

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Desarrollo e implementación de un Sistema CNC de corte por láser de 5.5
W de potencia

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Ignacio Javier Delgado Mendoza

Jaime Bladimir Machuca Salinas

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres.

Ignacio Javier Delgado Mendoza

Dedico este trabajo a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental durante todo mi trayecto estudiantil velando por mi bienestar y formándome con valores que me han llevado a forjar bases de gran importancia para lo que viene.

A mis hermanos, en especial a Ronald (+) el cual ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo.

Jaime Bladimir Machuca Salinas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por apoyarme durante el estudio de esta carrera.

Agradezco a Jorge Hurel Ph.D por permitir realizar este proyecto, a Jorge Marcial M.Sc por brindar ideas para la elaboración de la máquina.

Ignacio Javier Delgado Mendoza

Agradezco a mi madre por la confianza y el apoyo brindado.

A mi padre por ayudarme constantemente con nuevas ideas en cada uno de los proyectos realizados.

Jorge Hurel PhD, por su confianza e ideas brindadas para la ejecución de este proyecto

Jorge Marcial M.Sc, por guiarnos y brindarnos valiosas sugerencias para la redacción de este proyecto

Jaime Bladimir Machuca Salinas

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Ignacio Javier Delgado Mendoza y Jaime Bladimir Machuca Salinas y 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”

Ignacio Javier Delgado
Mendoza

Jaime Bladimir Machuca
Salinas

EVALUADORES

.....
Jorge Marcial MSc.

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Jorge Hurel PhD.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Las máquinas CNC láser se utilizan en varios sectores y aplicaciones para realizar procesos de corte o grabado en materiales como acrílico, cuero, madera y textiles. Este proyecto consiste en el diseño y construcción de una máquina CNC de bajo costo con un área de trabajo de 200 mm x 300 mm, un ajuste de 50 mm en Z con una resolución de 0.1 mm. La ventaja comercial de la máquina es intercambiar el módulo láser por un router, en aproximadamente 2 minutos. Para la estructura mecánica se realizaron diferentes matrices de decisión de las cuales se acordó utilizar perfiles de aluminio, rodamientos, tornillo sin fin para la transmisión de potencia, motores paso a paso. Para el sistema de control se utilizó una tarjeta de Arduino y placa controladora. Utilizando el módulo láser los resultados permitieron establecer que la ubicación del láser debe ser a 30 mm de altura sobre el material, para el grabado se estableció una velocidad de 1000 mm/min y una potencia al 50%. Sin embargo, para el corte la velocidad debe ser de 250 mm/min y la potencia al 100%. Para el router en el cual se introduce la herramienta de corte se determinó que la profundidad de corte debe ser 0.4 mm por cada pasada a una velocidad de corte 4,7 m/s y una velocidad de recorrido de 500 mm/min. El costo de la máquina se estimó en \$372.90 el cual es económico en comparación a opciones existentes en el mercado de \$1600.

Palabras clave: router, láser, potencia, grabado, CNC

ABSTRACT

CNC Laser machines are used in various sectors and applications to perform cutting or engraving processes on materials such as acrylic, leather, wood and textiles. This project involves the design and construction of a low-cost CNC machine with a work area of 200 mm x 300 mm and a 50 mm adjustment in Z with a resolution of 0.1 mm. The commercial advantage of the machine is to exchange a laser module for a router in approximately 2 minutes. For the mechanical structure, different decision matrices were made to use aluminum profiles, bearings, screw for power transmission, and stepper motors. An Arduino and CNC board were used for the control system. Using the laser module, the results allowed to establish the location of the laser must be 30 mm above the material. For the engraving process, a speed of 1000 mm/min and a 50% power was established. However, for cutting process the speed must be 250 mm/min and the power 100%. For the router, in which the cutting tool is introduced, it was determined that the cutting depth should be 0.4 mm for each pass at a cutting speed of 4.7 m/s and a travel speed of 500 mm/min. The cost of the machine was estimated at \$ 372.90 which is economical compared to existing options in the market of \$ 1600.

Keywords: *router, laser, power, engraving, CNC*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Definición del problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Sistema CNC de corte por láser.....	2
1.4.2 Ventajas y desventajas de CNC router y CNC láser.....	3
1.4.3 Tipos de láser.....	4
1.5 Comandos GRBL y código G.....	6
1.6 Punto cero de la máquina.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología.....	8
2.1 Alternativas de solución para sistema de transmisión.....	8
2.1.1 Transmisión por tornillo sin fin.....	8
2.1.2 Transmisión por piñón y cremallera.....	8

2.1.3	Transmisión por correa de caucho.....	9
2.2	Selección de la mejor alternativa.....	9
2.3	Diseño de forma	10
2.3.1	Diseño de mesa fija (alternativa 1).....	10
2.3.2	Diseño de mesa móvil (alternativa 2).....	10
2.3.3	Matriz de decisión del diseño de forma.....	11
2.4	Factores de diseño.....	11
2.5	Normas.....	12
2.6	Cálculos.....	12
2.6.1	Cálculo de deflexión.....	12
2.6.2	Cálculo de torque.....	14
2.6.3	Cálculo de micropasos.....	16
2.6.4	Cálculo de pasos por mm	17
2.6.5	Cálculo de voltaje de referencia.....	17
2.7	Componentes	18
2.7.1	Componentes mecánicos	18
2.7.2	Componentes electrónicos	19
2.7.3	Componentes impresos	20
2.8	Selección del software.....	20
2.8.1	LaserGRBL	20
2.8.2	Inkscape	20
2.9	Construcción	21
2.9.1	Subconjunto X.....	21
2.9.2	Subconjunto Y.....	21
2.9.3	Subconjunto Z.....	22
2.10	Configuración para el módulo láser	23

CAPÍTULO 3.....	29
3. Resultados Y análisis	29
3.1 Resultados	29
3.1.1 Deflexión.....	29
3.1.2 Torque del motor.....	31
3.1.3 Micropasos a utilizar	32
3.1.4 Pasos por mm.....	33
3.1.5 Voltaje de referencia	33
3.2 Análisis de costos.....	34
3.2.1 Costo de materiales	34
3.2.2 Costo de mano de obra	35
3.3 Pruebas de la máquina.....	35
3.3.1 Grabado láser	35
3.3.2 Corte láser	36
3.3.3 Grabado router.....	38
3.3.4 Corte router.....	39
3.4 Resolución.....	39
CAPÍTULO 4.....	41
4. Conclusiones Y Recomendaciones	41
4.1 Conclusiones.....	41
4.2 Recomendaciones.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	43
APÉNDICES.....	44

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ISO	Organización de Estandarización Internacional
UNE	Normalización Española
CNC	Control Numérico por Computadora
USB	Bus de Serie Universal
CAD	Diseño Asistido por Computadora
PWM	Modulación del Ancho del Pulso
TTL	Transistor Transistor Lógico
ICSP	Programador en Serie de Chips
SVG	Gráfico Vectorial Escalable
PLA	Ácido Poliláctico
MDF	Fibropanel de Densidad Media
JPG	Grupo Fotográfico Conjunto

SIMBOLOGÍA

N	Newton
kg	Kilogramo
g	Gramo
Pa	Pascal
MPa	Megapascal
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
s	Segundo
°	Grado
A	Amperio
V	Voltaje
Ω	Ohmio
W	Watts
MHz	Megahertz
RPM	Revoluciones por minuto

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Máquina CNC [Elaboración propia].	3
Figura 1.2 Punto cero de máquina representado sobre superficie metálica [Elaboración propia]	7
Figura 2.1 Tornillo sin fin [Elaboración propia].	8
Figura 2.2 Transmisión piñón y cremallera [Castiglione, 2017].	8
Figura 2.3 Correa de transmisión [Naylampmechatronics, s. f.].	9
Figura 2.4 Máquina CNC láser: alternativa 1 [Elaboración propia].	10
Figura 2.5 Máquina CNC láser: alternativa 2 [Elaboración propia].	10
Figura 2.6 Guías lineales. Rodamiento (1) Eje (2) [Elaboración propia].	12
Figura 2.7 Esquema del eje para la guía en Y [Elaboración propia].	13
Figura 2.8 Representación del subconjunto X [Elaboración propia].	21
Figura 2.9 Representación del subconjunto Y [Elaboración propia].	22
Figura 2.10 Representación del subconjunto Z [Elaboración propia].	23
Figura 2.11 Instalación de librería GRBL a la tarjeta de Arduino [Elaboración propia].	24
Figura 2.12 Interfaz software LaserGRBL [Elaboración propia].	24
Figura 2.13 Parámetros de control de la máquina [Elaboración propia].	25
Figura 2.14 Selección de la imagen para importar al software LáserGRBL [Elaboración propia].	26
Figura 2.15 Tipos de operaciones para realizar grabado y corte [Elaboración propia].	27
Figura 2.16 Configuración de potencia y dimensionamiento de la imagen.	27
Figura 2.17 Inicio de prueba [Elaboración propia].	28
Figura 2.18 Operación de láser [Elaboración propia].	28
Figura 3.1 (a) Fuerza cortante [N]; (b) Momento flector [Nm] [Elaboración propia].	29
Figura 3.2 Análisis de deflexión de la guía lineal del eje Y [Elaboración propia].	30
Figura 3.3 Análisis del factor de seguridad de la guía lineal del eje Y [Elaboración propia].	30
Figura 3.4 Grabado sobre MDF [Elaboración propia].	36
Figura 3.5 Corte por láser realizado en diferentes materiales [Elaboración propia].	37
Figura 3.6 Corte por láser realizado utilizando vinil negro [Elaboración propia].	38
Figura 3.7 Grabado sobre acrílico y relleno con masilla [Elaboración propia].	38
Figura 3.8 Corte sobre MDF [Elaboración propia].	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de algunos láseres de gas neutro [Malacara, 2007, Capítulo IV.4].	4
Tabla 1.2 Comandos de código G [Moyer, 2019].	6
Tabla 2.1 Matriz de decisión del sistema de transmisión [Elaboración propia].	9
Tabla 2.2 Matriz de decisión del diseño de forma [Elaboración propia].	11
Tabla 2.3 Lista de componentes mecánicos [Elaboración propia].	18
Tabla 2.4 Lista de componentes electrónicos [Elaboración propia].	19
Tabla 3.1 Costo de los materiales [Elaboración propia].	34
Tabla 3.2 Costo total [Elaboración propia].	35
Tabla 3.3 Parámetros para realizar grabado con láser [Elaboración propia].	36
Tabla 3.4 Parámetros para realizar corte con láser [Elaboración propia].	37
Tabla 3.5 Parámetros para realizar grabado con router [Elaboración propia].	38
Tabla 3.6 Parámetros para realizar corte con router [Elaboración propia].	39
Tabla 3.7 Porcentaje de error y resolución utilizando láser [Elaboración propia].	40
Tabla 3.8 Porcentaje de error y resolución utilizando router [Elaboración propia].	40

ÍNDICE DE PLANOS

Se encuentran en el Apéndice-E del documento.

- PLANO 1 Subconjunto Eje Y
- PLANO 2 Subconjunto Eje X
- PLANO 3 Subconjunto Eje Z
- PLANO 4 Alza Chumacera
- PLANO 5 Mesa
- PLANO 6 Nivel 1
- PLANO 7 Nivel 2
- PLANO 8 Tapón de perfil
- PLANO 9 Soporte tuerca inferior
- PLANO 10 Soporte rodamiento lineal
- PLANO 11 Unión
- PLANO 12 Cubierta de máquina
- PLANO 13 Soporte chumacera
- PLANO 14 Carro Eje X
- PLANO 15 Soporte final de carrera
- PLANO 16 Acople para tuerca de latón
- PLANO 17 Guía cubierta
- PLANO 18 Cubierta
- PLANO 19 Acople para tuerca de latón
- PLANO 20 Carro Eje Z
- PLANO 21 Acople para láser
- PLANO 22 Clip Eje Z
- PLANO 23 Soporte para final de carrera “z”
- PLANO 24 Explosión Subconjunto Eje Y
- PLANO 25 Explosión Subconjunto Eje X
- PLANO 26 Explosión Subconjunto Eje Z

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del problema

Las máquinas CNC láser se utilizan en varios sectores y aplicaciones para realizar procesos de corte o grabado en materiales como acrílico, cuero, madera y textiles. Para llevar a cabo estas operaciones se necesita vectorizar una imagen, esta puede ser una fotografía digital, letras, figuras o un dibujo en dos dimensiones realizado en un software de diseño asistido por computadora (CAD). En Ecuador este tipo de máquinas son importadas y su precio de mercado es elevado. Por este motivo la solución es construir una máquina de bajo costo que cumpla con los requerimientos del cliente y que su desempeño sea mejor al de las máquinas que se comercializan en la actualidad.

1.2 Justificación del proyecto

El grabado es el arte de tallar un diseño sobre una superficie, en la actualidad esta operación se la puede realizar a mano. Sin embargo, gracias a las máquinas CNC este tipo de tallado se lo puede simplificar y realizar de manera sofisticada, rápida y efectiva, en la industria se las utiliza para grabar números de serie, o para realizar corte de piezas, estos métodos de manufactura sirven para mejorar la producción y disminuir tiempos de operación debido a la fabricación simultánea de piezas. El presente proyecto se enfocará en el diseño y construcción de una máquina CNC de tipo híbrida, que permite intercambiar un láser de 5.5 Watts por un router. Es una máquina eficiente, compacta, bajo costo de mantenimiento debido al menor número de elementos, en comparación con otras máquinas CNC, esta es silenciosa y en su operación los residuos producidos durante el proceso de manufactura son mínimos por lo que no se necesita de un proceso posterior para el tratamiento de la pieza final.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir una máquina de control numérico computarizado CNC por corte láser de 5.5 Watts para el laboratorio de control y mecatrónica de FIMCP.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Realizar un diseño de forma para el sistema mecánico y electrónico utilizando normas y software de dibujo asistido por computadora.
2. Seleccionar el sistema de transmisión de potencia de entre varias alternativas posibles utilizando una matriz de decisión.
3. Construir la estructura de la máquina y configurar el volumen de trabajo de 300 mm x 200 mm x 50 mm y garantice que una resolución de 0.1 mm.
4. Seleccionar el software que permita configurar los parámetros del sistema y que garantice la seguridad al operario.
5. Realizar pruebas en diferentes materiales y validar los resultados.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Sistema CNC de corte por láser

Las máquinas CNC de corte por láser son utilizadas para realizar grabados resistentes y con un acabado de calidad excepcional; incluso por su alta tecnología se usan para hacer grabados de fotografías en madera. Además, este tipo de máquina es aprovechada para realizar cortes de precisión en materiales como: cartón, madera, papel, acrílico y plástico. El funcionamiento de estas máquinas es similar a cualquier otra cortadora CNC, la única diferencia está en la fuente que genera el rayo láser. Este sistema de corte le brinda al usuario un mayor campo de aplicación, puesto que se puede utilizar con distintos materiales, también genera una mayor precisión en el corte, creando así diseños más finos y sofisticados a un menor costo de producción, ya que el corte CNC láser reduce los residuos y el polvo, ahorrando así la materia prima (Salvador, 2019).

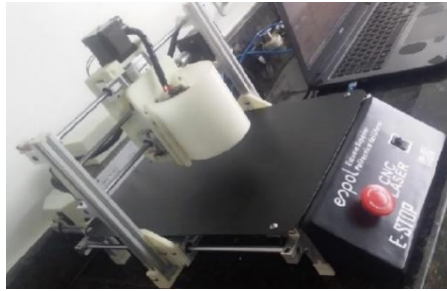


Figura 1.1 Máquina CNC [Elaboración propia].

1.4.2 Ventajas y desventajas de CNC router y CNC láser

1.4.2.1 CNC router

Ventajas

- Profundidad de corte: Permite ajustar el eje z para controlar el tipo de corte que se realizará.
- Esquinas redondeadas: Permite obtener redondeos en las superficies a mecanizar.

Desventajas

- Precisión: La precisión está limitada por el radio de la broca.
- Sujeción: Si el material no está bien asegurado, se crea una gran tensión cuando entra en contacto la herramienta con el material.

1.4.2.2 CNC láser

Ventajas

- Cortes precisos: Permite realizar cortes detallados con una gran precisión.
- Bordes sellados: Al momento de hacer un corte por láser, los bordes se queman lo que produce una decoloración y sella los bordes.

Desventajas

- Tiempo de corte: Para obtener un trabajo con el acabado deseado, puede ser necesario ajustar parámetros como disminuir la velocidad de corte y aumentar el número de pasadas.
- Seguridad: Para realizar un trabajo por grabado o corte láser es necesario utilizar gafas de seguridad en todo momento, para evitar daños.

1.4.3 Tipos de láser

El láser es un dispositivo que emite una fuente de luz artificial con una energía altamente concentrada, la misma que puede recorrer enormes trayectos y realizar perforaciones precisas. Existen varios tipos de láseres que se pueden clasificar en continuos o pulsados, según el material del que están hechos, de baja potencia o de alta potencia, o según el color de la luz que emiten (Malacara, 2007, Capítulo IV.2).

1.4.3.1 Láser de gas

Es sin duda el láser más común ya que utilizan como medio activo un gas o una mezcla de gases a baja presión, lo que facilita una descarga eléctrica en un largo espacio, mientras los electrodos se encuentran en los extremos de un tubo largo; otro de los mecanismos de excitación utilizados en este tipo de láseres es la inyección de un haz de electrones o iones acelerados (Alonso Fernández, 2010, p. 53).

Existen varios tipos de láseres gaseosos:

Gas neutro: Está compuesto de átomos neutros, el más popular es el láser de helio-neón, en el cual el helio ayuda en el proceso de bombeo óptico mientras que el neón es el elemento activo. La siguiente tabla muestra algunos de los láseres de gas neutro con sus principales características.

Tabla 1.1 Características de algunos láseres de gas neutro [Malacara, 2007, Capítulo IV.4].

Sistema	Elemento activo	Región espectral o color	Forma de operación	Potencia típica
He-Ne	neón	rojo 632.8nm verde infrarrojo	continua	10Mw
He-Cd	cadmio	violeta, UV	continua	10Mw
He-Se	selenio	verde	continua	10Mw

Gas ionizado: Está compuesto por átomos que no están en estado neutro, por lo que requieren de una corriente muy grande para poder ionizar el gas y generar la inversión de población. La ventaja de ellos es que su potencia es grande, del orden de varios watts, por ejemplo, los láseres de argón y kriptón ionizados pueden alcanzar una potencia de 10W con una forma de operación continua o pulsada.

Gas molecular: También denominado láser de bióxido de carbono, la ventaja de estos es que logran emitir una potencia de más 100 W que permite cortar fácilmente distintos materiales.

Excímero: Están compuestos de un gas noble y un halógeno. El método más sencillo y barato de excitación para este tipo de láseres es el de descarga eléctrica. Sin embargo, presentan desventajas por su corta vida debido a la mezcla de gases y la calidad del haz no suele ser muy buena.

Vapor metálico: Actúa como medio activo algún tipo de metal calentado hasta estado de vapor.

1.4.3.2 Láser de estado sólido

El término estado sólido se debe a que este tipo de láser utiliza como medio activo una varilla de un aislante cristalino ligeramente impurificado tales como el neodimio, titanio-zafiro, rubí o alejandrita, los mismos que necesitan de una luz intensa para excitarse. Este tipo de láser es usado comúnmente en la industria y en medicina ya que penetra con efecto térmico en los tejidos y se absorbe poco por el agua (Carpio, s. f., p. 11).

1.4.3.3 Láser semiconductor

Este tipo de láser también es conocido como diodo láser, el mismo que es excitado por una corriente eléctrica y emite un haz de luz coherente con una alta potencia. Además, su bajo costo hace que sea una fuente usada comúnmente en las comunicaciones ópticas. La longitud de onda

emitida por estos láseres varía desde el infrarrojo hasta el visible, esto depende del material semiconductor del que está fabricado (Verdeyen, 1995, p. 440).

1.5 Comandos GRBL y código G

El código GRBL asume que todos los caracteres y los datos de transmisión enviados son código G y los analizará y ejecutará tan pronto como sea posible. GRBL tiene dos tipos de comandos de sistema. Un tipo de comando del sistema se transmite a GRBL como código G, pero comienza con un carácter \$ para indicarle a GRBL que no es código G. El otro está compuesto por un conjunto especial de caracteres que inmediatamente le ordenarán a GRBL que haga una tarea en tiempo real. Los comandos del sistema de GRBL hacen tareas como controlar el estado de la máquina, informar los parámetros guardados o lo que GRBL está haciendo, guardar o imprimir la configuración de la máquina, ejecutar un ciclo de referencia o hacer que la máquina se mueva más rápido o más lento de lo programado (Moyer, 2019).

Tabla 1.2 Comandos de código G [Moyer, 2019].

Grupo	Comando
Modo de movimiento	G0, G1, G2, G3, G38.2, G38.3, G38.4, G38.5, G80
Selección de sistema de coordenada	G54, G55, G56, G57, G58, G59
Selección de plano	G17, G18, G19
Modo de distancia	G90, G91
Modo de distancia Arc IJK	G91.1
Modo de velocidad de alimentación	G93, G94
Modo de unidades	G20, G21
Compensación de radio de corte	G40
Desplazamiento de longitud de herramienta	G43.1, G49
Modo de programa	M0, M1, M2, M30
Estado del husillo	M3, M4, M5
Estado del refrigerante	M7, M8, M9

1.6 Punto cero de la máquina

Es un punto preferencial definido en cada eje por el fabricante de la máquina. Permite fijar el origen absoluto de la medición. Este punto se puede materializar de diversas formas como detectores de proximidad o finales de carrera. Trabajar con el origen de medida puede resultar complicado por tener el cero establecido en un punto prefijado por el fabricante de la máquina. Para evitar esto se definen otros dos tipos de orígenes: el origen pieza y el origen programa(Ángel & Javier, 2013, p. 68).



**Figura 1.2 Punto cero de máquina representado sobre superficie metálica
[Elaboración propia]**

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Alternativas de solución para sistema de transmisión

2.1.1 Transmisión por tornillo sin fin

El tornillo sin fin es un dispositivo mecánico que transforma movimiento rotatorio en movimiento rectilíneo que permite soportar altas cargas. Un eje roscado o husillo proporciona una carrera de rodadura espiral para la tuerca que actúa como tornillo de precisión (Castiglione, 2017).



Figura 2.1 Tornillo sin fin [Elaboración propia].

2.1.2 Transmisión por piñón y cremallera

La transmisión de piñón y cremallera helicoidales permiten una velocidad de procesamiento rápida y efectiva para cargas elevadas con menos potencia reduciendo vibraciones, es más estable que el piñón y cremallera vertical, además que garantiza una vida útil elevada. Sin embargo, para longitudes mayores a 2000 mm es necesario de un motor con mayor torque o un segundo motor para el movimiento de los ejes (Castiglione, 2017).



Figura 2.2 Transmisión piñón y cremallera [Castiglione, 2017].

2.1.3 Transmisión por correa de caucho

La transmisión por correa de caucho proporciona alta eficiencia, resistencia a la tracción y a la abrasión, la transmisión es antideslizante y la correa funciona como un fusible mecánico que absorbe choques propios de la transmisión, el nivel de ruido es bajo y su costo es económico en cuanto a fabricación y mantenimiento. Sin embargo, es importante realizar el cambio de la correa antes de que alcance su vida útil, ya que los dientes de la correa como los del piñón sufren desgaste. Por tal motivo, es importante el ajuste de las correas para evitar fallas en el sistema (Castiglione, 2017).



Figura 2.3 Correa de transmisión [Naylampmechatronics, s. f.].

2.2 Selección de la mejor alternativa

Para seleccionar la mejor alternativa se realizó una matriz de decisión basándose en criterios técnicos tal como se muestra a continuación:

Tabla 2.1 Matriz de decisión del sistema de transmisión [Elaboración propia].

Nº	Criterios técnicos	Peso (%)	Tornillo sin fin	Piñón y cremallera	Correa de caucho
1	Costo	30	7	5	4
2	Seguridad	10	6	6	5
3	Mantenimiento	20	5	6	7
4	Precisión	30	6	7	6
5	Rigidez	10	8	6	7
Suma total		100	6.3	6	5.6

2.3 Diseño de forma

El diseño de forma de la máquina láser está compuesto por los subconjuntos del sistema X, Y, Z. Para definir el diseño a construir se realizaron dos alternativas basadas en el movimiento por tornillo sin fin.

2.3.1 Diseño de mesa fija (alternativa 1)

La primera alternativa presenta una estructura que se mueve en el eje Y manteniendo la mesa fija y permitiendo el movimiento en el eje X y Z.

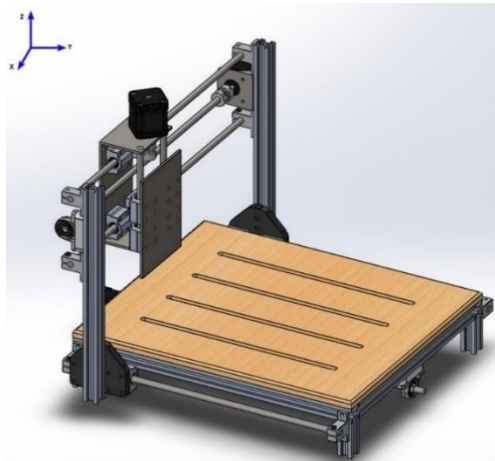


Figura 2.4 Máquina CNC láser: alternativa 1 [Elaboración propia].

2.3.2 Diseño de mesa móvil (alternativa 2)

La segunda alternativa está basada en una estructura fija que permite el movimiento tanto en el eje X como Z, y una mesa móvil que se mueve en el eje Y.

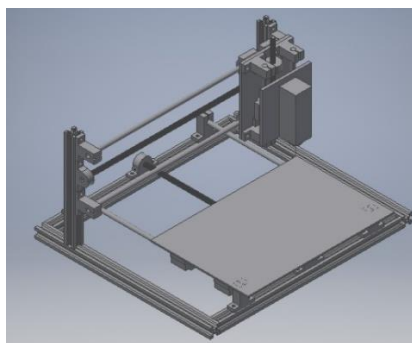


Figura 2.5 Máquina CNC láser: alternativa 2 [Elaboración propia].

2.3.3 Matriz de decisión del diseño de forma

En base a las características descritas anteriormente para cada una de las alternativas, se realizó una matriz de decisión, en la cual se evaluó cada una de las alternativas con diferentes criterios técnicos y cada uno con su respectivo peso para la selección del diseño de forma.

Tabla 2.2 Matriz de decisión del diseño de forma [Elaboración propia].

