabilidad > Desplazamiento = Mantenimiento									
Criterio	Capacidad	Altura variable	Autonomía	Tiempo de operación	Viabilidad	Desplazamiento	Mantenimiento	$\Sigma+1$	ponderación
Capacidad		1	1	1	1	1	1	7	0.25
Altura variable	0		1	1	1	1	1	6	0.21
Autonomía	0	0		1	1	1	1	5	0.18
Tiempo de operación	0	0	0		1	1	1	4	0.14
Viabilidad	0	0	0	0		1	1	3	0.11
Desplazamiento	0	0	0	0	0		0.5	1.5	0.05
Mantenimiento	0	0	0	0	0	0.5		1.5	0.05
							<b>Suma</b>	28	1

Cada una de las alternativas fueron evaluadas de acuerdo con el peso específico de cada criterio detallado en el Apéndice A. En base a dicho análisis, se realizó la Tabla 2.2 de conclusiones que permitió seleccionar la alternativa 3 como la óptima para resolver la problemática del proyecto, de manera que se cumpla los requerimientos de desplazar una pantalla de forma automática dentro de un rango determinado de acuerdo con la estatura del usuario, considerando un diseño viable para su producción con recursos locales y una baja frecuencia de mantenimiento.

**Tabla 2.2 Tabla de conclusiones**

Conclusión	Capacidad	Altura variable	Autonomía	Tiempo de operación	Viabilidad	Desplazamiento	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Prioridad
Solución A	0.06	0.07	0.04	0.06	0.04	0.01	0.03	0.31	2
Solución B	0.06	0.07	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01	0.28	3
Solución C	0.13	0.07	0.09	0.06	0.04	0.02	0.01	0.41	1
Solución C > Solución A > Solución B									

## 2.2 Proceso de diseño

La elaboración del diseño mecánico, eléctrico y de control consistió en diferentes etapas que permitieron desarrollar cada área del problema, cumpliendo con los requerimientos del cliente. En la Figura 2.1, se presenta el diagrama de flujo de la metodología del diseño del tele robot.

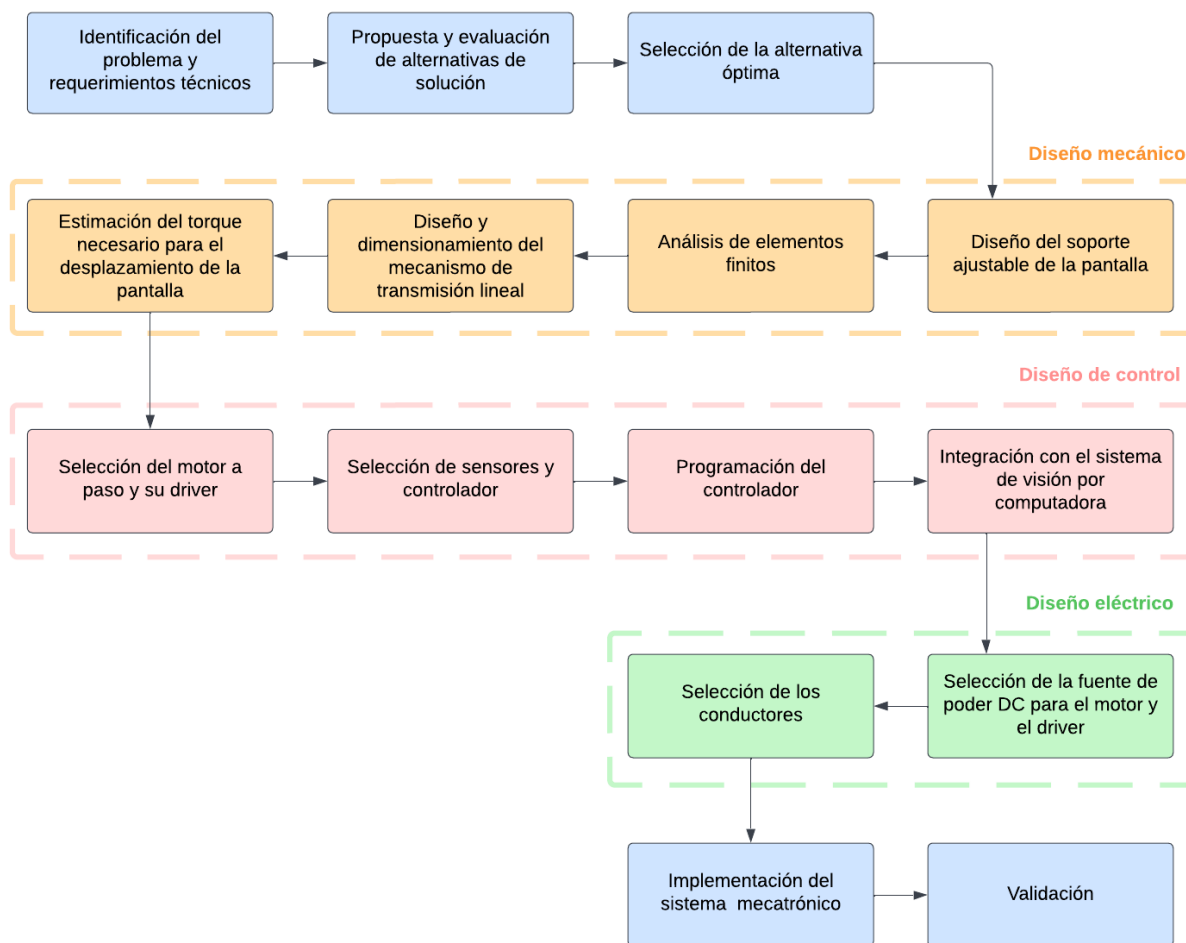


Figura 2.1 Metodología de diseño

## 2.3 Requerimientos de diseño

En la Tabla 2.3 se detallan cada uno de los requerimientos del cliente para la elaboración del diseño del tele robot con rol de recepcionista.

**Tabla 2.3 Requerimientos del sistema**

<b>Funcionalidad</b>	Tele robot con rol de recepcionista capaz de ajustar la altura de una pantalla en función de la estatura de un usuario.
<b>Capacidad</b>	Soportar y desplazar una computadora All in One de 5.42 kg.
<b>Tiempo de operación</b>	Funcionamiento continuo de 8 horas diarias, 5 días a la semana.
<b>Mantenimiento</b>	Baja frecuencia de mantenimiento.
<b>Altura</b>	La pantalla debe desplazarse dentro de un rango de altura de 150-190 cm.
<b>Comunicación</b>	El sistema de movimiento del tele robot debe comunicarse con un algoritmo de visión por computadora realizado en Python para el ajuste de su posición.
<b>Control</b>	El sistema debe ser capaz de identificar la posición de la pantalla para alcanzar la altura deseada.
<b>Seguridad</b>	Cumplir con las normas de seguridad para su óptimo funcionamiento.
<b>Instalación</b>	El tele robot puede ser instalado en cualquier parte de la oficina.

## 2.4 Diseño conceptual

En la Figura 2.2 se ilustra un diseño inicial del sistema de tele robot con rol de recepcionista, en el cual se observa al usuario remoto y local. Dicho sistema está compuesto por una estructura móvil y una computadora All in One con cámara web acoplada a un sistema de altura ajustable.

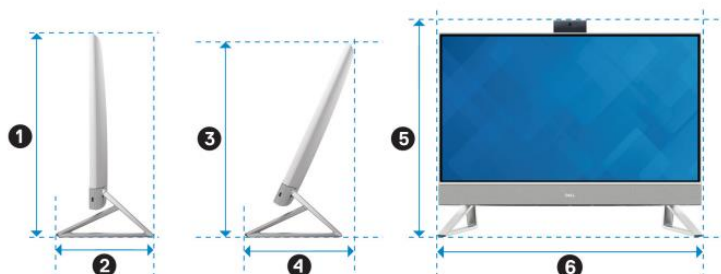
Como se observa en la Figura 2.2, los usuarios locales de la izquierda y derecha tienen una estatura  $Z1$  y  $Z2$  respectivamente, donde  $Z1$  es mayor que  $Z2$ , de manera que la cámara detecta al usuario y la pantalla se posiciona según la altura de este, permitiendo una correcta interacción entre ambas personas.



**Figura 2.2 Diseño conceptual del tele robot con diferentes estaturas de usuarios**

Este apartado se enfoca en el diseño del sistema de altura ajustable, de forma que se consideraron los requerimientos técnicos del cliente para determinar una solución que reúna las condiciones óptimas en el intercambio de información entre los usuarios. Puesto que se pretende desplazar únicamente una pantalla y esta debe posicionarse de acuerdo a la estatura del usuario, se determinó un rango de altura de 150-190 cm considerando la altura promedio mínima y máxima de hombres y mujeres en el Ecuador.

En la Figura 2.3 se observa la computadora All in One con base y en la Tabla 2.4 se proporcionan las dimensiones. Adicionalmente, en la Tabla 2.5 se encuentra la información de las dimensiones y peso de la computadora sin base.



**Figura 2.3 Computadora All in One [16]**

**Tabla 2.4 Dimensiones de la computadora All in One con base [16]**

Descripción	Dimensión [mm]
①	412.32
②	200.77
③	390.71
④	228.87
⑤	440.30
⑥	542.70

**Tabla 2.5 Dimensiones y peso de la computadora (sin base) [16]**

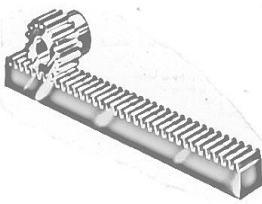
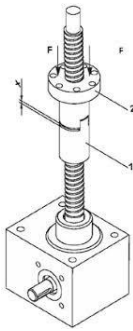
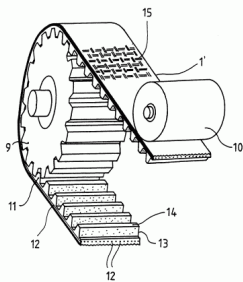
Descripción	Valores
Altura Parte frontal	353.80 mm
Altura Parte posterior	358.50 mm
Anchura	542.50 mm
Profundidad	40.20 mm
Peso	5.42 kg - 53.17N

## 2.5 Selección de mecanismo de transmisión lineal

Para el sistema de transmisión de movimiento lineal, se requiere el dimensionamiento de un mecanismo que sea capaz de convertir el movimiento rotacional proveniente del eje del motor a un movimiento rectilíneo que permita desplazar la carga en el eje Z.

En la Tabla 2.6 se observan cada una de las alternativas de mecanismos de transmisión lineal con sus características.

**Tabla 2.6 Mecanismos de transmisión lineal**

Detalle	Piñón-Cremallera	Tornillo de potencia	Bandas sincrónicas
Imagen			
Características	Aplica para grandes longitudes sin restricciones	Longitud no mayor a 250 cm	Aplica para grandes longitudes
Prestaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede transmitir potencias elevadas</li> <li>- Transmisión con precisión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soportan grandes esfuerzos</li> <li>- Condición de autobloqueo</li> <li>- Buen posicionamiento en el desplazamiento axial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo deslizamiento</li> <li>- Permiten una relación de transmisión constante</li> <li>- La eficiencia es de aproximadamente 98%</li> </ul>
Costo	Alto	Bajo	Alto

Se consideró la alternativa del sistema de transmisión de movimiento por tornillo de potencia, ya que dicho sistema ofrece la condición de autobloqueo necesaria para que la carga se mantenga en una posición determinada sin la aplicación de algún torque externo, lo cual es necesario para esta aplicación. Otras

de las razones por las cuales se seleccionó el tornillo de potencia son: el desplazamiento de la pantalla es de 40 cm, valor que no sobrepasa el máximo recomendado de este mecanismo; se requiere una velocidad baja para el movimiento de la pantalla; proporciona una excelente precisión para el posicionamiento en el eje axial.

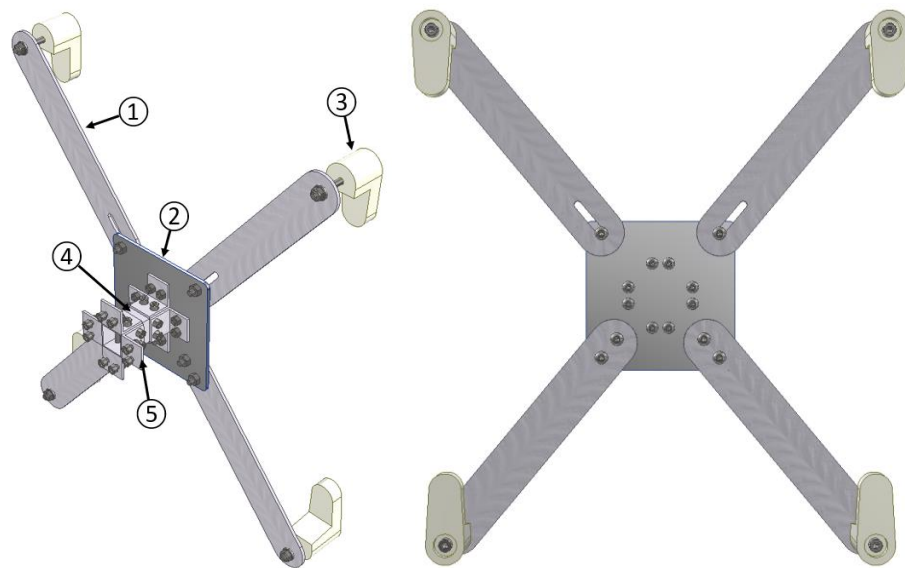
## **2.6 Diseño del robot de telepresencia**

El diseño del tele robot está compuesto por tres partes: primero, el soporte que sostiene a la computadora All in one, el cual es capaz de acoplarse al cuerpo del tele robot; segundo, el sistema de transmisión lineal que permite desplazar a la computadora en el eje axial z y que por ende, modifica la altura de la pantalla en función de la estatura del usuario local a través de un sistema de visión por computadora; tercero, la estructura móvil a la cual estará acoplado el sistema de transmisión lineal.

### **2.6.1 Diseño del soporte de la computadora**

El diseño del soporte de la computadora fue inspirado en un modelo comercial, el cual está compuesto por cuatro abrazaderas y una placa de conexión [17], con la diferencia de que el nuevo soporte permite acoplar la computadora con el sistema de transmisión de potencia.

En la Figura 2.4 se ilustra el diseño del soporte de la computadora con sus partes realizado en el Software Inventor y en la Tabla 2.7 se muestran las especificaciones mecánicas de cada una de ellas.



**Figura 2.4** Diseño 3D del soporte de la computadora: (1) Platina, (2) Placa de conexión, (3) Pieza de agarre, (4) Perfil cuadrado, (5) Perfil ángulo

**Tabla 2.7** Características mecánicas del soporte de la computadora

Material	Esfuerzo de fluencia [ $S_y$ ]	Módulo de Young [ $E$ ]	Pieza
Aluminio 6061 Estado 0	55 MPa	70 GPa	①④⑤
Aluminio A1200 H14	115 MPa	70 GPa	②
	<b>Esfuerzo último [<math>S_u</math>]</b>		
PETG	46 MPa	1.4 GPa	③

Las platinas (1) se ajustan de acuerdo con el ancho y alto de la pantalla que se desea acoplar al sistema, esto se realiza mediante una ranura de la platina que se desliza a través de dos pernos. Por otro lado, la placa de conexión (2) sirve para conectar las cuatro platinas de acuerdo con las dimensiones de la pantalla; a su vez, las piezas de agarre (3) se colocan en los extremos superior e inferior de la pantalla y se ajustan en función del espesor de esta. Finalmente, el perfil cuadrado (4) y los ángulos (5) tienen la función de acoplar las cuatro abrazaderas que soportan a la computadora con el sistema de transmisión lineal.

Cabe mencionar que el material y dimensiones (alto, ancho y profundidad) de las piezas del soporte de la computadora están basadas

en los catálogos de perfiles y planchas de aluminio mostrados en el Apéndice B, de forma que en el siguiente capítulo se realizará el análisis de elementos finitos para validar el diseño propuesto.

## 2.6.2 Diseño del carro vertical

Para el diseño del sistema de transmisión lineal se dispuso del manual descrito en [18] correspondiente a la traslación vertical de una carga, la cual se observa en la Figura 2.5. De la misma forma, se presentan las Ecuaciones 2.2 - 2.5 de las diferentes fuerzas ejercidas sobre los soportes o rodamientos lineales de los ejes guías.

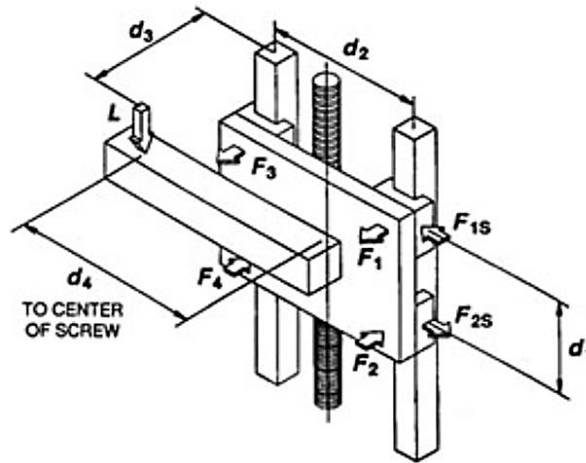


Figura 2.5 Sistema de transmisión de potencia / eje z [18]

$$F_1 = F_3 = \frac{L}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right) \quad (2.2)$$

$$F_2 = F_4 = -\frac{L}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right) \quad (2.3)$$

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{L}{2} \left( \frac{d_4}{d_2} \right) \quad (2.4)$$

$$F_{2s} = F_{4s} = -\frac{L}{2} \left( \frac{d_4}{d_2} \right) \quad (2.5)$$

Considerando las distancias propuestas  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  y  $d_4$  el carro vertical o sistema de transmisión de potencial lineal, se procede a hallar las fuerzas respectivas en el Apéndice C. En resumen, se obtuvieron los siguientes resultados para las fuerzas.



$$F_1 = F_3 = 66.04 \text{ N}$$

$$F_2 = F_4 = -66.04 \text{ N}$$

$$F_{1s} = F_{3s} = 0$$

$$F_{2s} = F_{4s} = 0$$

### **2.6.2.1 Cálculo de ejes guías**

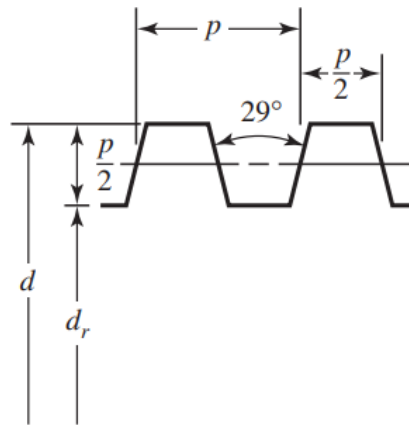
Para los ejes guías que servirán como apoyo al tornillo de potencia debido a la excentricidad de la carga, se realizó un análisis de esfuerzos en vigas para determinar su diámetro mínimo basándose en [19]. Para esta ocasión, la carga que transporta el carro vertical es constante a lo largo del tiempo, pero para determinar el esfuerzo máximo en todo el eje, se consideró cuando las fuerzas ejercidas por los soportes están ubicadas en los extremos de los ejes y separadas a una distancia  $d_1$  como se observa en la Figura 2.5.

Puesto que el desplazamiento de la computadora debe estar en un rango de 150-190 cm de acuerdo con la estatura promedio de una persona, se consideró una longitud de los ejes de 500 mm para tener un mayor margen de desplazamiento, sin embargo, a través del control de la altura, se procurará que la pantalla se desplace los 400 mm requeridos.

En el Apéndice C se detallan los cálculos correspondientes a la selección del diámetro mínimo de los ejes y los rodamientos lineales disponibles; a pesar de que se obtuvo como resultado un diámetro mínimo de 7.45 mm, en Ecuador, comercialmente se tienen disponibles ejes lisos de acero inoxidable 304 de 8, 10, 12, 16, 20 y 25 mm de diámetro, por lo que se escogerá un diámetro de 12 mm debido a que se prevé que en un futuro la carga que transporta el carro vertical pueda variar por motivos de mejoras en el sistema, como la implementación de un mecanismo de transmisión que proporcione otro grado de libertad a la pantalla o la colocación de accesorios estéticos que podrían aumentar el peso considerado en los cálculos.

### **2.6.2.2 Cálculo del tornillo de potencia**

El tornillo de potencia que se va a utilizar consta de una rosca Acme y el material considerado para su implementación es el acero inoxidable 304. En la Figura 2.6 Rosca Acme se ilustra la rosca Acme, en la cual se observa que la sección de su filete es un trapecio isósceles; su elección se debe a que son las más comunes y fáciles de fabricar.



**Figura 2.6 Rosca Acme [20]**

Para el cálculo del tornillo de potencia se tomó como guía el libro Diseño de ingeniería de Shigley – Octava edición [20]. Se inició determinando los pesos de cada una de las piezas que conforman el soporte de la computadora, esto se realizó a través de los catálogos de perfiles y planchas de aluminio de distintas tiendas en Guayaquil-Ecuador que permitieron conocer el peso por unidad de longitud de algunas piezas de interés. De esa forma se obtuvo la fuerza total que se aplica en el tornillo de potencia.

Una vez determinada la carga total, se calculó el área transversal para obtener el diámetro menor o raíz del tornillo de potencia y, en base a eso, se seleccionó un tornillo de potencia disponible en el mercado local con un diámetro de 8 mm y una longitud de 440 mm para asegurar que la computadora se desplace los 400 mm de longitud requeridos. Tras definirse el tornillo de potencia a utilizar, se determinaron los torques necesarios para elevar y bajar la carga total considerando la forma de la rosca Acme, los cuales fueron  $T_R = 299.13 \text{ N}\cdot\text{mm}$  y  $T_L = 251.50 \text{ N}\cdot\text{mm}$  respectivamente.

A su vez, se demostró que dicho tornillo cumple con la condición de autobloqueo para que la carga no baje por sí misma en el caso de que el sistema no esté energizado.

En el Apéndice D se describen detalladamente los cálculos para el dimensionamiento del tornillo de potencia y el torque máximo requerido para mover la carga total en el sistema de transmisión lineal.

### 2.6.3 Selección de estructura móvil del tele robot

Puesto que la solución ganadora describe que el tele robot debe tener una estructura móvil pero no autónoma, se consideró un modelo existente en el mercado local mostrado en la Figura 2.7 con sus especificaciones detalladas en la Tabla 2.8.

Cabe mencionar que en esta estructura se va a acoplar el soporte de la computadora y el sistema de transmisión lineal, de manera que en conjunto formarían al diseño mecánico del tele robot.



Figura 2.7 Soporte de piso móvil para TV [21]

Tabla 2.8 Especificaciones del soporte [21]

Especificación	Descripción
Rango de altura	110 – 150 cm
Material	Acero laminado en frío
Carga máxima	50 kg
Soporte para pantalla	81.3 a 52.4 cm
Ruedas	4 ruedas de 5 cm con frenos

## 2.7 Sistema eléctrico y de control


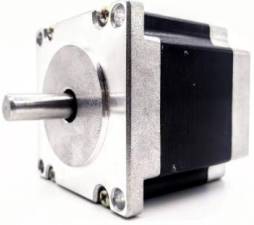
En esta sección se especifican los elementos o dispositivos de la parte eléctrica y electrónica para el movimiento y control de altura de la computadora.

### 2.7.1 Selección de actuadores

De acuerdo con los requerimientos previamente mencionados, el mecanismo de tornillo de potencia requiere desplazar una carga constante de 5.42 kg y no requiere velocidades altas, al mismo tiempo que la carga debe posicionarse a una altura determinada según la estatura del usuario, por lo que el motor debe proporcionar un buen par de retención.

En la Tabla 2.9 y Tabla 2.10 se muestran las características y comparaciones de los motores considerados para la aplicación.

**Tabla 2.9 Características de las alternativas de los motores**

Detalle	Servomotor	Motor paso a paso
Imagen		
Prestaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Par elevado</li> <li>• Gran exactitud en control de velocidad y posición</li> <li>• Capacidad de velocidades muy altas</li> <li>• Amplia gama de potencias</li> <li>• Rotor con poca inercia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente par a baja velocidad</li> <li>• Aplicaciones de carga constante</li> <li>• Control de posicionamiento preciso</li> <li>• Bajo costo</li> </ul>

**Tabla 2.10 Tabla comparativa de las alternativas de motores**

Requerimientos de aplicación	Servomotor	Motor paso a paso
Retroalimentación de posición	Requerido	Opcional
Par de retención	No	Si
Control de torque	Si	No
Sintonización requerida	Si	No
Soporta cargas dinámicas	Si	No
Suavidad a baja velocidad	Buena	Excelente

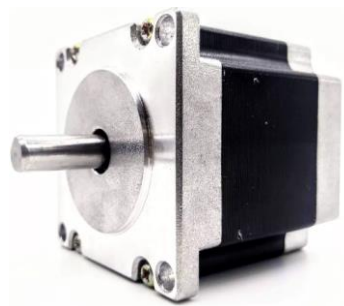
En este caso, el motor paso a paso brinda las mejores prestaciones para el desplazamiento de la computadora. Las razones principales son: la carga a desplazar no varía, se requieren movimientos a baja velocidad y se necesita un buen par de retención cuando la computadora se encuentre a la altura deseada. En base al tipo de motor seleccionado, se considera el valor del torque requerido para mover la carga descrito en el apartado de cálculos del tornillo de potencia (Apéndice D), el cual tiene un valor de  $T_R = 299.13 \text{ N.mm}$ .

A su vez, se debe tener en cuenta que los motores trabajan al 70% de su valor nominal [22], por lo que mediante la Ecuación 2.6 se obtendría el torque real:

$$T_{real} = 1.3 * T_R \quad (2.6)$$

$$T_{real} = 1.3 * 299.13 \text{ N.mm} = 388.87 \text{ N.mm} = 0.39 \text{ N.m}$$

En base al nuevo torque calculado, facilidad de adquisición y disposición de sus accesorios en el mercado local, se seleccionó el motor paso a paso Nema 23 marca Jugetek, modelo 57H56-2804A (Figura 2.8) con torque de retención de 1.3 N.m. Las especificaciones eléctricas y mecánicas se muestran en la Tabla 2.11 y Figura E.1 del Apéndice E respectivamente.



**Figura 2.8 Motor paso a paso NEMA 23 - 1.3 N.m [23]**

**Tabla 2.11 Especificaciones eléctricas del motor paso a paso Nema 23 [23]**

<b>Tipo de motor</b>	Bipolar
<b>Ángulo de motor</b>	1.8°
<b>Par de retención</b>	1.3N.m
<b>Corriente nominal / fase</b>	2.8 A
<b>Resistencia de fase</b>	0.82 ohms
<b>Inductancia</b>	2.6mH ± 20%(1KHz)

Teniendo en cuenta que el motor tiene un diámetro de 8 mm para su eje, se procede a seleccionar un acople telaraña 8 a 8 mm (Figura 2.9) debido a que el tornillo de potencia posee ese mismo diámetro. Es importante mencionar que este tipo de acople permite la absorción de la vibración en el movimiento, soporta grandes cantidades de torsión y es duradero.



**Figura 2.9 Acople telaraña 8 a 8 mm [24]**

### **2.7.2 Selección del Driver para el motor**

Existen diferentes tipos de Drivers para motores paso a paso con distintos tamaños y capacidades en función de los requerimientos del motor. Al escoger un Driver, se debe tomar en consideración la corriente y su voltaje nominal de operación. En el caso del Nema 23 de 1.3 N.m seleccionado, su corriente nominal por fase es de 2.8 A con un voltaje de operación de 24/36V según su ficha técnica mostrada en el Apéndice E Figura E.2, por consiguiente, se selecciona un Driver que proporcione al menos la corriente y voltaje requerido por el motor.

En base a lo mencionado, se escogió el Driver DM542 para motores Nema 23 (Figura 2.10) detallando sus especificaciones eléctricas en la

Tabla 2.12. También, En el Apéndice E se muestran características más detalladas sobre el Driver como: dimensiones, conexiones, configuración de micro pasos y corriente de salida.



Figura 2.10 Driver DM542 para Nema 23 [25]

Tabla 2.12 Especificaciones eléctricas del Driver seleccionado [25]

Corriente máxima de salida	1,0 ~ 4,2 A (3,0 RMS)
Voltaje de entrada	+20~50 VDC (típico 36 VDC)
Corriente de señal lógica	7 ~ 16 mA (típico 10 mA)
Frecuencia de entrada de pulso	0~200kHz
Ancho de pulso	2,5 $\mu$ S
Resistencia de aislamiento	500M $\Omega$

### 2.7.3 Selección de sensores

En el mecanismo de transmisión lineal se utilizan finales de carrera, los cuales son sensores electromecánicos. Se posicionan dos de estos en cada extremo de uno de los ejes guías de forma paralela, de manera que limiten el desplazamiento de carro vertical descrito en la sección 2.6.2.

El final de carrera seleccionado es del modelo KW12-1 (Figura 2.11), disponibles en el mercado y sus características se presentan en la Tabla 2.13.



