



Máster en Diseño y Fabricación

SDI413-Trabajo Final de Máster

# FRESADORA DE CNC PARA PEQUEÑOS PROTOTIPOS

Autor:

Julen Jauregui Balerdi

Director:

José Vicente Abellán Nebot

Fecha

14/02/2020

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	2
ÍNDICE DE LAS ILUSTRACIONES.....	5
ÍNDICE DE LAS TABLAS .....	8
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1. ALCANCE.....	9
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.3. OBJETIVOS.....	9
<b>2. ANÁLISIS DE LA MÁQUINA.....</b>	<b>10</b>
2.1. ANÁLISIS DE LA FRESADORA .....	10
2.1.1. DEFINICIÓN.....	10
2.1.2. MATERIALES Y OPERACIONES.....	10
2.1.3. FRESADORAS CNC .....	10
2.1.4. TIPOS DE FRESADORA.....	11
2.1.5. CARACTERISTICAS TECNICAS DE UNA FRESADORA .....	13
2.2. ESTUDIO DE MERCADO.....	14
2.2.1. SOLUCIONES EXISTENTES .....	14
2.2.2. ANÁLISIS DE MERCADO.....	17
<b>3. NORMAS Y REFERENCIAS.....</b>	<b>18</b>
<b>4. DISEÑO CONCEPTUAL.....</b>	<b>19</b>
4.1. LISTADO DE OBJETIVOS Y CLASIFICACIÓN .....	19
4.2. VARIABLES Y CRITERIOS. CUANTIFICACIÓN DE OBJETIVOS.....	19
4.3. LISTADO DE ESPECIFICACIONES .....	20
4.4. PROPUESTA CONCEPTUAL DE SOLUCIONES.....	20
4.5. COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....	24
4.6. CARACTERISTICAS DE CADA PROPUESTA.....	25
4.7. ANALISIS DE SOLUCIONES .....	26
4.7.1. COMPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES .....	26
4.7.2. SELECCIÓN DE LA PROPUESTA FINAL DE DISEÑO.....	26
<b>5. DISEÑO PRELIMINAR .....</b>	<b>27</b>
5.1. FUERZAS Y POTENCIA.....	27

5.2.	FUNCIONAMIENTO: COMPONENTES MECÁNICOS Y ESTRUCTURALES DE LA FRESADORA .....	30
5.2.1.	Transmisión .....	30
5.2.2.	Accionamiento .....	30
5.2.3.	Acoplamiento .....	31
5.2.4.	Guiado .....	31
5.2.5.	Material .....	32
5.2.6.	Refrigeración .....	32
5.2.7.	Limpieza .....	33
5.3.	DISEÑO CAD .....	34
5.4.	COMPONENTES ELECTRÓNICOS .....	43
5.4.1.	Driver y Arduino .....	43
5.4.2.	Final de carrera.....	44
5.4.3.	Motor de fresado.....	44
5.4.4.	Colocación motores .....	44
5.4.5.	Colocación componentes electrónicos.....	45
<b>6.</b>	<b>DISEÑO DE DETALLE .....</b>	<b>46</b>
6.1.	ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE PRECISIÓN .....	46
6.1.1.	Las guías y patines: .....	46
6.1.2.	Separación de los patines:.....	48
6.1.3.	Husillos, tuercas y soportes: .....	48
6.1.4.	Fuerzas en los soportes de los husillos:.....	56
6.1.5.	Momentos.....	58
6.1.6.	Selección y colocación de los motores paso a paso: .....	60
6.1.7.	Muecas en las placas.....	66
6.1.8.	Apoyo de la base .....	72
6.1.9.	Precisión de máquina .....	72
6.2.	Protecciones para los componentes .....	73
6.2.1.	Guías y husillos .....	73
6.2.2.	Cables .....	74
6.3.	Sensores .....	75
6.4.	Refrigeración .....	77
6.5.	Sistema de limpiado.....	78
6.6.	Seguridad .....	79

6.6.1.	Pantallas de protección y puerta .....	79
6.6.2.	Seta de emergencia .....	80
6.7.	Esquema de accionamiento y control de maquina .....	81
6.7.1	Componentes electrónicos .....	81
6.7.2.	Esquemas eléctricos .....	85
6.7.3.	Programación.....	87
<b>6.</b>	<b>VIABILIDAD ECONÓMICA .....</b>	<b>88</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>90</b>
<b>9.</b>	<b>CÁLCULOS .....</b>	<b>94</b>
9.1.	Fuerzas de corte y potencia.....	94
9.2.	Velocidad de giro y par del motor paso a paso .....	96
9.3.	Análisis estáticos preliminares .....	96
9.3.1.	Barra de aluminio de 16 mm de diámetro .....	96
9.3.2.	Guía SBR10 .....	98
9.3.3.	Guía SBR16 .....	99
9.3.4.	Patín 15 mm de espesor .....	100
9.3.5.	Conjunto soporte de motor de fresado.....	100
9.3.6.	Conjunto puente .....	100
9.3.7.	Conjunto base.....	104
9.4.	Análisis estáticos con momentos .....	105
9.4.1.	Cálculo de momentos en el cabezal .....	105
9.4.2.	Conjunto puente con momentos .....	106
9.4.3.	Momentos en el conjunto del puente .....	108
9.4.4.	Conjunto base con momentos .....	110
9.5.	Precisión en el montaje.....	111
	PLIEGO DE CONDICIONES.....	113
	OBJETO.....	113
	CONDICIONES GENERALES Y LEGALES .....	113
	CONDICIONES DE CORTE .....	113
	MATERIAL DE ESTRUCTURA .....	113
	PRESUPUESTO ECONÓMICO.....	114
	PLANOS .....	118



# ÍNDICE DE LAS ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Fresadora .....	10
Ilustración 2: Fresadora vertical y horizontal .....	11
Ilustración 3: Fresadora de pórtico .....	12
Ilustración 4: Fresadora de tipo puente móvil.....	12
Ilustración 5: Ejes.....	13
Ilustración 6: Fresadora STEPCRAFT 420.....	14
Ilustración 7: Fresadora HIGH-Z .....	15
Ilustración 8: Fresadora ROLAND.....	16
Ilustración 9: Alternativa 1 .....	21
Ilustración 10: Alternativa 2.....	22
Ilustración 11: Alternativa 3.....	23
Ilustración 12: Husillo con tuerca .....	30
Ilustración 13: Motor paso a paso .....	31
Ilustración 14: Acopladores flexibles .....	31
Ilustración 15: Guía lineal.....	32
Ilustración 16: Perfil de aluminio .....	32
Ilustración 17: Vaporizador .....	33
Ilustración 18: Base .....	34
Ilustración 19: Bandeja.....	34
Ilustración 20: Ejes y husillo Y.....	35
Ilustración 21: Guías lineales y tuerca Y .....	35
Ilustración 22: Placa Y .....	36
Ilustración 23: Columnas laterales y pieza de unión.....	36
Ilustración 24: Ejes y husillo X.....	37
Ilustración 25: Guías lineales y tuerca X .....	37
Ilustración 26: Placa X .....	38
Ilustración 27: Soporte superior e inferior.....	38
Ilustración 28: Ejes y husillo Z.....	39
Ilustración 29: Guías lineales y tuerca Z.....	39
Ilustración 30: Placa Z.....	40
Ilustración 31: Abrazadera .....	40
Ilustración 32: Motor de fresado.....	41

Ilustración 33: Apoyos de la mesa.....	41
Ilustración 34: Mesa .....	42
Ilustración 35: Protecciones .....	42
Ilustración 36: Driver .....	43
Ilustración 37: Arduino .....	43
Ilustración 38: Final de carrera.....	44
Ilustración 39: Kit de motor de fresado.....	44
Ilustración 40: Posicionamiento de los motores.....	45
Ilustración 41: Posicionamiento de la caja con elementos electrónicos.....	45
Ilustración 42: Guías lineales y patines .....	47
Ilustración 43: Pieza de sujeción .....	47
Ilustración 44: Conjunto de guías y patines.....	48
Ilustración 45: Ejemplo de husillo y tuerca .....	52
Ilustración 46: Soportes para husillos FK y FF .....	53
Ilustración 47: Portatuerca .....	55
Ilustración 48: Fresadora con los conjuntos de los husillos .....	55
Ilustración 49: Placas laterales de 20 mm de espesor.....	57
Ilustración 50: Placa frontal y trasera de 15 mm con 4 perfiles centrales .....	58
Ilustración 51: Perfiles de 30x90 como placa superior.....	59
Ilustración 52: Estructura de la fresadora.....	60
Ilustración 53: Motor paso a paso Nema 17 .....	61
Ilustración 54: Sistema de transmisión por correa dentada .....	62
Ilustración 55: Poleas y motores paso a paso .....	66
Ilustración 56: Placa frontal.....	68
Ilustración 57: Placa lateral derecho .....	69
Ilustración 58: Placa central y apoyo superior .....	69
Ilustración 59: Placa final .....	70
Ilustración 60: Pies de apoyo .....	72
Ilustración 61: Fuelle de protección.....	73
Ilustración 62: Protección de componentes.....	74
Ilustración 63: Cadena portacables .....	74
Ilustración 64: Colocación de portacables.....	75
Ilustración 65: Sensor del recorrido transversal.....	76
Ilustración 66: Sensor del recorrido longitudinal .....	76

Ilustración 67: Sensor del recorrido vertical.....	77
Ilustración 68: Vaporizador .....	77
Ilustración 69: Colocación del vaporizador .....	78
Ilustración 70: Bandeja en montaje .....	78
Ilustración 71: Pantallas de protección.....	79
Ilustración 72: Tapas de los soportes.....	79
Ilustración 73: Seta de emergencia .....	80
Ilustración 74: Arduino Uno .....	81
Ilustración 75: CNC Shield .....	81
Ilustración 76: Driver A4988 .....	82
Ilustración 77: Montaje Arduino, CNC Shield y drivers .....	82
Ilustración 78: Nema 17 .....	83
Ilustración 79: Motor spindle 500 W .....	83
Ilustración 80: Driver NVBDH+.....	84
Ilustración 81: Fuente de alimentación.....	84
Ilustración 82: Final de carrera.....	84
Ilustración 83: Botón parada de emergencia .....	85
Ilustración 84: Esquema eléctrico del arduino .....	86
Ilustración 85: Esquema eléctrico del motor de fresado .....	86
Ilustración 86: Logo del Firmware GRBL.....	87
Ilustración 87: Logo del software Universal G-Code Sender .....	87
Ilustración 88: Aleación 1060 .....	96

# ÍNDICE DE LAS TABLAS

Tabla 1: Fresadora STEPCRAFT .....	14
Tabla 2: Fresadora HIGH-Z.....	15
Tabla 3: Fresadora ROLAND .....	16
Tabla 4: Variables y criterios .....	20
Tabla 5: Características de las alternativas.....	25
Tabla 6: DATUM .....	26
Tabla 7: Datos aluminio .....	27
Tabla 8: Velocidades de corte para fresas de diámetro inferior a 12 mm .....	28
Tabla 9: Condiciones de corte para taladrado.....	29
Tabla 10: Nivel de precisión de husillo .....	49
Tabla 11: Juego del husillo.....	50
Tabla 12: Mecanizado extremo fijo de husillo.....	53
Tabla 13: Mecanizado extremo de soporte de husillo.....	54
Tabla 14: Carga admisible de los soportes FK.....	54
Tabla 15: Características de las correas .....	62
Tabla 16: Factores de seguridad para correas según máquina de uso .....	64
Tabla 17: Potencia admisible según ancho de la correa .....	65
Tabla 18: Mínimo de dientes de la polea.....	65
Tabla 19: Calculo de fuerzas y potencia en planeado .....	94
Tabla 20: Calculo de fuerzas y potencia en taladrado.....	95
Tabla 21: Velocidad de giro y par movimiento vertical.....	96
Tabla 22: Velocidad de giro y par movimiento transversal y longitudinal.....	96
Tabla 23: Precisión de montaje.....	112

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ALCANCE

Estos días en los que la tecnología avanza sin parar hay cada vez más personas interesadas en ella. Uno de los intereses es el mecanizado de piezas por control numérico por computadora (CNC).

Hay personas a las que les gustaría poder mecanizar o crear sus propias piezas con este método, sin tener que pedírselo a un fabricante. Los motivos pueden variar. Uno de ellos sería por hobby. En estos casos los interesados no suelen tener tanto dinero como las empresas para comprar una máquina herramienta convencional, ya que son muy caras, por ello les gustaría recurrir a soluciones más baratas. Máquinas herramienta más pequeñas y con menos precisión, para hacer pequeñas piezas o prototipos.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Una de las soluciones para ello podría ser una fresadora CNC de menor tamaño.

Hay varias máquinas herramienta CNC, pero las fresadoras CNC son las máquinas herramienta más polivalentes por la variedad de mecanizados que pueden realizar y por la flexibilidad que permiten en el proceso de fabricación.

Su funcionamiento es simple y es atractivo de ver como se mecaniza la pieza. Además, es sencillo de utilizar si se tienen conocimientos básicos.

Por lo tanto, se estima que es la mejor opción para el problema planteado anteriormente.

## 1.3. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es diseñar una fresadora CNC para pequeños prototipos. La fresadora será para uso doméstico, como hobby, siendo esta económica, sencilla y segura de utilizar, de dimensiones pequeñas y ligera.

El proyecto se centrará en el diseño mecánico y selección de componentes, mecánicos y electrónicos, sin entrar en detalle en la programación.

## 2. ANÁLISIS DE LA MÁQUINA

### 2.1. ANÁLISIS DE LA FRESADORA

#### 2.1.1. DEFINICIÓN

Una fresadora es una máquina herramienta para realizar trabajos mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa [Ilustración 1].



Ilustración 1: Fresadora

#### 2.1.2. MATERIALES Y OPERACIONES

Mediante el fresado se pueden mecanizar los más diversos materiales, como madera, acero, fundición de hierro, metales no férricos y materiales sintéticos, superficies planas o curvas, de entalladura, de ranuras, de dentado, etc.

#### 2.1.3. FRESADORAS CNC

Con las fresadoras más antiguas, el operario debe ir moviendo la fresadora para darle la forma deseada a la pieza.

En cambio, en las fresadoras CNC, que son fresadoras con la última tecnología, los movimientos de la fresadora son automatizados y no dependen de una persona. Esto es porque cuentan con un control numérico computarizado, haciendo los mecanizados más rápidos y precisos.

El principio de operación común de todas las aplicaciones del control numérico es el control de la posición relativa de una herramienta o elemento de procesado con respecto al objeto a procesar. Se programan la secuencia de movimientos a realizar y las fresadoras CNC interpretan el código de programación y lo ejecutan en su debido momento.

La unidad central de proceso (CPU) de la máquina controla accionamientos rotativos, para lo cual se utilizan motores que pueden variar su velocidad en un rango continuo. El movimiento lineal de los carros de la mesa se obtiene transformando el movimiento rotacional de los motores mediante husillos de bolas sin juego.

La CPU obtiene datos del programa y de los sensores instalados, que permiten establecer una realimentación del control de las operaciones.

#### 2.1.4. TIPOS DE FRESADORA

Las fresadoras pueden clasificarse según varios aspectos, como la orientación del eje de giro o el número de ejes de operación. A continuación, se indican las clasificaciones más usuales.

##### Fresadoras según la orientación de la herramienta:

- Una fresadora horizontal [Ilustración 2] utiliza fresas cilíndricas que se montan sobre un eje horizontal accionado por el cabezal de la máquina y apoyado por un extremo sobre dicho cabezal y por el otro sobre un rodamiento situado en el puente deslizante.
- En una fresadora vertical [Ilustración 2], el eje del husillo está orientado verticalmente, perpendicular a la mesa de trabajo. Las fresas de corte se montan en el husillo y giran sobre su eje. En general, puede desplazarse verticalmente, bien el husillo, o bien la mesa, lo que permite profundizar el corte.

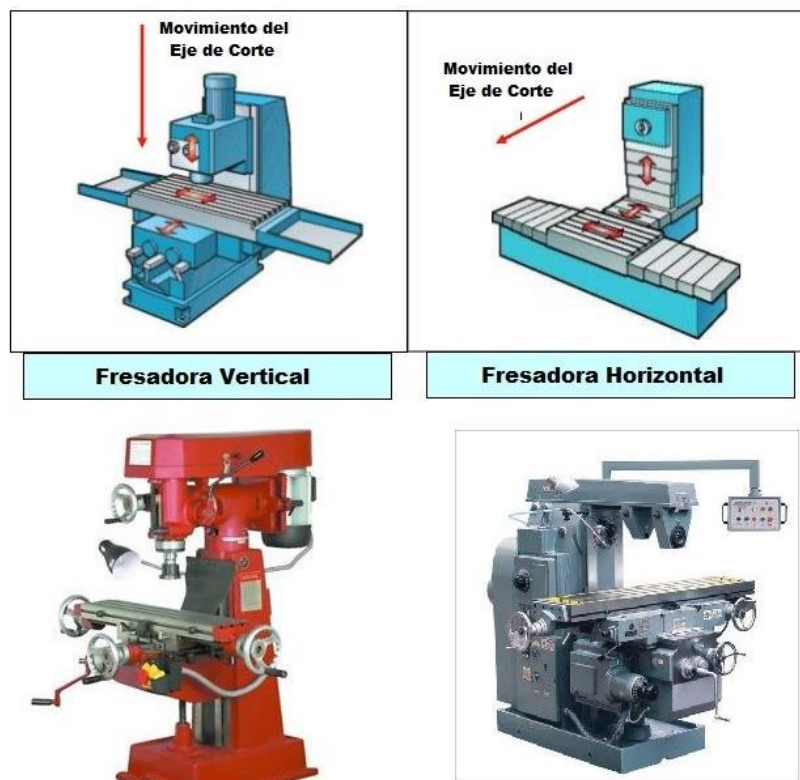
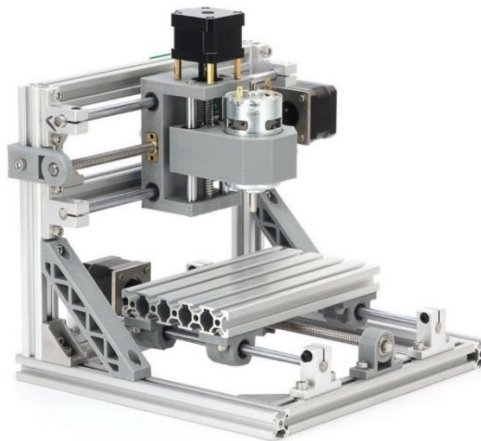


Ilustración 2: Fresadora vertical y horizontal

### **Fresadoras especiales:**

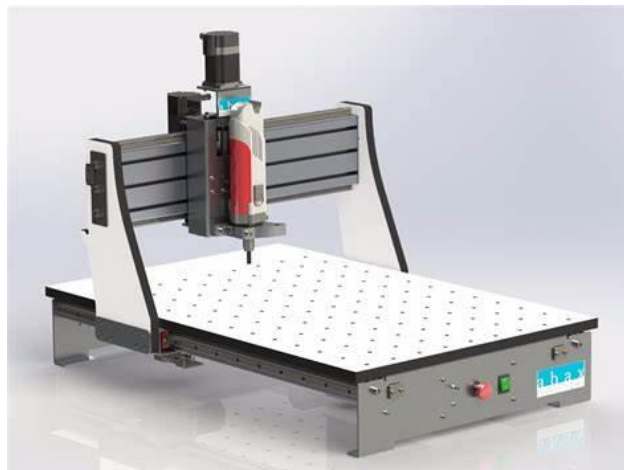
Además de las fresadoras tradicionales, existen otras fresadoras con características especiales que pueden clasificarse en determinados grupos. Estas son algunas de ellas:

- En las fresadoras de pórtico [Ilustración 3], también conocidas como fresadoras de puente, el cabezal portaherramientas vertical se halla sobre una estructura con dos columnas situadas en lados opuestos de la mesa. La herramienta puede moverse vertical y transversalmente, y la pieza puede moverse longitudinalmente.



*Ilustración 3: Fresadora de pórtico*

- En las fresadoras de puente móvil [Ilustración 4], en lugar de moverse la mesa, se mueve la herramienta en una estructura similar a un puente grúa.



*Ilustración 4: Fresadora de tipo puente móvil*

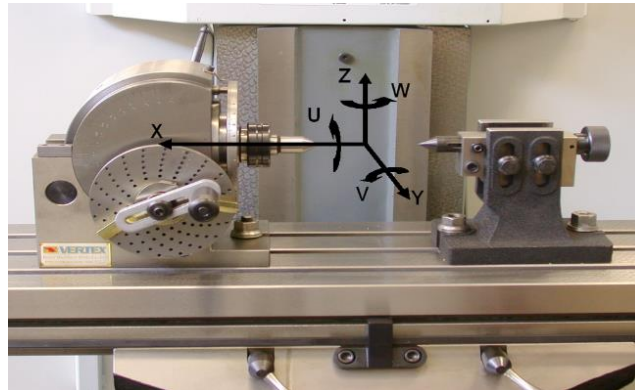
### **Fresadoras según el número de ejes:**

Las fresadoras pueden clasificarse en función del número de grados de libertad que pueden variarse durante la operación de arranque de viruta [Ilustración 5].

- Fresadora de tres ejes. Puede controlarse el movimiento relativo entre pieza y herramienta en los tres ejes de un sistema cartesiano. X Longitudinal, Y Transversal y Z vertical.



- Fresadora de cuatro ejes. Además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar el giro de la pieza sobre un eje, como con un mecanismo divisor o un plato giratorio.
- Fresadora de cinco ejes. Además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar o bien el giro de la pieza sobre dos ejes, uno perpendicular al eje de la herramienta y otro paralelo a ella (como con un mecanismo divisor y un plato giratorio en una fresadora vertical), o bien el giro de la pieza sobre un eje horizontal y la inclinación de la herramienta alrededor de un eje perpendicular al anterior.
- Fresadora de seis ejes.



*Ilustración 5: Ejes*

### 2.1.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE UNA FRESADORA

Al seleccionar una fresadora para su adquisición y para realizar trabajos con ella, deben tenerse en cuenta varias características técnicas de la misma. El tamaño de las piezas a mecanizar está limitado por las dimensiones de la superficie de la mesa y los recorridos de los elementos móviles.

Otro aspecto para tener en cuenta es el peso de la máquina, que influye en el transporte de esta. Un buen funcionamiento de la máquina requiere que sus holguras e imperfecciones dimensionales estén controladas y no excedan de unas tolerancias determinadas.

Para que los trabajos de fresado se realicen en las mejores condiciones se han de cumplir una serie de requisitos. Se debe asegurar una buena rigidez de la máquina y que tenga la potencia suficiente para poder utilizar las herramientas más convenientes.

## 2.2. ESTUDIO DE MERCADO

### 2.2.1. SOLUCIONES EXISTENTES

En este apartado se procede a realizar un estudio de mercado de las soluciones existentes. A través de Internet se han escogido varias opciones como posibles soluciones, siendo estas distintas entre ellas:

STEPCRAFT 420:

Se muestra como es la fresadora en la imagen [Ilustración 6] y los datos en la tabla [Tabla 1].



Ilustración 6: Fresadora STEPCRAFT 420

<b>Fresadora Modelo</b>	<b>420</b>
<b>Dimensiones de mesa:</b>	312 x 500 mm
<b>Área de trabajo X   Y:</b>	300 x 420 mm
<b>Área de trabajo Z:</b>	140 mm
<b>Altura del puente:</b>	175 mm
<b>Velocidad de trabajo X + Y:</b>	1.800 mm/min.
<b>Max. velocidad X + Y :</b>	1.800 mm/min.
<b>Resolución:</b>	0,005 mm
<b>Precisión de repetición:</b>	+/- 0,04 mm
<b>Rigidez Torsional (20N) (X Y Z):</b>	0,07 - 0,12 mm
<b>Finales de carrera:</b>	si
<b>Voltaje:</b>	19V
<b>Dimensiones:</b>	345 x 440 x 280 mm
<b>Peso:</b>	15 kg
<b>Alimentación:</b>	230 V/50 Hz
<b>Precios desde:</b>	<b>860 Euros</b>

Tabla 1: Fresadora STEPCRAFT

## HIGH-Z:

Se muestra como es la fresadora en la imagen [Ilustración 7] y los datos en la tabla [Tabla 2].

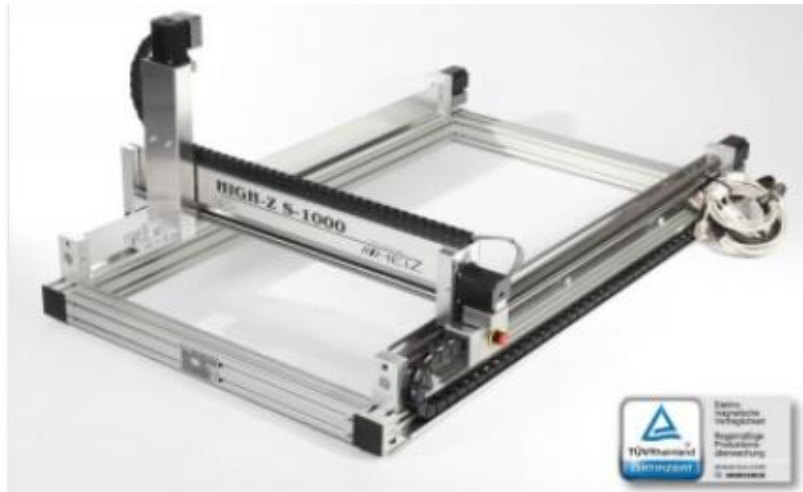


Ilustración 7: Fresadora HIGH-Z

Modelo	400 S
Superficie de amarre	730x390mm
Recorridos X	400mm
Recorridos Y	300mm
Recorridos Z	110mm
Dimensiones exteriores	730x570x575mm

Accionamiento X	2x husillos roscado trapezoidal Ø16mm con tuerca Nylatron y juego 0,02mm
Accionamiento Y	1x husillo roscado trapezoidal Ø16mm con tuerca
Accionamiento Z	1x husillo roscado trapezoidal Ø12mm y juego 0,02mm
Guiado X	2x barras acero Ø22mm rectificado y endurecido a 61hrc
Guiado Y	2x barras acero Ø30mm rectificado y endurecido a 61hrc
Guiado Z	2x barra acero Ø316mm rectificado y endurecido a 61hrc
Velocidad de posicionamiento	Hasta 40mm/s (por eje)
Velocidad de trabajo	Hasta 33mm/s
Incremento al paso	10 µm
Repetitividad	+/- 30µm máx.
Posicionamiento	+/- 20µm máx.
Interruptores de referencia	1x en cada eje, magnéticos sin contacto
Supervisión del área de trabajo	Por software
Datos de conexión	230 V / 50 Hz ó 110V / 60 Hz

Tabla 2: Fresadora HIGH-Z

Precio 2000€

ROLAND:

MODELA MDX-50

Se muestra como es la fresadora en la imagen [Ilustración 8] y los datos en la tabla [Tabla 3].



Ilustración 8: Fresadora ROLAND

Materiales compatibles*	Resinas tales como madera química y cera de modelado (no permite metal)
Rango de operación	X: 400 mm (15,75 plg) Y: 305 mm (12 plg) Z: 135 mm (5,315 plg)
Tamaño de mesa	Ancho: 400 mm (15,75 plg) Profundidad: 305 mm (12 plg)
Tamaño de pieza de trabajo cargable	X: 400 mm (15,75 plg) Y: 305 mm (12 plg) Z: 100 mm (3,90 plg)
Avance de eje	Motor por Pasos
Velocidad de avance	XY: 7 mm/min a 3.600 mm/min (0,3 plg/min a 141,7 plg/min) Z: 7 mm/min a 3.000 mm/min (0,3 plg/min a 118,1 plg/min)
Resolución de software	RML-1: 0,001 mm/paso código NC: 0,001 mm/paso
Resolución mecánica	0,01 mm/paso (0,39 mil/paso; medio paso)
Motor del husillo	Motor CC Sin Escobillas

Tabla 3: Fresadora ROLAND

Peso 122 Kg

Precio 10000 €

## 2.2.2. ANÁLISIS DE MERCADO

Después de haber realizado el estudio estas serían las conclusiones:

- Hay una gran variedad de fresadoras CNC pequeñas en el mercado, aun así, algunas personas se fabrican ellas mismas fresadoras CNC caseras por los elevados precios.
- No hay muchas fresadoras CNC en el mercado que valgan menos de 1000 €.
- La mayoría de las fresadoras de menor tamaño son fresadoras de tipo pórtico o de puente móvil.
- Normalmente las fresadoras son de tres ejes. Cuando los ejes son más de tres suele subir bastante el precio.
- Las fresadoras suelen servir también como grabadoras y taladradoras.
- La mayoría no están diseñadas para mecanizar metales duros y algunos incluso tampoco aluminio, pero si materiales más blandos, como pueden ser la madera o diferentes plásticos.
- Las fresadoras capaces de mecanizar aluminio no suelen disponer de un sistema de refrigeración o lubricación para facilitar el mecanizado.
- La mayoría de las fresadoras tienen escasa seguridad, si suelen tener una seta de emergencia, pero no disponen de una pantalla protectora. Aunque algunas sí que están completamente cubiertas. El peso y el coste en estos casos aumenta.
- Muy pocas fresadoras tienen algún sistema de limpieza o recipiente para recoger el polvo o virutas, lo que puede llegar a ser una molestia para el usuario.
- En las fresadoras pequeñas, la altura que se puede mecanizar (eje Z), no suele ser muy grande, normalmente entorno a 100mm.
- Algunas fresadoras CNC para sobremesa pesan mucho, más de 100 Kg, lo que es un inconveniente para poder moverlo.

### 3.NORMAS Y REFERENCIAS

Siendo una fresadora una máquina herramienta, las cuales se utilizan mucho en la industria, existen muchas normas relacionadas con ellas. La mayoría se pueden encontrar en el siguiente enlace:

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/comites-tecnicos-de-normalizacion/comite/?c=CTN%2015>

A continuación, se muestran algunas de ellas:

**UNE-EN 13128**

Máquinas herramienta. Seguridad. Fresadoras.

**UNE-EN 15006**

Velocidades y avances en las máquinas-herramienta.

**UNE 15218**

Mesas de máquinas-herramienta. Ranuras en T y tornillos correspondientes.

**UNE-ISO 369**

Máquinas-herramienta. Simbología de las indicaciones en máquinas-herramienta.

**UNE 15450**

Máquinas-herramienta. Condiciones de ensayo de centros de mecanizado.

**UNE-ISO 26303**

Máquinas-herramienta. Evaluación de la capacidad del proceso de mecanizado en máquinas-herramienta de arranque de viruta.

## 4. DISEÑO CONCEPTUAL

### 4.1. LISTADO DE OBJETIVOS Y CLASIFICACIÓN

A continuación, se enumeran en una lista los objetivos marcados para la fresadora CNC y al mismo tiempo se clasifican según sean restricción, optimizable o deseo. Para definir los objetivos se ha utilizado la información conseguida anteriormente.

#### OBJETIVOS

1. Que sea pequeña (O)
2. Que tenga un mínimo de dimensiones de trabajo (R)
3. Que pese poco (O)
4. Que sea barata (O)
5. Que sea segura (R)
6. Que se pueda mecanizar madera, plásticos y aluminio (R)
7. Que sea bastante precisa (D)
8. Que disponga de un sistema de refrigeración (R)
9. Que se tenga un sistema de limpieza (R)
10. Que tenga un simple funcionamiento (O)

### 4.2. VARIABLES Y CRITERIOS. CUANTIFICACIÓN DE OBJETIVOS

Nº	Objetivo	R/O/D	Variable	Criterio
1	Que sea pequeña	O	Volumen	Menor que 150 dm <sup>3</sup>
2	Que tenga un mínimo de dimensiones de trabajo	R	mm	300mm longitud 300mm anchura 100mm altura
3	Que pese poco	O	Peso	Menos de 50 Kg y cuanto menos mejor
4	Que sea barata	O	Dinero	Menos de 1000 € y cuanto menos mejor
5	Que sea segura	R	Nº de elementos de seguridad	Que tenga dos: Pantalla protectora y parada de emergencia
6	Que se pueda mecanizar madera, plástico y aluminio	R	Categórica	Si/No
7	Que sea bastante preciso	O	Resolución en	Que tenga una

			mm	precisión de 0,1 mm. Cuanto más preciso mejor
8	Que tenga un sistema de refrigeración	R	Categórica	Si/No
9	Que tenga un sistema de limpieza	R	Categórica	Si/No
10	Que tenga un simple funcionamiento	O	Valoración	Cuantos menos componentes mejor

Tabla 4: Variables y criterios

### 4.3. LISTADO DE ESPECIFICACIONES

1. Volumen máximo de 150 dm<sup>3</sup>.
2. Las dimensiones de trabajo tienen que ser mínimo 300mm de longitud, 300mm de anchura y 100 mm de altura.
3. Cuanto menos peso mejor, a poder ser inferior a 50 kg.
4. Cuanto menos coste mejor, a poder ser inferior a 1000€.
5. Debe tener pantalla protectora y parada de emergencia.
6. Debe poder mecanizar madera, plástico y aluminio.
7. Estaría muy bien conseguir una precisión de 0,1 mm y si es más preciso mejor.
8. Debe tener un sistema de refrigeración.
9. Debe tener un sistema de limpieza.
10. Debe tener un simple funcionamiento y cuantos menos componentes mejor.

### 4.4. PROPUESTA CONCEPTUAL DE SOLUCIONES

Se presentarán en las siguientes hojas los bocetos conceptuales elaborados.

Antes de enseñar los bocetos se hace una aclaración. Muchas de las características de las distintas alternativas son iguales así que en vez de repetir en cada opción lo mismo se dará una explicación ahora que servirá para todas:

Se pueden observar en las imágenes [Ilustración 9] [Ilustración 10] [Ilustración 11] el botón de parada de emergencia y el puerto USB, por donde se introducirá el programa con las instrucciones para el mecanizado CNC.

La fresadora estará cubierta por una caja transparente, para poder ver el interior, con la posibilidad de poder abrirlo cuando se quiera, disponiendo de una puerta para ello, en la parte frontal. Tendrá un sensor incorporado para detectar que la puerta este cerrada o abierta.

Para empezar con el mecanizado la puerta deberá estar cerrada y si se abriese durante el proceso de mecanizado la fresadora se pararía.

Se pretende también añadir un sistema de refrigeración y de limpieza, que aún estarían por definir. Por el momento se piensa colocar como refrigeración aire a presión y como ayuda de limpieza una bandeja debajo de la mesa.

Una vez hecha esta aclaración se muestran los bocetos:



Boceto 1:

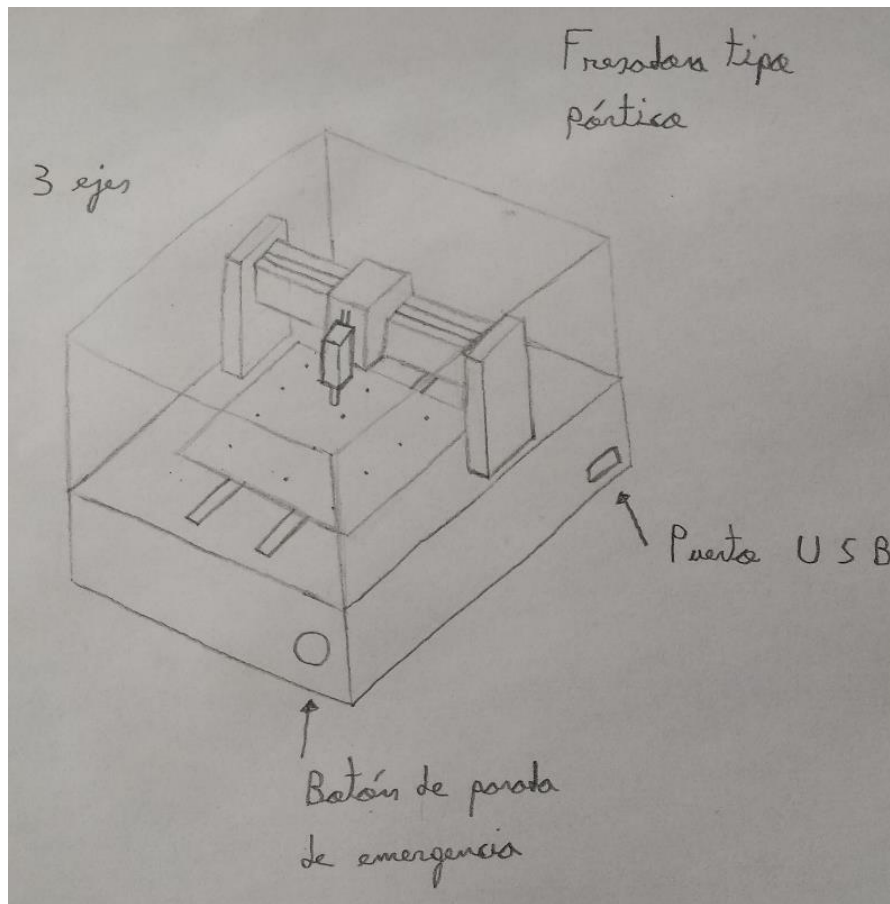


Ilustración 9: Alternativa 1

Este boceto [Ilustración 9] se ha elaborado pensando en una fresadora de tipo pórtico, por ser una de las más usadas. Tendría 3 ejes.

Los movimientos se realizarían de la siguiente manera: la mesa se movería transversalmente y la herramienta se movería longitudinal y verticalmente. Los movimientos se realizarían con motores los cuales harían girar a un husillo con una tuerca, el cual convierte un movimiento circular en un movimiento lineal, moviendo la mesa o herramienta. Los movimientos estarían dirigidos con unas guías.

Las dimensiones generales serían las siguientes: longitud de 800mm, anchura de 500mm y altura de 500mm.

Esto es debido a que la mesa tiene que ser de 300mm de longitud y 300mm de anchura. Ya que en este caso es la mesa la que se mueve y tiene que tener esas dimensiones por lo menos, suponiendo que con una altura de 500mm se lograra poder mecanizar piezas de altura de 100mm.

## Boceto 2:

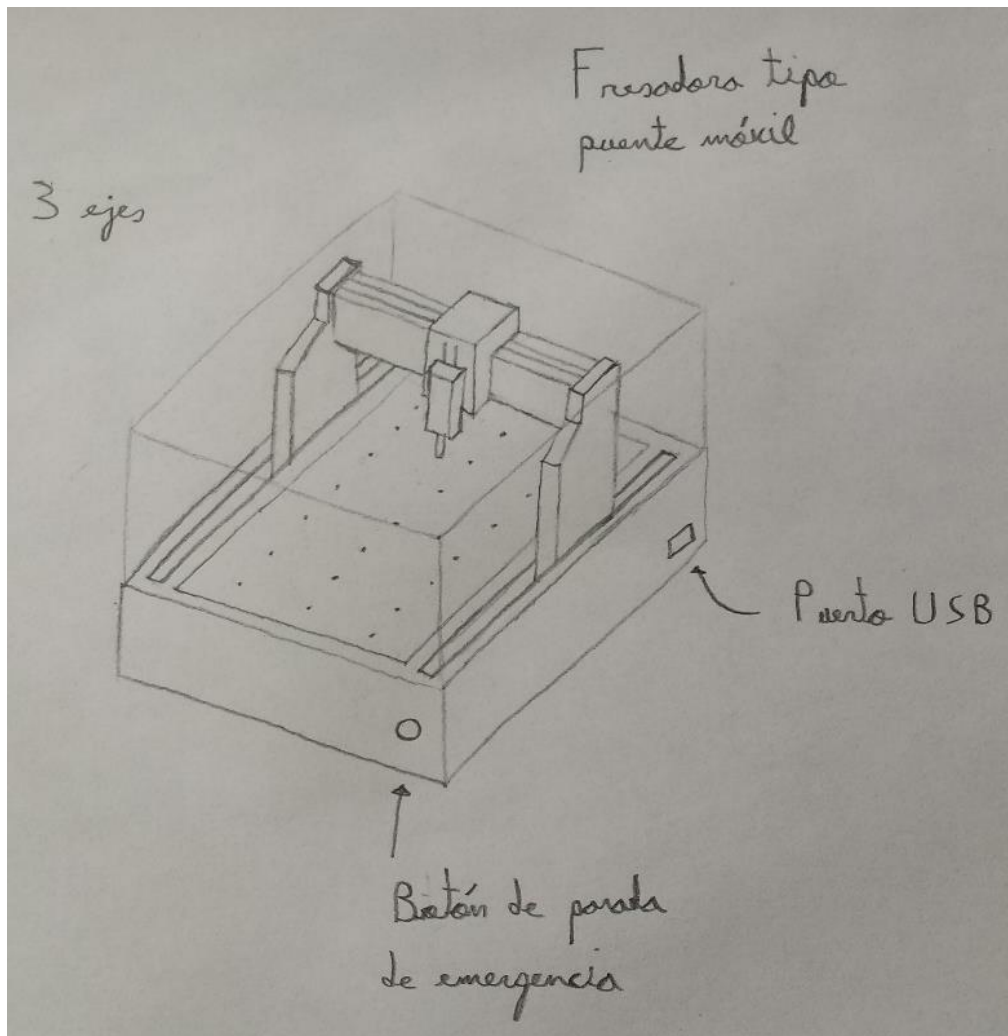


Ilustración 10: Alternativa 2

Este boceto [Ilustración 10] se ha elaborado pensando en una fresadora de tipo puente móvil, por ser una de las más usadas. Tendría 3 ejes.

Los movimientos se realizarían de la siguiente manera: la mesa no se movería y la herramienta se movería longitudinal, transversal y verticalmente. Los movimientos se realizarían con motores los cuales harían girar a un husillo con una tuerca, el cual convierte un movimiento circular en un movimiento lineal, moviendo la herramienta. Los movimientos estarían dirigidos con unas guías.

Las dimensiones generales serían las siguientes: longitud de 500mm, anchura de 500mm y altura de 500mm.

Esto es debido a que la mesa tiene que ser de 300mm de longitud y 300mm de anchura. Ya que en este caso la mesa no se mueve es suficiente con esas medidas, suponiendo que con una altura de 500mm se lograra poder mecanizar piezas de altura de 100mm.

### Boceto 3:

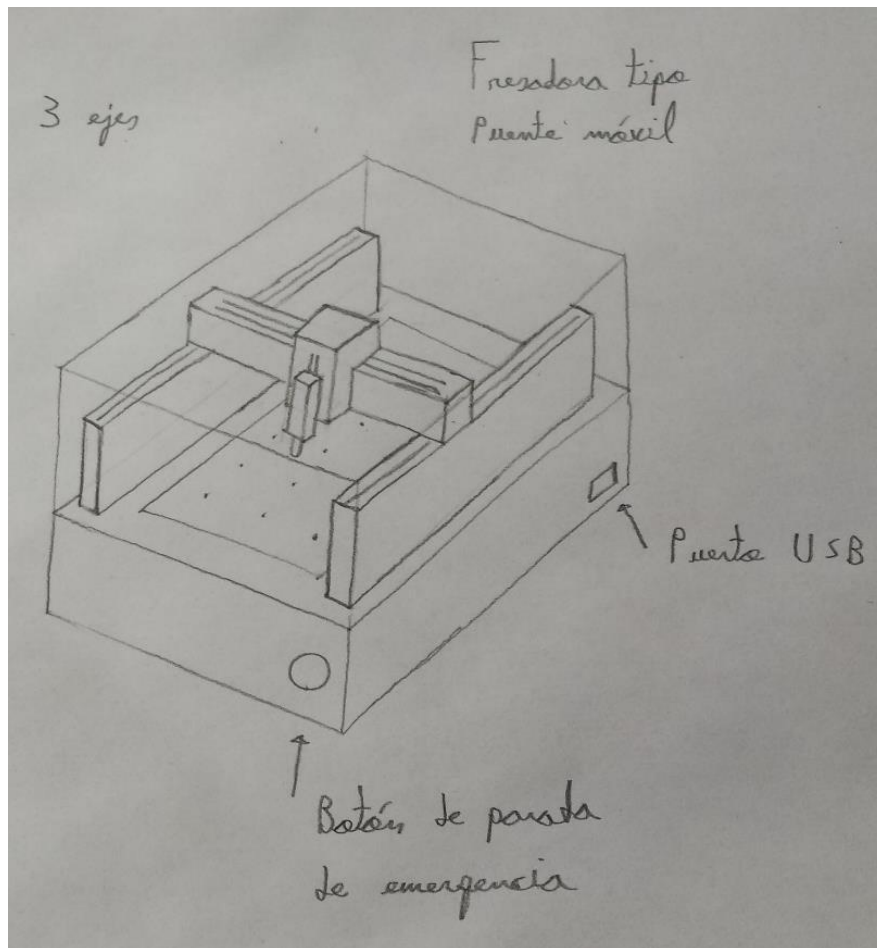


Ilustración 11: Alternativa 3

Este boceto [Ilustración 11] se ha elaborado pensando en una fresadora de tipo puente móvil, por ser una de las más usadas. Tendría 3 ejes.

Los movimientos se realizarían de la siguiente manera: la mesa no se movería y la herramienta se movería longitudinal, transversal y verticalmente. Los movimientos se realizarían con motores los cuales harían girar a un husillo con una tuerca, el cual convierte un movimiento circular en un movimiento lineal, moviendo la herramienta. Los movimientos estarían dirigidos con unas guías.