Nº	Criterios técnicos	Peso (%)	Alternativa N°1	Alternativa N°2
1	Costo de fabricación	30	8	7
2	Facilidad de mantenimiento	10	9	9
3	Materiales	10	10	9
4	Durabilidad	20	9	8
5	Funcionalidad	20	9	9
6	Tamaño	10	9	8
Suma total		100	8.8	8.1

En base a la tabla 2.2, la alternativa que obtuvo el mayor puntaje es la primera, por lo que se realizó el diseño y construcción de la CNC láser en base a este modelo.

2.4 Factores de diseño

Los factores de diseño que identificamos para luego realizar las pruebas, una vez que la máquina esté completamente armada son:

- Torque de motor
- Voltaje de referencia de motor
- Micropasos a utilizar
- Pasos por mm
- Potencia del láser

2.5 Normas

Las normativas internacionales que se presentan a continuación sirvieron de ayuda para el diseño de la máquina en cuanto al control y seguridad de esta, ya que este tipo de máquinas se las debe manejar con precaución los puntos más importantes son los siguientes:

- ISO 6983-1:2009 Control numérico de máquinas. Formato de programa y definiciones de palabras de dirección. Parte 1: Formato de datos para sistemas de control de posicionamiento, movimiento de línea y contorneado.
- UNE-EN 60825-1/A2:2002 Seguridad de los productos láser. Parte 1: Clasificación del equipo, requisitos y guía de seguridad.

2.6 Cálculos

2.6.1 Cálculo de deflexión

El diseño de las guías para los diferentes ejes se lo muestra en la figura 2.6, en la cual se puede observar el uso de rodamientos lineales y el eje.

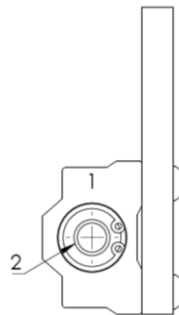


Figura 2.6 Guías lineales. Rodamiento (1) Eje (2) [Elaboración propia].

Para calcular la deflexión máxima del eje se lo considera como una viga simplemente apoyada, como se muestra en la figura 2.7.

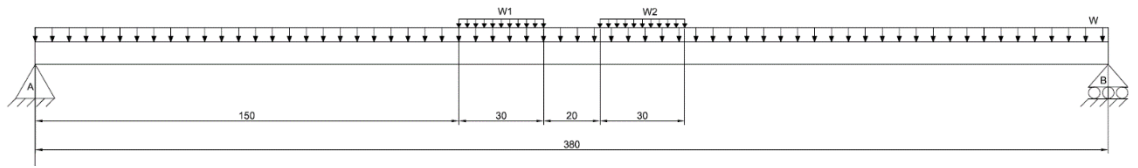


Figura 2.7 Esquema del eje para la guía en Y [Elaboración propia].

Donde W_1 y W_2 son cargas iguales y distribuidas sobre el eje debido al uso de dos rodamientos, y W representa el peso del eje. La suma de W_1 y W_2 es igual a la mitad del peso total del carro “Y” (ecuación 2.1).

$$W_1 + W_2 = \frac{P_y}{2} \quad (2.1)$$

$$W_1 = W_2 = \frac{P_y}{4}$$

El peso total del carro “Y” se lo calcula con ayuda de la ecuación 2.2.

$$P_y = P_{estructura} + 4 \cdot P_{soporte\ eje} + P_{motor} + P_{base\ motor} + P_{acople} + P_{tornillo} + P_{chumacera} + P_{alza\ chumacera} + P_{soport\ tuerca} + 4 \cdot P_{rodamiento} + 2 \cdot P_{eje} + P_{carro\ z} + P_{láser} \quad (2.2)$$

Luego de ello se procede a determinar las reacciones en los apoyos cuando el carro “Y” se encuentra en el centro de la guía provocando así la mayor deformación en el eje, es por ello que $\vec{R}_A = \vec{R}_B$. Obtenidas todas las fuerzas que actúan sobre el eje se puede realizar los diagramas de cortante y momento flector, las mismas que ayudaran a obtener el momento máximo (M_{max}), el mismo que servirá en la ecuación 2.3 para calcular el esfuerzo de fluencia máximo (σ_{max}).

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot c}{I} \quad (2.3)$$

Donde c es el radio del eje, I es el momento de inercia de la sección transversal de la guía.

Por último, con la ecuación 2.4 se puede encontrar el factor de seguridad de la guía.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad (2.4)$$

Esfuerzo de fluencia (S_y) del acero al carbono (cromado) es de 5.3×10^8 [Pa].

Además, se procede a determinar la deflexión máxima del eje con ayuda del método de doble integración (ecuación 2.5) y se procede a corroborarlo con un análisis en ANSYS.

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M(x) \quad (2.5)$$

2.6.2 Cálculo de torque

El análisis del torque requerido por los actuadores de la máquina CNC se lo realizará en el eje más crítico, es decir el eje que traslade más peso en la máquina, para lo cual necesitara un par-motor mayor que el de los demás ejes. Las siguientes ecuaciones fueron tomadas del manual (*StepperControlador-SureStep-manual.pdf*, s. f., p. A-8).

La ecuación 2.6 es utilizada para calcular el par de motor mínimo que el actuador debe suministrar.

$$T_{motor} = (T_{acel} + T_{resist}) \cdot fs \quad (2.6)$$

Donde el torque de aceleración (T_{acel}) es el requerido por el motor para acelerar y desacelerar la inercia total del sistema, en [Nm]; y el torque resistivo (T_{resist}) o también denominado torque de la carga es el que actúa en el eje del motor y trabaja a una velocidad constante para vencer fuerzas externas de carga, en [Nm].

Para calcular el torque de aceleración se utiliza la ecuación 2.7.

$$T_{acel} = J_{total} \cdot (\Delta_{velocidad} \div \Delta_{tiempo}) \cdot 2\pi \div 60 [N m] \quad (2.7)$$

Donde la inercia total (J_{total}) es la suma de la inercia del tornillo ($J_{tornillo}$) con la inercia de la carga (J_W) (ecuación 2.8), en [$kg m^2$]; el tiempo de aceleración (Δ_{tiempo}) es 1,5 segundos para tornillos trapezoidales.

$$J_{total} = J_{tornillo} + J_W \quad (2.8)$$

El cálculo de la inercia del tornillo y la inercia de la carga, están representados en las ecuaciones 2.9 y 2.10 respectivamente.

$$J_{tornillo} = (\pi \cdot L \cdot \rho \cdot r^4) \div 2 \quad (2.9)$$

Donde L es la longitud del tornillo, en [m], ρ es la densidad del material del tornillo, en [kg/m^3], r es el radio del tornillo, en [m].

$$J_W = (P_y \div e) \cdot (1 \div (2\pi P))^2 \quad (2.10)$$

Donde P_y es el peso total del carro "Y", en [kg], e es la eficiencia, y P es el pitch, en [rev/m].

Después, se necesita determinar la fuerza total, representada en la ecuación 2.11, para con esta encontrar el torque resistivo en la operación del movimiento, haciendo uso de la ecuación 2.14.

$$F_{total} = F_{ext} + F_{fricción} + F_{gravedad} \quad (2.11)$$

La fuerza de fricción ($F_{fricción}$) y fuerza de gravedad ($F_{gravedad}$), pueden ser calculadas con las ecuaciones 2.12 y 2.13 respectivamente.

$$F_{fricción} = \mu \cdot P_y \cdot \cos(\alpha) \cdot 9.81 \quad (2.12)$$

$$F_{gravedad} = P_y \cdot \sen(\alpha) \cdot 9.81 \quad (2.13)$$

Donde μ es el coeficiente de fricción de las superficies que se deslizan, P_y es el peso total del carro "Y", en $[kg]$ y α es el ángulo del mecanismo, en *grados*.

$$T_{resist} = (F_{total} \div (2 \pi P)) + (\mu F_0 \div (2 \pi P)) \quad (2.14)$$

Donde F_{total} es la fuerza total a vencer, en $[N]$, P es el pitch, en $[rev/m]$ y F_0 es la fuerza del tornillo para minimizar el retroceso, en $[N]$.

2.6.3 Cálculo de micropasos

El cálculo de los micropasos a utilizar se lo realiza para encontrar la resolución deseada para la máquina, utilizando la ecuación 2.15.

$$Micropasos_{x,y,z} = \frac{\theta_{paso} \left[\frac{pasos}{rev_{motor}} \right]}{\# \text{pasos completos} / rev_{motor}} \quad (2.15)$$

Debido a que se utilizarán motores paso a paso Nema 17 de 1.8° , se trabajará con $200 \frac{pasos \text{ completos}}{rev_{motor}}$; en cambio para encontrar la resolución del paso del accionamiento (θ_{paso}) se usa la siguiente ecuación:

$$\theta_{paso} = \frac{d_{carga} \div i}{L_\theta} \quad (2.16)$$

Donde L_θ es la resolución de posición deseada $[mm/paso]$, d_{carga} es la distancia que se mueve la carga por rotación del eje actuador $[mm/rev_{tornillo}]$, i es la razón de la reducción $[rev_{motor}/rev_{tornillo}]$.

2.6.4 Cálculo de pasos por mm

Se deben seleccionar los micropasos para la aplicación requerida. En el Apéndice B (Tabla B- 1) se muestra el formato de pasos. Los motores paso a paso Nema 17, tienen 200 pasos por vuelta. La varilla roscada de 8 mm de 4 entradas tiene un avance de 8 mm por revolución del motor. En primer lugar, se calculan los pasos por vuelta del motor utilizando la ecuación 2.17, luego en base a la ecuación 2.18 se procede a calcular los pasos por mm, dicho resultado será introducido al software LaserGRBL.

$$(\text{pasos/vuelta})_{\text{motor}} = \frac{360^\circ}{^\circ/\text{paso}} \quad (2.17)$$

$$\text{pasos/mm} = \frac{(\text{pasos/vuelta})_{\text{motor}} * (\text{micropasos})_{\text{driver}}}{(\text{avance})_{\text{varilla roscada}}} \quad (2.18)$$

2.6.5 Cálculo de voltaje de referencia

La corriente a través de los devanados del motor está regulada por una regulación de corriente PWM de frecuencia fija, o corte de corriente. Cuando se habilita un puente H, la corriente aumenta a través del devanado a una velocidad que depende del voltaje y la inductancia del devanado. Una vez que la corriente alcanza el umbral de corte actual, el puente desactiva el actual hasta el comienzo del próximo ciclo PWM. La corriente de corte a escala completa se la calcula con la ecuación 2.19 a partir de esta, se despeja el voltaje de referencia para determinar la tensión que se debe ajustar en los controladores.

$$I_C = \frac{V_{ref}}{5 * R_{dr}} \quad (2.19)$$

Donde I_C es la corriente de corte [A], R_{dr} es la resistencia del controlador [Ω], y V_{ref} es el voltaje de referencia [V].

De acuerdo con el fabricante, el controlador posee una resistencia de 0,1 Ω , el motor es de 1.7 A, entonces se calcula el voltaje de referencia que se configurará en el controlador de cada motor con la ayuda de un multímetro.

2.7 Componentes

2.7.1 Componentes mecánicos

Los diferentes componentes mecánicos que se utilizaron para la fabricación de la estructura de la máquina CNC se detallan a continuación en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Lista de componentes mecánicos [Elaboración propia].

Denominación	Dimensiones	Material	Imagen
Perfil ranurado	20 mm x 20 mm	Aluminio	
Tornillo sin fin T8	Ø 8 mm	Acero inoxidable	
Tuerca T8	Ø 8 mm	Latón	
Chumacera KP08	Ø 8 mm	Aleación de zinc	
Eje	Ø 8 mm	Acero cromado	
Rodamiento SC8UU	Ø 8 mm	Aluminio	
Soporte de eje	Ø 8 mm	Aluminio	
Acople flexible D19L25	Ø 5 mm a Ø 8 mm	Aluminio	
Angulo de 90°	20 mm x 20 mm x 17 mm	Aleación de zinc	

2.7.2 Componentes electrónicos

Los diferentes componentes electrónicos usados para el sistema de control de la máquina se detallan a continuación en la tabla 2.4. Además, en el Apéndice A se muestran las tablas con las especificaciones de los elementos.

Tabla 2.4 Lista de componentes electrónicos [Elaboración propia].

Denominación	Especificación	Imagen
Motor paso a paso	Nema 17, 1.7 A, 12 V	
Arduino	Uno Rev3	
Placa controladora	V3	
Controlador	DRV8825	
Módulo Láser	5.5 W, 3 A, 12 V	
Fuente de poder	110 a 12 V, 10 A	
Final de carrera	5V	
Botón parada de emergencia	5V	

2.7.3 Componentes impresos

Se diseñaron piezas en un software de diseño asistido por computadora, ya que para el montaje de la máquina se necesita de unión entre perfiles, acoples para posicionar el láser, niveladores, debido a la precisión de la impresión 3D se utilizaron los siguientes parámetros detallados en el Apéndice C (Tabla C- 1).

2.8 Selección del software

2.8.1 LaserGRBL

El software seleccionado fue LaserGRBL, es la mejor opción para controlar Código G para máquinas láser. Permite cargar y transmitir la ruta de Código G a la tarjeta de Arduino y a su vez a la placa controladora que manda los comandos a cada uno de los motores, permite grabar imágenes, logotipos con la herramienta de conversión interna. A diferencia de otras interfaces gráficas de usuario, está específicamente fue desarrollada para su uso con el cortador y grabador láser y es un software de libre acceso. Para utilizar todas las funciones, el láser debe admitir la modulación de potencia mediante el comando S.

2.8.2 Inkscape

Inkscape es un software de vectores gráficos de calidad profesional para Windows. Es usado por diseñadores profesionales y aficionados para crear una gran variedad de gráficos como ilustraciones, iconos, logos, diagramas, mapas y diseños web. Es un software libre y de código abierto, que utiliza SVG (Gráfico Vectorial Escalable), como formato nativo. Permite crear el código G a partir de una imagen, logo o texto para poder importar en el software LaserGRBL y proceder con la operación de grabado o corte, se puede configurar el movimiento vertical del router.

2.9 Construcción

La máquina está compuesta por 3 subconjuntos los cuales se describen a continuación:

2.9.1 Subconjunto X

Este subconjunto permite un recorrido de 200 mm. Sobre una cara de los perfiles de aluminio se ubicaron los soportes para los ejes de acero, y una pieza impresa para ubicar a la chumacera y su rodamiento en el perfil del lado izquierdo a la altura correspondiente, que a su vez aloja al tornillo sin fin que está unido por medio de un acople flexible al eje del motor que se encuentra en el perfil del lado derecho junto con la base del motor, en el eje superior se ubicó el final de carrera, y sobre el carro central se ubicó una pieza impresa que aloja a la tuerca que permite la transmisión de movimiento del eje X.

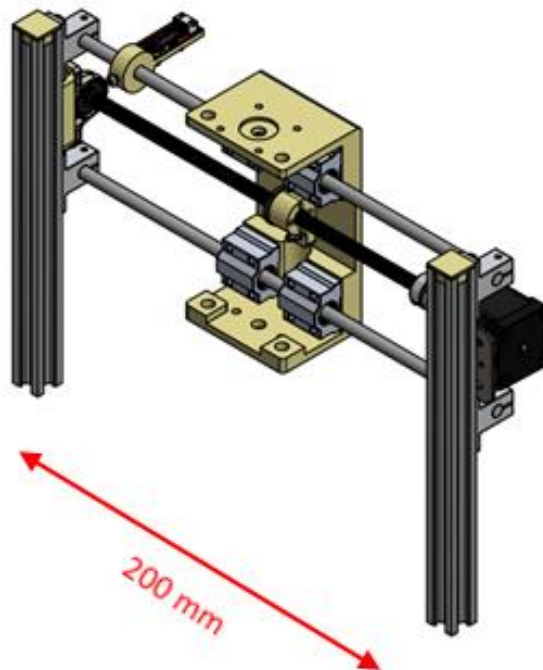


Figura 2.8 Representación del subconjunto X [Elaboración propia].

2.9.2 Subconjunto Y

Este subconjunto permite un recorrido de 300 mm. Los soportes para los ejes se acoplaron en cada extremo de los perfiles, espaciados a la distancia

requerida. La base del motor y el motor se ubicaron sobre una de las caras del perfil en la parte posterior, el eje del motor junto con el tornillo se unió mediante un acople flexible, sobre una de las caras del perfil frontal se ubicó la pieza impresa y sobre esta, la chumacera que aloja el rodamiento y el tornillo sin fin. El perfil que forma parte del movimiento del sistema en Y tiene una ranura en el centro para el paso del tornillo sin fin, y una pieza impresa que aloja la tuerca de latón, este perfil está acoplado mediante una unión impresa en L la cual se junta con los perfiles del subconjunto X.

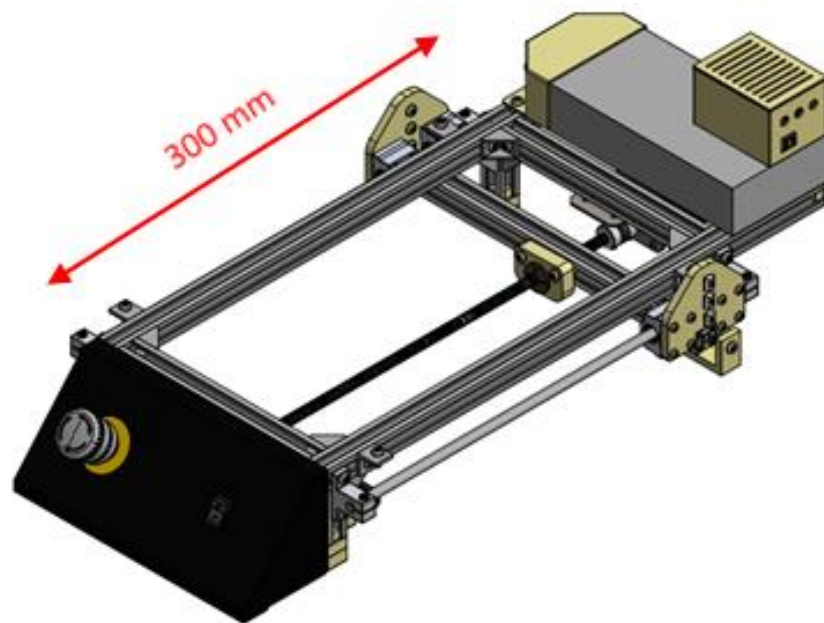


Figura 2.9 Representación del subconjunto Y [Elaboración propia].

2.9.3 Subconjunto Z

Este subconjunto permite un recorrido de 50 mm. Se utilizó una pieza impresa para alojar los ejes de acero, en la parte superior se ubicó el motor y mediante un acople flexible se unió el eje con el tornillo sin fin que permite el movimiento en el eje Z.

Dos ejes sirven como guía en cada extremo, los rodamientos lineales que están acoplados a una pieza impresa la cual aloja el acople para el láser, sobre esta pieza se encuentran unas guías impresas en forma de canal que

permite el movimiento vertical de la cubierta de protección circular para utilizar el láser.

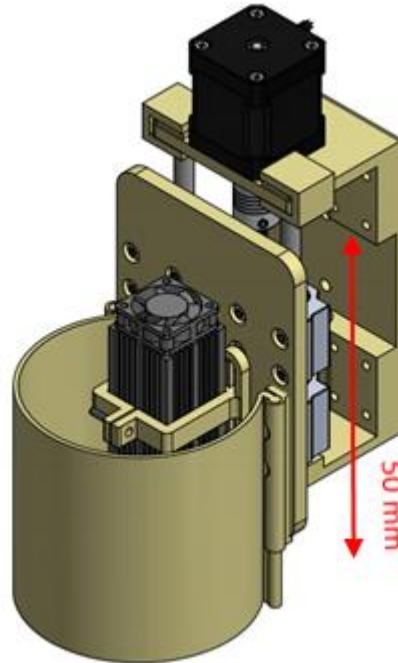


Figura 2.10 Representación del subconjunto Z [Elaboración propia].

2.10 Configuración para el módulo láser

Para iniciar la configuración se debe agregar la librería GRBL v1.1 a la tarjeta de Arduino conectándola al puerto USB del computador y subiendo la librería, luego se debe configurar el voltaje a cada controlador de cada motor el cual se indicó como calcular previamente, a continuación se conecta el láser al positivo y negativo de la placa controladora, la señal del láser y tierra al pin D11 y D13 respectivamente, se conectan los finales de carrera para cada eje, y finalmente la fuente de poder de 12 V.

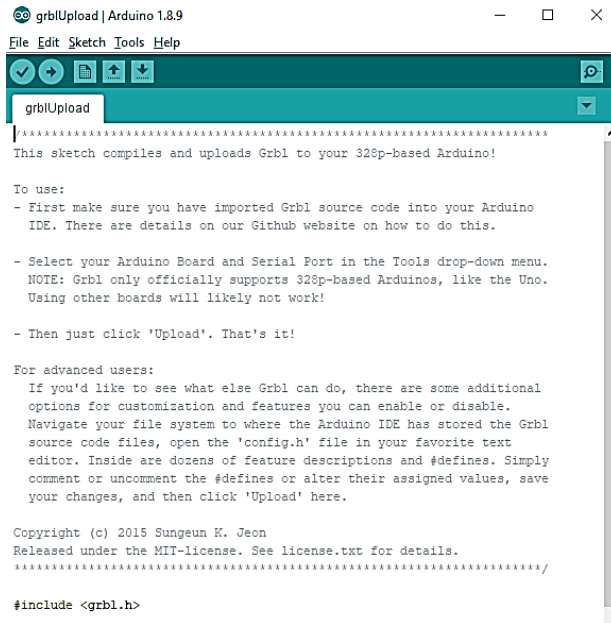


Figura 2.11 Instalación de librería GRBL a la tarjeta de Arduino [Elaboración propia].

Se debe descargar e instalar el software LaserGRBL el cual es gratuito. A continuación, se conecta la tarjeta de Arduino a la computadora a través del puerto USB, una vez abierto el programa se muestra en la figura 2.12 su interfaz principal y en la parte superior izquierda se procede a identificar el puerto “COM” para conectarse eligiendo una configuración de “baud” de 115200.

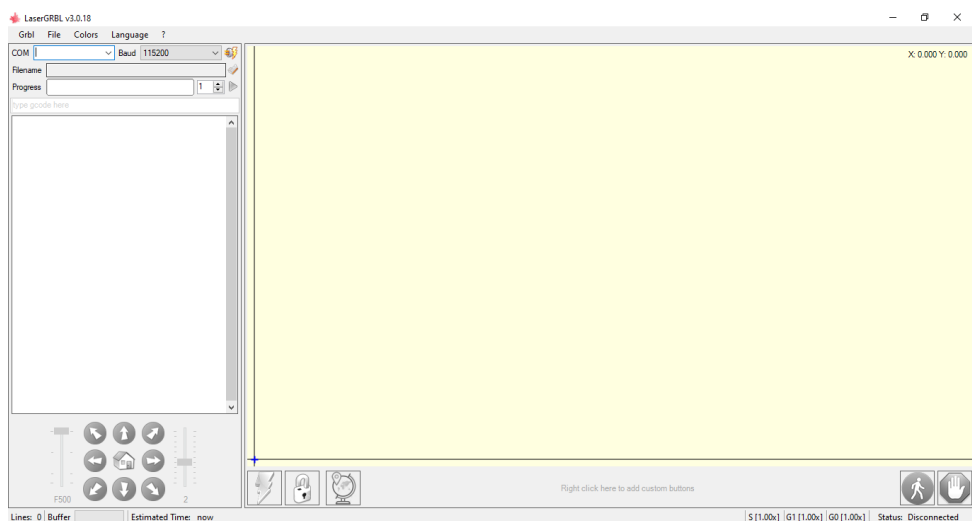
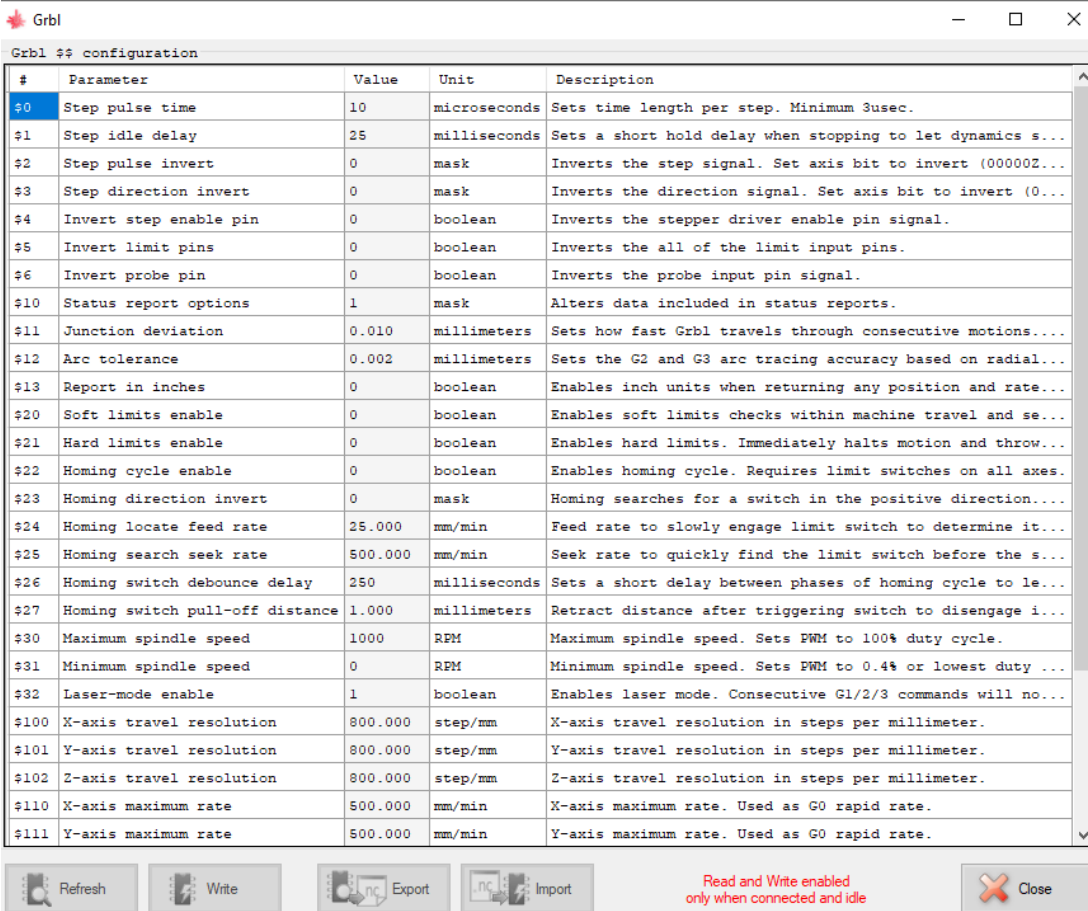


Figura 2.12 Interfaz software LaserGRBL [Elaboración propia].