**Figura 2.11 Final de carrera [26]**

**Tabla 2.13 Especificaciones eléctricas del final de carrera [26]**

<b>Corriente máxima</b>	0.5 A
<b>Voltaje máximo</b>	125/250VAC
<b>Peso</b>	27g
<b>Conectores</b>	3 pines C/NA/NC
<b>Vida útil</b>	10000 ciclos

Además, se utiliza un encoder rotativo incremental para proporcionar una retroalimentación del desplazamiento del mecanismo de transmisión lineal y, de esa forma, asegurarse que la posición de la pantalla sea la deseada.

En este caso, se optó por un encoder de 400 pulsos por revolución de salida NPN mostrado en la Figura 2.12 con sus características eléctricas presentadas en la Tabla 2.14. Por otro lado, para que este dispositivo pueda integrarse al sistema de transmisión lineal por tornillo de potencia, se utilizará un acople flexible 6.35 mm a 8 mm (Figura 2.13), valores correspondientes al diámetro del eje del encoder rotativo y del tornillo de potencia respectivamente.





**Figura 2.12 Encoder rotatorio incremental E38S6G5 [27]**

**Tabla 2.14 Especificaciones eléctricas del encoder E38S6G5 [27]**

<b>Voltaje de alimentación</b>	5/24 VDC
<b>Tipo de codificador</b>	Incremental
<b>Frecuencia de respuesta</b>	0-100 kHz
<b>Velocidad máxima</b>	500 RPM
<b>Pulsos por revolución (PPR)</b>	400
<b>Conteos por revolución (CPR)</b>	1600



**Figura 2.13 Acople flexible de 6.35 a 8 mm [28]**

#### **2.7.4 Selección de la fuente de poder**

La fuente de poder requerida debe suministrar el suficiente voltaje y corriente necesarios para alimentar a los componentes eléctricos seleccionados como: motor paso a paso, sensores y Driver. En base a dichos componentes, se requiere un voltaje de 24/36 V y una corriente mínima de 4.2 A.

Para lograr un buen rendimiento de conducción, se debe seleccionar correctamente el voltaje de alimentación y corriente de salida, considerando que esta última es quien determina el par de salida del motor accionado,

específicamente a baja velocidad. De esa manera, se seleccionó una fuente de poder conmutada que abastece un voltaje de 24 V y una corriente máxima de 10 A.

Su elección radica en que, dado que se requiere un voltaje de 24/36 V y una velocidad de movimiento bajo, es necesario usar un voltaje de suministro más bajo para la disminución de ruido, calentamiento y mejorar la confiabilidad.

Las características de la fuente seleccionada (Figura 2.14) se detallan en la Tabla 2.15.



**Figura 2.14 Fuente de poder [29]**

**Tabla 2.15 Especificaciones eléctricas de la fuente de poder [29]**

<b>Voltaje de salida</b>	24 V
<b>Corriente de salida</b>	10 A
<b>Potencia de salida</b>	240 W
<b>Voltaje de entrada</b>	110/220 V $\pm$ 15%
<b>Protección</b>	Cortocircuito/sobrecarga/sobretensión

### **2.7.5 Selección del controlador**

El controlador por utilizar en el sistema del tele robot es la placa Arduino Uno R3, el cual se encargará de enviar los pulsos eléctricos al Driver DM542 para su correcto funcionamiento. En este caso, dicho controlador cumple con el rango de voltaje para las señales de control del Driver, las cuales están en un rango de 0 – 5V. Además, permite la comunicación con la programación del sistema de visión por computadora realizado en Python mediante su puerto serial.

La placa Arduino UNO (Figura 2.15) consta de un microcontrolador ATmega328 que funciona como cerebro de la placa. Sus principales características se detallan en la Tabla 2.16.



Figura 2.15 Arduino UNO R3 [30]

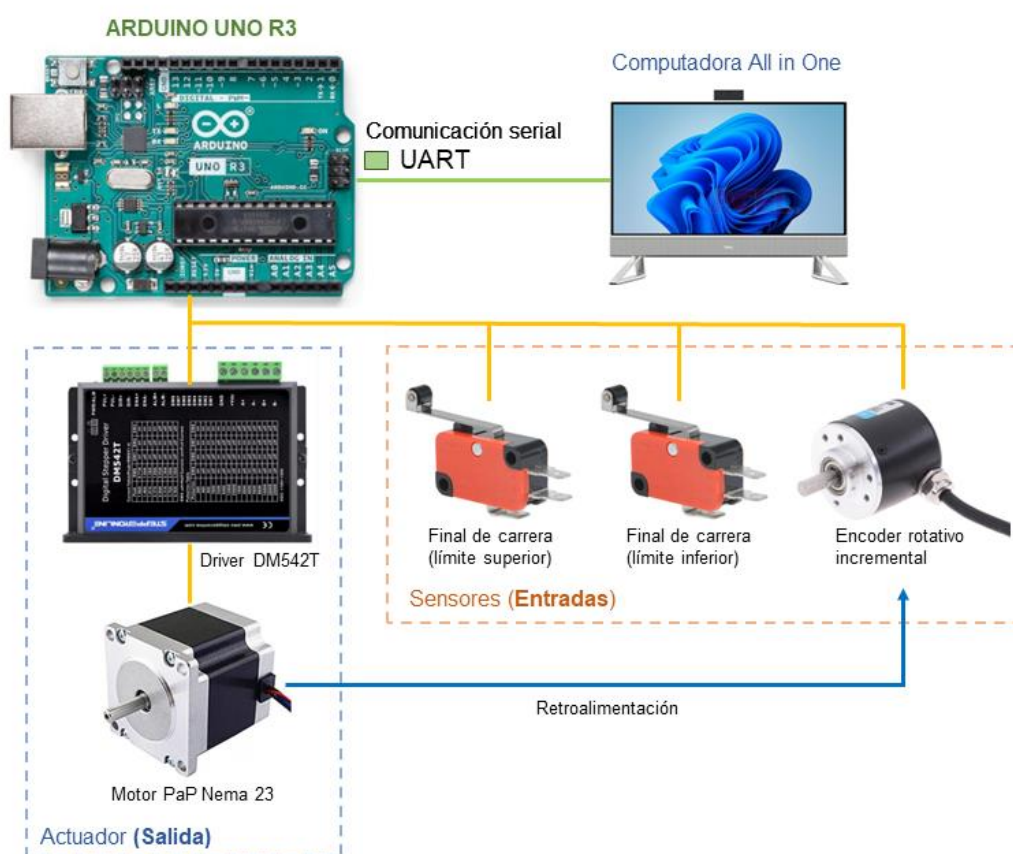
Tabla 2.16 Especificaciones técnicas del Arduino Uno [30]

<b>Microcontrolador</b>	ATmega328
<b>Voltaje de operación</b>	5 V
<b>Voltaje de entrada (recomendado)</b>	7-12 V
<b>Voltaje de entrada (límites)</b>	6-20 V
<b>Pines E/S Digitales</b>	14 (6 pines de salida PWM)
<b>Pines analógicos de entrada</b>	6
<b>Corriente pin E/S</b>	40 mA
<b>Corriente pin 3.3V</b>	50 mA
<b>Memoria Flash</b>	32 KB (ATmega328)

### 2.7.6 Arquitectura de comunicación

El protocolo de comunicación empleado entre el controlador y el sistema de visión por computadora para el envío y recepción de información es la comunicación serial o UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Este protocolo es el más utilizado en el entorno Arduino, además de que no se requiere una comunicación a gran distancia, resulta útil para intercambiar información entre un controlador y una computadora.

En la Figura 2.16 se observa la conexión entre los dispositivos que intervienen en el sistema de transmisión lineal de la pantalla del tele robot. La computadora se encarga de enviar la información de la estatura del usuario local al Arduino mediante comunicación serial, este procesa dicha información y envía los pulsos eléctricos al Driver del motor paso a paso, de esa manera se realiza el accionamiento del motor y se posiciona la pantalla a la altura del usuario local, donde el encoder se encarga de asegurarse de que se llegue a la posición deseada. Además, se dispone de dos finales de carrera como señales de entrada del sistema para controlar el desplazamiento mínimo y máximo de la pantalla.



**Figura 2.16 Arquitectura de comunicación**

El lenguaje de programación utilizado para la lógica de control es C++, el cual se emplea en la plataforma Arduino IDE, este es un entorno de programación de código abierto que permite escribir y cargar código en el controlador Arduino en tiempo real.

# CAPÍTULO 3

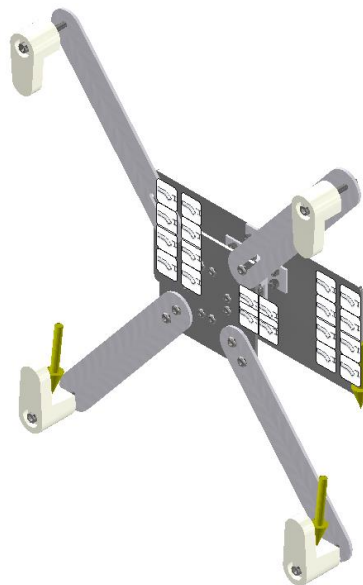
## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presenta el diseño 3D del tele robot, el cual está conformado por un soporte de una computadora, un sistema de transmisión por tornillo de potencia y una estructura móvil no autónoma, a su vez, se muestra el análisis de elementos finitos de los componentes más relevantes del sistema mecánico. Finalmente, se detalla el diagrama de flujo de la programación, las conexiones eléctricas y el análisis de costos del sistema.

### 3.1 Soporte de la computadora

Se realizó el análisis de elementos finitos del diseño del soporte de la computadora mediante Inventor, con el objetivo de determinar los esfuerzos y deformaciones máximas de cada una de las piezas.

Para la simulación en Inventor se determinaron las ubicaciones de las fuerzas y restricciones que se aplican en el soporte de la computadora. Como se muestra en la Figura 3.1, se tienen dos puntos de apoyos en la parte inferior (pieza de agarre), de manera que el peso de la computadora o pantalla se divide en dos obteniendo una fuerza individual de  $F = \frac{53.17 N}{2} = 26.59 N$ .



**Figura 3.1 Entorno de análisis de elementos finitos: Aplicación de fuerzas y restricciones**

En el Apéndice F se presenta la simulación del análisis de elementos finitos con la ubicación de la sonda en el punto máximo de la tensión de Von Mises y el desplazamiento de cada una de las piezas que conforman el soporte de la computadora. En la Tabla 3.1 se presenta la información resumida de dicho análisis, que mediante la Ecuación 3.1, se determinó el factor de seguridad de cada una de las piezas a partir del esfuerzo de fluencia mostrado en la Tabla 2.7.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (3.1)$$

**Tabla 3.1 Resultados del análisis de elementos finitos del soporte de la computadora**

<b>Pieza</b>	<b>Tensión de Von Mises máximo <math>\sigma'</math> [MPa]</b>	<b>Desplazamiento máximo <math>y_{m\acute{a}x}</math> [mm]</b>	<b>Factor de seguridad <math>n</math></b>
Platina	9.77	0.0766	6.17
Placa de conexión	7.85	0.0385	17.27
Pieza de agarre	0.37	0.1959	83.64
Perfil cuadrado	4.55	0.0357	10.28
Perfil ángulo	9.95	0.0153	5.02

Dado que el factor de seguridad de cada pieza resultó mayor a dos, estos cumplen con los valores mínimos recomendados en [31]. A su vez, el desplazamiento máximo se considera aceptable según los requerimientos del sistema, por lo que se valida el diseño del soporte de la computadora. Cabe mencionar que la mayoría de las piezas están sobredimensionadas, sin embargo, son productos de aluminio que proporcionan menor peso al sistema y son conseguidos en el mercado local a excepción de la pieza de agarre que es impresa en 3D con material PETG, el cual posee una mejor resistencia que el PLA y sirve para aplicaciones que están sometidos a fatiga.

Finalmente, en el Apéndice F se realizó el cálculo para las uniones atornilladas que van a sostener al soporte de la computadora teniendo como guía al libro Diseño de Máquinas – Cuarta Edición de Norton [12]. Este dio como resultado la selección

de pernos Allen cabeza cilíndrica de grado ISO 4.8 con diámetro M5x0.8 y una longitud de 12 mm con su respectiva arandela de M5x10.

### 3.2 Sistema de transmisión por tornillo de potencia

Puesto que el sistema de transmisión de movimiento lineal escogido en esta aplicación está conformado por dos ejes guías y un tornillo de potencia, se simuló los esfuerzos, deflexiones y diámetros ideales calculados por el software Inventor para cada uno de los elementos. De esa forma se conoce si los diámetros seleccionados son los ideales bajo cargas estáticas en esta aplicación.

En el caso de los ejes se utilizó el diámetro nominal de 12 mm y para el tornillo de potencia se tomó en cuenta al núcleo de este, es decir, el diámetro raíz del tornillo, el cual es de 6 mm para su respectiva simulación.

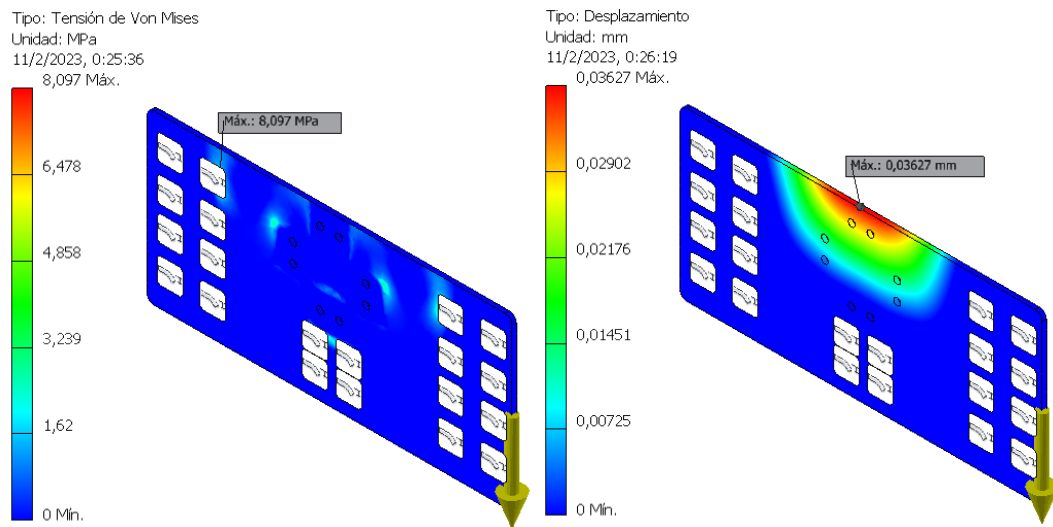
En el apéndice G se observa los resultados del Generador de Componentes de Eje de Inventor para los ejes guías y el tornillo de potencia, ambos configurados con material Acero Inoxidable con una Resistencia a la fluencia  $S_y = 220 \text{ MPa}$ . El resumen de los resultados se puede observar en la Tabla 3.2, en la cual se observa que el diámetro seleccionado está dentro del rango del diámetro recomendado por el software Inventor. Por otro lado, cabe mencionar que los diámetros ideales mostrados en la Tabla 3.2 son mayores que los diámetros mínimos hallados en el Apéndice C y D debido a que el software Inventor suele ser más conservador para sus cálculos, sin embargo, estos son numéricamente cercanos.

**Tabla 3.2 Resultados del Generadores de Componentes de Eje de Inventor**

Pieza	Esfuerzo máximo [MPa]	Deflexión máxima [ $\mu\text{m}$ ]	Diámetro ideal [mm]	Diámetro seleccionado [mm]
Eje guía	16.93	233.64	d = 8.36	d=12
Tornillo de potencia	2.54	89.93	$d_r = 2.22$	$d_r = 6$

Para concluir, el carro vertical descrito en el capítulo 2 posee una placa que conecta a los ejes guías con el tornillo de potencia, al mismo tiempo que es capaz de adaptar el soporte de la computadora mediante las uniones empernadas descritas en el Apéndice F. En la Figura 3.2 se visualiza el análisis de elementos finitos de dicha placa de conexión, la cual es de material Aluminio A1200 H14. De

la misma manera se calculó su factor de seguridad y desplazamiento máximo, los cuales fueron de 14.20 y 0.0408 mm respectivamente, los cuales son valores aceptables. Por ende, se valida el diseño completo del sistema de transmisión por tornillo de potencia.

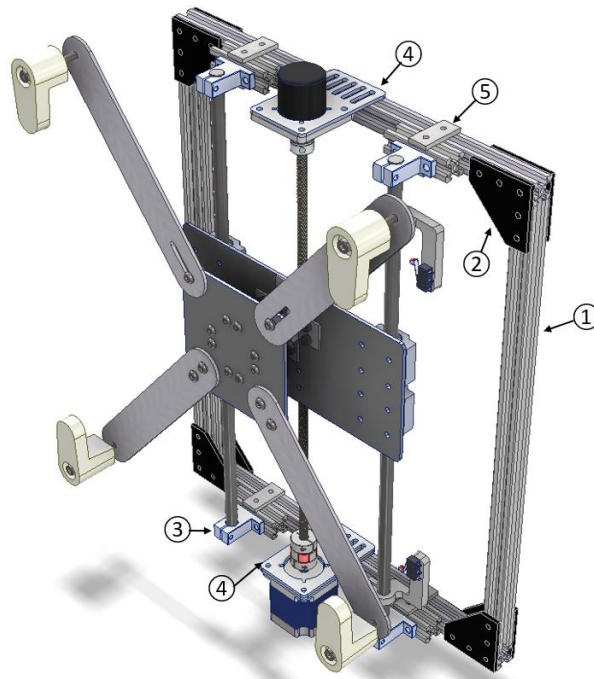


**Figura 3.2 Tensión de Von Mises y desplazamiento máximo de la placa de conexión del carro vertical**

### 3.3 Diseño 3D del sistema de transmisión lineal

En la Figura 3.3 se muestra el diseño en Inventor del soporte del carro vertical que, en conjunto con el sistema de transmisión lineal, tendrá la función de brindar un desplazamiento axial en el eje z a la computadora. A su vez, se detallan algunos de los componentes que conforman el sistema, donde cabe mencionar que la mayoría de ellos son acoples para perfiles de aluminio serie 20 utilizados en impresoras 3D o *routers* CNC. En el Apéndice H se muestran las especificaciones dimensionales de los elementos mencionados anteriormente, los cuales pueden ser adquiridos en el mercado nacional.



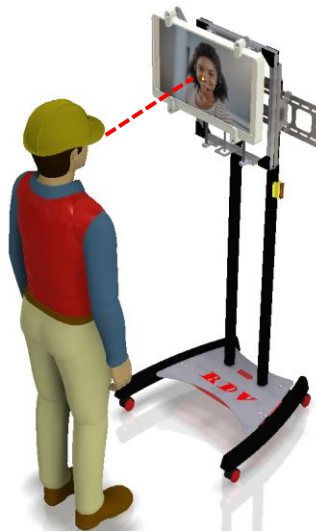


**Figura 3.3 Soporte del carro vertical: (1) Perfil de aluminio serie V 20x20, (2) Placa de unión L serie 20, (3) Soporte para eje SK12, (4) Soporte de motor, (5) Placa de unión de dos huecos serie 20**

La estructura en forma de marco rectangular que tiene la función de soporte para el carro vertical son perfiles serie 20 V (1) de material aluminio 6063 T5, los cuales son utilizados en la mayoría de las impresoras 3D.

Dichos perfiles están unidos mediante ocho placas de unión L serie 20 (2) de material aluminio 6105 T5, las cuales están colocadas en las esquinas del marco rectangular. Además, se observa los soportes para ejes SK12 (3) de aleación de aluminio que permiten unir los dos ejes guías con el marco rectangular. Se tiene un soporte plano para el motor Nema 23 (4) de material aluminio 6063-T6 para acoplar dicho componente a al sistema. Finalmente, para poder unir con mayor facilidad los perfiles de aluminio serie 20 uno a lado de otro se dispone de placas de unión de dos huecos (5).

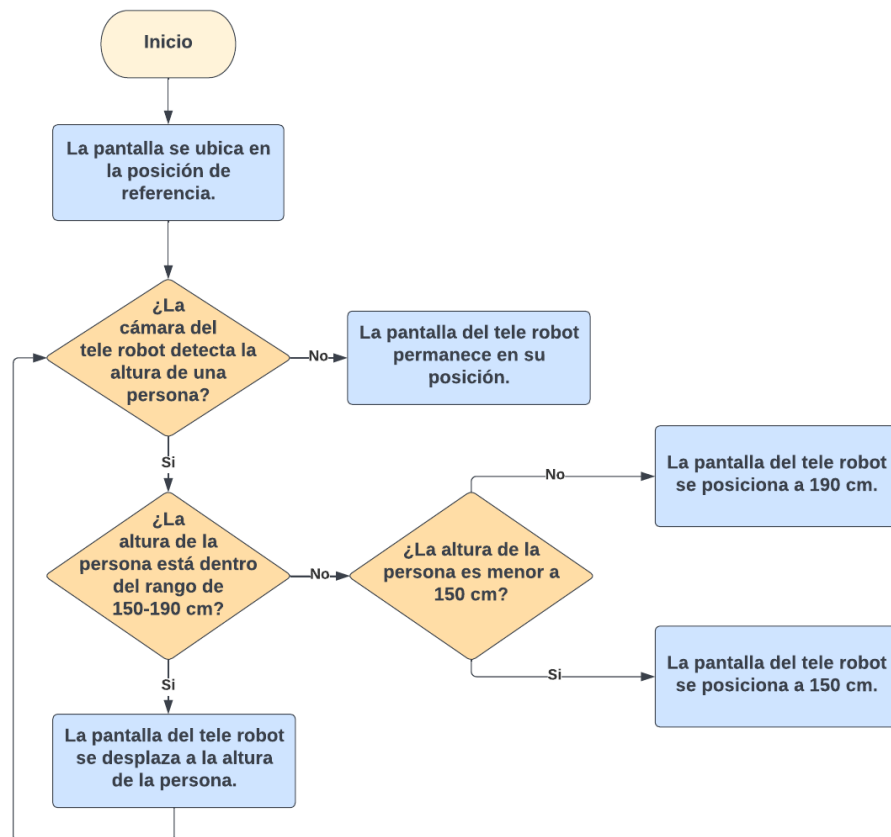
El resultado esperado del carro vertical acoplado a la estructura móvil pero no autónoma se visualiza en la Figura 3.4, donde se puede apreciar una simulación de una video llamada con la computadora ajustada a la estatura de un usuario local.



**Figura 3.4** Diseño final del sistema del tele robot

### 3.4 Diagrama de flujo de programación

En la Figura 3.5 se describe, mediante un diagrama de flujo, la lógica del movimiento de la pantalla de acuerdo con la estatura del usuario.



**Figura 3.5** Diagrama de flujo de la lógica de programación

### 3.5 Diagrama de conexiones eléctricas

En la Figura 3.6 se detallan las conexiones eléctricas para el control de altura de la pantalla tele robot.

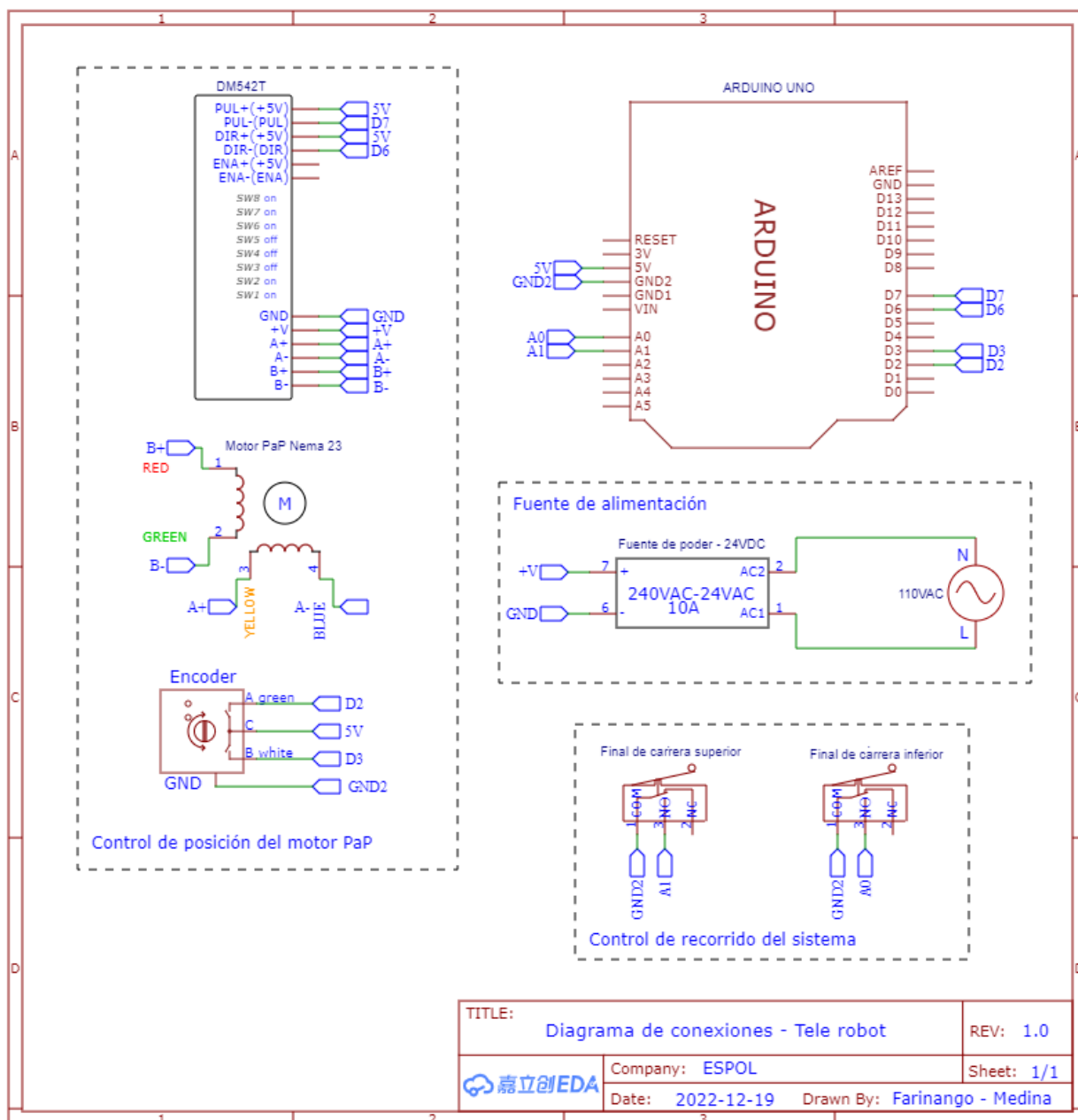


Figura 3.6 Diagrama de conexiones eléctricas del sistema

### 3.6 Programación

En el siguiente enlace se proporciona un repositorio de Github para brindar futuras actualizaciones del presente trabajo en cuestión a la programación o diseño:

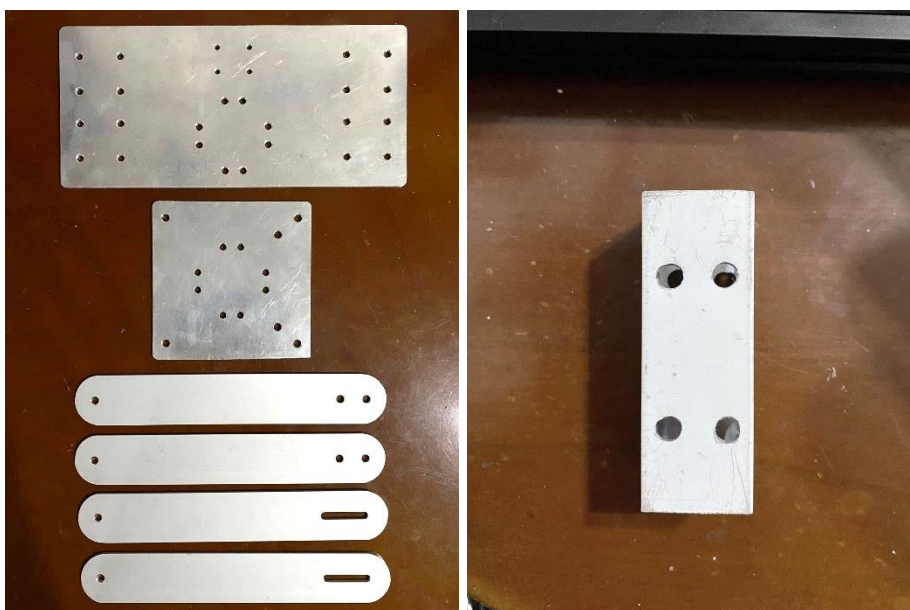
<https://github.com/farinang/Robot-de-Telepresencia-con-altura-din-mica>

### 3.7 Implementación del sistema de transmisión lineal

Para el soporte de la computadora se realizó el mecanizado de las piezas a partir de una plancha de aluminio A1200 H14, un perfil cuadrado y un perfil ángulo. Como se observa en la Figura 3.7 y Figura 3.8, se tienen mecanizadas las siguientes piezas: placa de conexión del tornillo de potencia, placa de conexión del soporte de la computadora, platinas de soporte superiores e inferiores, perfil cuadrado y perfil ángulo.