La única diferencia respecto a la propuesta anterior es que en este caso la parte móvil cuenta con menos piezas, pero la estructura tiene más componentes.

Las dimensiones generales serían las siguientes: longitud de 500mm, anchura de 500mm y altura de 500mm.

Esto es debido a que la mesa tiene que ser de 300mm de longitud y 300mm de anchura al igual que en el caso anterior. Ya que la mesa no se mueve es suficiente con esas medidas, suponiendo que con una altura de 500mm se lograra poder mecanizar piezas de altura de 100mm.

## 4.5. COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Los bocetos 2 [Ilustración 10] y 3 [Ilustración 11] son muy similares entre ellas así que en primer lugar se compararán estas con el boceto 1 [Ilustración 9].

El primero es una fresadora tipo pórtico y las otras son de tipo puente móvil. Las fresadoras de tipo pórtico son más estables que las de puente móvil y se consiguen mecanizados de mejor precisión, pero tienen una desventaja frente a los de puente móvil.

Cuando las dimensiones de la mesa están fijadas y tiene que estar cubierta, en el caso del tipo pórtico, se necesita una máquina de dimensiones más grandes comparándola con el de tipo puente móvil, ya que la mesa se mueve. Lo que lleva a que el peso y el coste de material sea mayor.

Comparando los bocetos 2 y 3 entre ellas, no hay muchas diferencias, pero sí que algunas. La propuesta del boceto 3 es más estable que la del boceto 2, pero se necesita más material. El único inconveniente que tiene es que para moverse transversalmente se necesitan dos motores y dos husillos, lo que podría traer complicaciones, ya que los dos motores tendrían que ir perfectamente sincronizados para que funcionase bien. Siendo esto probablemente el motivo por el cual es menos habitual la alternativa 3 que la alternativa 2.

#### 4.6. CARACTERISTICAS DE CADA PROPUESTA

En la siguiente tabla [Tabla 5] se indican las características de cada alternativa, la mayoría de ellas son aproximaciones o suposiciones que en estos momentos no se pueden definir o saber, como con el volumen, peso y coste. Que sea capaz de mecanizar madera, plástico o aluminio dependerá del diseño, siendo que se pretende que sea así se valorara en estos momentos que todos van a cumplir esa condición. En el caso de la precisión, como en estos momentos no se puede saber, se hará una valoración, teniendo en cuenta la posible rigidez de la estructura. Para definir la complejidad de funcionamiento se tendrán en cuenta los componentes necesarios para el funcionamiento.

Todas las estimaciones que aparecen en la tabla se realizan basándose en la información aportada en los dos anteriores apartados [4.4] [4.5].

	UNIDAD	A1	A2	A3
1.Volumen	dm <sup>3</sup>	200	125	125
2.Dimensiones de trabajo	mm	300mm 300mm 100mm	300mm 300mm 100mm	300mm 300mm 100mm
3.Peso	Kg	60	40	50
4.Coste	€	900 €	700 €	800 €
5.Nº de elementos de seguridad	Nº	2	2	2
6.Mecanizado de madera, plástico y aluminio	Si/No	Si	Si	Si
7.Precisión	Valoración	Muy buena	Aceptable	Buena
8.Sistema de refrigeración	Si/No	Si	Si	Si
9.Sistema de limpiado	Si/No	Si	Si	Si
10.Complejidad de funcionamiento	Valoración	Muy simple	Muy simple	Simple

*Tabla 5: Características de las alternativas*

La alternativa 1 [Ilustración 9] no cumple todas las restricciones, teniendo más volumen de lo que se desea. Por lo tanto, se descarta esta opción y se estudiarán las otras dos restantes.

## 4.7. ANALISIS DE SOLUCIONES

A continuación, se realizará un análisis de las soluciones planteadas anteriormente, para al final elegir la mejor solución utilizando una metodología de evaluación de diseño por objetivos.

### 4.7.1. COMPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES

Como ya se ha dicho anteriormente comparando las alternativas 2 [Ilustración 10] y 3 [Ilustración 11] entre ellas, no hay muchas diferencias. La propuesta del boceto 3 es más estable que la del boceto 2, pero se necesita más material. El único inconveniente que tiene es que para moverse transversalmente se necesitan dos motores y dos husillos, lo que podría traer complicaciones, ya que los dos motores tendrían que ir perfectamente sincronizados para que funcionase bien. Que se aumente la cantidad de componentes necesarios también hace que sea más caro y complicado de montar. Siendo todo esto probablemente el motivo por el cual es menos habitual la alternativa 3 que la alternativa 2.

### 4.7.2. SELECCIÓN DE LA PROPUESTA FINAL DE DISEÑO

La metodología de evaluación de diseño por objetivos que se empleará para determinar la mejor propuesta será la evaluación cualitativa Datum [Tabla 6]. Para ello se escoge como referencia la alternativa 3 [Ilustración 11], para compararla con la alternativa 2 [Ilustración 10].

Para saber cuál es la mejor opción se compararán los objetivos optimizables, basándose para ello en la tabla de las características [Tabla 5].

1. Que sea pequeña (O)
3. Que pese poco (O)
4. Que sea barata (O)
7. Que sea precisa (O)
10. Que tenga un simple funcionamiento (O)

	A2	A3
1	=	DATUM
3	+	
4	+	
7	-	
10	+	
SUMA	+2	0

Tabla 6: DATUM

La alternativa que resulta con la mejor puntuación es la alternativa 2 y, por tanto, esta será la opción elegida.

## 5. DISEÑO PRELIMINAR

### 5.1. FUERZAS Y POTENCIA

Siendo determinante para el diseño saber las fuerzas que tendrá que soportar la fresadora y la potencia que va a necesitar, lo primero que se hace es calcularlo.

Para calcular las fuerzas y potencias se emplea una hoja Excel de cálculos proporcionado en el máster en la asignatura SDI133-Fabricación Asistida por ordenador II. En esta indicando el material a mecanizar y condiciones de corte se obtienen los datos que se desean saber.

Se define como material el aluminio, siendo esta la que mayores fuerzas y potencia necesita para poder mecanizarse. Se utiliza la siguiente tabla [Tabla 7] para determinar sus características, cogiendo la situación más desfavorable.  $700\text{N/mm}^2$  y  $0,25$ .

ISO	CMC No.	Material	Specific cutting force kc 1	Hardness Brinell		
			N/mm <sup>2</sup>	HB	mc	
<b>N</b>	30.11	Aluminium alloys	Wrought or wrought and coldworked, non-aging	400	60	
	30.12		Wrought or wrought and aged	650	100	
	30.21	Aluminium alloys	Cast, non-aging	600	75	0.25
	30.22		Cast or cast and aged	700	90	0.25
	30.3	Aluminium alloys	Al >99%	350	30	
	30.41	Aluminium alloys	Cast, 13–15% Si	700	130	
	30.42		Cast, 16–22% Si	700	130	
33.1	Copper and copper alloys	Free cutting alloys, ≥1% Pb	550	110	0.25	
33.2		Brass, leaded bronzes, ≤1% Pb	550	90		
33.3		Bronze and non-leaded copper incl. electrolytic copper	1350	100	0.25	

Tabla 7: Datos aluminio

Se pretende hacer los cálculos para dos casos distintos. Una para operaciones de planeado y otra de taladrado, considerando que estas serán las más restrictivas.

En el caso del planeado, como es una fresadora pequeña y en estas las mayores fresas que se suelen utilizar son de 8 o 10 mm de diámetro, se escoge la de 10 mm para hacer los cálculos, siendo esta de  $90^\circ$  y de dos dientes.

Se hacen unos cálculos preliminares y en el caso del taladrado se estima que hacer agujeros de 8 o 10 mm directamente requeriría de mucha potencia y crearía grandes fuerzas y una potencia necesaria muy grande, por ello para los cálculos se considerara una fresa de 5 mm de diámetro.

Para el planeado se escoge una velocidad de corte de  $80\text{ mm/min}$  y  $0,1\text{ mm/diente}$ , basándose para ello en la tabla que se muestra a continuación [Tabla 8], la cual se emplea para fresas de diámetro menor a 12 mm:



Ø de la pieza < 12 mm.			
Material	Medidas de Moleta (mm)	Vel. de corte (m/min)	Avance (mm/rev)
Acero de 60 Kg	8,9 x 2,5 x 4	35	0,05 - 0,08
	14,5 x 3 x 5	45	0,07 - 0,09
	21,5 x 5 x 8	60	0,07 - 0,14
Acero de 90 kg	8,9 x 2,5 x 4	25	0,04 - 0,07
	14,5 x 3 x 5	35	0,06 - 0,08
	21,5 x 5 x 8	50	0,06 - 0,12
Acero inoxidable	8,9 x 2,5 x 4	22	0,04 - 0,06
	14,5 x 3 x 5	30	0,06 - 0,08
	21,5 x 5 x 8	40	0,06 - 0,12
Latón 58	8,9 x 2,5 x 4	60	0,06 - 0,10
	14,5 x 3 x 5	70	0,08 - 0,12
	21,5 x 5 x 8	100	0,08 - 0,20
Latón 60	8,9 x 2,5 x 4	50	0,05 - 0,09
	14,5 x 3 x 5	60	0,06 - 0,10
	21,5 x 5 x 8	90	0,07 - 0,15
Bronce	8,9 x 2,5 x 4	35	0,05 - 0,08
	14,5 x 3 x 5	45	0,07 - 0,09
	21,5 x 5 x 8	60	0,07 - 0,14
Aluminio	8,9 x 2,5 x 4	70	0,06 - 0,13
	14,5 x 3 x 5	80	0,08 - 0,18
	21,5 x 5 x 8	120	0,10 - 0,25

Tabla 8: Velocidades de corte para fresas de diámetro inferior a 12 mm

Se realizan unos primeros cálculos preliminares y se definen los siguientes parámetros, para que las potencias necesarias sean similares en los dos casos:

Como parámetros de corte en el planeado se escoge una profundidad de 3 mm con el diámetro entero de la fresa, 10 mm, por lo cual, siendo planeado, el ángulo es de 180°.

Para el taladrado se escoge una fresa de 5 mm de diámetro, por considerar que las fuerzas con una fresa de 6 mm de diámetro son demasiado grandes también. Tendrá una velocidad de corte de 55 mm/min y 0,125 mm/diente. Estos datos se definen basándose en las siguientes tablas [Tabla 9].

Remarcar que el rendimiento que se selecciona es de 0,85 para la potencia, considerando que será suficiente teniendo en cuenta las pérdidas eléctricas, además de añadirle un factor de seguridad de 1,2. Para el cálculo de las fuerzas se emplea un factor de seguridad en este caso de 1,5.

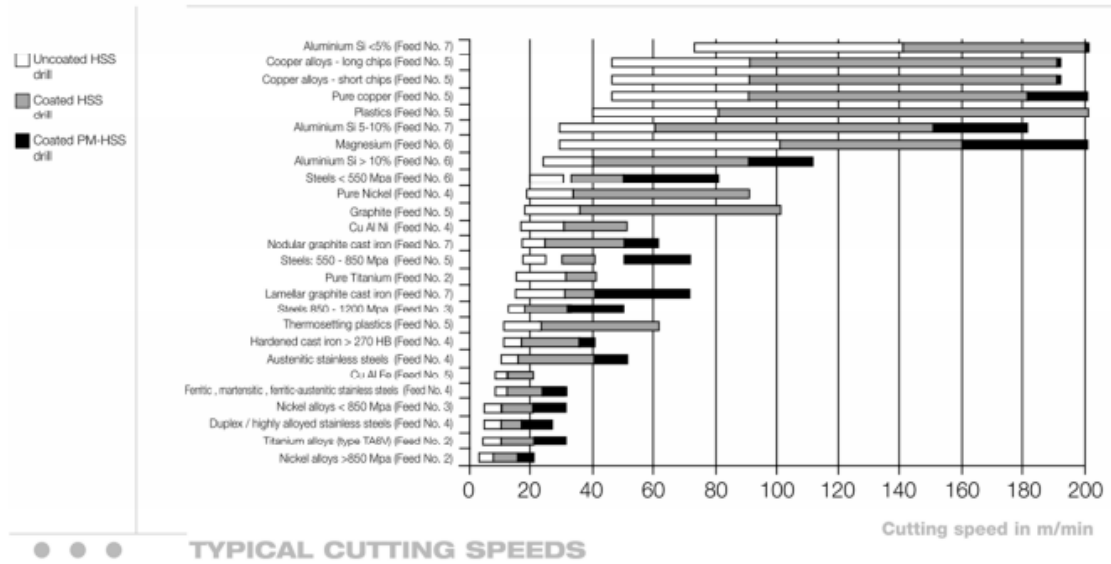
Los resultados obtenidos con las condiciones mencionadas se muestran en las siguientes tablas, para la operación de planeado [Tabla 19] y de taladrado [Tabla 20].

Según muestran las tablas teniendo en cuenta el rendimiento y el factor de seguridad seleccionados la potencia que debe transmitir el motor de fresado es 500 W y la fuerza que deberá ser capaz de soportar la estructura es de 460 N lateralmente y 630 N verticalmente.



# I. Tablas de Condiciones de Corte. TALADRADO / ESCARIADO

## Brocas helicoidales



Drill Ø mm	Feed column No.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.50	0.004	0.006	0.007	0.008	0.010	0.012	0.014	0.016	0.019
1.00	0.006	0.008	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020	0.023	0.025
2.00	0.020	0.025	0.032	0.040	0.050	0.063	0.080	0.100	0.125
2.50	0.025	0.032	0.040	0.050	0.063	0.080	0.100	0.125	0.160
3.15	0.032	0.040	0.050	0.063	0.080	0.100	0.125	0.160	0.160
4.00	0.040	0.050	0.063	0.080	0.100	0.125	0.160	0.200	0.200
5.00	0.040	0.050	0.063	0.080	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250
6.30	0.050	0.063	0.080	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315
8.00	0.063	0.080	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.315
10.00	0.080	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.400
12.50	0.080	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500
16.00	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630
20.00	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630	0.630
25.00	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630	0.800	0.800
31.50	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630	0.800	1.000
40.00	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630	0.800	1.000	1.250
50.00	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630	0.800	1.000	1.250	1.250
63.00	0.315	0.400	0.500	0.630	0.800	1.000	1.250	1.600	1.600
80.00	0.400	0.500	0.630	0.800	1.000	1.250	1.600	1.600	2.000

Tabla 9: Condiciones de corte para taladrado

## 5.2. FUNCIONAMIENTO: COMPONENTES MECÁNICOS Y ESTRUCTURALES DE LA FRESADORA

Una vez teniendo una idea de las fuerzas y la potencia se empieza pensando en los componentes de la fresadora, desarrollando la solución obtenida en la fase conceptual.

### 5.2.1. Transmisión

En primer lugar, se decide cómo va a funcionar la fresadora, empezando por la transmisión. Hay distintas opciones y las más destacables serían las siguientes: husillo, polea con correa dentada y piñón-cremallera. Entre las tres la que más precisión ofrece es el husillo [Ilustración 12]. Observando el tipo de transmisión de otras máquinas herramientas, éstas siempre utilizan husillos, más concretamente husillos de bolas, ya que también hay husillos de fricción. Los husillos de bolas se emplean generalmente en máquinas con control numérico que exigen grandes precisiones en el desplazamiento y posicionamiento, mientras que los husillos de fricción se utilizan para aplicaciones menores donde no sea necesario tanto rendimiento ni tanta resistencia al desgaste.



*Ilustración 12: Husillo con tuerca*

### 5.2.2. Accionamiento

Los accionamientos que se utilizan para hacer mover los husillos son motores eléctricos. Como en este caso se busca control de posición y precisión la gama de opciones se reduce. Los motores que ofrecen esto son los motores paso a paso o servomotores.

Estas son las ventajas del motor paso a paso:

- No precisan sensor de posición ni de velocidad.
- Velocidades de movimiento desde extremadamente bajas a medias y libres de vibraciones.
- Permiten mantener una determinada posición a velocidad cero sin vibraciones.
- Menores tensiones de alimentación en las bobinas.
- Más económicos.

Y estas las ventajas el servomotor:

- Alcanzan velocidades mayores.
- Mantener el par máximo a mayores velocidades.
- Mayores rampas de aceleración y frenado.

Es evidente que existe un segmento de aplicaciones en que el servomotor es imprescindible, pero en muchas otras éste puede sustituirse por un motor paso a paso con un controlador adecuado, siendo una solución óptima y barata.

Por lo tanto, se decide colocar motores paso a paso [Ilustración 13] y para tener un mayor control se considera colocar un encoder a cada motor.



*Ilustración 13: Motor paso a paso*

### 5.2.3. Acoplamiento

El giro de los motores a los husillos se puede transmitir, entre otros, con correas dentadas, cadena, engranajes o acopladores. El caso más sencillo es poner acopladores, ya que en este caso se unen con el uso de un solo elemento el husillo y el eje del motor directamente, haciendo que estas giren a la vez y a la misma velocidad. Los acopladores pueden ser flexibles o rígidos. Las flexibles [Ilustración 14], permiten pequeñas desalineaciones lo cual evita crear tensiones en el eje del motor y el husillo, por lo tanto, se decide utilizar estas.



*Ilustración 14: Acopladores flexibles*

### 5.2.4. Guiado

Para el guiado se utilizan guías de traslación lineales. Pueden ser de contacto deslizante, rodante o hidrostático. El de contacto deslizante es el más simple, pero debido a la fricción la precisión no es tan buena, por ello se descarta para esta aplicación. En el de contacto rodante y guiado hidrostático la precisión que se obtiene es muy buena, las de guiado hidrostático incluso mejor, pero es más caro y su instalación es más compleja. Por lo tanto, se colocarán guías de contacto rodante [Ilustración 15]. Estos deslizarán sobre barras, que en principio serán de aluminio, por lo que se explica en el siguiente punto. El diámetro de

estos queda por definir, pero por ahora serán de 16 mm, basándose en lo visto en el mercado y fresadoras caseras.



*Ilustración 15: Guía lineal*

### **5.2.5. Material**

En estos casos la estructura de la maquina se suele hacer de aluminio o acero. Se quiere que la fresadora sea lo más ligera posible. Por ello se utilizará aluminio para hacer la estructura, empleando perfiles de aluminio cuando sea posible, por ser estas comerciales y, por lo tanto, más baratos. Los demás elementos de la estructura serán placas de aluminio de 10 mm. Por el momento de ese espesor, teniendo que realizar más adelante, en la fase de detalle, cálculos para certificar que la estructura de este modo es lo suficientemente rígida para soportar las fuerzas sin deformarse mucho, lo cual determinara la precisión de la máquina. Si en los cálculos posteriores se observa que la deformación es demasiado grande para lo que se quiere, habrá la posibilidad de utilizar placas de mayor espesor o cambiar a acero directamente, pero se intentará hacer todo en aluminio.



*Ilustración 16: Perfil de aluminio*

Como ya se ha dicho anteriormente se pretende cubrir completamente la fresadora. Aparte de los perfiles y placas de aluminio, se utilizarán paneles de plástico para ello. En este caso serán de policarbonato, ya que ofrecen gran resistencia a impactos y tienen una gran transparencia. Estos se unirán a los laterales de la estructura formando una caja, pero se tendrá que permitir abrirlo fácilmente, para poder colocar la pieza que se mecanizara y deberá poder dejar suficiente espacio para ello.

### **5.2.6. Refrigeración**

En cuanto a la refrigeración se analizan las distintas opciones para lograrlo. Se descarta la opción de colocar taladrina por pensar que ello complicaría el diseño y creer que para la calidad que se busca solo con la refrigeración será suficiente. La taladrina ensuciaría su

uso, lo que no gustaría a los compradores. Se decide colocar un vaporizador [Ilustración 17], por la cual se pretende liberar aire comprimido. La fuente de aire comprimido lo tendría que conseguir cada comprador por separado. También se podría utilizar para crear lubricación por neblina.



*Ilustración 17: Vaporizador*

### **5.2.7. Limpieza**

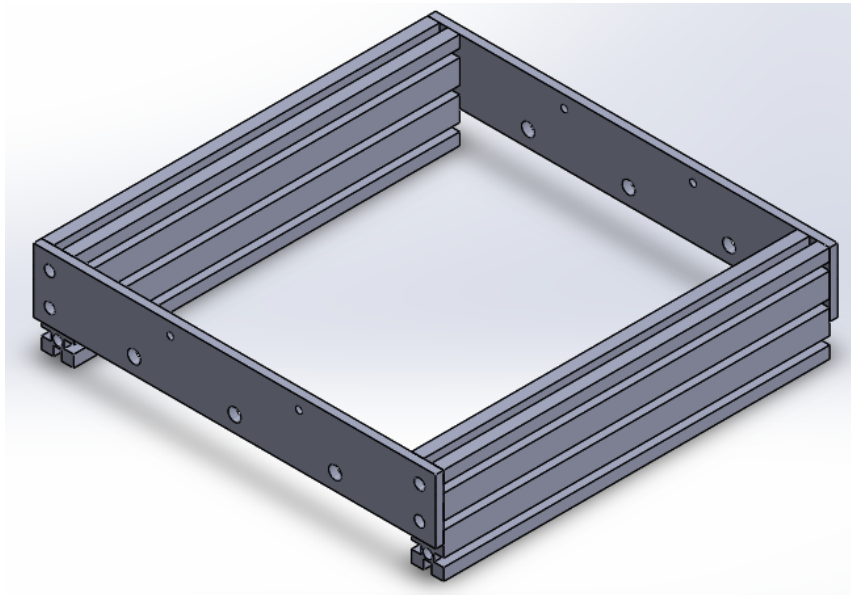
Como sistema de limpieza se piensa colocar debajo de la mesa de la fresadora una bandeja. En los extremos de la mesa abra huecos por los cuales se tirarán las virutas y el polvo, haciendo la limpieza de este modo más sencilla y cómoda. Además, si el refrigerador está en funcionamiento este expulsará directamente las virutas a la bandeja, teniendo en cuenta también que todo está cerrado gracias a los paneles.

### 5.3. DISEÑO CAD

Definido los elementos que se van a emplear se comienza con el diseño CAD.

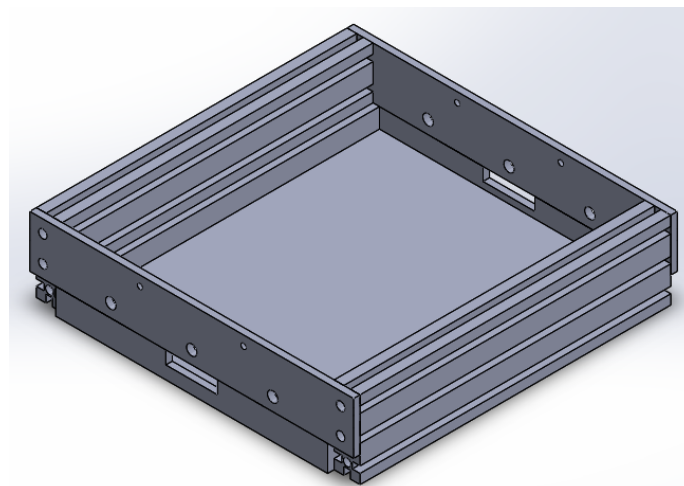
Los elementos que se muestran más adelante están unidos entre sí con tornillos, aunque no se muestren en las imágenes.

En primer lugar, se piensa en la base de la fresadora. Dado que se ha decidido que la fresadora este completamente cubierta las partes móviles irán colocadas dentro de esta estructura, faltando añadir la parte de arriba que cubrirá todo, la cual se mostrara más adelante. Se decide colocar en los laterales perfiles de aluminio por no necesitar en estos ningún mecanizado y porque añaden rigidez. La placa frontal y trasera sí que serán placas de aluminio por necesitar mecanizarse para colocar las barras y el husillo. [Ilustración 18]



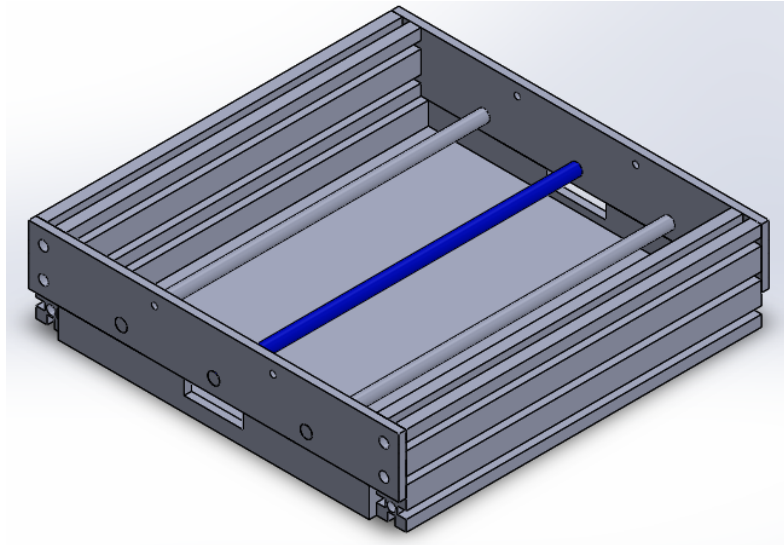
*Ilustración 18: Base*

Dado que se quiere implementar un sistema de limpieza se diseña una bandeja en la cual se recogerán las virutas y polvo resultantes del mecanizado. Este elemento ira colocado en la parte inferior de la base [Ilustración 19].



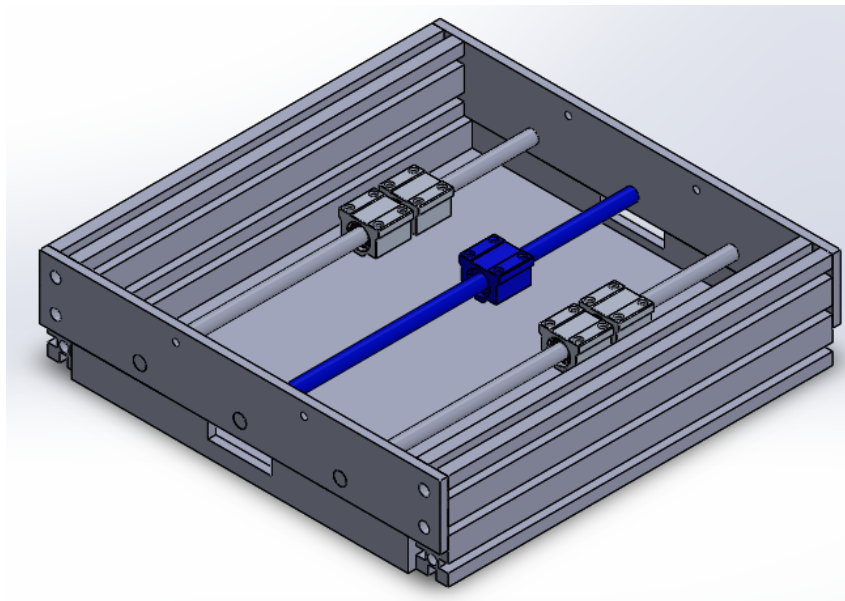
*Ilustración 19: Bandeja*

Como ya se ha dicho anteriormente los movimientos de la fresadora se realizarán a través de husillos acompañados de guías. En la siguiente imagen [Ilustración 20] se muestra de color azul el que sería el husillo y los otros dos son barras que funcionarán como guías. Las barras irán encajadas a presión directamente en la placa de aluminio y el husillo necesitará tener un rodamiento en uno de los extremos, teniendo en el otro el motor. Se mostrará más adelante la posición del motor.



*Ilustración 20: Ejes y husillo Y*

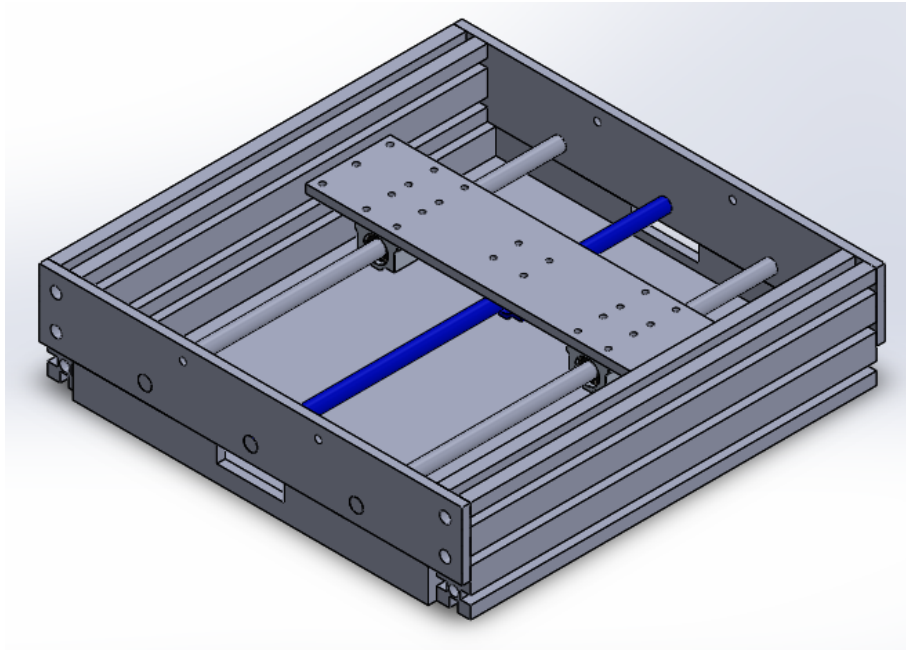
En la siguiente imagen [Ilustración 21] se muestran los patines y de color azul una representación de la tuerca, que posibilita convertir el movimiento de giro del motor en movimiento lineal. Se decide utilizar cuatro patines y una tuerca. Se colocan cuatro patines para poder soportar mejor los momentos resultantes del mecanizado.



*Ilustración 21: Guías lineales y tuerca Y*

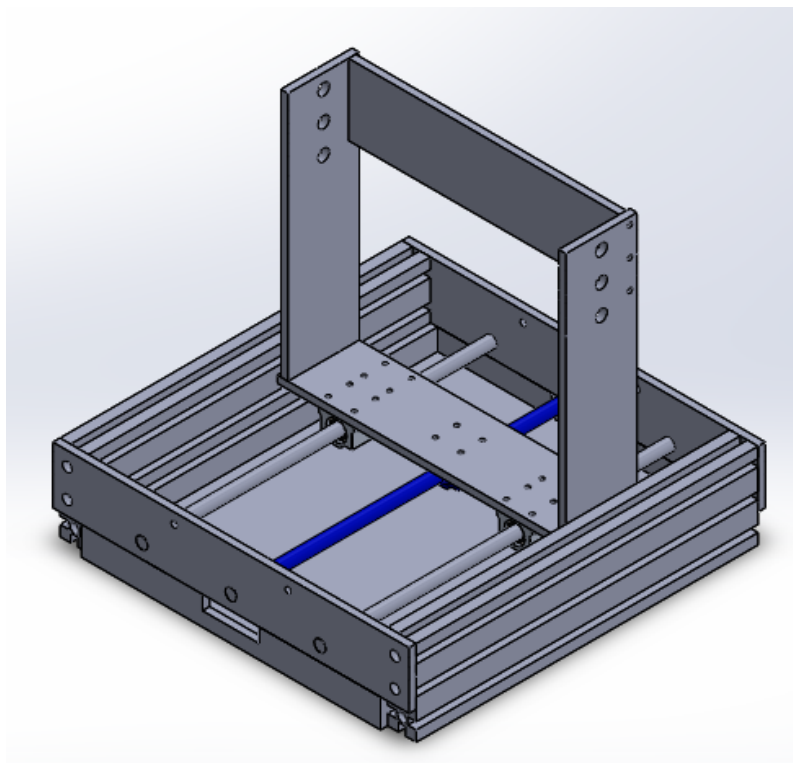


La siguiente imagen [Ilustración 22] muestra la primera pieza que compondría el puente, el cual permitirá el movimiento transversal de la misma, uniendo los patines y la tuerca del husillo.



*Ilustración 22: Placa Y*

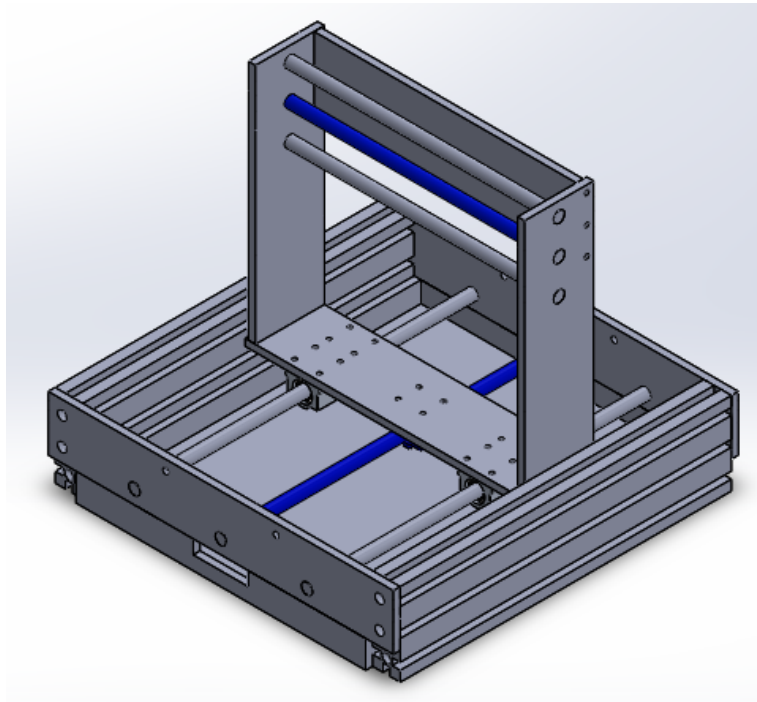
Continuando con el puente móvil se añaden las columnas de los laterales y la pieza de unión de la parte superior de estas [Ilustración 23], para darle más rigidez a la estructura. Esta podría ser un perfil de aluminio, pero por ahora se decide colocar una placa, para hacerlo lo más compacta posible.



*Ilustración 23: Columnas laterales y pieza de unión*

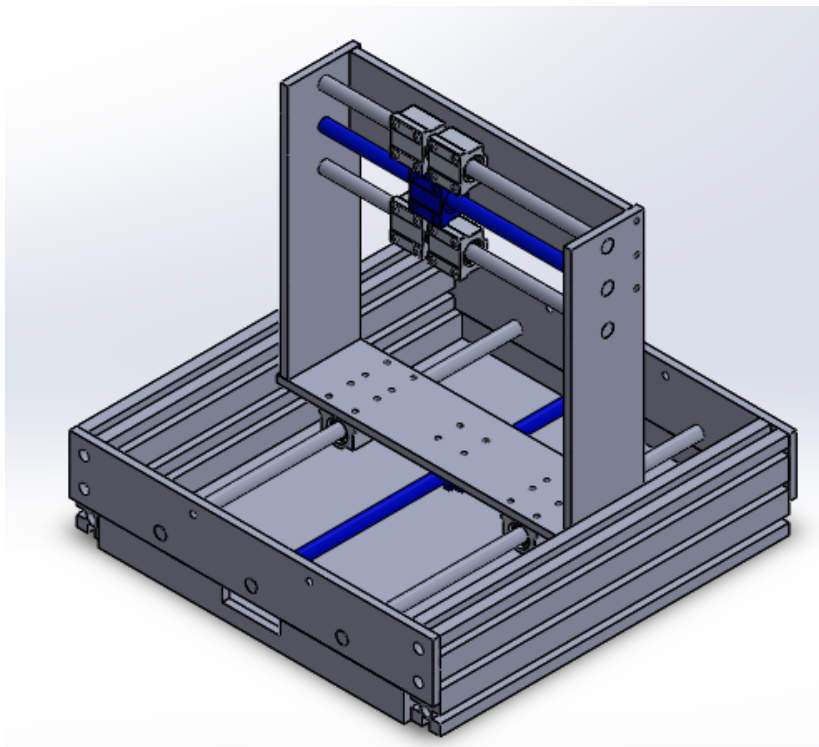


Se colocan de nuevo, como en el caso anterior los ejes y el husillo [Ilustración 24], en este caso para posibilitar el movimiento longitudinal.



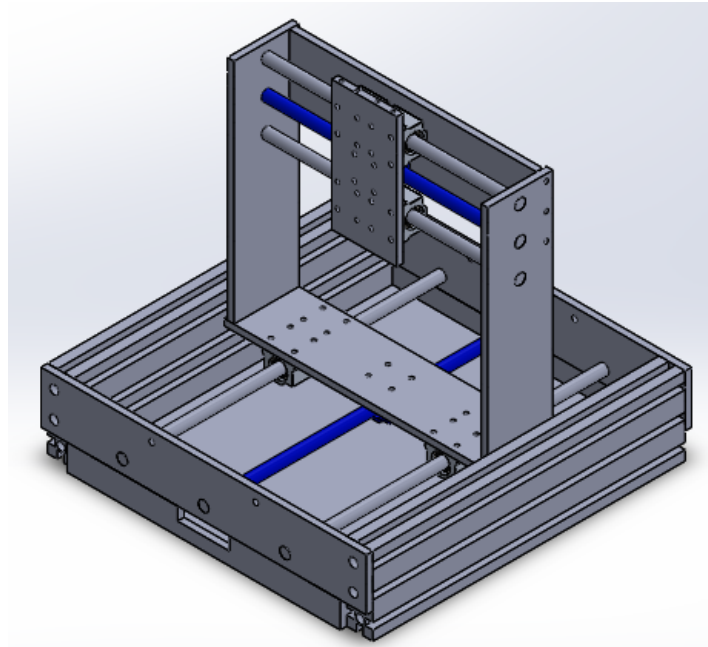
*Ilustración 24: Ejes y husillo X*

En la siguiente imagen [Ilustración 25] se muestran los patines y la tuerca del husillo.



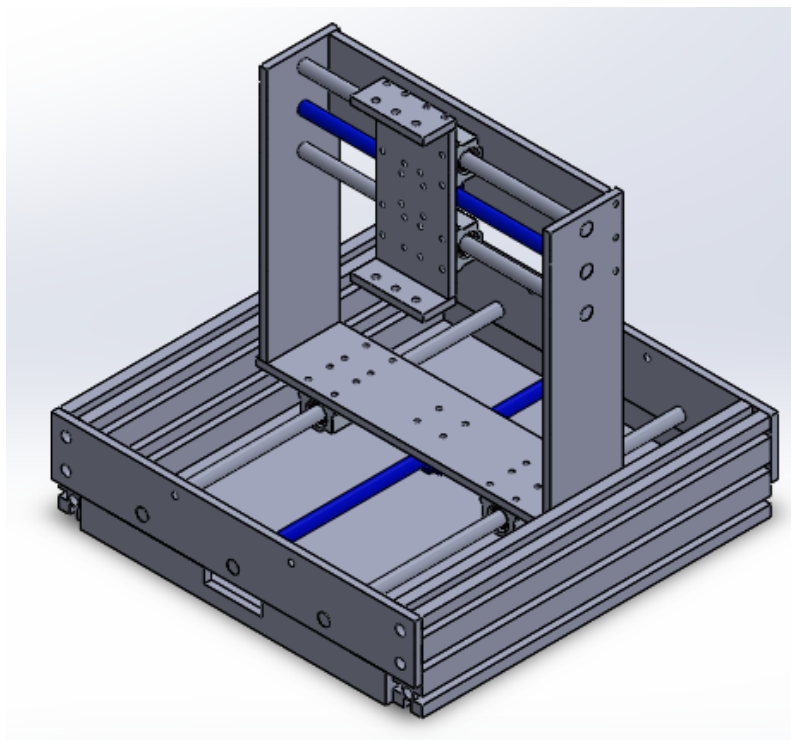
*Ilustración 25: Guías lineales y tuerca X*

Se unirían todos los componentes con una placa central [Ilustración 26].



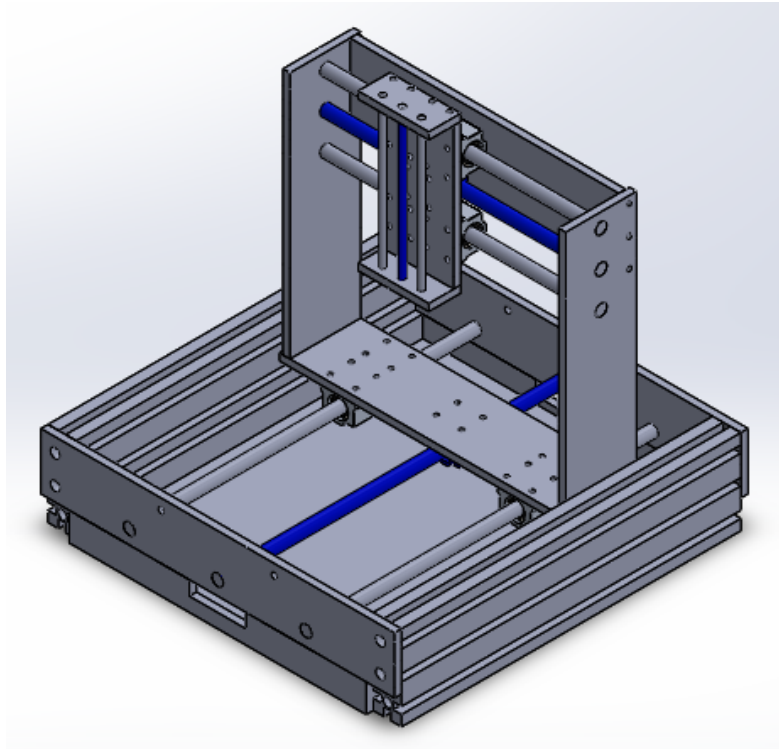
*Ilustración 26: Placa X*

Para poder colocar nuevos ejes y husillo para poder tener un movimiento vertical se le añaden dos plaquitas de soporte a la pieza anterior en la parte superior e inferior [Ilustración 27].



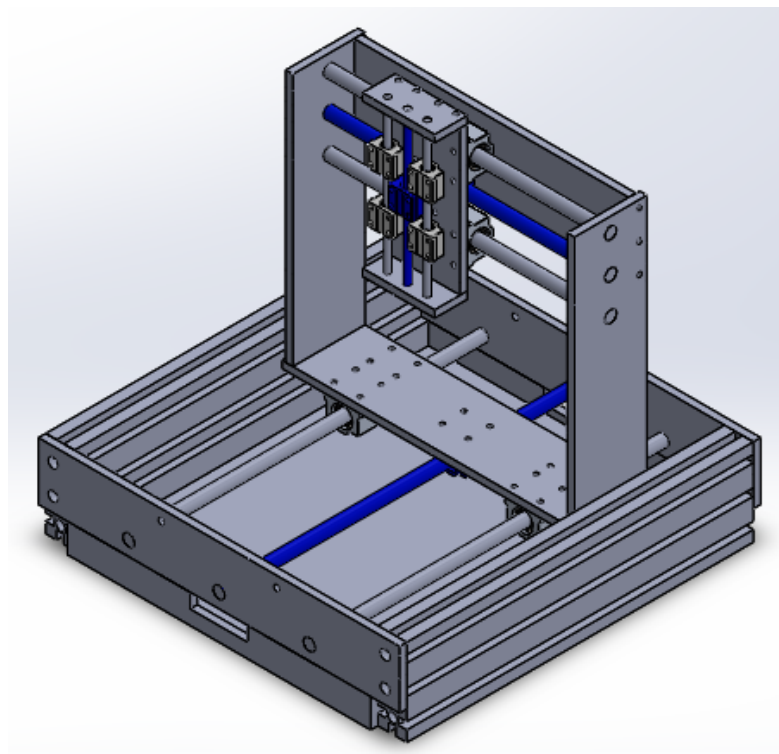
*Ilustración 27: Soporte superior e inferior*

La siguiente imagen [Ilustración 28] muestra cómo quedaría después de añadir los ejes y el husillo, más pequeñas que las anteriores, uniéndolas a la estructura de la misma forma que antes.



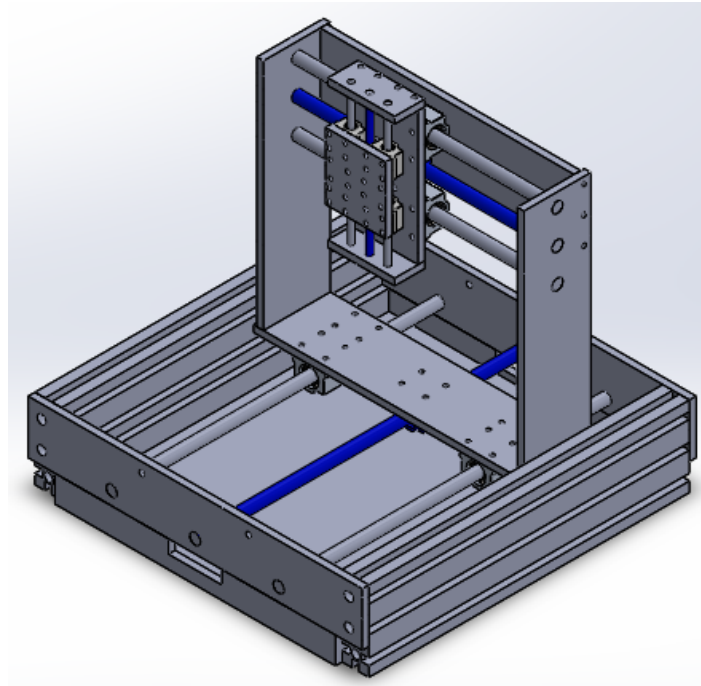
*Ilustración 28: Ejes y husillo Z*

Añadiendo los patines y el husillo se vería de la siguiente manera [Ilustración 29].