En la barra superior se da un click sobre “GRBL” y se selecciona “GRBL Configuration”, en esta ventana como se muestra en la figura 2.13, se pueden cambiar varios parámetros como: los pasos por mm para cada sistema X, Y, Z con los comandos \$100, \$101, \$102 respectivamente, la velocidad en los sistemas X, Y, Z con los comandos \$110, \$111, \$112 respectivamente, activar el láser con el comando \$32=1 y para desactivarlo con el comando \$32=0, así como activar o desactivar los finales de carrera, etc.



The screenshot shows a window titled "Grbl" with a sub-header "Grbl \$\$ configuration". It contains a table with the following columns: #, Parameter, Value, Unit, and Description. The table lists various machine parameters such as step pulse time, homing search rate, and travel resolutions for X, Y, and Z axes. At the bottom of the window, there are buttons for "Refresh", "Write", "Export", "Import", and "Close", along with a status indicator "Read and Write enabled only when connected and idle".

#	Parameter	Value	Unit	Description
\$0	Step pulse time	10	microseconds	Sets time length per step. Minimum 3usec.
\$1	Step idle delay	25	milliseconds	Sets a short hold delay when stopping to let dynamics s...
\$2	Step pulse invert	0	mask	Inverts the step signal. Set axis bit to invert (00000Z...
\$3	Step direction invert	0	mask	Inverts the direction signal. Set axis bit to invert (0...
\$4	Invert step enable pin	0	boolean	Inverts the stepper driver enable pin signal.
\$5	Invert limit pins	0	boolean	Inverts the all of the limit input pins.
\$6	Invert probe pin	0	boolean	Inverts the probe input pin signal.
\$10	Status report options	1	mask	Alters data included in status reports.
\$11	Junction deviation	0.010	millimeters	Sets how fast Grbl travels through consecutive motions....
\$12	Arc tolerance	0.002	millimeters	Sets the G2 and G3 arc tracing accuracy based on radial...
\$13	Report in inches	0	boolean	Enables inch units when returning any position and rate...
\$20	Soft limits enable	0	boolean	Enables soft limits checks within machine travel and se...
\$21	Hard limits enable	0	boolean	Enables hard limits. Immediately halts motion and throw...
\$22	Homing cycle enable	0	boolean	Enables homing cycle. Requires limit switches on all axes.
\$23	Homing direction invert	0	mask	Homing searches for a switch in the positive direction....
\$24	Homing locate feed rate	25.000	mm/min	Feed rate to slowly engage limit switch to determine it...
\$25	Homing search seek rate	500.000	mm/min	Seek rate to quickly find the limit switch before the s...
\$26	Homing switch debounce delay	250	milliseconds	Sets a short delay between phases of homing cycle to le...
\$27	Homing switch pull-off distance	1.000	millimeters	Retract distance after triggering switch to disengage i...
\$30	Maximum spindle speed	1000	RPM	Maximum spindle speed. Sets PWM to 100% duty cycle.
\$31	Minimum spindle speed	0	RPM	Minimum spindle speed. Sets PWM to 0.4% or lowest duty ...
\$32	Laser-mode enable	1	boolean	Enables laser mode. Consecutive G1/2/3 commands will no...
\$100	X-axis travel resolution	800.000	step/mm	X-axis travel resolution in steps per millimeter.
\$101	Y-axis travel resolution	800.000	step/mm	Y-axis travel resolution in steps per millimeter.
\$102	Z-axis travel resolution	800.000	step/mm	Z-axis travel resolution in steps per millimeter.
\$110	X-axis maximum rate	500.000	mm/min	X-axis maximum rate. Used as G0 rapid rate.
\$111	Y-axis maximum rate	500.000	mm/min	Y-axis maximum rate. Used as G0 rapid rate.

Figura 2.13 Parámetros de control de la máquina [Elaboración propia].

En la barra superior se procede a dar un click en “File” y luego seleccionar “Open File” para examinar una imagen en el computador que se requiera grabar o cortar, la imagen debe ser JPG, ya sea obtenida de internet, fotografía digital o un dibujo en 2D realizado CAD.

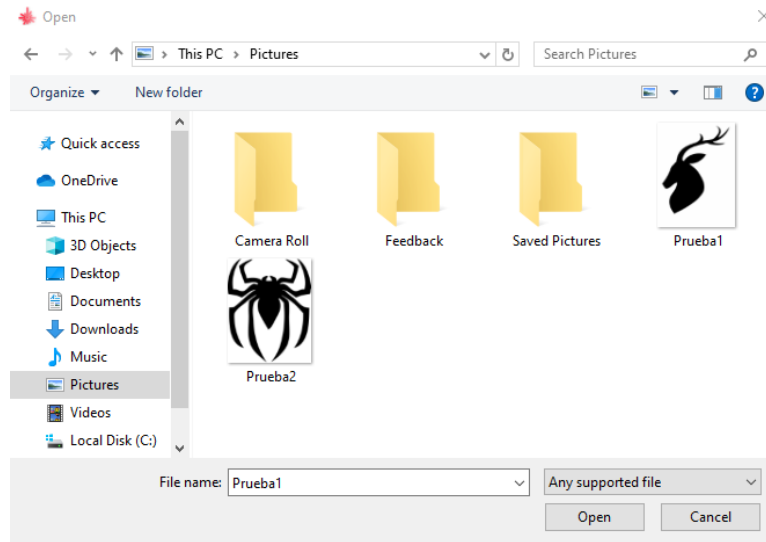


Figura 2.14 Selección de la imagen para importar al software LáserGRBL [Elaboración propia].

Una vez que se ha seleccionado la imagen se abre una ventana como se muestra en la figura 2.14, en esta se pueden modificar los parámetros como el brillo y contraste de la imagen, es importante configurar de acuerdo con la necesidad ya que de estos parámetros depende el resultado final, además existen cuatro tipos de operaciones para el láser, las cuales se describen a continuación.

- **Línea a línea:** Realiza un grabado línea a línea desde la sección inferior de la imagen hasta la sección superior, ya sea en forma horizontal, vertical.
- **Punto a punto:** Realiza un grabado punto a punto desde la sección inferior de la imagen hasta la sección superior, se puede elegir entre diferentes combinaciones para realizar esta operación.
- **Vectorizar:** Esta opción permite realizar un grabado del perímetro de la imagen, depende del número de pasadas y del material esta opción permite realizar corte de diferentes materiales.
- **Línea central:** Esta opción permite realizar un grabado de línea central de la imagen que se cargue en el programa

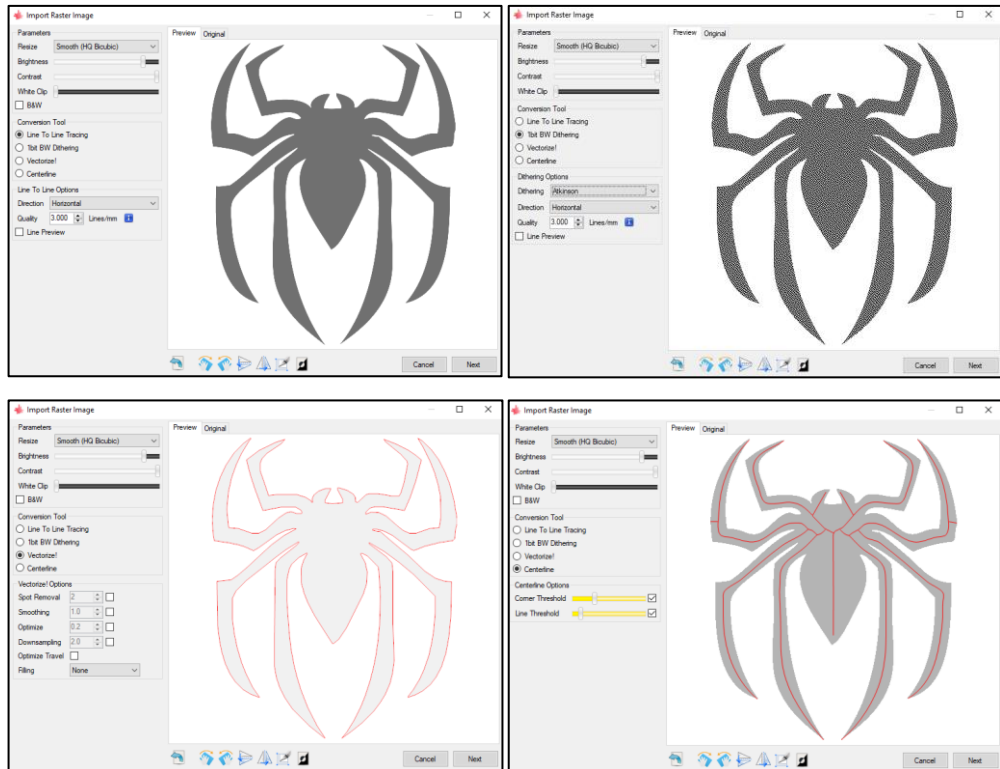


Figura 2.15 Tipos de operaciones para realizar grabado y corte [Elaboración propia].

Una vez elegido el tipo de operación que se requiere realizar se da un click en “Next”, automáticamente se abre la siguiente ventana en la que se puede configurar la potencia del láser y las dimensiones de la imagen en mm, luego se da click en “Create” y aparecerá la interfaz principal.

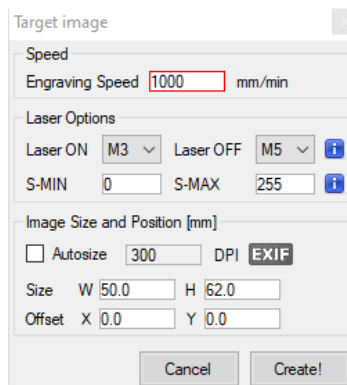


Figura 2.16 Configuración de potencia y dimensionamiento de la imagen. [Elaboración propia]

Para realizar un grabado o corte se debe definir el número de pasadas en base al espesor del material, en la parte superior izquierda, en la sección “Progress” a la derecha, hay dos flechas y en estas se puede aumentar o disminuir el número de pasadas que realiza el láser, que por defecto es una.

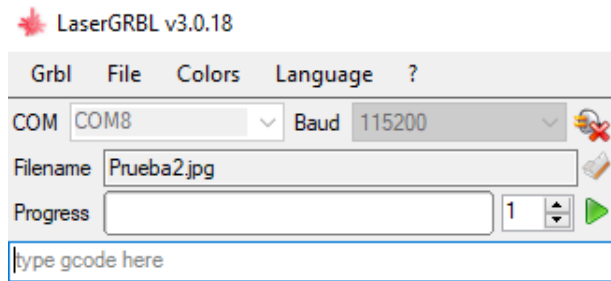


Figura 2.17 Inicio de prueba [Elaboración propia].

En la parte inferior derecha de la interfaz también se puede modificar la potencia del láser antes de realizar la operación, y en la parte inferior izquierda se encuentran las flechas que permiten posicionar al láser en un punto inicial de referencia para luego comenzar a realizar la operación, para lo cual se presiona la flecha de color verde en la sección de “Progress”.

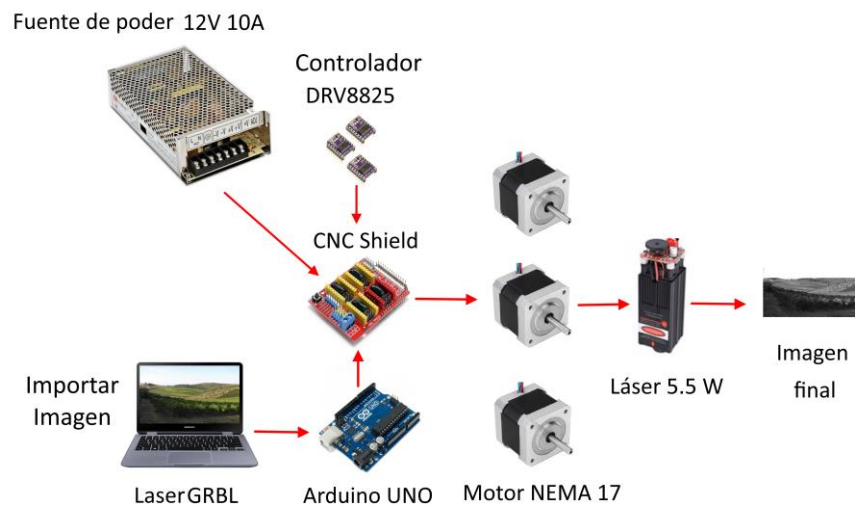


Figura 2.18 Operación de láser [Elaboración propia].

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados

3.1.1 Deflexión

En base a las ecuaciones detalladas en el capítulo 2, se procede a calcular el peso total del carro “Y” (P_y), encontrando un valor de 32.026N, el cual se introduce en la ecuación 2.1 para encontrar el peso que soportará la guía lineal:

$$W_1 = W_2 = \frac{P_y}{4} = 8.0N$$

Obtenidas todas las fuerzas que actúan sobre el eje se puede realizar los diagramas de cortante y momento flector (Figura 3.1), en las que se observa que el momento máximo que actúa sobre el eje es de 1.39 [Nm].

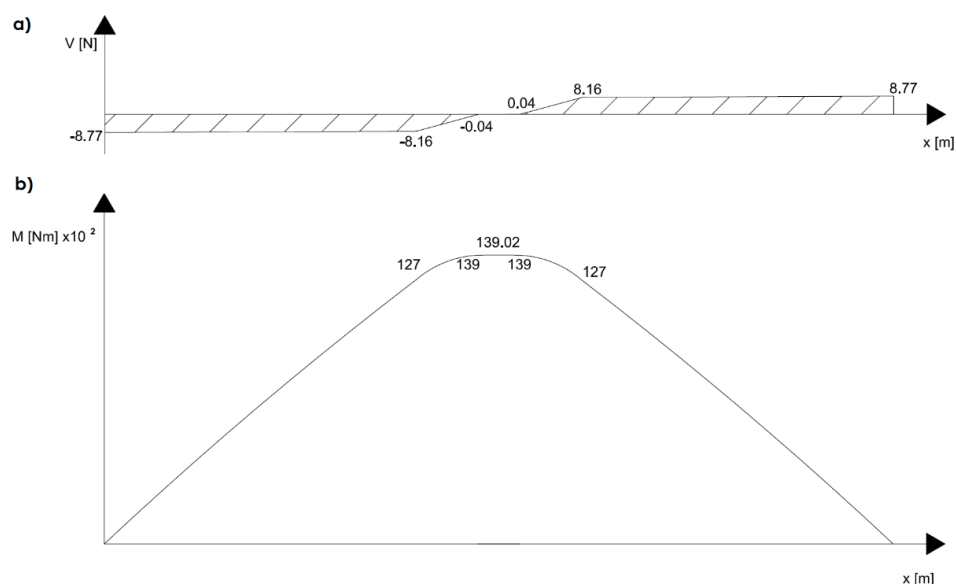


Figura 3.1 (a) Fuerza cortante [N]; (b) Momento flector [Nm]
[Elaboración propia].

El esfuerzo de fluencia máximo (σ_{max}) se lo calcula con la ecuación 2.3, obteniendo un esfuerzo máximo de 27.65 [MPa]. Con este valor y con ayuda de la ecuación 2.4 encontramos un factor de seguridad de 19.16.

Posterior a ello, realizamos un análisis con el software ANSYS y nos mostró un factor de seguridad de 15 (Figura 3.3), obteniendo así un error relativo de 21.7% en los cálculos realizados. En cambio, la deflexión máxima obtenida con el programa fue de 0.0332 mm (Figura 3.2).

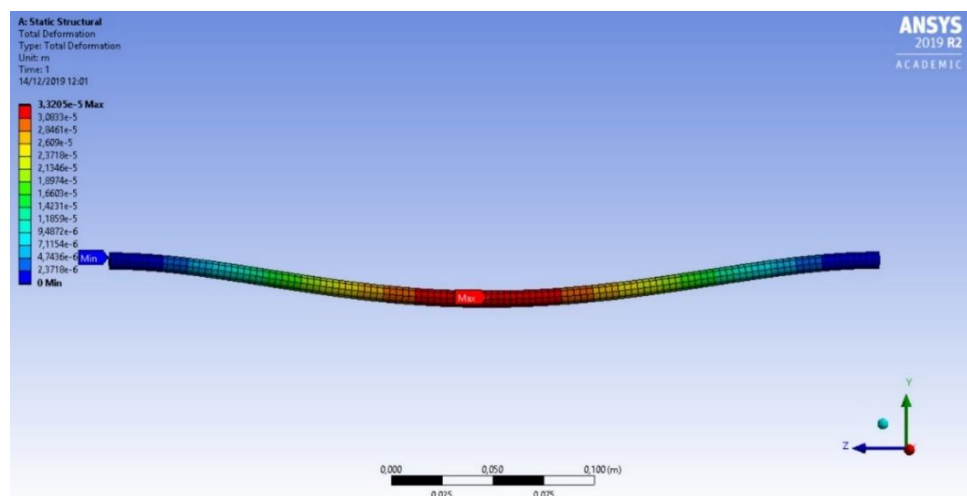


Figura 3.2 Análisis de deflexión de la guía lineal del eje Y [Elaboración propia].

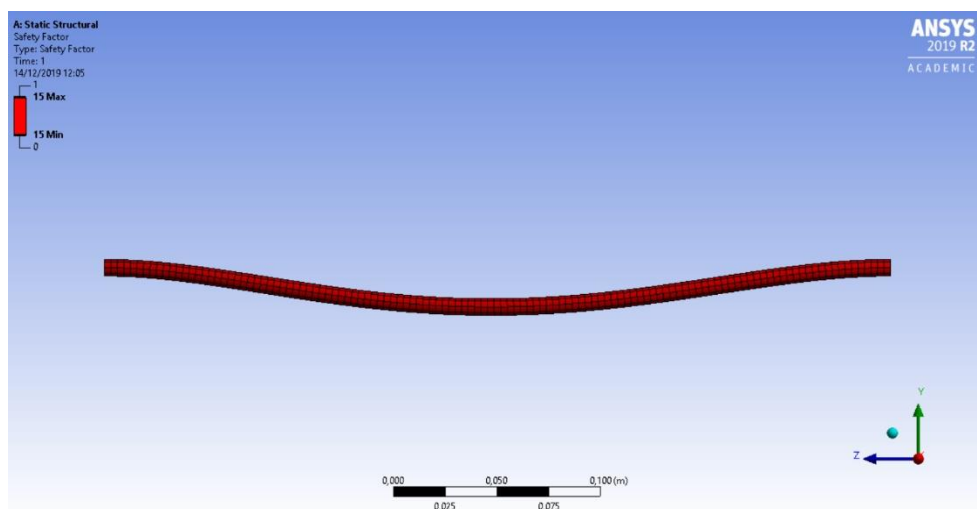


Figura 3.3 Análisis del factor de seguridad de la guía lineal del eje Y [Elaboración propia].

3.1.2 Torque del motor

El cálculo del torque del motor requerido se lo realizó para el subsistema que se mueve en el eje "Y", ya que este necesitará de un mayor torque que los demás debido a que traslada un mayor peso. Para ello, con la ecuación 2.9 se logra obtener la inercia del tornillo de la siguiente manera:

$$J_{\text{tornillo}} = (\pi \cdot 0.4m \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.004m^4) \div 2$$
$$J_{\text{tornillo}} = 1.26 \times 10^{-6} \text{ [kg m}^2\text{]}$$

Luego se debe determinar la inercia de la carga con la ecuación 2.10, de donde la eficiencia es de 0.4.

$$J_W = (3.26N \div 0.4) \cdot (1 \div (2\pi * 125\text{rev/m}))^2$$
$$J_W = 1.32 \times 10^{-6} \text{ [kg m}^2\text{]}$$

Según el fabricante de tornillos sin fin, aseguran que la velocidad máxima de un tornillo de 8mm de diámetro es de 1200 RPM (*Tecnopower.1.pdf*, s. f., p. 12), entonces se procede a calcular el toque de aceleración con la ecuación 2.7:

$$T_{\text{acel}} = 1.446 \times 10^{-5} \text{ kg m}^2 \cdot (1200 \text{ RPM} \div 0.425 \text{ s}) \cdot 2\pi \div 60$$
$$T_{\text{acel}} = 5.34 \times 10^{-3} \text{ [N m]}$$

Las ecuaciones 2.12 y 2.13 nos permite encontrar la fuerza de fricción y gravedad respectivamente, utilizando un ángulo de 0° al que estará ubicado el tornillo y un coeficiente de fricción de 0.58.

$$F_{\text{fricción}} = 0.58 \cdot 3.26 \cdot \cos(0^\circ) \cdot 9.81$$
$$F_{\text{fricción}} = 18.54 \text{ [N]}$$

$$F_{\text{gravedad}} = 3.26 \cdot \text{sen}(0^\circ) \cdot 9.81$$
$$F_{\text{gravedad}} = 0 \text{ [N]}$$

Obteniendo una fuerza total de 18.54 N, esto nos permite encontrar el torque resistivo con ayuda de la ecuación 2.15, en la cual se asume una fuerza del tornillo para minimizar el retroceso de 25 N.

$$T_{resist} = \left(18.54 \text{ N} \div \left(2 \pi * 125 \frac{rev}{m} \right) \right) + \left(0.58 * 25 \text{ N} \div \left(2 \pi * 125 \frac{rev}{m} \right) \right)$$

$$T_{resist} = 0.042 \text{ [N m]}$$

Por último, procedemos a determinar el torque total requerido por el sistema (T_{motor}) definido en la sección 2.6.2:

$$T_{motor} = (T_{acel} + T_{resist})$$

$$T_{motor} = 0.042 \text{ Nm} + 5.34 \times 10^{-3} \text{ [N m]}$$

$$T_{resist} = 0.047 \text{ [N m]}$$

Los motores utilizados en la máquina proporcionan un torque de 0.59 Nm, obteniendo así un factor de seguridad de 12.55.

3.1.3 Micropasos a utilizar

Utilizando la ecuación 2.16 se calcularon los pasos por revolución del motor en base a la resolución requerida.

$$\theta_{paso} = \frac{d_{carga} \div i}{L_{\theta}}$$

$$\theta_{paso} = \frac{8/1}{0.1} = 80 \left[\frac{pasos}{rev_{motor}} \right]$$

A continuación, utilizando la ecuación 2.15 se procedió a calcular los micropasos para los diferentes ejes y determinar la configuración del formato de pasos.

$$Micropasos_{x,y,z} = \frac{\theta_{paso} \left[\frac{pasos}{rev_{motor}} \right]}{\# \text{ pasos completos}/rev_{motor}}$$

$$Micropasos_{x,y,z} = \frac{80}{200} = 0.4$$

3.1.4 Pasos por mm

El motor es de 1.8° por paso, y para determinar los pasos por vuelta del motor se utilizó la ecuación 2.17 que da como resultado 200 pasos por vuelta.

$$(pasos/vuelta)_{motor} = \frac{360^\circ}{1.8^\circ/paso}$$

$$(pasos/vuelta)_{motor} = 200$$

Los pasos por mm se los calculó utilizando la ecuación 2.18 de acuerdo con los parámetros calculados anteriormente se determinó un resultado de 25 pasos por mm, el cual será ingresado en el software posteriormente.

$$\frac{pasos}{mm} = \frac{\left(\frac{pasos}{vuelta}\right)_{motor} * (micropasos)_{driver}}{(avance)_{varilla\ rosca}}$$

$$\frac{pasos}{mm} = \frac{200\ pasos * 1}{8\ mm} = 25 [pasos/mm]$$

3.1.5 Voltaje de referencia

El voltaje de referencia de cada motor se lo calculó con la ecuación 2.19 esta configuración es de Full Step. Por lo tanto, se multiplica por 70% al voltaje de referencia, lo cual permitió obtener los resultados deseados.

$$I_C = \frac{V_{ref}}{5 * R_{dr}}$$

$$V_{ref} = I_C * 5 * R_{dr}$$

$$V_{ref} = 1.7 * 5 * 0.1 * 0.7 = 0.595 [V]$$

3.2 Análisis de costos

3.2.1 Costo de materiales

Los materiales que se utilizaron para la construcción de la máquina fueron adquiridos en el exterior a través de una página de compras por internet conocida como AliExpress, la ventaja es que el envío a Ecuador es gratis en algunas piezas, se debe tomar en cuenta que el tiempo de espera desde que se hace la compra es de aproximadamente dos meses por que el envío es desde China. En la tabla 3.1 se puede apreciar con más detalle el desglose de precios.

Tabla 3.1 Costo de los materiales [Elaboración propia].

Descripción	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo total \$
Perfil de aluminio 20 mm x 20 mm x 600 mm	4	8.75	35
Rodamiento lineal 8 mm	12	1.37	16.44
Eje acero cromado 8 mm x 400 mm	5	3.97	19.85
Soporte eje acero 8 mm	8	1.02	8.16
Acople flexible de 5 mm a 8 mm	3	1.64	4.92
Chumacera rodamiento 8 mm	3	1.1	3.3
Tornillo sin fin 8 mm x 400 mm con tuerca	3	5.87	17.61
Arduino Uno, placa controladora y controlador DRV8825	1	8.42	8.42
Motor nema 17	3	7.58	22.74
Soporte motor nema 17	2	1.31	2.62
Láser 5.5 W	1	90	90
Final de carrera	3	1.99	5.97
Fuente de poder 12 V 10 A	1	8.8	8.8
Tuerca M5 50 piezas	1	4.02	4.02
Pernos M5 50 piezas	1	1.88	1.88
Pernos M4 30 piezas	1	3.1	3.1
Mesa de acero 300 mm x 200 mm	1	10	10
Gafas de protección para láser de 450 nm	2	1.41	2.82
Ventilador 12 V 0.8 A	1	7.67	7.67
Imanes para sujeción 20 piezas	1	3.48	3.48
Botón parada de emergencia	1	1.13	1.13
Material PLA para impresión de piezas 3D	-	25	25
Total			302.93

3.2.2 Costo de mano de obra

En la construcción de la máquina se tuvo a disposición el laboratorio de Control y Mecatrónica de FIMCP, en el cual se facilitó un multímetro, un tornillo de banco para poder realizar el corte de perfiles, eje y tornillos sin fin. La impresión de las piezas en 3D se la realizó en una impresora 3D, por lo que se agrega ese costo al de mano de obra en un valor de 40 dólares.