En la Tabla 3.3 se detalla el tipo de herramienta para el mecanizado de cada una de las piezas mencionadas y en la Figura 3.9 se observa el soporte de la computadora ensamblado con los pernos correspondientes.

En el Apéndice I se muestra detalladamente la materia prima, el proceso de mecanizado, las piezas impresas en 3D y el ensamble del sistema de transmisión lineal.



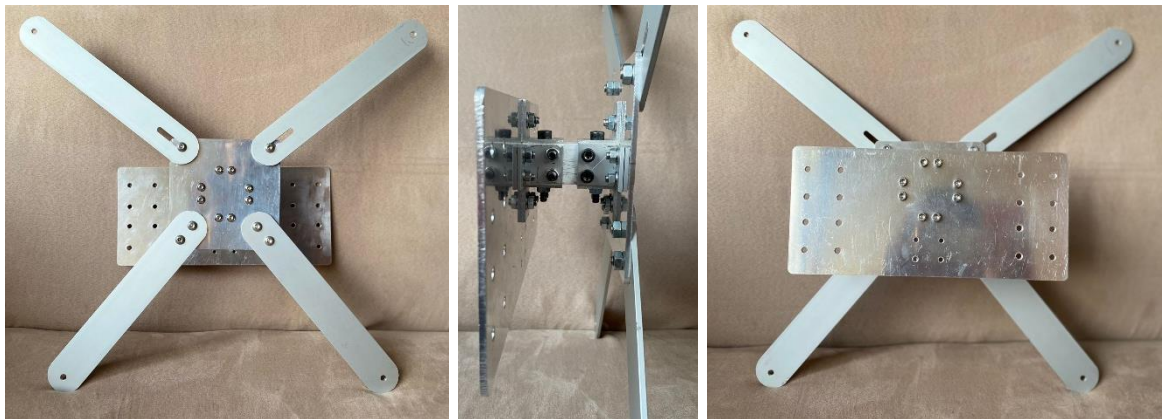
**Figura 3.7 Piezas mecanizadas del soporte de la computadora: placa de conexión del tornillo de potencia, placa de conexión del soporte de la computadora, platinas de soporte superiores e inferiores y perfil cuadrado**



**Figura 3.8 Perfil ángulo mecanizado**

**Tabla 3.3 Tipo de herramienta para el mecanizado de las piezas del soporte de la computadora**

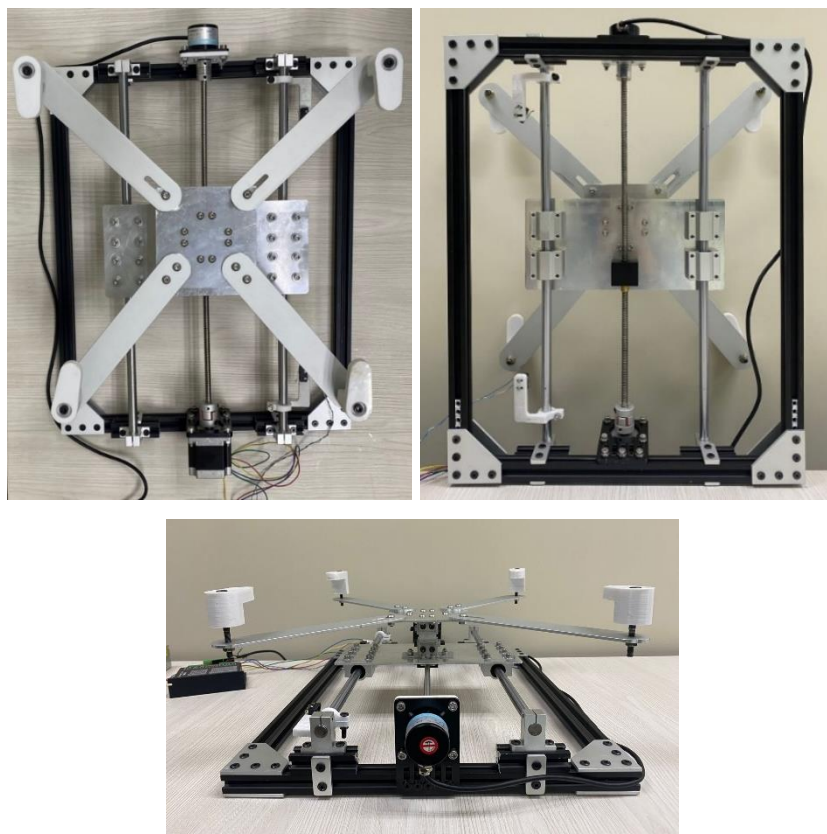
Pieza	Tipo de herramienta
Placa de conexión del tornillo de potencia	Fresadora
Placa de conexión del soporte de la computadora	Fresadora
Platinas superiores e inferiores	Fresadora
Perfil cuadrado y perfil ángulo	Taladro y amoladora



**Figura 3.9 Ensamble del soporte de la computadora**

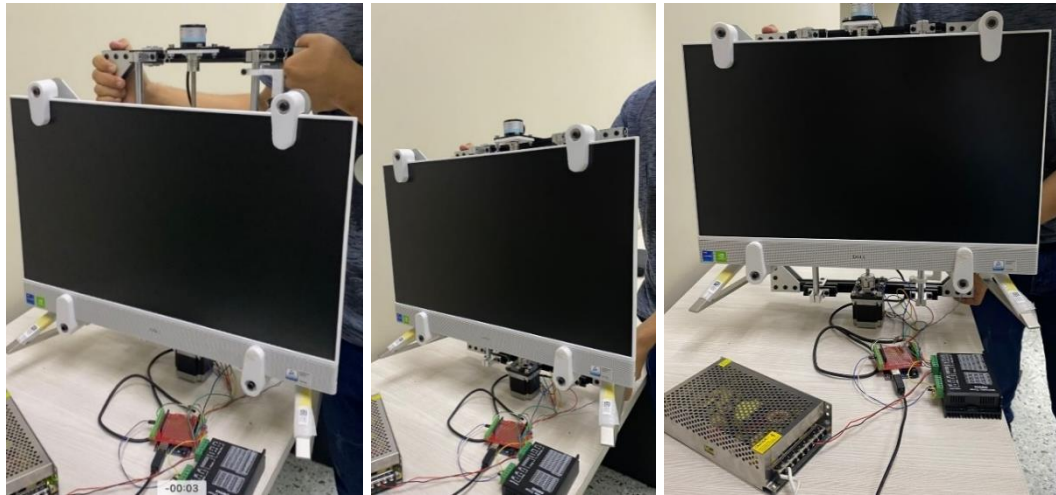
Luego, se realizaron los cortes necesarios de los perfiles de aluminio serie V 20x20 con dimensiones de 400x464 mm para el marco rectangular y 4 cortes de 65 mm de largo para el apoyo de los ejes guías al marco; el ensamble del marco rectangular se realizó mediante ocho placas de unión L serie 20. A su vez, se realizó el corte del tornillo de potencia de 440 mm.

El mecanismo de tornillo de potencia se unió con el soporte de la computadora mediante la placa de conexión rectangular y los cuatro rodamientos con sus respectivos pernos, de esa manera, se observa en la Figura 3.10 el ensamble final del sistema de transmisión lineal con las piezas 3D impresas que cumplen la función de agarre y soporte para los componentes respectivos.



**Figura 3.10 Ensamble final del mecanismo de transmisión lineal**

Una vez construido el sistema de transmisión lineal, como se observa en la Figura 3.11, se realizaron las pruebas de funcionamiento del mecanismo incorporando la computadora All in one de 5.42 kg y desplazándola a una altura respectiva.



**Figura 3.11 Pruebas de funcionamiento del sistema de transmisión lineal con la computadora All in one**

El trabajo restante que queda por hacer es acoplar dicho sistema a la estructura móvil no autónoma y de esa forma realizar las pruebas correspondientes con el usuario.

### **3.8 Análisis de costos**

En la Tabla 3.4, Tabla 3.5 y Tabla 3.6 se detallan los costos de implementación de cada uno de los rubros del sistema. Según la Tabla 3.7, el mayor porcentaje de costo en cuanto al tipo de sistema es en la parte mecánica, esto debido a que se considera el proceso de construcción desde la adquisición de la materia prima hasta el mecanizado de cada una de las piezas respectivas, así como también de los materiales necesarios que conforman el mecanismo de transmisión lineal.

**Tabla 3.4 Costos de implementación: sistema mecánico**

Producto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Pieza de montaje para tornillo 8mm	1	u	\$ 4.00	\$ 4.00
Placa de unión L de 5 agujeros serie 20	8	u	\$ 2.10	\$ 16.80
Placa de montaje para Nema 23 serie 20	3	u	\$ 9.50	\$ 28.49
Acople flexible 6.35x8mm	1	u	\$ 4.00	\$ 4.00
Acople tele araña D25L30-8x8mm	1	u	\$ 9.30	\$ 9.30
Soporte vertical SK12 SH12	4	u	\$ 4.50	\$ 18.01
Bloque o rodamiento lineal SC12UU	4	u	\$ 6.50	\$ 25.98
Eje liso cromado 12 mm	1	m	\$ 24.36	\$ 24.36
Perfil de aluminio tipo V 20x20	2.12	m	\$ 9.78	\$ 20.73
Tuerca T rectangular M5 serie 20	74	u	\$ 0.20	\$ 14.92
Tuerca T rectangular M6 serie 20	8	u	\$ 0.21	\$ 1.68
Pernos Allen cabeza Cilíndrica M5x16	4	u	\$ 0.12	\$ 0.48
Arandela M6x18 1.6mm	8	u	\$ 0.08	\$ 0.64
Arandela M5x15 1.2mm	16	u	\$ 0.05	\$ 0.80
Arandela de precisión-cnc-5,3x10	23	u	\$ 0.15	\$ 3.45
Pernos Allen Cabeza cilíndrica M5x40	8	u	\$ 0.30	\$ 2.40
Pernos Allen Cabeza Cilíndrica M5x20	6	u	\$ 0.35	\$ 2.10
Pernos Allen cabeza plana M5x08	5	u	\$ 0.10	\$ 0.50
Pernos Allen cabeza plana M5x10	64	u	\$ 0.10	\$ 6.45
Pernos Allen cabeza Cilíndrica M5x35	3	u	\$ 0.46	\$ 1.38
Pernos Allen cabeza plana M5x12	2	u	\$ 0.10	\$ 0.20
Pernos Allen cabeza cilíndrica M3x8mm	2	u	\$ 0.09	\$ 0.18
Pernos Allen Cabeza Cilíndrica M4x10	4	u	\$ 0.11	\$ 0.45
Pernos M3x10	3	u	\$ 0.10	\$ 0.30
Pernos Allen Cabeza cilíndrica M5x12	24	u	\$ 0.20	\$ 4.80
Pernos Allen Cabeza Cilíndrica M5x40	4	u	\$ 0.35	\$ 1.40
Pernos Allen Cabeza redonda M5x12	8	u	\$ 0.20	\$ 1.60
Pernos Allen Cabeza redonda M6x16	8	u	\$ 0.25	\$ 2.00
Pernos Allen Cabeza redonda M6x60	4	u	\$ 0.40	\$ 1.60
Tornillo T8 600mm 1 hilo Paso 2mm + Tuerca	1	m	\$ 25.00	\$ 25.00
Tuerca M5 hexagonal	34	u	\$ 0.05	\$ 1.70
Tuerca M6 hexagonal	8	u	\$ 0.08	\$ 0.64
Tuerca M6 original o con brida	12	u	\$ 0.20	\$ 2.40
Plancha de aluminio A1200 H14 3mm	2	u	\$ 7.28	\$ 14.56
Perfil Cuadrado de aluminio (FISA-1651)	1	m	\$ 2.80	\$ 2.80
Perfil ángulo de aluminio (FISA-1560)	1	m	\$ 4.23	\$ 4.23
Platina de aluminio (FISA-244)	2	m	\$ 4.14	\$ 8.29
Placa de unión de dos agujeros serie 20	8	u	\$ 0.80	\$ 6.40
Soporte Movil de TV	1	u	\$ 90.00	\$ 90.00
Filamento PETG	1	u	\$ 22.40	\$ 22.40
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 377.42</b>



**Tabla 3.5 Costos de implementación: sistema electrónico, eléctrico y de control**

Producto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Cable superflex AWG22 3 núcleos	6	m	\$ 2.00	\$ 12.00
Fuente de Poder 24VDC 10A 240W + Ventilador	1	u	\$ 30.60	\$ 30.60
Arduino UNO R3 + Cable USB	1	u	\$ 20.00	\$ 20.00
Shield de borneras para Arduino UNO	1	u	\$ 6.50	\$ 6.50
Kit Micro Final de carrera	2	u	\$ 6.00	\$ 12.01
NEMA 23 57H56-2804A -1.3Nm-2.8Amp	1	u	\$ 40.00	\$ 40.00
Conector de tomacorriente	1	u	\$ 1.00	\$ 1.00
Cable de 2 núcleos calibre 16	4	m	\$ 0.85	\$ 3.40
Driver DM542 para Nema23 Peak 4.2A	1	u	\$ 32.00	\$ 32.00
Cable de Arduino	2	m	\$ 4.00	\$ 8.00
Encoder incremental 400 PULSOS 5-24VDC	1	u	\$ 50.00	\$ 50.00
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 215.51</b>

**Tabla 3.6 Costos de implementación: Gastos Varios**

Producto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Mecanizado de piezas	6	u	\$ 9.00	\$ 54.00
Computadora All in one	1	u	\$ 1.000.00	\$ 1.000.00
Costo de envío de materiales	-	-	-	\$ 18.20
Viáticos	-	-	-	\$ 30.00
Mano de obra	-	-	-	\$ 200.00
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 1.302.20</b>

**Tabla 3.7 Costo total de implementación del sistema de tele robot**

Componente	Precio
Mecánico	\$ 377.42
Electrónica, eléctrico y de control	\$ 215.51
Gastos Varios	\$ 1.302.20
<b>Total</b>	<b>\$ 1.895.13</b>

Como se muestra en la Tabla 3.8, el costo del sistema de tele robot propuesto es bajo en comparación a modelos existentes en el mercado, esto se debe a que dichos modelos comerciales incluyen una estructura móvil autónoma, generador de rutas, baterías, detección de obstáculos, etc., características que, en este caso, no son requeridas debido a que el tele robot tiene un rol de recepcionista, lo cual implica que debe permanecer fijo, por lo que el precio es accesible para dicha aplicación. Además, se muestra que el diseño propuesto tiene un rango de altura ajustable

automático de acuerdo con la estatura promedio de las personas en Ecuador, lo cual es importante para la correcta interacción entre usuarios.

**Tabla 3.8 Comparativo de sistemas de robot de telepresencia**

<b>Modelo comercial</b>	<b>Rango de altura [cm]</b>	<b>Costo</b>
QB	76 – 183	\$15000.00
Double	119 – 150	\$4499.00
iRobot Ava	91 – 152	\$69500.00
Diseño propuesto	150 – 190	\$1895.13

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- De acuerdo a una investigación exhaustiva y a los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, se propuso el diseño de un tele robot con rol de recepcionista capaz de garantizar la correcta interacción entre usuarios mediante el cambio de altura automático de una pantalla según la estatura del usuario local, de manera que se seleccionó el tipo de mecanismo adecuado para brindar dicha función junto con la integración de un algoritmo de visión por computadora, y de esa forma intercambiar información con el usuario remoto a través de una transmisión de videollamada cuando la persona recepcionista no se encuentra en el lugar.
- Se dimensionó un mecanismo de transmisión de tornillo de potencia capaz de transformar el movimiento rotatorio de un motor a un movimiento rectilíneo para el desplazamiento lineal de una pantalla de 5.42 kg en un recorrido de 40 cm aproximadamente. Dicho mecanismo estuvo principalmente conformado por un tornillo de potencia y dos ejes guías de 8 mm y 12 mm de diámetro respectivamente que permitieron contrarrestar los esfuerzos de flexión en el tornillo de potencia debido a la excentricidad de la carga. A partir de un factor de seguridad de 4, el cual es recomendado para las columnas de Euler, se seleccionaron estos elementos y se validó mediante cálculos que soportarán y lograrán desplazar la pantalla conservando la estabilidad del tornillo y cumpliendo con la condición de autobloqueo para que la pantalla no baje por sí misma, por lo que se concluye que los elementos seleccionados son válidos para la aplicación.
- Se seleccionaron los componentes mecánicos y electrónicos disponibles en el mercado local de acuerdo a los requerimientos y limitaciones del sistema para el funcionamiento y control de altura ajustable de la pantalla del tele robot. Para esta aplicación, el motor NEMA 23 de 1.3 Nm y el controlador Arduino UNO garantizaron el movimiento de la carga de forma automática y a una velocidad aceptable.

- Se integró un algoritmo de visión por computadora para realizar el control de posición de la pantalla de forma automática según la estatura del usuario obtenida, por lo que se consideró el uso de un encoder rotativo incremental para la retroalimentación del movimiento del sistema de transmisión lineal y de esa forma garantizar que la pantalla esté a la altura deseada. A su vez, se limitó el recorrido de la pantalla mediante finales de carrera para que su desplazamiento se encuentre dentro del rango requerido.
- Se implementó un mecanismo de transmisión lineal por tornillo de potencia para un sistema de tele robot mediante la adquisición de los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, de manera que soportó y logró desplazar la carga de forma automática a una altura deseada. Además, se realizaron procesos de mecanizados para proporcionar mejor precisión en las dimensiones de las piezas finales y se utilizó impresión 3D en la elaboración de piezas para adaptar los componentes eléctricos y mecánicos necesarios al sistema de transmisión lineal. El material empleado para la impresión 3D fue PETG, el cual proporciona una mayor resistencia en comparación con otros filamentos.

## **4.2 Recomendaciones**

- El diseño mecánico implementado fue a partir de una carga de 5.42 kg, el cual es el peso de la computadora All in One Dell Inspiron 24 5000. Sin embargo, si se quiere replicar el diseño a partir de otro modelo de computadora con diferentes dimensiones y peso, sería factible realizar un diseño personalizable respecto al agarre de la computadora y el peso que este pueda soportar. Esto serviría en caso de que la aplicación requerida necesite características computacionales de mayor o menor medida que la propuesta en el presente trabajo.
- Para facilitar el ensamble de las piezas correspondientes al soporte de la computadora, se recomienda emplear técnicas de soldadura para aluminio como TIG, MIG y plasma. Esto sería de gran utilidad para evitar el proceso de corte y taladrado de piezas pequeñas, las cuales necesitan gran precisión para que las uniones atornilladas puedan acoplarse correctamente al diseño.

- En caso del diseño correspondiente al soporte de la computadora, es recomendable construir prototipos de baja resolución y con materiales reciclables como impresión 3D con PLA, madera MDF, entre otros, debido a que algunos diseños de las computadoras actuales en el mercado poseen geometrías curvas o irregulares que podrían inducir a fallos en las dimensiones del diseño final.
- A pesar de que el sistema de transmisión lineal es de bajo mantenimiento, es recomendable usar lubricantes para el tornillo de potencia y los dos ejes guías, de forma que el desgaste de la tuerca y los rodamientos por fricción se reduciría significativamente, dándole más tiempo de vida útil a dichos componentes.
- Como trabajos futuros se podría implementar más grados de libertad para el movimiento de la pantalla, lo cual implicaría rediseñar el sistema del soporte de la computadora y el sistema de transmisión lineal. Esto aseguraría una mejor interacción entre usuarios ya que la pantalla, en el momento de la videollamada, podrá estar centrada únicamente en el rostro y estatura del usuario local.
- Para optimizar el funcionamiento del sistema del tele robot se recomienda incorporar un tablero de control táctil que incluya un botón de parada de emergencia, de forma que permita proporcionar mayor seguridad en cuanto al desplazamiento de la pantalla para casos en que los finales de carrera no funcionen correctamente. Además, en dicho tablero se podría incluir la funcionalidad de que el usuario establezca la velocidad de movimiento de la pantalla que desee de acuerdo con un rango establecido, ya que no se debe superar la velocidad nominal del motor porque ocasionaría la pérdida de torque.
- Es recomendable mejorar la estética del sistema de tele robot de manera que se fabrique una carcasa para cubrir y proteger al mecanismo de transmisión lineal y que este no sea visible para el usuario. Esto es un punto importante si se desea comercializar el sistema y que influya sobre la decisión de compra en un futuro.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Belay Tuli, T. Olana Terefe y R. Md Mamun Ur , «Telepresence Mobile Robots Design and Control for Social Interaction,» vol. Int J of Soc Robotics 13, nº <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00676-3>, p. 877–886, 2020.
- [2] P. Q. Mateo Mendieta, «Diseño, construcción y programación de un prototipo de robot móvil para aplicaciones de telepresencia,» 2022. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21868/1/UPS-CT009567.pdf>. [Último acceso: 4 noviembre 2022].
- [3] El Telégrafo, «La estatura de los ecuatorianos se incrementó en cuatro décadas,» p. 21, 25 octubre 2017.
- [4] UPCommons, «Teleoperación [de robots]: técnicas, aplicaciones, entorno sensorial y teleoperación inteligente,» Abril 2004. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/2117/570>. [Último acceso: 6 Noviembre 2022].
- [5] Consejo Nacional de Planificación (CNP), «Plan Nacional Buen Vivir para el 2017-2021,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf>. [Último acceso: 6 Noviembre 2022].
- [6] Wiki, «Hmong.es,» Telepresencia, [En línea]. Available: <https://hmong.es/wiki/Telepresence>. [Último acceso: noviembre 4 2022].
- [7] S. M. Freddy Lara, «Dieño y construccion del prototipo de un robot móvil para telepresencia controlado a través de internet,» 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/15236>. [Último acceso: 4 noviembre 2022].
- [8] Mordor Intelligence, «Mercado de robots de telepresencia: crecimiento, tendencias, impacto de COVID-19 y pronósticos (2022 - 2027),» 2021. [En línea]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/telepresence-robots-market#>. [Último acceso: 4 noviembre 2022].
- [9] S. C. A. L. Annica Kristoffersson, «A Review of Mobile Robotic Telepresence,» *Hindawi Publishing Corporation*, vol. Article ID 902316, nº <http://dx.doi.org/10.1155/2013/902316>, 2013.

- [10] M. G. Leonardo Romero, «Paynal, a Low Cost Telepresence Robot,» *IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, nº ISBN 978-1-4673-7121-6, pp. pp 1-4, 2015.
- [11] R. L. Norton, «Piñón y cremallera,» de *Diseño de Máquinas*, México, Pearson Education, ISBN: 978-607-32-0589-4, 2011, pp. 549-551.
- [12] R. L. Norton, *Diseño de máquinas*, México: Pearson Education,, 2011.
- [13] R. G. B. y. J. K. Nisbett, «Mecánica de los tornillos de potencia,» de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México, McGraw Hill. ISBN 978-607-15-0771-6, 2012, pp. 396-398.
- [14] BRITA, inteligencia artificial, «Introducción a la visión por computadora: qué es y cómo funciona,» [En línea]. Available: <https://brita.mx/introduccion-a-la-vision-por-computadora-que-es-y-como-funciona>. [Último acceso: 5 noviembre 2022].
- [15] Revista líderes, «La telepresencia da eficiencia a la empresa,» [En línea]. Available: <https://www.revistalideres.ec/lideres/telepresencia-da-eficiencia-empresa.html>. [Último acceso: 6 Noviembre 2022].
- [16] Dell Inc, «Inspiron 24 5410 todo en uno,» noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://dl.dell.com/content/manual692084-inspiron-24-5410-todo-en-uno-configuraci%C3%B3n-y-especificaciones.pdf?language=es-mx&ps=true>. [Último acceso: 17 diciembre 2022].
- [17] Cablematic, «Manual de montaje del soporte adaptador,» s.f.. [En línea]. Available: <https://storage.googleapis.com/cablematic-media/files/om06200-01.pdf>. [Último acceso: 15 diciembre 2022].
- [18] Techno isel, «Catálogo de productos de movimiento lineal,» [En línea]. Available: <https://www.techno-isel.com/tic/H830/HTML/H830p020.htm>. [Último acceso: 17 Diciembre 2022].
- [19] F. Maldonado, «Diseño de una Máquina Fresadora CNC para Mecanizado de prototipos de Barcos en Madera,» 22 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30055>. [Último acceso: 17 Diciembre 2022].
- [20] K. N. Richard Budynas, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México: McGraw-Hill, 2008.

- [21] BRobotix, «Soporte de Piso, Móvil Para Pantalla de 32” a 60”. Modelo 963050 Manual De Usuario,» Abril 2021. [En línea]. Available: [https://datacomponents.com.mx/manager/manuales/963050\\_mn.pdf](https://datacomponents.com.mx/manager/manuales/963050_mn.pdf). [Último acceso: 17 Diciembre 2022].
- [22] A. Salgado, «Diseño y construcción de una impresora 3d de gran formato con tecnología de fabricación con filamento fundido (FFF) tipo CORE-XY basada en arduino,» 8 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/661>. [Último acceso: 17 Diciembre 2022].
- [23] NumClic, «Kit motor paso a paso fresadora CNC- 13kgf/cm - 1.8°,» s.f. [En línea]. Available: [https://numclic.mercadoshops.com.br/MLB-1667431466-kit-motor-de-passo-cnc-router-13kgfcm-18-2und-novo-\\_JM#&gid=1&pid=4](https://numclic.mercadoshops.com.br/MLB-1667431466-kit-motor-de-passo-cnc-router-13kgfcm-18-2und-novo-_JM#&gid=1&pid=4). [Último acceso: 17 diciembre 2022].
- [24] Cimech 3D, «Acople flexible de aluminio tipo araña – diferentes dimensiones,» [En línea]. Available: <https://www.cimech3d.cl/producto/acople-flexible-de-aluminio-tipo-arana/>. [Último acceso: 11 Febrero 2023].
- [25] Stepper Online, «User's Manual for DM542T,» [En línea]. Available: <https://www.omc-stepperonline.com/download/DM542T.pdf>. [Último acceso: 17 Diciembre 2022].
- [26] Natytec, «Interruptor de límite mecánico kit,» [En línea]. Available: <https://natytec.com.mx/CNC/micro-interruptor-switch-de-limite-limit-switch/>. [Último acceso: 17 Diciembre 2022].
- [27] Sharvi Electronics, «E38S6G5-400B-G24N – Photoelectric Incremental Rotary Encoder,» [En línea]. Available: <https://sharvielectronics.com/product/e38s6g5-400b-g24n-photoelectric-incremental-rotary-encoder/>. [Último acceso: 19 Diciembre 2022].
- [28] Cimech 3D, «Acople flexible de aluminio – diferentes dimensiones,» [En línea]. Available: <https://www.cimech3d.cl/producto/acople-flexible-de-aluminio-diferentes-dimensiones/>. [Último acceso: 11 Febrero 2023].
- [29] Unit Electronics, «Fuente Conmutada 24V 10A,» s.f. [En línea]. Available: <https://uelectronics.com/producto/fuente-conmutada-24v-10a/>. [Último acceso: 17 diciembre 2022].



- [30] Arduino, «Arduino Documentation,» 2006. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Último acceso: 19 diciembre 2022].
- [31] V. Faires, Diseño de Elementos de Máquinas, México: Limusa, 1995.
- [32] Perfilum, «Almacén De Aluminio en Guayaquil,» [En línea]. Available: <https://perfilum-aluminium-supplier.negocio.site/>. [Último acceso: 17 Diciembre 2022].
- [33] Geroneto, «ASTM A1200 (Lisa),» 2022. [En línea]. Available: <https://www.geroneto.com/detalle-producto.php?id=319>. [Último acceso: 17 diciembre 2022].
- [34] Alibaba, «Bloque de rodamiento lineal de bolas SC8UU, 8mm, enrutador CNC SCS8UU,» s.f. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/5pc-SC8UU-8mm-Linear-Ball-Bearing-62372038252.html>. [Último acceso: 17 diciembre 2022].
- [35] Didacticas Electrónicas, «Camisa para tuerca T8,» [En línea]. Available: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/cnc-e-impresoras-3d/estructura/soportes/camisa-para-tuerca-t8-camisas-adaptadores-adaptadoras-para-tornillos-tuercas-t8-para-varillas-roscadas-t8-cnc-detail>. [Último acceso: 17 Dicimebre 2022].
- [36] Stepper Online, «Pull out torque curve of 23HS22-2804S,» [En línea]. Available: [https://www.omc-stepperonline.com/download/23HS22-2804S\\_Torque\\_Curve.pdf](https://www.omc-stepperonline.com/download/23HS22-2804S_Torque_Curve.pdf). [Último acceso: 17 Diciembre 2022].
- [37] Cimech 3D, «Riel lineal / Perfil aluminio (V-slot) 20x20 – Plateado,» [En línea]. Available: <https://www.cimech3d.cl/producto/perfil-aluminio-v-slot-20x20-plateado/>. [Último acceso: 11 Febrero 2023].
- [38] Cimech 3D, «Plancha de unión 90 grados (L) para perfiles 20x20,» [En línea]. Available: <https://www.cimech3d.cl/producto/plancha-de-union-90-grados-l-para-perfiles-20x20/>. [Último acceso: 11 Febrero 2023].
- [39] AliExpress, «100 unids/lote SK12 SH12A eje lineal soporte eje extremo rodamientos para piezas CNC guía lineal,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/32869905542.html>. [Último acceso: 11 Febrero 2023].