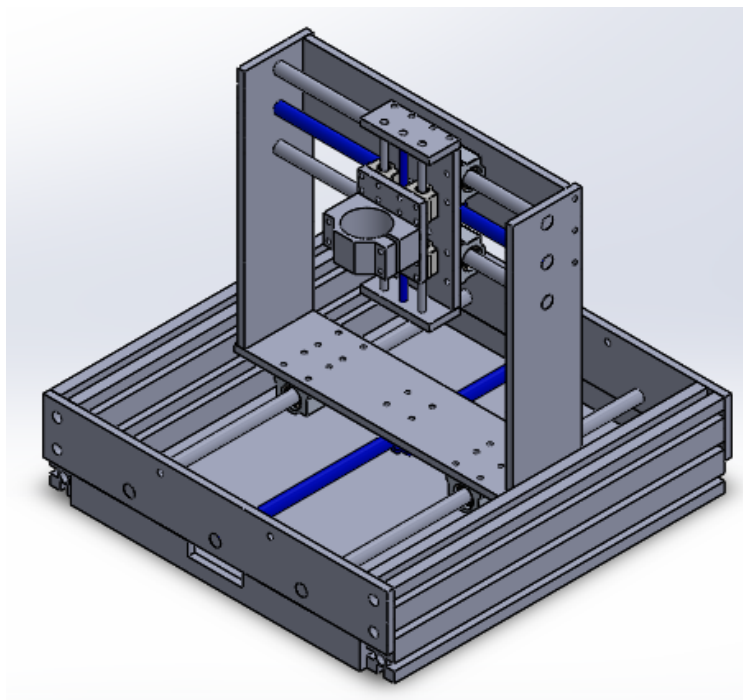
*Ilustración 29: Guías lineales y tuerca Z*

Como en los casos anteriores se utilizará una placa para poder unir los componentes y permitir el movimiento vertical de la herramienta, la cual se mostrará en la siguiente imagen [Ilustración 30].



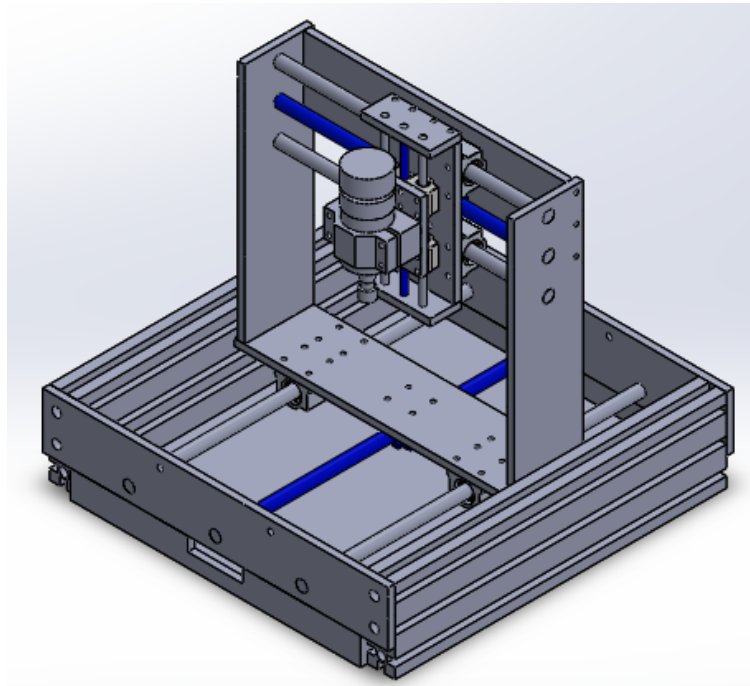
*Ilustración 30: Placa Z*

Para poder colocar el motor de fresado en la estructura es necesario el empleo de una abrazadera [Ilustración 31], la cual va colocada en la pieza que se muestra en la anterior imagen [Ilustración 30].



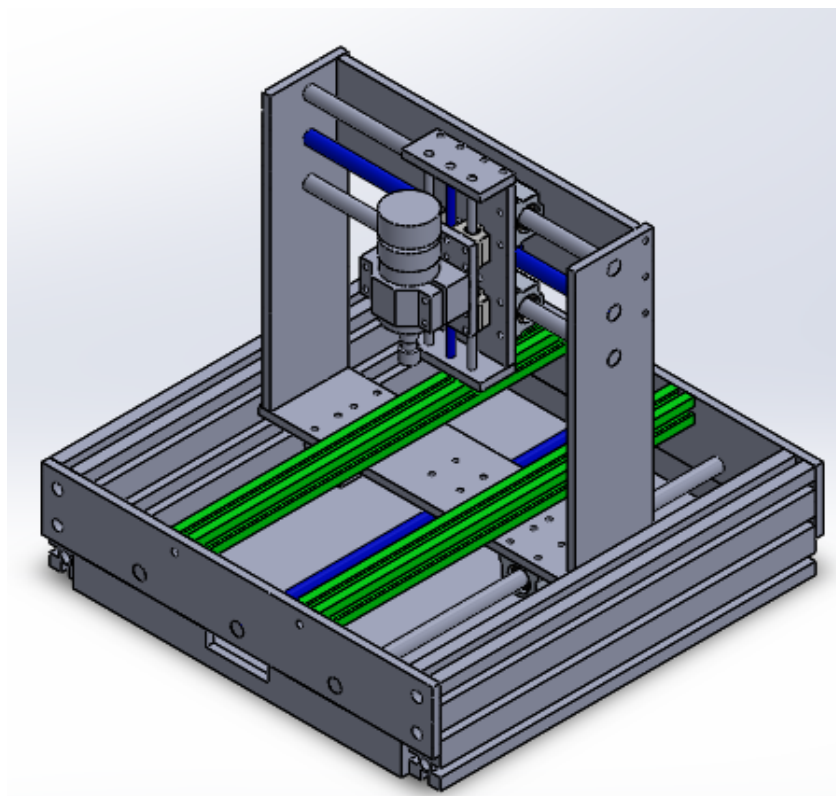
*Ilustración 31: Abrazadera*

El motor de fresado se colocaría en la abrazadera y se vería de la siguiente manera [Ilustración 32].



*Ilustración 32: Motor de fresado*

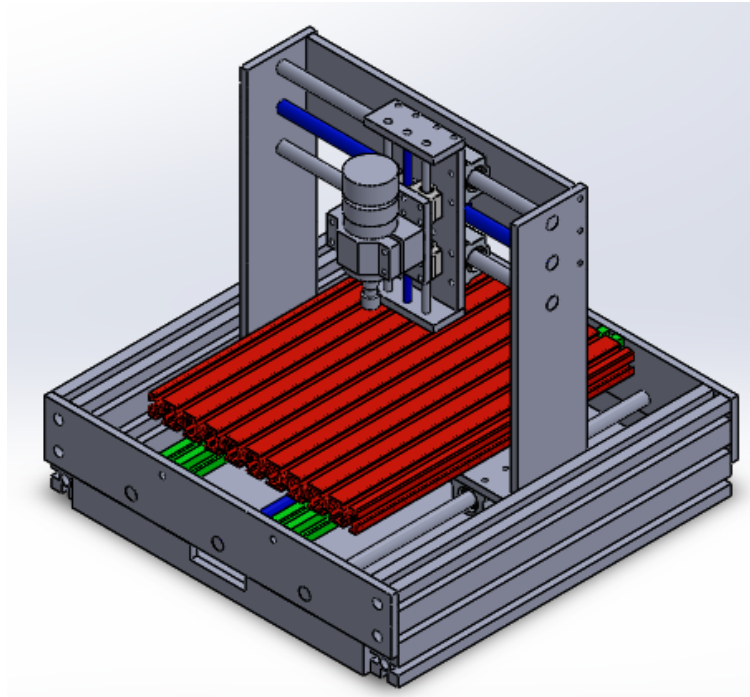
Para colocar la mesa se colocan antes dos perfiles de aluminio, los que se muestran de color verde, unidos a la placa frontal y trasera [Ilustración 33], encima de los cuales ira la mesa.



*Ilustración 33: Apoyos de la mesa*

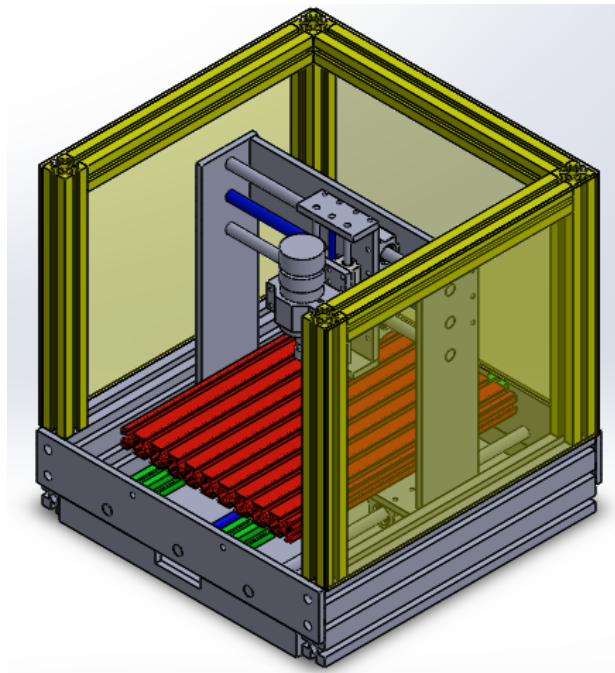


La mesa se muestra de color rojo [Ilustración 34].



*Ilustración 34: Mesa*

Para terminar, se muestra cómo quedaría la fresadora al añadir los perfiles de aluminio y los paneles de protección [Ilustración 35], faltando por colocar la puerta que se diseñara en la fase de detalle.



*Ilustración 35: Protecciones*

La máquina tiene un peso aproximado de 45 Kg, teniendo en cuenta el volumen y el material.

## 5.4. COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Una vez seleccionados los componentes mecánicos y haber realizado el diseño CAD, el siguiente paso es la selección de los componentes electrónicos.

### 5.4.1. Driver y Arduino

Como ya se ha dicho anteriormente se emplearán motores paso a paso. Para controlar estos es necesario el uso de drivers electrónicos y un Arduino. Cada motor necesita un driver, pero solo hace falta un Arduino para todos. Del ordenador se pasaría el código G de la pieza que se quiere mecanizar al Arduino, este lo interpretaría y después controlaría los motores paso a paso a través de los drivers, según las instrucciones, para mecanizar la pieza deseada.

Las conexiones que se deben realizar se muestran en las siguientes imágenes [Ilustración 36] [Ilustración 37].

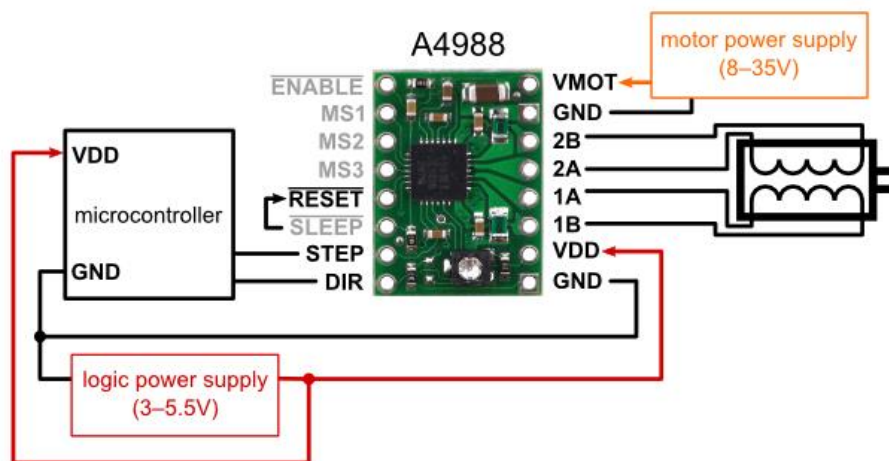


Ilustración 36: Driver

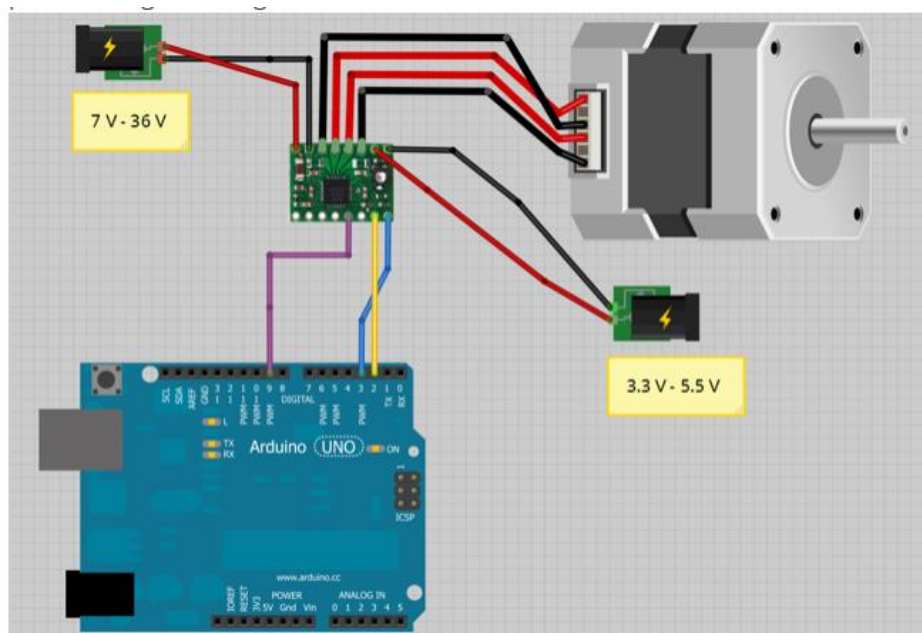


Ilustración 37: Arduino

### 5.4.2. Final de carrera

Se pretende colocar también sensores para poder tener más controlado la fresadora. Sensores de contacto o más concretamente finales de carrera [Ilustración 38]. De este modo se evitarán colisiones y ayudara a mejorar la precisión.



Ilustración 38: Final de carrera

### 5.4.3. Motor de fresado

En el mercado hay motores de fresado que vienen ya con el kit completo para las CNC, acompañando estas con abrazaderas y controlador de velocidad.

#### **Brushless Spindle Motor + Driver + Clamp**

48V DC / 500w / 12000r/min



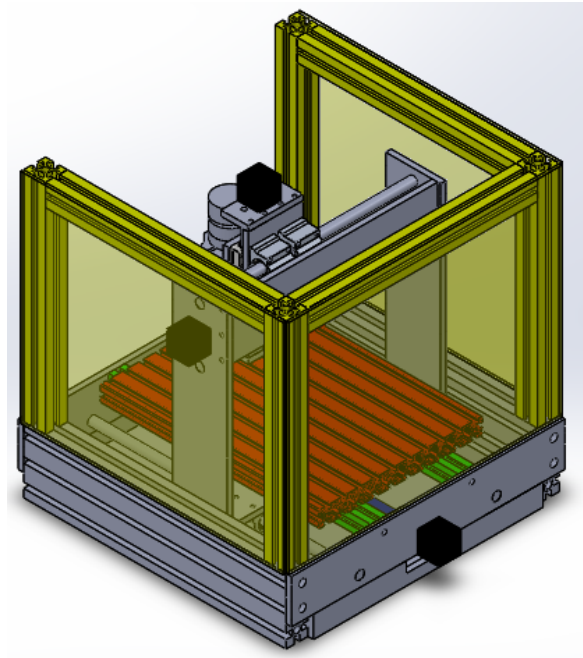
Ilustración 39: Kit de motor de fresado

El que se muestra en las imágenes [Ilustración 39] es uno provisional, pero que se piensa que será suficiente, la potencia llega a lo calculado anteriormente y con 12000 rpm de velocidad máxima se estima que será suficiente.

### 5.4.4. Colocación motores

Los motores paso a paso estarían colocados en los siguientes sitios, representados de color negro [Ilustración 40]:

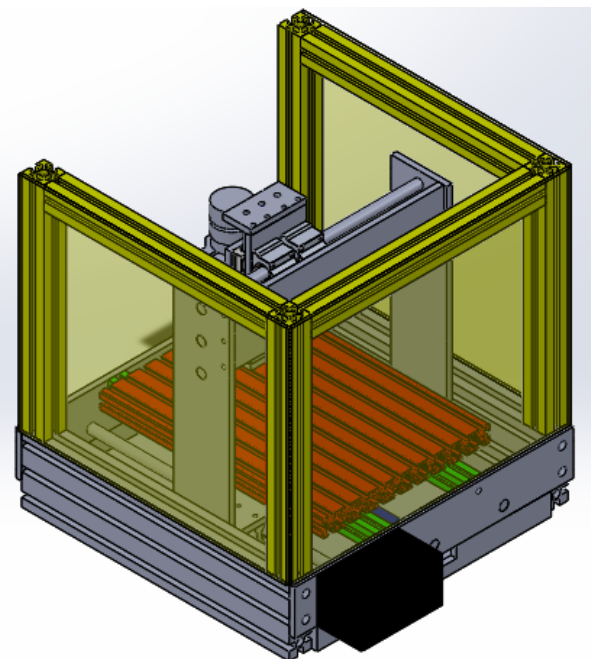




*Ilustración 40: Posicionamiento de los motores*

#### **5.4.5. Colocación componentes electrónicos**

Todo lo que sean componentes electrónicos se colocaran en una caja negra que se muestra a continuación [Ilustración 41]:



*Ilustración 41: Posicionamiento de la caja con elementos electrónicos*

Para poder pasar los cables se tendrá que hacer un agujero en la placa de aluminio donde ira colocado.

## 6. DISEÑO DE DETALLE

Toda la información sobre los componentes comerciales seleccionados está en los enlaces de la BIBLIOGRAFIA. Las piezas mecanizadas y los conjuntos en los PLANOS.

### 6.1. ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE PRECISIÓN

En el diseño preliminar se hizo el diseño de la estructura y la selección de componentes, las cuales ahora se comprueban, en los siguientes apartados, si son adecuadas teniendo en cuenta la precisión que se quiere obtener.

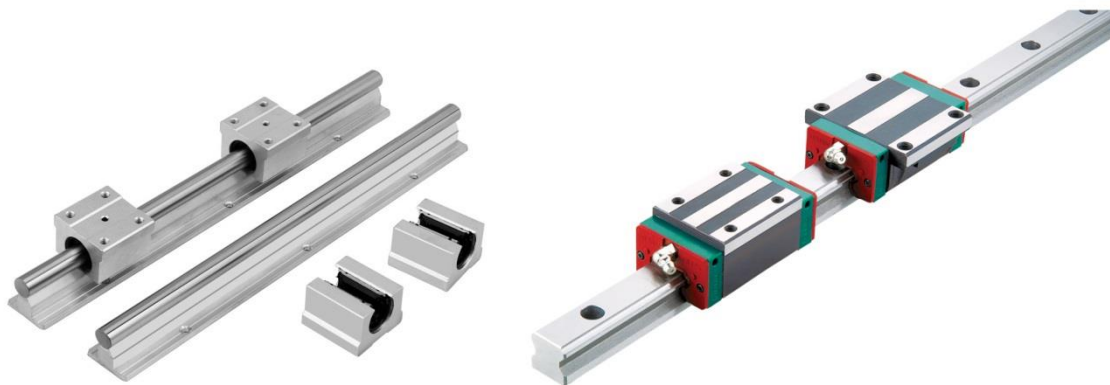
La precisión depende de varias variables: precisión mecánica, precisión electrónica, rigidez de la estructura y precisión del montaje. La precisión mecánica vendrá condicionada por los husillos y tuercas, la precisión electrónica por los motores paso a paso, la rigidez de la estructura por el diseño de las piezas y el material escogido y, por último, la precisión de montaje por las tolerancias de las piezas.

Para determinar la precisión de las dos últimas variables se utilizará el programa SolidWorks donde se realizarán análisis estáticos para saber las deformaciones en la estructura frente a las fuerzas de corte y después las desviaciones máximas según las tolerancias puestas.

Antes de continuar destacar que al realizar los primeros análisis estáticos se decide aumentar el valor de la precisión que se quiere obtener a 0,2 mm. En los análisis estáticos la mayor deformación admisible será de 0,05 mm. Los análisis estáticos están en el anexo de CÁLCULOS.

#### 6.1.1. Las guías y patines:

Antes de empezar a hacer los cálculos más importantes, se realiza el cálculo del que se cree que es el punto más crítico por el diseño que se tiene por ahora, las barras que sirven como guías, ya que entre los apoyos hay mucha distancia. Tal como se indicó en la fase preliminar se decidió colocar barras de aluminio de 16 mm de diámetro. Ahora se comprueba la deformación debido a las fuerzas y se ve que las deformaciones son bastante mayores de lo que se quiere lograr en las barras longitudinales y transversales. Se prueba a aumentar el diámetro y cambiar el material a acero, pero aun así la deformación es considerable [9.3.1], así que se analizan otras posibles soluciones. El problema viene, como ya se ha dicho, de que los puntos de apoyo están muy lejos uno del otro, por lo tanto, se opta por una solución donde la guía este unida a una placa o perfil, reduciendo la distancia entre los apoyos, las dos posibles soluciones serían las siguientes [Ilustración 42]:



*Ilustración 42: Guías lineales y patines*

La opción de la izquierda es de menos calidad y menos compacta, pero más barata que el de la derecha. Se decide que todas las barras que se pretendían utilizar para el guiado se tienen que sustituir por una de estas dos alternativas, para conseguir una estructura más rígida. Para los movimientos longitudinal y vertical se decide colocar el sistema de la primera alternativa, con barra de 16 mm y 10 mm de diámetro respectivamente. En el de movimiento transversal en cambio se opta por el sistema de la segunda alternativa, siendo la guía de 15 mm de ancho. Si fuese sencillo de hacer, en el de movimiento transversal también se colocaría el sistema de la primera alternativa, pero teniendo que unir esto al perfil de aluminio es más sencillo escoger la segunda alternativa, ya que la guía se puede colocar y atornillar en una de las ranuras laterales del perfil, con la ayuda de piezas comerciales [Ilustración 43].

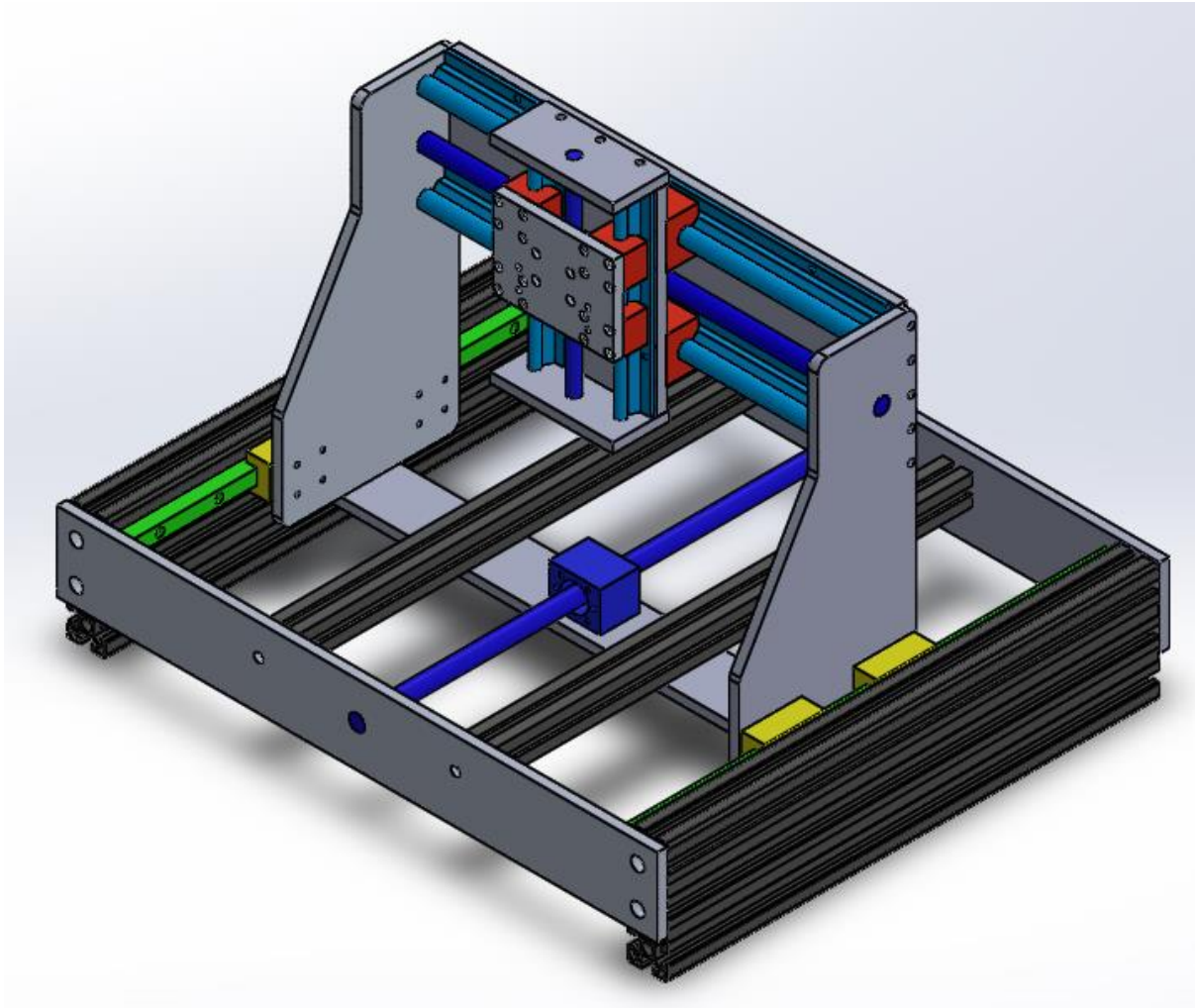


*Ilustración 43: Pieza de sujeción*

Para colocar el sistema de la primera alternativa se tendría que mecanizar el perfil o colocar una placa suplementaria y se prefiere no hacer esto. Hay que recalcar que los patines para el movimiento transversal irán unidos ahora a las placas laterales, en vez de a la placa inferior.

Se realiza un cálculo rápido para saber si estas guías son adecuadas y se comprueba que sí, que las deformaciones son aceptables [9.3.2][9.3.3][9.3.4].

Se muestra en la siguiente imagen [Ilustración 44] como sería el nuevo diseño con las nuevas guías. Se puede ver que se ha puesto el portatuercas del movimiento transversal en la parte superior de la pieza, de este modo se optimiza el espacio disponible. En la imagen también se observan algunos cambios en ciertas piezas, esto es debido a lo que se explica en el punto siguiente [6.1.2].



*Ilustración 44: Conjunto de guías y patines*

### **6.1.2. Separación de los patines:**

Teniendo en cuenta que debido a las fuerzas resultantes del mecanizado y el diseño de la estructura se van a crear momentos, para poder soportar mejor esto se decide separar en la medida de lo posible los patines entre sí. Para ello se aumentan las dimensiones de las placas de aluminio que se utilizan como sujeción de los patines. Sobre todo, se aumenta la distancia entre los patines que ayudan el movimiento transversal.

### **6.1.3. Husillos, tuercas y soportes:**

Para la selección de los husillos hay que tener varias variables en cuenta, como serían la precisión, carga admisible y velocidad de giro admisible.

Dado que la precisión que se desea en un principio es de 0,2 mm, se hace la selección en función a esto. Según la tabla [Tabla 10] un husillo de bolas laminado de precisión C7 sería suficiente.

Tabla1 Precisión del ángulo de paso (Valor admisible)

Unidad:  $\mu\text{m}$

		Husillo de bolas de precisión										Husillo de bolas laminado		
		C0		C1		C2		C3		C5		C7	C8	C10
Niveles de precisión		Error de distancia de recorrido representativa		Error de distancia de recorrido representativa		Error de distancia de recorrido representativa		Error de distancia de recorrido representativa		Error de distancia de recorrido representativa		Error de distancia de recorrido	Error de distancia de recorrido	Error de distancia de recorrido
Por encima	O menos	Fluctuación	Fluctuación	Fluctuación	Fluctuación	Fluctuación	Fluctuación	Fluctuación	Fluctuación	Fluctuación	Fluctuación			
—	100	3	3	3,5	5	5	7	8	8	18	18	±50/ 300 mm	±100/ 300 mm	±210/ 300 mm
100	200	3,5	3	4,5	5	7	7	10	8	20	18			
200	315	4	3,5	6	5	8	7	12	8	23	18			
315	400	5	3,5	7	5	9	7	13	10	25	20			
400	500	6	4	8	5	10	7	15	10	27	20			
500	630	6	4	9	6	11	8	16	12	30	23			
630	800	7	5	10	7	13	9	18	13	35	25			
800	1000	8	6	11	8	15	10	21	15	40	27			
1000	1250	9	6	13	9	18	11	24	16	46	30			
1250	1600	11	7	15	10	21	13	29	18	54	35			
1600	2000	—	—	18	11	25	15	35	21	65	40			
2000	2500	—	—	22	13	30	18	41	24	77	46			
2500	3150	—	—	26	15	36	21	50	29	93	54			
3150	4000	—	—	30	18	44	25	60	35	115	65			
4000	5000	—	—	—	—	52	30	72	41	140	77			
5000	6300	—	—	—	—	65	36	90	50	170	93			
6300	8000	—	—	—	—	—	—	110	60	210	115			
8000	10000	—	—	—	—	—	—	—	—	260	140			

Nota) Unidad de longitud de rosca efectiva: mm

Tabla 10: Nivel de precisión de husillo

Una vez se sabe la precisión necesaria de los husillos se procede a seleccionar el diámetro adecuado según la longitud de cada uno en la tabla de juego axial [Tabla 11]. El husillo que realiza el movimiento transversal (500mm) será de 20 mm de diámetro, al considerar que está muy justo para coger el de 16 mm y al ser las de 20 mm de diámetro más habituales y fáciles de conseguir. El husillo longitudinal (450mm) será de 16mm de diámetro, podría ser más pequeño, pero se elige esta por considerar que tendrá más rigidez y por ser más habitual que las demás. El husillo que permite el movimiento vertical (200mm) será de 12mm, por considerar que la de este diámetro ofrecerá bastante más rigidez y tampoco hace falta que sea más pequeña.



## Juego axial

### [Juego axial del husillo de bolas de precisión]

Tabla10 muestra el juego axial del husillo de bolas de precisión. Si la longitud de fabricación excede el valor en Tabla11, el juego resultante puede ser parcialmente negativo (carga previa aplicada).

Las longitudes límite de fabricación de los husillos de bolas, que cumplen con los estándares DIN, se proporcionan en Tabla12.

Para obtener el juego axial del husillo de bolas enjaulado de precisión, consulte **A15-70 a A15-83**.

Tabla10 Juego axial del husillo de bolas de precisión

Unidad: mm

Símbolo del juego	G0	GT	G1	G2	G3
Juego axial	0 o menos	0 a 0,005	0 a 0,01	0 a 0,02	0 a 0,05

Tabla11 Longitud máxima del husillo de bolas de precisión en el juego axial

Unidad: mm

Diámetro exterior del eje del husillo	Juego GT				Juego G1				Juego G2						
	C0	C1	C2-C3	C5	C0	C1	C2-C3	C5	C0	C1	C2	C3	C5	C7	
4+6	80	80	80	100	80	80	80	100	80	80	80	80	100	120	
8	230	250	250	200	230	250	250	250	230	250	250	250	300	300	
10	250	250	250	200	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	
12+13	440	500	500	400	440	500	500	500	440	500	630	680	600	500	
14	500	500	500	400	500	500	500	500	530	620	700	700	600	500	
15	500	500	500	400	500	500	500	500	570	670	700	700	600	500	
16	500	500	500	400	500	500	500	500	620	700	700	700	600	500	
18	720	800	800	700	720	800	800	700	720	840	1000	1000	1000	1000	
20	800	800	800	700	800	800	800	700	820	950	1000	1000	1000	1000	
25	800	800	800	700	800	800	800	700	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
28	900	900	900	800	1100	1100	1100	900	1300	1400	1400	1400	1200	1200	
30+32	900	900	900	800	1100	1100	1100	900	1400	1400	1400	1400	1200	1200	
36+40+45	1000	1000	1000	800	1300	1300	1300	1000	2000	2000	2000	2000	1500	1500	
50+55+63+70	1200	1200	1200	1000	1600	1600	1600	1300	2000	2500	2500	2500	2000	2000	
80+100	—	—	—	—	1800	1800	1800	1500	2000	4000	4000	4000	3000	3000	

\* Al fabricar el husillo de bolas de nivel de precisión C7 con juego GT o G1, el juego resultante es parcialmente negativa.

Tabla 11: Juego del husillo

Ahora que se saben los diámetros de los husillos se calcula cual será la carga axial admisible de estas en el gráfico [Gráfico 1]. Hay que destacar antes de nada que el montaje será fijo-con soporte. En el husillo transversal la carga admisible es de 13 KN, en el longitudinal de 16 KN y en el vertical 22 KN. Las cargas admisibles de los husillos sobrepasan ampliamente las cargas que se van a crear en el mecanizado [Tabla 19] [Tabla 20], por lo que se consideran adecuadas.

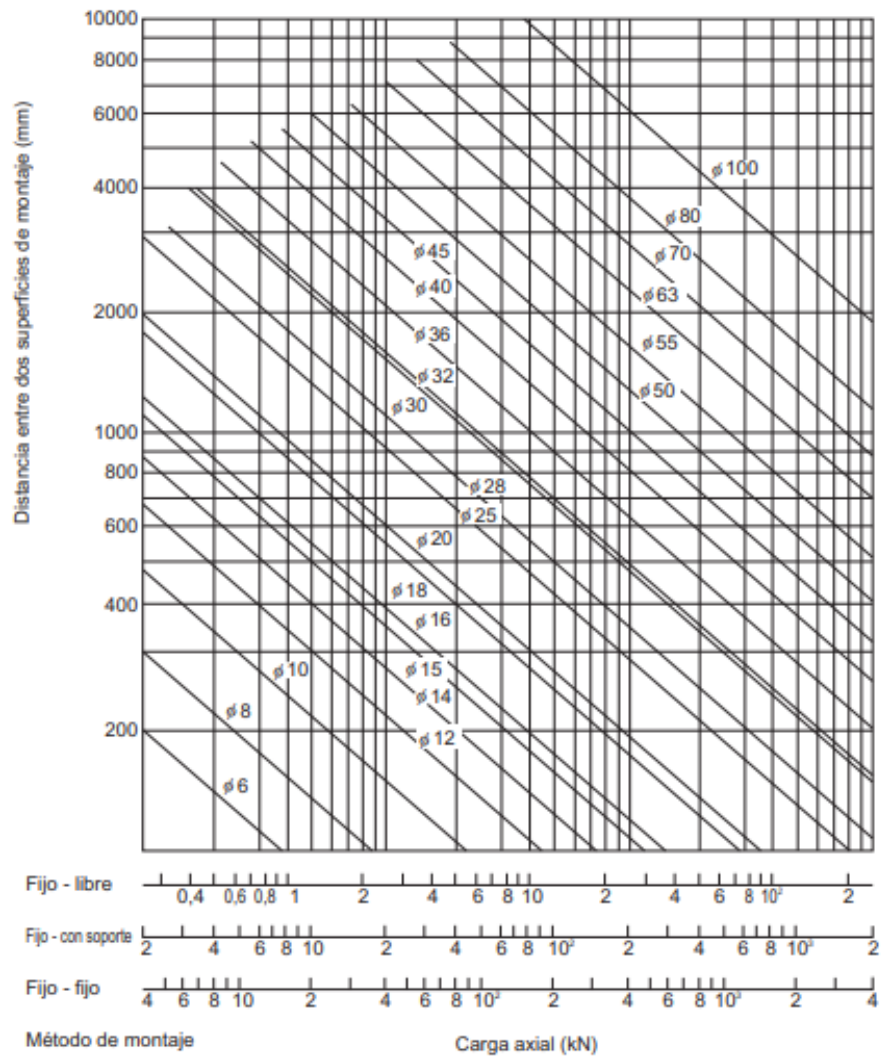


Gráfico 1: Carga axial admisible

Para terminar, se observa la velocidad de giro admisible que van a tener en el gráfico [Gráfico 2]. Como ya se han realizado algunos cálculos [9.1] para determinar la velocidad de avance de la fresadora al mecanizar se puede calcular el par y hacer una estimación de la velocidad de giro mínima que deberán proporcionar. Antes de nada, hay que determinar el paso de los husillos. Se seleccionan pasos pequeños para los husillos, porque las velocidades no son muy grandes y de esta manera se tendrá una mejor precisión de posicionado.

Considerando que en el husillo de 12 mm de diámetro el paso es de 4 mm, que en los de 16 y 20 mm de diámetro el paso es de 5 mm, los cuales son pasos estandarizados para dichos husillos, las velocidades de giro rondarán los 150 rpm [Tabla 21] [Tabla 22], aunque cabe remarcar que este sería la velocidad de giro mínima para el mecanizado, queriendo tener velocidades mayores para desplazamientos libres, pero esta vendrá determinada por los motores seleccionados. La velocidad de giro admisible en el husillo transversal y longitudinal es de 10000 rpm y en el vertical de más de 10000 rpm. Por lo que admiten muy sobradamente las velocidades de giro y no habrá ningún problema.

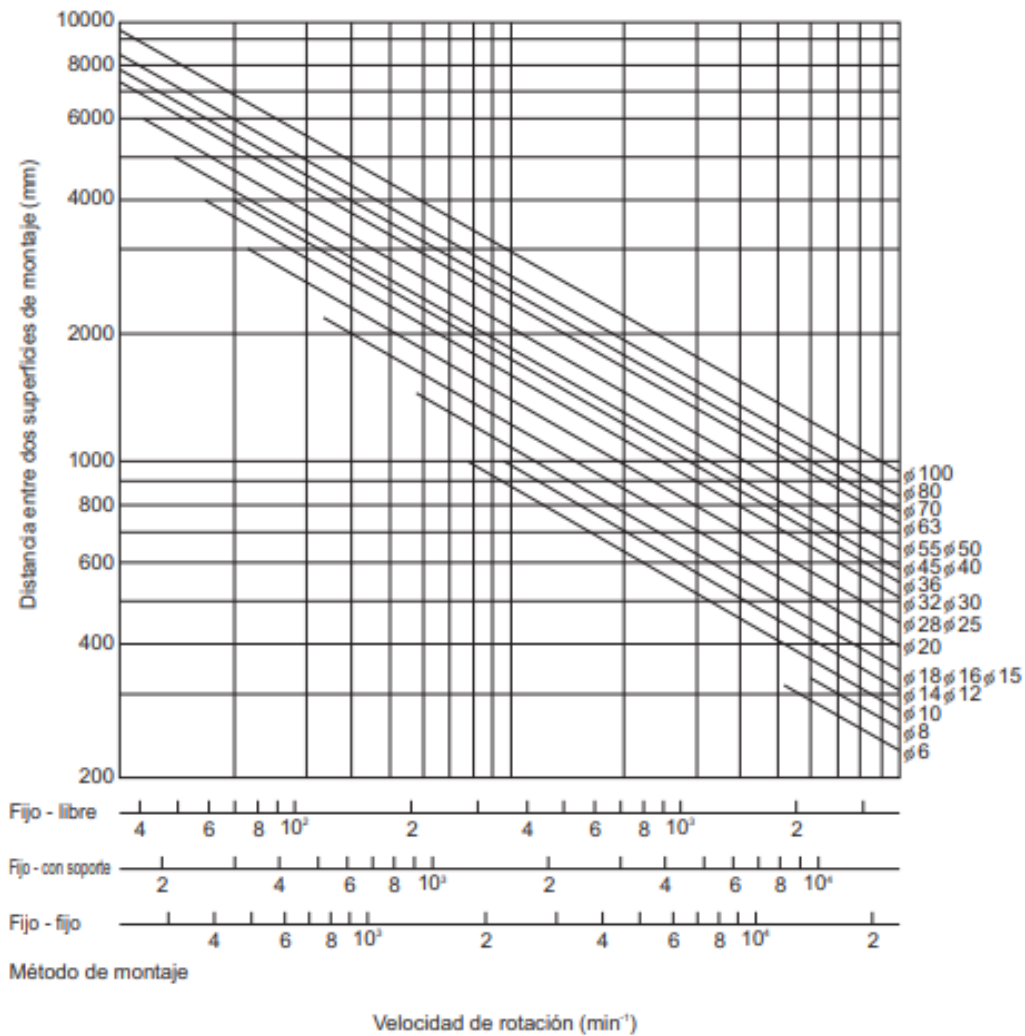


Gráfico 2: Velocidad de rotación admisible

Una vez comprobado que los husillos seleccionados cumplen con los requisitos se eligen las tuercas correspondientes a cada una de ellas. Una tuerca para husillo de 20 mm de diámetro y 5 mm de paso, otra para husillo de 16 mm de diámetro y 5 mm de paso y para terminar una tuerca para husillo de 12 mm de diámetro y 4 mm de paso [Ilustración 45].



Ilustración 45: Ejemplo de husillo y tuerca

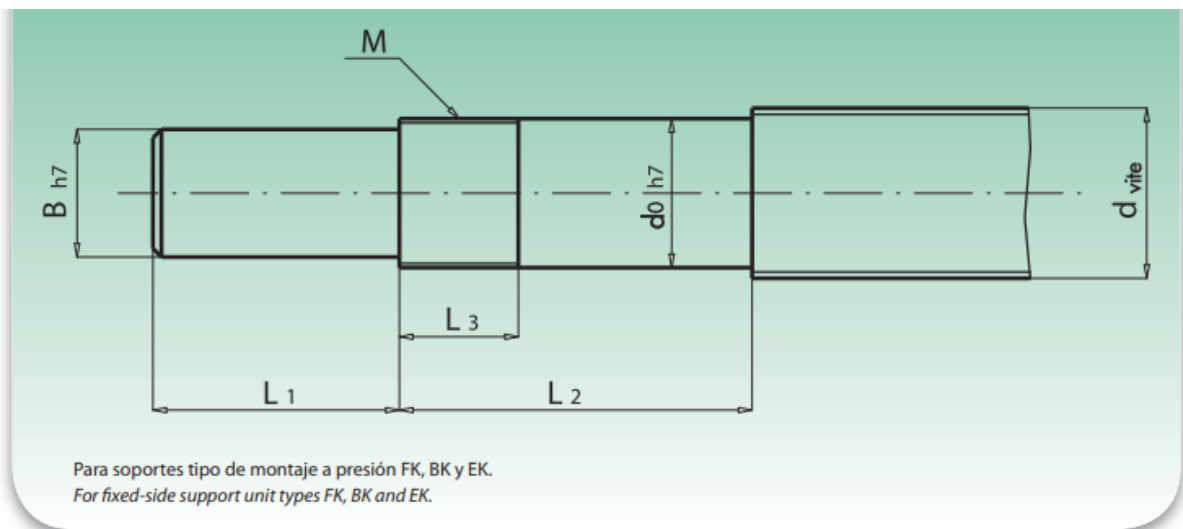


Como ya se ha mencionado antes el método de montaje que se pretende utilizar es el de fijo-con soporte. En este caso interesa colocar componentes que se puedan atornillar en una pieza que este perpendicular al eje del husillo, por hacer la maquina más compacta y tener que utilizar menos piezas. Estas serían los soportes para husillos FK y FF. Los FK son los fijos y los FF los de soporte [Ilustración 46].



Ilustración 46: Soportes para husillos FK y FF

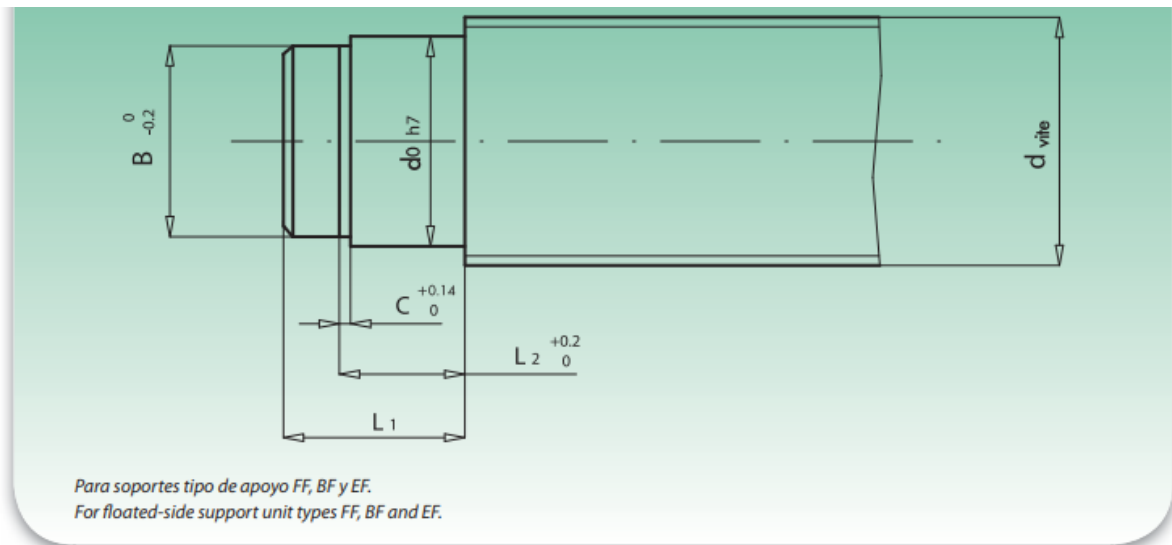
Están diseñados para sostener los husillos que tengan en los extremos mecanizados estandarizados [Tabla 12] [Tabla 13]. En este caso se utilizará para el husillo de 20 mm de diámetro los soportes FK15 y FF15. En el husillo de 16 mm de diámetro los soportes FK12 y FF 12, y para el husillo de 12 mm de diámetro el FK10 y FF10.