Tabla 3.2 Costo total [Elaboración propia].

Descripción	Valor USD
Costo de Materiales	302.93
Costo Mano de obra impresión	40
Costo Mano de obra corte	30
Costo total	372.93

3.3 Pruebas de la máquina

3.3.1 Grabado láser

Se realizaron pruebas en materiales de diferentes características, como espesor, color y acabado. Para cada prueba se modificó la altura a la que se ubica el láser con respecto a la superficie del material a ser grabado, para los materiales especificados en la tabla 3.3 se definió esta distancia en 30 mm, la potencia del láser al 50% y una velocidad de recorrido 1000 mm/min, debido a que ciertos materiales se comportan de manera diferente, es necesario enfocar el láser para cada material, esto se lo realiza moviendo la perilla del láser en sentido horario o antihorario, además se estableció una sola pasada para hacer un grabado. Se ubicó el láser en el punto cero de máquina para aprovechar el área de trabajo, luego se colocaron los imanes sobre el material para que se mantengan fijos ya que la superficie de trabajo de la máquina es de acero.

Tabla 3.3 Parámetros para realizar grabado con láser [Elaboración propia].

Material	Espesor (mm)	Distancia al láser (mm)	Potencia de láser (%)	Velocidad (mm/min)	Número de pasadas
Vinil	0.5	30	50	1000	1
Cartulina	0.3	30	50	1000	1
Cuero	1.3	30	50	1000	1
Fomix	1.5	30	25	1000	1
Carton	2	30	50	1000	1
Plywood	2	30	50	1000	1
Madera de balsa	4	30	50	1000	1



Figura 3.4 Grabado sobre MDF [Elaboración propia].

3.3.2 Corte láser

Para las operaciones de corte láser el procedimiento es similar. Sin embargo, los parámetros deben ser configurados para lograr un corte limpio y preciso. De igual manera, se debe ubicar el láser a una distancia de 30 mm, la potencia del láser debe ser al 100% y una velocidad de recorrido de 250 mm/s, para el corte láser el número de pasadas depende del material y su espesor, se utilizaron los mismos materiales para el grabado, para observar las diferencias. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 3.4 que muestra los parámetros que deben ser configurados en el software para realizar la operación.

Tabla 3.4 Parámetros para realizar corte con láser [Elaboración propia].

Material	Espesor (mm)	Distancia al láser (mm)	Potencia de láser (%)	Velocidad (mm/min)	Número de pasadas
Vinil	0.5	30	100	250	2
Cartulina	0.3	30	100	250	1
Cuero	1.3	30	100	250	5
Fomix	2	30	40	250	1
Carton	1.9	30	100	250	3
Plywood	2	30	100	250	30
Madera de balsa	4	30	100	250	8



Figura 3.5 Corte por láser realizado en diferentes materiales [Elaboración propia].



Figura 3.6 Corte por láser realizado utilizando vinil negro [Elaboración propia].

3.3.3 Grabado router

Se realizó la impresión en 3D de un soporte para ajustar router de la misma manera que al láser, a este se le puede intercambiar las herramientas de corte, en este caso se utilizó una fresa de desbaste de 2.5 mm de diámetro. Para este tipo de operación se requiere de mayor control y supervisión al momento de posicionar la herramienta y de fijar el material a la mesa para iniciar el grabado, el software permite el ajuste en el eje Z, cada 0.1 mm, 1 mm y 10 mm.



Figura 3.7 Grabado sobre acrílico y relleno con masilla [Elaboración propia].

Tabla 3.5 Parámetros para realizar grabado con router [Elaboración propia].

Material	Espesor (mm)	Avance (mm)	Número de pasadas	Velocidad de recorrido (mm/min)	Velocidad de corte (m/s)
Acrílico	3	0.4	2	500	4.7
MDF	4	0.4	2	500	4.7

3.3.4 Corte router

Para esta operación es importante asegurar la pieza sobre la mesa, el software permite el ajuste en el eje z cada 0.1 mm, 1 mm y 10 mm, se determinó que en madera y acrílico se pudo introducir la herramienta 0.4 mm por cada pasada. Por lo tanto, hay que calcular cuantas pasadas se necesitan en base al espesor de la pieza.



Figura 3.8 Corte sobre MDF [Elaboración propia].

Tabla 3.6 Parámetros para realizar corte con router [Elaboración propia].

Material	Espesor (mm)	Avance (mm)	Número de pasadas	Velocidad de recorrido (mm/min)	Velocidad de corte (m/s)
Acrílico	3	0.4	8	500	4.7
MDF	4	0.4	11	500	4.7

3.4 Resolución

En la tabla 3.7 y 3.8 podemos observar que los cortes realizados en los diferentes materiales utilizando tanto el láser como el router respectivamente cumplen con la resolución establecida en los objetivos.

Tabla 3.7 Porcentaje de error y resolución utilizando láser [Elaboración propia].

Material	Experimental		Teórica		Porcentaje de error %		Resolución	
	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X	Y	X (mm)	Y (mm)
Vinil	15.1	15.1	15	15	0.67	0.67	0.1	0.1
Cartulina	15.1	15.1	15	15	0.67	0.67	0.1	0.1
Cuero	15.1	15.1	15	15	0.67	0.67	0.1	0.1
Fomix	15.1	15.08	15	15	0.67	0.53	0.1	0.08
Carton	15.1	15.1	15	15	0.67	0.67	0.1	0.1
Plywood	15.04	15.06	15	15	0.27	0.40	0.04	0.06
Madera de balsa	15.04	15.04	15	15	0.27	0.27	0.04	0.04

Tabla 3.8 Porcentaje de error y resolución utilizando router [Elaboración propia].

Material	Experimental		Teórica		Porcentaje de error		Resolución	
	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	%		X (mm)	Y (mm)
Acrílico	15.1	15.1	15	15	0.67	0.67	0.1	0.1
MDF	15.08	15.06	15	15	0.53	0.40	0.1	0.1
Plywood	15.1	15.1	<u>15</u>	15	0.67	0.67	0.1	0.1

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Como se describe en la sección 3.2, el costo total de la máquina es de \$372.93, lo cual es económico en comparación a otras máquinas CNC existentes en el mercado ya que su precio se encuentra alrededor de \$1600. Además, el desplazamiento en el eje z nos permitió crear una máquina de tipo híbrida, proporcionando así un valor agregado a la misma.
- De acuerdo con los resultados obtenidos para ambas configuraciones, las pruebas en diferentes materiales determinaron que la resolución de 0.1 mm se cumple.
- Con respecto al láser la regulación de potencia para el grabado debe configurarse al 50% y una velocidad de recorrido de 1000 mm/min, mientras que para el corte debe configurarse al 100% de potencia y una velocidad de 250 mm/min. Para el módulo router se determinó que la velocidad de recorrido sería de 500 mm/min, la velocidad de corte de 4,7 m/s, y un avance de 0.4 mm por cada pasada.
- El área de trabajo y el ajuste de altura son idóneas para trabajos a pequeña y mediana escala. Sin embargo, el tiempo que toma realizar un grabado o corte puede ser una desventaja, cuando se utiliza toda el área de la máquina.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda instalar un sistema de extracción de residuos que se active al momento de iniciar una operación de grabado o corte utilizando el módulo router.
- Se recomienda instalar fuelles de protección para ejes y tornillo, los cuales evitan la entrada de suciedad en elementos como rodamientos.

- Se recomienda cambiar la superficie de trabajo por una de tipo ranurado que permita una mejor sujeción de piezas en ambas configuraciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfawise 5500mw Blue Laser Engraving*. (s. f.). Recuperado 11 de octubre de 2019, de <https://www.alfawise.com/>
- Alonso Fernández, B. (2010). *El láser: La luz de nuestro tiempo*. s. n.
- Ángel, S. P. M., & Javier, L. P. C. (2013). *Programación de máquinas-herramienta con control numérico*. Editorial UNED.
- Carpio, P. A. M. (s. f.). *Principales tipos de láser y sus características*. 17.
- Castiglione, N. (2017). *Sistemas de transmisión de routers CNC*. 4.
- DRV8825 Stepper Motor Controller IC*. (2014). Texas Instruments.
- DRV8825 Stepper Motor Driver*. (s. f.). Pololu. Recuperado 11 de octubre de 2019, de <https://www.pololu.com/product/2133/specs>
- Longrunner*. (s. f.). Longrunner Professional 3D Printer CNC Kit for Arduino GRBL C. Recuperado 11 de octubre de 2019, de <http://www.longrunnerpro.com/a/Products/20191129/249.html>
- Malacara, D. (2007). *Optica tradicional y moderna*. Fondo de Cultura Económica.
- Moyer, T. (2019). *GRBL V1.1 Commands*. <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Grbl-v1.1-Commands>
- Naylampmechatronics*. (s. f.). Naylampmechatronics. Recuperado 11 de octubre de 2019, de http://www.naylampmechatronics.com/img/cms/catalogo_v-slot.pdf
- Salvador, J. (2019, julio 5). Cortadora CNC láser. Beneficios, ventajas y utilidades. *Stanser*. <https://www.stanser.com/cortadora-cnc-laser-beneficios-ventajas-y-utilidades/>
- StepperDriver-SureStep-manual.pdf*. (s. f.). Recuperado 19 de noviembre de 2019, de <https://users.obs.carnegiescience.edu/crane/pfs/man/Electronics/StepperDriver-SureStep-manual.pdf>
- Tecnopower.1.pdf*. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2020, de http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/tornillo_de_potencia/tecnopower.1.pdf
- Verdeyen, J. T. (1995). *Laser Electronics*. Prentice Hall.

APÉNDICES

APÉNDICE A – Especificaciones de componentes electrónicos

Tabla A- 1 Especificaciones generales del motor paso a paso [Longruner, s. f.].

Modelo	17HD48002H-22B
Ángulo de paso	1.8°
Paso de precisión	5%
Torque	59 Ncm
Corriente nominal	1.7 A
Fase de resistencia	1.4 ohms
Tensión	2.8 V
Inductancia	3.0 Mh
Peso	400 g

Tabla A- 2 Especificaciones generales del controlador [DRV8825 Stepper Motor Driver, s. f.].

Voltaje mínimo de operación	8.2 V
Voltaje máximo de operación	45 V
Corriente máxima de operación	2.5 A
Resolución de micropaso	Full, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Dimensiones	9.70 mm x 6.40 mm
Peso	1.6 g

Tabla A- 3 Especificaciones generales del láser [Alfawise 5500mw Blue Laser Engraving, s. f.].

Potencia del láser	5.5 W
Longitud de onda	450 nm
Color de láser	Azul
Forma de luz	Punto
Voltaje de operación	12 V
Voltaje de salida del variador	5 V
Parametros eléctricos del variador de entrada	12 V, 3A
Peso del láser	0.25 kg
Modo de enfriamiento	Ventilador
Modulación	TTL/PWM

APÉNDICE B - Modo de configuración microstep

Tabla B- 1 Configuración del formato de pasos [DRV8825 Stepper Motor Controller IC, 2014, p. 13].

Mode 2	Mode 1	Mode 0	Step Mode
0	0	0	Full Step 70% Current
0	0	1	1/2 Step
0	1	0	1/4 Step
0	1	1	8 Microsteps/step
1	0	0	16 Microsteps/step
1	0	1	32 Microsteps/step
1	1	0	32 Microsteps/step
1	1	1	32 Microsteps/step

APÉNDICE C - Especificación de piezas impresas

Tabla C- 1 Parámetros principales de las piezas impresas en PLA [Elaboración propia].

Altura de capa	0.2mm
Número de capas al inicio	4
Número de capas al final	4
Espesor de pared	0.8 mm
Velocidad de impresión	60 mm/s
Porcentaje de relleno	100%
Temperatura de impresión	200°C
Temperatura de cama	60°C

APÉNDICE D - Pruebas realizadas

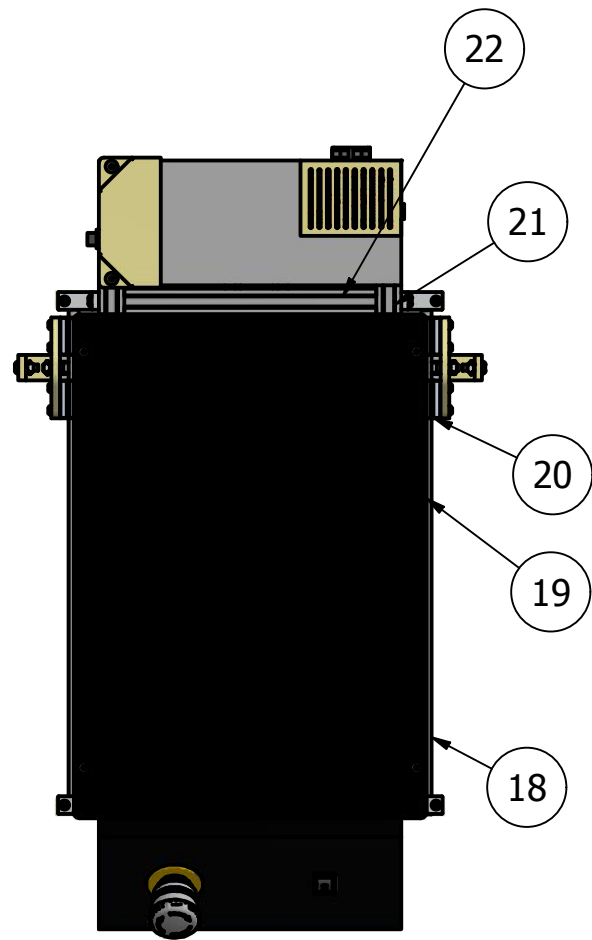
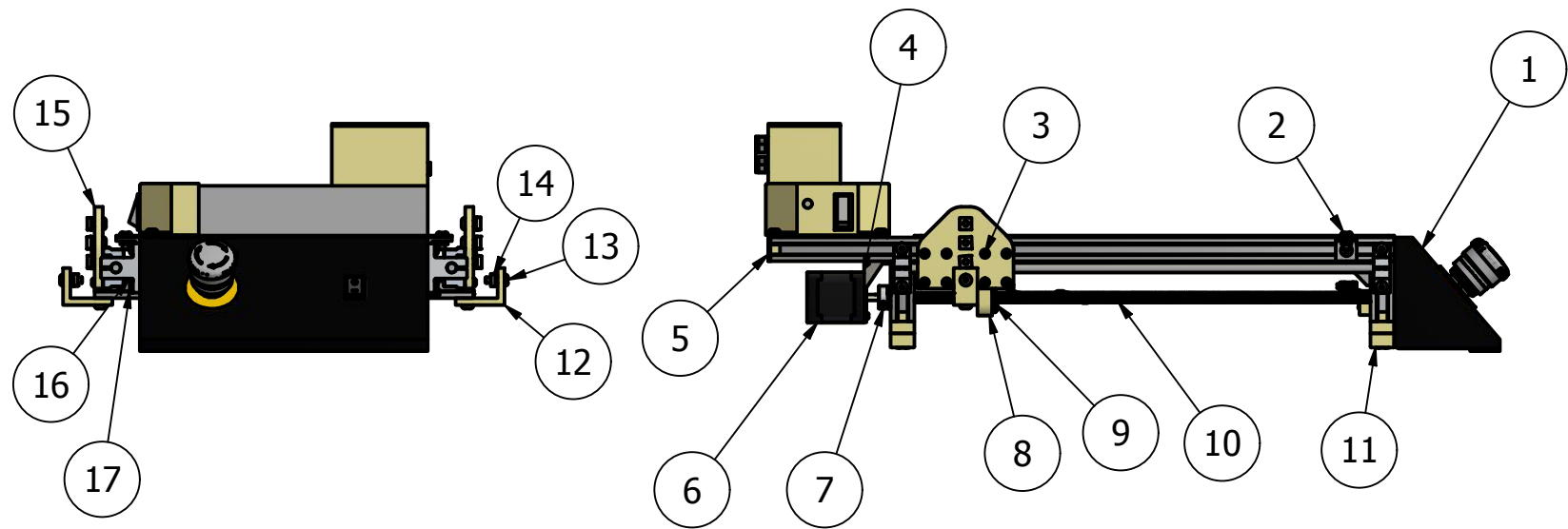


Figura D- 1 Corte utilizando router [Elaboración propia].



Figura D- 2 Grabado utilizando láser [Elaboración propia].

APÉNDICE E- Planos

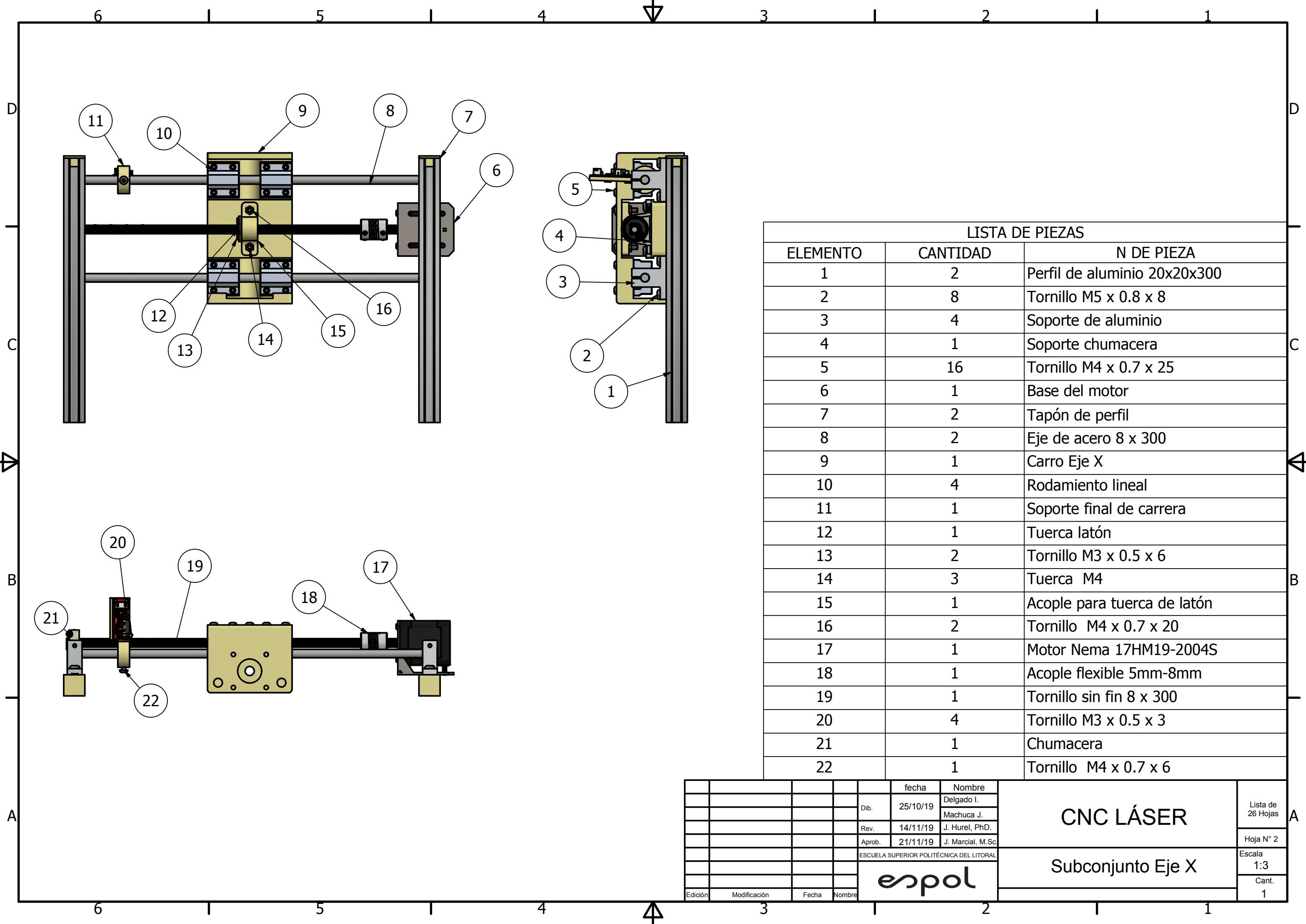


LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CANTIDAD	N DE PIEZA
1	1	Cubierta de la maquina
2	4	Tornillo M5 x 0.8 x 14
3	16	Tornillo M4 x 0.7 x 16
4	1	Base de motor
5	4	Tapón de perfil
6	1	Motor Nema 17HM19-2004S
7	1	Acople flexible 5mm - 8mm
8	1	Soporte para tuerca de latonn
9	1	Tuerca laton
10	1	Tornillo sin fin 8 x 400
11	4	Nivel
12	2	Union en L
13	10	Tornillo M5 x 0.8 x 12
14	57	Tuerca T M5
15	2	Soporte para rodamientos lineales
16	4	Soporte para eje
17	41	Tornillo M5 x 0.8 x 8
18	2	Eje de acero 8 x 400
19	1	Mesa de trabajo
20	4	Rodamiento lineal
21	2	Perfil de aluminio 20x20x520
22	2	Perfil de aluminio 20x20x200

				fecha	Nombre
				25/10/19	Delgado I.
			Dib.		Machuca J.
				14/11/19	J. Hurel, PhD.
			Rev.		J. Marcial, M.Sc.
				21/11/19	
			Aprob.		
					ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
					espol
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		

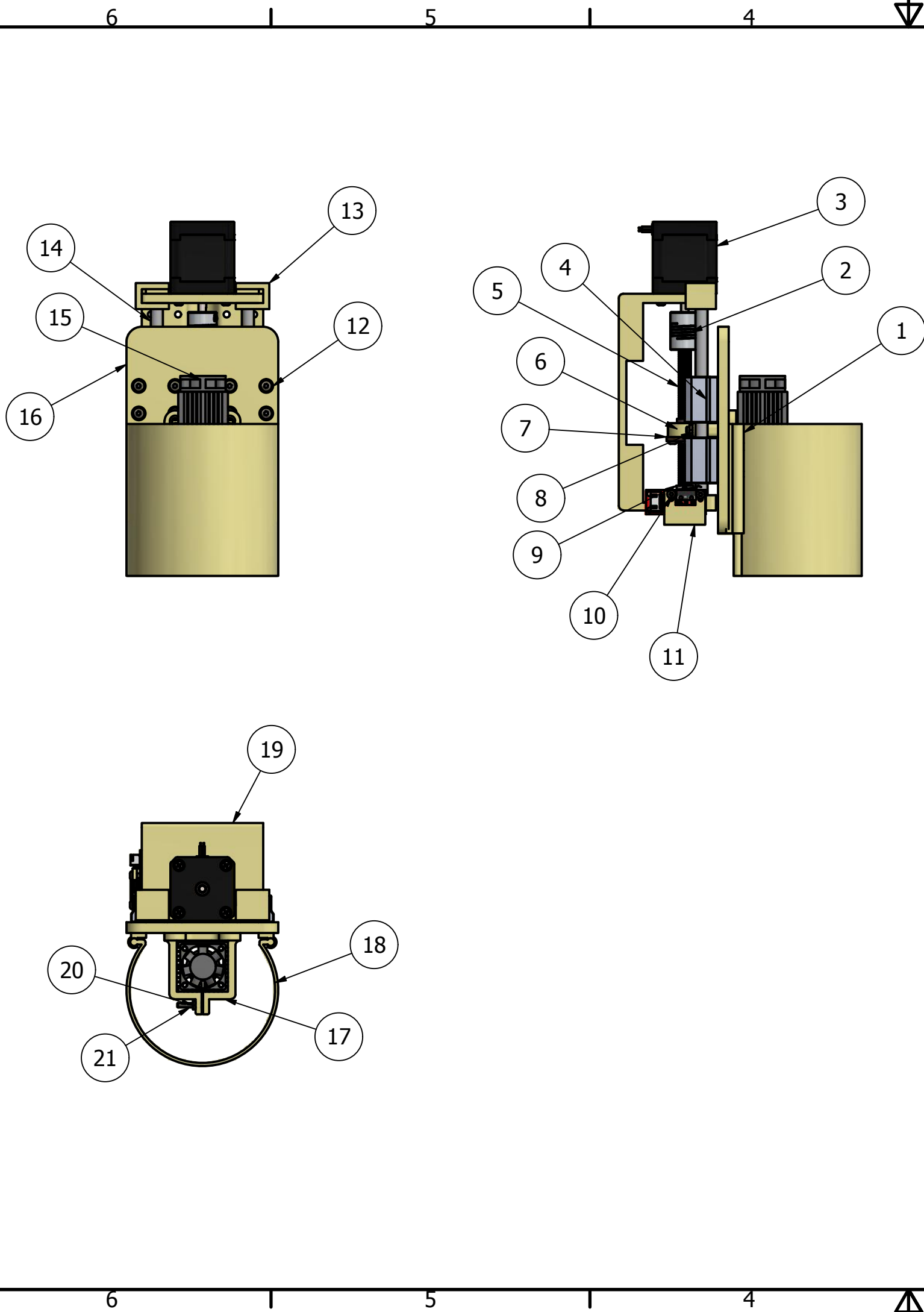
CNC LÁSER		Lista de 26 Hojas
		Hoja N° 1
Subconjunto Eje Y		Escala 1:6
		Cant. 1