[40] Naylamp, «Placa montaje para motor Nema 23,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/v-slot/508-placa-montaje-para-motor-nema-23.html>. [Último acceso: 11 Febrero 2023].

[41] Naylamp, «Placa de unión recta de dos agujeros,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/v-slot/498-placa-de-union-recta-de-2-agujeros.html>. [Último acceso: 11 Febrero 2023].

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

### TABLAS DE VALORACIÓN DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN

**Tabla A.1 Evaluación del peso específico del criterio capacidad**

<b>Capacidad</b>	Solución A	Solución B	Solución C	<b>Σ+1</b>	<b>ponderación</b>
Solución A		0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5		0	1.5	0.25
Solución C	1	1		3	0.5
			<b>Suma</b>	6	1

**Tabla A.2 Evaluación del peso específico del criterio altura variable**

<b>Altura variable</b>	Solución A	Solución B	Solución C	<b>Σ+1</b>	<b>ponderación</b>
Solución A		0.5	0.5	2	0.33333333
Solución B	0.5		0.5	2	0.33333333
Solución C	0.5	0.5		2	0.33333333
			<b>Suma</b>	6	1

**Tabla A.3 Evaluación del peso específico del criterio autonomía**

<b>Autonomía</b>	Solución A	Solución B	Solución C	<b>Σ+1</b>	<b>ponderación</b>
Solución A		0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5		0	1.5	0.25
Solución C	1	1		3	0.5
			<b>Suma</b>	6	1

**Tabla A.4 Evaluación del peso específico del criterio tiempo de operación**

<b>Tiempo de operación</b>	Solución A	Solución B	Solución C	<b>Σ+1</b>	<b>ponderación</b>
Solución A		1	0.5	2.5	0.41666667
Solución B	0		0	1	0.16666667
Solución C	0.5	1		2.5	0.41666667
			<b>Suma</b>	6	1

**Tabla A.5 Evaluación del peso específico del criterio viabilidad**

<b>Viabilidad</b>	Solución A	Solución B	Solución C	<b>Σ+1</b>	<b>ponderación</b>
Solución A		0.5	0.5	2	0.33333333
Solución B	0.5		0.5	2	0.33333333
Solución C	0.5	0.5		2	0.33333333
			<b>Suma</b>	6	1

**Tabla A.6 Evaluación del peso específico del criterio desplazamiento**

<b>Desplazamiento</b>	Solución A	Solución B	Solución C	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>ponderación</b>
Solución A		0	0	1	0.16666667
Solución B	1		1	3	0.5
Solución C	1	0		2	0.33333333
			<b>Suma</b>	6	1

**Tabla A.7 Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento**

<b>Mantenimiento</b>	Solución A	Solución B	Solución C	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>ponderación</b>
Solución A		1	1	3	0.5
Solución B	0		0.5	1.5	0.25
Solución C	0	0.5		1.5	0.25
			<b>Suma</b>	6	1

## APÉNDICE B

### DIMENSIONES DE LAS PIEZAS DEL SOPORTE DE LA COMPUTADORA

Las dimensiones de las piezas del soporte de la computadora se basaron en catálogos de perfiles y planchas de aluminio disponibles en algunas tiendas de Guayaquil-Ecuador. A continuación, se presentan los catálogos del perfil cuadrado, perfil ángulo, platinas y planchas de aluminio.

**TUBOS CUADRADOS**

Código	L		Espesor (mm.)	Peso (Kg/m)
	Milímetros	Pulgadas		
FISA-1816	19.00	3/4	1.00	0.19
FISA-1651	25.40	1	1.10	0.30
FISA-1591	31.75	1 1/4	1.15	0.38
FISA-1592	38.10	1 1/2	1.15	0.46
FISA-1365	38.10	1 1/2	1.30	0.53
FISA-375	38.10	1 1/2	1.60	0.65
FISA-1366	50.80	2	1.60	0.87

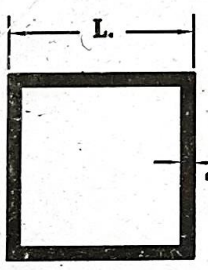


Diagrama de un tubo cuadrado con dimensiones L (lado) y e (espesor).

Figura B.1 Catálogo de perfil cuadrado / PERFILUM [32]

### ANGULOS

Código	A		B		Espesor (mm.)	Peso (Kg/m)
	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas		
FISA-1721	11.50	24/53	11.50	24/53	0.80	0.05
FISA-369	25.40	1	25.40	1	1.00	0.14
FISA-1560	25.40	1	25.40	1	2.40	0.32
FISA-8	50.80	2	50.80	2	3.20	0.87
FISA-1623	12.70	1/2	25.40		1.00	0.10
FISA-12	25.40	1	38.10	1 1/2	3.10	0.52

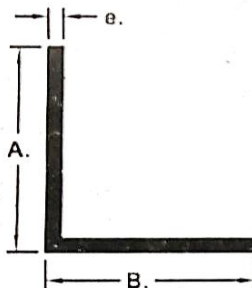


Figura B.2 Catálogo de perfil ángulo / PERFILUM [32]

## PLATINA

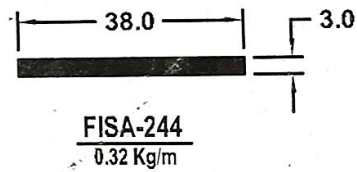


Figura B.3 Catálogo de platina / PERFILUM [32]

### 2.00 x 1.00 MT

Espesor (mm)	Peso (Kg)
0.40	2.18
0.50	2.72
0.70	3.81
1.00	5.44
1.20	6.53
1.50	8.16
2.00	10.88
3.00	16.32
4.00	21.76
6.00	32.64

Figura B.4 Catálogo de plancha de aluminio A1200 H14 / GERONETO [33]

## APÉNDICE C

### DISEÑO DEL CARRO VERTICAL Y EJES GUIAS

- **Diseño del carro vertical**

Para el cálculo de las fuerzas que soportan los ejes guías en el carro vertical, se comienza con determinar las distancias correspondientes a dicho sistema mostrado en la Figura 2.5. Donde  $d_1$  es la distancia entre los soportes o rodamientos de los ejes,  $d_2$  distancia entre centros de los ejes guías,  $d_3$  excentricidad de la carga con respecto a los ejes guías y  $d_4$  excentricidad de la carga con respecto al tornillo de potencia. Cabe mencionar que el término  $L$  hace referencia a la carga que se desplaza verticalmente, en este caso, es la computadora All in one.

$$d_1 = 50 \text{ mm}$$

$$d_2 = 200 \text{ mm}$$

$$d_3 = 124.2 \text{ mm}$$

$$d_4 = 0$$

$$L = 53.17 \text{ N}$$

$$F_1 = F_3 = \frac{L}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right)$$

$$F_1 = F_3 = \frac{53.17 \text{ N}}{2} \left( \frac{124.2 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right)$$

$$F_1 = F_3 = 66.04 \text{ N}$$

$$F_2 = F_4 = -\frac{L}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right)$$

$$F_2 = F_4 = -\frac{53.17 \text{ N}}{2} \left( \frac{124.2 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right)$$

$$F_2 = F_4 = -66.04 \text{ N}$$

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{L}{2} \left( \frac{d_4}{d_2} \right)$$

$$F_{1s} = F_{3s} = 0$$

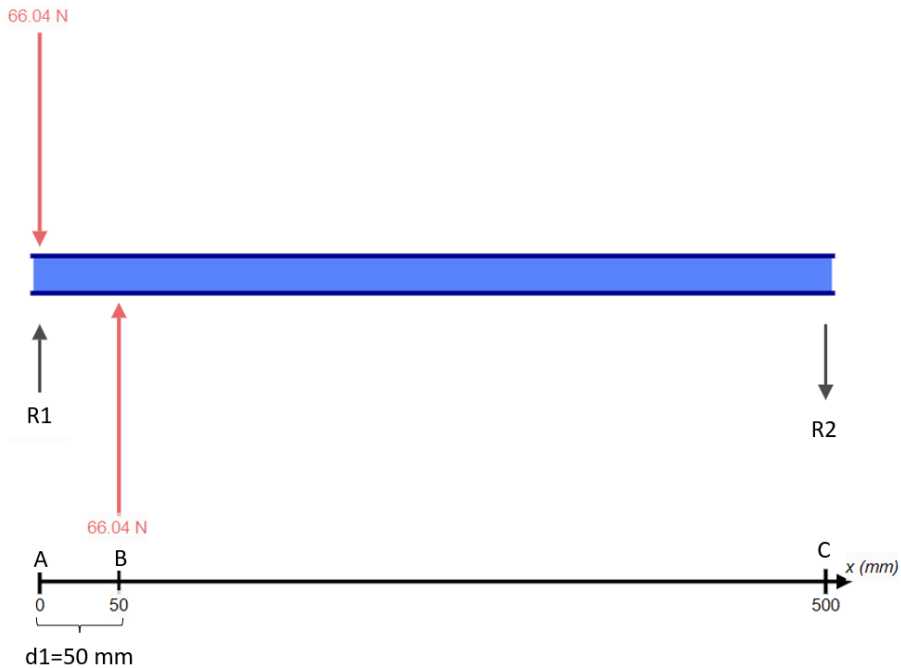
$$F_{2s} = F_{4s} = -\frac{L}{2} \left( \frac{d_4}{d_2} \right)$$

$$F_{2s} = F_{4s} = 0$$



- **Diseño de ejes guías**

Posteriormente, en la Figura C.1 se presenta el diagrama de cuerpo libre del eje guía con la carga posicionada en un extremo, la cual provocará el máximo esfuerzo.



**Figura C.1 Diagrama de cuerpo libre del eje guía**

Con el diagrama de cuerpo libre del eje guía, se procede a calcular las reacciones de los apoyos realizando sumatoria de momentos y fuerzas en Y de acuerdo con las Ecuaciones C.1 y C.2.

$$\curvearrowright \sum M_A = 0 \quad (\text{C.1})$$

$$F * d_{AB} - R_2 * d_{AC} = 0$$

$$R_2 = \frac{F * d_{AB}}{d_{AC}}$$

$$R_2 = \frac{66.04 * 50}{500}$$

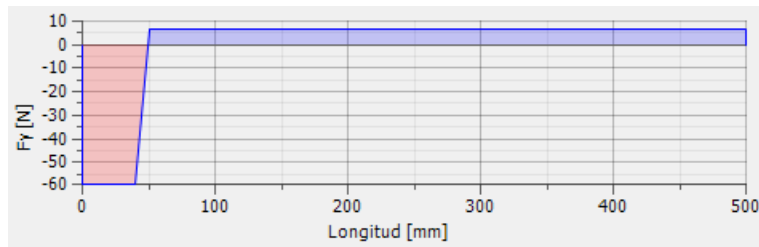
$$R_2 = 6.60 \text{ N}$$

$$\uparrow \sum F_y = 0 \quad (\text{C.2})$$

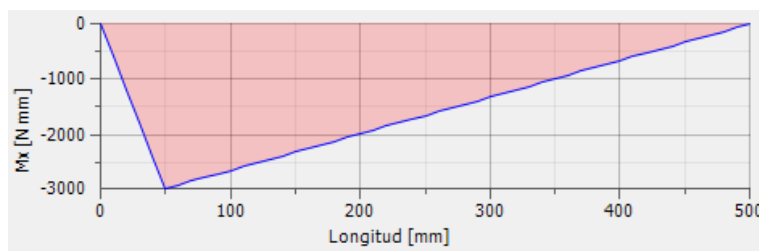
$$R_1 - F + F - R_2 = 0$$

$$R_1 = R_2 = 6.60 \text{ N}$$

Una vez obtenido las reacciones del eje guía, se grafica los diagramas de fuerza cortante y momento flector mostrados en la Figura C.2 y Figura C.3. También, se observan los resultados del cortante y momento flector máximo del eje guía en la Figura C.4.



**Figura C.2 Diagrama de fuerza cortante N vs mm**



**Figura C.3 Diagrama de momento flector Nmm vs mm**

Resultados	
Longitud	500,000 mm
$F_{X_{max}}$	0,000 N
$F_{Y_{max}}$	-59,436 N
$F_{Z_{max}}$	-0,000 N
$M_{X_{max}}$	-2971,800 N mm
$M_{Y_{max}}$	-0,000 N mm
$M_{Z_{max}}$	0,000 N mm

**Figura C.4 Puntos máximos de las gráficas de cortante y momento flector**

Se escoge el valor máximo del diagrama de momento flector, el cual es de  $M_{\max}=2971.80 \text{ N}\cdot\text{mm}$  para calcular el módulo de resistencia del eje circular (Ecuación C.3), y a partir dicho cálculo, dimensionar el diámetro del eje guía mediante la Ecuación C.4. A continuación, se halla el diámetro mínimo del eje a partir del esfuerzo normal que este soporta, en esta ocasión, el material del eje es acero inoxidable 304.

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S} \quad (C.3)$$

$M_{m\acute{a}x} = 2971.80 \text{ Nmm}$  [Momento flector máximo]

$\sigma = 220 \text{ MPa}$  [Esfuerzo admisible del material, acero inoxidable 304]

$n = 3$  [Factor de seguridad recomendado para cargas dinámicas]

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x} * n}{\sigma}$$

$$S = \frac{2971.80 \text{ Nmm} * 3}{220 \text{ MPa}}$$

$$S = 40.52 \text{ mm}^3$$

$S = 40.52 \text{ mm}^3$  [Módulo de resistencia del eje circular]

$$S = \frac{\pi d^3}{32} \quad (C.4)$$

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}}$$

$$d_{min} = 7.45 \text{ mm}$$

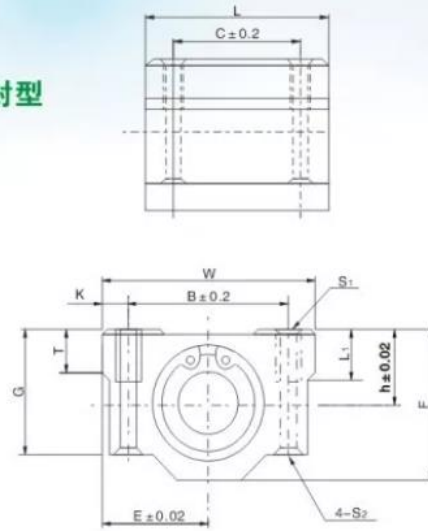
$d_{min} = 7.45 \text{ mm}$  [Diámetro mínimo del eje]  $\approx 12 \text{ mm}$  [Diámetro comercial del eje]

- **Selección del rodamiento**

En base al diámetro comercial seleccionado, se escogió el rodamiento lineal SCS12UU con una capacidad de carga dinámica de 5001.39 N y una capacidad de carga esttica de 7688.41 N como se muestra en la Figura C.5.

►► 滚珠箱式直线滑块系列  
Box style linear sliding

SCS...UU SCS...LUU 双密封型



滑块型号 Unit Type	主要尺寸 Dimensions ( mm )													配合直线轴承 Slide bush			
	T	h	E	W	L	F	G	B	C	K	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	型号 Type	基本负荷率 Basic load rating	重量 Weight	
															动 Dynamic C (kgf)	静 Static Co(kgf)	(kg/m)
SCS 6UU	6	9	15	30	25	18	15	20	15	5	M4	3.4	8	LM 6UU	206	265	34
SCS 8UU	6	11	17	34	30	22	18	24	18	5	M4	3.4	8	LM 8UU	274	392	52
SCS 10UU	8	13	20	40	35	26	21	28	21	6	M5	4.3	12	LM 10UU	372	549	92
SCS 12UU	8	15	21	42	36	28	24	30.5	26	5.75	M5	4.3	12	LM 12UU	510	784	102
SCS 13UU	8	15	22	44	39	30	24.5	33	26	5.5	M5	4.3	12	LM 13UU	510	784	120
SCS 16UU	9	19	25	50	44	38.5	32.5	36	34	7	M5	4.3	12	LM 16UU	774	1180	200

Figura C.5 Catálogo de rodamientos lineales [34]

## APÉNDICE D

### CÁLCULO DEL TORNILLO DE POTENCIA - COORDENADA Z

Para el cálculo del tornillo de potencia se requiere determinar la fuerza total que se aplicará en este, por lo que en la Tabla D.1 se detalla el peso de cada pieza para finalmente sumarlos y obtener la fuerza total ( $F_T$ ).

**Tabla D.1 Cargas aplicadas al tornillo de potencia**

Nombre de la pieza	Peso [kg]	Cantidad	Peso total [kg]
Platina	0.069	4	0.276
Placa de conexión	0.099	1	0.099
Pieza de agarre	0.044	4	0.176
Perfil cuadrado	0.016	1	0.016
Perfil ángulo	0.004	8	0.032
Computadora	5.420	1	5.420
Placa del carro vertical	0.247	1	0.247
Camisa trapezoidal	0.074	1	0.074
Rodamientos lineales	0.088	4	0.352
		<b>Suma</b>	<b>6.692</b>

$$F_T = 6.692 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 65.65 \text{ N}$$

El área transversal del tornillo de potencia se calcula despejándola de la Ecuación D.1:

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{F_T}{A} \quad (\text{D.1})$$

$$F_T = 65.65 \text{ N [Fuerza total de carga]}$$

$$\sigma = 220 \text{ MPa [Esfuerzo admisible del material, acero inoxidable 304]}$$

$$n = 4 \text{ [Factor de seguridad recomendado para columnas de Euler (empotrado – empotrado), tabla 4.2 del libro: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8va edición]}$$

$$A = \frac{F_T * n}{\sigma}$$

$$A = \frac{65.65 \text{ N} * 4}{220 \text{ MPa}} = 1.19 \text{ mm}^2$$

El diámetro menor o raíz del tornillo de potencia se calcula mediante la Ecuación D.2:

$$d_{r1} = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (D.2)$$

$A = 1.19 \text{ mm}^2$  [Área transversal del tornillo de potencia]

$$d_{r1} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.19 \text{ mm}^2}{\pi}} = 1.23 \text{ mm}$$

En Ecuador, el diámetro mayor o nominal mínimo disponible de un tornillo de potencia es de 8mm, por lo que se seleccionó un tornillo de potencia de dicho diámetro considerando una longitud de 440mm. En la Tabla D.2 se detallan sus características dimensionales.

**Tabla D.2 Características dimensionales del tornillo de potencia comercial**

$d$ [diámetro nominal]	8 mm
$p$ [paso]	2 mm
$N$ [hilos de la rosca]	1
$2\alpha$ [ángulo de la rosca]	29°
$L$ [longitud del tornillo]	440 mm

El diámetro raíz, diámetro medio y avance del tornillo de potencia seleccionado para el sistema de transmisión – coordenada Z se calcula mediante las Ecuaciones D.3, D.4 y D.5 respectivamente.

$$d_{r2} = d - p \quad (D.3)$$

$$d_{r2} = 8 \text{ mm} - 2 \text{ mm} = 6 \text{ mm}$$

$$d_m = d - \frac{p}{2} \quad (D.4)$$

$$d_m = 8 \text{ mm} - \frac{2 \text{ mm}}{2} = 7 \text{ mm}$$

$$l = N \cdot p \quad (D.5)$$

$$l = 1 \cdot 2 = 2 \text{ mm}$$

Dado que el  $d_{r2}$  del tornillo de potencia seleccionado es mayor al  $d_{r1}$  calculado previamente, se valida dicha selección y se prevé que este debe poseer un acople para el actuador, así como también una tuerca y una camisa trapezoidal para transmitir el movimiento y acoplar el soporte de la computadora como se muestra en la Figura D.1.



**Figura D.1 Tornillo de potencia 8 mm con su tuerca y camisa trapezoidal [35]**

- **Cálculo del torque para el tornillo de potencia - coordenada Z**

Como se presentó anteriormente, la carga total que se aplica en el tornillo de potencia es  $F_T = 65.65 \text{ N}$ . Las dimensiones generales del tornillo seleccionado son:

$$d_{r2} = 6 \text{ mm [Diámetro raíz]}$$

$$d_m = 7 \text{ mm [Diámetro medio del tornillo de potencia]}$$

$$l = 2 \text{ mm [Avance]}$$

$$p = 2 \text{ [paso]}$$

$$f = 0.36 \text{ [Coeficiente de fricción del tornillo (acero – cobre), tabla 5.1 del libro: Física volumen 1 Serway, 7ma edición ]}$$

$$\alpha = 14.5^\circ \text{ [Mitad del ángulo de la rosca]}$$

$$d_c = 16 \text{ mm [Diámetro del collarín]}$$

$$f_c = 0.36 \text{ [Coeficiente de fricción del tornillo (acero – cobre), tabla 5.1 del libro: Física volumen 1 Serway, 7ma edición ]}$$

El torque necesario para elevar la carga total se determina mediante la Ecuación D.6:

$$T_R = \frac{F*d_m}{2} \left( \frac{l + (\pi*f*d_m*\sec\alpha)}{(\pi*d_m) - (f*l*\sec\alpha)} \right) + \frac{F*f_c*d_c}{2} \quad (D.6)$$

$$T_R = \frac{65.65 \text{ N} * 7 \text{ mm}}{2} \left( \frac{2 \text{ mm} + (\pi * 0.36 * 7 * \sec(14.5^\circ))}{(\pi * 7 \text{ mm}) - (0.36 * 2 \text{ mm} * \sec(14.5^\circ))} \right) + \frac{65.65 \text{ N} * 0.36 * 16 \text{ mm}}{2}$$

$$T_R = 299.13 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

El torque para bajar la carga total se calcula mediante la Ecuación D.7:

$$T_L = \frac{F*d_m}{2} \left( \frac{(\pi*f*d_m*\sec\alpha) - l}{(\pi*d_m) + (f*l*\sec\alpha)} \right) + \frac{F*f_c*d_c}{2} \quad (D.7)$$

$$T_L = \frac{65.65 \text{ N} * 7 \text{ mm}}{2} \left( \frac{(\pi * 0.36 * 7 * \sec(14.5^\circ)) - 2 \text{ mm}}{(\pi * 7 \text{ mm}) + (0.36 * 2 \text{ mm} * \sec(14.5^\circ))} \right) + \frac{65.65 \text{ N} * 0.36 * 16 \text{ mm}}{2}$$

$$T_L = 251.50 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

De los torques calculados se escoge el mayor  $T_R = 299.13 \text{ N} \cdot \text{mm}$ , ya que es el torque requerido para que el tornillo de potencia logre mover la carga total en ambos sentidos durante su funcionamiento.

- **Fuerza crítica de pandeo**

Debido a que el tornillo de potencia puede ser tratado como una columna larga con carga centrada, es necesario comprobar si la fuerza aplicada no supera a la fuerza crítica de pandeo descrita en la Ecuación D.8.

$$P_{cr} = \frac{C*\pi^2*E*I}{l^2} \quad (D.8)$$



$C = 1.2$  [Valor recomendado para la condición de extremos en columna empotrado – empotrado, tabla 4.2 del libro: *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 8va edición]

$E = 200 \text{ GPa}$  [Módulo de elasticidad del acero inoxidable 304]

$$I = \frac{\pi * d_r^4}{64} = 63.62 \text{ mm}^4 \text{ [Inercia]}$$

$l = 440 \text{ mm}$  [longitud del tornillo]

$$P_{cr} = \frac{1.2 * \pi^2 * 200 \text{ GPa} * 10^3 \text{ MPa} * 63.62 \text{ mm}^4}{(440 \text{ mm})^2}$$

$$P_{cr} = 778.36 \text{ N} > F_T = 65.65 \text{ N}$$

La fuerza aplicada en el tornillo de potencia es 12 veces menor que la fuerza crítica de pandeo, por lo que las dimensiones del tornillo de potencia seleccionado son aceptables.

- **Condición para el autobloqueo**

Existen casos específicos donde el avance del tornillo de potencia es grande o la fricción es baja, lo cual ocasionaría que la carga baje por sí misma provocando que el tornillo gire sin ningún esfuerzo externo. Para evitar dicho efecto, mediante la Ecuación D.9 se presenta la condición para el autobloqueo.

$$\pi * f * d_m > l \tag{D.9}$$

$d_m = 7 \text{ mm}$  [Diámetro medio del tornillo de potencia]

$l = 2 \text{ mm}$  [Avance]

$f = 0.36$  [Coeficiente de fricción del tornillo (acero – cobre), tabla 5.1 del libro: *Física volumen 1 Serway*, 7ma edición ]

$$\pi * 0.36 * 7 \text{ mm} > 2 \text{ mm}$$

$$7.92 \text{ mm} > 2 \text{ mm}$$

De esa manera, se garantiza que el tornillo de potencia seleccionado cumple con la condición para el autobloqueo, lo cual implica que la carga no se regresará por sí misma.