### Ejes recomendados - Recommended shaft and shape

Tipo Type	Dimensiones - Dimensions						
	$d_0$	$d_{\text{husillo}}$	B	$L_1$	$L_2$	M	$L_3$
	mm						
FK 5	5	6	4	6	20	M 5x0.75	7
FK 6	6	8	4	8	24	M 6x0.75	8
FK 8	8	10	6	10	32	M 8x1	10
FK 10	10	12/14	8	15	39	M 10x1	12
FK 12	12	14/16	10	15	39	M 12x1	12
FK 15	15	20	12	20	41	M 15x1	12
FK 20	20	25/32	17	27	59	M 20x1	14
FK 25	25	32	20	36	68	M 25x1.5	18
FK 30	30	40	25	42	72	M 30x1.5	24

Tabla 12: Mecanizado extremo fijo de husillo



### Ejes recomendados - Recommended shaft and shape

Tipo Type	Dimensiones - Dimensions					
	$d_0$	$d_{\text{módulo}}$	B	C	$L_1$	$L_2$
	mm					
FF 10	8	10/12	7,6	0,9	11	7,9
FF 12	10	16	9,6	1,15	12	9,15
FF 15	15	20	14,3	1,15	12	10,15
FF 20	20	25/32	19	1,35	18	15,35
FF 25	25	32	23,9	1,35	20	16,35
FF 30	30	40	28,6	1,75	20	17,75

Tabla 13: Mecanizado extremo de soporte de husillo

Antes de nada hay que comprobar que los soportes seleccionados aguantarán bien las cargas a las que estarán expuestos, para ello se utiliza la siguiente tabla [Tabla 14] y se observa de que si, soportan fácilmente las cargas [9.1].

## SOPORTE DE HUSILLOS **FK / FF**

Tabla 8.33 **DATOS TÉCNICOS DEL RODAMIENTO**

Artículo nº	Tipo de rodamiento	$C_0$ axial (N)	$C_{\text{dyn}}$ axial (N)	Carga axial máx. admisible (N)	Velocidad máx. (n/min)
FK08	708	4.800	2.800	1.000	40.000
FK10	7000A P0	8.800	5.200	1.900	24.000
FK12	7001A P0	9.400	6.000	2.000	22.000
FK15	7002A P0	10.000	6.900	2.400	19.000
FK20	7204B P0	21.600	15.300	6.800	9.500
FK25	7205B P0	24.000	19.000	8.100	8.500
FK30	7206B P0	33.500	27.000	10.600	7.100

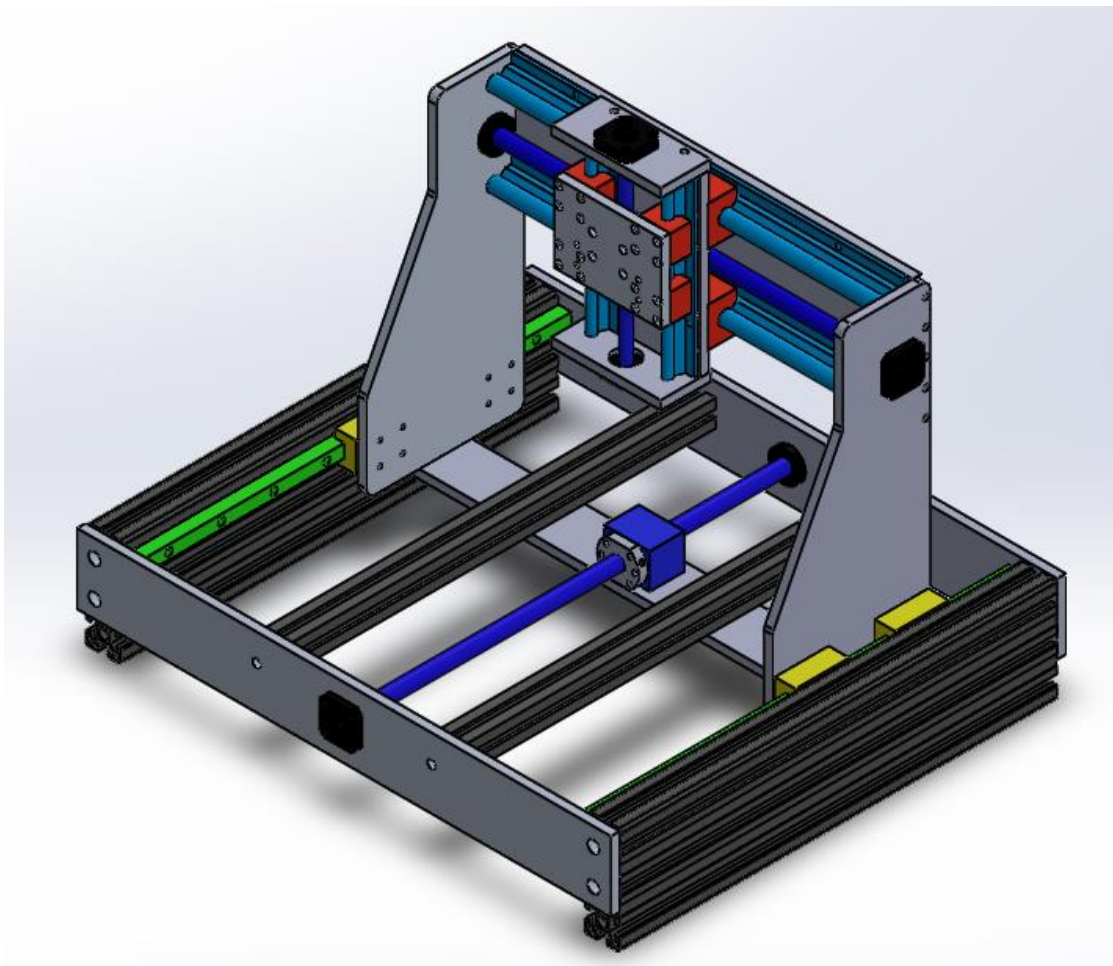
Tabla 14: Carga admisible de los soportes FK

Como para transmitir el desplazamiento habrá que unir las tuercas a la máquina, para ello se utilizan las piezas intermedias que se denominan portatuercas [Ilustración 47]. La tuerca se atornilla al portatuerca, quedando la parte cilíndrica de la tuerca dentro del portatuerca. Estas piezas están estandarizadas y se adquieren según la tuerca que se haya elegido.



*Ilustración 47: Portatuerca*

En la siguiente imagen se muestra cómo quedaría la fresadora al añadir los husillos (azules oscuros, haciendo una simplificación de ellos), soportes (negros), tuercas (gris) y portatuercas (azules oscuros) [Ilustración 48]. Hay que destacar que los soportes fijos son los que quedarían en la parte trasera (transversal), izquierda (longitudinal) y arriba (vertical). Aunque la tuerca y la portatuerca de los movimientos longitudinal y vertical no se ven en la imagen son iguales que el del transversal.



*Ilustración 48: Fresadora con los conjuntos de los husillos*

#### 6.1.4. Fuerzas en los soportes de los husillos:

Las fuerzas que se crean en el mecanizado los tienen que absorber directamente los soportes de los husillos, por lo tanto, es esencial que las placas donde van colocadas estas sean bastante rígidas, por lo que se hacen diversos análisis preliminares para asegurar que estas no se deforman más de lo deseado.

##### Apoyo superior:

Se empieza con las fuerzas creadas en el movimiento vertical, se hace una simulación para saber cuáles son las deformaciones creadas y se observa que estas son aceptables, por lo que se decide que el diseño de esta parte es correcto [9.3.5].

##### Las placas laterales:

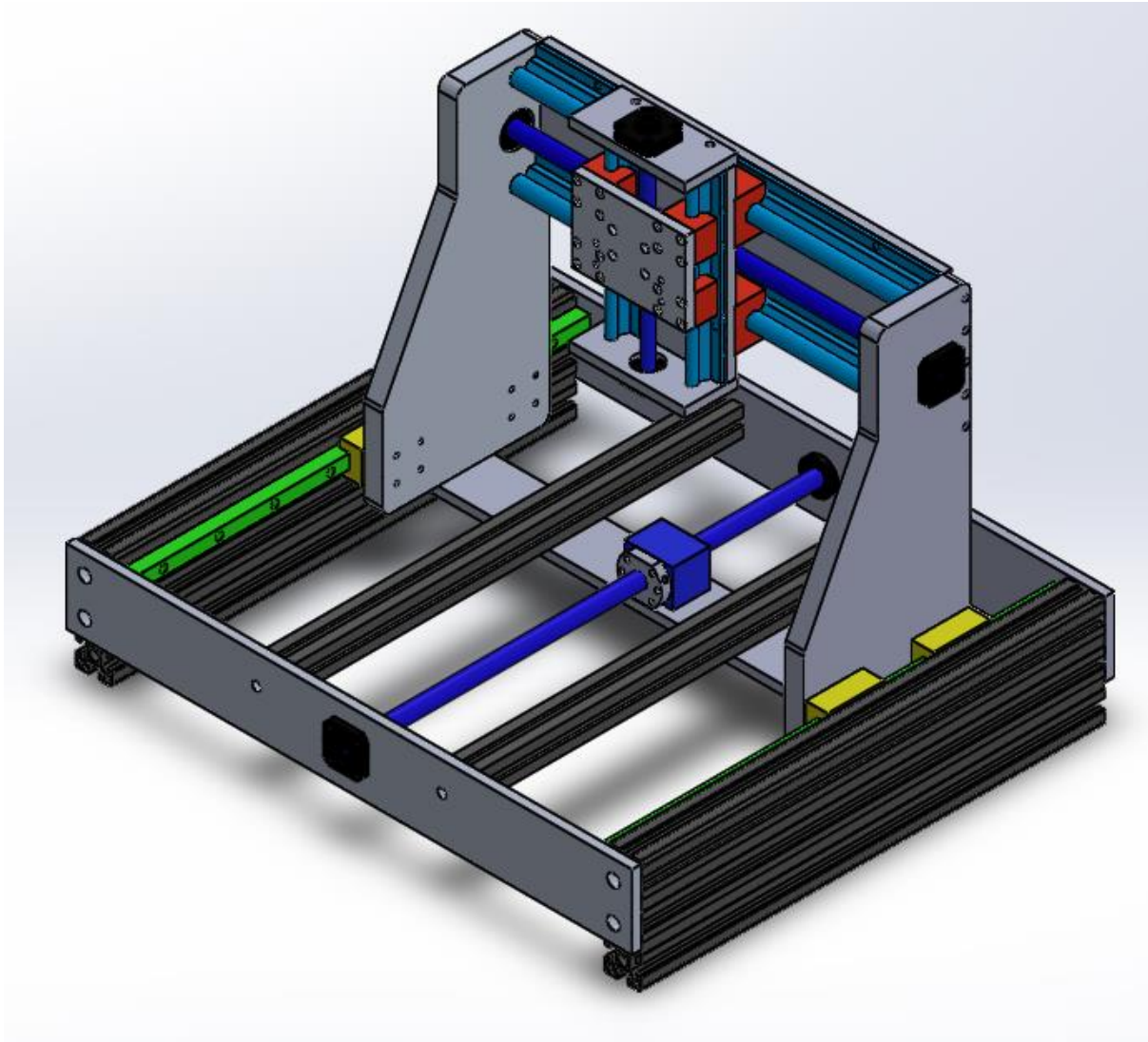
En segundo lugar, se hace el análisis para comprobar la rigidez para las fuerzas creadas en el movimiento longitudinal. Al realizar el análisis estático del conjunto de estas piezas se observa que estas se deforman demasiado por lo tanto se tienen que hacer cambios en el diseño [Análisis estático 12].

El gran problema está en la deformación de las placas laterales, por lo que se plantean distintas soluciones que no son incompatibles entre ellas: aumentar el grosor de las placas, hacerlas de acero, añadir piezas de soporte o hacer que los puntos de sujeción estén más cerca de las fuerzas.

En todos los casos se aumentaría el peso de la máquina, en los tres primeros directamente, y en el cuarto caso por tener que hacer cambios en el diseño de la estructura añadiendo material para que sea posible.

No gusta la idea de tener que modificar el diseño en exceso para que este se deforme menos, por lo que lo último que se querría hacer es el cuarto caso. No convence tampoco la tercera idea, ya que no se quiere añadir más piezas al diseño, ya que esto complicaría, aunque no fuese en exceso, el montaje de la máquina, aun así, se preferiría esta solución frente a la anterior. Entre las dos primeras opciones se elige la primera, la de aumentar el espesor, por lo dicho anteriormente, por intentar hacer la máquina lo más ligera posible. Si se viese que no es suficiente se recurriría primero cambiando el material a acero y si sigue sin ser suficiente se cambiaría el diseño, añadiendo alguna pieza o acercando los puntos de sujeción a las fuerzas.

Se realizan varios análisis comprobando la eficacia de las diferentes ideas propuestas [9.3.6]. En todas ellas se consiguen mejores resultados. Al hacer una reflexión se decide que aumentando ya solo el espesor de la pieza se obtienen buenos resultados [Análisis estático 20], por lo que se decide hacer únicamente este cambio y colocar placas de aluminio de 20 mm de espesor en vez de las de 10mm [Ilustración 49], siendo esto suficiente para conseguir deformaciones aceptables.



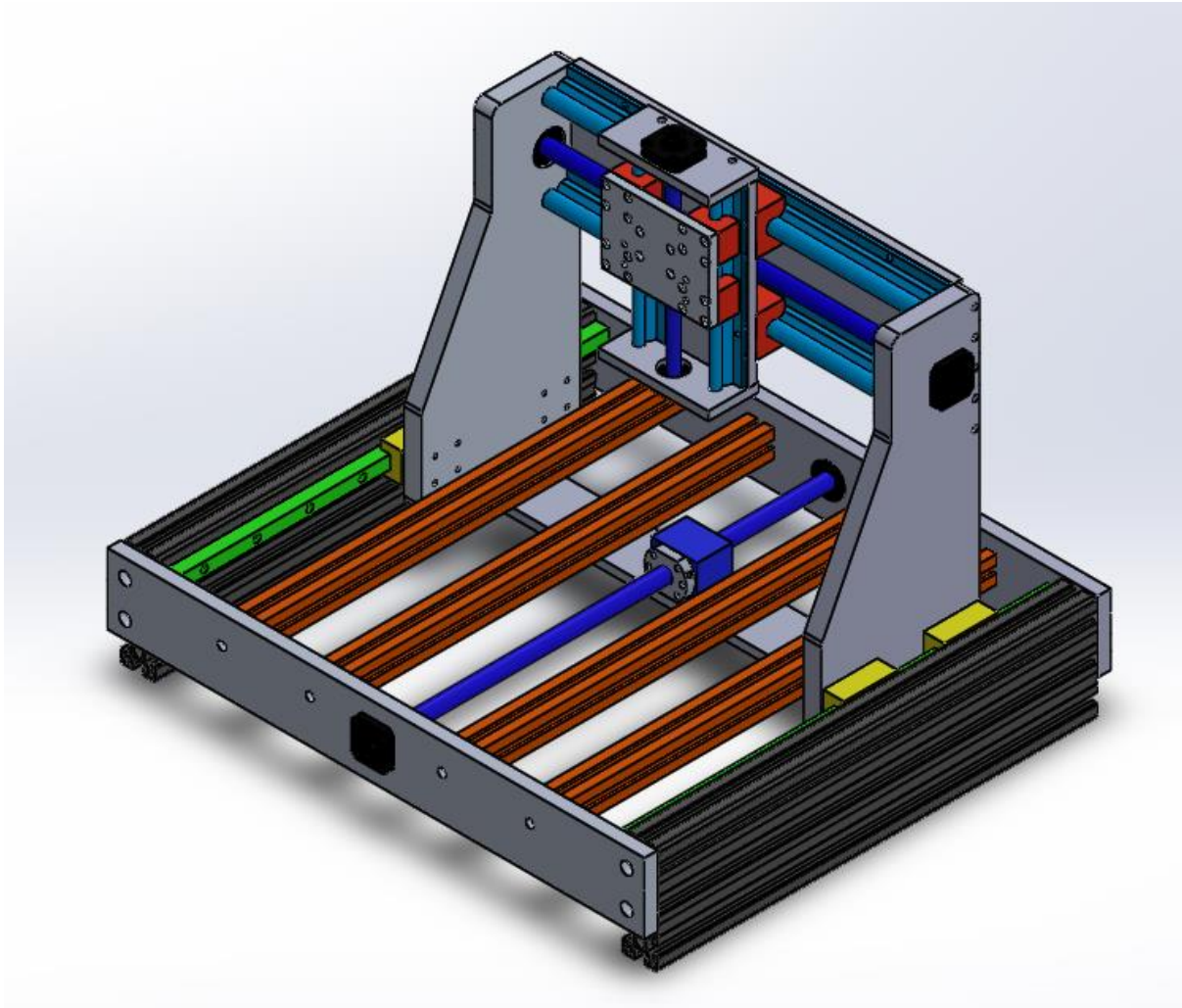
*Ilustración 49: Placas laterales de 20 mm de espesor*

#### Placa frontal y trasera:

Tocaría para finalizar las comprobaciones iniciales, las deformaciones creadas por las fuerzas debido al movimiento transversal. Estas fuerzas afectan al conjunto de la base, la placa frontal y trasera. Estas son las que unen los dos perfiles de aluminio laterales y entre los que se coloca el husillo transversal. En el análisis se observa que se deforman demasiado [Análisis estático 21], así que se plantean unas cuantas alternativas para dar solución al problema, que no son incompatibles entre ellas: aumentar el espesor de las placas, cambiar el material a acero o añadir más perfiles de aluminio centrales.

Los perfiles de aluminio centrales son donde se apoya la mesa donde se colocan las piezas para mecanizar. Añadiendo más de estas se aumenta la rigidez de la estructura haciendo que la placa frontal y trasera se deformen menos. Por lo tanto, se añaden dos perfiles centrales más [Análisis estático 22], ayudando también en la rigidez de la mesa. Se logra acercarse considerablemente a las deformaciones que se desean, pero aun así se decide aumentar el espesor de las placas a 15 mm [Análisis estático 23], por mejorar un poco más la rigidez de la estructura. De este modo las deformaciones son más que aceptables. Los cambios se pueden observar en la siguiente imagen [Ilustración 50].





*Ilustración 50: Placa frontal y trasera de 15 mm con 4 perfiles centrales*

### 6.1.5. Momentos

Hasta ahora se han realizado análisis preliminares, pero para realizar los análisis estáticos hay que tener también en cuenta los momentos resultantes por las fuerzas de corte, para que el análisis sea más realista. Se realizarán los cálculos por partes.

#### Cabezal

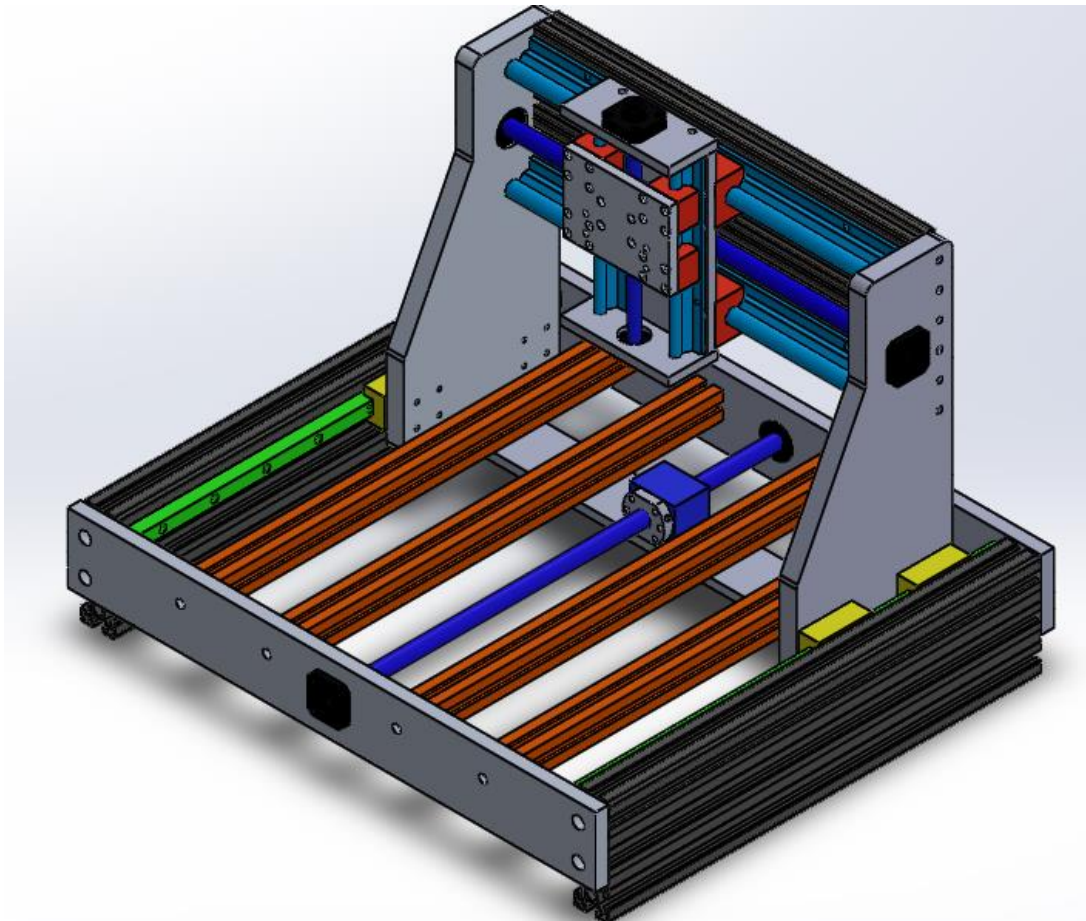
Primero solo se va a tener en cuenta el cabezal de la máquina. Se realizan tres cálculos distintos en esta parte, aplicando la fuerza más grande posible en cada dirección.

Se considera que el conjunto del motor de fresado, ya que es muy compacto, es muy rígido, por lo que no se realiza ningún análisis más en cuanto a las deformaciones que pueda haber en esta parte, dando paso directamente a los cálculos de las reacciones de los patines del movimiento longitudinal. Se realizarán los análisis partiendo de la fresa y se tendrá en cuenta las reacciones que se crean en los patines y el portatuercas [9.4.1]. Una vez hecho los cálculos estas fuerzas se trasladan al conjunto del puente y se hacen los análisis para saber cuáles son las deformaciones.

## Conjunto puente

Se observa que las deformaciones son mayores que las deseadas [9.4.2], por ello hay que realizar cambios en el diseño y se opta por utilizar una de las alternativas que ya se había planteado antes, usar un perfil de aluminio. Aunque en primer lugar se pensase que se tendría la dificultad de montaje de las guías mencionada anteriormente, ya que la guía va unida a la placa superior, en este caso como el perfil aún no está seleccionado se puede seleccionar uno que se adecue a la guía. En las guías seleccionadas anteriormente la distancia entre agujeros es de 30 mm, por lo que si se elige un perfil de aluminio donde las ranuras estén a 30 mm una de otra no habría ningún problema de montaje y no se tendría que mecanizar el perfil. Por lo que se sustituye la placa de 10mm por un perfil de 30mm, siendo esto suficiente para reducir la deformación a unos valores aceptables en esta pieza [9.4.2], por lo que se procede a calcular las reacciones en los patines y portatuercas del movimiento transversal [9.4.3].

Hay que destacar antes de seguir que se decide colocar en vez de solo un perfil dos perfiles de 30mmx90mm como placa superior, una encima de otra. Las guías SBR16 quedan de esta manera a una distancia de 120 mm entre ejes entre ellas. Los perfiles de 30 mm de ancho se colocan a una altura mayor que 100 mm de la mesa, para dejar suficiente espacio para realizar los movimientos sin posibles colisiones con la pieza que se va a mecanizar. Debido a la colocación de los perfiles también se realizan cambios en las placas laterales y en la placa central, pero pequeños ajustes. Se pueden observar los cambios en la siguiente imagen [Ilustración 51]:

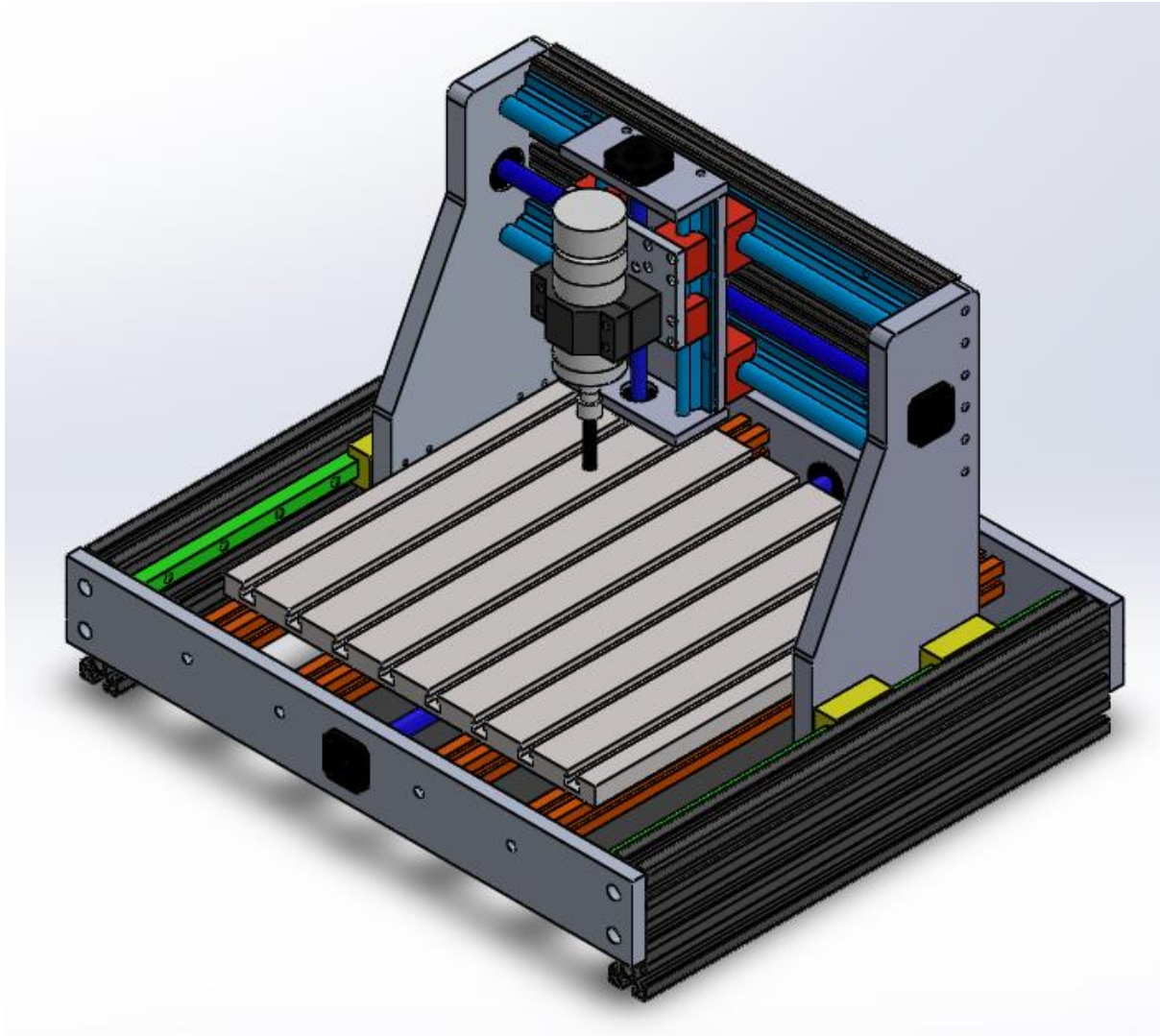


*Ilustración 51: Perfiles de 30x90 como placa superior*



### Conjunto base

Se trasladan las reacciones obtenidas en el conjunto del puente al conjunto de la base y se observa en los análisis estáticos que las deformaciones son aceptables [0], por lo que se concluye que la estructura de la maquina ya es lo suficientemente rígida para lo que se desea. Así quedaría la fresadora con los cambios realizados en la estructura [Ilustración 52]:



*Ilustración 52: Estructura de la fresadora*

#### **6.1.6. Selección y colocación de los motores paso a paso:**

Para poder hacer la selección de los motores paso a paso lo más importante es saber el par y la velocidad de giro que van a tener que transmitir. La precisión de la maquina también dependerá en gran medida de estos motores.

En primer lugar, se calculan el par y la velocidad de giro necesarias [9.2]. Para ello se utilizan los datos obtenidos en los cálculos de las fuerzas resultantes y la potencia necesaria para el mecanizado, donde se hicieron los cálculos para las situaciones más desfavorables [9.1]. Teniendo en cuenta el paso del husillo, la velocidad de avance y las fuerzas de corte los resultados serían los siguientes: para los motores de los movimientos transversal y longitudinal un par de 0,37 Nm y velocidad de giro de 102 rpm y para el motor del movimiento vertical un par de 0,40 Nm y velocidad de giro de 219 rpm. Las velocidades de

giro son las necesarias para las operaciones más exigentes, pero no tienen que ser la velocidad máxima de giro, siempre es conveniente que esta sea más grande, para poder hacer desplazamientos sin mecanizar bastante rápidos, lo realmente limitante en este caso es el par.

Sabiendo los pares se seleccionan los motores paso a paso. Siempre conviene que los motores sean del tamaño más pequeño posible por ahorrar espacio. En este caso los motores que mejor se ajustan a lo que se desea son los nema 17 [Ilustración 53], ofreciendo esta una variedad de pares disponibles. Hay motores con 0,45 Nm de par, pero se decide seleccionar un motor un poco más potente, por seguridad y por no variar mucho el precio entre los que ofrecen 0,59 Nm, la cual será la elección final [Ilustración 53]. Hasta 300 rpm puede mantener un par inferior a 0,42 Nm. Estos motores para dar una vuelta completa realizan 200 pasos, por lo que esta será la precisión que ofrezcan.

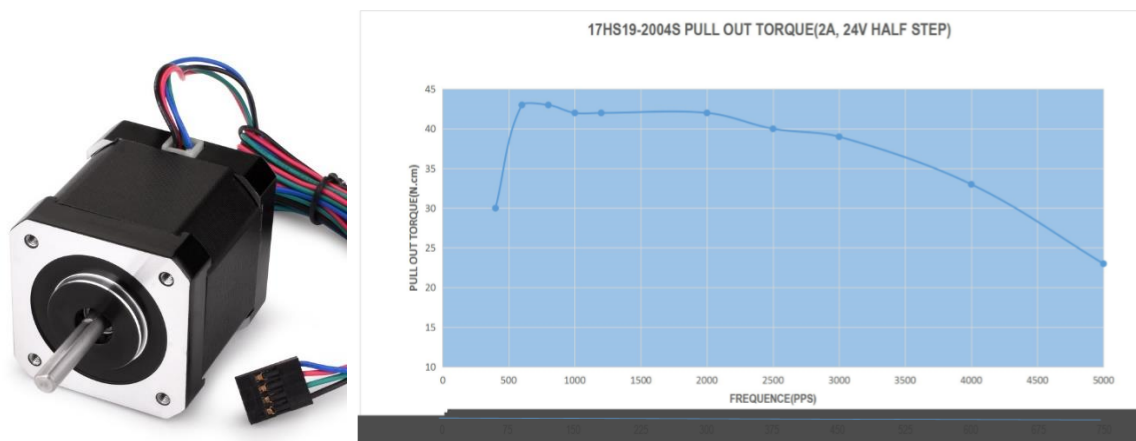


Ilustración 53: Motor paso a paso Nema 17

Al principio la idea era colocar directamente con un acoplador el motor con el husillo, pero teniendo en cuenta las dimensiones de la máquina, del motor, el acoplador y la posición de las placas de protección, se observa que no hay tanto espacio para ello, por ello se piensa en otra alternativa. Ya que la transmisión no puede ser directa por decirlo de alguna manera, se decide que esta tiene que realizarse a través de correas. No se considera colocar cadenas por ser las correas una alternativa mejor para esta aplicación, ya que las cadenas pesan más, hacen más ruido y necesitan un mantenimiento más minucioso, y que la potencia a transmitir es pequeña. Se desecha también la idea de colocar engranajes por considerar que es más sencillo colocar correas, ya que se tendrían que colocar engranajes muy grandes que ocuparían bastante espacio y no quedarían bien estéticamente.

Por lo tanto, la solución elegida es la de colocar correas. Hay una gran variedad de correas, pero en transmisiones que son compactas, lo cual va a suponer el empleo de poleas de reducido diámetro y elevadas velocidades de giro, lo normal es utilizar poleas dentadas o síncronas [Ilustración 54].

Las poleas dentadas garantizan una relación de transmisión constante al disminuir el riesgo de deslizamiento sobre la polea.

Por otro lado, la incorporación del dentado a la correa le confiere de una mayor flexibilidad longitudinal lo que le permite poder adaptarse a poleas de diámetros más pequeños.

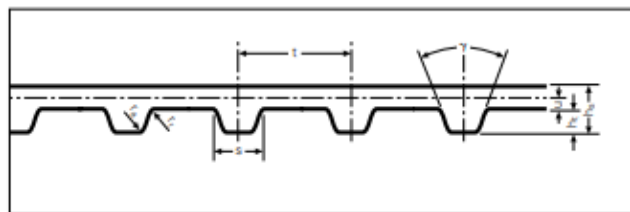


Ilustración 54: Sistema de transmisión por correa dentada

Por lo que se utilizarán correas dentadas para la transmisión, con dos poleas del mismo tamaño. Como las potencias que tienen que transmitir son muy pequeñas, menos de 10W no habrá ningún problema de deslizamiento. Aunque eso sea así, se pretende colocar un método de tensado para cada correa. Esto se hará alejando los ejes del motor y el husillo gracias a las piezas de sujeción, que dispondrán ranuras para ello.

Las características de la correa dentada se deciden mirando las tablas y graficas de un catálogo. En la gráfica [Gráfico 3] se elige el tipo de correa, dependiendo de la velocidad de giro y la potencia que deba transmitir, aplicando en este un factor de seguridad según la maquina [Tabla 16]. Se tendrá una velocidad de giro 150 rpm y una potencia de 10 W [Tabla 21] [Tabla 22]. En este caso la correa será XL. Las características de esta se muestran en la siguiente tabla [Tabla 15].

Available sizes



Cross-section of synchronous drive belt

Fig. 1

Parameters

Table 1

Pitch	DIN ISO code	MXL	XL	L	H	XH
Tooth pitch $t$	mm	2.032	5.080	9.525	12.700	22.225
	Inch	0.080	0.200	0.375	0.500	0.875
Flank angle $\gamma$	degree	40	50	40	40	40
Belt thickness $h_s$	mm	1.14	2.3	3.6	4.3	11.2
Tooth height $h_t$	mm	0.51	1.27	1.91	2.29	6.35
Top width of tooth $s$	mm	1.14	2.57	4.65	6.12	12.57
Top radius $r_a$	mm	0.13	0.38	0.51	1.02	1.19
Bottom radius $r_f$	mm	0.13	0.38	0.51	1.02	1.57
Pitch zone $u$	mm	0.254	0.254	0.381	0.686	1.397
Weight (belt width 25.4 mm)	kg/m	0.013	0.016	0.089	0.117	0.235
Range of pitch lengths $L_w$	from	109.73	152.40	314.33	609.60	1289.05
	to	920.50	1473.20	1524.00	4318.00	4445.00
Stock widths $b$	from	3.18	6.35	12.7	19.05	50.8
	to	6.35	25.4	76.2	127.0	177.8

Tabla 15: Características de las correas

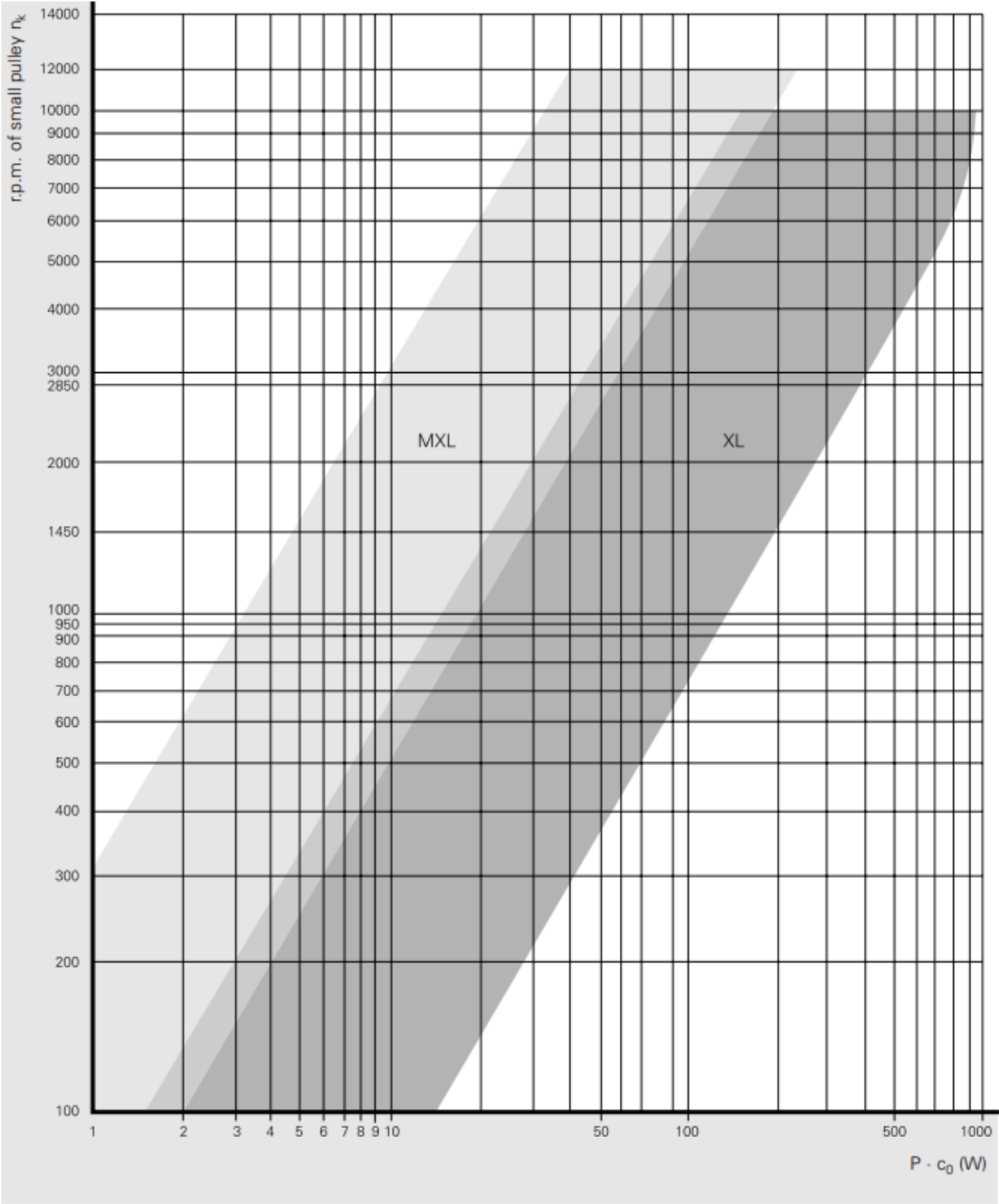


Gráfico 3: Tipo de correa

Driven machine		Driver		
		Electric motors with low starting torque (up to 1.5 times the rated torque), water and steam turbines, internal combustion engines of 8 or more cylinders	Electric motors with normal starting torque (1.5 to 2.5 times the rated torque), internal combustion of 4 to 6 cylinders	Electric motors with high starting torque (over 2.5 times the rated torque), Hydraulic motors, internal combustion up to 4 cylinders
Office machinery	Typewriters	1.0	1.1	1.2
	Scanners, printers, teleprinters, photocopiers	1.1	1.2	1.3
Small machinery	Motion-picture projectors and cameras	1.0	1.1	1.2
Domestic machinery	Centrifuges	1.0	1.1	1.2
	Kitchen appliances, universal slicers	1.1	1.2	1.3
Sewing machines	Domestic sewing machines	1.1	1.2	1.3
	Industrial sewing machines	1.2	1.3	1.4
Laundry machines	Driers	1.2	1.4	1.6
	Washing machines	1.4	1.6	1.8
Bakery machinery	Bakery machinery and dough mixers	1.2	1.4	1.6
Conveyors	Light-duty belt conveyors	1.1	1.2	1.3
	Belt conveyors for ore, coal, sand	1.2	1.4	1.6
	Heavy-duty conveyors	1.4	1.6	1.8
	Elevators, screw conveyors	1.4	1.6	1.8
	Bucket elevators	1.4	1.6	1.8
Agitators	Mixers for liquids	1.2	1.4	1.6
	Mixers for semi liquids	1.3	1.5	1.7
Machine tools	Lathes	1.2	1.4	1.6
	Drills, grinders, millers and planers	1.3	1.5	1.7
Woodworking machinery	Lathes and band saws	1.2	1.3	1.5
	Planers and disc saws	1.2	1.4	1.6
	Sawmill machinery	1.4	1.6	1.8
Brick machinery	Mixers	1.4	1.6	1.8
	Pug mills	1.6	1.8	2.0
Textile machinery	Spoolers and warping machines	1.2	1.4	1.6
	Spinning and twisting machines	1.2	1.4	1.6
	weaving machines	1.3	1.5	1.7
Paper machinery	Agitators, calenders, driers	1.2	1.4	1.6
	Pumps, beaters, pulpers	1.4	1.6	1.8
Printing machinery	Printing machines, cutters, folders	1.2	1.4	1.6
	Rotary presses	1.3	1.5	1.7
Screens	Drum screens	1.2	1.4	1.6
	Vibrating screens	1.3	1.5	1.7
Fans, blowers	Exhausters, radial blowers	1.4	1.6	1.8
	Mine ventilators, axial blowers	1.6	1.8	2.0
Compressors	Helical compressors	1.4	1.5	1.6
	Piston compressors	1.6	1.8	2.0
Pumps	Centrifugal and gear pumps	1.2	1.4	1.6
	Reciprocating pumps	1.7	1.9	2.1
Generators	Generators and exitters	1.4	1.6	1.8
Industrial machinery	Elevators and hoists	1.4	1.6	1.8
	Centrifuges	1.5	1.7	1.9
	Rubber machinery	1.5	1.7	1.9
Mills	Hammer mills	1.5	1.7	1.9
	Ball, roller and gravel mills	1.7	1.9	2.1

Tabla 16: Factores de seguridad para correas según máquina de uso

Buscando por internet se decide colocar una correa dentada de perfil curvilíneo con paso de 5 mm entre los dientes, 15 mm de ancho y poleas de 20 dientes adecuadas a estas correas. Se escoge un perfil curvilíneo, pero es prácticamente lo mismo. Se comprueba en las dos siguientes tablas que la selección es correcta, el de la correa y el de la polea, y se observa de que sí, que la polea cumple con mínimo de dientes que debe tener y la potencia que será capaz de transmitir la correa es mayor que 10 W [Tabla 17] [Tabla 18].