LISTA DE PIEZAS

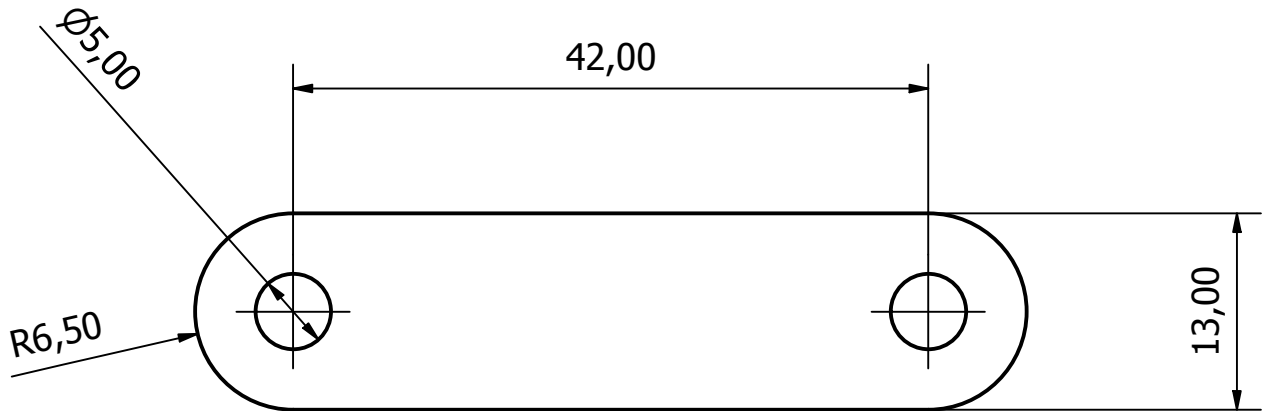
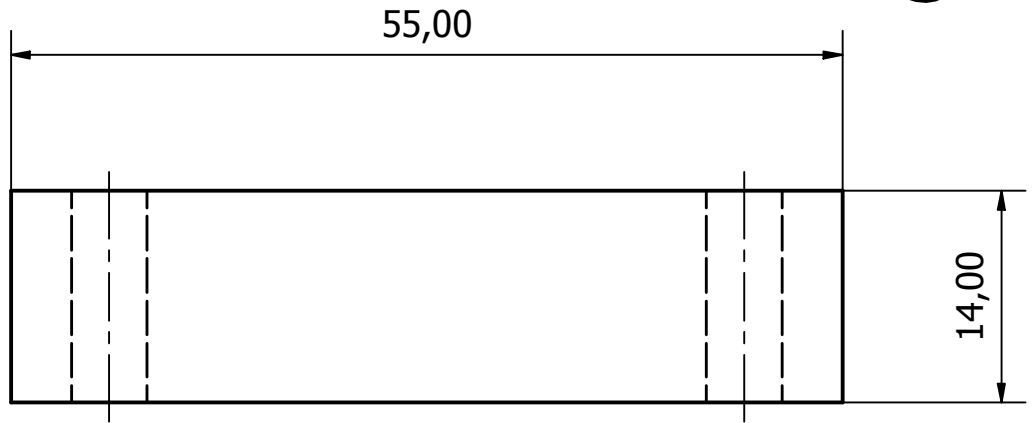
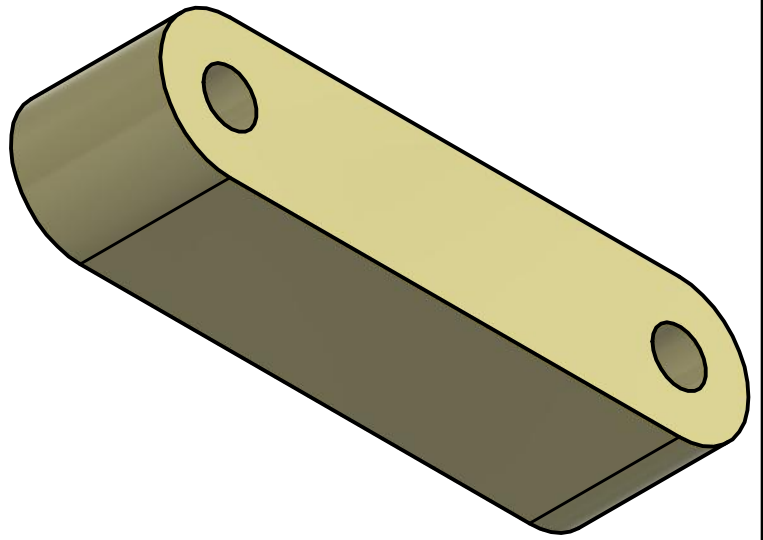
ELEMENTO	CANTIDAD	N DE PIEZA
1	2	Perfil de aluminio 20x20x300
2	8	Tornillo M5 x 0.8 x 8
3	4	Soporte de aluminio
4	1	Soporte chumacera
5	16	Tornillo M4 x 0.7 x 25
6	1	Base del motor
7	2	Tapón de perfil
8	2	Eje de acero 8 x 300
9	1	Carro Eje X
10	4	Rodamiento lineal
11	1	Soporte final de carrera
12	1	Tuerca latón
13	2	Tornillo M3 x 0.5 x 6
14	3	Tuerca M4
15	1	Acople para tuerca de latón
16	2	Tornillo M4 x 0.7 x 20
17	1	Motor Nema 17HM19-2004S
18	1	Acople flexible 5mm-8mm
19	1	Tornillo sin fin 8 x 300
20	4	Tornillo M3 x 0.5 x 3
21	1	Chumacera
22	1	Tornillo M4 x 0.7 x 6

				fecha	Nombre	CNC LÁSER	Lista de 26 Hojas
				25/10/19	Delgado I.		
			Dib.	14/11/19	Machuca J.		
			Rev.	21/11/19	J. Hurel, PhD.		
					J. Marcial, M.Sc.	Hoja N° 2	
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Escala 1:3	
				espol		Subconjunto Eje X	Cant. 1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

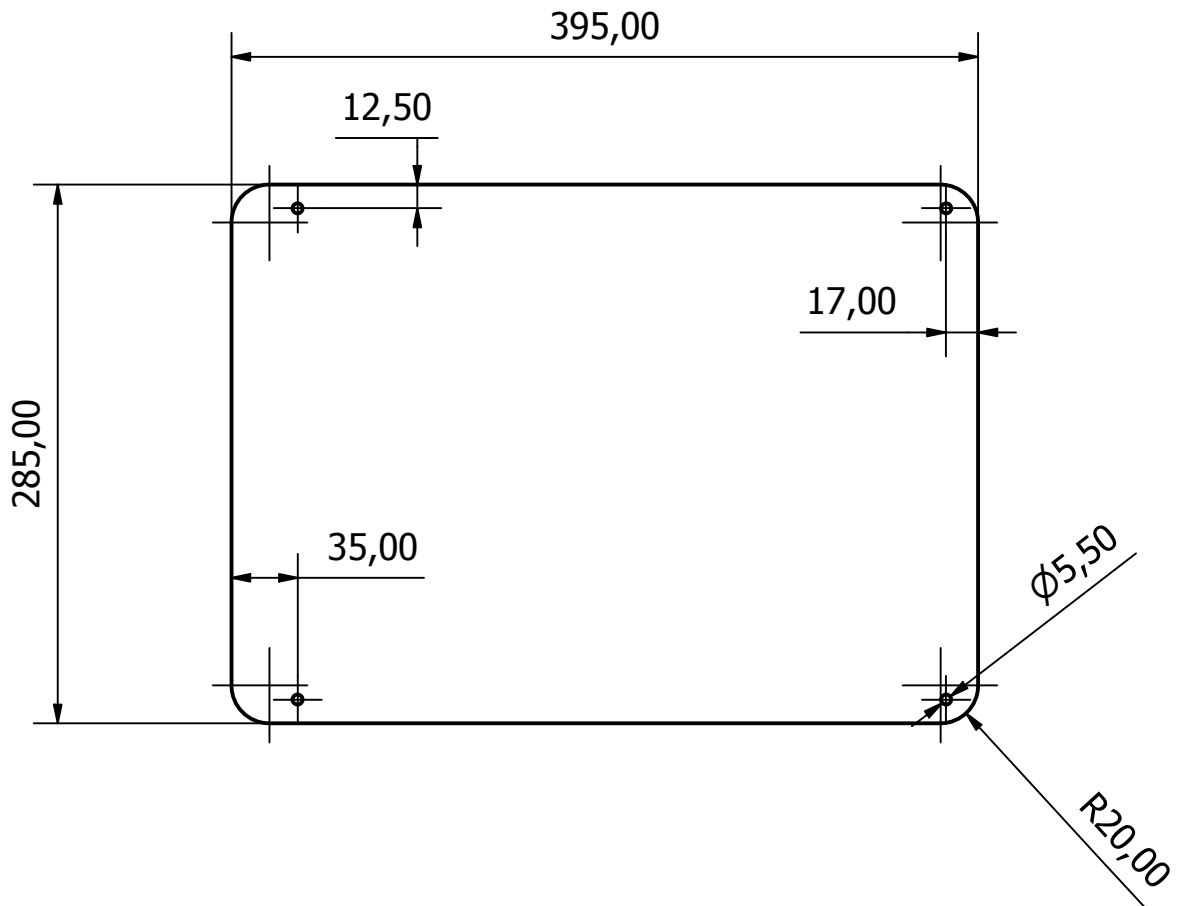


LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CANTIDAD	N DE PIEZAS
1	1	Guía Cubierta
2	1	Acople flexible 5mm-8mm
3	1	Motor Nema 17HM19-2004S
4	4	Rodamiento lineal
5	1	Tornillo sin fin 8 x 120
6	1	Acople para tuerca de latón
7	1	Tuerca laton
8	2	Tuerca M4
9	1	Chumacera
10	2	Tornillo M3 x 0.5 x 6
11	1	Soporte final de carrera
12	16	Tornillo M4 x 0.7 x 16
13	2	Clip Eje Z
14	2	Eje de acero 8 x 138
15	1	Láser 5.5 W
16	1	Carro eje Z
17	1	Acople para láser
18	1	Cubierta para láser
19	1	Carro eje X
20	1	Tuerca M3
21	1	Tornillo M3 x 16

Edición	Modificación	Fecha	Nombre	fecha	Nombre	CNC LÁSER	Lista de 26 Hojas	
				Dib.	25/10/19		Delgado I.	
				Rev.	14/11/19		J. Hurel, PhD.	Hoja N° 3
				Aprob.	21/11/19		J. Marcial, M.Sc.	Escala 1:3
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL						Subconjunto Eje Z	Cant. 1	

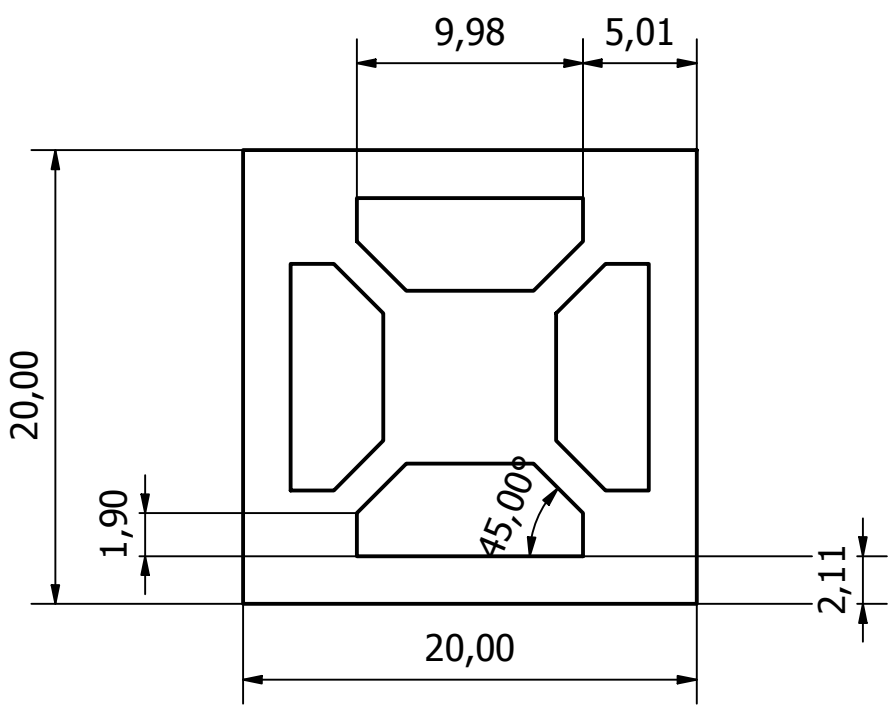
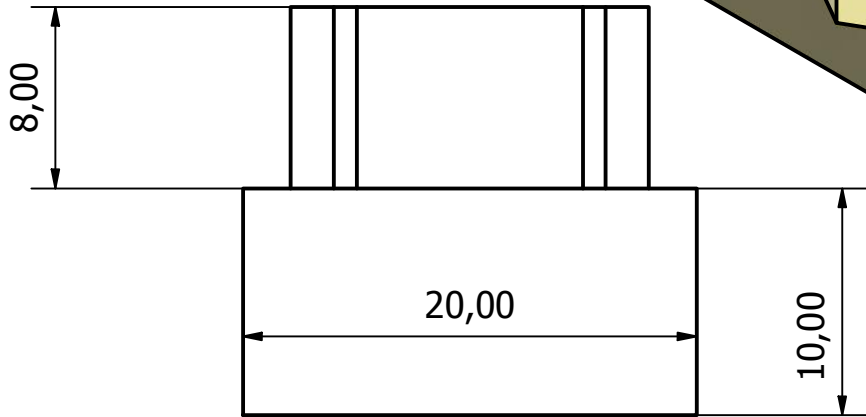
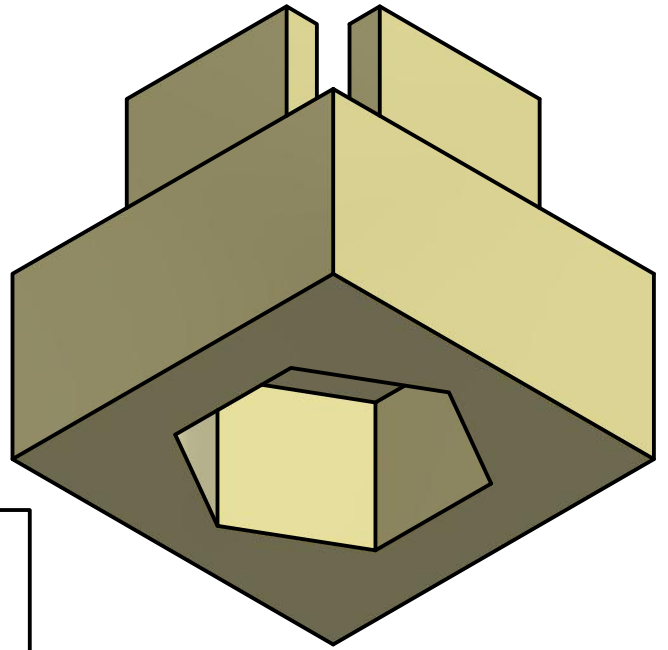


				Tolerancias:	Peso: 9.49 g	Materiales: PLA		
				fecha	Nombre	CNC LÁSER		
				Dib.	25/10/19			Delgado I.
				Rev.	14/11/19			J. Hurel, PhD.
				Aprob.	21/11/19			J. Marcial, M.Sc.
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL				
						Alza Chumacera		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					Lista de 26 Hojas
								Hoja N° 4
								Escala 1:4
								Cant. 1

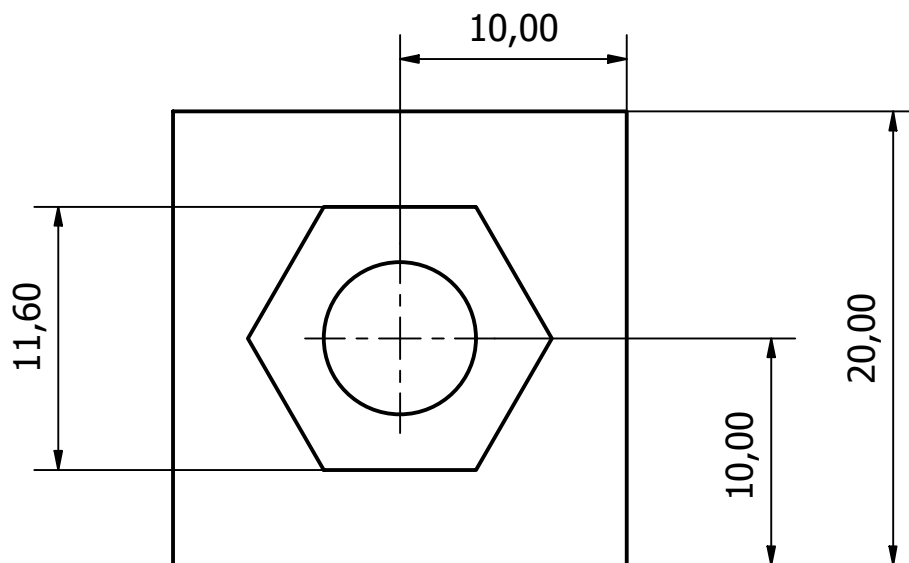
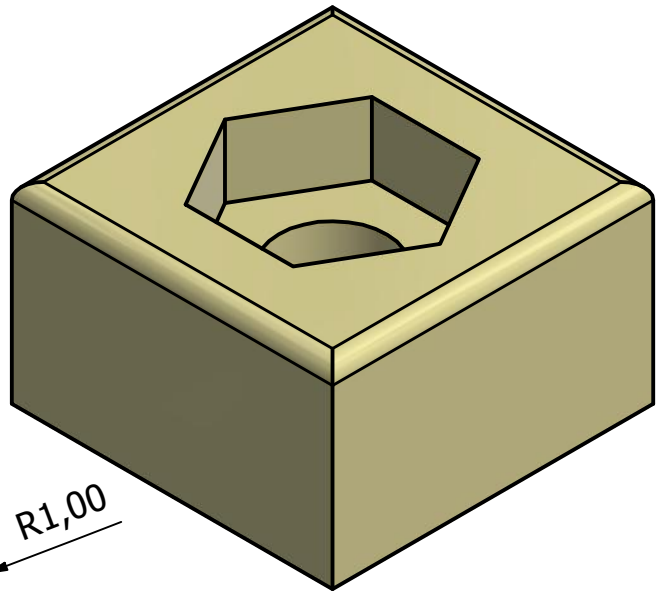
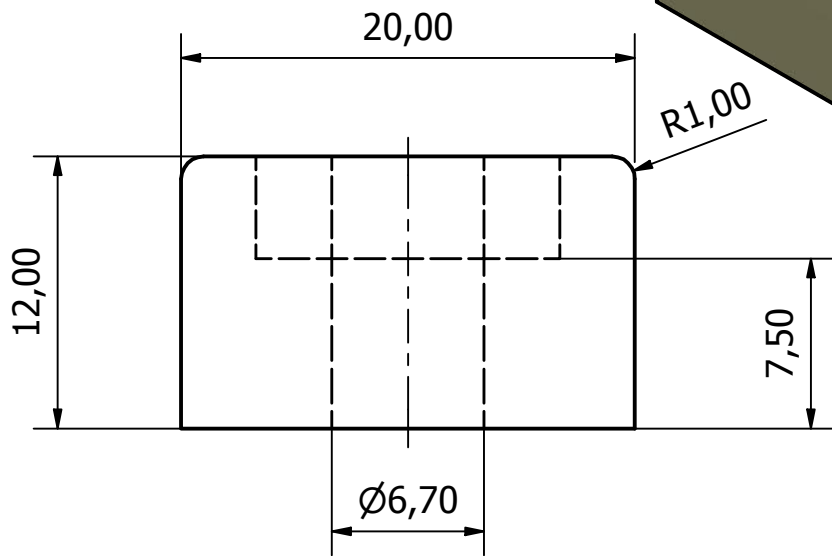


Espesor: 1/20'

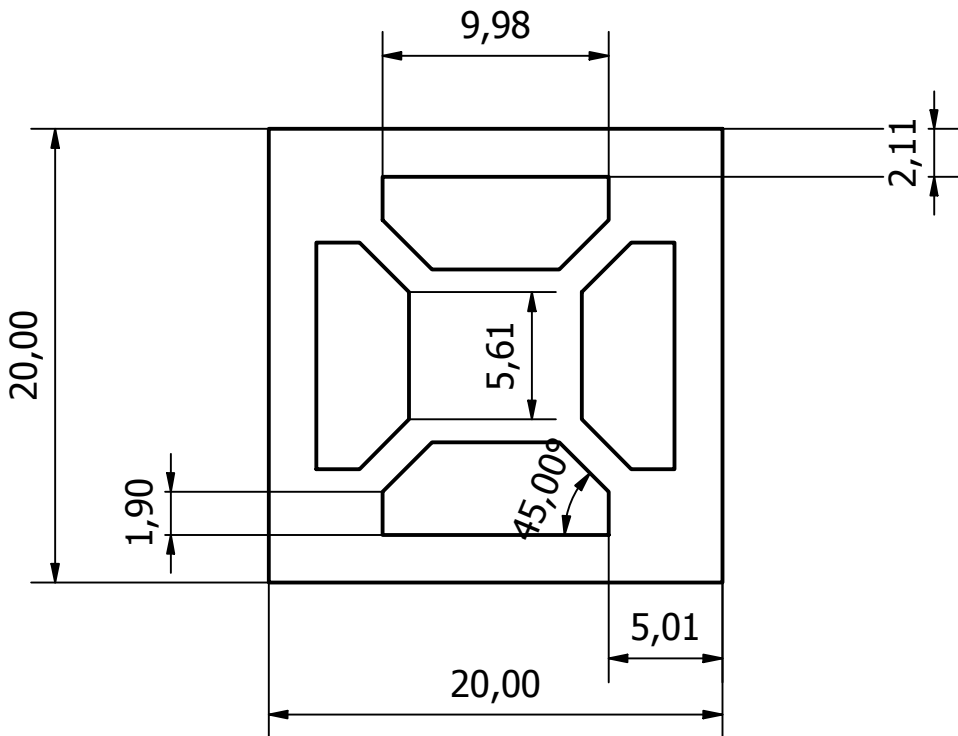
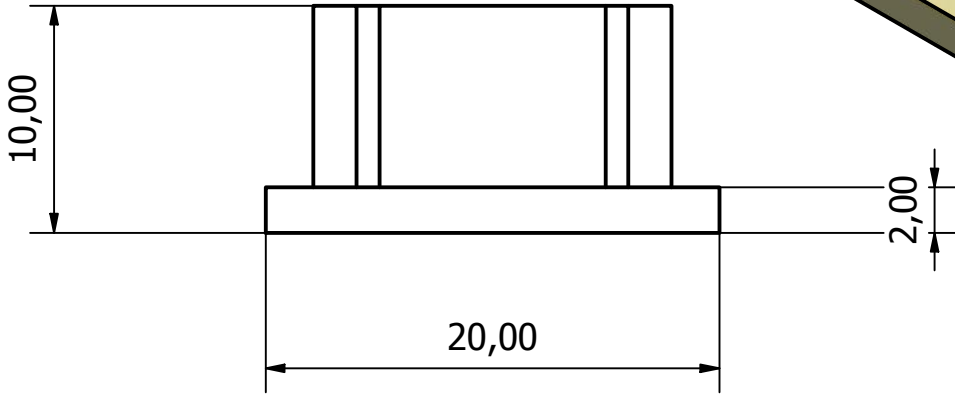
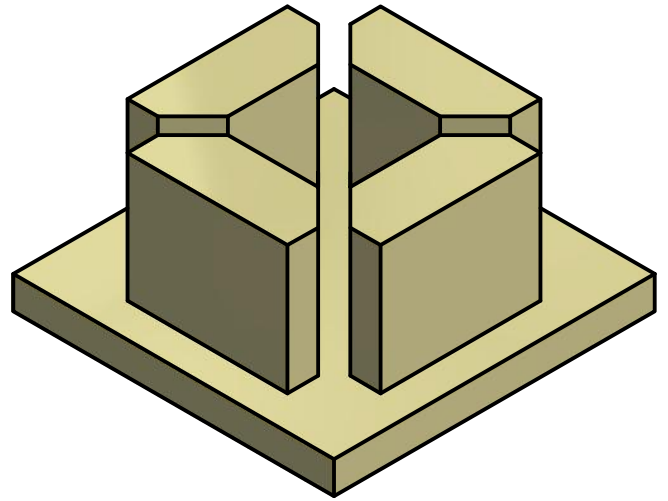
				Tolerancias:	Peso: 1117,946 g	Materiales: ASTM A36	
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	J. Hurel, PhD.		
				Aprob. 21/11/19	J. Marcial, M.Sc		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			Lista de 26 Hojas
							Hoja N° 5
							Mesa
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Escala 1:4
							Cant. 1



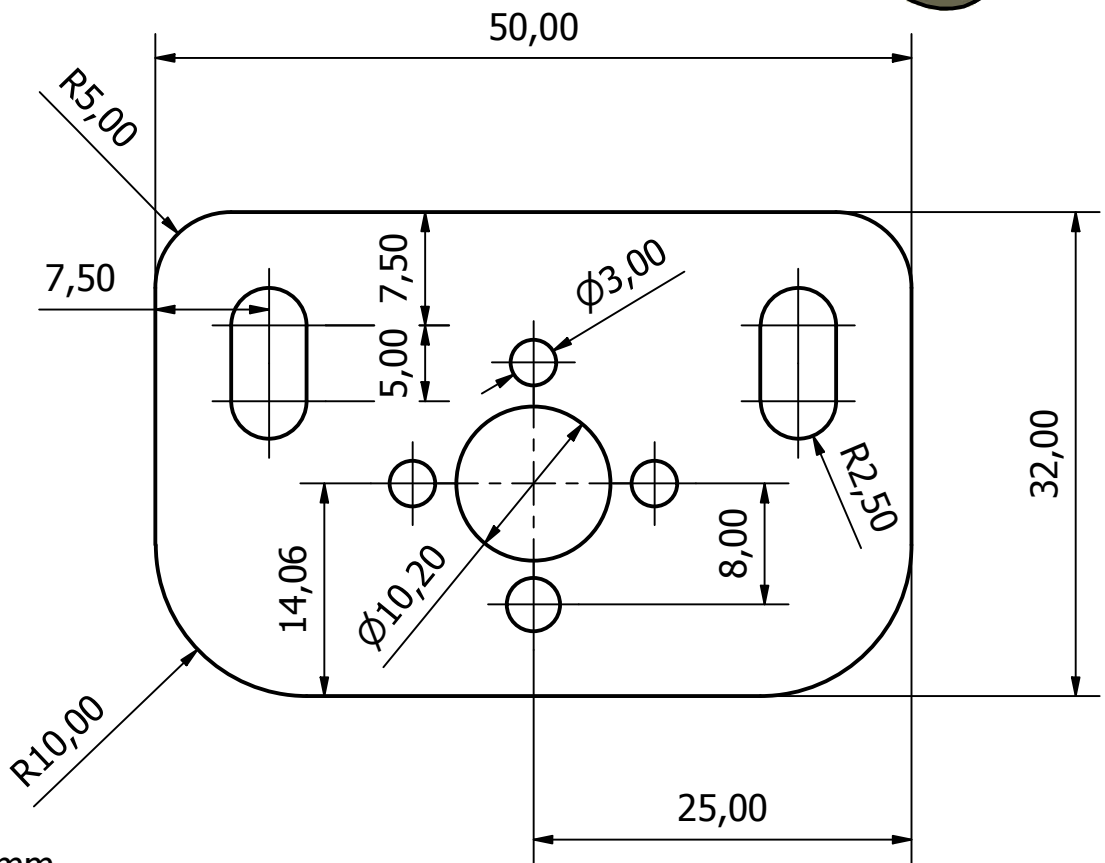
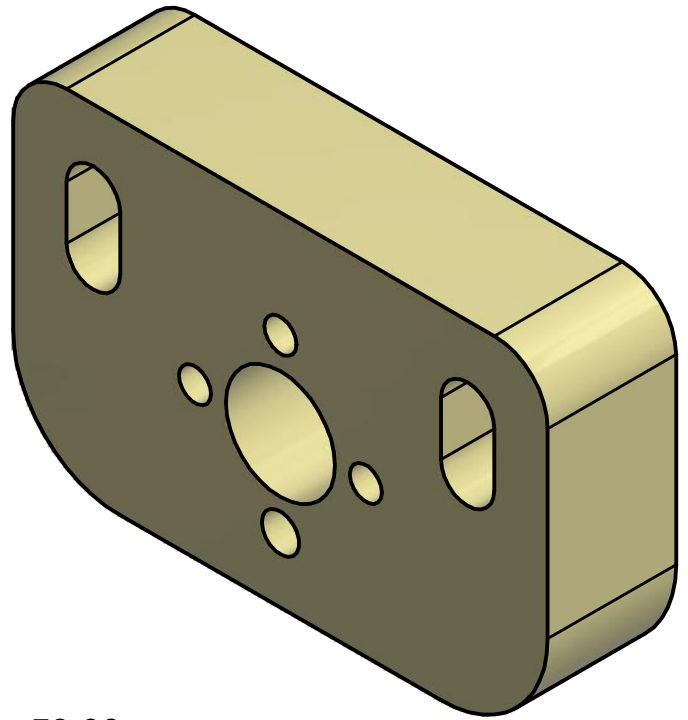
				Tolerancias:	Peso: 4.3 g	Materiales: PLA	
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	J. Hurel, PhD.		
				Aprob. 21/11/19	J. Marcial, M.Sc		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Nivel 1	
espol							
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Lista de 26 Hojas	
						Hoja N° 6	
						Escala 3:1	
						Cant. 4	