# APÉNDICE E

## FICHA TÉCNICA DE LOS ACTUADORES Y COMPONENTES ELECTRÓNICOS

- Motor paso a paso

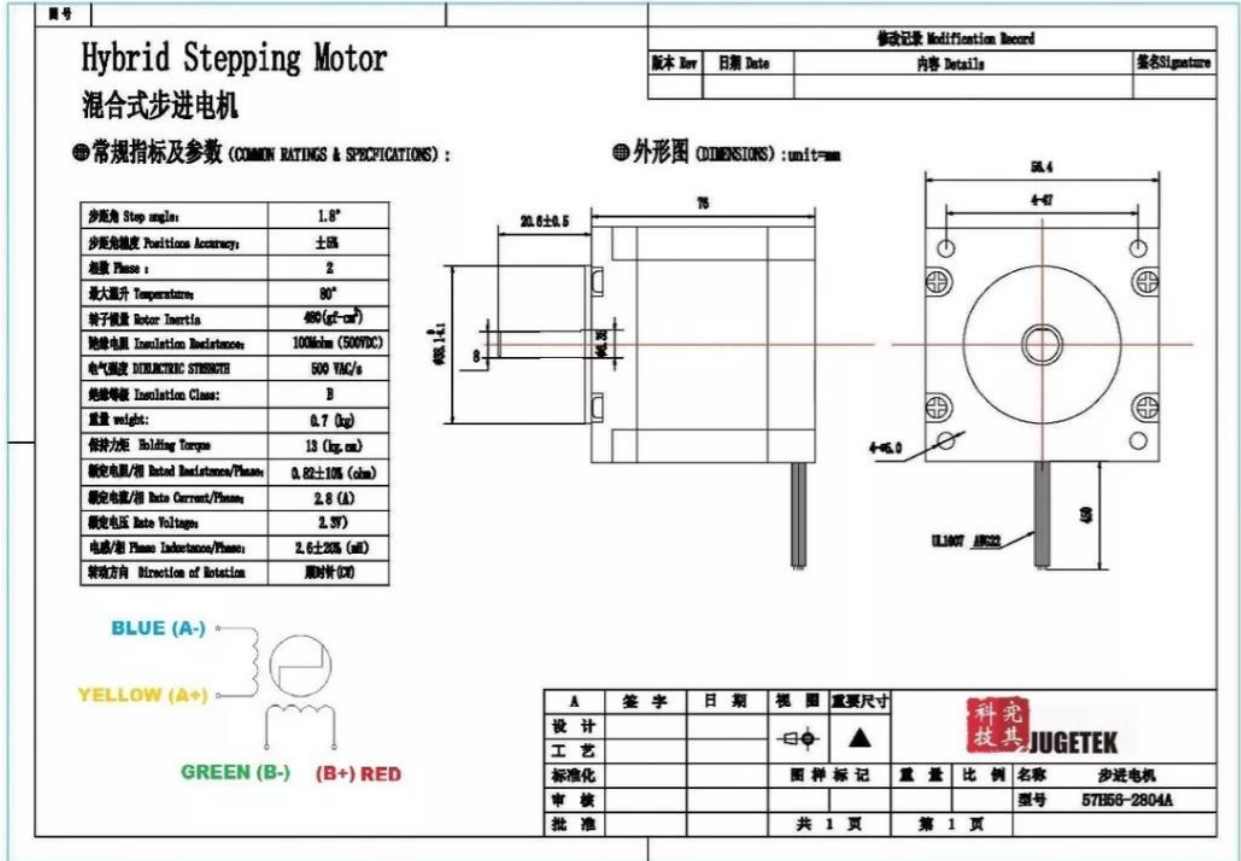


Figura E.1 Ficha técnica del motor Nema 23 57H56-2804A [23]

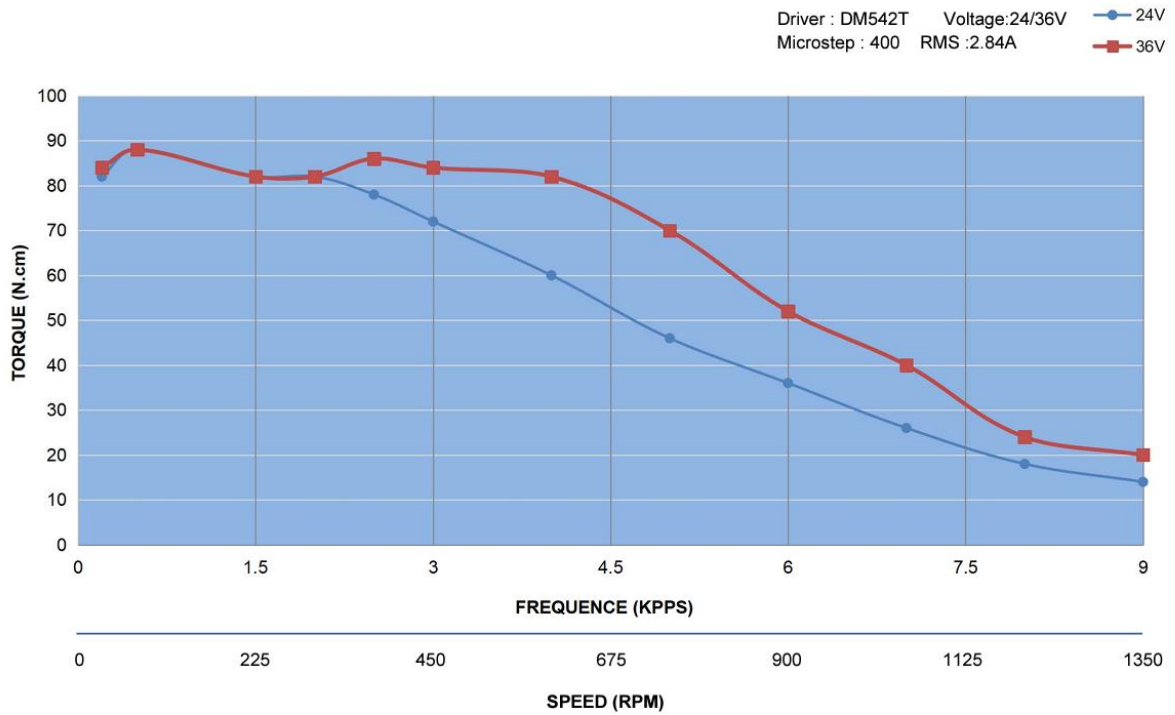


Figura E.2 Curva de torque del Nema 23 57H56-2804A [36]

- Driver para motor paso a paso

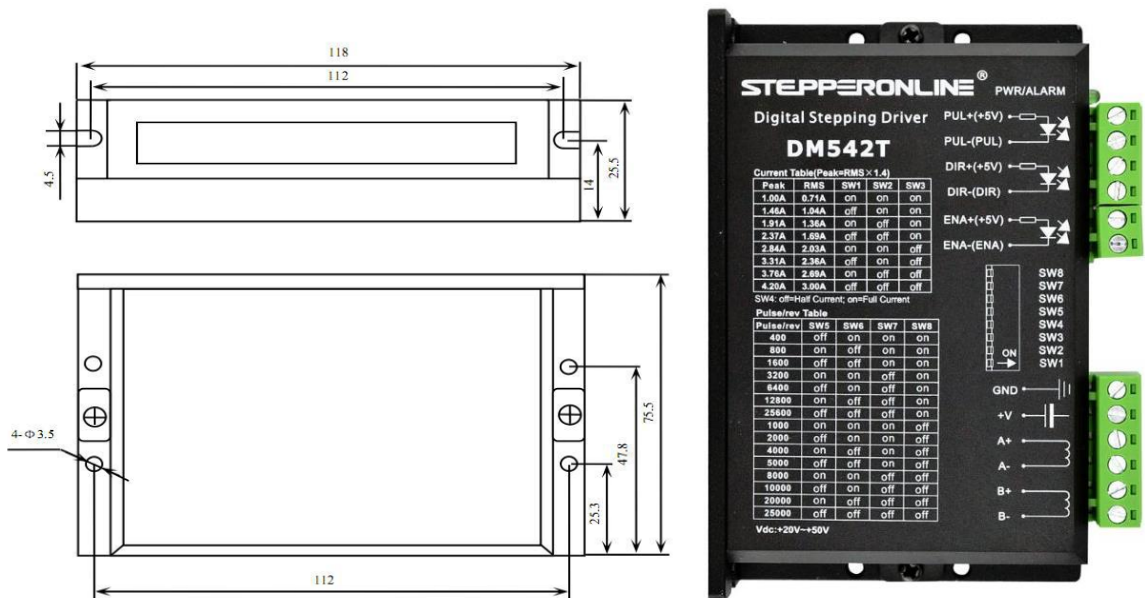


Figura E.3 Especificaciones mecánicas del Driver DM542T [25]

Pin Function	Details
PUL+	<u>Pulse signal:</u> In single pulse (pulse/direction) mode, this input represents pulse signal, each rising edge active; 4-5V when PUL-HIGH, 0-0.5V when PUL-LOW. The DM542T drive has no double pulse mode (pulse/pulse). For reliable response, pulse width should be longer than 2.5µs. Series connect resistors for current-limiting when +12V or +24V used (1K for +12V, 2k for +24V). The same as DIR and ENA signals.
PUL-	
DIR+	<u>DIR signal:</u> In single-pulse mode, this signal has low/high voltage levels, representing two directions of motor rotation; The DM542T drive has no double pulse mode (pulse/pulse). 4-5V when DIR-HIGH, 0-0.5V when DIR-LOW. Please note that rotation direction is also related to motor-drive wiring match. Exchanging the connection of two wires for a coil to the drive will reverse motor direction.
DIR-	
ENA+	<u>Enable signal:</u> This signal is used for enabling/disabling the drive. High level (NPN control signal, PNP and Differential control signals are on the contrary, namely Low level for enabling.) for enabling the drive and low level for disabling the drive. Usually left
ENA-	

Figura E.4 Señales de control en el Driver 542T [25]

Pin Function	Details
GND	Power Ground.
+V	Power supply, 20~50 VDC, Including voltage fluctuation and EMF voltage.
A+, A-	Motor Phase A
B+, B-	Motor Phase B

Figura E.5 Conexiones al motor y fuente de poder en el Driver 542T [25]

Microstep	Steps/rev.(for 1.8°motor)	SW5	SW6	SW7	SW8
2	400	OFF	ON	ON	ON
4	800	ON	OFF	ON	ON
8	1600	OFF	OFF	ON	ON
16	3200	ON	ON	OFF	ON
32	6400	OFF	ON	OFF	ON
64	12800	ON	OFF	OFF	ON
128	25600	OFF	OFF	OFF	ON
5	1000	ON	ON	ON	OFF
10	2000	OFF	ON	ON	OFF
20	4000	ON	OFF	ON	OFF
25	5000	OFF	OFF	ON	OFF
40	8000	ON	ON	OFF	OFF
50	10000	OFF	ON	OFF	OFF
100	20000	ON	OFF	OFF	OFF
125	25000	OFF	OFF	OFF	OFF

Figura E.6 Selección de resolución de micro pasos a través de los interruptores SW 5, 6, 7, 8 [25]

Peak Current	RMS Current	SW1	SW2	SW3
1.00A	0.71A	ON	ON	ON
1.46A	1.04A	OFF	ON	ON
1.91A	1.36A	ON	OFF	ON
2.37A	1.69A	OFF	OFF	ON
2.84A	2.03A	ON	ON	OFF
3.31A	2.36A	OFF	ON	OFF
3.76A	2.69A	ON	OFF	OFF
4.20A	3.00A	OFF	OFF	OFF

Figura E.7 Selección de la corriente de salida a través de los interruptores SW 1, 2, 3 [25]

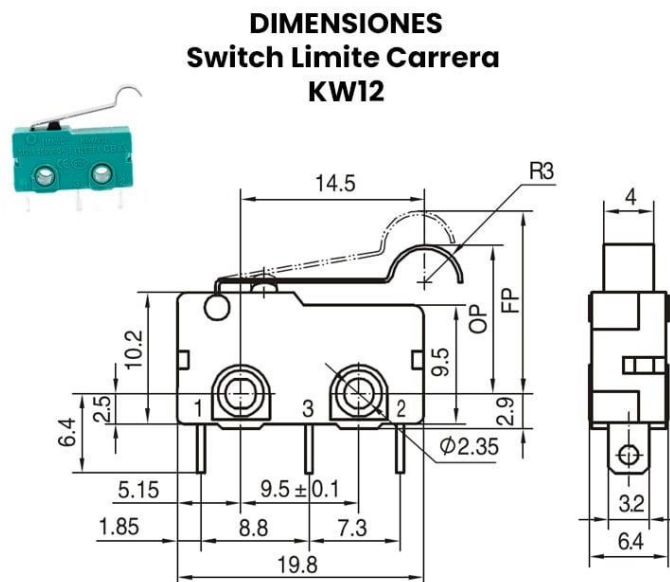


Figura E.8 Especificaciones mecánicas del final de carrera [26]

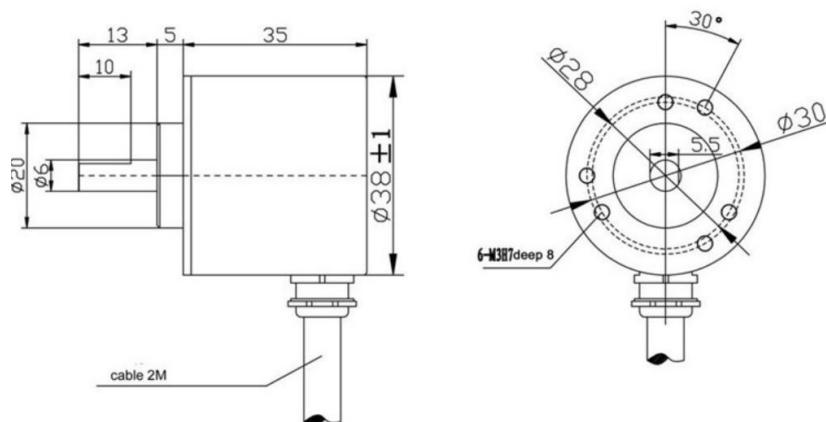


Figura E.9 Dimensiones del encoder rotativo incremental E38S6G5 [27]

## APÉNDICE F

### ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS DEL SOPORTE DE LA COMPUTADORA

De acuerdo con las dimensiones seleccionadas de cada pieza, se procedió a realizar el análisis de elementos finitos detallado a continuación desde la Figura F.1 hasta Figura F.5.

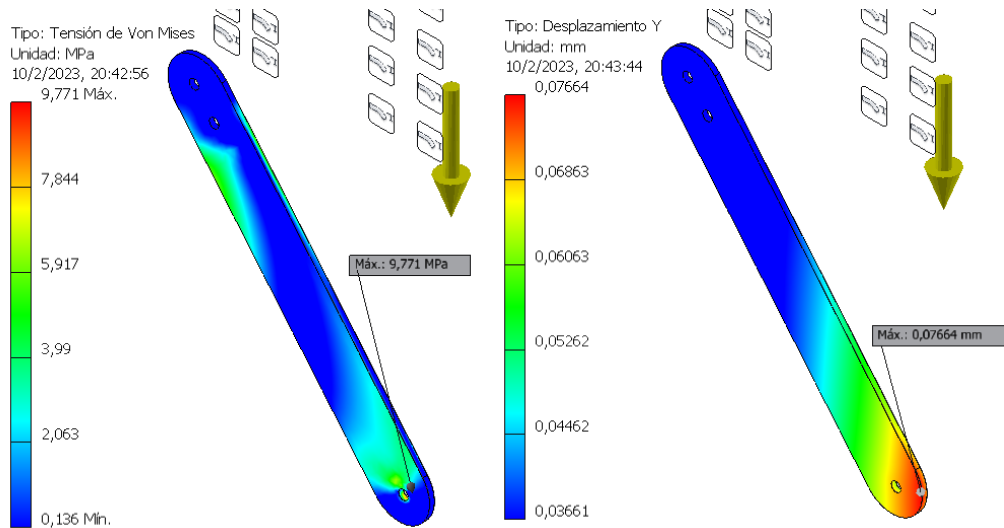


Figura F.1 Tensión de Von Mises y desplazamiento máximo de la platina

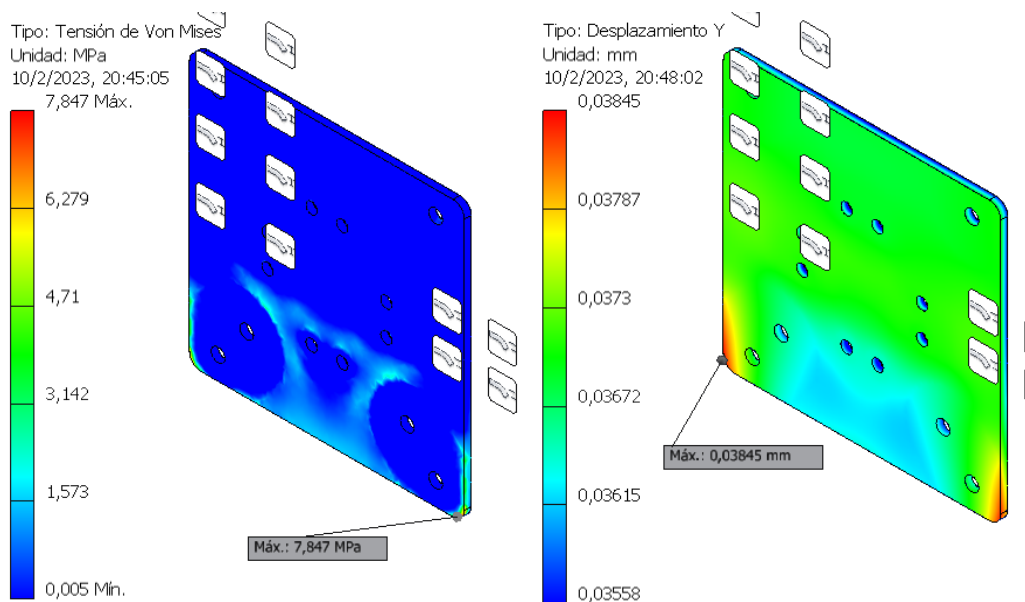
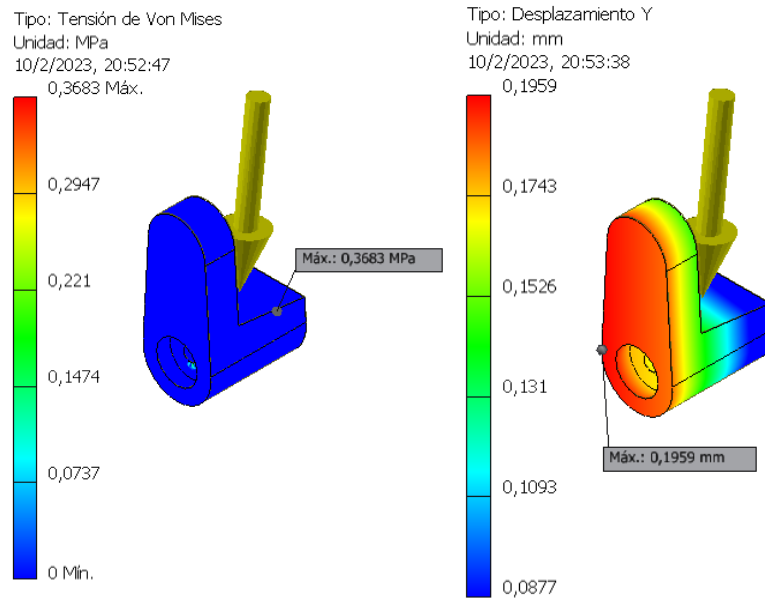
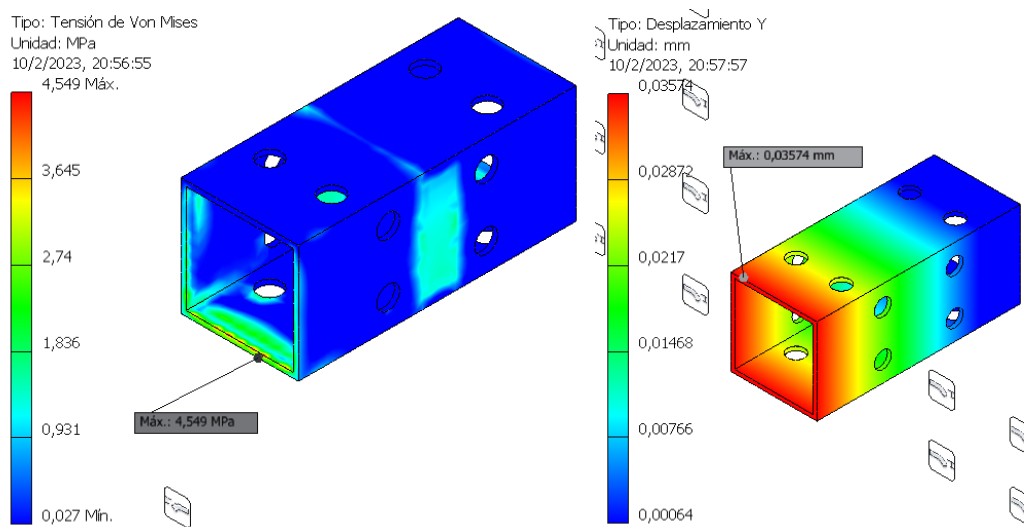


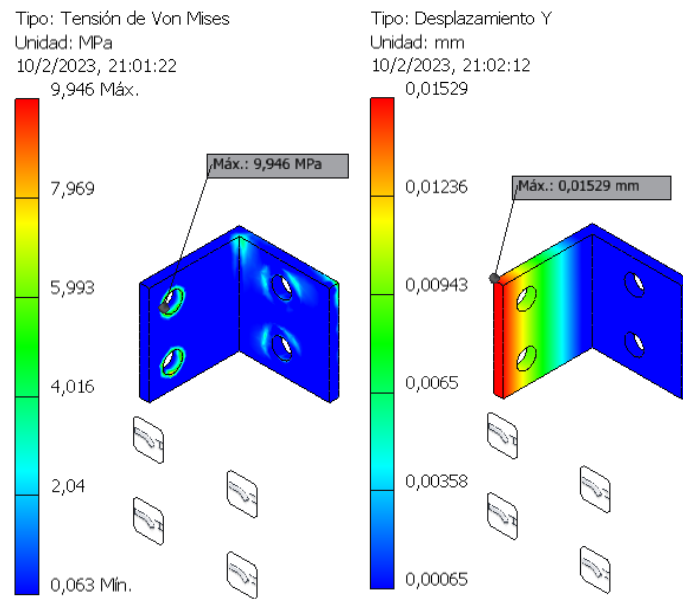
Figura F.2 Tensión de Von Mises y desplazamiento máximo de la placa de conexión del soporte de la computadora



**Figura F.3 Tensión de Von Mises y desplazamiento máximo de la pieza de agarre**



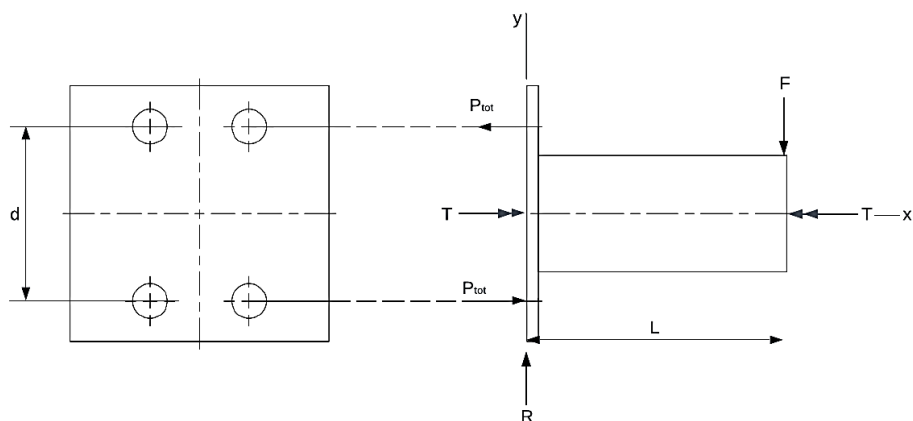
**Figura F.4 Tensión de Von Mises y desplazamiento máximo del perfil cuadrado**



**Figura F.5 Tensión de Von Mises y desplazamiento máximo del perfil ángulo**

- **Cálculo de uniones atornilladas en el soporte de la computadora**

Para el cálculo de los pernos se observa, mediante el diagrama de cuerpo libre de la Figura F.6, que la cabeza de los pernos en el perfil ángulo superior e inferior proporcionan un par. De esa forma, el perno está sujeto únicamente a las fuerzas horizontales.



**Figura F.6 Diagrama de cuerpo libre de las uniones atornilladas**

Se calcula la magnitud del par de la Figura F.6 mediante la Ecuación F.1:

$$F = 53.17 \text{ N [Peso de la computadora]}$$

$$d = 51.8 \text{ mm [Distancia entre pernos superior e inferior]}$$

$$L = 109.2 \text{ mm [Distancia entre la fuerza aplicada y la placa de conexión]}$$



$$P_{tot} * \frac{d}{2} + P_{tot} * \frac{d}{2} - F * L = 0 \quad (F.1)$$

$$P_{tot} = \frac{F * L}{d}$$

$$P_{tot} = \frac{53.17 \text{ N} * 109.2 \text{ mm}}{51.8 \text{ mm}}$$

$$P_{tot} = 112.09 \text{ N}$$

Luego se halla la fuerza por cada perno mediante la Ecuación F.2.

$$P_{tot} = 112.09 \text{ N} \text{ [Fuerza aplicada en dos pernos]}$$

$$N_{pernos} = 2 \text{ [Número de pernos en la parte superior o inferior]}$$

$$P = \frac{P_{tot}}{N_{pernos}} \quad (F.2)$$

$$P = \frac{112.09 \text{ N}}{2}$$

$$P = 56.05 \text{ N}$$

Posterior a eso, se selecciona un perno M5x0.8 con longitud de 12 mm grado ISO 4.8 para realizar los cálculos y determinar si las uniones empernadas fallan. Se comienza con identificar la resistencia de prueba mínima y área de esfuerzo por tensión del perno en la Tabla F.1 y Tabla F.2 respectivamente del libro Diseño de Máquinas – Cuarta edición de Norton:  $S_y = 310 \text{ MPa}$ ;  $A_t = 14.18 \text{ mm}^2$ .

**Tabla F.1 Especificaciones métricas y resistencias para pernos de acero [12]**

Número de clase	Intervalo del tamaño del diám. ext. (mm)	Resistencia de prueba mínima (MPa)	Resistencia a la fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tensión mínima (MPa)	Material
4.6	M5–M36	225	240	400	bajo o medio carbono
4.8	M1.6–M16	310	340	420	bajo o medio carbono
5.8	M5–M24	380	420	520	bajo o medio carbono
8.8	M3–M36	600	660	830	medio carbono, Q&T
9.8	M1.6–M16	650	720	900	medio carbono, Q&T
10.9	M5–M36	830	940	1 040	martensita al bajo carbono, Q&T
12.9	M1.6–M36	970	1 100	1 220	aleación, templada y revenida

Tabla F.2 Diámetros y áreas de pernos con estándar métricos ISO [12]

Diámetro mayor $d$ (mm)	Cuerdas gruesas			Cuerdas finas		
	Paso $p$ mm	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (mm <sup>2</sup> )	Paso $p$ mm	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (mm <sup>2</sup> )
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.40	1.50	20.16	333.06
24.0	3.00	20.32	352.50	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.41	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.59	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.55	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.72	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.75	3.00	35.32	1028.39

Se calcula la precarga considerando el 10% de la resistencia de prueba del perno mediante la Ecuación F.3.

$$f_p = 0.1 \text{ [Factor de precarga]}$$

$$S_y = 310 \text{ MPa [Esfuerzo de fluencia de prueba]}$$

$$A_t = 14.18 \text{ mm}^2 \text{ [Área de esfuerzo por tensión]}$$

$$F_i = f_p * S_p * A_t \tag{F.3}$$

$$F_i = 0.1 * 310 \text{ MPa} * 14.18 \text{ mm}^2$$

$$F_i = 439.58 \text{ N}$$

$$F_i = 439.58 \text{ N [Fuerza de precarga]}$$

Se calcula el área total de la sección transversal del perno con la Ecuación F.4.

$$d = 5 \text{ mm [Diámetro nominal del perno]}$$

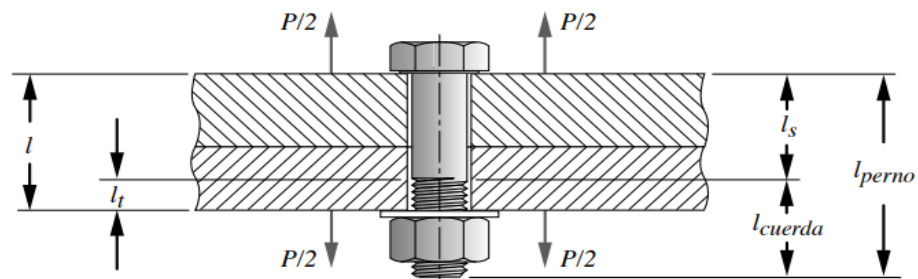
$$A_b = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (F.4)$$

$$A_b = \frac{\pi * (5 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_b = 19.63 \text{ mm}^2$$

$A_b = 19.63 \text{ mm}^2$  [Área de la sección transversal del perno]

Se definen la longitud del vástago sin cuerda y la longitud de cuerda del perno guiándose de la Figura F.7.



**Figura F.7 Ensamblaje con perno en tensión [12]**

$l_s = 0$  [Longitud del vástago sin cuerda del perno]

$l_t = 5.4 \text{ mm}$  [Longitud de cuerda cargada axialmente dentro de la zona de sujeción]

Se calcula la rigidez del perno mediante la Ecuación F.5.

$E_b = 200 \text{ GPa}$  [Módulo de elasticidad del perno]

$$k_b = \frac{A_t * A_b}{A_b * l_t + A_t * l_s} * E_b \quad (F.5)$$

$$k_b = \frac{(14.18 \text{ mm}^2) * (19.63 \text{ mm}^2)}{(19.63 \text{ mm}^2 * 5.4 \text{ mm}) + (14.18 \text{ mm}^2 * 0 \text{ mm})} * 200 \text{ GPa}$$

$$k_b = 5.25 * 10^{11} \frac{F}{\text{mm}}$$

$k_b = 5.25 * 10^{11} \frac{F}{\text{mm}}$  [Rigidez del perno]

En esta ocasión, el perno tendrá una arandela M5x10 para una mejor distribución de esfuerzos, por lo que se procede a calcular la rigidez de dicha arandela mediante la Ecuación F.6.

$D = 10 \text{ mm}$  [Diámetro exterior de la arandela]

$d = 5 \text{ mm}$  [Diámetro nominal del perno]

$E_m = 200 \text{ GPa}$  [Módulo de elasticidad de la arandela]

$l = 5.4 \text{ mm}$  [longitud del tornillo sometido a cargas axiales]

$$k_m = \frac{\pi(D^2 - d^2) E_m}{4 l} \quad (\text{F.6})$$

$$k_m = \frac{\pi((10 \text{ mm})^2 - (5 \text{ mm})^2) 200 \text{ GPa}}{4 \cdot 5.4 \text{ mm}}$$

$$k_m = 2.18 * 10^{12} \frac{F}{\text{mm}}$$

$k_m = 2.18 * 10^{12} \frac{F}{\text{mm}}$  [Rigidez de la arandela]

Por ende, el factor rigidez entre el perno y la arandela está dado por la Ecuación F.7.

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b} \quad (\text{F.7})$$

$$C = \frac{5.25 * 10^{11}}{2.18 * 10^{12} + 5.25 * 10^{11}}$$

$$C = 0.194$$

$C = 0.194$  [Factor de rigidez]

La porción de carga que experimentan el perno y la arandela se determinan mediante la Ecuación F.8 y F.9 respectivamente.

$P = 56.05 \text{ N}$  [Carga que experimenta el perno]

$$P_b = C * P \quad (\text{F.8})$$

$$P_b = 0.194 * 56.05 \text{ N}$$

$$P_b = 10.87 \text{ N}$$

$P_b = 10.87 \text{ N}$  [Porción de carga del perno]

$$P_m = (1 - C) * P \quad (\text{F.9})$$

$$P_m = (1 - 0.194) * 56.05 \text{ N}$$

$$P_m = 45.17 \text{ N}$$

$$P_m = 45.17 \text{ N [Porción de carga de la arandela]}$$

Se calcula las cargas resultantes en el perno y la arandela después de que se aplica la carga P mediante la Ecuación F.10 y F.11 respectivamente.

$$F_i = 439.58 \text{ N [Fuerza de precarga]}$$

$$F_b = F_i + P_b \quad (\text{F.10})$$

$$F_b = 439.58 \text{ N} + 10.87 \text{ N}$$

$$F_b = 450.45 \text{ N}$$

$$F_b = 450.45 \text{ N [Carga resultante en el perno]}$$

$$F_m = F_i - P_m \quad (\text{F.11})$$

$$F_m = 439.58 \text{ N} - 45.17 \text{ N}$$

$$F_m = 394.41 \text{ N}$$

$$F_m = 390.27 \text{ N [Carga resultante en la arandela]}$$

El esfuerzo por tensión máximo en el perno se halla utilizando la Ecuación F.12

$$F_b = 450.45 \text{ N [Carga resultante en el perno]}$$

$$A_t = 14.18 \text{ mm}^2 \text{ [Área de esfuerzo por tensión]}$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} \quad (\text{F.12})$$

$$\sigma_b = \frac{450.45 \text{ N}}{14.18 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_b = 31.77 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 31.77 \text{ MPa [Esfuerzo por tensión máximo]}$$

El factor de seguridad contra la fluencia se calcula mediante la Ecuación F.13.

$$S_y = 310 \text{ MPa [Esfuerzo de fluencia de prueba]}$$

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b} \quad (\text{F.13})$$

$$N_y = \frac{310 \text{ MPa}}{31.77 \text{ MPa}}$$

$$N_y = 9.76$$

$N_y = 9.76$  [Factor de seguridad contra la fluencia]

Finalmente, se calcula la carga requerida para separar la junta y el factor de seguridad contra la separación mediante las ecuaciones F.14 y F.15 respectivamente.