CONTI SYNCHROBELT® synchronous drive belt, XL pitch  
Power ratings  $P_N$  in W for XL pitch belts per 25.4 mm of belt width

Table 31

r.p.m. of small Pulley $n_k$ ( $\text{min}^{-1}$ )	Number of teeth on small pulley $z_k$												
	10	11	12	13	14	16	18	20	22	24	26	28	30
	Pitch $\varnothing d_w$ (mm)												
	16.17	17.79	19.40	21.02	22.64	25.87	29.11	32.34	35.57	38.81	42.04	45.28	43.51
100	15	17	19	20	22	25	28	31	34	37	40	43	46
200	31	34	37	40	43	49	56	62	68	74	80	86	93
300	46	51	56	60	65	74	83	93	102	111	120	130	139
400	62	68	74	80	86	99	111	124	136	148	161	173	185
500	77	85	93	100	108	124	139	154	170	185	201	216	232
600	93	102	111	120	130	148	167	185	204	222	241	259	278
700	108	119	130	141	151	173	195	216	238	259	281	302	324
800	124	136	148	161	173	198	222	247	272	296	321	346	370
950	147	161	176	191	205	235	264	293	322	352	381	410	439
1100	170	187	204	221	238	272	305	339	373	407	441	474	508
1200	185	204	222	241	259	296	333	370	407	444	481	517	554
1300	201	221	241	261	281	321	361	401	441	481	520	560	600
1450		246	269	291	313	358	402	447	491	536	580	624	668
1600		272	296	321	346	395	444	493	542	591	639	688	737
1800		305	333	361	389	444	499	554	609	664	719	773	827
2000		339	370	401	432	493	554	615	676	737	797	858	918
2200		373	407	441	474	542	609	676	743	809	876	942	1007
2400		407	444	481	517	591	664	737	809	882	954	1025	1096
2600		441	481	520	560	639	719	797	876	954	1031	1108	1185
2850			527	570	614	700	787	873	958	1043	1127	1211	1294
3000			554	600	646	737	827	918	1007	1096	1185	1272	1359
3200			591	639	688	785	882	977	1073	1167	1261	1354	1446
3400			627	679	731	833	936	1037	1138	1237	1336	1434	1531
3600			664	719	773	882	989	1096	1202	1307	1411	1514	1615
3850			709	768	826	942	1056	1170	1283	1394	1504	1612	1719
4000			737	797	858	977	1096	1214	1331	1446	1559	1671	1781
4200			773	836	900	1025	1149	1272	1394	1514	1632	1748	1862
4400			809	876	942	1073	1202	1331	1457	1582	1704	1824	1942
4600			846	915	983	1120	1255	1388	1519	1649	1775	1899	2021
4800			882	954	1025	1167	1307	1446	1582	1715	1846	1974	2099
5000					1067	1214	1359	1502	1643	1781	1915	2047	2175
5500					1170	1331	1488	1643	1794	1942	2086	2225	2360
6000					1272	1446	1615	1781	1942	2099	2250	2395	2535
6500					1374	1559	1740	1915	2086	2250	2407	2558	2700
7000					1474	1671	1862	2047	2225	2395	2558	2711	2854
7500					1573	1781	1982	2175	2360	2535	2700	2854	2996
8000					1671	1889	2099	2299	2489	2668	2834	2987	3125
8500					1767	1995	2213	2419	2613	2794	2959	3109	3241
9000					1862	2099	2323	2535	2732	2912	3075	3219	3342
10000					2047	2299	2535	2753	2950	3125	3277	3401	3498

Belt width factor  $c_5$

Table 32

Belt width factor $c_5$	0.15	0.21	0.28	0.35	0.42	0.57	0.71	0.86	1.00	1.29	1.56
Belt width reference	<b>025</b>	<b>031</b>	<b>037</b>	043	050	062	075	087	100	125	150
Width mm	<b>6.35</b>	<b>7.94</b>	<b>9.35</b>	10.9	12.7	15.7	19.05	22.1	25.4	31.8	38.1

Stock widths are given in bold type.

Tabla 17: Potencia admisible según ancho de la correa

Minimum number of teeth for pulleys  $z_{\min}$

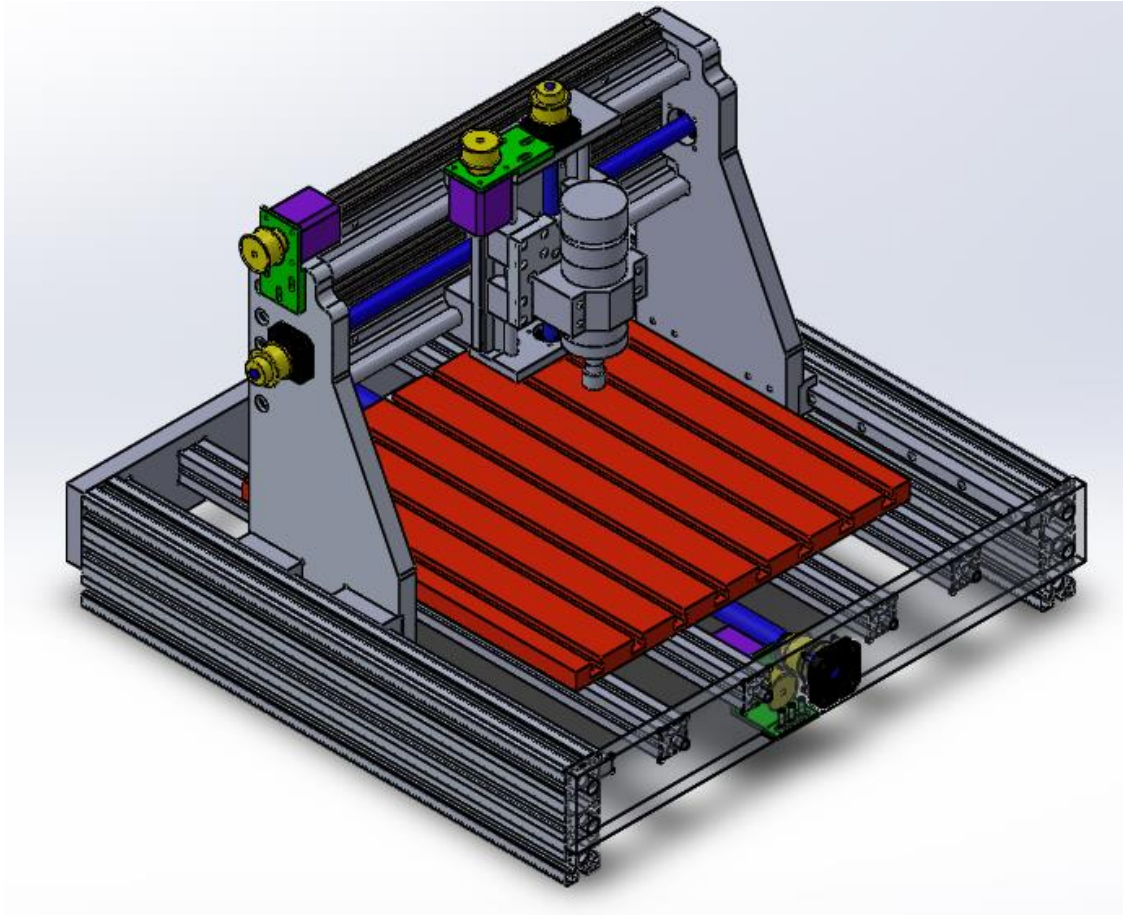
Table 27

Pitch		MXL	XL	L	H	XH
Speed	950 r.p.m.	10	10	12	16	20
	1450 r.p.m.	11	11	14	18	22
	2850 r.p.m.	12	12	16	20	24
	5000 r.p.m.	14	14	20	24	-

Tabla 18: Mínimo de dientes de la polea



Se muestra en la siguiente imagen [Ilustración 55] como quedaría la maquina añadiendo los motores paso a paso (morados), soporte de los motores (verdes) y las poleas (amarillas).



*Ilustración 55: Poleas y motores paso a paso*

El motor paso a paso del movimiento transversal se coloca por dentro de la estructura para que las placas de protección protejan esta parte. Se decide colocarlo en la parte frontal porque en la parte trasera se tiene el soporte fijo y no es recomendable colocar la polea ahí, ya que, si esto fuese así, la polea también tendría que soportar las cargas axiales al tener que colocarlo entre el rodamiento y el husillo. No hay mucho espacio para colocar el motor y las poleas, pero es suficiente. Para tensar las correas el motor del movimiento transversal habrá que moverlo longitudinalmente, el motor del movimiento transversal verticalmente y el motor del movimiento vertical longitudinalmente.

La longitud de la correa transversal será de 175 mm, el del longitudinal 335 mm y el del vertical 280 mm.

#### **6.1.7. Muestras en las placas**

Como la fresadora es una máquina de precisión el diseño de las piezas puede ayudar a lograr este objetivo, para ello se decide realizar muescas o rebajes en las placas de aluminio diseñadas para poder garantizar un mejor posicionamiento. Se realizarán los rebajes para poder posicionar mejor los patines y las guías entre ellas. Para ver los rebajes que se han realizado mirar los planos.

De este modo se podría conseguir una precisión muy buena, pero a partir de cierto punto el coste de las piezas sería muy elevado, por lo que tampoco se puede refinar las tolerancias



todo lo deseado. Se decide que las piezas se obtendrán por mecanizado en fresadoras CNC, al ser un método muy común y no excesivamente caro, pudiendo conseguir una calidad del IT6, la cual se tomara como referencia a la hora de colocar las tolerancias y será la mayor calidad que se podrá obtener. Por lo que la precisión de la maquina ira determinada en gran medida por esta limitación. Al colocar las tolerancias y calcular las desviaciones máximas se podrá determinar si se logra el objetivo de precisión de 0,2 mm o si esta se tiene que modificar.

Antes de colocar las tolerancias dimensionales y geométricas hay que plantearse que es lo que realmente se busca con estas, en resumen, definir los requisitos funcionales.

Lo que se quiere es:

- Que el plano formado por los carriles del movimiento transversal sea paralelo a la superficie de la mesa.
- Que el plano formado por las guías del movimiento longitudinal sea perpendicular a la superficie de la mesa.
- Que los ejes de las guías del movimiento longitudinal sean paralelos a la mesa.
- Que los ejes de los carriles del movimiento transversal y los ejes de las guías del movimiento longitudinal sean perpendiculares.
- Que el plano formado por las guías del movimiento vertical sea perpendicular a la superficie de la mesa.
- Que los ejes de las guías del movimiento vertical sean perpendiculares a la superficie de la mesa.
- Que el eje del motor de fresado sea perpendicular al plano de la superficie de la mesa,

Una vez definido esto, se ponen las tolerancias según los requisitos y se procede a hacer las cadenas de cotas para determinar cuáles son las desviaciones máximas que se van a tener, lo cual define la precisión del montaje.

Se toma como referencia el plano que crean los carriles del movimiento transversal, suponiendo que este es un plano perfecto. Una tabla para entender mejor los cálculos se encuentra en el siguiente apartado [9.5].

#### Mesa

Se calcula lo inclinado que puede estar en los planos X e Y la superficie de la mesa respecto al plano perfecto, esto vendrá definido por el posicionamiento de los perfiles centrales, ya que la mesa se apoya sobre ellas. Las piezas determinantes en este caso son la placa frontal y la trasera [Ilustración 56].

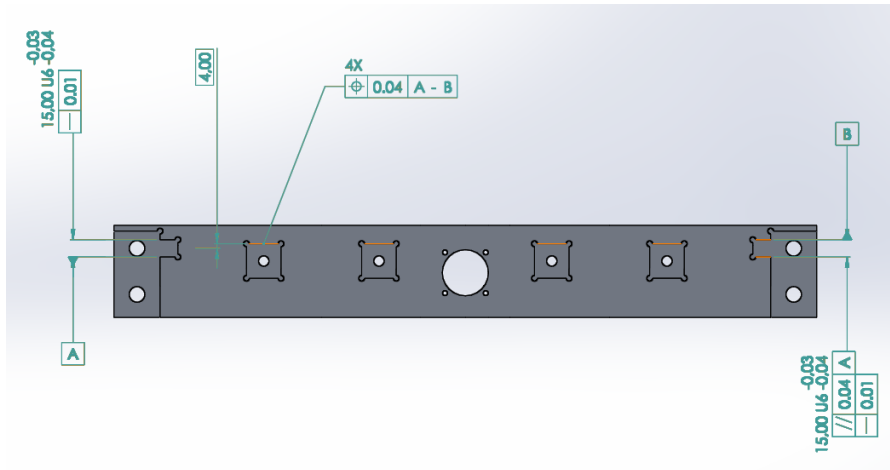


Ilustración 56: Placa frontal

En una placa la diferencia de altura máxima entre un perfil y otro es de 0,04 mm. Siendo esto en una longitud de 380 mm, equivale a una inclinación de 0,006 grados en el plano Y y un error de 0,03 mm en altura por 300 mm de recorrido longitudinal.

La diferencia máxima de altura en un mismo perfil, ya que se apoya primero en la placa frontal y después en la trasera, es de 0,05 mm. Siendo esto en una longitud de 600 mm, equivale a una inclinación de 0,005 grados en el plano X y un error de 0,025 mm en altura por 300 mm de recorrido transversal.

Estos cálculos se han hecho sin tener en cuenta las tolerancias de la superficie de la mesa, que mirando el fabricante se observa que es de 0,02 mm por 400 mm. Actualizando los resultados anteriores con esto, se tendría lo siguiente:

Plano Y            0,0088 grados de desviación y 0,045 mm de error en altura por 300 mm de recorrido longitudinal.

Plano X            0,0078 grados de desviación y 0,04 mm de error en altura por 300 mm de recorrido transversal.

### Guías longitudinales

Continuando con los cálculos se analiza cuanto se pueden inclinar en el plano Y las guías longitudinales. Para ello se observa la desviación de altura que puede haber entre los carriles transversales y las muescas de los perfiles laterales [Ilustración 57], donde se apoyan las guías SBR16. En este caso afectarían las tolerancias de los carriles, patines y la placa lateral. Realizado los cálculos, la altura puede variar en 0,08 mm. Siendo esto en una longitud de 450 mm, equivale a una inclinación de 0,01 grados y un error de 0,053 mm por 300 mm.

La inclinación en el plano X también es importante, no exactamente para las guías SBR16, pero afecta más adelante. Primero se observa la variación en la altura del patín, que está determinado por sus propias tolerancias y las del carril.

La inclinación en X también estará determinada por las tolerancias de la placa lateral. La diferencia de altura de las muescas para los patines y la perpendicularidad de la muesca de apoyo de los perfiles de aluminio.

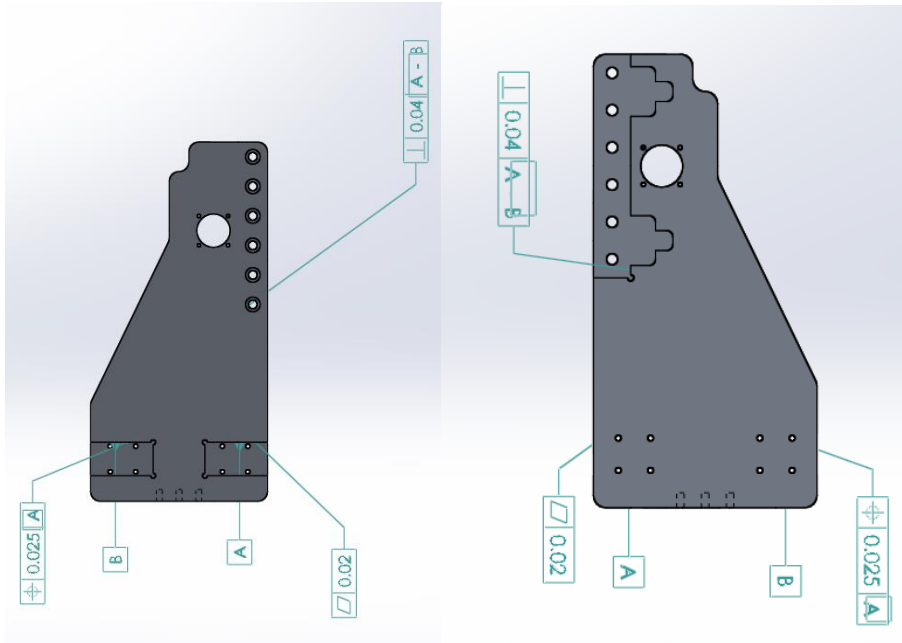


Ilustración 57: Placa lateral derecho

Teniendo en cuenta las tolerancias y sumándolas la inclinación máxima en este caso es de 0,038 grados.

Plano Y 0,01 grados de desviación y un error de 0,053 mm en altura por 300 mm de recorrido longitudinal.

Plano X 0,038 grados de desviación.

#### Guías verticales

Se continúa calculando la inclinación de las guías verticales en el plano Y. Primero observando la desviación máxima de la altura del patín. En este caso afectan el patín y la guía.

Para determinar la inclinación también hay que tener en cuenta las tolerancias de la placa central y los apoyos superior e inferior [Ilustración 58]. En la placa central la desviación de las muescas de los patines superiores y las muescas laterales para colocar los apoyos superior e inferior. En los apoyos superior e inferior lo importante son las tolerancias de las muescas donde se apoyarán las guías SBR10.

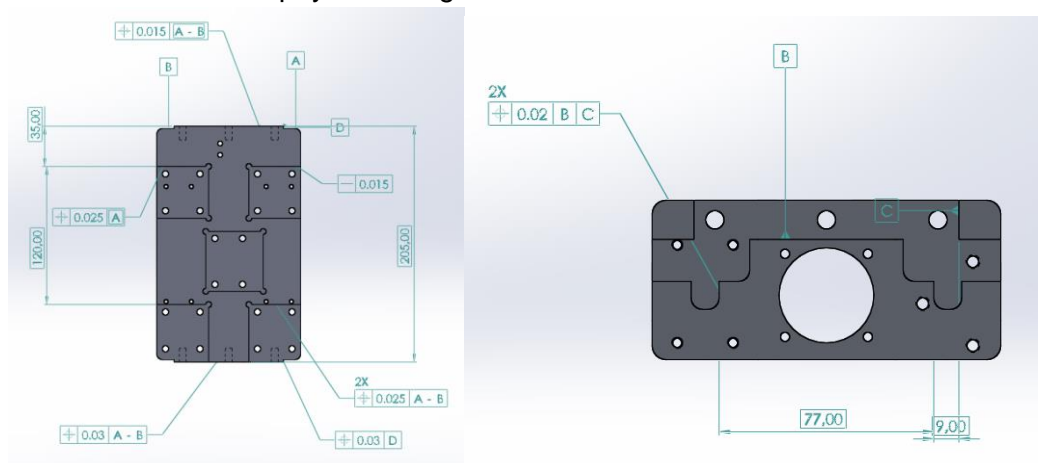


Ilustración 58: Placa central y apoyo superior

Faltaría por sumar la inclinación en el plano Y de las guías transversales, ya que esto afecta a la desviación respecto al plano de referencia. Teniendo en cuenta todas las tolerancias la desviación máxima será de 0,078 grados y equivale a un error de 0,136 mm en 100 mm de recorrido vertical en el recorrido X.

Se sigue calculando la desviación de las guías verticales en el plano X.

En este caso afectan las guías SBR16, los patines SBR16UU, la placa central y las guías SBR12.

La desviación máxima es de 0,1 mm, siendo el recorrido de 200 mm, pero en este caso hay que tener en cuenta también la desviación obtenida anteriormente en las guías SBR16 en el plano X, ya que se está considerando como referencia el plano que crean los carriles transversales. Por lo que sumando los dos se obtiene que el ángulo de desviación total es de 0,067 grados, lo que equivale a un error de 0,117 mm en 100 mm de recorrido vertical en el plano Y.

Plano Y	0,078 grados de desviación y un error de 0,136 mm en longitudinal por 100 mm de recorrido vertical.
Plano X	0,067 grados de desviación y un error de 0,117 mm en transversal por 100 mm de recorrido vertical.

#### Eje motor de fresado

Por último, quedaría calcular la desviación del eje del motor de fresado. En este caso las piezas que determinan la inclinación son los patines, la placa final [Ilustración 59], la abrazadera y el motor de fresado.

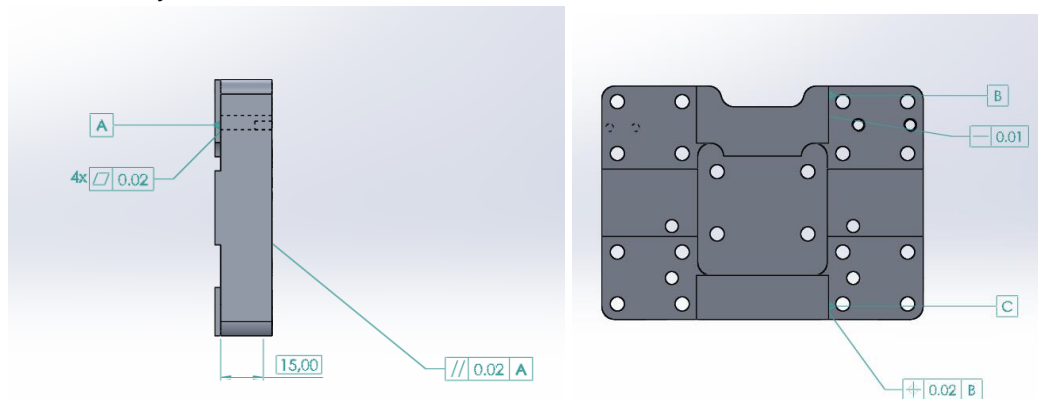


Ilustración 59: Placa final

En este caso también hay que tener en cuenta las inclinaciones que se tienen por ahora en las guías verticales. En el plano Y respecto al plano que crean las guías SBR10 la desviación máxima puede ser de 0,092 grados y sumando la inclinación del plano anterior 0,171. En el plano X la desviación máxima puede ser de 0,117 grados respecto al plano de las guías verticales y sumando la inclinación de estas puede ser 0,184 grados.

## Resumen

### Mesa

Plano Y 0,0088 grados de desviación y 0,045 mm de error en altura por 300 mm de recorrido longitudinal.

Plano X 0,0078 grados de desviación y 0,04 mm de error en la altura por 300 mm de recorrido transversal.

### Guías longitudinales

Plano Y 0,01 grados de desviación y un error de 0,053 mm en altura por 300 mm de recorrido longitudinal.

Plano X 0,038 grados de desviación.

### Guías verticales

Plano Y 0,078 grados de desviación y un error de 0,136 mm en longitudinal por 100 mm de recorrido vertical.

Plano X 0,067 grados de desviación y un error de 0,117 mm en transversal por 100 mm de recorrido vertical.

### Eje del motor de fresado

Plano Y 0,171 grados de inclinación

Plano X 0,184 grados de desviación

## Conclusiones y resultados

Los resultados obtenidos son los conseguidos teniendo en cuenta el error máximo en todas las tolerancias. Se ha hecho así por ser más fácil de calcularlo, pero no es completamente realista, ya que la probabilidad de que todas las tolerancias estén en su límite es muy reducida, por lo que teniendo en cuenta la cantidad de tolerancias que tiene cada cadena se aplicara un coeficiente.

A los de la mesa un coeficiente de 0,9, a los de las guías longitudinales de 0,85, a los de las guías verticales 0,75 y al del eje del motor de fresado de 0,65. Aplicando esto los resultados serían los siguientes.

### Mesa

Plano Y 0,008 grados de desviación y 0,04 mm de error en altura por 300 mm de recorrido longitudinal.

Plano X 0,007 grados de desviación y 0,036 mm de error en la altura por 300 mm de recorrido transversal.

### Guías longitudinales

Plano Y 0,0085 grados de desviación y un error de 0,045 mm en altura por 300 mm de recorrido longitudinal.

Plano X 0,032 grados de desviación.

### Guías verticales

Plano Y 0,058 grados de desviación y un error de 0,1 mm en longitudinal por 100 mm de recorrido vertical.

Plano X 0,05 grados de desviación y un error de 0,087 mm en transversal por 100 mm de recorrido vertical.

#### Eje del motor de fresado

Plano Y 0,111 grados de inclinación

Plano X 0,119 grados de desviación

Analizando esto se tiene la precisión de mecanizado que se puede obtener por el diseño de las piezas y sus tolerancias.

En el recorrido transversal puede haber un error de 0,036 mm de altura.

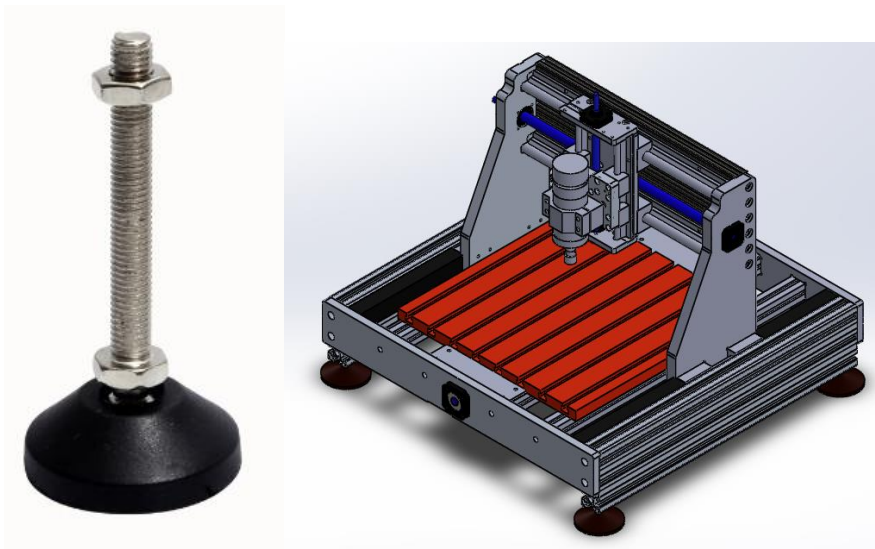
En el recorrido longitudinal puede haber un error de 0,085 mm de altura.

En el recorrido vertical puede haber un error de 0,1 mm en longitudinal y 0,087 mm en transversal.

La precisión de la maquina según el montaje lo marca el error más grande por lo que este será de 0,1 mm. En cuanto a la inclinación del eje del motor de fresado, se considera que es aceptable.

#### **6.1.8. Apoyo de la base**

Con el diseño que se tiene hasta ahora la maquina se apoyaría directamente sobre los perfiles, esto no es muy recomendable ya que la superficie de apoyo podría no ser muy plana. Por lo tanto, se decide añadir pies regulables [Ilustración 60], que irán roscados en los perfiles, haciendo girar la tuerca de la que disponen para regular la altura.



*Ilustración 60: Pies de apoyo*

#### **6.1.9. Precisión de máquina**

Como se comentó anteriormente la precisión de la maquina dependerá de la precisión mecánica, la precisión electrónica, las deformaciones en las piezas debido a las fuerzas de mecanizado y también las desviaciones en el montaje debido a las tolerancias. Se seleccionaron los husillos y tuercas, y estas ofrecen una precisión de 0,07 mm. Los motores



paso a paso como ya se dijo antes tienen una precisión de 200 pasos por vuelta, esto teniendo en cuenta los husillos que se tienen, marcan la precisión, según el paso de rosca que tengan. Como el mayor paso de rosca que se tiene es de 5 mm, en un paso del motor, se moverá 0,025 mm la tuerca. Las deformaciones máximas serán de 0,05 mm, gracias a las modificaciones en el diseño que se han hecho, además cabe destacar que se han realizado los cálculos para las situaciones más desfavorables, siendo que a la hora de conseguir un buen acabado las fuerzas debido al mecanizado serán bastante menores. Y para terminar se tendría la precisión por montaje debido a las tolerancias, que se ha calculado que es de 0,1 mm. Esto daría como resultado, sumando todas las variables, que la maquina tendrá una precisión de 0,245 mm, lo cual es mayor a lo que se pretendía, pero al estar muy cerca del objetivo y que lo verdaderamente importante en este proyecto no es la precisión, se da por valido este valor.

## 6.2. Protecciones para los componentes

Debido a la viruta resultante del mecanizado y el movimiento del puente, puede dificultarse el funcionamiento adecuado de los componentes, por lo que hay que encontrar una solución para cada problema.

### 6.2.1. Guías y husillos

Las guías laterales que permiten el movimiento transversal están expuestas a acumular virutas o polvo en sus superficies, haciendo que los patines se atasquen y bloqueando el movimiento. Para poder evitar esto se decide utilizar fuelles plegables de protección [Ilustración 61]. Se necesitarían cuatro. Estas tendrán forma de U, cubriendo la parte superior, inferior y frontal de la guía.

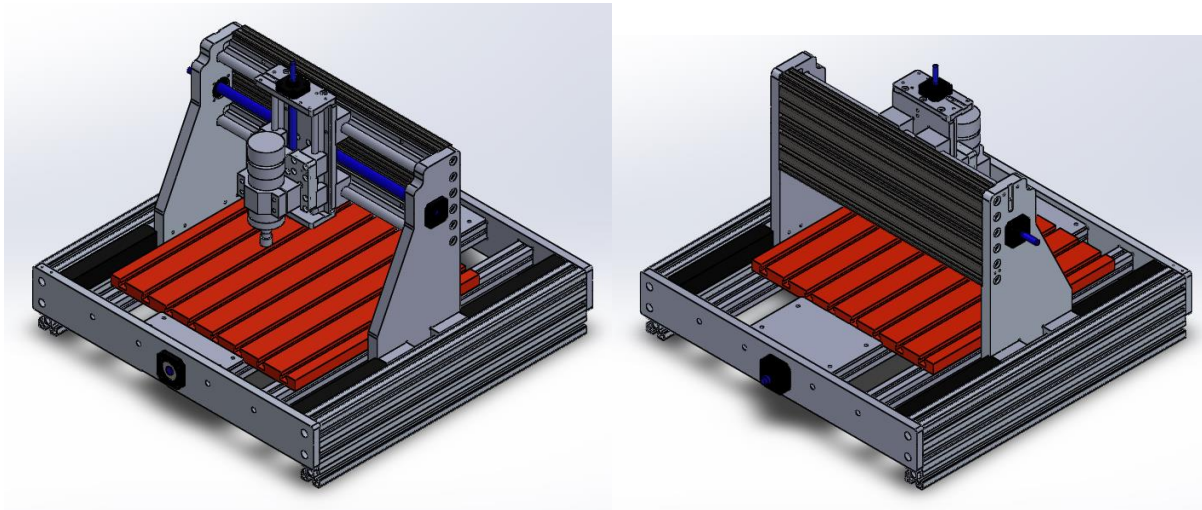
Los fuelles se adecuarán a las guías seleccionadas. Como estas son muy comunes hay fuelles diseñadas para estas. El fuelle se fija en uno de los extremos del patín y en la placa frontal o trasera.



Ilustración 61: Fuelle de protección

El fuelle tiene una longitud mínima y otra máxima, que están relacionados según cuanto se puede estirar o contraer. La relación para este fuelle es de  $L_{max}/L_{min}=7$ . Siendo el recorrido que se quiere de 300 mm, la  $L_{max}$  será igual a 350 mm y la  $L_{min}$  igual a 50 mm.

En cuanto al husillo transversal se decide colocar dos placas en la zona delantera y trasera, para evitar problemas con las virutas y el polvo [Ilustración 62].



*Ilustración 62: Protección de componentes*

### 6.2.2. Cables

Como los componentes electrónicos van a estar en movimiento hay que pensar en un método para poder hacer llegar a estos electricidad sin que haya algún riesgo de que los cables se rompan debido a estirarse o trabarse. La solución en este caso es colocar cadenas portacables, las cuales se enrollan y desenrollan según se posicione la fresadora, manteniendo siempre la distancia del recorrido del cable constante. Hay que destacar que el portacables sirve también para proteger los cables, asegurando además de la distancia del recorrido su posicionamiento. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo en una fresadora comercial [Ilustración 63].

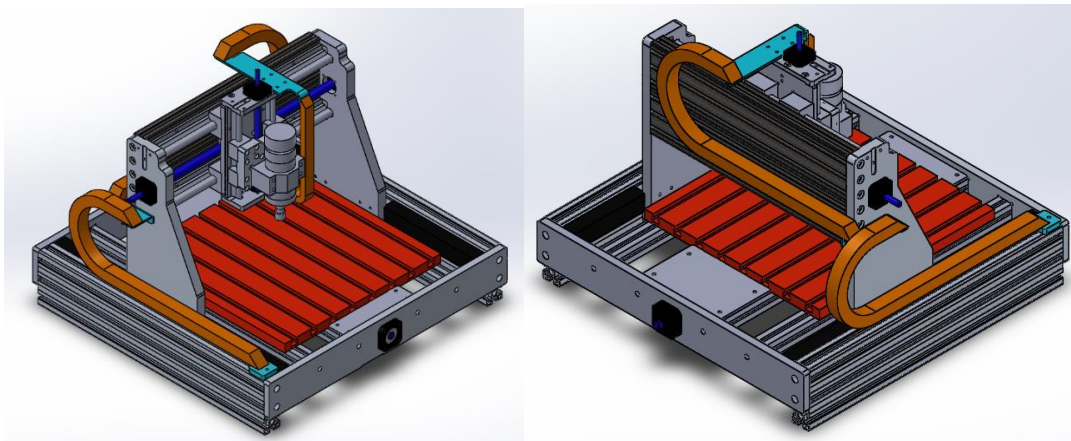


*Ilustración 63: Cadena portacables*

En el presente proyecto se colocan tres cadenas portacables, para los tres movimientos que realiza [Ilustración 64]. Uno de los extremos del portacables del movimiento transversal se atornilla a un soporte, una chapa, que se atornilla al perfil lateral y el otro extremo se atornilla a un soporte, una chapa doblada, que se une a la placa lateral. Este portacables tendrá una anchura interior de 15 mm, altura interior de 18 mm, radio de curvatura de 75 mm y longitud de 700 mm.

El portacables longitudinal se atornilla al soporte mencionado anteriormente, la chapa doblada, y el extremo a otro soporte, una chapa larga, que está unido al apoyo superior. Este portacables tendrá una anchura interior de 15 mm, altura interior de 18 mm, radio de curvatura de 75 mm y longitud de 600 mm.

El portacables vertical esta atornillado a la chapa larga y el otro extremo a la placa final. Este portacables tendrá una anchura interior de 16 mm, altura interior de 9 mm, radio de curvatura de 18 mm y longitud de 250 mm.



*Ilustración 64: Colocación de portacables*

### 6.3. Sensores

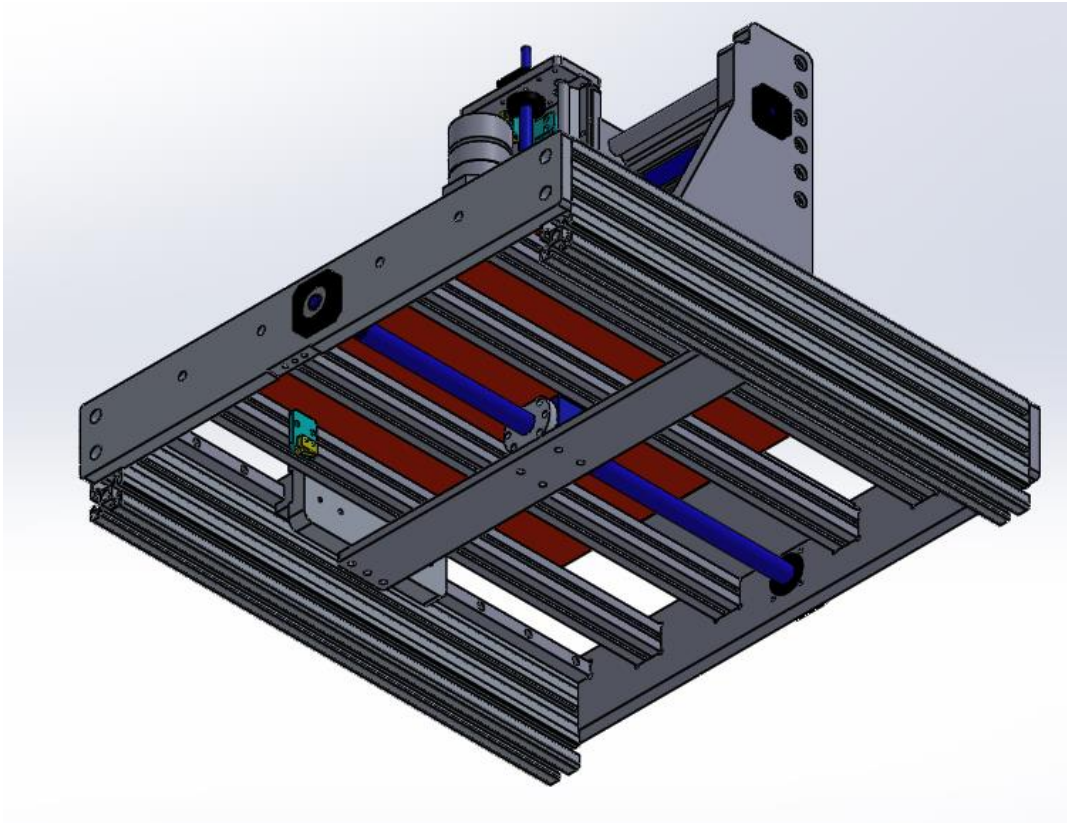
Para tener un mejor control de la maquina se decide colocar sensores en cada recorrido. Cada recorrido tendrá un final de carrera, en un extremo. Se utilizarán para determinar el punto cero de ese recorrido.

El sensor del recorrido transversal (amarillo) estará colocado debajo de la mesa, en un soporte (azul claro), que ira unido a uno de los perfiles base de la mesa [Ilustración 65].

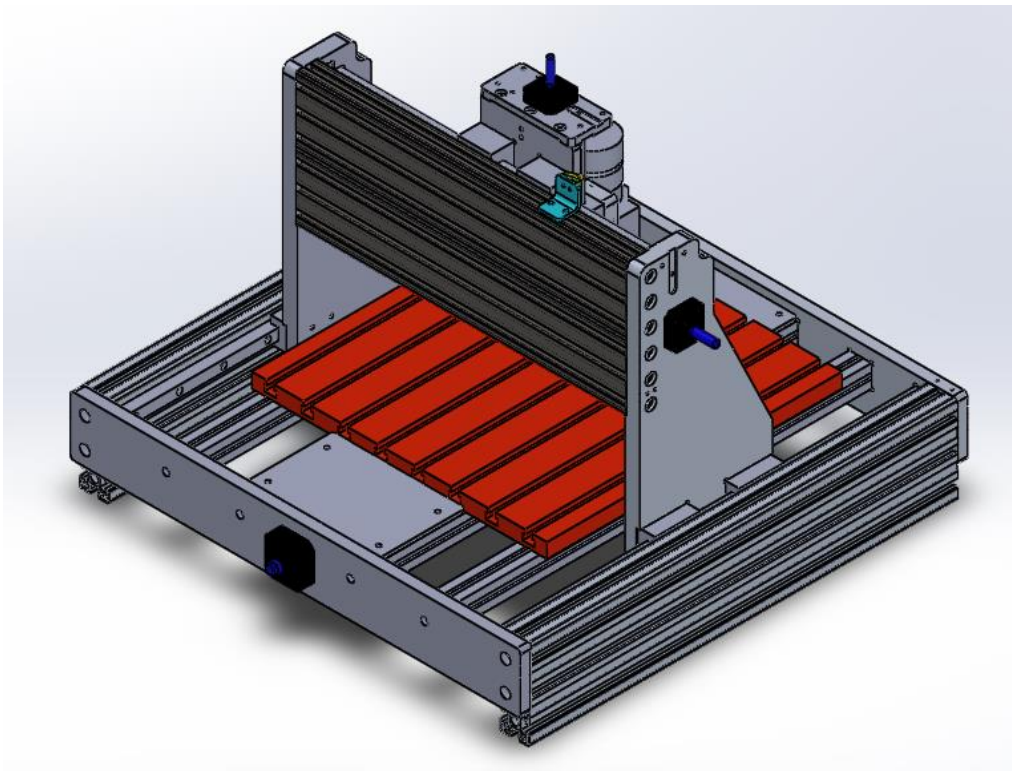
El sensor del recorrido longitudinal estará colocado en un soporte, una chapa doblada (azul claro), que ira atornillado a los perfiles superiores [Ilustración 66].

El sensor del recorrido vertical estará colocado en un soporte, una chapa doblada (azul claro), que estará atornillada a la placa central [Ilustración 67].

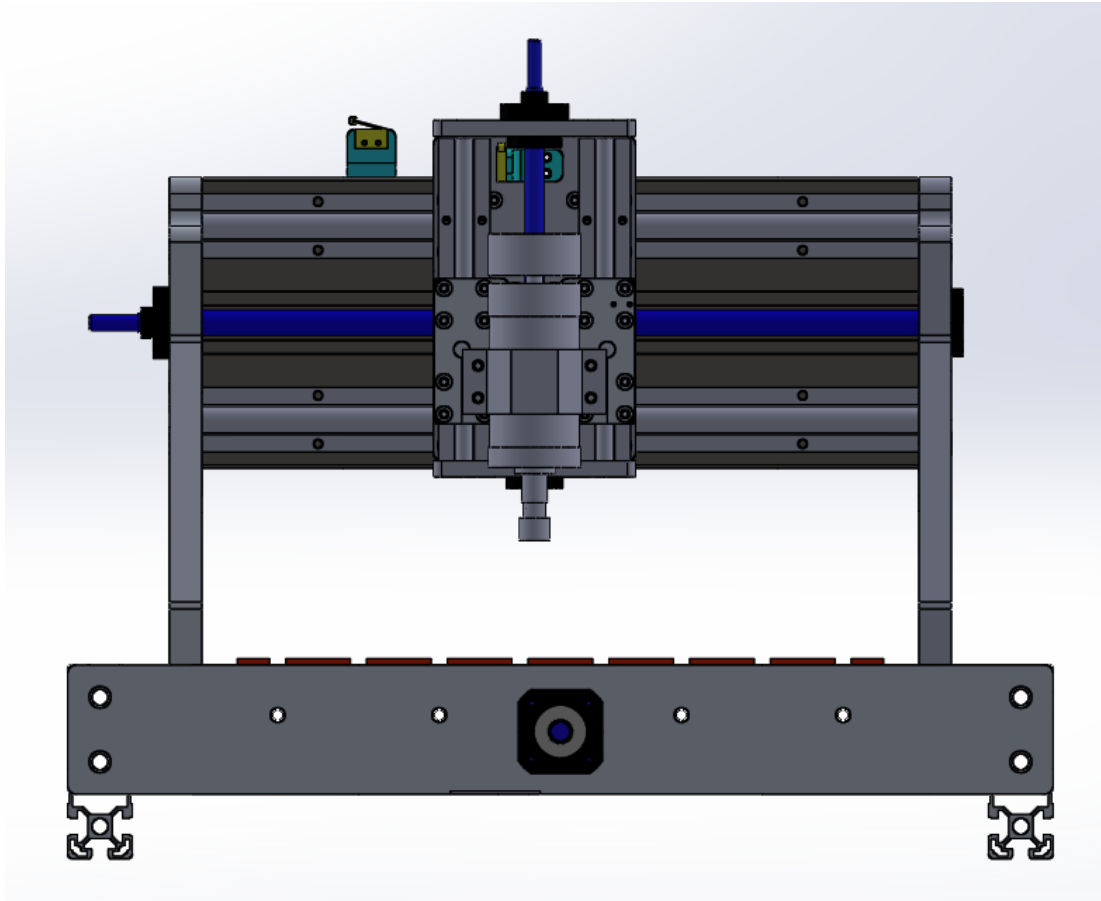




*Ilustración 65: Sensor del recorrido transversal*



*Ilustración 66: Sensor del recorrido longitudinal*



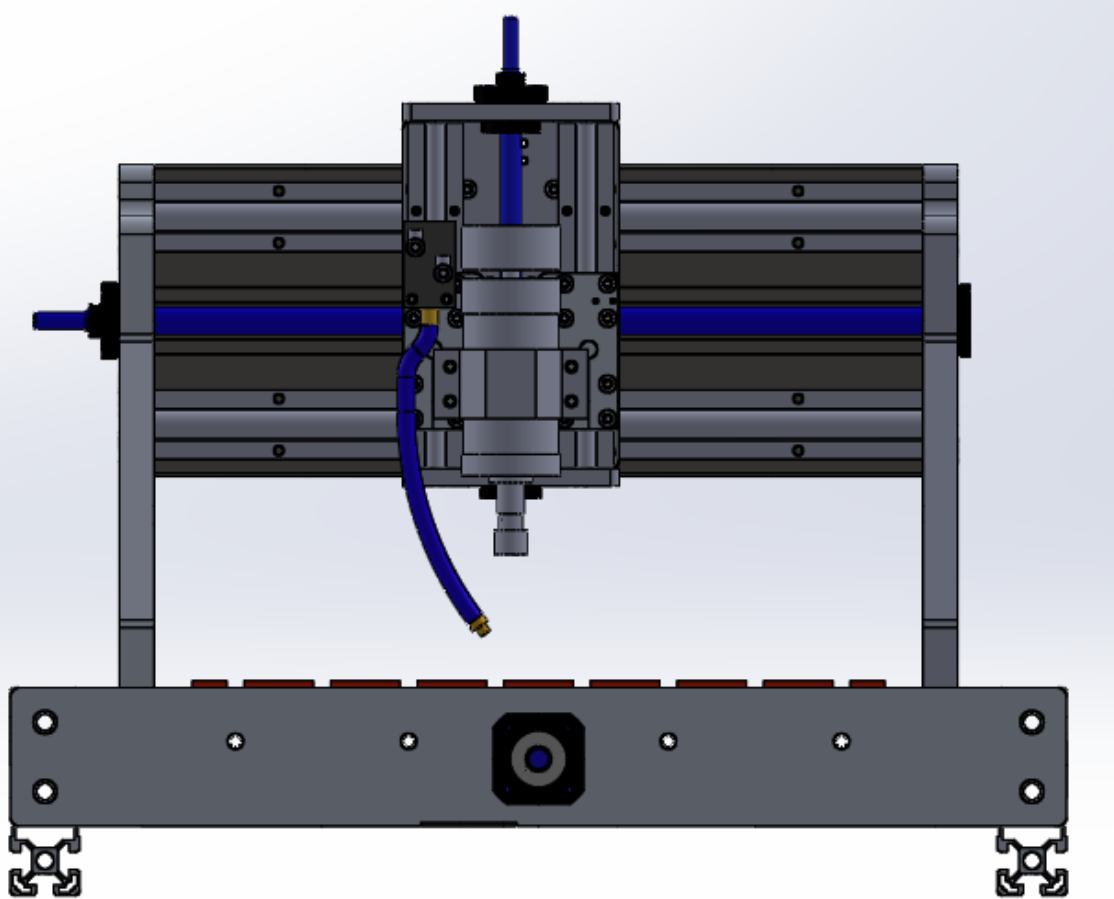
*Ilustración 67: Sensor del recorrido vertical*

## 6.4. Refrigeración

Para la refrigeración se coloca un vaporizador [Ilustración 68], por la cual saldrá el aire a presión. Esta manguera va unida a un conjunto donde tiene las válvulas de entrada, en este caso dos. Siendo esto así una se puede conectar a la fuente de aire a presión. La otra se podría utilizar para crear la refrigeración por neblina. Esto se basa en utilizar una cantidad muy pequeña de lubricante. La válvula tendría colocado un tubo la cual va a un bote pequeño de taladrina y por el efecto Venturi que se crea por el aire a presión esta sería absorbida en cantidades muy reducidas, mezclándose con el aire, creando el efecto neblina y mejorando la refrigeración, a la vez que obteniendo una mínima lubricación. El vaporizador se atornilla en la placa final [Ilustración 69].