				Tolerancias:	Peso: 4 g	Materiales: PLA		
				fecha	Nombre	CNC LÁSER		
				Dib.	25/10/19			Delgado I.
				Rev.	14/11/19			J. Hurel, PhD.
				Aprob.	21/11/19			J. Marcial, M.Sc.
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL				Lista de 26 Hojas
				espol				Hoja N° 7
								Nivel 2
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					Cant. 4

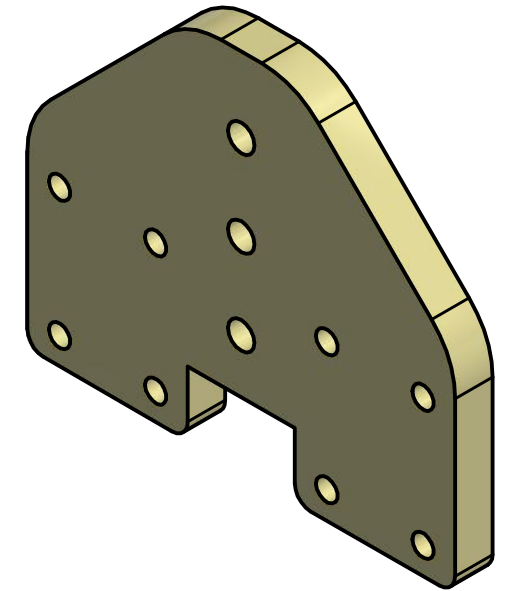
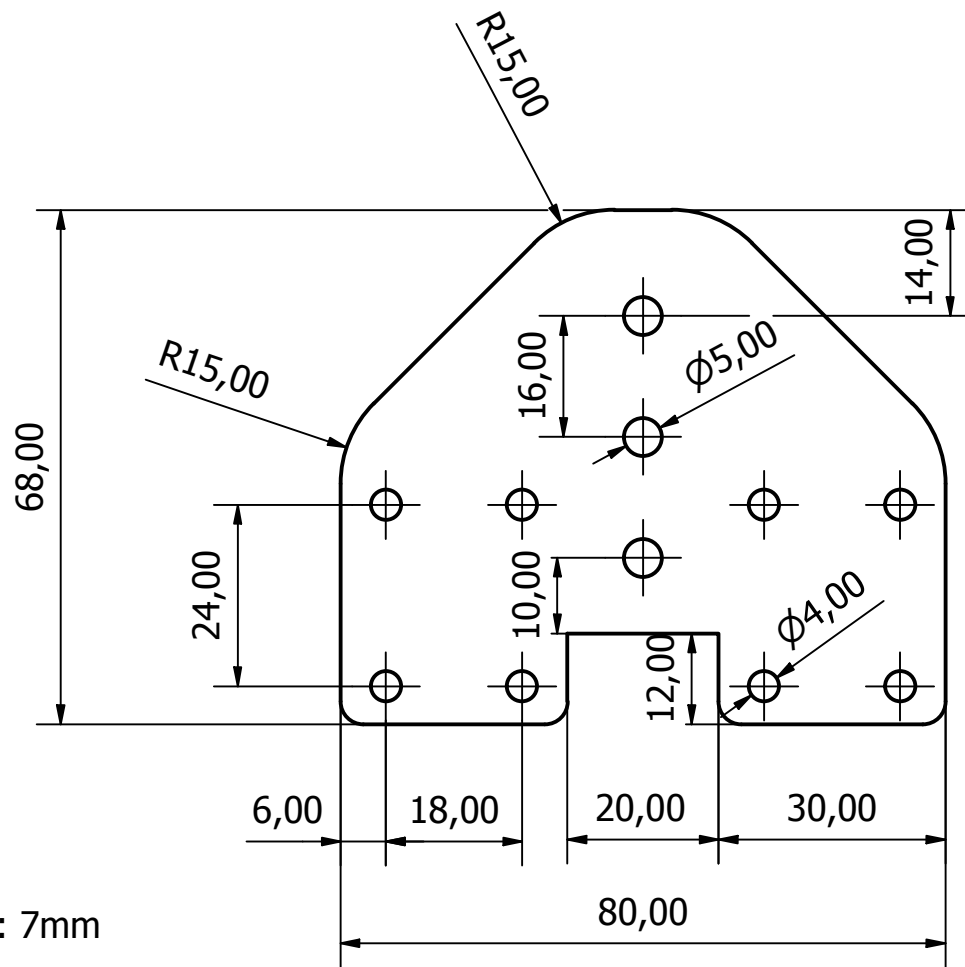


				Tolerancias:	Peso: 2.06 g	Materiales: PLA	
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	J. Hurel, PhD.		
				Aprob. 21/11/19	J. Marcial, M.Sc		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Tapón de perfil	
espol							
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Lista de 26 Hojas	Hoja N° 8
						Escala 3:1	Cant. 4




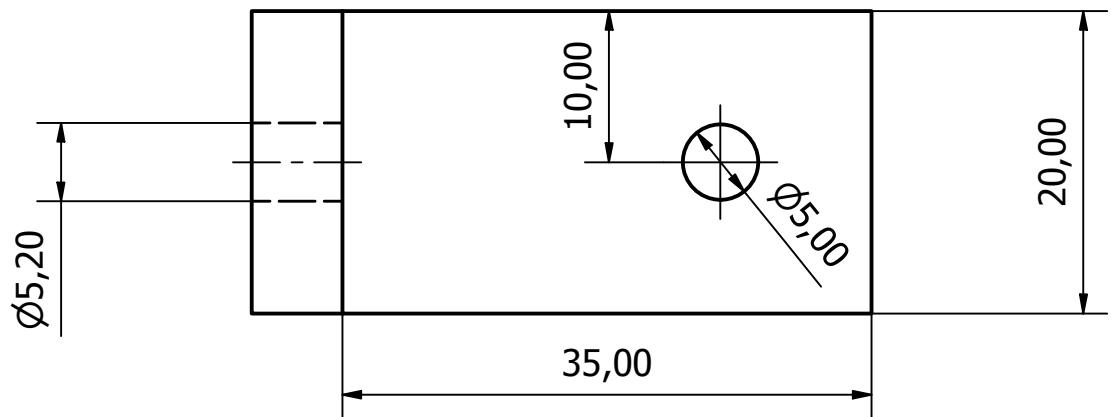
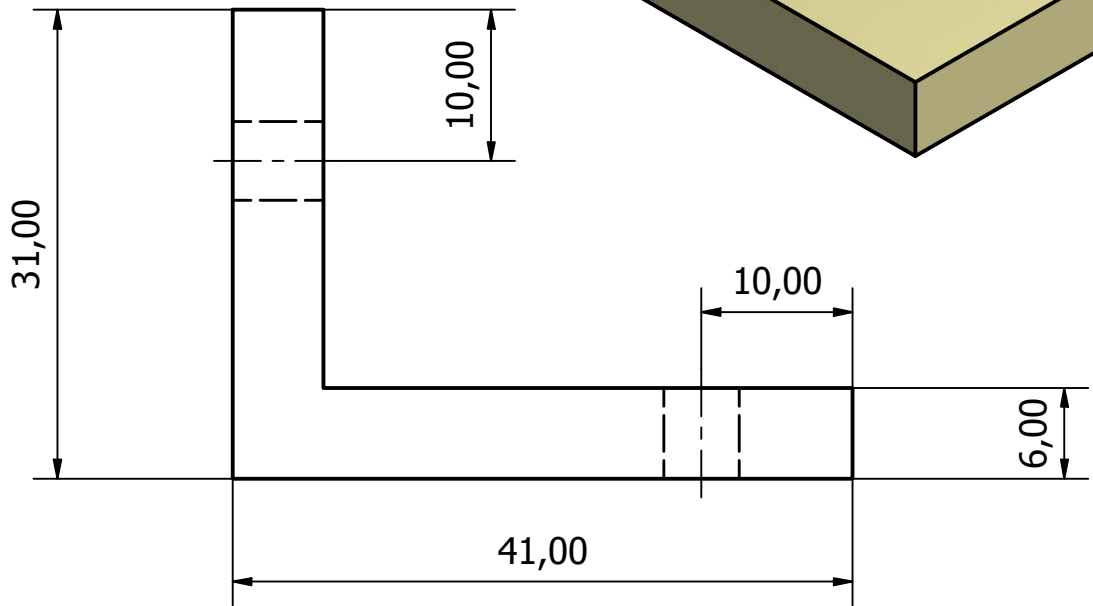
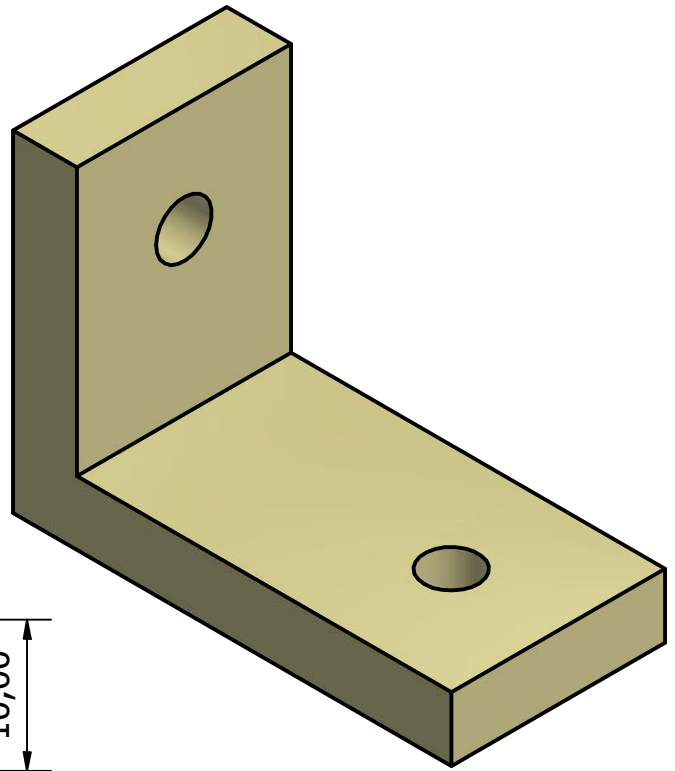
Espesor: 12mm

				Tolerancias:	Peso: 17.2 g	Materiales: PLA	
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	J. Hurel, PhD.		
				Aprob. 21/11/19	J. Marcial, M.Sc		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Lista de 22 Hojas	
				espol		Soporte tuerca inferior	
						Escala 2:1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Cant. 1	

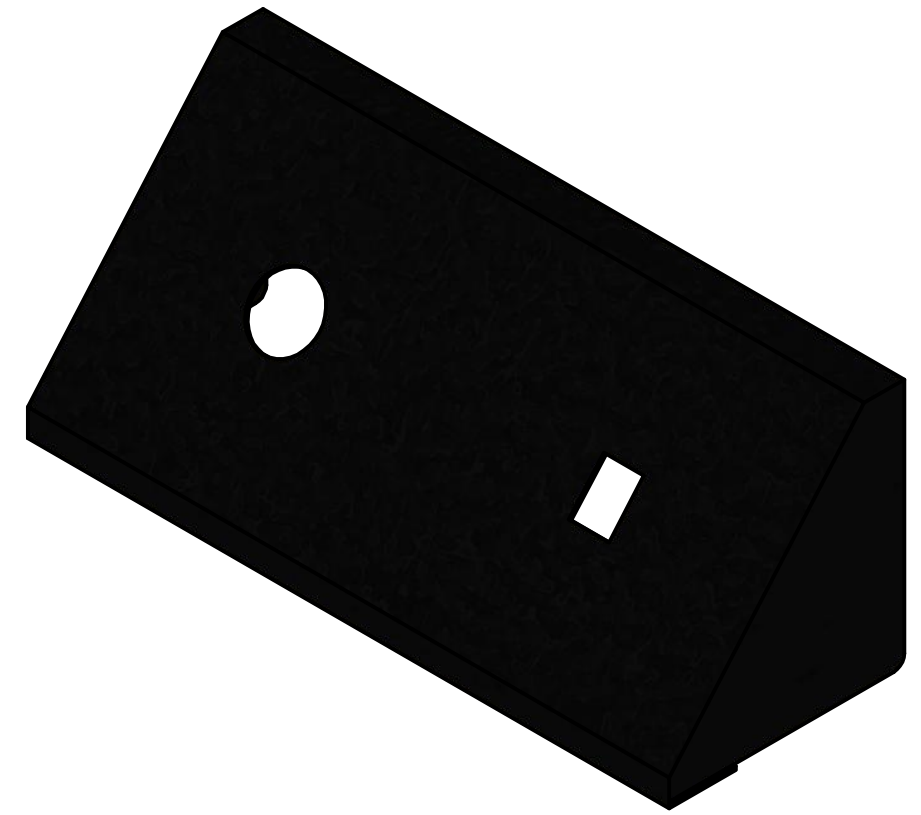
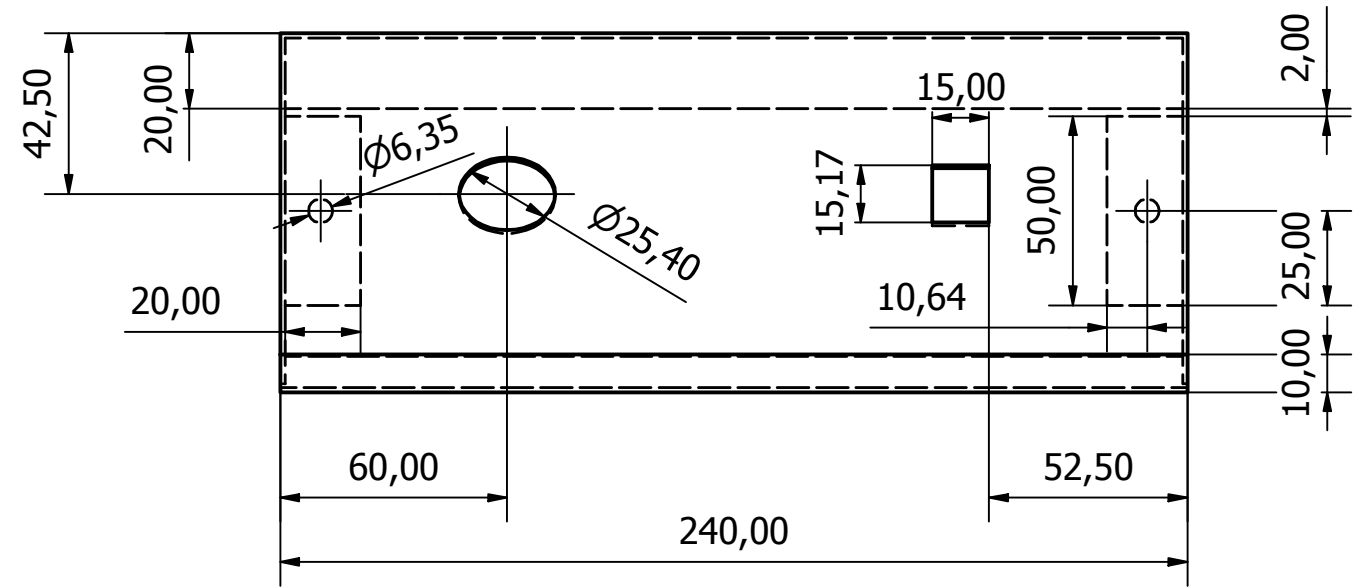
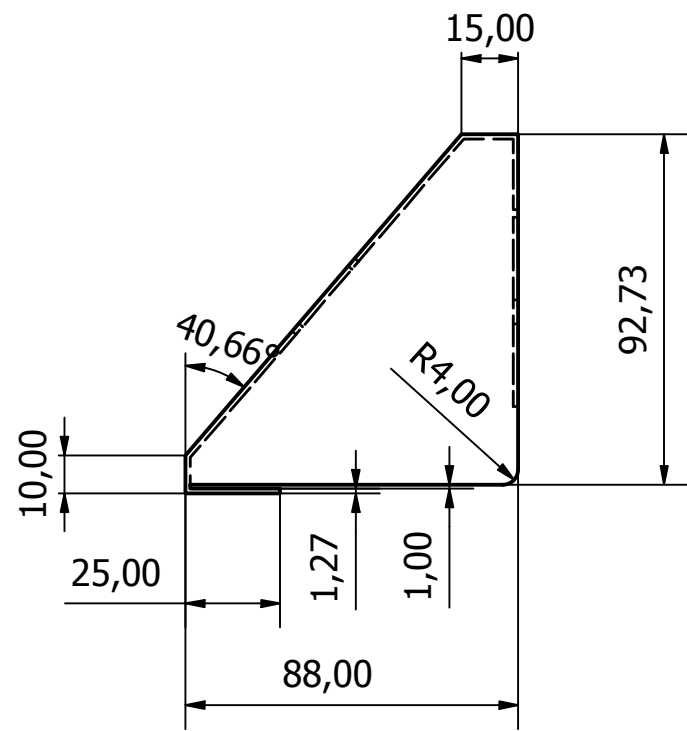


Espesor: 7mm

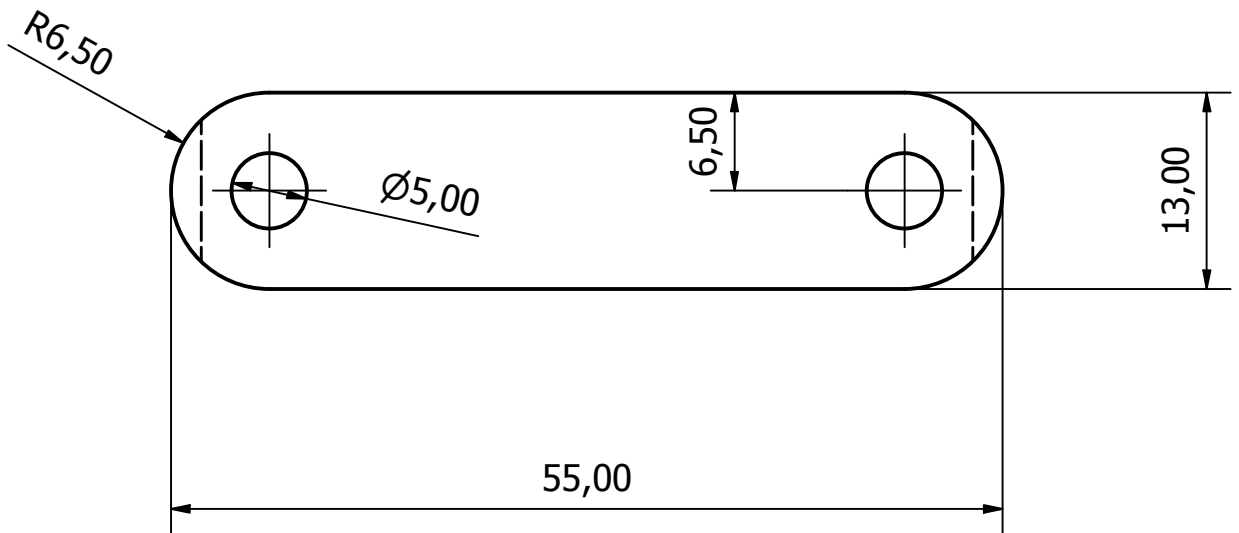
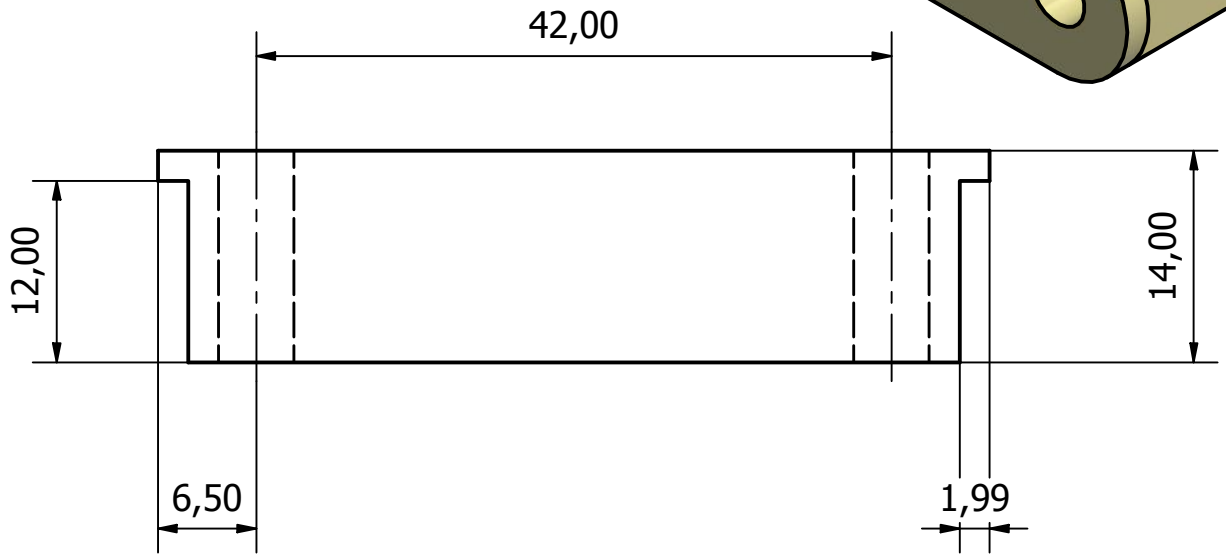
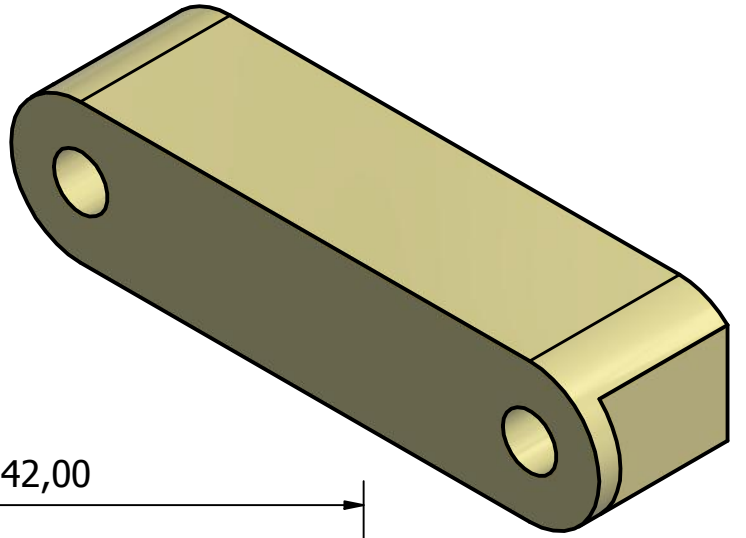
				Tolerancias:	Peso: 30.52 g	Materiales: PLA		
					fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib.	25/10/19	Delgado I.		
				Rev.	14/11/19	J. Hurel, PhD.		
				Aprob.	21/11/19	J. Marcial, M.Sc.		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL				Lista de 26 Hojas
								Hoja N° 10
								Soporte rodamiento lineal
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					Escala 1:1
								Cant. 2