$F_i = 439.58 \text{ N}$  [Fuerza de precarga]

$C = 0.194$  [Factor de rigidez]

$$P_0 = \frac{F_i}{(1-C)} \quad (\text{F.13})$$

$$P_0 = \frac{439.58 \text{ N}}{(1 - 0.194)}$$

$$P_0 = 545.40 \text{ N}$$

$P_0 = 545.40 \text{ N}$  [Carga requerida para separar la junta]

$P = 56.05 \text{ N}$  [Carga que experimenta el perno]

$$N_{\text{separación}} = \frac{P_0}{P} \quad (\text{F.13})$$

$$N_{\text{separación}} = \frac{545.40 \text{ N}}{56.05 \text{ N}}$$

$$N_{\text{separación}} = 9.73$$

$N_{\text{separación}} = 9.73$  [Factor de seguridad contra la separación de la junta]

Las configuraciones de las uniones atornilladas para intervalos de precarga de 0 a 100% de la resistencia de prueba pueden observarse en la Figura F.8, donde se muestra que para precargas cercanas al 10%, el factor de seguridad para la fluencia y la separación de las juntas llegan a equilibrarse. Por otro lado, se visualiza que se necesita un porcentaje de precarga bajo para tener factores de seguridad mayores a 1.

Según [12], un caso crítico en el análisis de carga estática es cuando se aplica una precarga al 90% de la resistencia de prueba. En este caso, se evidencia mediante la Figura F.8, que el factor de seguridad contra la fluencia es mayor a 1 en el caso crítico, sin embargo, es bajo puesto que se precargó el perno a un valor cercano a la resistencia de fluencia.

De esta manera, el diseño recomendado es un perno de grado ISO 4.8 con diámetro M5x0.8 con longitud de 12 mm y una arandela M5x10.

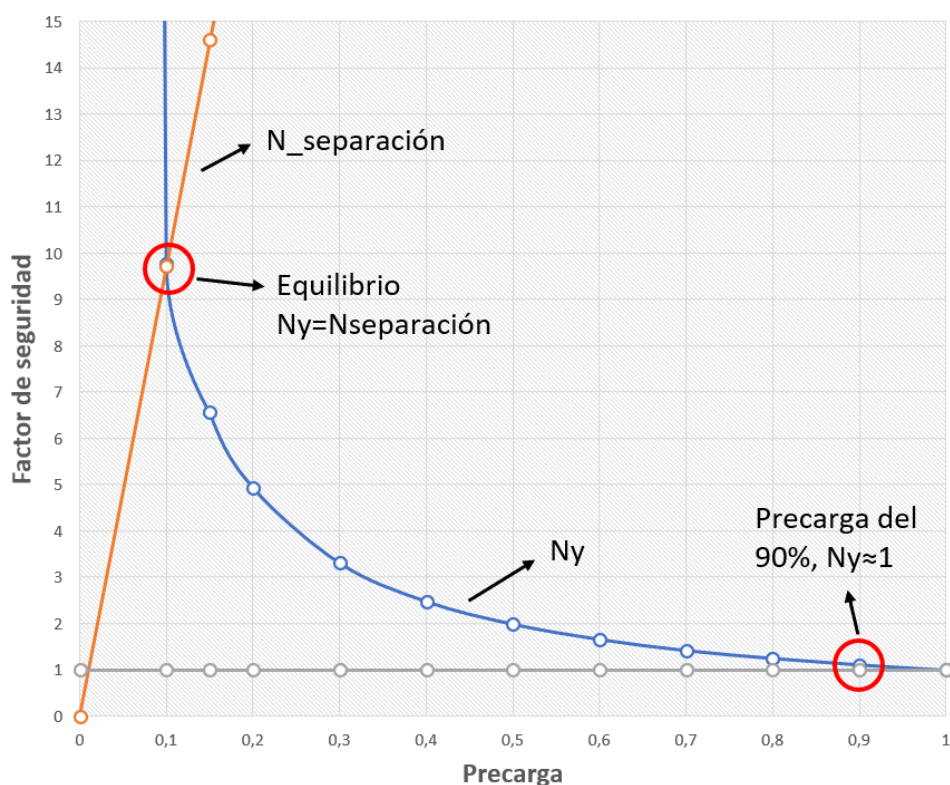


Figura F.8 Factores de seguridad vs precarga

# APÉNDICE G

## ANÁLISIS DEL GENERADOR DE COMPONENTES DE EJE DE INVENTOR

- Ejes guías

Generador de componentes de eje

Diseño **Cálculo** Gráficos

Material

- Acero inoxidable
- Módulo de elasticidad E: 190000 MPa
- Módulo de rigidez G: 75000 MPa
- Densidad  $\rho$ : 8030 kg/m<sup>3</sup>

Propiedades de cálculo

- Usar densidad
- Usar coef. de desplazamiento cortante: 1,188 su
- Número de divisiones de eje: 1000 su
- Modo de tensión reducida: HMMH

Cargas y soportes

Cargas

- Fuerza radial
- Fuerza radial

Resultados

L	500,000 mm
Masa	0,454 kg
$s_B$	18,336 MPa
$t_S$	0,552 MPa
t	0,000 MPa
$s_T$	0,000 MPa
$s_{red}$	18,360 MPa
$f_{m\acute{a}x}$	255,335 $\mu\text{m}$
f	0,00 gr

1. Carga

$f_Y$	0,000 $\mu\text{m}$
$f_X$	0,000 $\mu\text{m}$

2. Carga

$f_Y$	113,185 $\mu\text{m}$
$f_X$	0,000 $\mu\text{m}$

1. Soporte

$F_Z$	0,000 N
$F_Y$	9,362 N
$F_X$	0,000 N
$Y_Y$	0,000 $\mu\text{m}/\text{N}$
$f_Y$	0,000 $\mu\text{m}$
$f_X$	0,000 $\mu\text{m}$

2. Soporte

$F_Z$	0,000 N
$F_Y$	-4,908 N
$F_X$	0,000 N
$Y_Y$	0,000 $\mu\text{m}/\text{N}$
$f_Y$	-0,000 $\mu\text{m}$
$f_X$	0,000 $\mu\text{m}$

Vista preliminar en 2D

Figura G.1 Entorno de cálculos para el eje guía

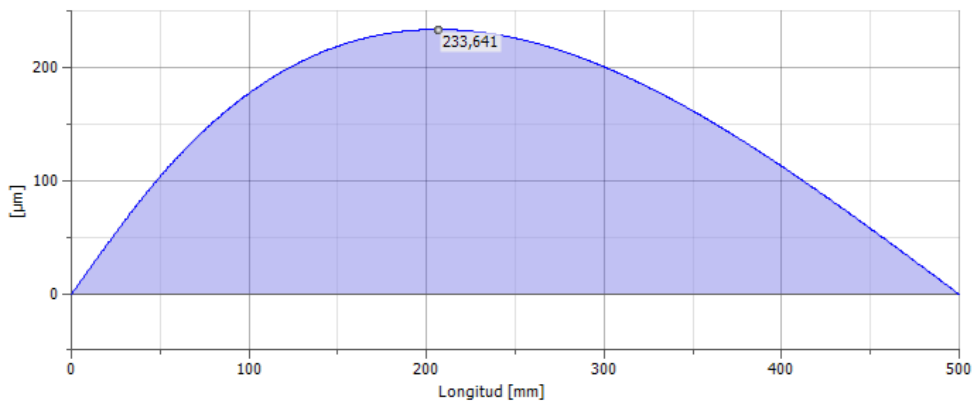
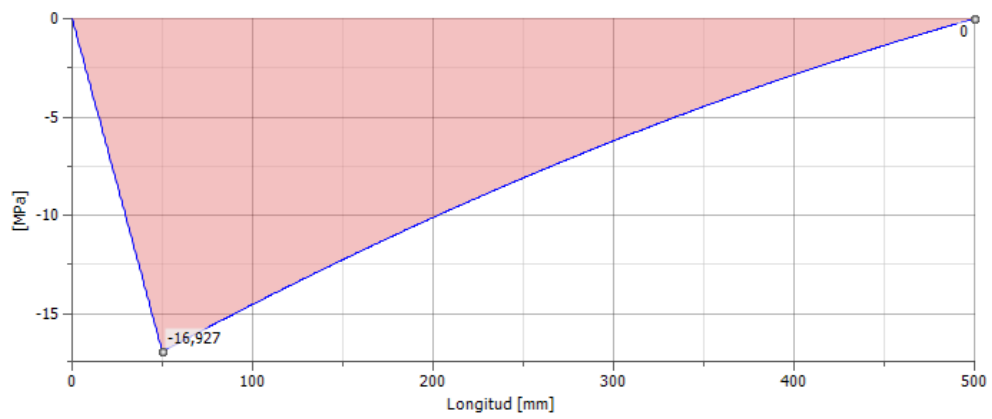
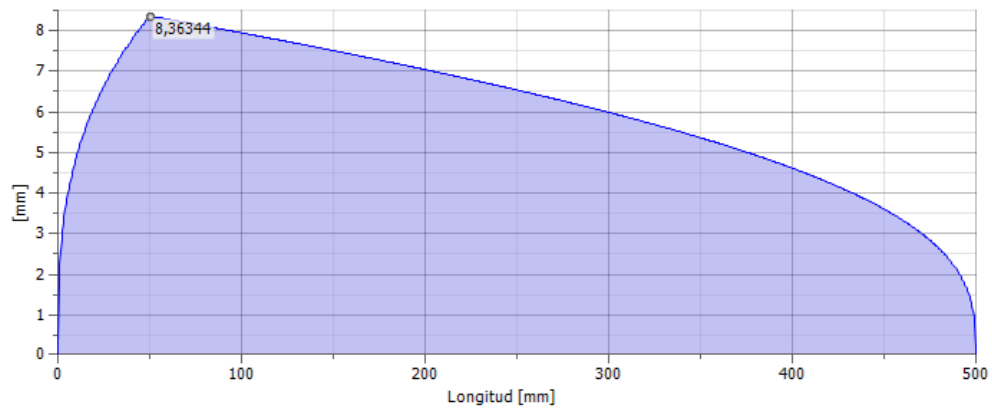


Figura G.2 Gráfica de deflexión del eje guía





**Figura G.3 Gráfica de esfuerzo de flexión del eje guía**



**Figura G.4 Diámetro ideal o recomendado por Inventor para el eje guía**

- Tornillo de potencia

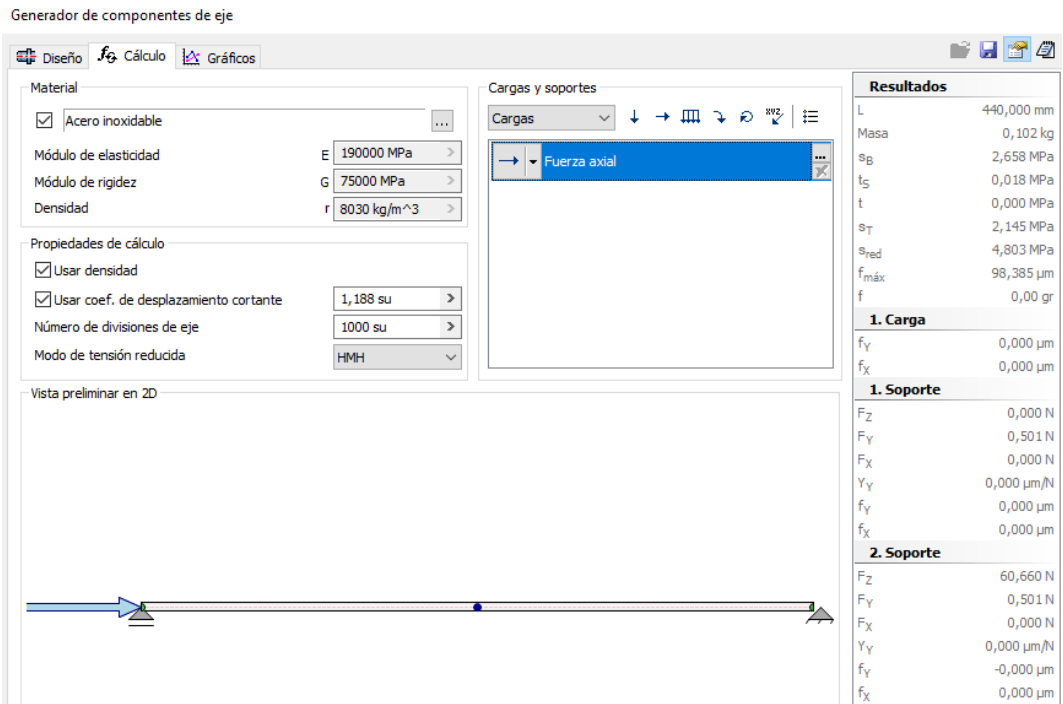


Figura G.5 Entorno de cálculos para el tornillo de potencia

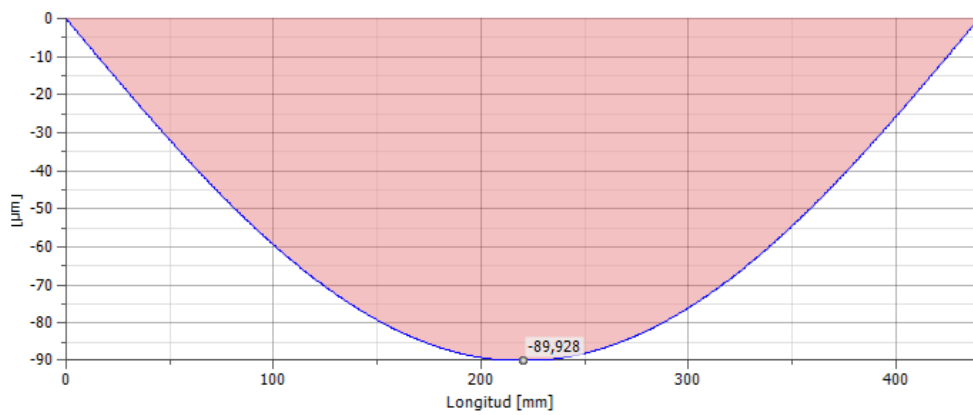
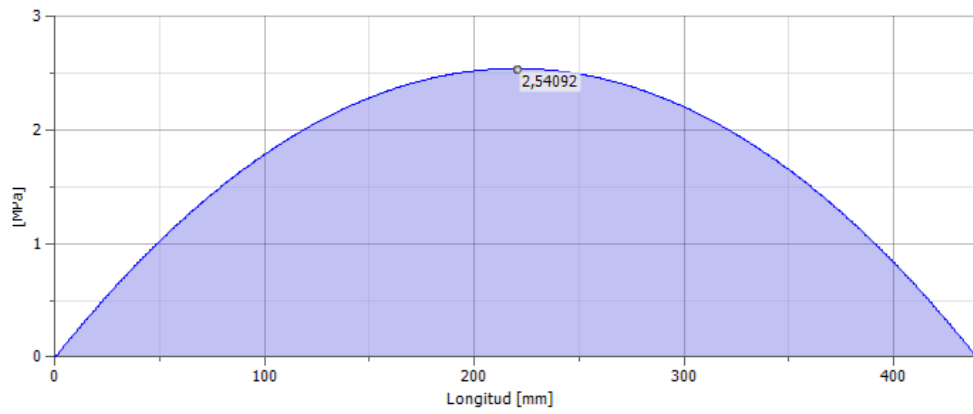
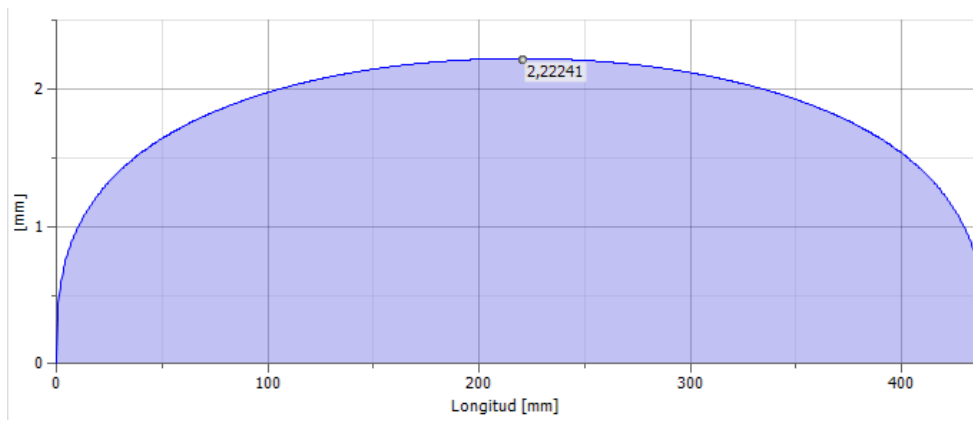


Figura G.6 Gráfica de deflexión del tornillo de potencia



**Figura G.7 Gráfica de esfuerzo de flexión del tornillo de potencia**



**Figura G.8 Diámetro ideal o recomendado por Inventor para el tornillo de potencia**

# APÉNDICE H

## DIMENSIONES DE COMPONENTES UTILIZADOS EN IMPRESORA 3D O ROUTERS

### CNC

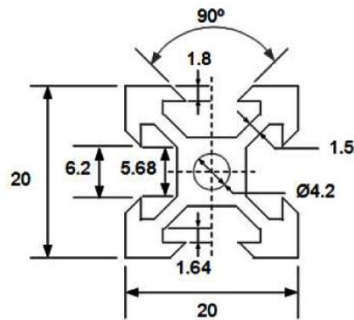


Figura H.1 Perfil de aluminio serie V 20x20 [37]

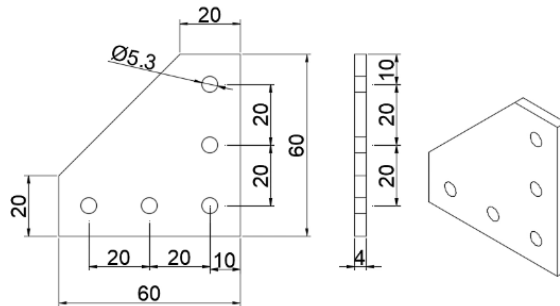
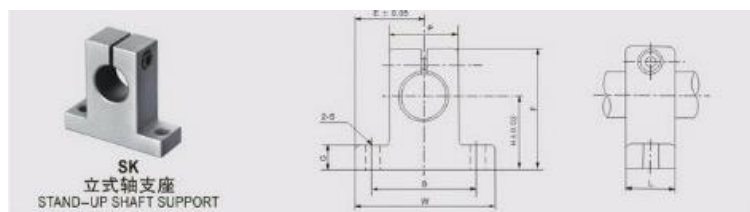
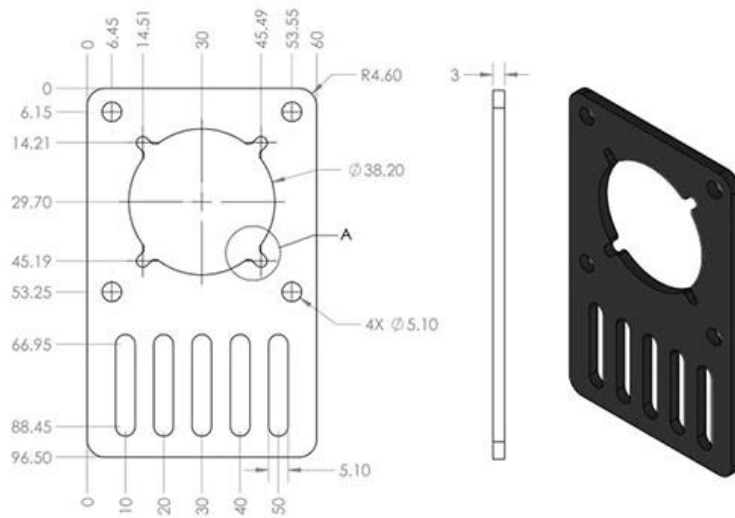


Figura H.2 Placa de unión L serie 20 [38]



型号 MODEL NO.	轴径 SHAFT DIAMETER	主要尺寸 MAIN DIMENSIONS										锁紧螺栓 DESIGNATION OF CLAMPING BOLT	安装螺栓 DESIGNATION OF MOUNTING BOLT	重量 WEIGHT (KG)
		H	E	W	L	F	G	P	B	S				
SK3	3	20	21	42	14	32.8	6	18	32	5.5	M4	M5	0.024	
SK4	4	20	21	42	14	32.8	6	18	32	5.5	M4	M5	0.024	
SK5	5	20	21	42	14	32.8	6	18	32	5.5	M4	M5	0.024	
SK6	6	20	21	42	14	32.8	6	18	32	5.5	M4	M5	0.024	
SK8	8	20	21	42	14	32.8	6	18	32	5.5	M4	M5	0.024	
SK10	10	20	21	42	14	32.8	6	18	32	5.5	M4	M5	0.024	
SK12	12	23	21	42	14	37.5	6	20	32	5.5	M4	M5	0.030	
SK13	13	23	21	42	14	37.5	6	20	32	5.5	M4	M5	0.030	

Figura H.3 SK12 eje lineal soporte eje extremo rodamientos para piezas CNC guía lineal [39]



Nema 23 Stepper Motor Mount Plate

Size: T3\*60\*96.5mm

Figura H.4 Placa de montaje para motor Nema 23 [40]

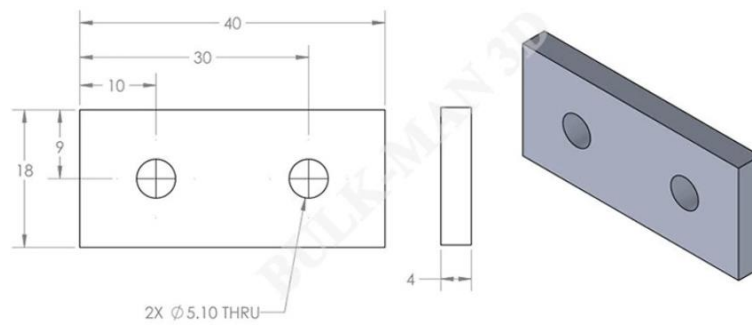


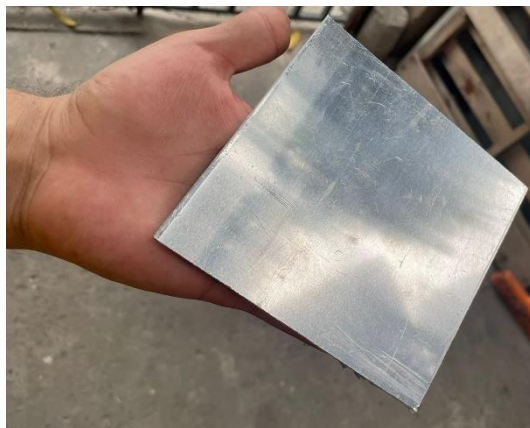
Figura H.5 Placa de unión de dos huecos serie 20x20 [41]

# APÉNDICE I

## PROCESO DE MECANIZADO Y ENSAMBLE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN LINEAL



**Figura I.1 Platina de aluminio**



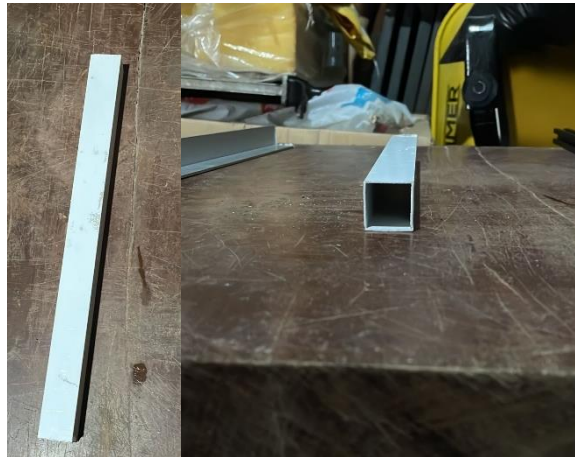
**Figura I.2 Placa de conexión del soporte de la computadora**



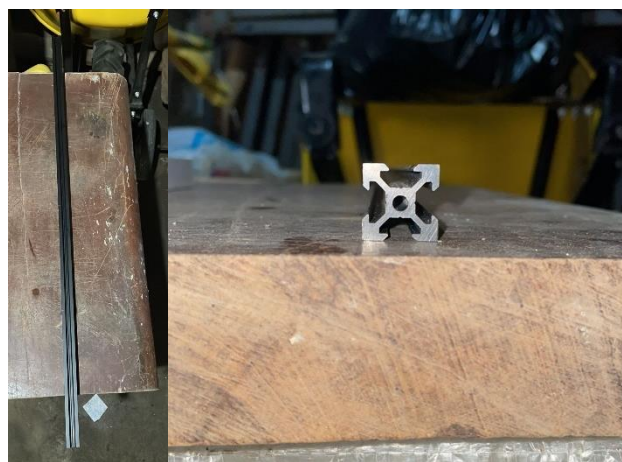
**Figura I.3 Placa de conexión del tornillo de potencia**



**Figura I.4 Perfil ángulo**



**Figura I.5 Perfil cuadrado**



**Figura I.6 Perfil de aluminio serie V 20x20**



**Figura I.7 Proceso de taladrado**



**Figura I.8 Proceso de fresado**



**Figura I.9 Proceso de corte con amoladora**

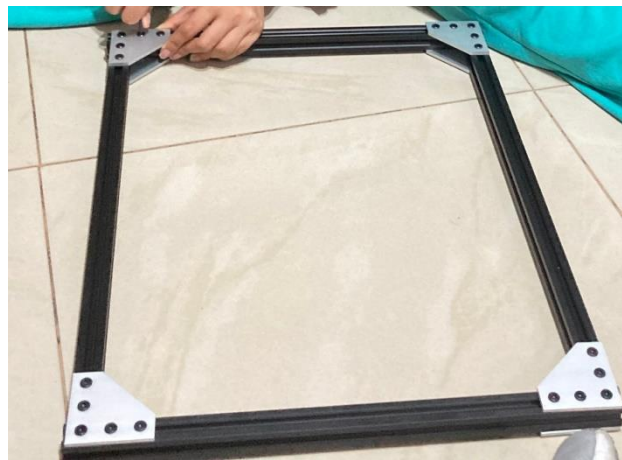




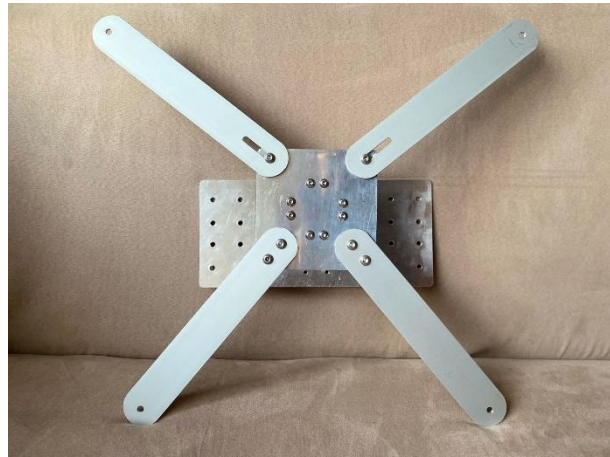
**Figura I.10 Soporte del final de carrera**



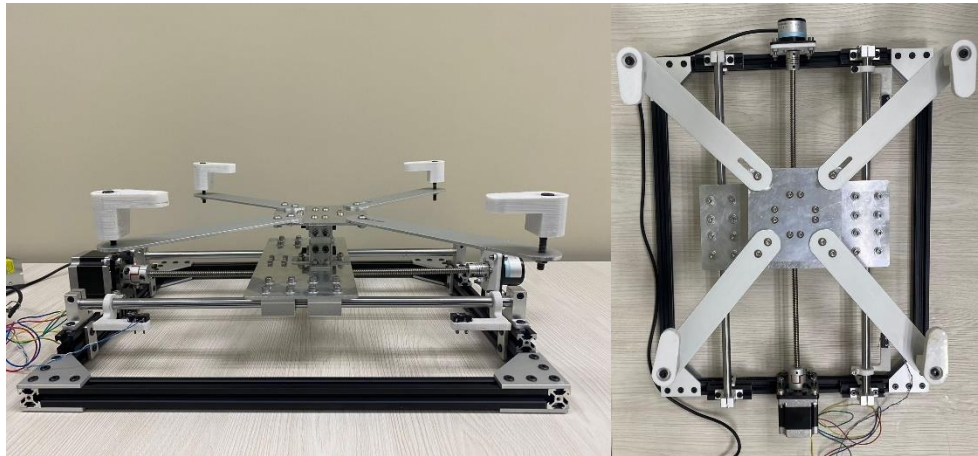
**Figura I.11 Piezas de agarre de la computadora**