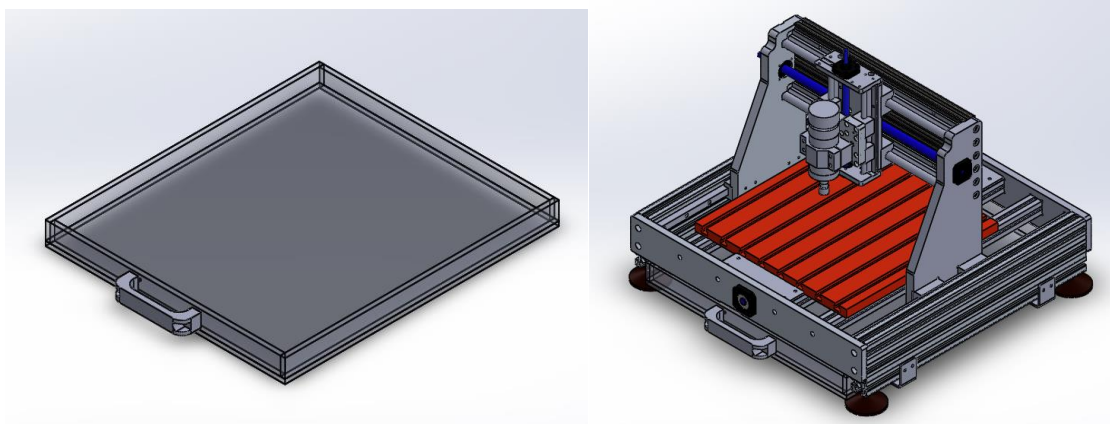
*Ilustración 68: Vaporizador*



*Ilustración 69: Colocación del vaporizador*

## 6.5. Sistema de limpieza

Como ya se mencionó en la fase preliminar, se quiere colocar una bandeja para recoger las virutas del mecanizado, que ira colocado debajo de la mesa [Ilustración 70]. Se decide hacer esta de policarbonato, al no necesitar mucha rigidez y para aligerar el peso. Para poder colocarla justo debajo de la mesa, esta se apoyará en unos soportes que irán atornillados a los perfiles de aluminio laterales. Además de ello, dispondrá la bandeja de una manilla, para facilitar su extracción.



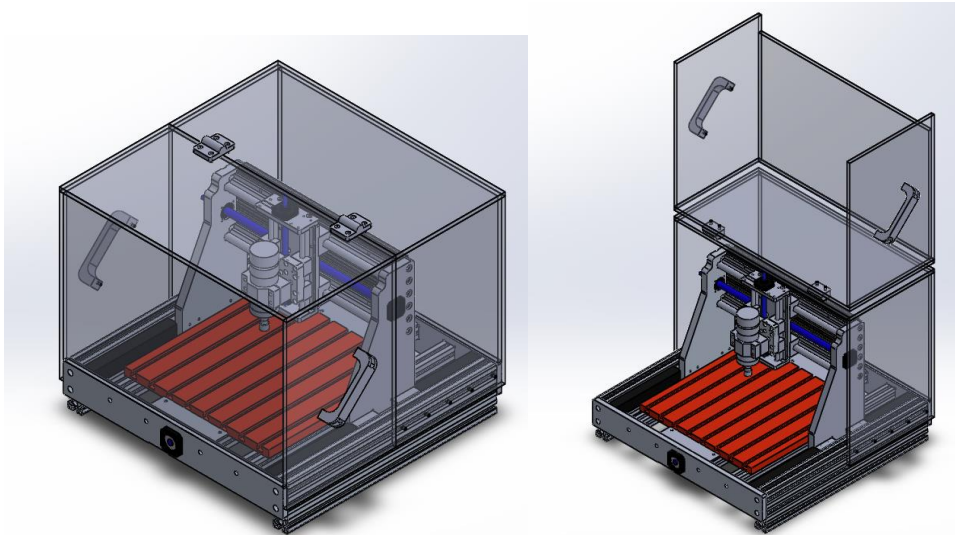
*Ilustración 70: Bandeja en montaje*



## 6.6. Seguridad

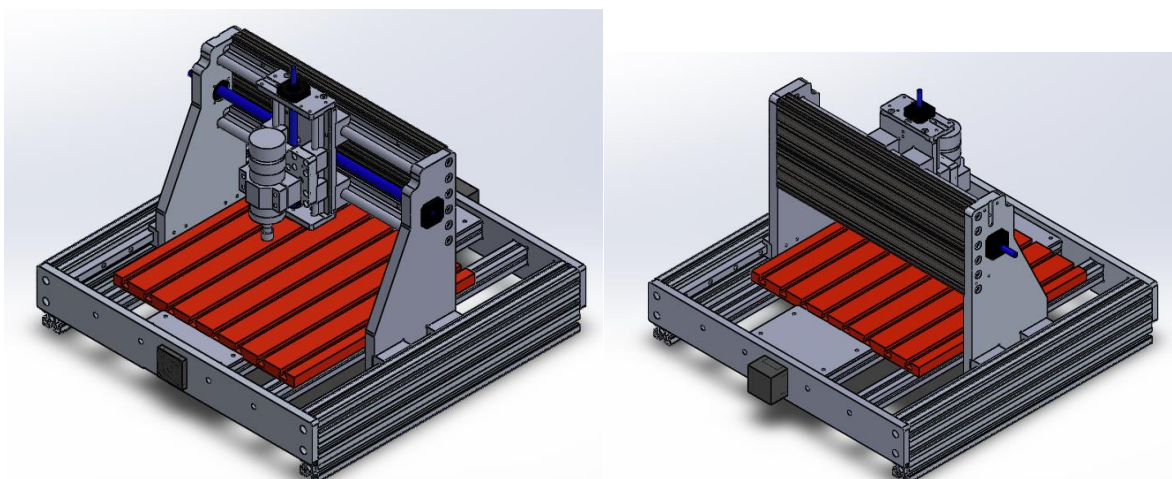
### 6.6.1. Pantallas de protección y puerta

Se decide cambiar el diseño anterior al considerar que no hace falta colocar perfiles de aluminio para unir las placas de policarbonato. Se harán dos bloques, la delantera y la trasera. Se pretende atornillar las placas laterales traseras a los perfiles de aluminio en la parte inferior. Las demás placas del bloque estarán pegadas entre ellas con pegamento. Los dos bloques se unirán con dos bisagras, la cual permitirá abrir la protección, moviendo el bloque delantero encima del bloque trasero. Para facilitar esto se colocarán además dos manillas, una en cada placa lateral del bloque delantero [Ilustración 71].



*Ilustración 71: Pantallas de protección*

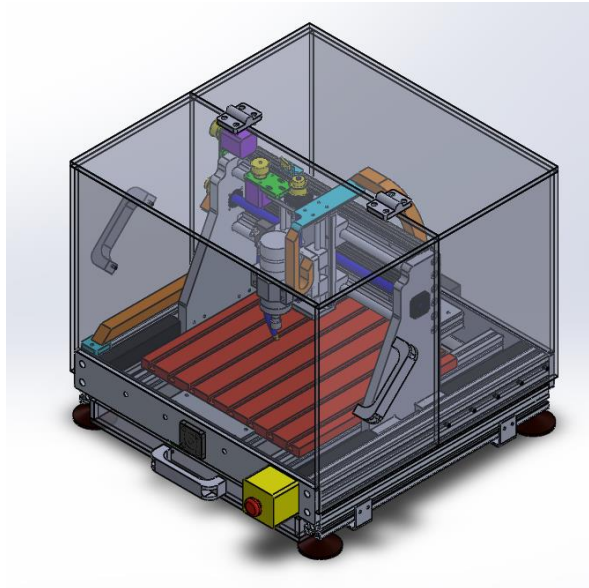
Por último, como protección se decide cubrir los soportes del husillo con cajas de plástico [Ilustración 72], ya que al estar estas en la parte exterior, las placas de protección no protegen del giro del husillo.



*Ilustración 72: Tapas de los soportes*

### 6.6.2. Seta de emergencia

Por último, se coloca la seta de emergencia, para realizar una rápida parada de la máquina en caso de seguridad. Se posiciona en la parte frontal, atornillándolo a la placa frontal, en la parte derecha [Ilustración 73].



*Ilustración 73: Seta de emergencia*

## 6.7. Esquema de accionamiento y control de maquina

### 6.7.1 Componentes electrónicos

Algunos de los componentes electrónicos que hacen que sea posible el control de la maquina ya se han mencionado, pero otras no. A continuación, se expondrán todos.

#### Arduino Uno

Como se comentó anteriormente el proyecto se va a basar en el uso de un Arduino uno [Ilustración 74], es lo más económico y sencillo en estos casos.



Ilustración 74: Arduino Uno

Aparte del Arduino Uno, se va a necesitar los siguientes elementos:

#### CNC Shield

Esta placa [Ilustración 75], por sí sola no hace realmente nada, pero reduce enormemente el tema de cablear las componentes.

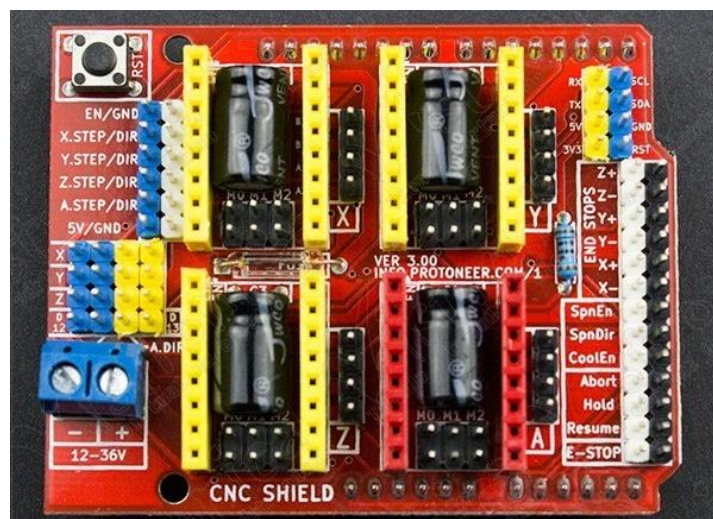
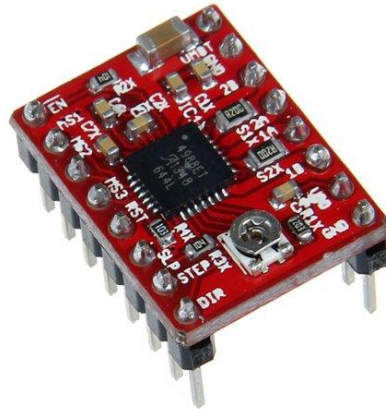


Ilustración 75: CNC Shield

### Drivers A4988

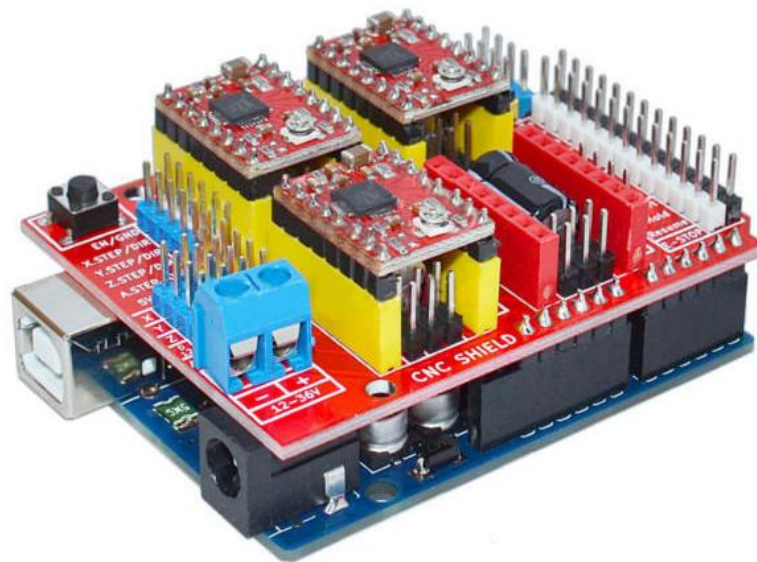
Se necesitará uno por motor. El Arduino les dice a estos drivers [Ilustración 76] que es lo que tienen que hacer los motores y estos se encargan de suministrar corriente a las 2 bobinas de cada motor, para que éstos se muevan con la orden del Arduino. Estos drivers llevan un pequeño potenciómetro para configurar la cantidad de corriente que transmiten a los motores.



*Ilustración 76: Driver A4988*

### Conjunto Arduino, CNC Shield y drivers

Los tres componentes mencionados anteriormente se montarían de la siguiente manera [Ilustración 77]:

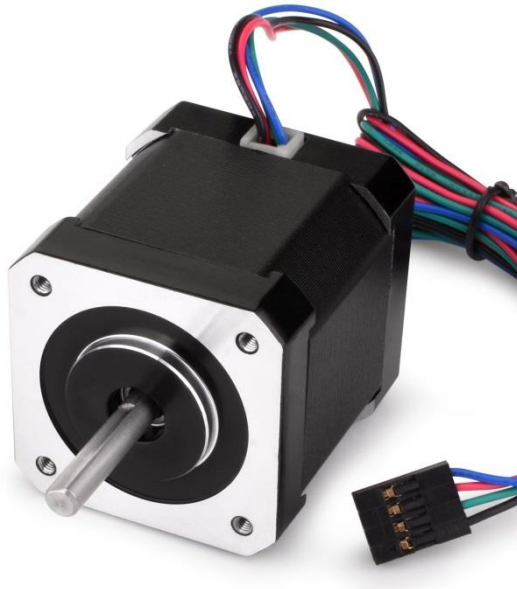


*Ilustración 77: Montaje Arduino, CNC Shield y drivers*

### Motores Nema 17 0,59Nm

Los motores nema 17 [Ilustración 78] son motores paso a paso, que pueden girar en fracciones de vuelta, la precisión dependerá del número de pasos del motor, por lo general son 200 pasos, pasos de 1,8 grados. El otro dato importante es la corriente del motor, 1,7 amperios. Los drivers vienen condicionados por esto, ya que los drivers tienen un límite de corriente que pueden suministrar.





*Ilustración 78: Nema 17*

### Motor spindle de 500 W

Como ya se dijo anteriormente el motor de fresado [Ilustración 79] tiene que ser de 500W de potencia, necesitando una tensión de 48 V. Como la fresa más grande que se quiere utilizar es de 10 mm, se escoge un cabezal que se adecue a esto, siendo esta ER16.



*Ilustración 79: Motor spindle 500 W*

### NVBDH+

Para controlar el motor de fresado se selecciona un driver distinto a los demás [Ilustración 80]. Esta además cuenta con una pantalla extraíble, que se puede colocar donde se desee, para controlar la velocidad de giro de la fresa, como su marcha y paro. En la pantalla también se puede observar la velocidad de giro del motor.



Ilustración 80: Driver NVBDH+

### Fuente de Alimentación

Se va a necesitar una fuente de alimentación de 24v para la CNC Shield y otra de 48v para el motor de fresado [Ilustración 81].



Ilustración 81: Fuente de alimentación

### Finales de carrera

Para tener un mejor control de la fresadora se colocan tres finales de carrera [Ilustración 82].

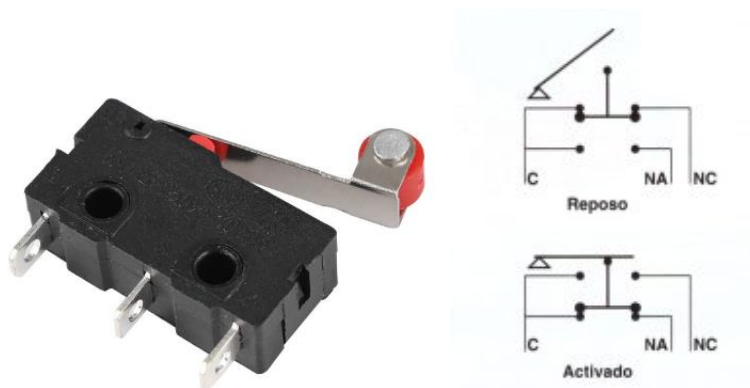


Ilustración 82: Final de carrera

Como salida tiene tres cables, pero usando solo dos de ellos es suficiente.

#### Botón de parada de emergencia

Para poder parar la fresadora en caso de problema se coloca un botón de parada de emergencia [Ilustración 83].



*Ilustración 83: Botón parada de emergencia*

#### Colocación de los componentes

Todos los componentes salvo el botón de parada de emergencia se colocarán en una caja, no se ha definido esta caja para poder dejar la libertad de seleccionar el que desee cada uno.

#### **6.7.2. Esquemas eléctricos**

A continuación, se muestran los esquemas eléctricos, que son dos, ya que no comparten la fuente de alimentación:



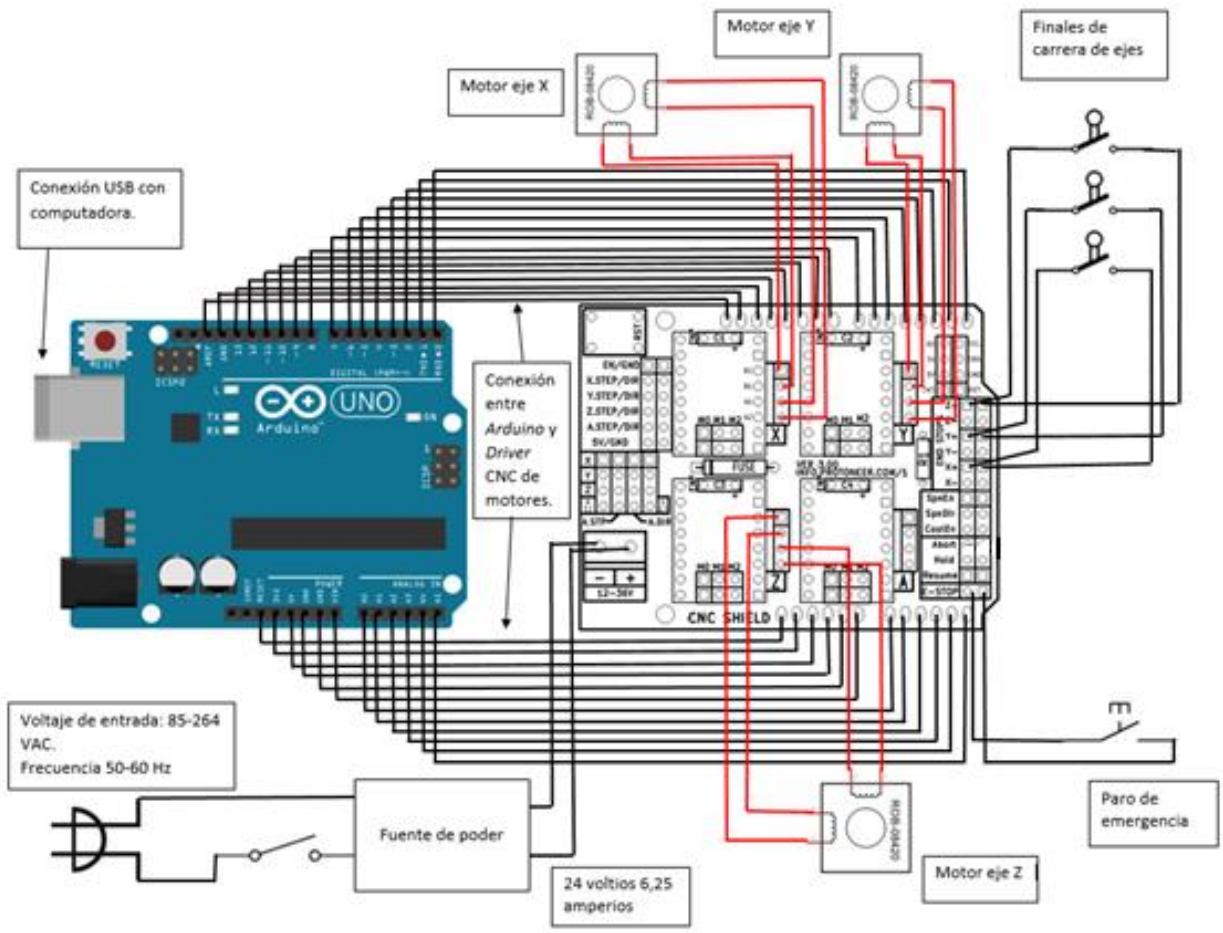


Ilustración 84: Esquema eléctrico del arduino

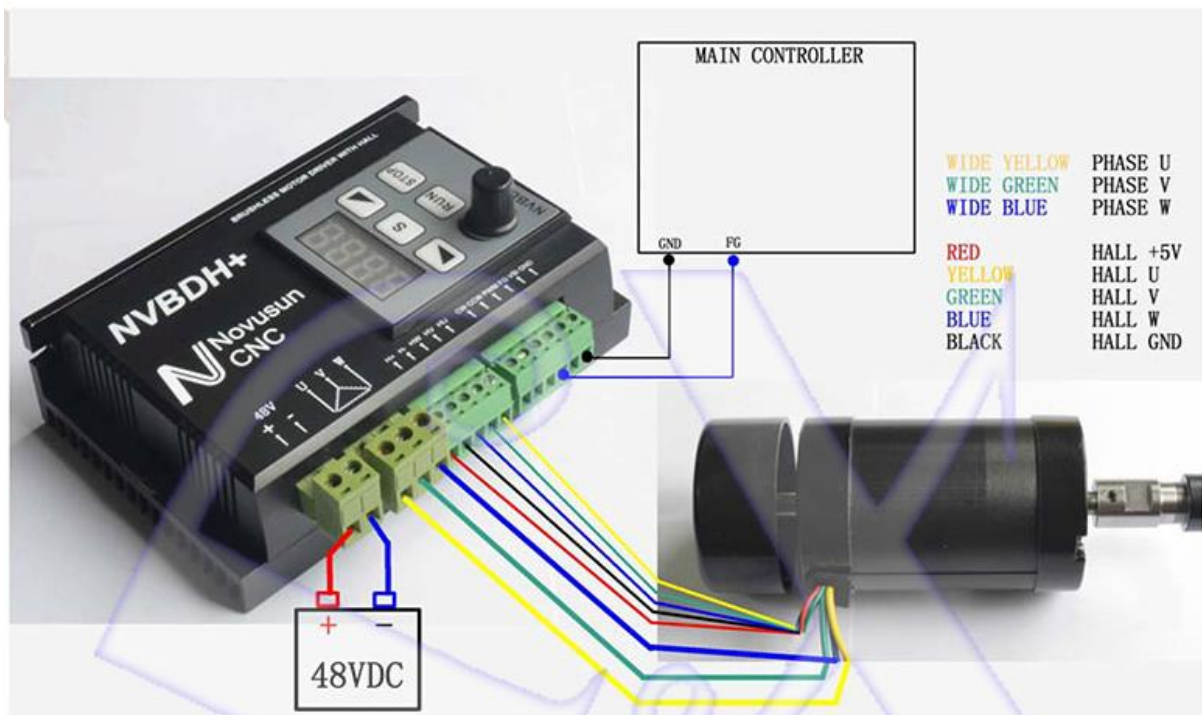


Ilustración 85: Esquema eléctrico del motor de fresado

### 6.7.3. Programación

Para que todo funcione correctamente solo faltaría la parte de programación:

#### Instalación de Firmware en Arduino

Se necesita instalar un firmware en el arduino, un programa informático que establece la lógica para controlar circuitos electrónicos. En este caso el que se va a utilizar es el GRBL, que es libre, fácil de descargar y fácil de utilizar.

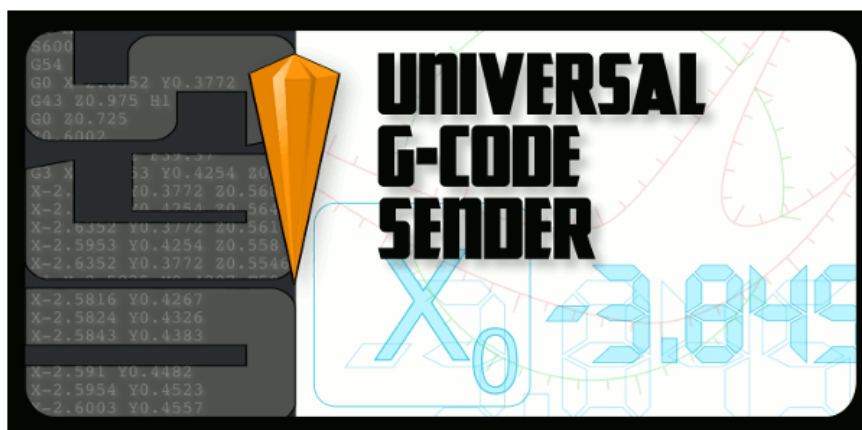


*Ilustración 86: Logo del Firmware GRBL*

#### Instalación de Software en el PC

Como toda máquina, necesita un software que la controle o que le diga que es lo que tiene que hacer.

En esta ocasión, se va a usar **Universal G-code Sender**, que es un software libre y por sus características ideal para iniciarse en el mundo de las CNC. Es sencillo de usar y además completamente compatible con el firmware GRBL.



*Ilustración 87: Logo del software Universal G-Code Sender*

En internet hay varios tutoriales de como instalar y configurar el firmware y software.

## 6.VIABILIDAD ECONÓMICA

En el PRESUPUESTO ECONÓMICO se ha hecho el listado de los componentes de la fresadora, indicando cantidad y precios.

Se observa que el coste de los componentes es de 1665 €, mucho mayor de lo que se esperaba. Se había propuesto conseguir una fresadora que valiese menos de 1000 € y casi sea duplicado ese valor. Teniendo esto en cuenta se puede pensar que el precio de mercado final puede rondar los 2000 €, al tener en cuenta el trabajo realizado para su diseño y en tener beneficios. Se ve que no se hizo una buena estimación en cuanto al precio. Una de las posibilidades sería rediseñar la máquina, para lograr que esta fuese más barata, por ejemplo, reduciendo el área de mecanizado. Pero, aunque esto sea así, el diseño del presente proyecto también podría funcionar.

2000 € puede parecer mucho, ya que hay opciones más baratas en el mercado, pero no todas ellas son capaces de mecanizar aluminio, ni tampoco disponen de una opción de refrigeración/lubricación, limpieza o protecciones. Además de ello, el volumen de las piezas que puede mecanizar no es nada despreciable, con un área de 300mmx300mm y una altura de 100 mm, lo cual es más de lo que muchas de las fresadoras de este tamaño ofrecen. No es tan precisa como las que hay en el mercado, pero al no estar orientado para un ámbito profesional la precisión que ofrece no es tan crítica.

## 7. CONCLUSIONES

Como conclusión hay que destacar que no se han obtenido todos los objetivos marcados al principio, pero que aun así se piensa que se ha hecho un gran trabajo, dedicándole muchas horas. El proyecto ha servido para hacer ver lo difícil y laborioso que es el diseño de una máquina herramienta. El reto principal es el de conseguir una buena precisión y precio, ya que hay muchas variables que influyen en ella. Se ha intentado conseguir la mejor precisión posible no gastando mucho dinero, pero al final los costes han superado lo previsto. Aun así, se cree que se ha conseguido una estructura atractiva, implementando además aspectos que muchas de las fresadoras del mercado no tienen: sistema de limpieza, sistema de refrigeración y pantallas de protección.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Fresadoras caseras:

[https://www.youtube.com/watch?v=7bMvZPiLP\\_U&list=PL2\\_HQm7IFtrB0xTH3spaj3U-HiqNkpF56](https://www.youtube.com/watch?v=7bMvZPiLP_U&list=PL2_HQm7IFtrB0xTH3spaj3U-HiqNkpF56)

<https://www.ikkaro.com/como-hacer-fresadora-cnc-casera/>

Fresadoras comerciales:

<https://fresadoras.org/fresadora-cnc/>

<https://m.all3dp.com/es/1/mejor-maquina-cnc-kits/>

STEPCRAFT 420:

<https://www.fresadoras-cnc-mnova.com/fresadora-cnc-entry.html>

HIGH-Z:

<http://www.fresadoras-cnc.com/tienda/fresadoras/fresadora-high-z/>

ROLAND:

<https://www.rolanddga.com/es/productos/3d>

Perfiles de aluminio:

<https://frs-cnc.com/ferreteria/perfileria/42/perfiles-de-aluminio>

Husillos, mecanizado de husillo y tuercas:

<https://cnc-robotica.com/es/63-husillos-tuercas-de-bola>

Placas de aluminio:

<https://www.randrade.com/>

Portatuercas:

<https://cnc-robotica.com/es/65-tuercas>

Guías lineales y patines

<https://cnc-robotica.com/es/36-guias-lineales>

[https://es.aliexpress.com/item/33059586796.html?spm=a219c.search0302.3.2.47ef4d98u63urC&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_0,searchweb201603\\_0,ppcSwitch\\_0&algo\\_pvid=ebb69a74-34b7-4661-8b35-d0ea8d58650b&algo\\_expid=ebb69a74-34b7-4661-8b35-d0ea8d58650b-0](https://es.aliexpress.com/item/33059586796.html?spm=a219c.search0302.3.2.47ef4d98u63urC&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0,ppcSwitch_0&algo_pvid=ebb69a74-34b7-4661-8b35-d0ea8d58650b&algo_expid=ebb69a74-34b7-4661-8b35-d0ea8d58650b-0)

Soportes para husillos:

[https://es.aliexpress.com/item/32853619040.html?spm=a219c.search0302.3.2.392d1436Dn2qwk&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_0,searchweb201603\\_0,ppcSwitch\\_0&algo\\_pvid=ff72763a-755b-478f-beac-434ee8c1d8a3&algo\\_expid=ff72763a-755b-478f-beac-434ee8c1d8a3-0](https://es.aliexpress.com/item/32853619040.html?spm=a219c.search0302.3.2.392d1436Dn2qwk&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0,ppcSwitch_0&algo_pvid=ff72763a-755b-478f-beac-434ee8c1d8a3&algo_expid=ff72763a-755b-478f-beac-434ee8c1d8a3-0)

Motores paso a paso:

[https://www.amazon.es/Paquete-motores-craftsman168-conector-impresora/dp/B07HGW6L6V/ref=sr\\_1\\_10?keywords=Nema+17+Stepper+Motor&qid=1581652325&sr=8-10](https://www.amazon.es/Paquete-motores-craftsman168-conector-impresora/dp/B07HGW6L6V/ref=sr_1_10?keywords=Nema+17+Stepper+Motor&qid=1581652325&sr=8-10)

Motor de fresado:

<https://es.aliexpress.com/i/32861337089.html?spm=a219c.12057483.0.0.10aa254a0Z9nwJ>

Poleas:

[https://es.aliexpress.com/item/32955558935.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4cf54a12l2Nh4J&algo\\_pvid=2b453f49-840b-4dbe-b78d-3c41794bcc1c&algo\\_expid=2b453f49-840b-4dbe-b78d-3c41794bcc1c-38&btsid=0b0a0ac215816528910466981e6841&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603](https://es.aliexpress.com/item/32955558935.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4cf54a12l2Nh4J&algo_pvid=2b453f49-840b-4dbe-b78d-3c41794bcc1c&algo_expid=2b453f49-840b-4dbe-b78d-3c41794bcc1c-38&btsid=0b0a0ac215816528910466981e6841&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603)

Correas:

[https://es.aliexpress.com/item/32251695539.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1e204060sTNFBp&algo\\_pvid=add13abc-8089-4069-82c8-4a78f734ae79&algo\\_expid=add13abc-8089-4069-82c8-4a78f734ae79-3&btsid=0b0a182b15816530791251825e970a&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603](https://es.aliexpress.com/item/32251695539.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1e204060sTNFBp&algo_pvid=add13abc-8089-4069-82c8-4a78f734ae79&algo_expid=add13abc-8089-4069-82c8-4a78f734ae79-3&btsid=0b0a182b15816530791251825e970a&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603)

Arduino:

<https://www.amazon.es/Arduino-UNO-A000066-microcontrolador-ATmega328/dp/B008GRTSV6>

Driver de motor paso a paso:

[https://es.aliexpress.com/item/33009701071.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4ab09b27ax0Wdx&s=p&algo\\_pvid=53cd453a-5cee-42ac-99ed-47058406eb5a&algo\\_expid=53cd453a-5cee-42ac-99ed-47058406eb5a-1&btsid=0b0a119a15816534365787689e61a4&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603](https://es.aliexpress.com/item/33009701071.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4ab09b27ax0Wdx&s=p&algo_pvid=53cd453a-5cee-42ac-99ed-47058406eb5a&algo_expid=53cd453a-5cee-42ac-99ed-47058406eb5a-1&btsid=0b0a119a15816534365787689e61a4&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603)

CNC Shield:

[https://www.amazon.es/AZDelivery-Development-Conductor-Stepper-impresoras/dp/B07CZDC9TZ/ref=sr\\_1\\_6?\\_mk\\_es\\_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=cnc+shield&qid=1581653539&sr=8-6](https://www.amazon.es/AZDelivery-Development-Conductor-Stepper-impresoras/dp/B07CZDC9TZ/ref=sr_1_6?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=cnc+shield&qid=1581653539&sr=8-6)

Finales de carrera:

[https://www.amazon.es/Micro-Pulsador-Final-carrera-Palanca/dp/B06XRMVTV8/ref=sr\\_1\\_3?\\_mk\\_es\\_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=finales+de+carrera&qid=1581653857&sr=8-3](https://www.amazon.es/Micro-Pulsador-Final-carrera-Palanca/dp/B06XRMVTV8/ref=sr_1_3?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=finales+de+carrera&qid=1581653857&sr=8-3)

Fuentes de alimentación:

<https://cnc-robotica.com/es/27-fuentes-de-alimentacion>



Placas de policarbonato:

<https://www.polimertecnic.com/policarbonato-en-placas/policarbonato-antiabrasion-moldeable/>

Bisagras:

[https://es.aliexpress.com/item/32799231174.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.42c16063EZD0Ot&algo\\_pvid=a8f9a538-e837-4a00-a0a4-fd12f8a612c3&algo\\_expid=a8f9a538-e837-4a00-a0a4-fd12f8a612c3-9&btsid=0b0a050b15815268804608287e67f7&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_2,searchweb201603](https://es.aliexpress.com/item/32799231174.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.42c16063EZD0Ot&algo_pvid=a8f9a538-e837-4a00-a0a4-fd12f8a612c3&algo_expid=a8f9a538-e837-4a00-a0a4-fd12f8a612c3-9&btsid=0b0a050b15815268804608287e67f7&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_2,searchweb201603)

Manilla:

[https://es.aliexpress.com/item/33008767685.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.33df5fdbTSkDdQ&algo\\_pvid=d9889ede-84f7-42d1-a714-d1c76c3e9c1b&algo\\_expid=d9889ede-84f7-42d1-a714-d1c76c3e9c1b-35&btsid=0b0a187915815297227772120e39de&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_2,searchweb201603](https://es.aliexpress.com/item/33008767685.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.33df5fdbTSkDdQ&algo_pvid=d9889ede-84f7-42d1-a714-d1c76c3e9c1b&algo_expid=d9889ede-84f7-42d1-a714-d1c76c3e9c1b-35&btsid=0b0a187915815297227772120e39de&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_2,searchweb201603)

Pies de apoyo:

[https://es.aliexpress.com/item/4000186811542.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.31ed4c1ft3lACc&algo\\_pvid=3d753d36-2385-4d13-8e36-a7e97f2df8aa&algo\\_expid=3d753d36-2385-4d13-8e36-a7e97f2df8aa-35&btsid=0b0a119a15815346991707241ef429&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_2,searchweb201603](https://es.aliexpress.com/item/4000186811542.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.31ed4c1ft3lACc&algo_pvid=3d753d36-2385-4d13-8e36-a7e97f2df8aa&algo_expid=3d753d36-2385-4d13-8e36-a7e97f2df8aa-35&btsid=0b0a119a15815346991707241ef429&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_2,searchweb201603)

Pinzas:

[https://www.amazon.es/resorte-m%C3%A1quinas-grabado-portaherramientas-craftsman168/dp/B07FTD9Y3X/ref=pd\\_sim\\_60\\_2/257-4250550-4176939?encoding=UTF8&pd\\_rd\\_i=B07FTD9Y3X&pd\\_rd\\_r=fc326b92-0e8e-4e4d-b8a5-ac87ed9b540a&pd\\_rd\\_w=c84f7&pd\\_rd\\_wq=TXi6y&pf\\_rd\\_p=e971ce04-d90c-4214-927d-505c2dcf7344&pf\\_rd\\_r=HXR7CBX9TVG8C3BCBJNA&pvc=1&refRID=HXR7CBX9TVG8C3BCBJNA](https://www.amazon.es/resorte-m%C3%A1quinas-grabado-portaherramientas-craftsman168/dp/B07FTD9Y3X/ref=pd_sim_60_2/257-4250550-4176939?encoding=UTF8&pd_rd_i=B07FTD9Y3X&pd_rd_r=fc326b92-0e8e-4e4d-b8a5-ac87ed9b540a&pd_rd_w=c84f7&pd_rd_wq=TXi6y&pf_rd_p=e971ce04-d90c-4214-927d-505c2dcf7344&pf_rd_r=HXR7CBX9TVG8C3BCBJNA&pvc=1&refRID=HXR7CBX9TVG8C3BCBJNA)

Driver del motor de fresado:

[https://es.aliexpress.com/item/32850551517.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3ee570d46fLXv1&algo\\_pvid=2f3a7b96-0478-4397-a49f-a9c289edb1d1&algo\\_expid=2f3a7b96-0478-4397-a49f-a9c289edb1d1-0&btsid=420c3800-fdc5-4b21-9be3-363e1cd9c442&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_7,searchweb201603\\_53](https://es.aliexpress.com/item/32850551517.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3ee570d46fLXv1&algo_pvid=2f3a7b96-0478-4397-a49f-a9c289edb1d1&algo_expid=2f3a7b96-0478-4397-a49f-a9c289edb1d1-0&btsid=420c3800-fdc5-4b21-9be3-363e1cd9c442&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_7,searchweb201603_53)

Abrazadera:

<https://www.aliexpress.com/i/32890454428.html>

Mesa:

<https://www.worldofclamping.com/T-slot-plate-4040>

Fuelle:

<https://es.aliexpress.com/item/32622818825.html>

Portacables:

[https://www.igus.es/iPro/iPro\\_01\\_0003\\_0011\\_ESes.htm?c=ES&l=es](https://www.igus.es/iPro/iPro_01_0003_0011_ESes.htm?c=ES&l=es)

[https://www.igus.es/iPro/iPro\\_01\\_0020\\_0007\\_ESes.htm?c=ES&l=es](https://www.igus.es/iPro/iPro_01_0020_0007_ESes.htm?c=ES&l=es)

Refrigeración:

[https://es.aliexpress.com/item/32852708640.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.55a52005YtZ8DO&algo\\_pvid=0765eab3-cd67-4b5a-a7c6-5f546c4c83af&algo\\_expid=0765eab3-cd67-4b5a-a7c6-5f546c4c83af-1&btsid=0b0a050b15815145502934602e680c&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603](https://es.aliexpress.com/item/32852708640.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.55a52005YtZ8DO&algo_pvid=0765eab3-cd67-4b5a-a7c6-5f546c4c83af&algo_expid=0765eab3-cd67-4b5a-a7c6-5f546c4c83af-1&btsid=0b0a050b15815145502934602e680c&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603)

Seta de emergencia:

[https://www.amazon.es/GLOGLOW-Interruptor-Emergencia-Champiñón-Plástico/dp/B07GV68MLX/ref=sr\\_1\\_3\\_sspa?\\_mk\\_es\\_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=EJGLG944BEX1&keywords=parada+de+emergencia&qid=1581653909&srefix=parada+de+%2Caps%2C175&sr=8-3-spons&psc=1&smid=A2BQVM41SWSLKR&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUFYNVdQS05EWUwyNTMmZW5jcnlwdGVkSWQ9QTAwNTI5NzMyMk1KQVo4VEg1MIRWJmVuY3J5cHRlZEFkSWQ9QTA3NjA4NjdONEpJNkpTUEdRUkomd2lkZ2V0TmFtZT1zcF9hdGYmYWVN0aW9uPWNsaWNRUmVkaXJlY3QmZG9Ob3RMb2dDbGljaz10cnVl](https://www.amazon.es/GLOGLOW-Interruptor-Emergencia-Champiñón-Plástico/dp/B07GV68MLX/ref=sr_1_3_sspa?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=EJGLG944BEX1&keywords=parada+de+emergencia&qid=1581653909&srefix=parada+de+%2Caps%2C175&sr=8-3-spons&psc=1&smid=A2BQVM41SWSLKR&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUFYNVdQS05EWUwyNTMmZW5jcnlwdGVkSWQ9QTAwNTI5NzMyMk1KQVo4VEg1MIRWJmVuY3J5cHRlZEFkSWQ9QTA3NjA4NjdONEpJNkpTUEdRUkomd2lkZ2V0TmFtZT1zcF9hdGYmYWVN0aW9uPWNsaWNRUmVkaXJlY3QmZG9Ob3RMb2dDbGljaz10cnVl)

## 9. CÁLCULOS

### 9.1. Fuerzas de corte y potencia

#### OPERACIÓN DE PLANEADO

Material a Mecanizar		
Material		
kc1	700	N/mm <sup>2</sup>
mc	0,25	
Velocidades de corte recomendadas y parámetros herramienta		
Vc	80	m/min
sz	0,1	mm/diente
z	2	dientes
Dc	10	mm
Kappa	90	grados
Cálculo N		
N	2546	rpm
Cálculo s'		
s'	509	mm/min
Cálculo presión específica corte		
Definición parámetros corte		
aa	3	mm
ar	10	mm
φ	180	grados
Cálculo fuerzas de corte		
Ancho viruta (b)	3,00	mm
Sección viruta (A)	0,19	mm <sup>2</sup>
Zc	1,00	dientes
Fuerza corte (Fc)	266	N
Cálculo potencia consumida		
Rendimiento	0,85	
Potencia corte	355	W
Potencia cons	417	W
Cálculo		
espesor medio (hm)	0,064	mm
Presión específica	1394	N/mm <sup>2</sup>
Cálculo		
Fuerza normal	159,7	N
Fuerza total	310,4	N
Factor de Seguridad	1,5	
Fuerza con FS	465,6	N
Cálculo		
Factor de Seguridad	1,2	
Potencia con FS	501	W

Tabla 19: Calculo de fuerzas y potencia en planeado

## OPERACIÓN DE TALADRADO

Material a Mecanizar		
Material		
kc1	700	N/mm <sup>2</sup>
mc	0,25	
Velocidades de corte recomendadas y parámetros herramienta		
Vc	55	m/min
sz	0,125	mm/diente
z	2	dientes
Dc	5	mm
Kappa	59	grados
Cálculo N		
N	3501	rpm
Cálculo s'		
s'	875	mm/min
Cálculo presión específica corte		
Definición parámetros corte		
a	2,5	mm
Cálculo		
espesor viruta (t)	0,107	mm
Presión específica	1224	N/mm <sup>2</sup>
Cálculo fuerzas de corte		
Ancho viruta (b)	2,92	mm
Sección viruta (A)	0,313	mm <sup>2</sup>
Zc	2,00	dientes
Fuerza corte (Fc)	765	N
Par corte (Tc)	0,96	N·m
Cálculo potencia consumida		
Rendimiento	0,85	
Potencia corte	350	W
Potencia cons	412	W
Cálculo		
Factor de Seguridad	1,2	
Potencia con FS	494,79	W

Tabla 20: Cálculo de fuerzas y potencia en taladrado

## 9.2. Velocidad de giro y par del motor paso a paso

Operación de taladrado

Husillo		
Diámetro	12 mm	
Paso	4 mm	
Velocidad de avance	0,0145 m/s	
Fuerza	629,54 N	
Potencia	9,18 W	
Velocidad de giro	23 rad/s	219 RPM
Par del motor	0,40 Nm	

Tabla 21: Velocidad de giro y par movimiento vertical

Operación de planeado

Husillo		
Diámetro	16-20 mm	
Paso	5 mm	
Velocidad de avance	0,0085 m/s	
Fuerza	465,58 N	
Potencia	3,95 W	
Velocidad de giro	10,67 rad/s	102 RPM
Par del motor	0,37 Nm	

Tabla 22: Velocidad de giro y par movimiento transversal y longitudinal

## 9.3. Análisis estáticos preliminares

Para los cálculos de deformaciones el aluminio que se ha utilizado es la aleación 1060.