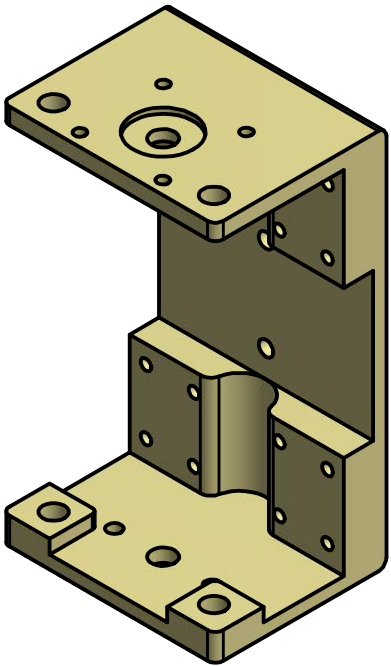
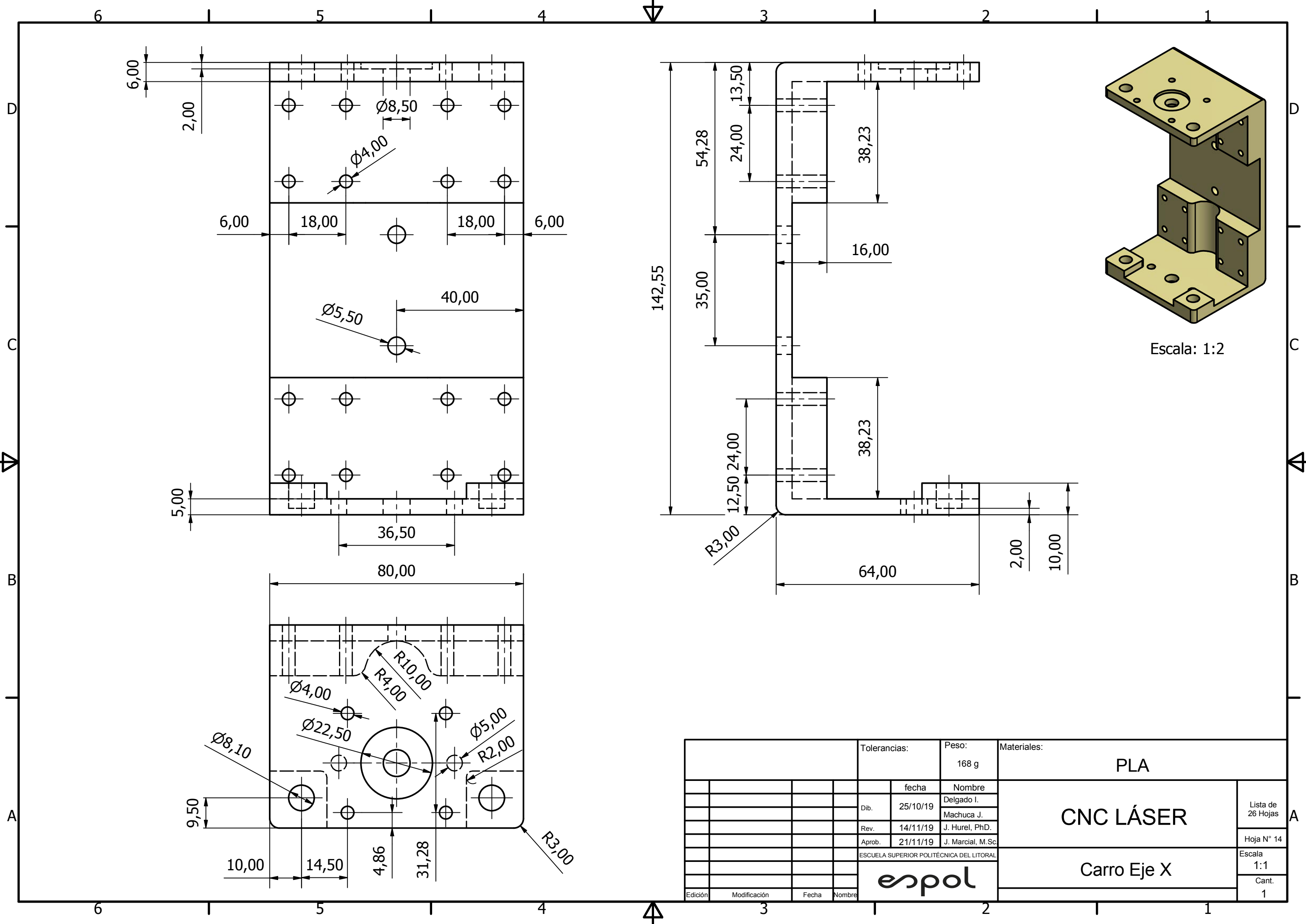
				Tolerancias:	Peso: 8 g	Materiales: PLA		
				fecha	Nombre	CNC LÁSER		
				Dib.	25/10/19			Delgado I.
				Rev.	14/11/19			J. Hurel, PhD.
				Aprob.	21/11/19			J. Marcial, M.Sc
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL				Lista de 26 Hojas
				espol				Hoja N° 11
				Unión				Escala 2:1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					Cant. 2



				Tolerancias:	Peso: 535 g	Materiales: ASTM A36	
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	Machuca J.		
				Aprob. 21/11/19	J. Hurel, PhD.		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Hoja N° 12	
						Escala 1:2	
						Cant. 1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Cubierta de la máquina	



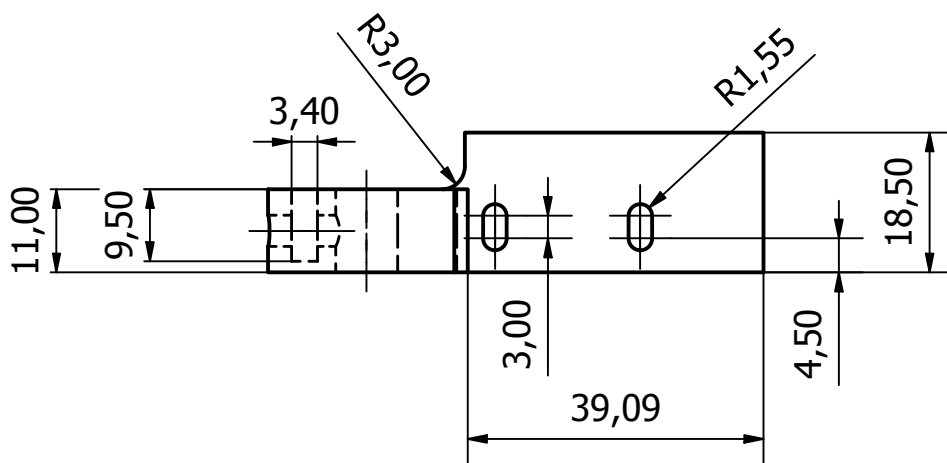
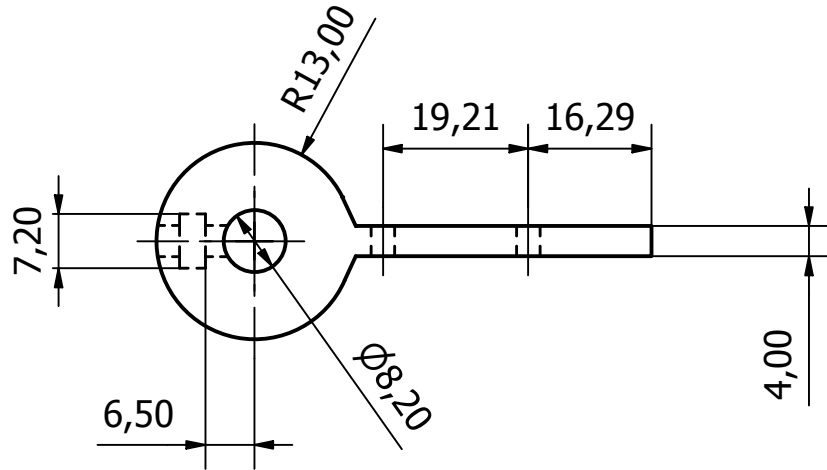
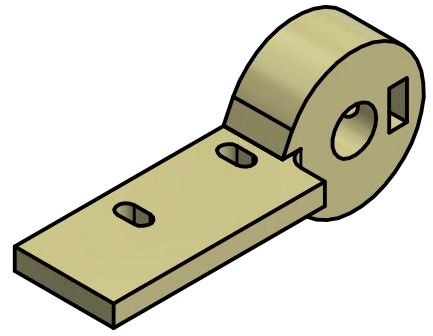
				Tolerancias:	Peso: 9.16 g	Materiales: PLA		
				fecha	Nombre	CNC LÁSER		
				Dib.	25/10/19			Delgado I.
				Rev.	14/11/19			J. Hurel, PhD.
				Aprob.	21/11/19			J. Marcial, M.Sc
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL				Lista de 26 Hojas
				Soporte chumacera				Hoja N° 13
								
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



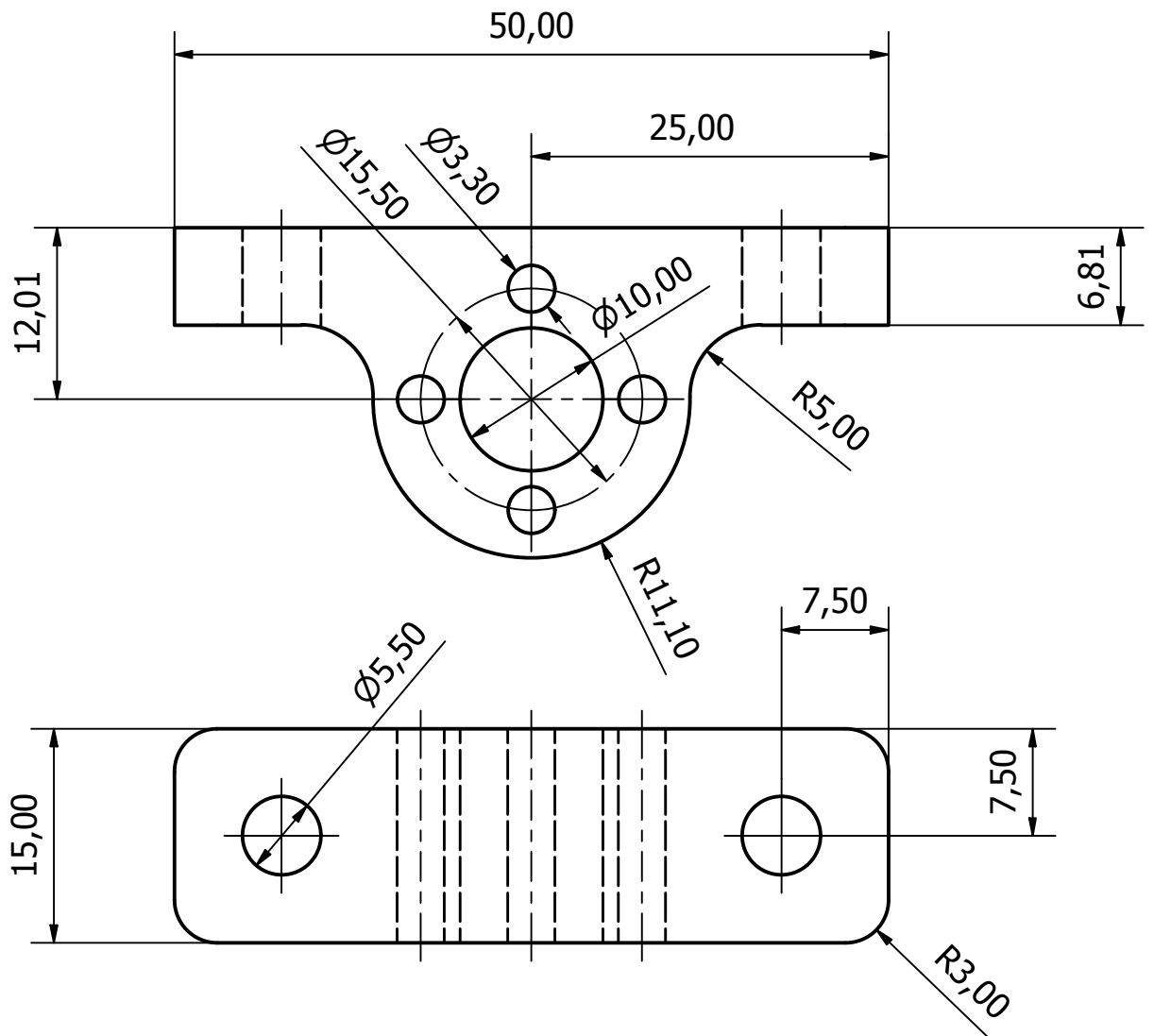
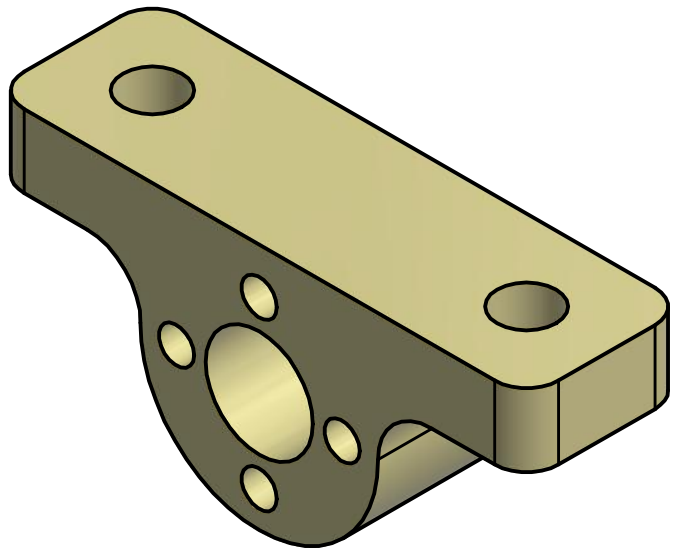
Escala: 1:2

				Tolerancias:	Peso: 168 g	Materiales: PLA	
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	Machuca J.		
				Aprob. 21/11/19	J. Hurel, PhD.		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Hoja N° 14	
						Carro Eje X	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala 1:1	Cant. 1

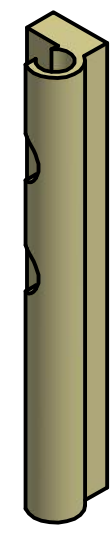
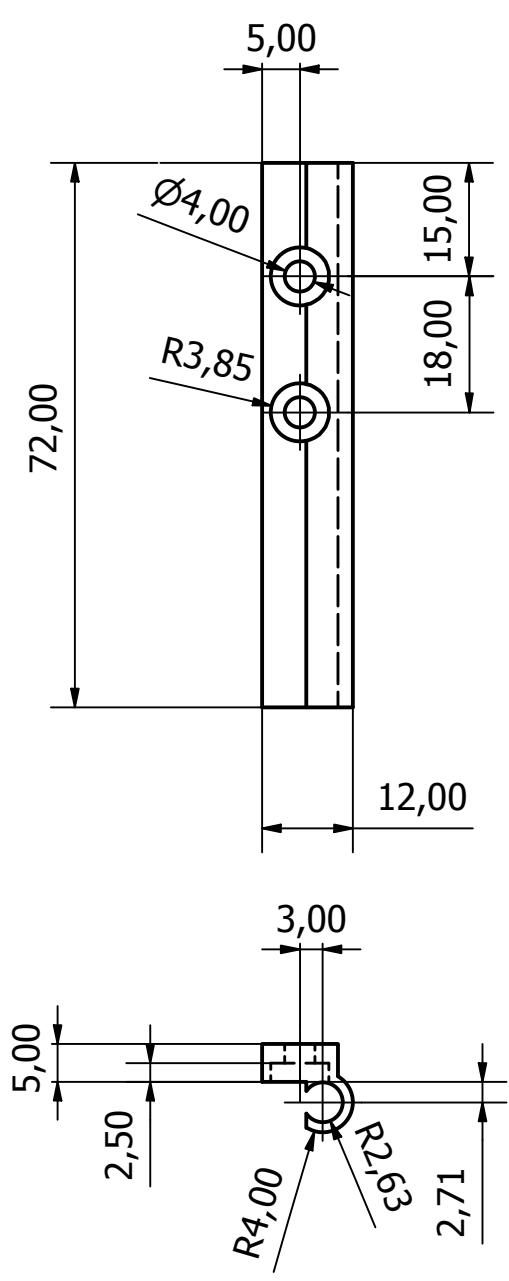
Lista de
26 Hojas
Escala
1:1
Cant.
1



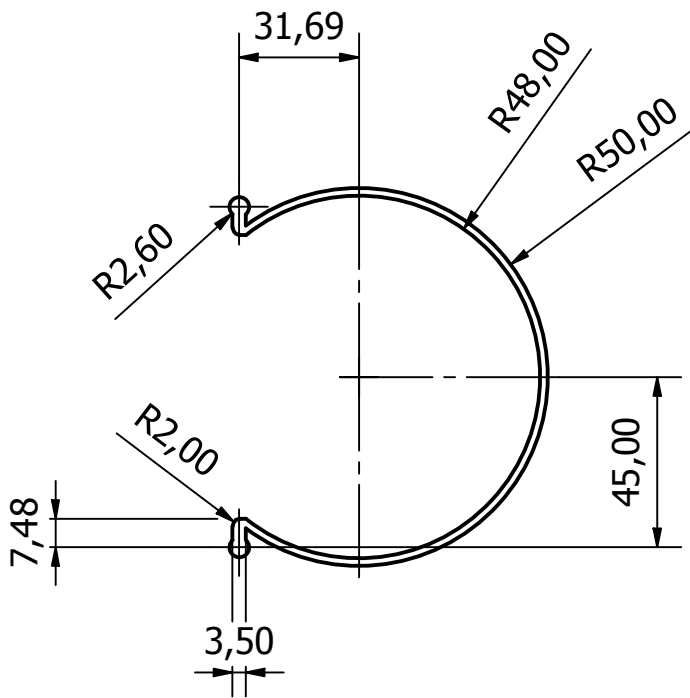
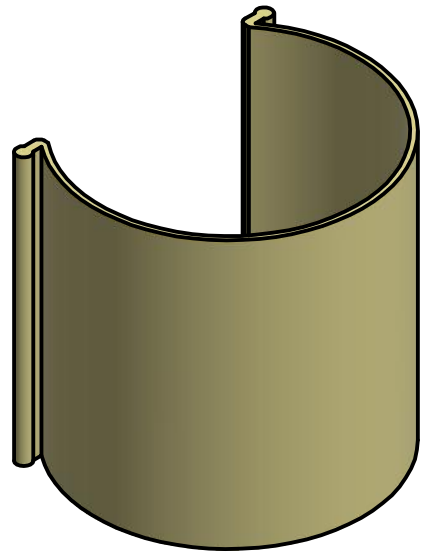
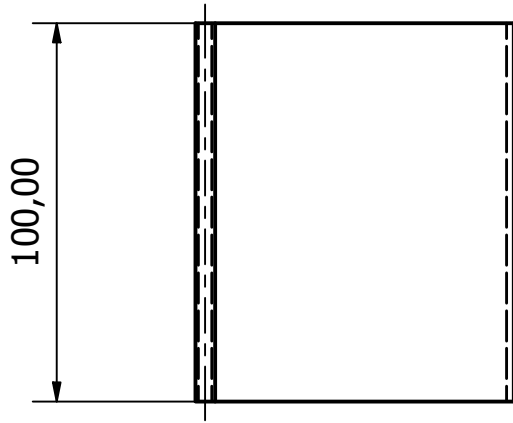
				Tolerancias:	Peso: 8 g	Materiales: PLA	
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	J. Hurel, PhD.		
				Aprob. 21/11/19	J. Marcial, M.Sc		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Lista de 26 Hojas	
				espol		Soporte final de carrera	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala 1:1	
						Cant. 1	



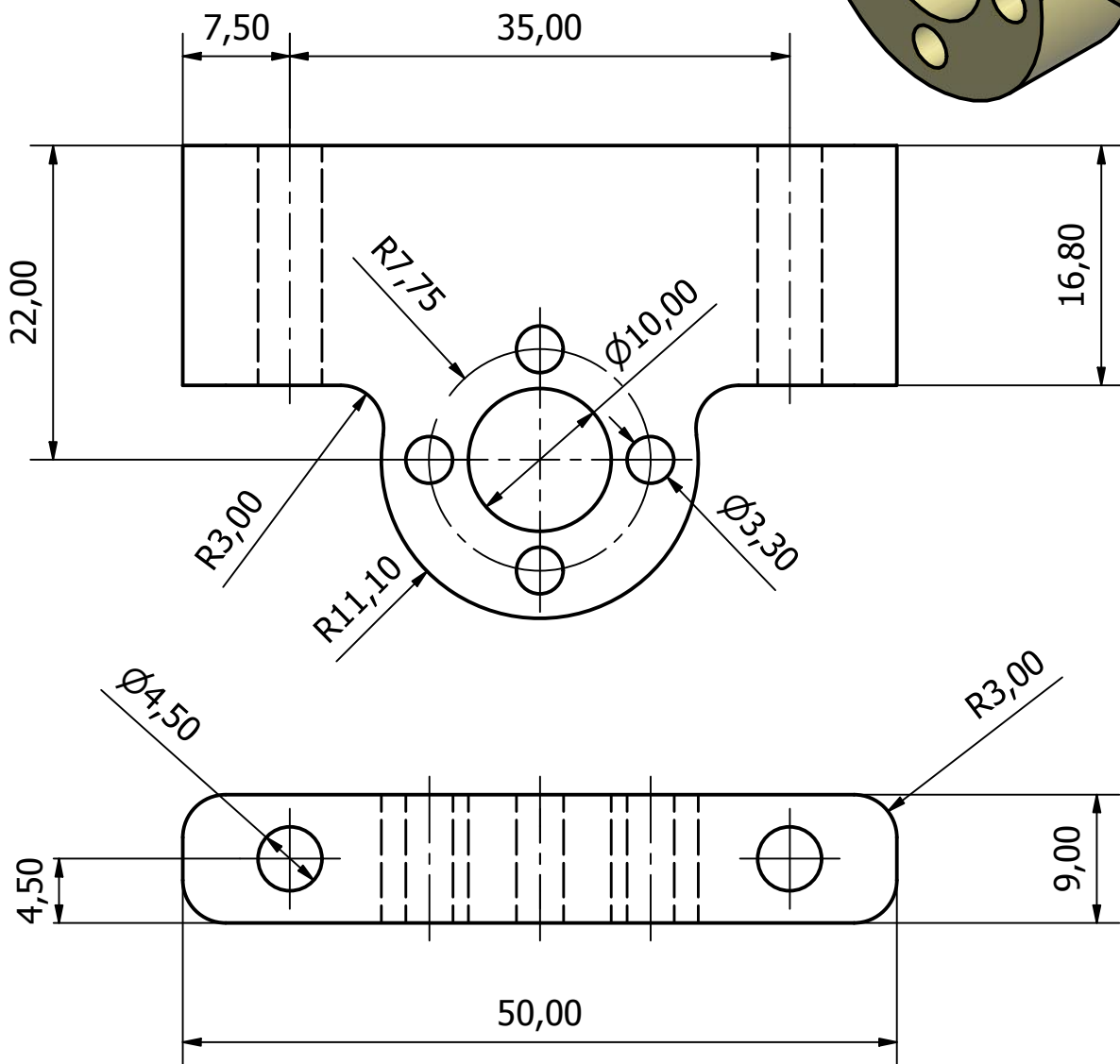
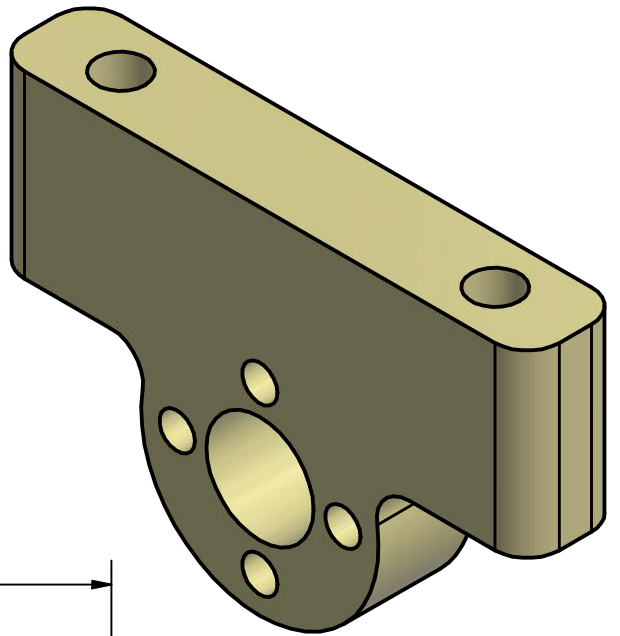
				Tolerancias:	Peso: 8 g	Materiales: PLA		
				fecha	Nombre	CNC LÁSER		
				Dib.	25/10/19			Delgado I.
				Rev.	14/11/19			J. Hurel, PhD.
				Aprob.	21/11/19			J. Marcial, M.Sc
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL				Lista de 26 Hojas
				espol				Hoja N° 16
								Acople para tuerca de latón
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



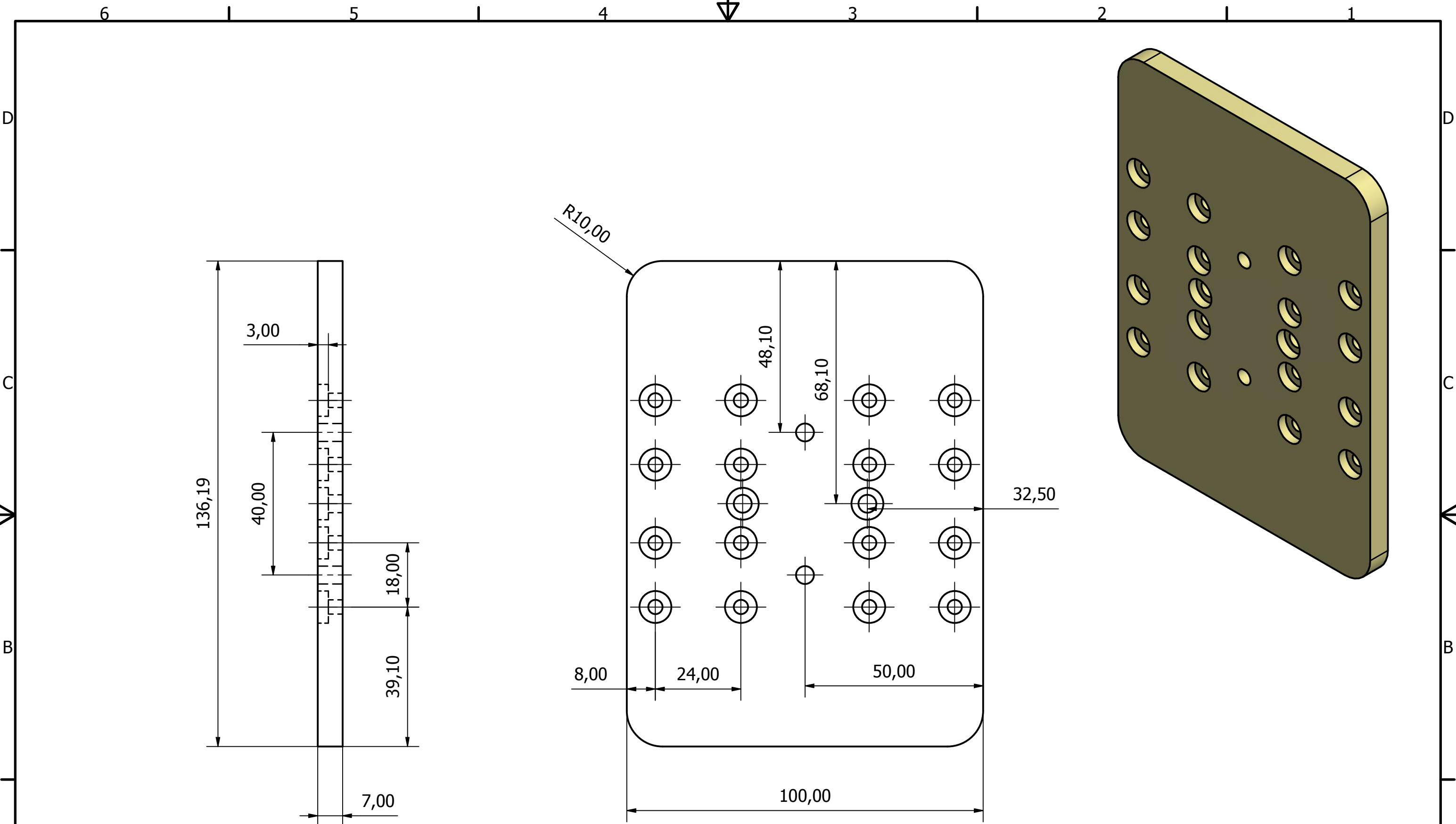
				Tolerancias:	Peso: 5 g	Materiales: PLA	
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	J. Hurel, PhD.		
				Aprob. 21/11/19	J. Marcial, M.Sc		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Guía cubierta	
espol							
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Lista de 26 Hojas	Hoja N° 17
						Escala 1:1	Cant. 1