**Figura I.12 Marco soporte del sistema de transmisión lineal**

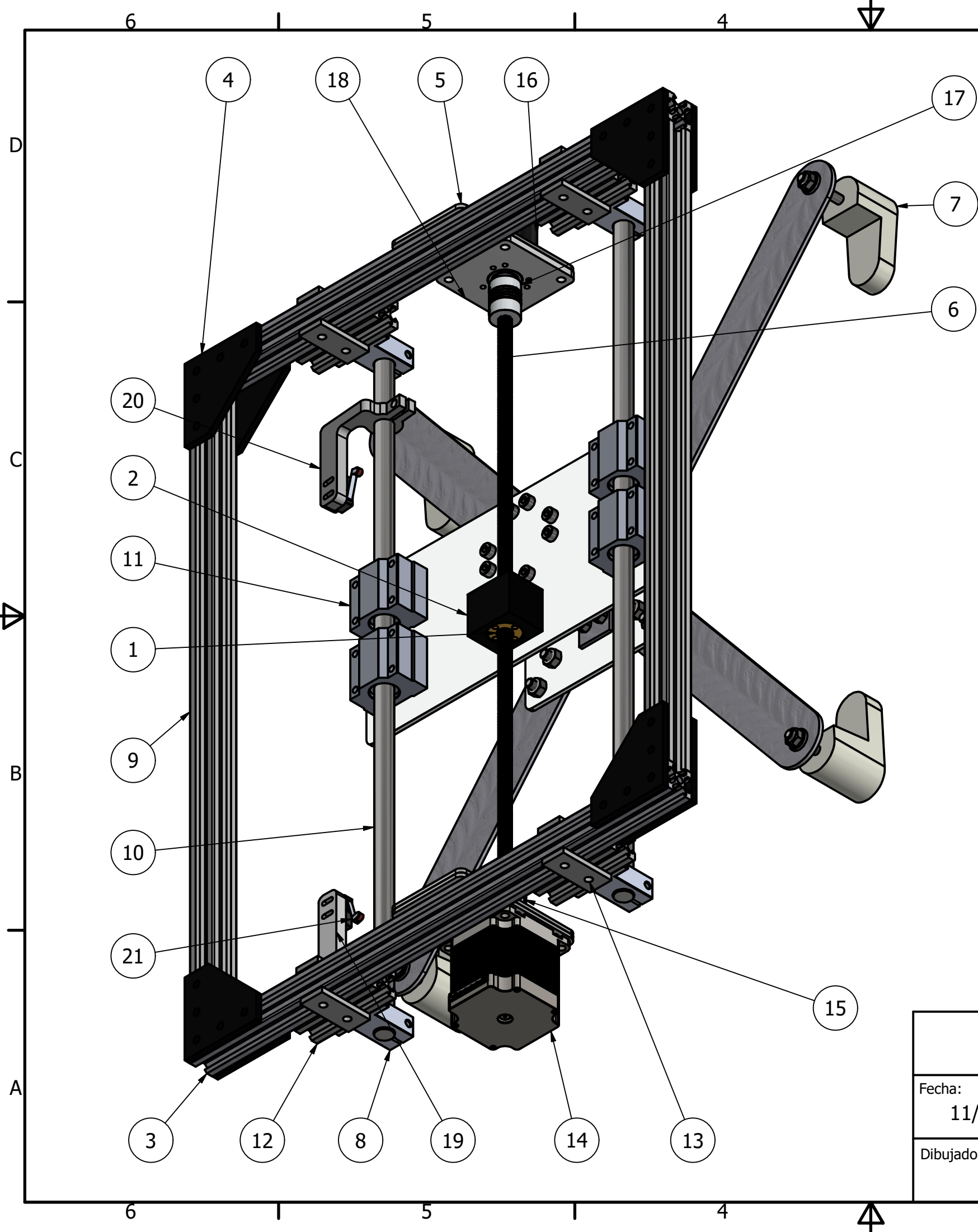


**Figura I.13 Soporte de la computadora**



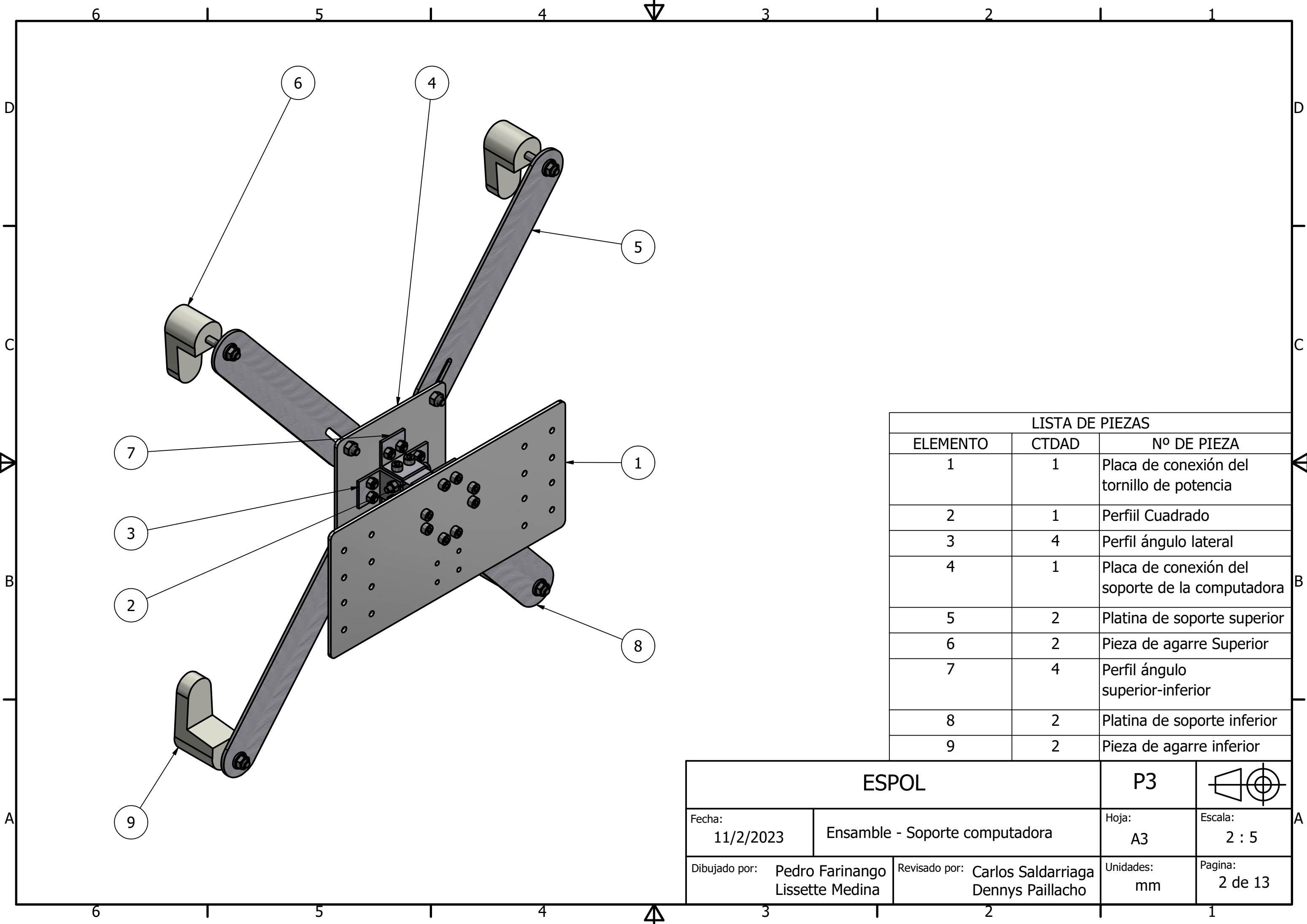
**Figura I.14 Sistema de transmisión lineal por tornillo de potencia**

**APÉNDICE J**  
**PLANOS MECÁNICOS**



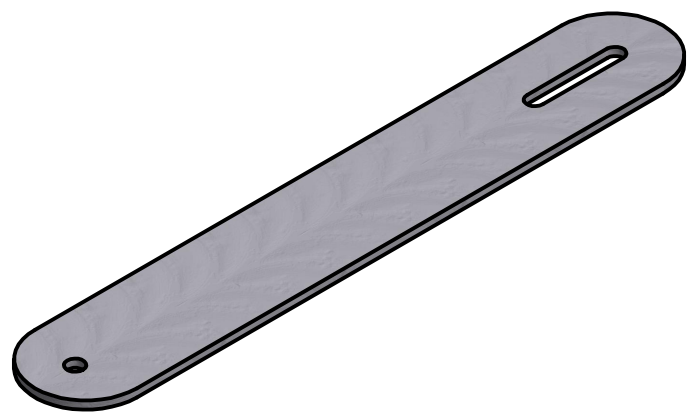
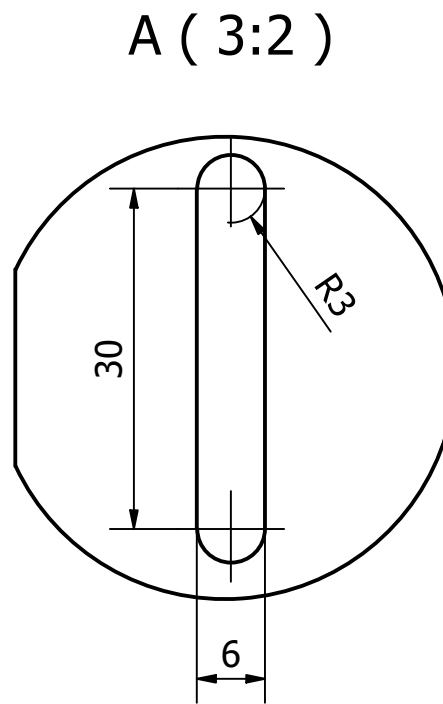
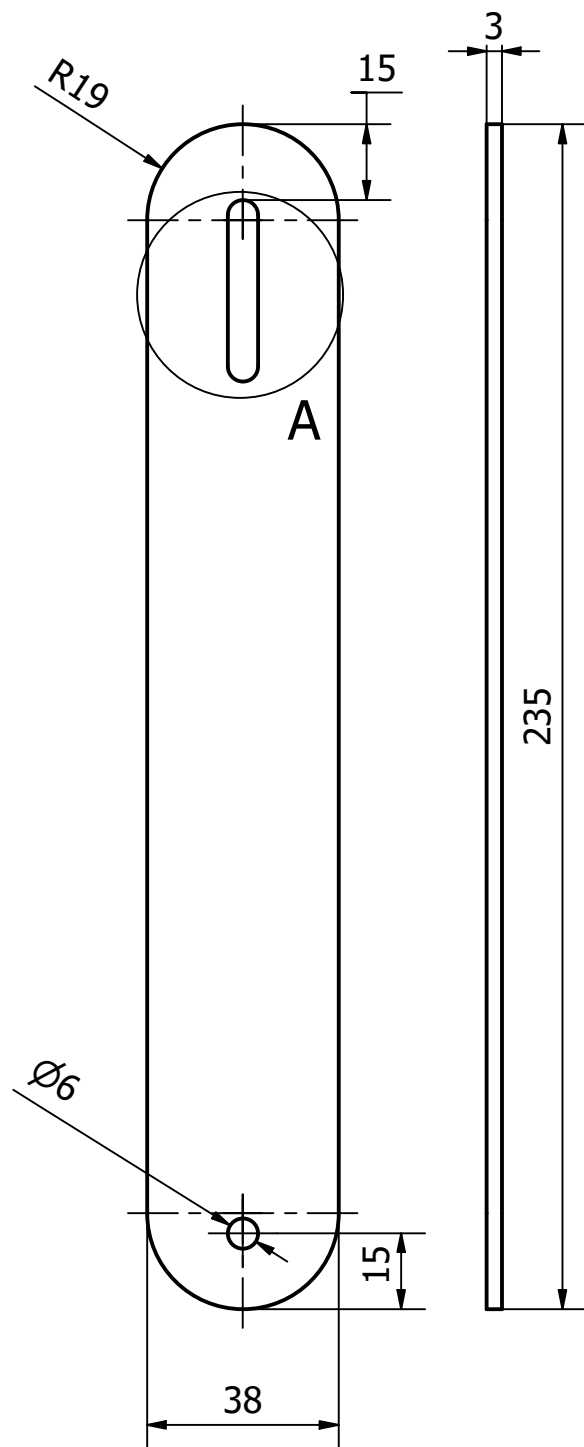
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Tuerca de latón Hilos 1, Pasos 2 mm
2	1	Camiseta Trapezoidal T8
3	2	Perfil de aluminio serie V 20x20 400 mm
4	8	Placa de unión L de 5 agujeros
5	3	Placa de montaje para Nema 23
6	1	Tornillo de Potencia T8 Hilos 1, Pasos 2mm, Largo 440 mm
7	1	Soporte de la computadora
8	4	Soporte vertical SK12
9	2	Perfil de aluminio serie V 20x20 464 mm
10	2	Eje acero inoxidable D16mm L500mm
11	4	Rodamiento lineal SC12UU
12	4	Perfil de aluminio serie V 20x20 65 mm
13	8	Placa de unión recta dos agujeros serie 20
14	1	Motor Nema 23 1.3 Nm
15	1	Acople telaraña 8x8 mm
16	1	Encoder foto eléctrico
17	1	Acople Flexible 6.35x8 mm
18	1	Soporte para encoder
19	1	Soporte para el final de carrera
20	1	Soporte para el final de carrera (espejo)
21	2	Final de carrera

<b>ESPOL</b>		<b>P3</b>	
Fecha: 11/2/2023	Ensamble - Carro Vertical		Hoja: A3
Dibujado por: Pedro Farinango Lissette Medina		Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm
			Escala: 2 : 5
			Pagina: 1 de 13

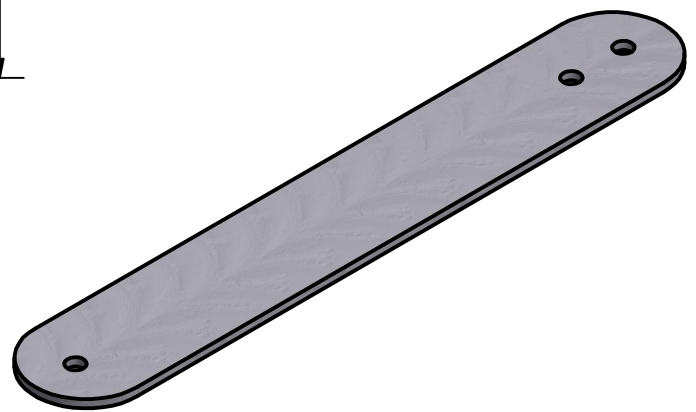
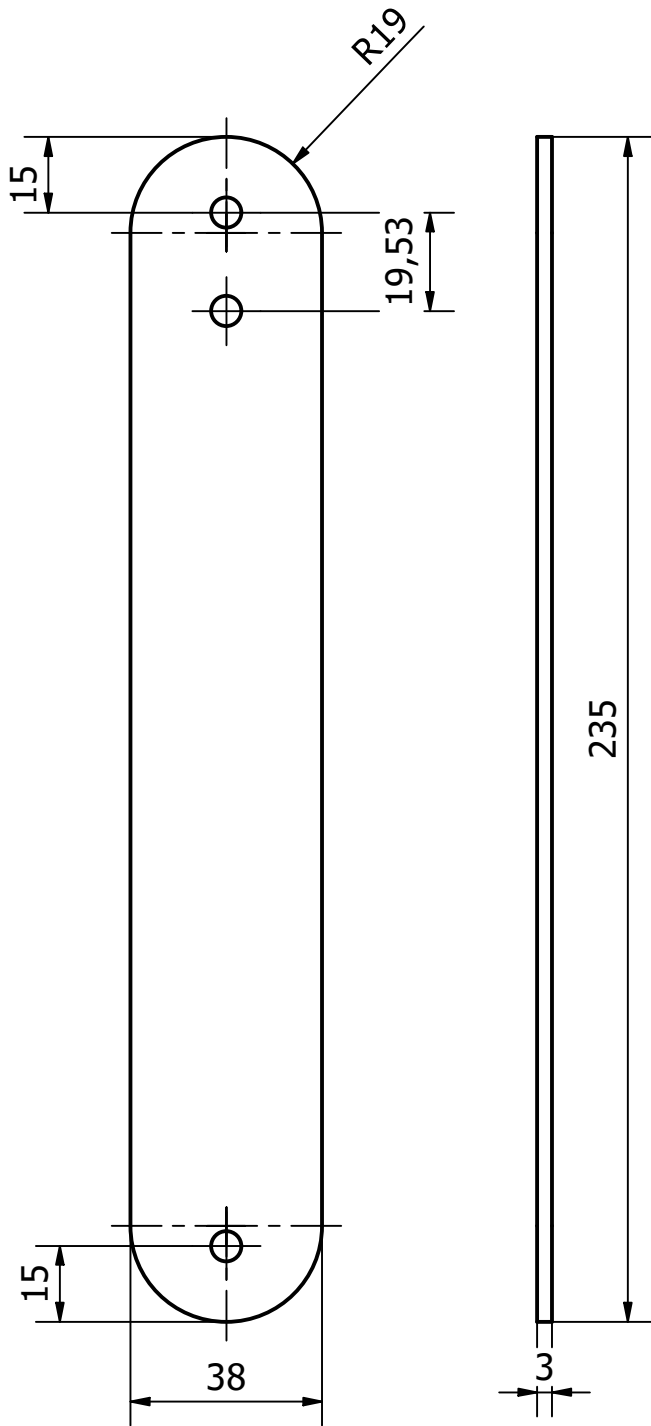


LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Placa de conexión del tornillo de potencia
2	1	Perfil Cuadrado
3	4	Perfil ángulo lateral
4	1	Placa de conexión del soporte de la computadora
5	2	Platina de soporte superior
6	2	Pieza de agarre Superior
7	4	Perfil ángulo superior-inferior
8	2	Platina de soporte inferior
9	2	Pieza de agarre inferior

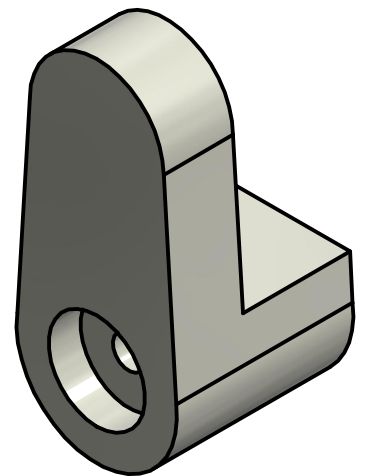
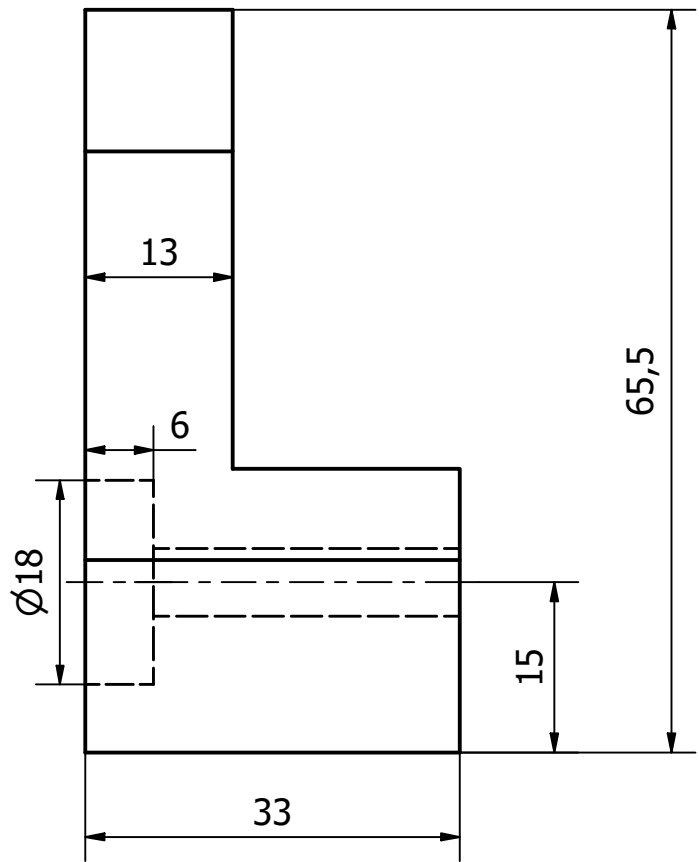
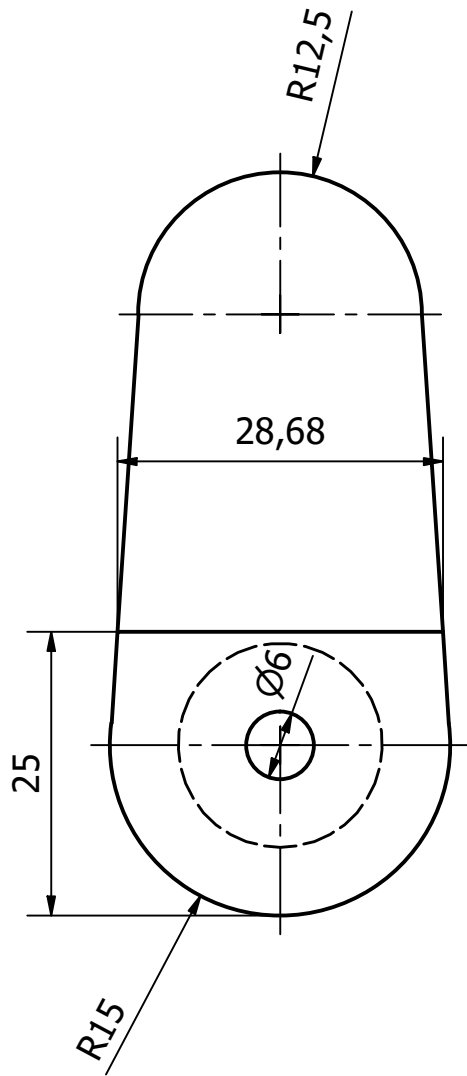
<b>ESPOL</b>		<b>P3</b>	
Fecha: 11/2/2023	Ensamble - Soporte computadora		Hoja: A3
Dibujado por: Pedro Farinango Lissette Medina	Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm	Página: 2 de 13



ESPOL		P3	
Fecha: 11/2/2023	Platina de soporte superior	Hoja: A4	Escala: 2 : 3
Dibujado por: Pedro Farinango Lissette Medina	Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm	Pagina: 3 de 13

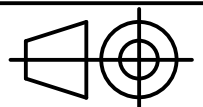


<b>ESPOL</b>		<b>P3</b>	
Fecha: 11/2/2023	Platina de soporte inferior	Hoja: A4	Escala: 2 : 3
Dibujado por: Pedro Farinango Lissette Medina	Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm	Pagina: 4 de 13



ESPOL

P3



Fecha:

11/2/2023

Pieza de agarre Superior

Hoja:

A4

Escala:

3 : 2

Dibujado por:

Pedro Farinango  
Lissette Medina

Revisado por:

Carlos Saldarriaga  
Dennys Paillacho

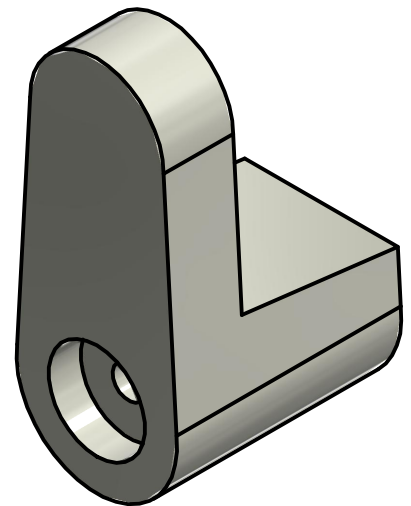
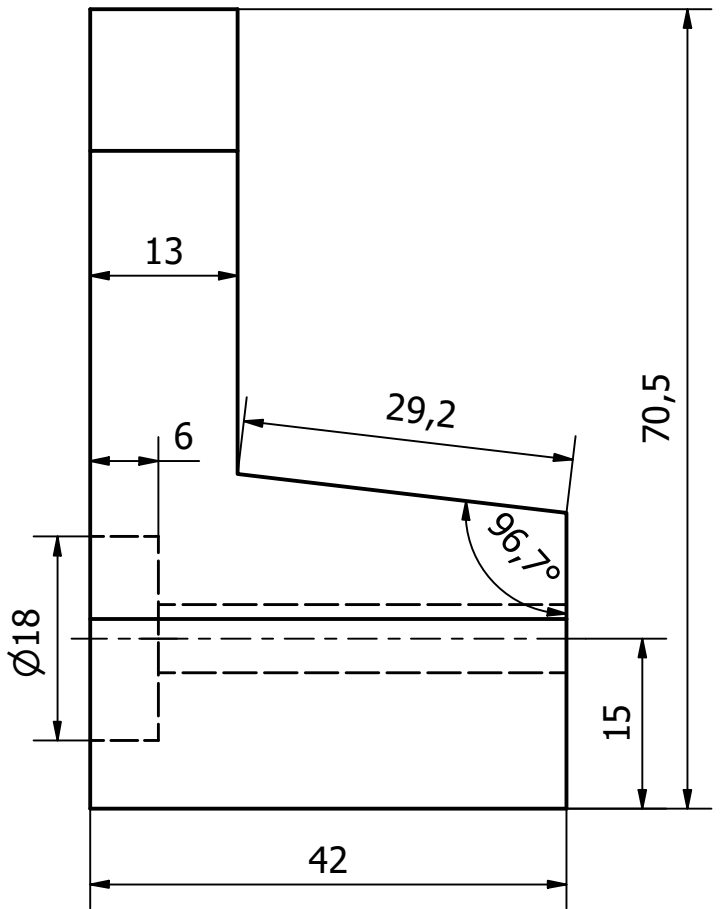
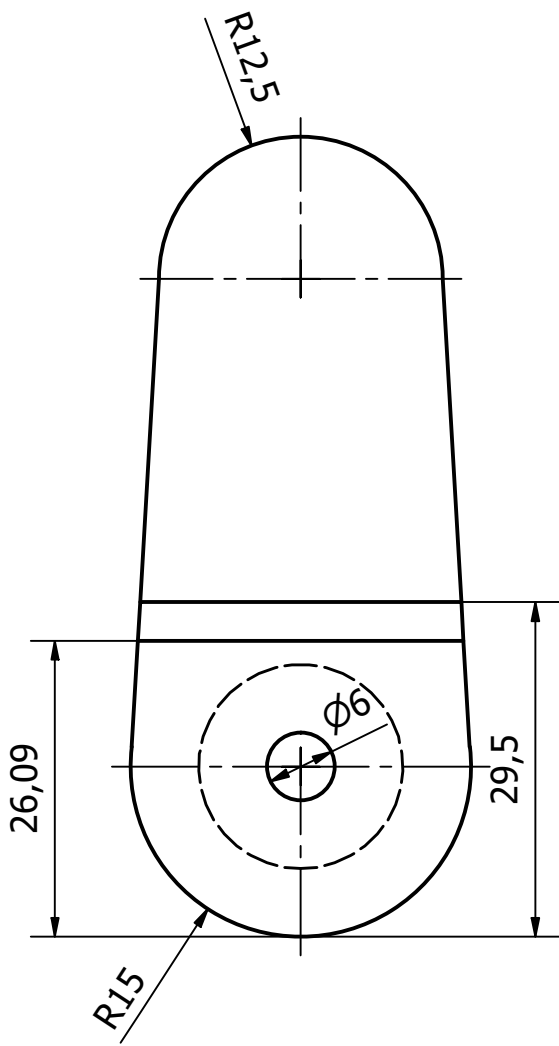
Unidades:

mm

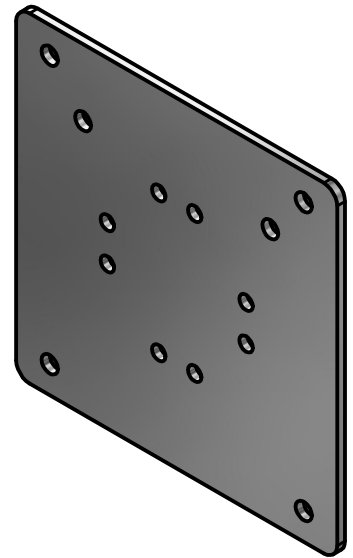
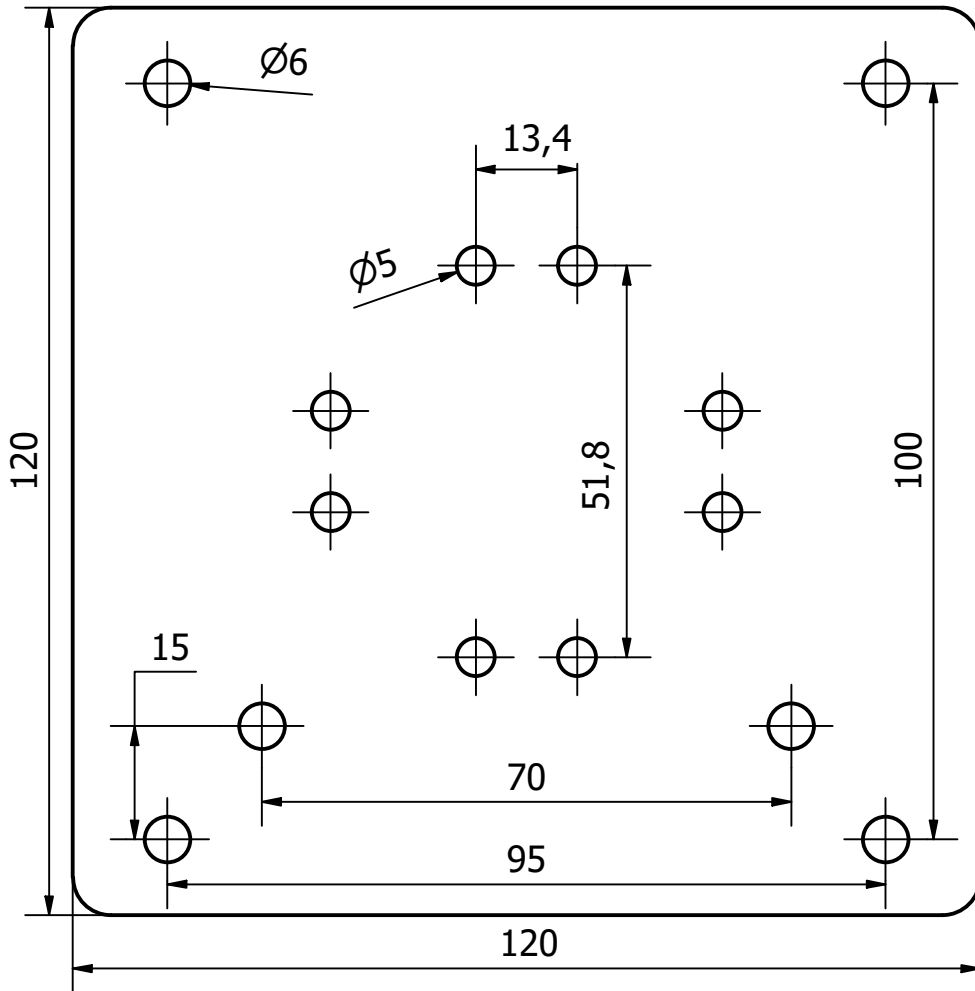
Pagina:

5 de 13

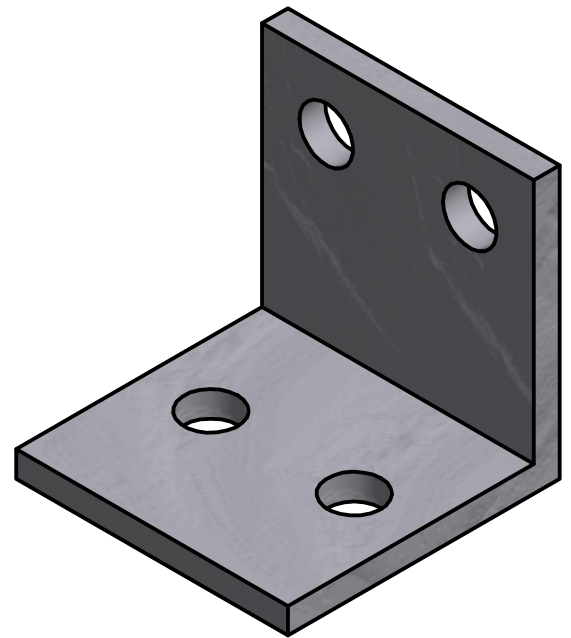
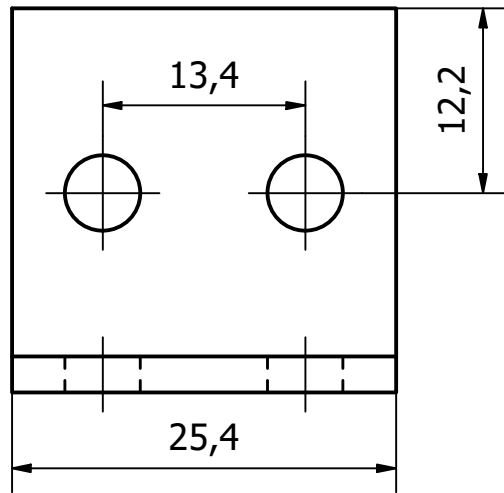
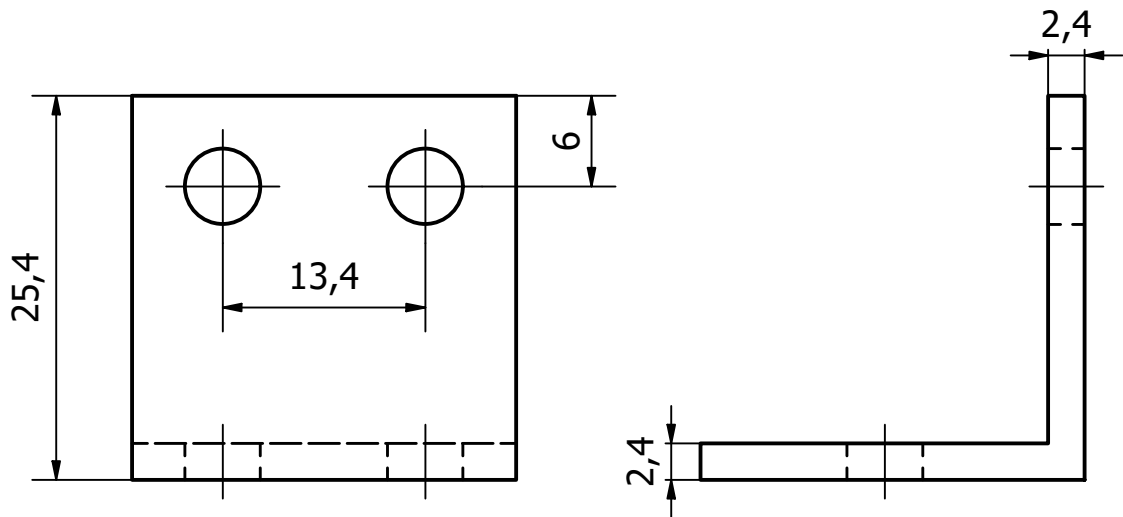




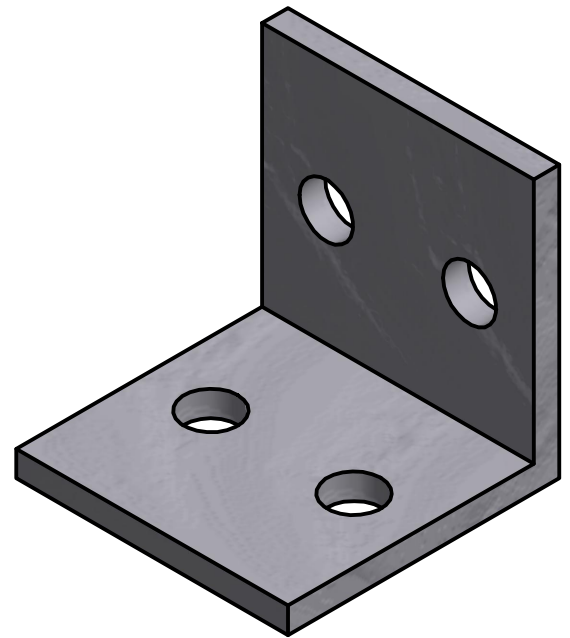
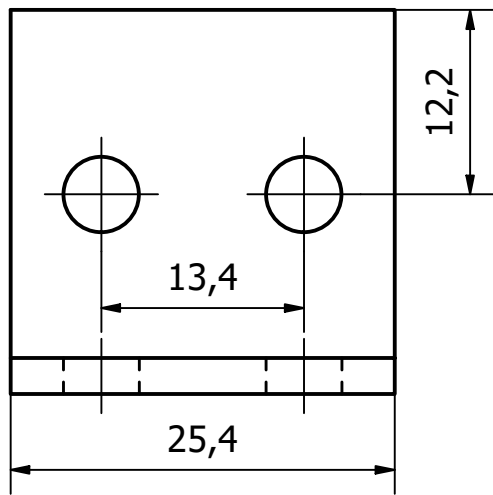
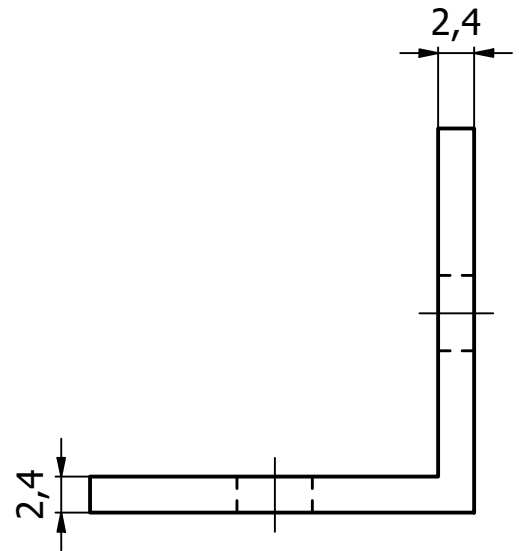
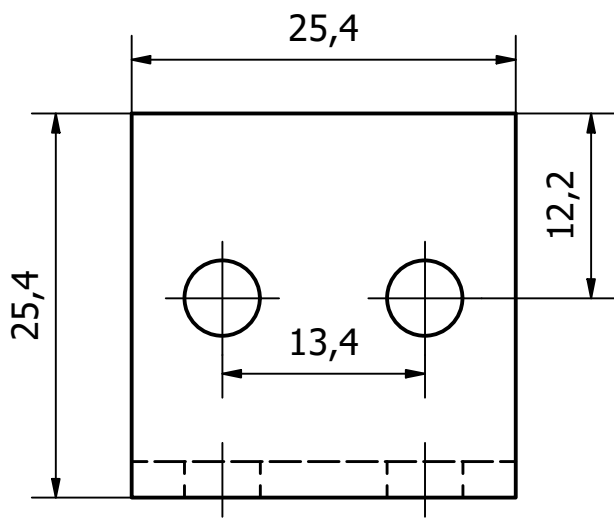
<b>ESPOL</b>		<b>P3</b>	
Fecha: <b>11/2/2023</b>	Pieza de agarre inferior	Hoja: <b>A4</b>	Escala: <b>3 : 2</b>
Dibujado por: <b>Pedro Farinango Lissette Medina</b>	Revisado por: <b>Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho</b>	Unidades: <b>mm</b>	Pagina: <b>6 de 13</b>



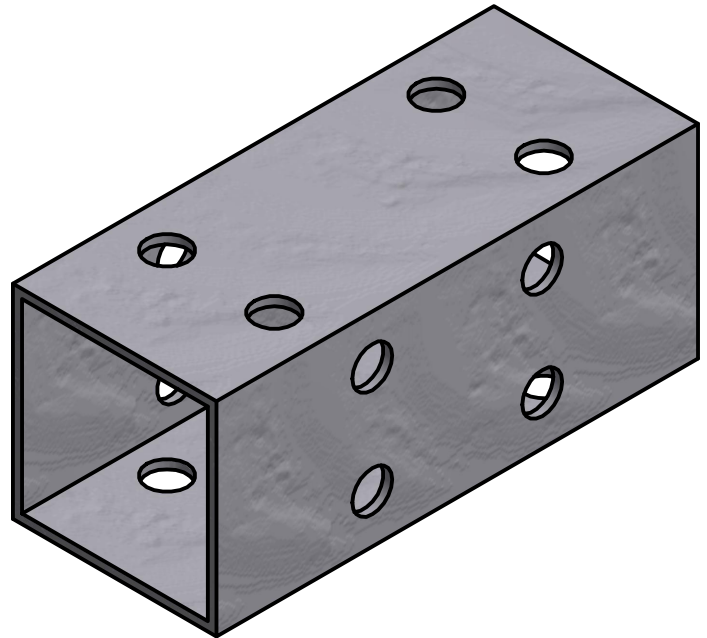
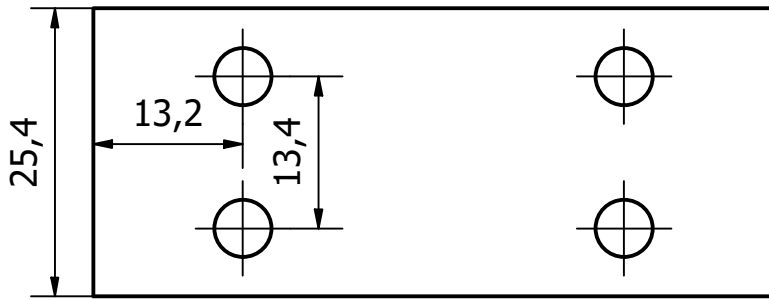
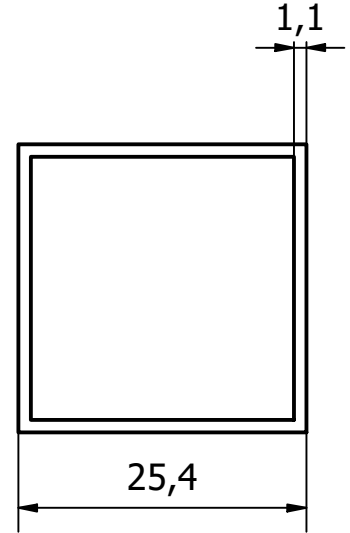
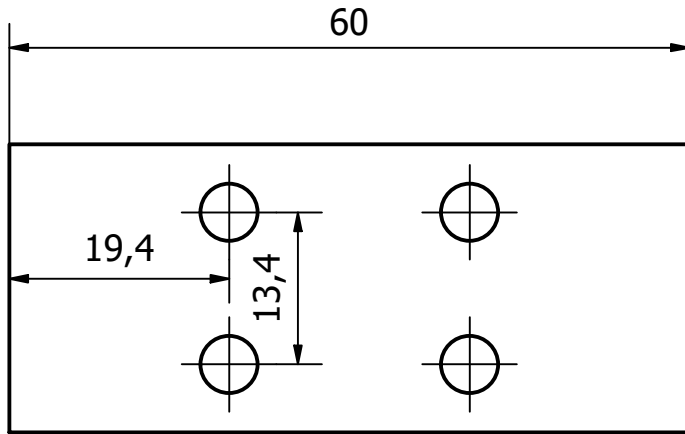
<b>ESPOL</b>		<b>P3</b>	
Fecha: 11/2/2023	Placa de conexión del soporte de la computadora	Hoja: A4	Escala: 1 : 1
Dibujado por: Pedro Farinango Lissette Medina	Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm	Página: 7 de 13

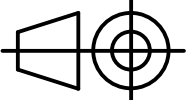


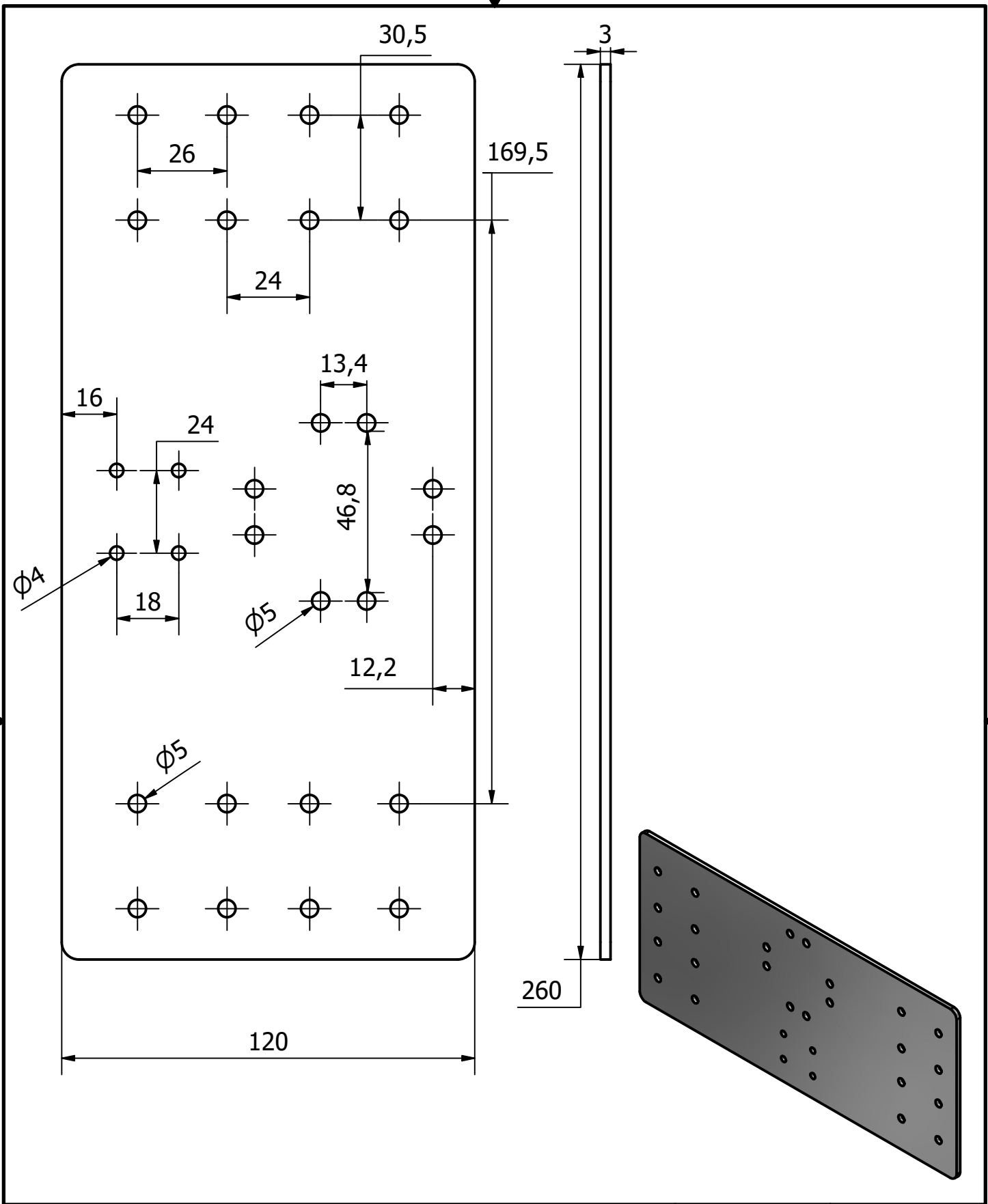
<b>ESPOL</b>		<b>P3</b>	
Fecha: 11/2/2023	Perfil ángulo lateral	Hoja: A4	Escala: 2 : 1
Dibujado por: Pedro Farinango Lissette Medina	Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm	Página: 8 de 13



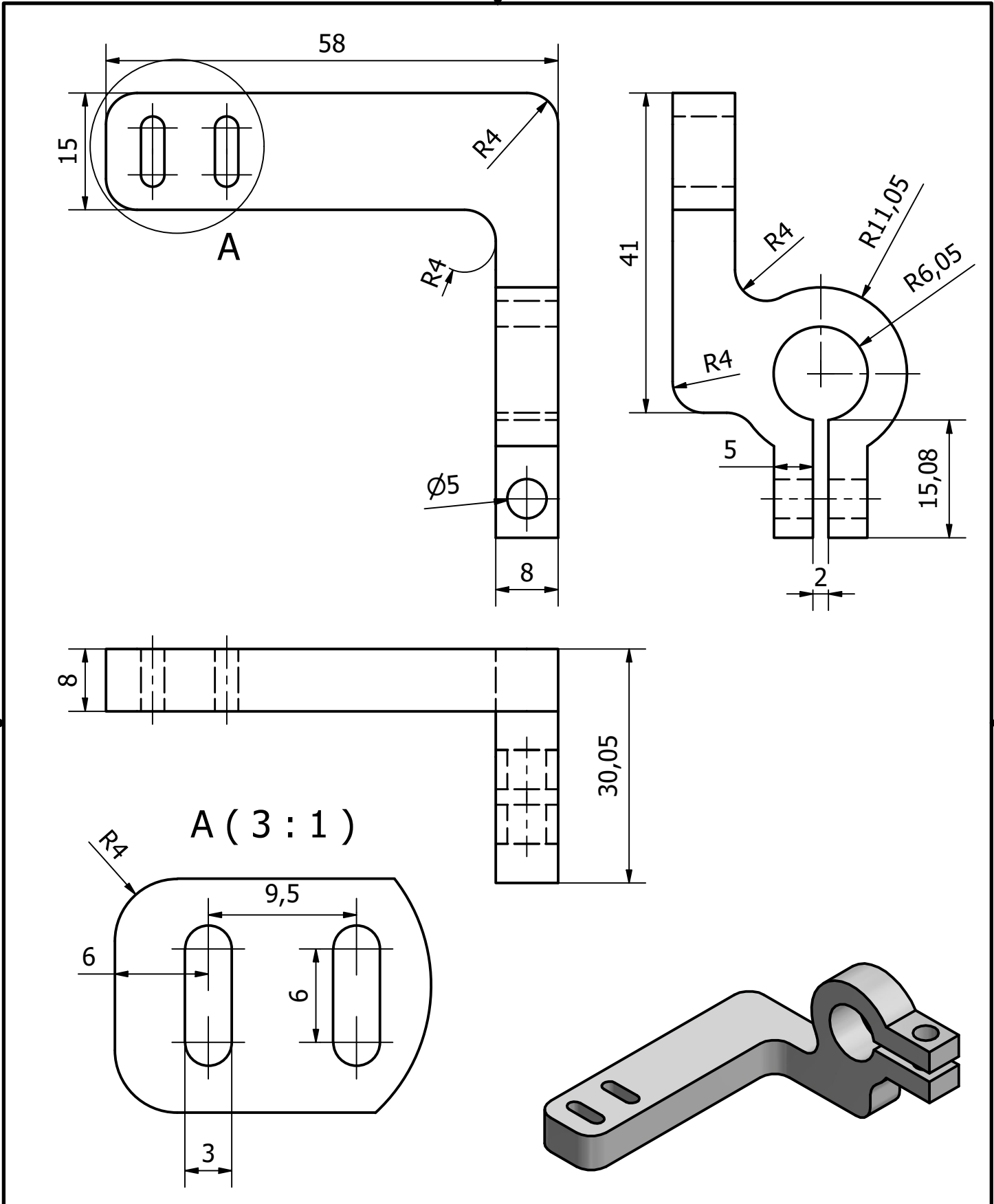
<b>ESPOL</b>		<b>P3</b>	
Fecha: 11/2/2023	Perfil ángulo superior-inferior	Hoja: A4	Escala: 2 : 1
Dibujado por: Pedro Farinango Lissette Medina	Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm	Página: 9 de 13

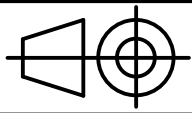


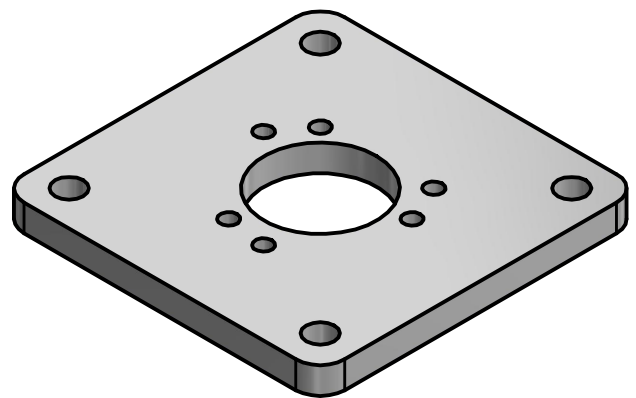
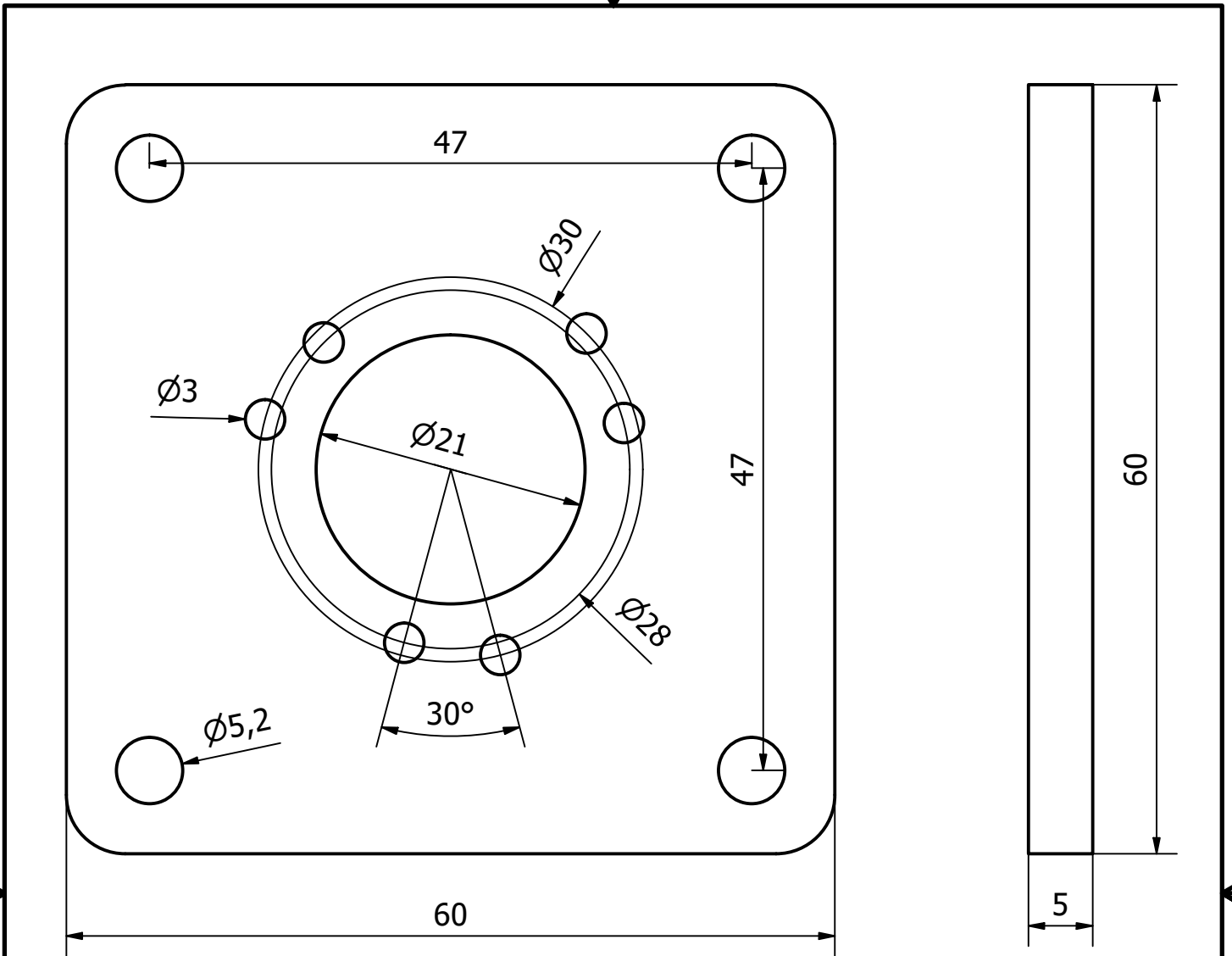
ESPOL		P3	
Fecha: 11/2/2023	Perfil Cuadrado	Hoja: A4	Escala: 3 : 2
Dibujado por: Pedro Farinango Lissette Medina	Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm	Pagina: 10 de 13



<b>ESPOL</b>		<b>P3</b>	
Fecha: 11/2/2023	Placa de conexión del tornillo de potencia	Hoja: A4	Escala: 2 : 3
Dibujado por: Pedro Farinango Lisette Medina	Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm	Página: 11 de 13



<b>ESPOL</b>		<b>P3</b>	
Fecha: 11/2/2023	Soporte para el final de carrera	Hoja: A4	Escala: 3 : 2
Dibujado por: Pedro Farinango Lisette Medina	Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm	Pagina: 12 de 13



<b>ESPOL</b>		<b>P3</b>	
Fecha: 11/2/2023	Soporte para encoder	Hoja: A4	Escala: 2 : 1
Dibujado por: Pedro Farinango Lissette Medina	Revisado por: Carlos Saldarriaga Dennys Paillacho	Unidades: mm	Pagina: 13 de 13