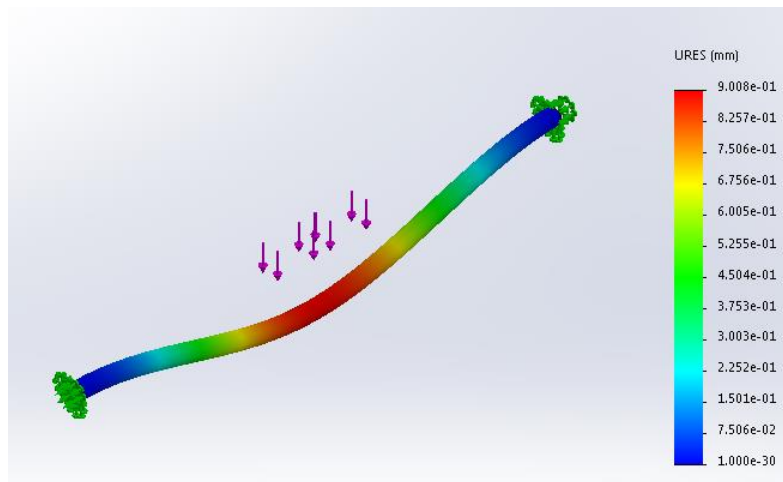
Property	Value	Units
Elastic Modulus	6.9e+10	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	2.7e+10	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	2700	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	68935600	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength		N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	27574200	N/m <sup>2</sup>

Ilustración 88: Aleación 1060

### 9.3.1. Barra de aluminio de 16 mm de diámetro

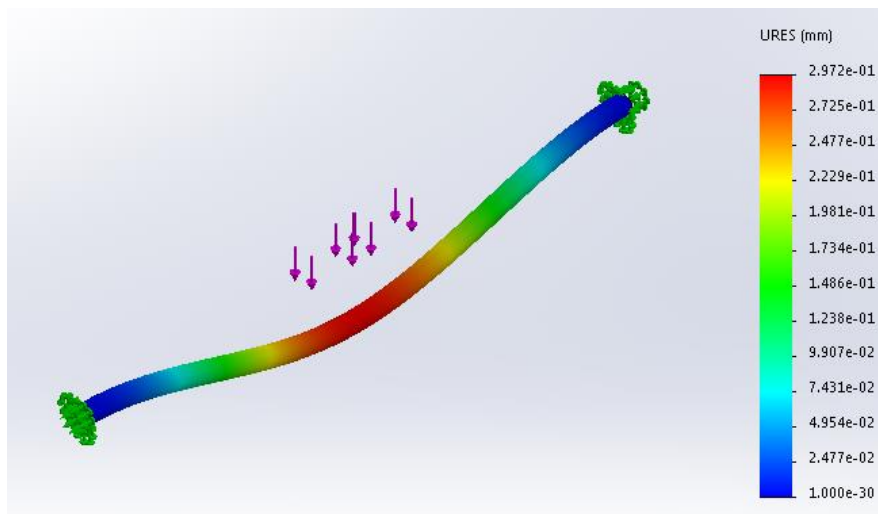
En estos análisis se aplica una fuerza de 315 N en una zona de 100 mm de largo en la parte central de la barra de 500 mm de largo.

### Aluminio 16 mm



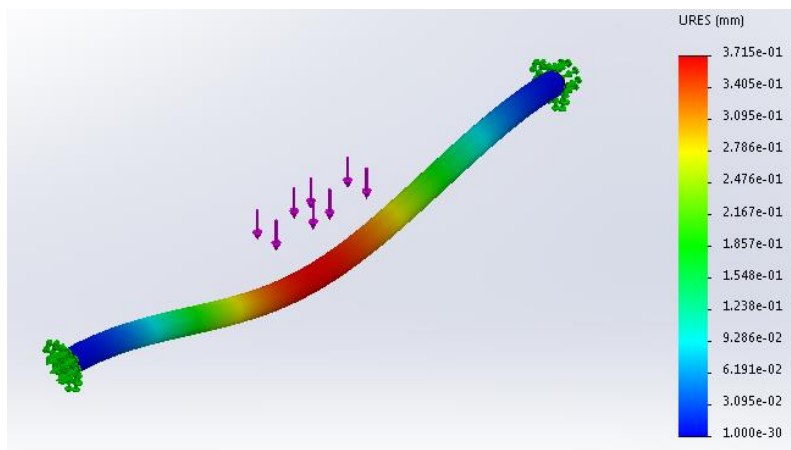
*Análisis estático 1: Barra de aluminio de 16 mm de diámetro*

### Acero 16 mm



*Análisis estático 2: Barra de acero de 16 mm de diámetro*

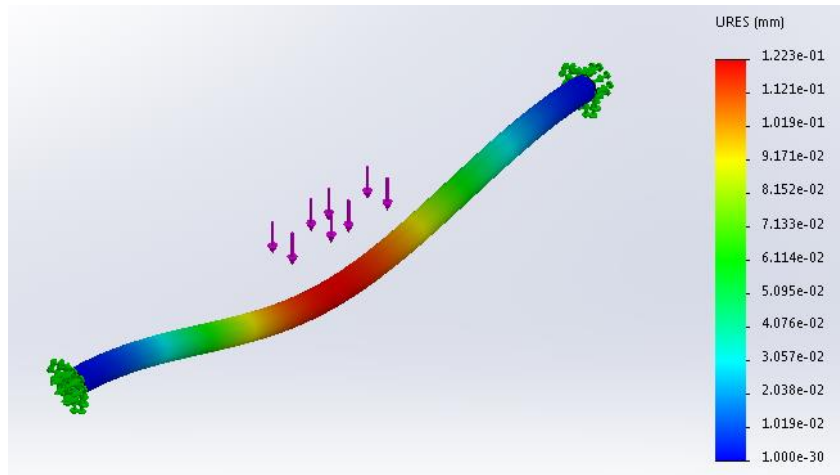
### Aluminio 20 mm



*Análisis estático 3: Barra de aluminio de 20 mm de diámetro*



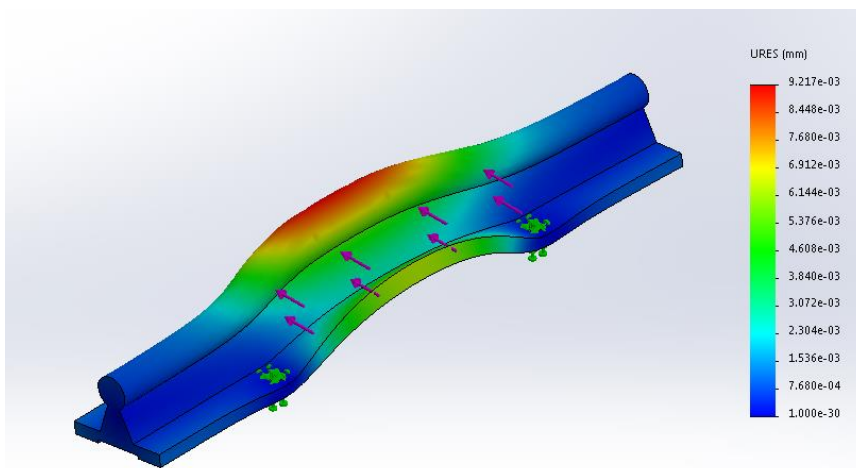
Acero 20 mm



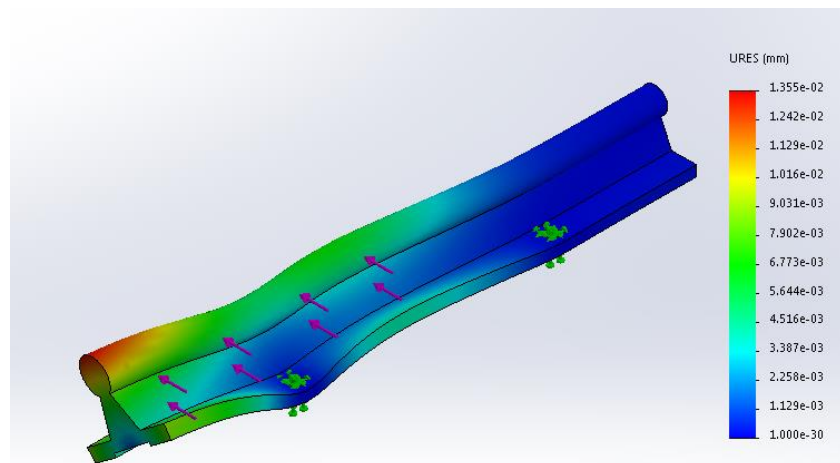
Análisis estático 4: Barra de acero de 20 mm de diámetro

### 9.3.2. Guía SBR10

En estos análisis se aplica una fuerza de 230 N en dos zonas de 40 mm de largo separados por 20 mm en la guía SBR10 de 200 mm de largo, primero en la parte central y después en un extremo.



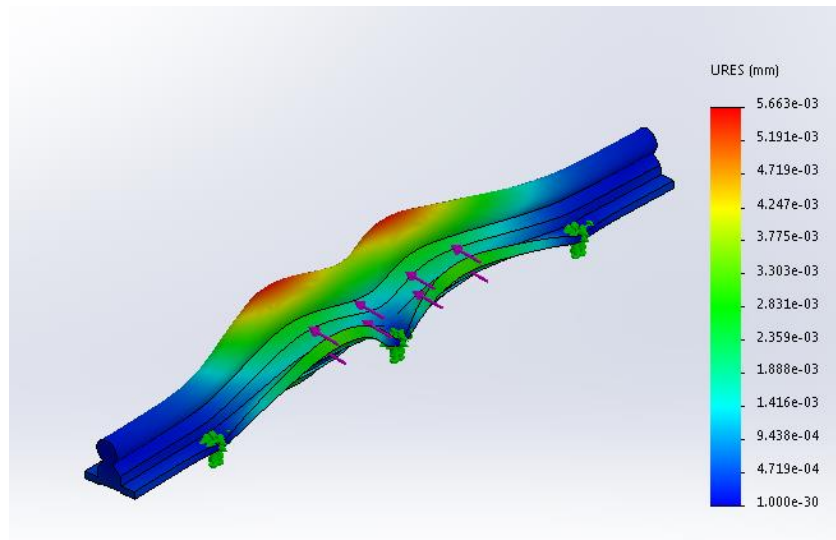
Análisis estático 5: Guía SBR10 fuerza central



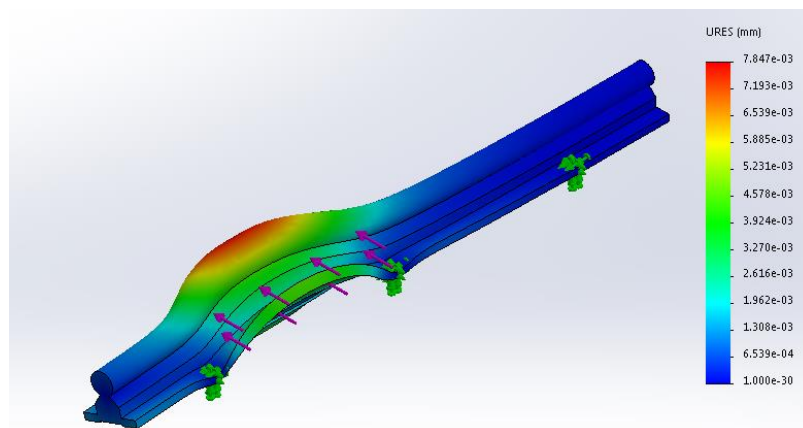
Análisis estático 6: Guía SBR10 fuerza lateral

### 9.3.3. Guía SBR16

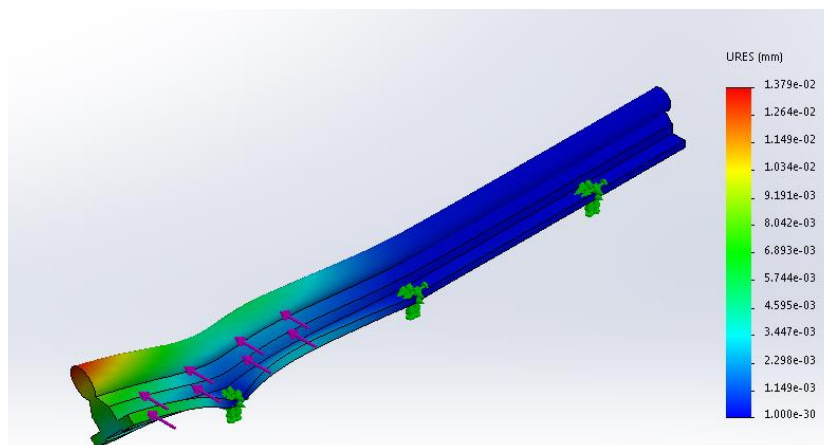
Se aplica una fuerza de 315 N en dos zonas de 40 mm de largo separados por 20 mm en una guía SBR16 de 400 mm de largo, primero en la parte central, segundo en una zona intermedia y por último en un extremo.



*Análisis estático 7: Guía SBR16 fuerza central*



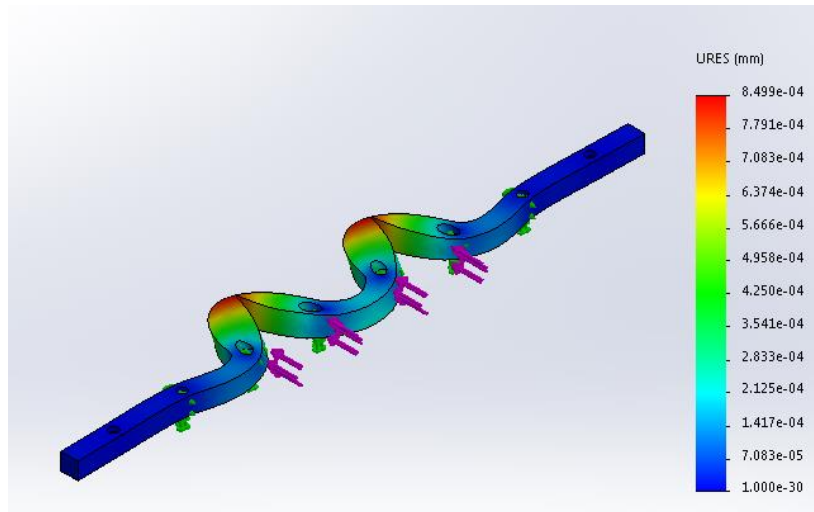
*Análisis estático 8: Guía SBR16 fuerza intermedia*



*Análisis estático 9: Guía SBR16 fuerza lateral*

### 9.3.4. Patín 15 mm de espesor

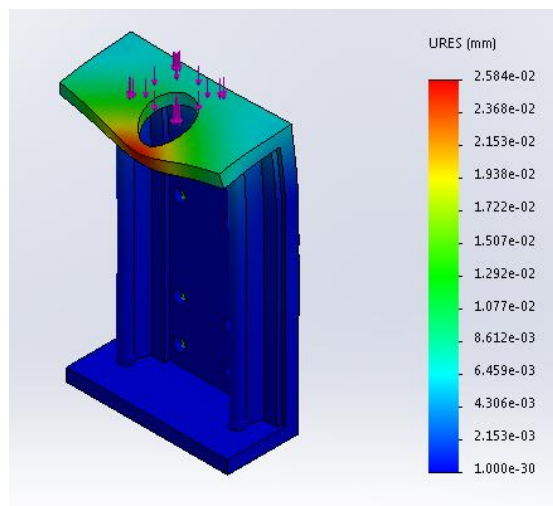
Se aplica una fuerza de 315 N en dos zonas de 40 mm de largo separados por 20 mm en una guía Hiwin 15 de 500 mm de largo.



Análisis estático 10: Carril 15 mm de espesor

### 9.3.5. Conjunto soporte de motor de fresado

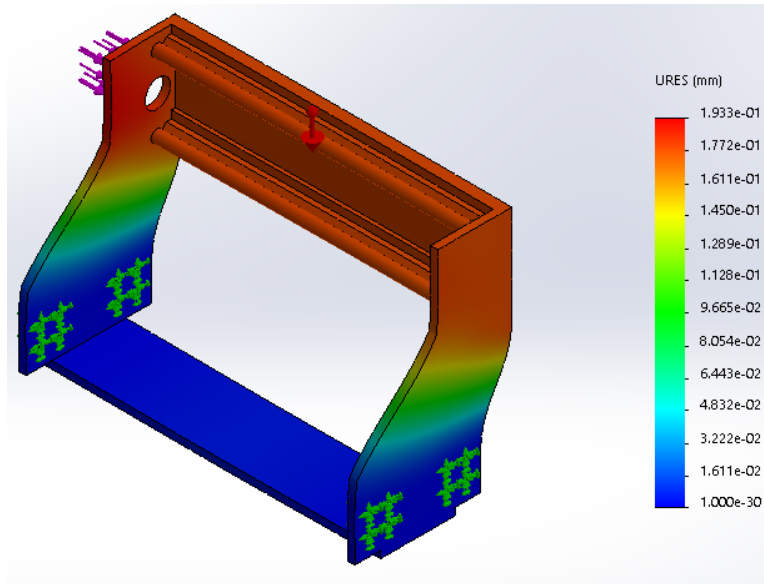
Se aplica una fuerza de 630 N en un área de 40mmx40mm teniendo como centro el agujero superior.



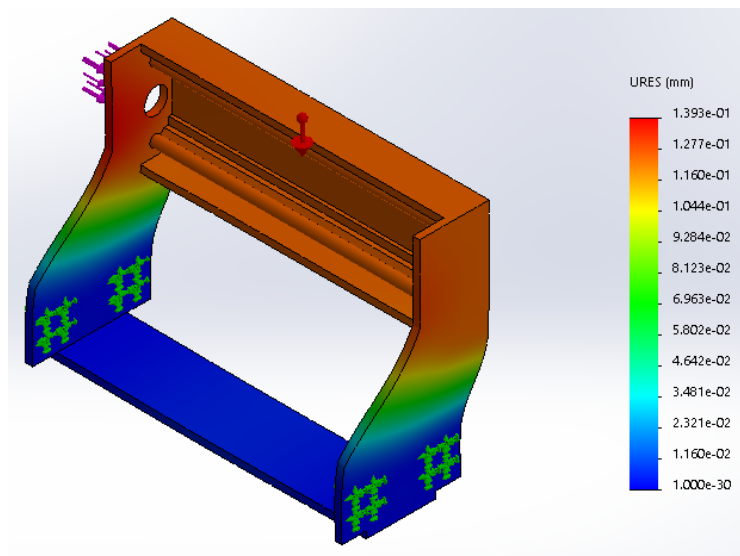
Análisis estático 11: Conjunto soporte motor de fresado

### 9.3.6. Conjunto puente

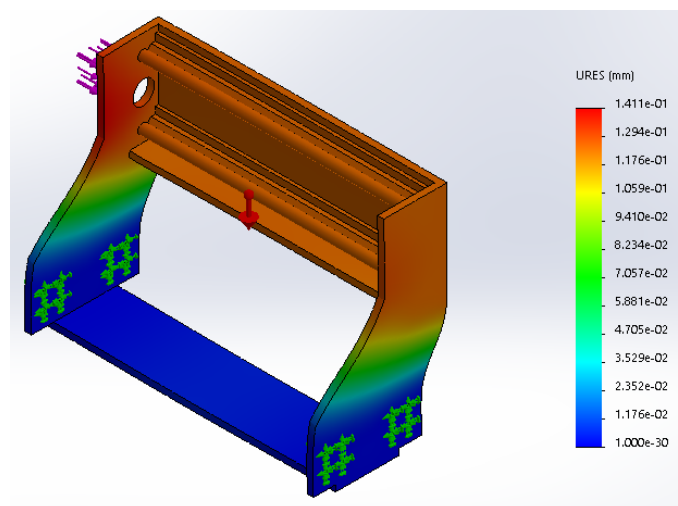
Se aplica una fuerza de 460 N en un área de 40mmx40mm teniendo como centro el agujero lateral. En todos los análisis la fuerza es la misma, solo cambia el diseño.



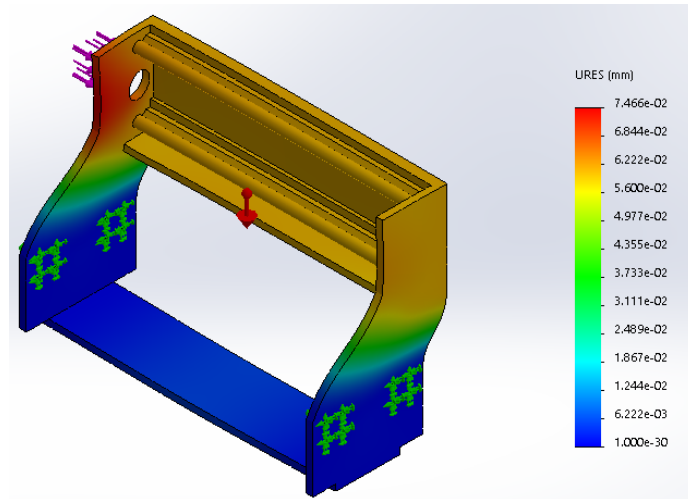
Análisis estático 12: Conjunto puente sin cambios



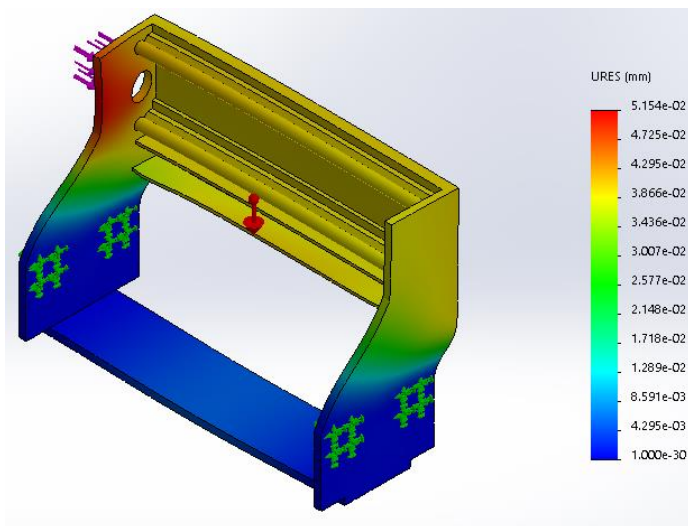
Análisis estático 13: Conjunto puente con dos pletinas



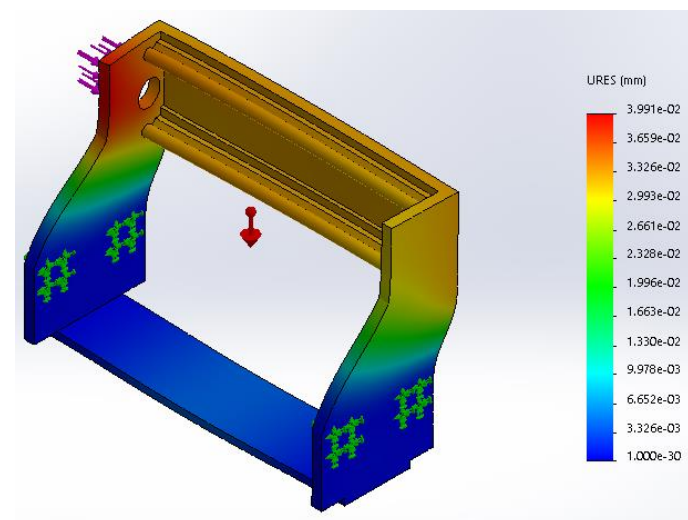
Análisis estático 14: Conjunto puente con pletina inferior



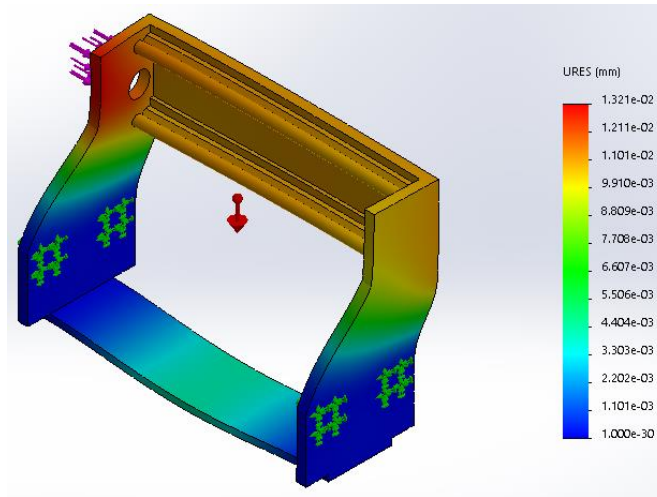
Análisis estático 15: Conjunto puente con pletina inferior y acercando los puntos de unión



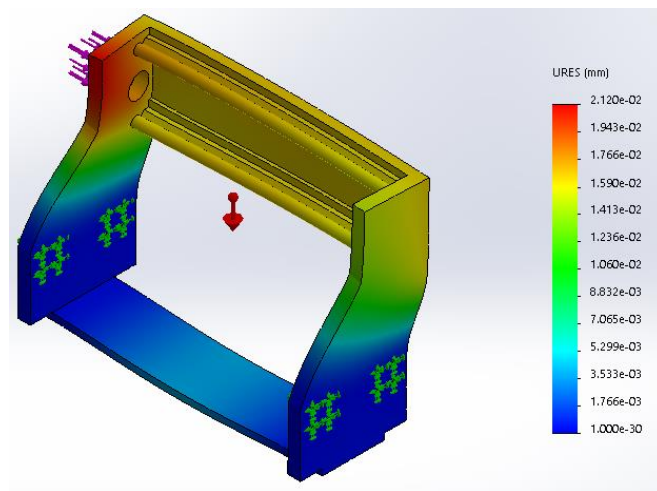
Análisis estático 16: Conjunto puente con perfil en U y acercando los puntos de unión



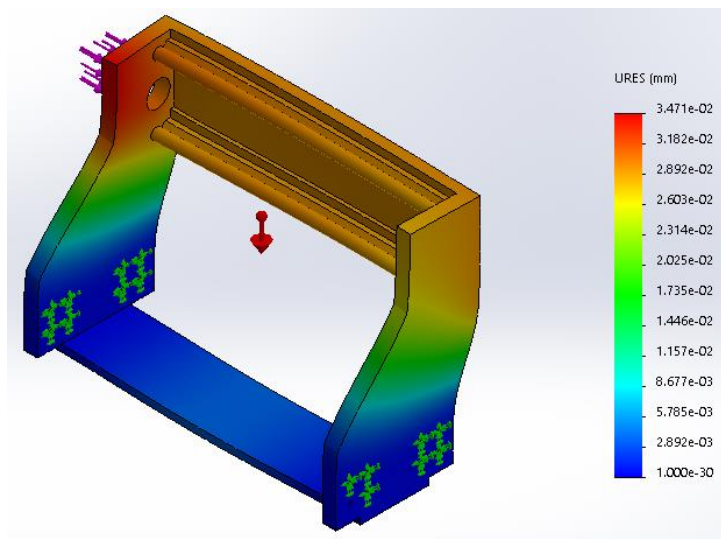
Análisis estático 17: Conjunto puente con placas laterales de 15 mm y acercando los puntos de unión



Análisis estático 18: Conjunto puente con placas laterales de acero de 15 mm y acercando los puntos de unión



Análisis estático 19: Conjunto puente con placas laterales de 20 mm y acercando los puntos de unión

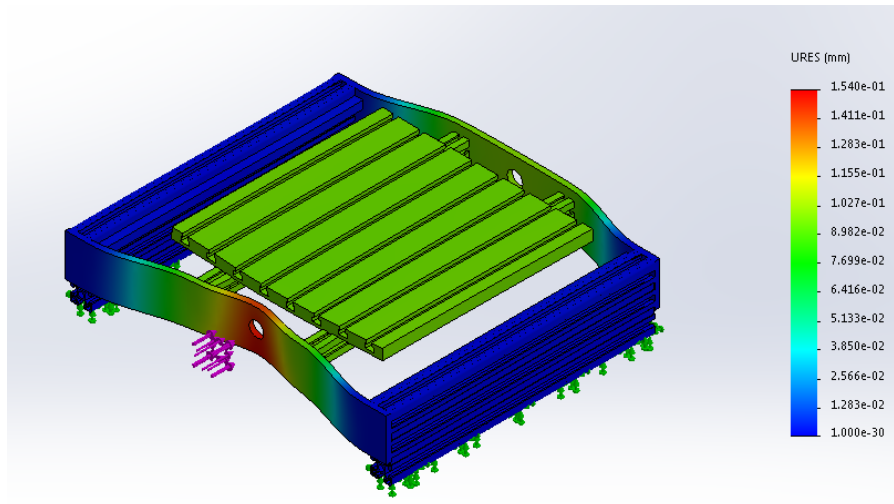


Análisis estático 20: Conjunto puente con placas laterales de 20 mm

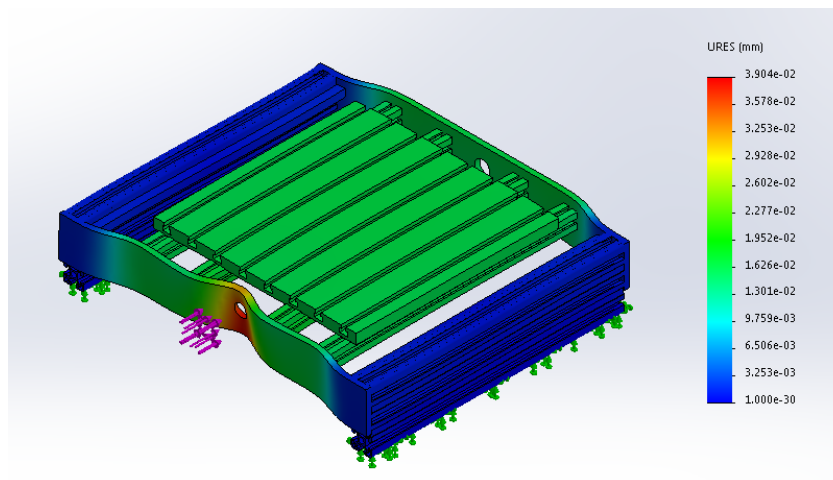


### 9.3.7. Conjunto base

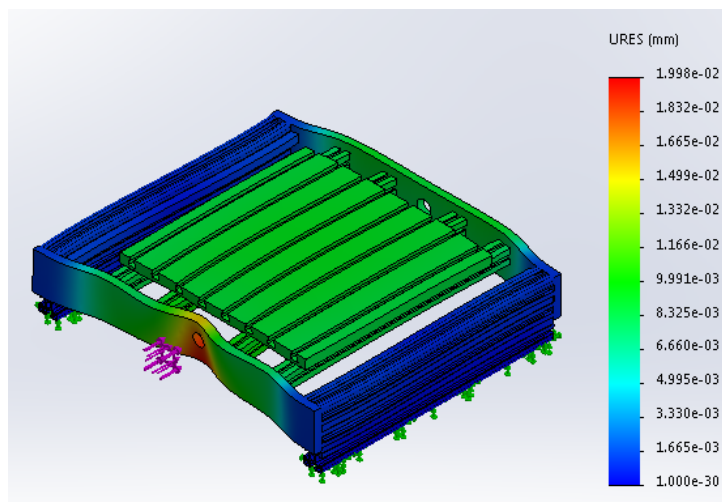
En esta parte se aplica una fuerza de 460 N en un área de 40mmx40mm teniendo como centro el agujero frontal. En todos los análisis la fuerza es la misma solo cambia el diseño.



Análisis estático 21: Conjunto base sin cambios



Análisis estático 22: Conjunto base con 4 perfiles centrales



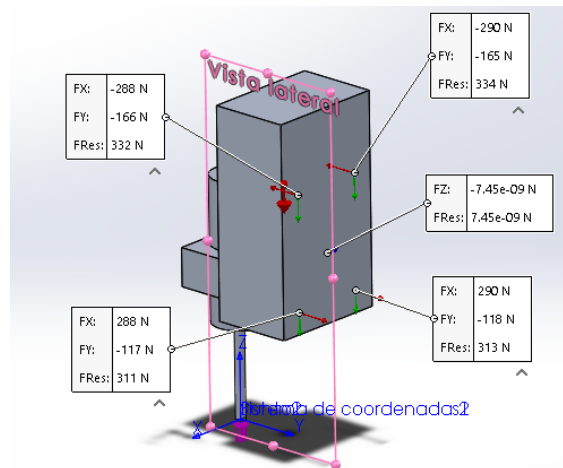
Análisis estático 23: Conjunto base con 4 perfiles centrales y placas de 15 mm

## 9.4. Análisis estáticos con momentos

### 9.4.1. Cálculo de momentos en el cabezal

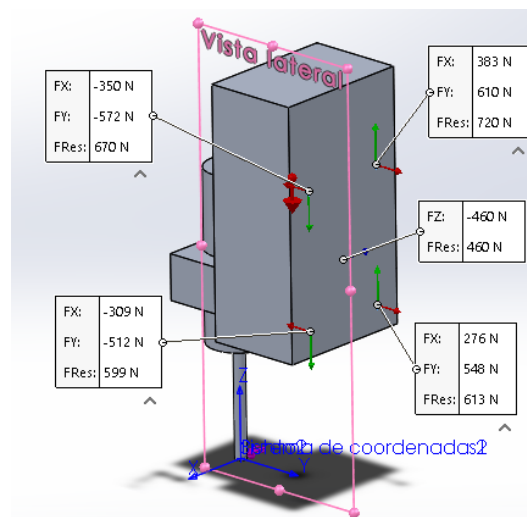
Se calculan las reacciones que habrá en los patines y en la tuerca. Al hacer los cálculos se ha tomado otro sistema de referencia para poder mostrar mejor los resultados en una imagen, por lo que cabe hacer una aclaración. Las fuerzas representadas en color rojo (Fx) son las que corresponderían a las fuerzas transversales, las fuerzas de color verde (Fy) son las verticales y la azul (Fz) es la longitudinal.

630 N en dirección vertical Z:



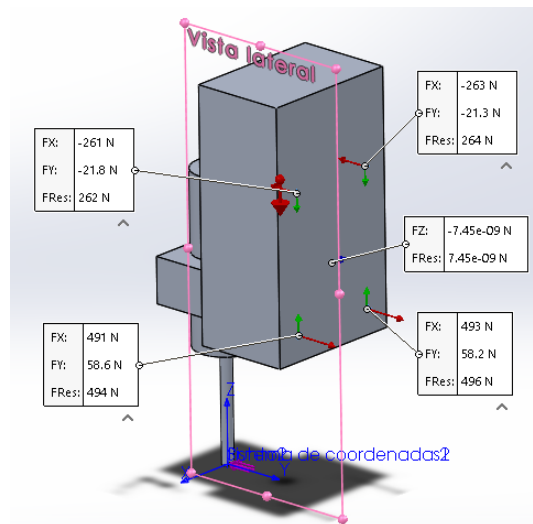
Análisis estático 24: Momentos en el cabezal con fuerza en Z

460N en dirección longitudinal X:



Análisis estático 25: Momentos en el cabezal con fuerza en X

460 N en dirección transversal Y:

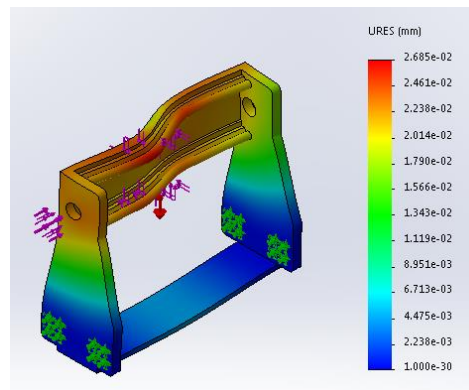


Análisis estático 26: Momentos en el cabezal con fuerza en Y

### 9.4.2. Conjunto puente con momentos

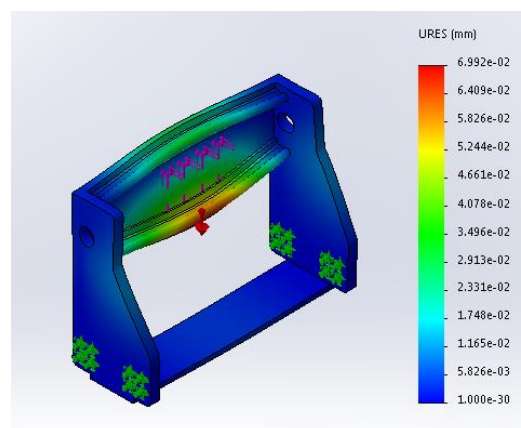
Se trasladan los resultados obtenidos con anterioridad al conjunto del puente, colocándolas como fuerzas.

Fuerza en X:



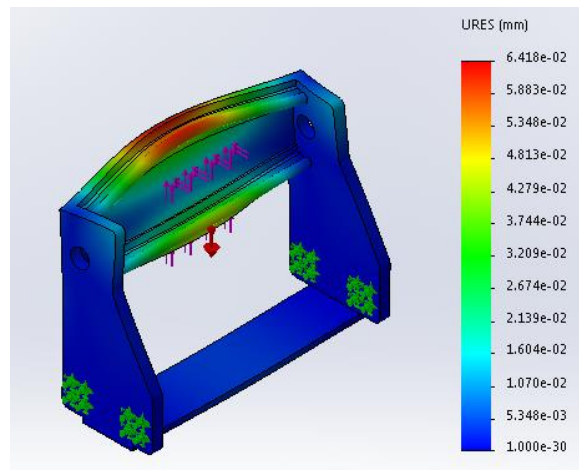
Análisis estático 27: Conjunto puente con momentos con fuerza en X

Fuerza en Y



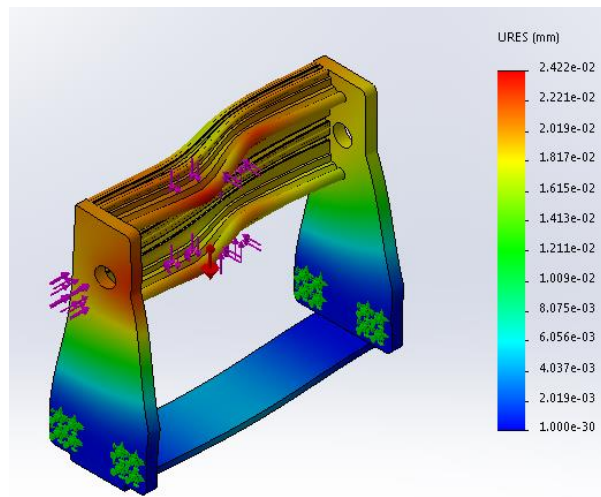
Análisis estático 28: Conjunto puente con momentos con fuerza en Y

Fuerza en Z:



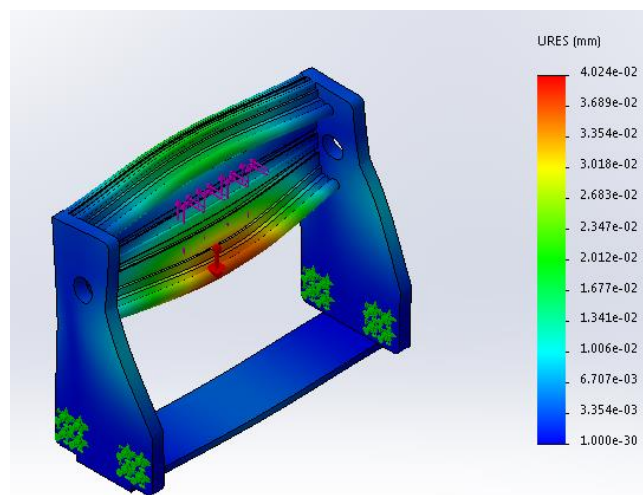
Análisis estático 29: Conjunto puente con momentos con fuerza en Z

Fuerza en X, modificado el diseño:



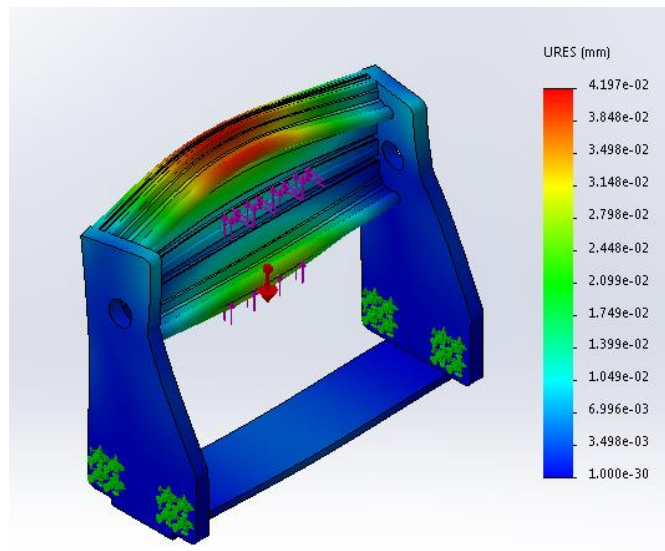
Análisis estático 30: Conjunto puente modificado con momentos con fuerza en X

Fuerza en Y, modificado el diseño:



Análisis estático 31: Conjunto puente modificado con momentos con fuerza en Y

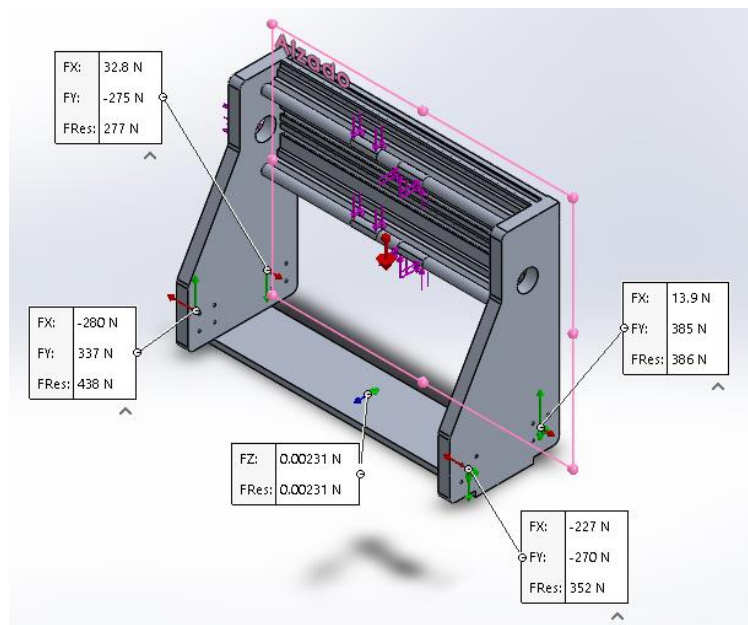
Fuerza en Z, modificado el diseño:



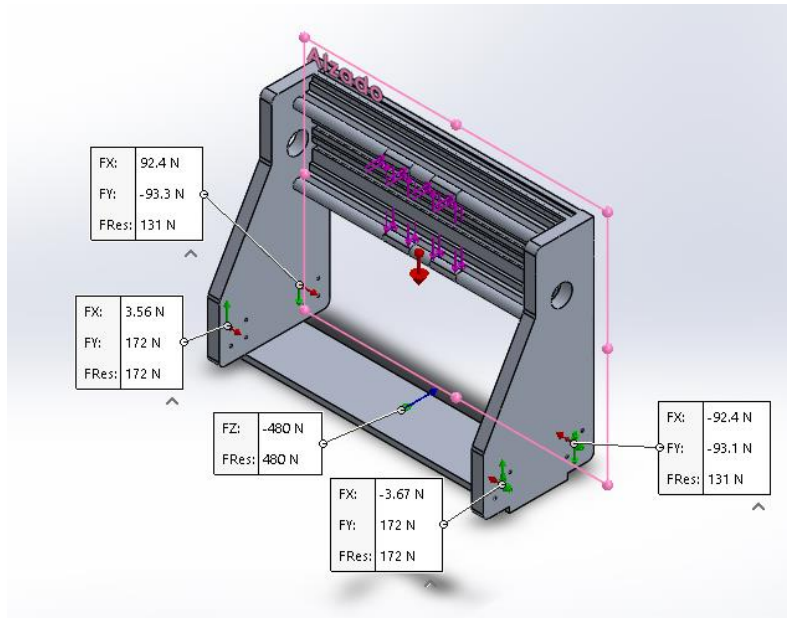
*Análisis estático 32: Conjunto puente modificado con momentos con fuerza en Z*

### 9.4.3. Momentos en el conjunto del puente

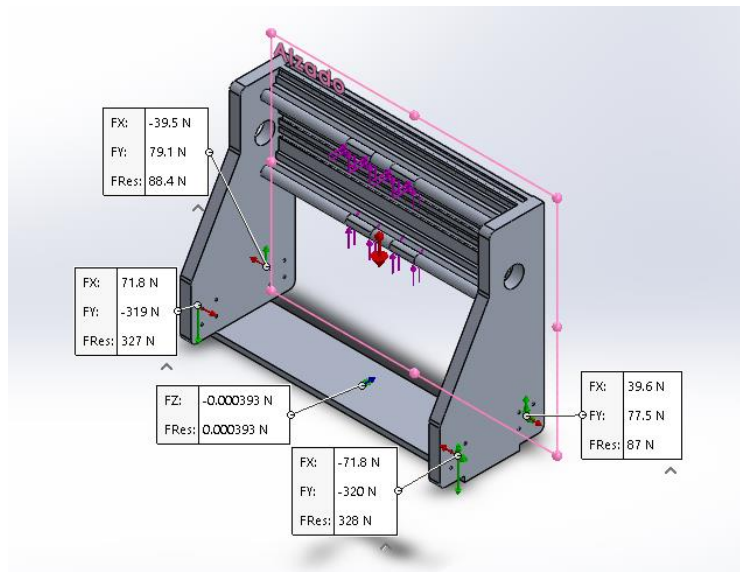
Una vez hechos los cambios en el diseño, se realizan los cálculos para determinar las reacciones. En esta ocasión también se ha utilizado otro sistema de referencia a la hora de mostrar las reacciones, para poder ver mejor la imagen. En este caso las fuerzas de color verde (Fy) son las correspondientes a las fuerzas verticales, las fuerzas rojas (Fx) las longitudinales y las fuerzas azules (Fz) las transversales.