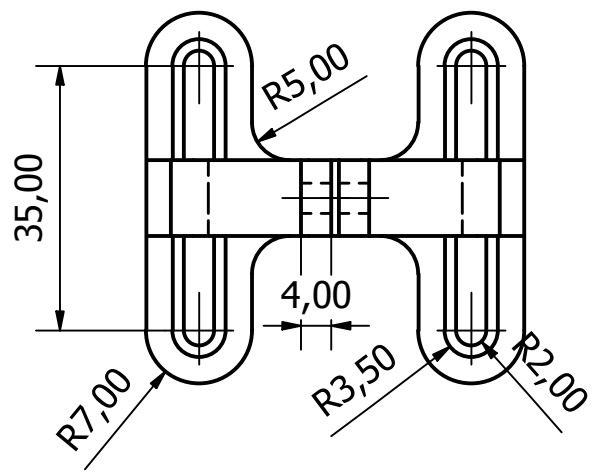
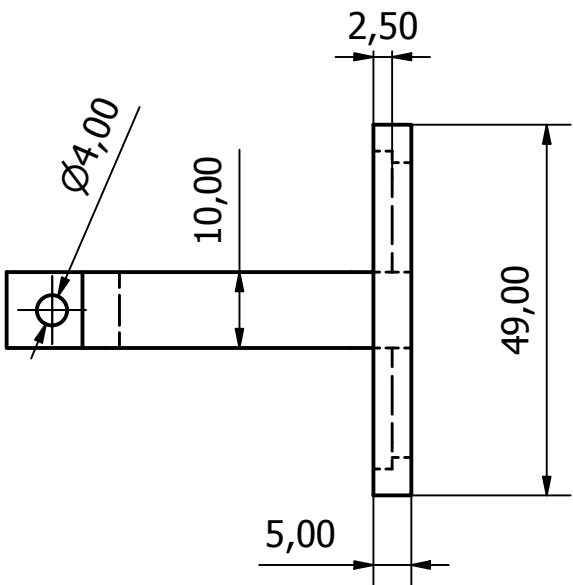
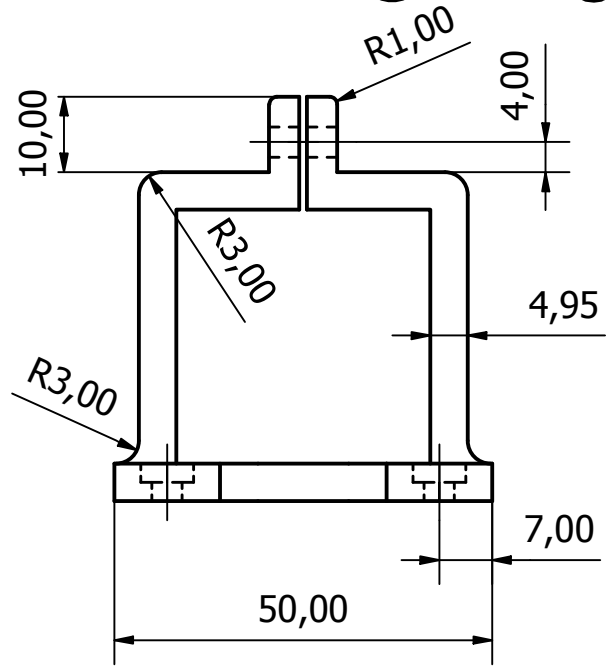
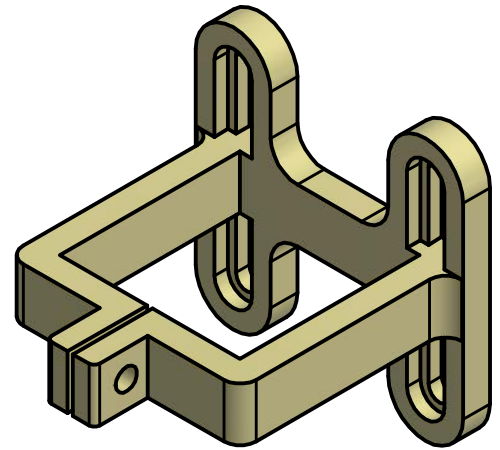
				Tolerancias:	Peso: 54 g	Materiales: PLA	
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	J. Hurel, PhD.		
				Aprob. 21/11/19	J. Marcial, M.Sc.		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Cubierta	
espol							
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Lista de 26 Hojas	Hoja N° 18
						Escala 1:2	Cant. 1




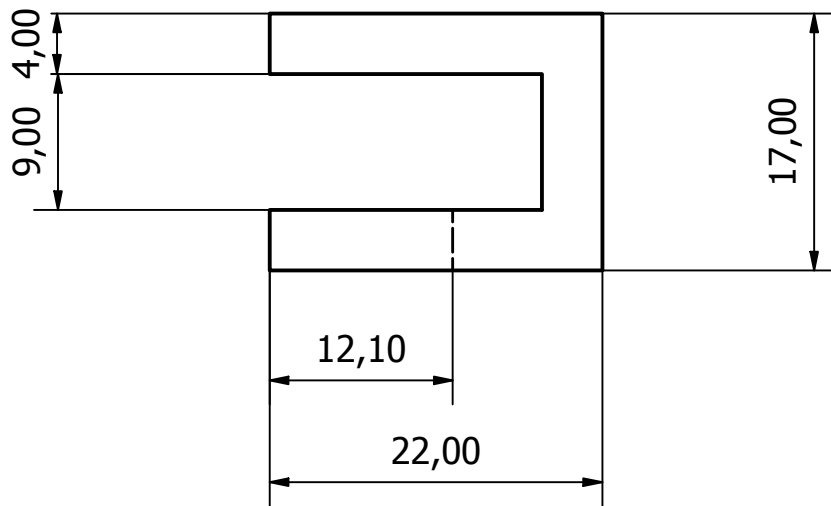
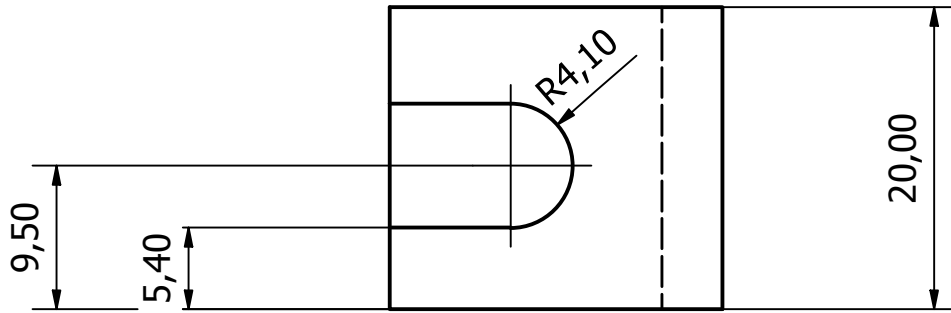
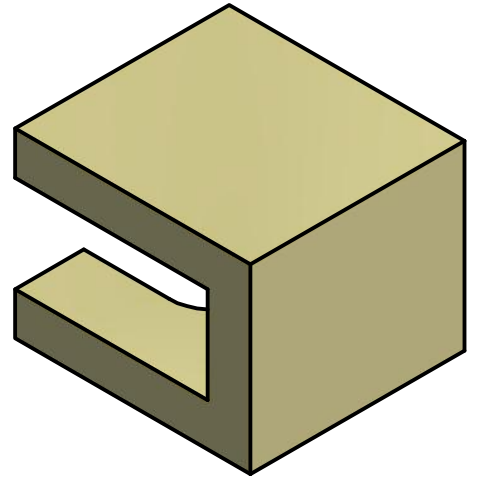
				Tolerancias:	Peso: 9 g	Materiales: PLA	
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	J. Hurel, PhD.		
				Aprob. 21/11/19	J. Marcial, M.Sc.		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			Lista de 26 Hojas
				espol			Hoja N° 19
							Acople para tuerca de latón
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Escala 2:1
							Cant. 1



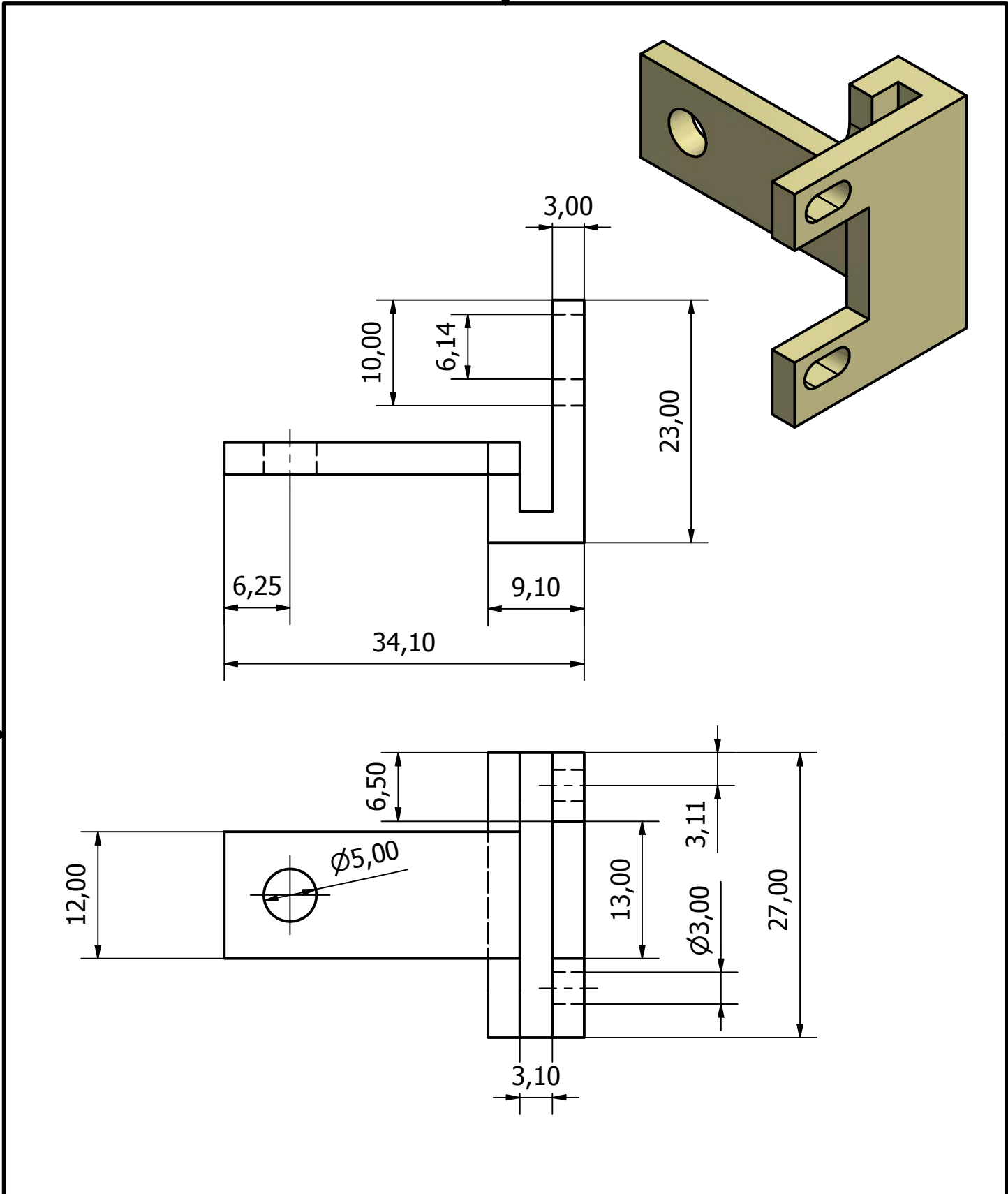
				Tolerancias:	Peso: 96 g	Materiales: PLA	
				Dib.	fecha 25/10/19	CNC LÁSER	
				Rev.	14/11/19		
				Aprob.	21/11/19		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Lista de 26 Hojas	
						Hoja N° 20	
						Escala 1:1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Cant. 1	



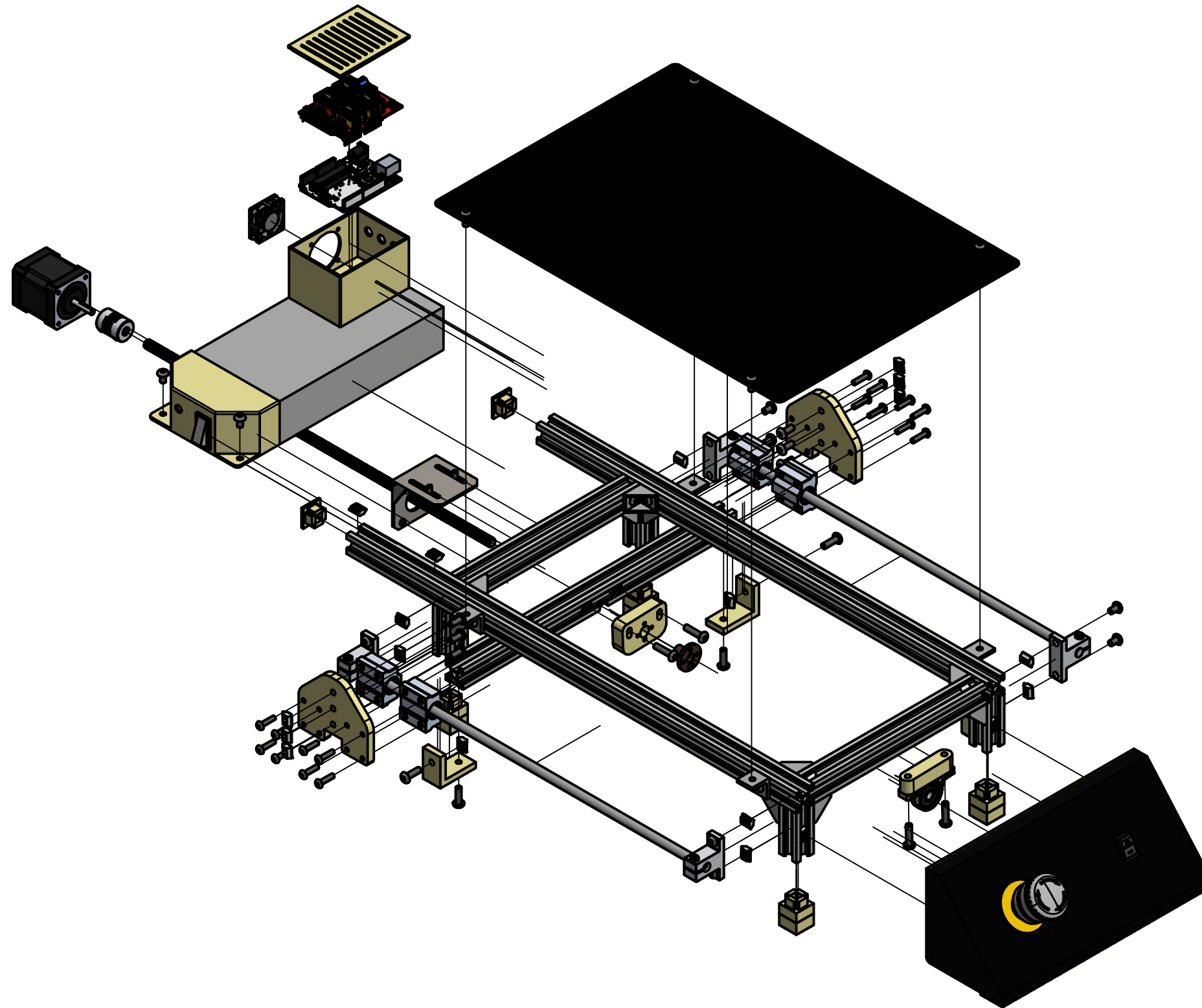
				Tolerancias:	Peso: 13 g	Materiales: PLA	
				fecha	Nombre	<h1>CNC LÁSER</h1>	
				Dib. 25/10/19	Delgado I.		
				Rev. 14/11/19	J. Hurel, PhD.		
				Aprob. 21/11/19	J. Marcial, M.Sc.		
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			Lista de 26 Hojas
							Hoja N° 21
							<h2>Acople para láser</h2>
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Escala 1:1
							Cant. 1



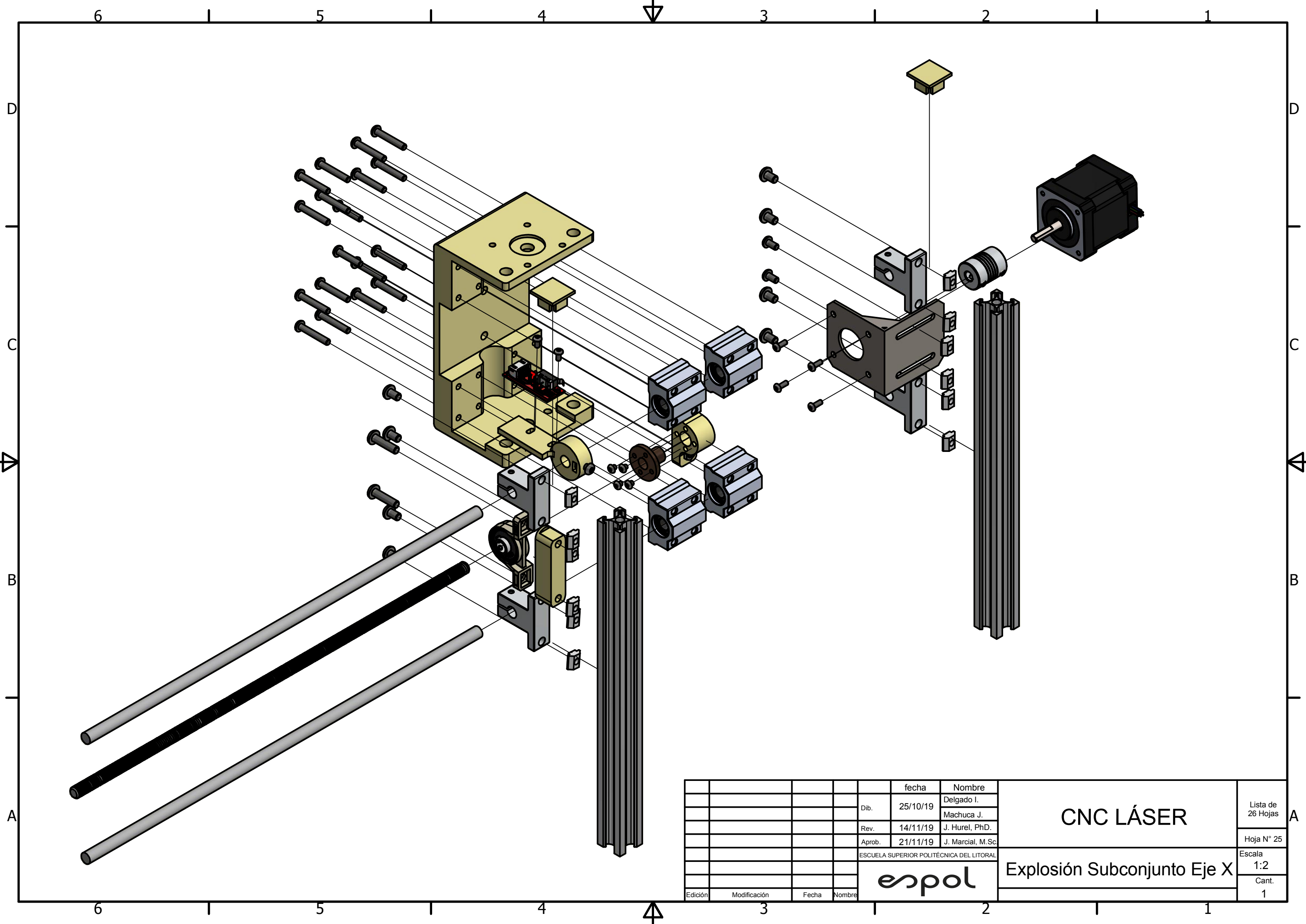
				Tolerancias:	Peso: 4 g	Materiales: PLA		
				fecha	Nombre	CNC LÁSER		
				Dib.	25/10/19			Delgado I.
				Rev.	14/11/19			J. Hurel, PhD.
				Aprob.	21/11/19			J. Marcial, M.Sc.
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL				Lista de 26 Hojas
				espol				Hoja N° 22
				Clip Eje Z				Escala 2:1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					Cant. 2



				Tolerancias:	Peso: 3 g	Materiales: PLA		
				fecha	Nombre	CNC LÁSER		
				Dib.	25/10/19			Delgado I.
				Rev.	14/11/19			J. Hurel, PhD.
				Aprob.	21/11/19			J. Marcial, M.Sc
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL				Lista de 26 Hojas
				espol				Hoja N° 23
				Soporte final de carrera "z"				Escala 2:1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					Cant. 1



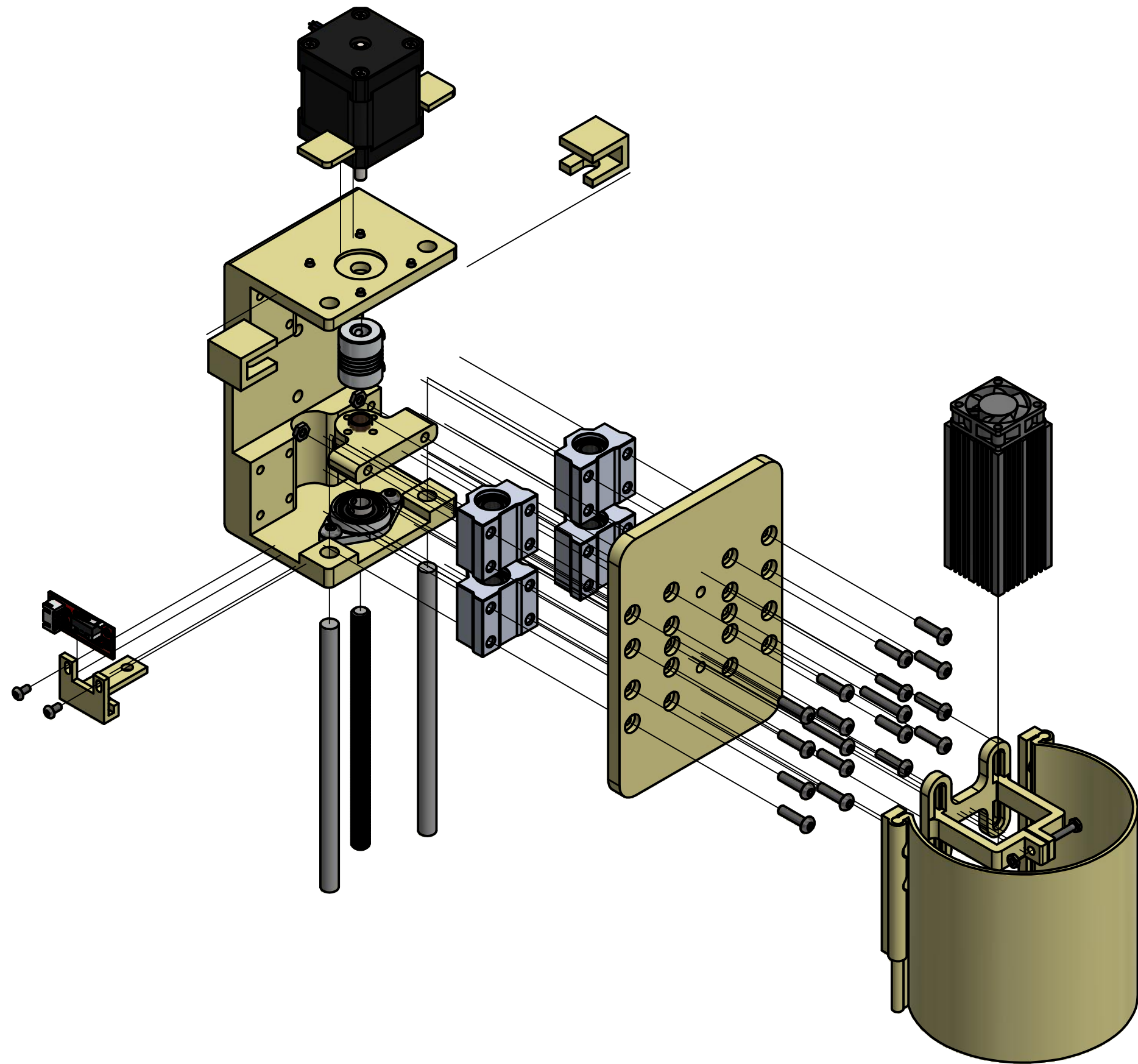
				fecha	Nombre	CNC LÁSER	Lista de 26 Hojas
			Dib.	25/10/19	Delgado I.		
			Rev.	14/11/19	Machuca J.		
			Aprob.	21/11/19	J. Hurel, PhD.		Hoja N° 24
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Explosión Subconjunto Eje Y	Escala 1:4
				espol			Cant. 1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				fecha	Nombre
				Dib. 25/10/19	Delgado I.
				Rev. 14/11/19	Machuca J.
				Aprob. 21/11/19	J. Hurel, PhD.
				J. Marcial, M.Sc.	
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	
					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		

CNC LÁSER	
Explosión Subconjunto Eje X	

Lista de 26 Hojas
Hoja N° 25
Escala 1:2
Cant. 1



				fecha	Nombre	CNC LÁSER	Lista de 26 Hojas
			Dib.	25/10/19	Delgado I.		
			Rev.	14/11/19	J. Hurel, PhD.		
			Aprob.	21/11/19	J. Marcial, M.Sc.		Hoja N° 26
				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		Explosión Subconjunto Eje Z	Escala 1:2
				espol			Cant. 1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				