*Análisis estático 33: Momentos en el conjunto del puente con fuerza en X*



Análisis estático 34: Momentos en el conjunto del puente con fuerza en Y

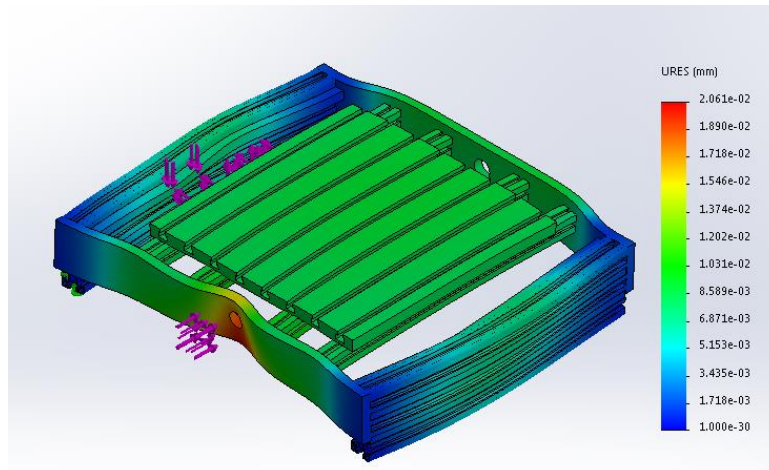


Análisis estático 35: Momentos en el conjunto del puente con fuerza en Z

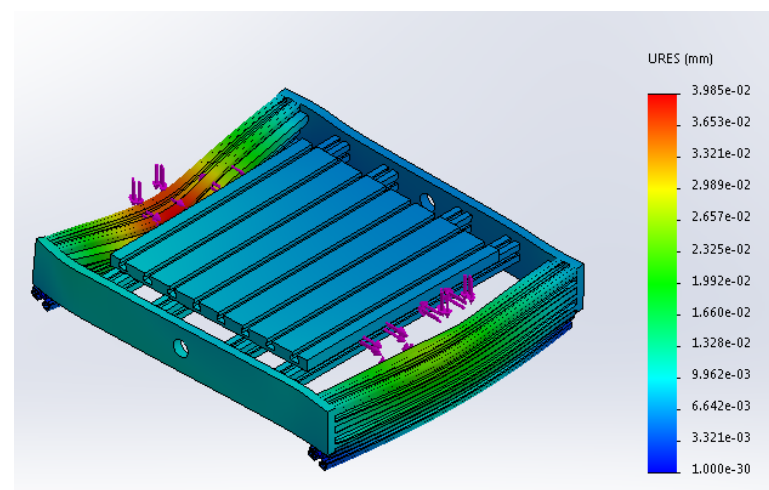


#### 9.4.4. Conjunto base con momentos

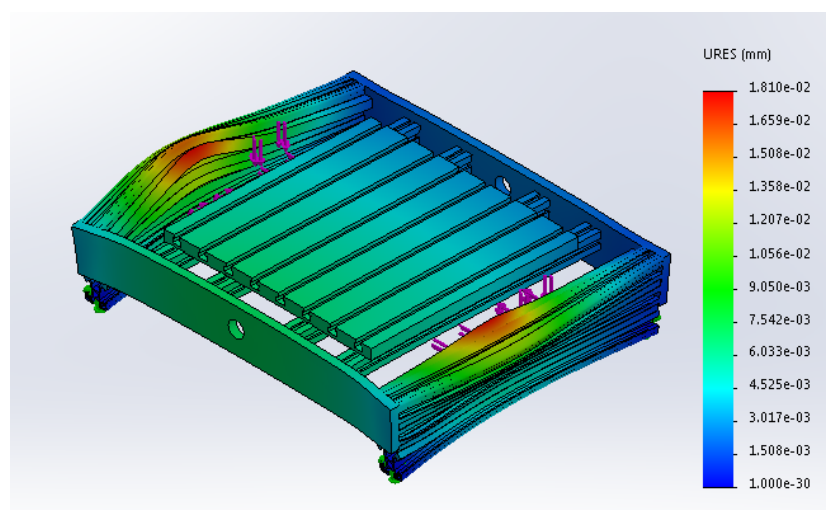
Se trasladan las reacciones obtenidas como fuerzas al conjunto de la base.



Análisis estático 36: Conjunto base con momentos con fuerza en Y



Análisis estático 37: Conjunto base con momentos con fuerza en X



Análisis estático 38: Conjunto base con momentos con fuerza en Z

## 9.5. Precisión en el montaje

Para determinar los errores se tiene en cuenta las tolerancias geométricas de las piezas (Desviación) y en que distancia afectan estas (Distancia). De este modo se calcula el ángulo de desviación (Ángulo) y a continuación el error de desviación equivalente a cierta longitud teniendo en cuenta el ángulo.

### Mesa

		Desviación (mm)	Distancia (mm)	Angulo (rad)	Angulo (grados)	Error en 300 mm (mm)
Inclinación Y	Placa frontal	0,04	380	0,0001		
	Mesa	0,02	400	5E-05		
				0,0002	0,0089	0,0466
Inclinación X	Placa frontal	0,05	580	8,6E-05		
	Mesa	0,02	400	5E-05		
				0,0001	0,0078	0,0409

### Guías X

		Desviación (mm)	Distancia (mm)	Angulo (rad)	Angulo (grados)	Error en 300 mm (mm)
Inclinación Y	Carril					
	Patin					
	Placa lateral	0,08	450	0,0002	0,0102	0,0533
Inclinación X	Carril					
	Patin	0,02				
	Placa lateral_1	0,025				
		0,045	100	0,0004		
	Placa lateral_2	0,04	180	0,0002		
				0,0007	0,0385	

### Guías Z

		Desviación (mm)	Distancia (mm)	Angulo (rad)	Angulo (grados)	Error en 100 mm (mm)
Inclinación Y	Guía					
	Patin	0,05	80	0,0006		
	Placa central_1	0,025	80	0,0003		
	Placa central_2	0,03	200	0,0001		
	Soporte superior	0,02	200	1E-04		
				0,0002		

				0,0014	0,0782	0,1365
Inclinacion X	Guia					
	Patin					
	Placa central					
	Guia	0,1	200	0,0005		
				0,0007		
				0,0012	0,0672	0,1172
<b>Motor de fresado</b>						
		<b>Desviación (mm)</b>	<b>Distancia (mm)</b>	<b>Angulo (rad)</b>	<b>Angulo (grados)</b>	
Inclinacion Y	Patin	0,04	60	0,0007		
	Placa final	0,02	80	0,0002		
	Abrazadera	0,02	40	0,0005		
	Motor de fresado	0,01	50	0,0002		
				0,0014		
				0,0030	0,1709	
Inclinacion X	Guia					
	Patin	0,04	60	0,0007		
	Placa final 1	0,02	60	0,0003		
	Placa final_2	0,02	40	0,0005		
	Abrazadera	0,01	40	0,0002		
		0,01	40	0,00025		
	Motor de fresado	0,01	200	5E-05		
				0,0012		
				0,0032	0,1846	

Tabla 23: Precisión de montaje

# PLIEGO DE CONDICIONES

## OBJETO

El pliego de condiciones recoge todos los aspectos legales referentes al proyecto, la normativa aplicable según la tipología del producto y las diferentes disposiciones de carácter general. También se incluyen las condiciones técnicas en las que se realiza el proyecto y las de los materiales empleados en su diseño y fabricación.

En el mismo se indican y depuran todas las responsabilidades que contrae el creador del proyecto. Este apartado establece todos los términos legales en caso de cualquier disputa surgida de posibles no conformidades referentes a cualquier aspecto del proyecto.

## CONDICIONES GENERALES Y LEGALES

Al tratarse de un proyecto realizado en la universidad como trabajo fin de máster y no disponer de dinero suficiente, no se ha podido llevar a cabo el proyecto en la vida real, no se ha llegado a fabricar, montar y usarlo, en resumen, no se ha podido comprobar el montaje, precisión del mecanizado o seguridad de la máquina.

Por lo que el creador del proyecto y la universidad no se hacen responsables de su validez, viabilidad o buen funcionamiento en el caso de que alguien decida llevar a cabo el proyecto por su cuenta.

Hay que remarcar que se ha comentado la normativa aplicable para las maquinas herramientas, pero que no se asegura el cumplimiento de ellas en este proyecto. Si se decidiese llevar a cabo el proyecto habría que comprobar la normativa para determinar si lo cumple o no.

Si al final alguien decidiese llevar a cabo el proyecto o simplemente estar interesado en él, el creador de este estaría dispuesto a ayudar e intentar resolver dudas que tal vez no queden del todo claras en este documento. Se deja para ello el correo de estudiante del creador del proyecto: [al383726@uji.es](mailto:al383726@uji.es)

## CONDICIONES DE CORTE

Para un buen funcionamiento de la fresadora las profundidades de pasada en un planeado no pueden ser mayores de 3 mm a la hora de mecanizar aluminio ni tampoco usar fresas más grandes de 10 mm de diámetro. En cuanto al taladrado no se pueden hacer agujeros mayores de 5 mm directamente. Para los dos casos mencionados las fresas empleadas no deben tener más de dos labios.

## MATERIAL DE ESTRUCTURA

Para los cálculos de deformaciones el aluminio que se ha utilizado es la aleación 1060, pero mientras se cumplan las propiedades mecánicas mínimas de rigidez se puede emplear otro tipo de aluminio.

## PRESUPUESTO ECONÓMICO

### Perfiles de aluminio

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
30x30x580	8	4	32
30x90x445	15	2	30
40x120x580	20	2	40
			<b>102</b>

### Mesa

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
Mesa 400x400	160	1	160
			<b>160</b>

### Pie de apoyo

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
Pie de apoyo	10	4	40
			<b>40</b>

### Placas de aluminio

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
1.1.1.	25	1	25
1.1.2.	25	1	25
1.1.5.	8	1	8
1.1.6.	5	1	5
1.1.7.	8	1	8
1.1.8.	35	1	35
1.1.9.	35	1	35
1.1.10.	15	1	15
1.1.12.	8	2	16
1.1.13.	8	1	8
1.1.14.	5	1	5
1.1.15	5	1	5
1.1.16	15	1	15
1.1.17	10	1	10
1.1.18	10	1	10
1.1.20	10	1	10
1.1.21	5	1	5
1.1.22	5	1	5
1.1.23	8	1	8
1.1.24	25	1	25
			<b>278</b>

### Husillo

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
M20-5 x600	25	1	25
M16-5x500	24	1	24
M12-4 x200	28	1	28
			77

#### Tuercas

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
M20-5	30	1	30
M16-5	20	1	20
M12-4	28	1	28
			78

#### Portatuercas

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
M20	25	1	25
M16	22	1	22
M12	18	1	18
			65

#### Soporte de husillos

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
FK15/FF15	40	1	40
FK12/FF12	35	1	35
FK10/FF10	30	1	30
			105

#### Guías

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
SBR16	16	2	32
SBR10	5	2	10
Hiwin 15	16	2	32
			74

#### Patines

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
SBR16	7	4	28
SBR10	5	4	20
Hiwin 15	15	4	60
			48

#### Motores

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
Nema 17	12	3	36
Motor de fresado 500W	45	1	45



Abrazadera	5	1	5
			86

### Poleas y correas

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
Polea nema 17	4	3	12
Polea vertical	4	1	4
Polea longitudinal	4	1	4
Polea transversal	4	1	4
Correa vertical	5	1	5
Correa longitudinal	5	1	5
Correa transversal	5	1	5
			39

### Componentes electrónicos

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
NVBDH+	50	1	50
Drivers A4988	1	3	3
CNC Shield	8	1	8
Arduino	20	1	20
Finales de carrera	1	3	3
Botón parada	10	1	10
Fuente de alim. 24v	28	1	28
Fuente de alim. 48v	25	1	25
			147

### Protección de componentes

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
Portacables transversal	20	1	20
Portacables longitudinal	18	1	18
Portacables vertical	8	1	8
Fuelle	25	4	100
Tapa delantera	5	1	5
Tapa trasera	5	1	5
			156

### Refrigeración

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
Vaporizador	12	1	12
			12

Paneles de plástico

Elemento	Precio/und (€)	Cantidad	Precio (€)
1.2.1.	26	1	26
1.2.2.	4	2	8
1.2.3.	4	1	4
1.2.4.	4	1	4
1.3.1.	26	2	52
1.3.2.	15	2	30
1.3.3.	20	2	40
1.3.4.	12	2	24
Manillas	2	3	6
Bisagras	2	2	4
			198

**Total** 1665 €

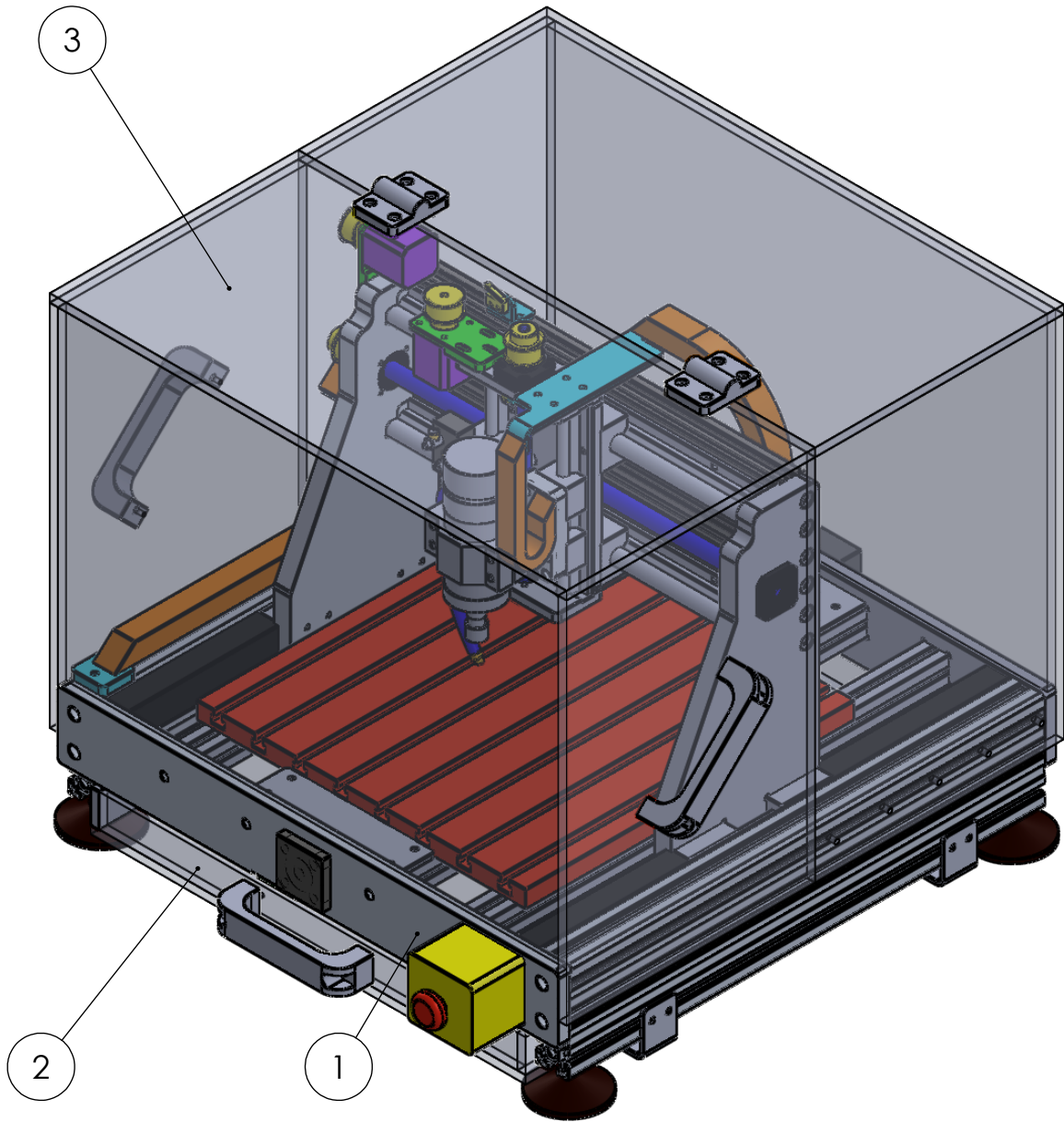
# PLANOS

## INDICE DE PLANOS

1. Fresadora CNC.....	121
1.1. Fresadora_1.....	122
1.1. Fresadora_2.....	123
1.1. Fresadora_3.....	124
1.1. Fresadora_4.....	125
1.1.1. Placa frontal.....	126
1.1.2. Placa trasera.....	127
1.1.3. Perfil soporte 40x120 L.....	128
1.1.4. Husillo Y.....	129
1.1.5. Soporte nema 17 inferior.....	130
1.1.6. Soporte sensor transversal.....	131
1.1.7. Soporte bandeja.....	132
1.1.8. Placa lateral izquierdo.....	133
1.1.9. Placa lateral derecho.....	134
1.1.10. Placa inferior.....	135
1.1.11. Husillo X.....	136
1.1.12. Soporte nema 17 superior.....	137
1.1.13. Soporte portacables medio.....	138
1.1.14. Soporte portacables inferior.....	139
1.1.15. Soporte sensor longitudinal.....	140
1.1.16. Placa central.....	141
1.1.17. Apoyo superior.....	142
1.1.18. Apoyo inferior.....	143
1.1.19. Husillo Z.....	144
1.1.20. Soporte portacables superior.....	145
1.1.21. Soporte sensor vertical.....	146
1.1.22. Placa protectora delantera.....	147
1.1.23. Placa protectora trasera.....	148
1.1.24. Placa final.....	149
1.2. Bandeja.....	150
1.2.1. Base bandeja.....	151
1.2.2. Lateral bandeja.....	152

1.2.3. Frontal bandeja.....	153
1.2.4. Posterior bandeja.....	154
1.3. Paneles de protección.....	155
1.3.1. Placa de plástico frontal o trasera.....	156
1.3.2. Placa de plástico lateral fijo.....	157
1.3.3. Placa de plástico superior.....	158
1.3.4. Placa de plástico lateral móvil.....	159

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

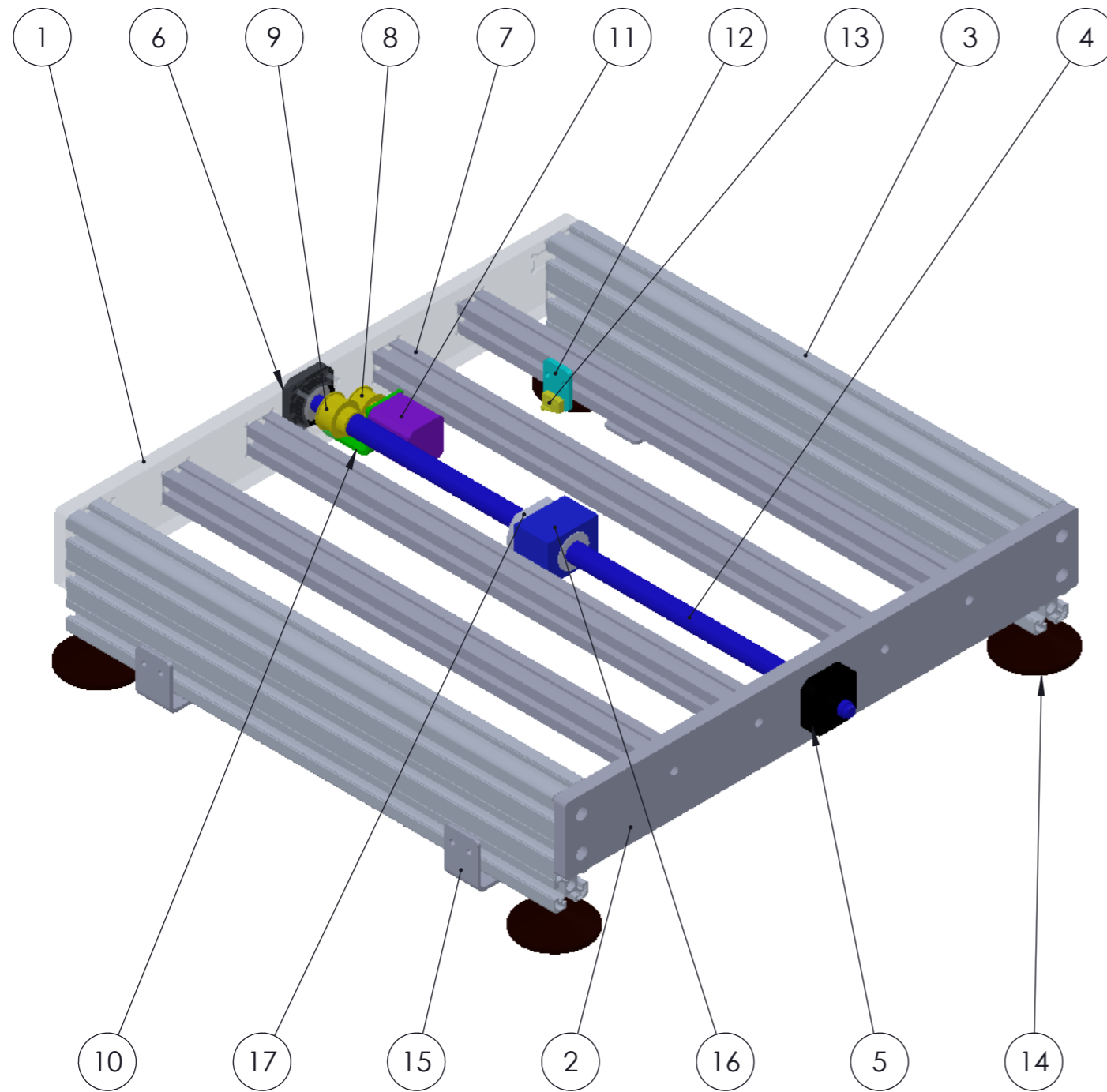


3	Paneles de protección	1.3		1
2	Bandeja	1.2		1
1	Fresadora	1.1		1
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE	N.º DE PLANO	OBSERVACIONES	CANTIDAD

Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título FRESADORA CNC		Plano N.º: 1
				Hoja N.º: 1 de 1
Escala 1:6	Un. dim. mm		Material: -	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	



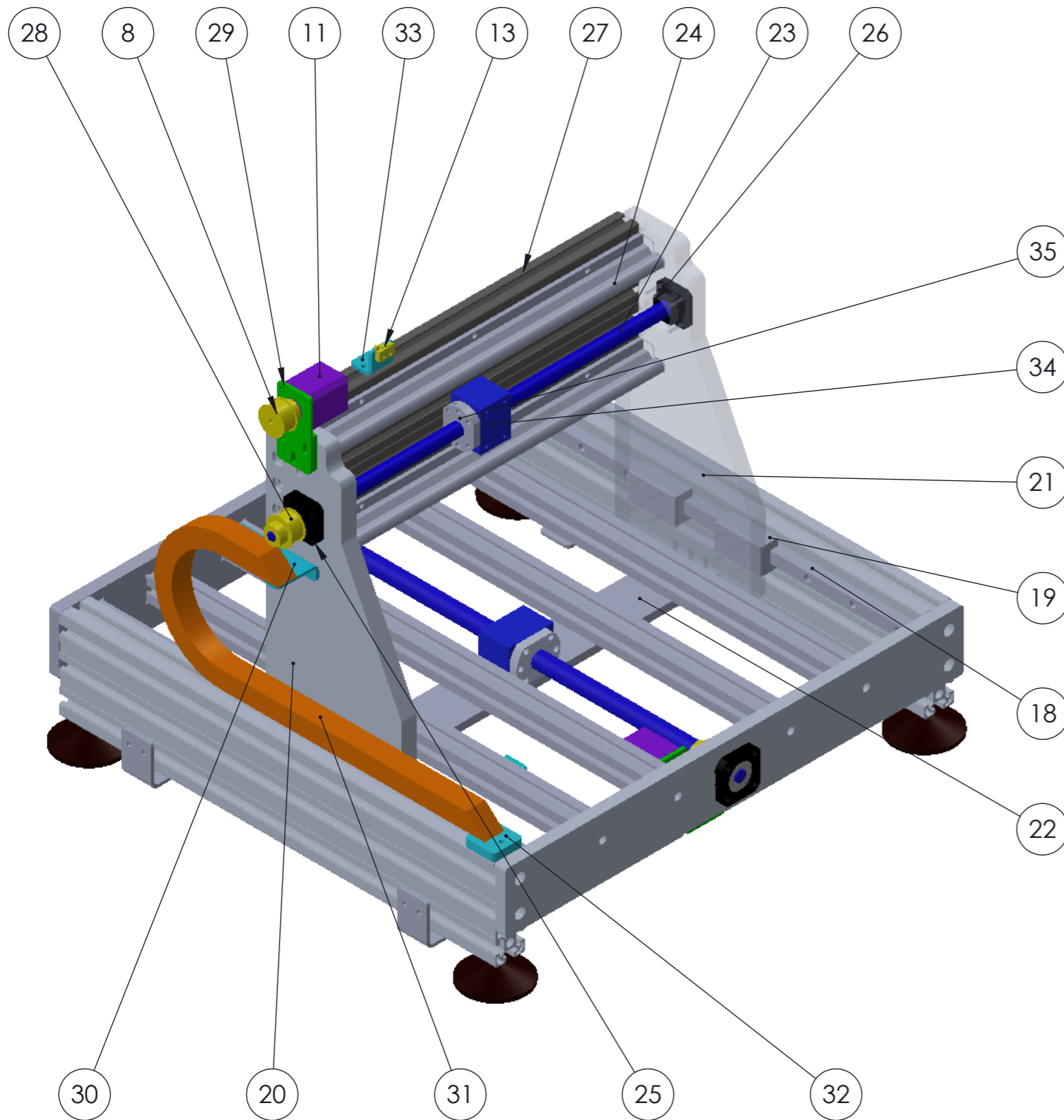
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



17	Tuerca M20		Comercial	1
16	Portatuerca 20		Comercial	1
15	Soporte bandeja	1.1.7.		4
14	Pie		Comercial	4
13	Sensor		Comercial	1
12	Soporte sensor transversal	1.1.6.		1
11	Motor Nema 17		Comercial	1
10	Soporte nema 17 inferior	1.1.5.		1
9	Polea transversal		Comercial	1
8	Polea Nema 17		Comercial	1
7	Perfil 30x30		Comercial 580 mm de largo	4
6	Soporte FF15		Comercial	1
5	Soporte FK15		Comercial	1
4	Husillo Y	1.1.4.	Plano del mecanizado	1
3	Perfil soporte 40X120L	1.1.3.	Plano del mecanizado	2
2	Placa trasera	1.1.2.		1
1	Placa frontal	1.1.1.		1
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE	N.º DE PLANO	OBSERVACIONES	CANTIDAD

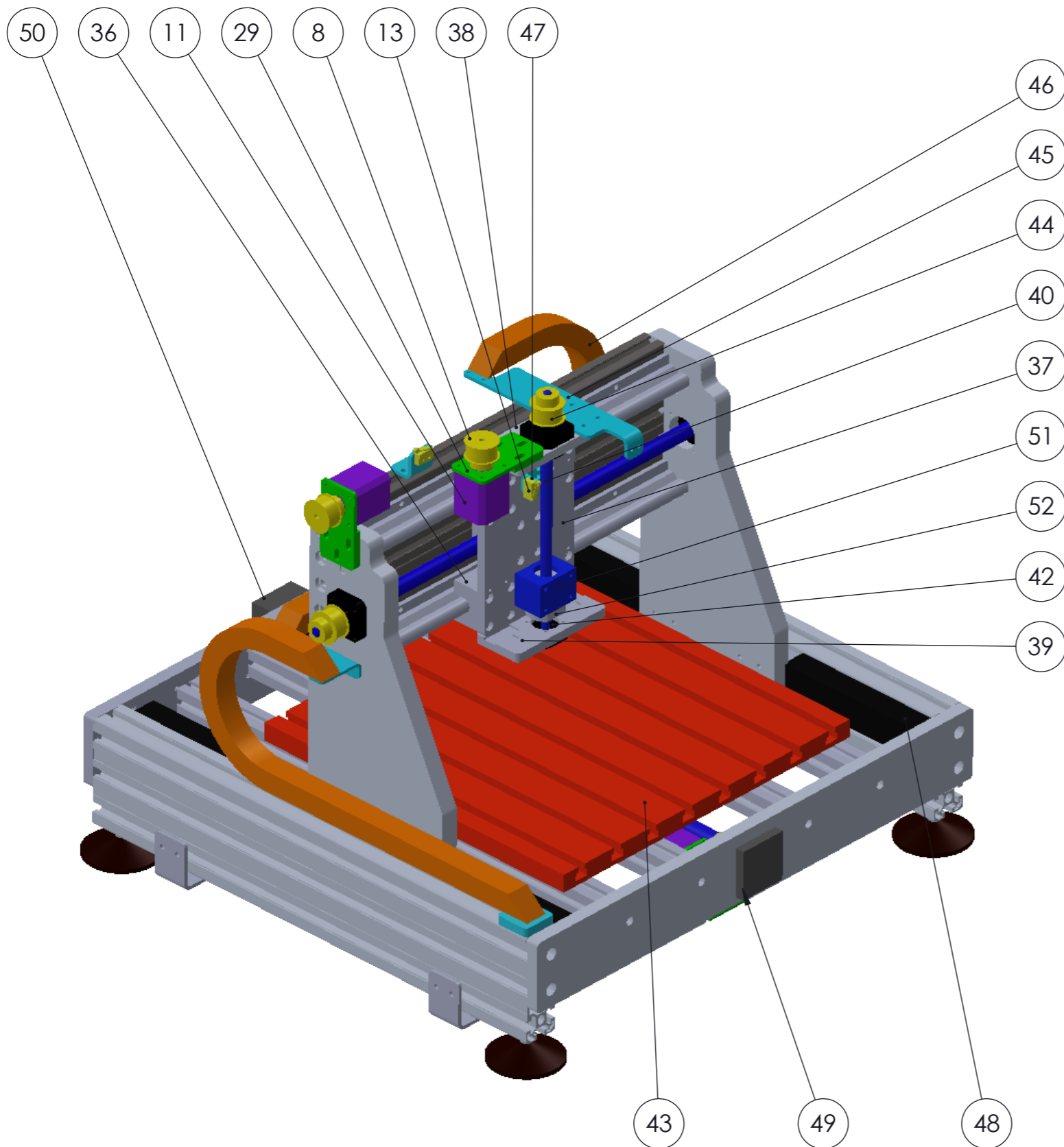
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Fresadora		Plano N°: 1.1.
				Hoja N°: 1 de 4
Escala 1:5	Un. dim. mm		Material -	Fecha: 14/02/2020
Formato A3		Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi		

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



35	Tuerca M16		Comercial	1
34	Portatuerca 16		Comercial	1
33	Soporte sensor longitudinal	1.1.15.		1
32	Soporte portacables inferior	1.1.14.		1
31	Portacables transversal		Comercial	1
30	Soporte portacables medio	1.1.13.		1
29	Soporte nema 17 superior	1.1.12.		1
28	Polea longitudinal		Comercial	1
27	Perfil 30x90		Comercial 450 mm de longitud	2
26	Soporte FF12		Comercial	1
25	Soporte FK12		Comercial	1
24	Guia lineal 16		Comercial	2
23	Husillo X	1.1.11.	Plano de mecanizado	1
22	Placa inferior	1.1.10.		1
21	Placa lateral derecho	1.1.9.		1
20	Placa lateral izquierdo	1.1.8.		1
19	Patin Hiwin 15		Comercial	4
18	Carril del patin		Comercial	2
13	Sensor		Comercial	2
11	Motor Nema 17		Comercial	2
8	Polea Nema 17		Comercial	2
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE	N.º DE PLANO	OBSERVACIONES	CANTIDAD

Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Fresadora		Plano N°: 1.1.
				Hoja N°: 2 de 4
Escala 1:5	Un. dim. mm		Material -	Fecha: 14/02/2020
Formato A3			Dibujado por:	Julen Jauregui Balerdi

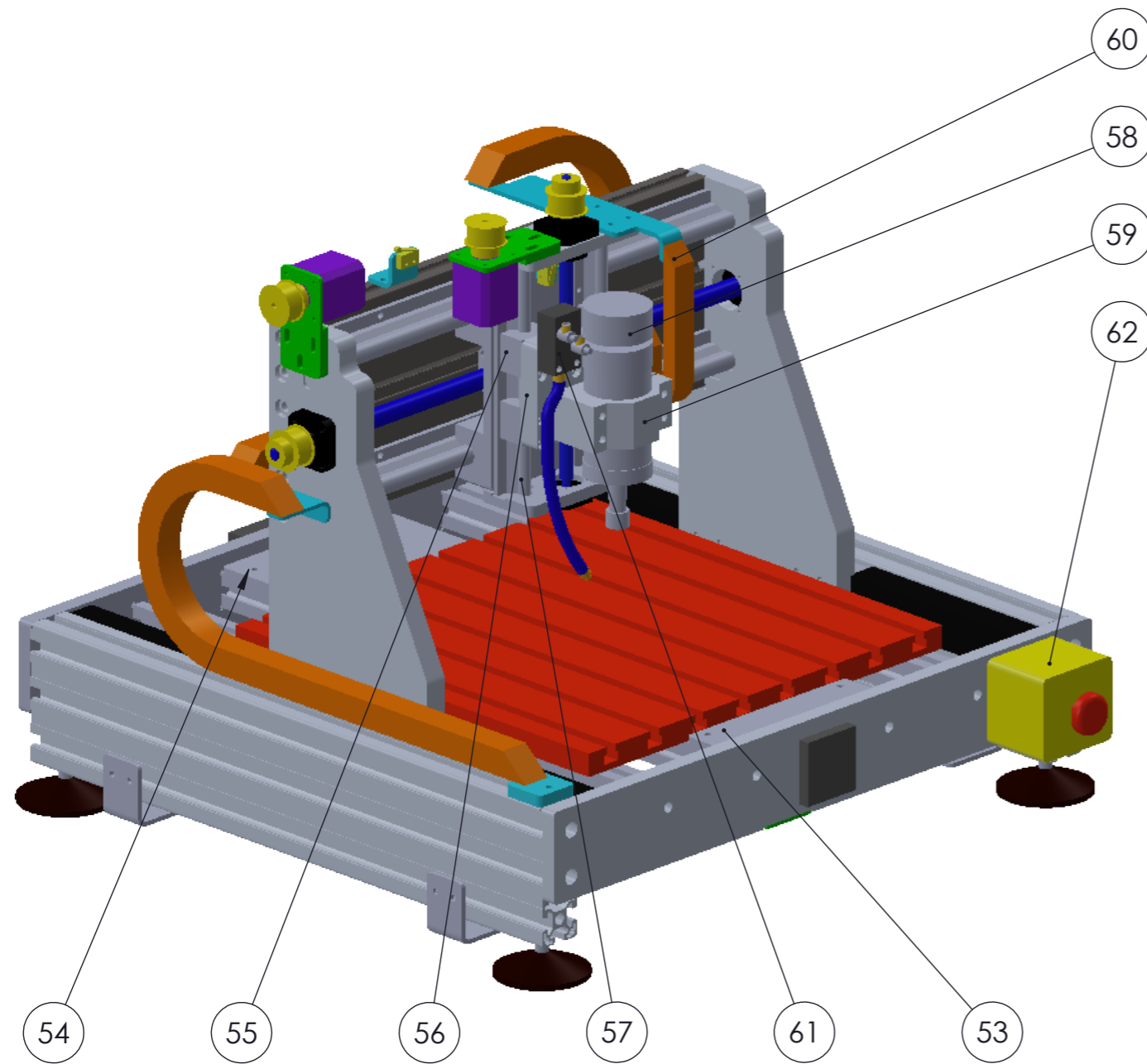


Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

52	Tuerca M12		Comercial	1
51	Portatuerca 12		Comercial	1
50	Tapa trasera		Comercial	1
49	Tapa frontal		Comercial	1
48	Fuelle		Comercial	2
47	Soporte sensor vertical	1.1.21.		1
46	Portacables longitudinal		Comercial	1
45	Soporte portacables superior	1.1.20.		1
44	Polea vertical		Comercial	1
43	Mesa 400x400		Comercial	1
42	Soporte FF10		Comercial	1
41	Soporte FK10		Comercial	1
40	Husillo Z	1.1.19.		1
39	Apoyo inferior	1.1.18.		1
38	Apoyo superior	1.1.17.		1
37	Placa central	1.1.16.		1
36	Patin abierto 16		Comercial	4
29	Soporte nema 17 superior	1.1.12.		2
13	Sensor		Comercial	3
11	Motor Nema 17		Comercial	3
8	Polea Nema 17		Comercial	3
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE	N.º DE PLANO	OBSERVACIONES	CANTIDAD

Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Fresadora		Plano N°: 1.1.
				Hoja N°: 3 de 4
Escala 1:5	Un. dim. mm		Material -	Fecha: 14/02/2020
Formato A3		Dibujado por:		Julen Jauregui Balerdi

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

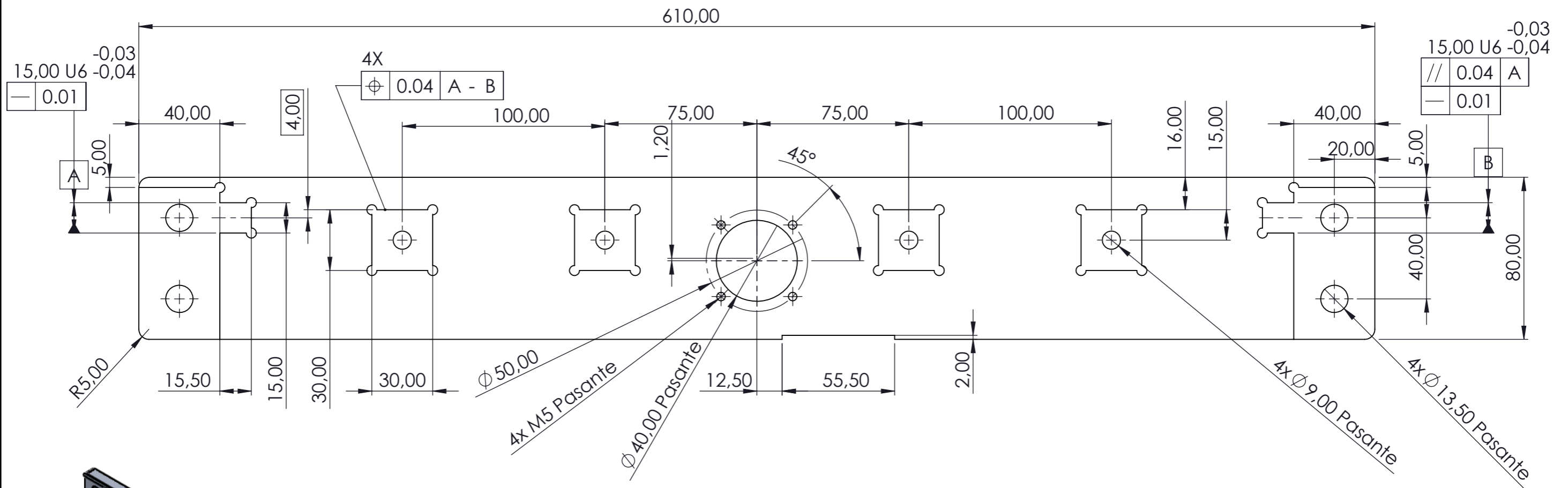
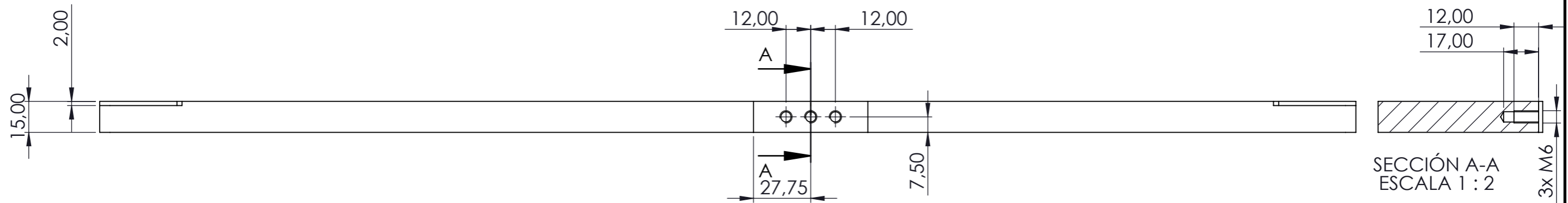



62	Seta de emergencia		Comercial	1
61	Mangera refrigeración		Comercial	1
60	Portacables vertical		Comercial	1
59	Abrazadera		Comercial	1
58	Motor de fresado		Comercial	1
57	Guia lineal 10		Comercial	2
56	Placa final	1.1.24.		1
55	Patin abierto 10		Comercial	4
54	Placa protectora trasera	1.1.23.		1
53	Placa protectora delantera	1.1.22.		1
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE	N.º DE PLANO	OBSERVACIONES	CANTIDAD

Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Fresadora		Plano N°: 1.1.
				Hoja N°: 4 de 4
Escala 1:5	Un. dim. mm		Material -	Fecha: 14/02/2020
Formato A3		Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi		

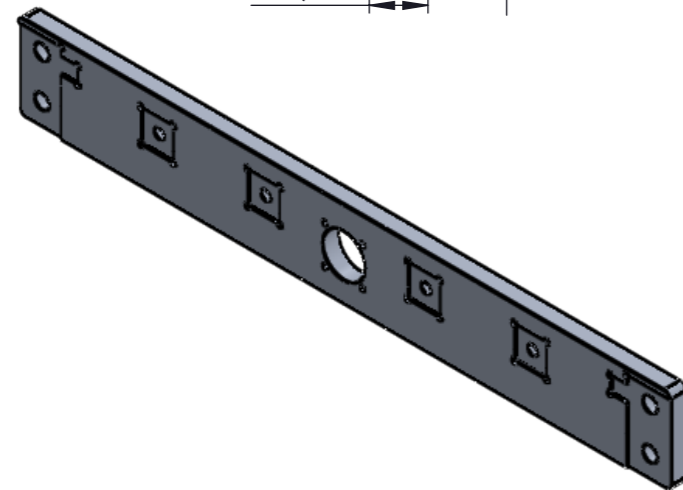
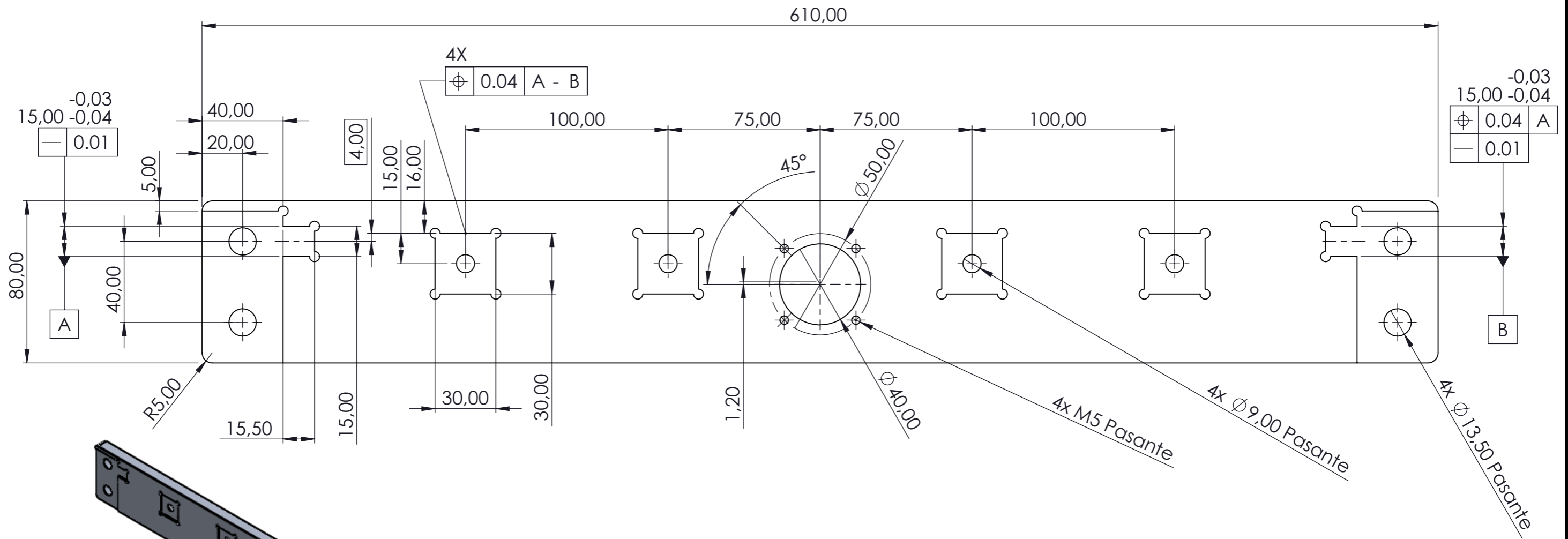
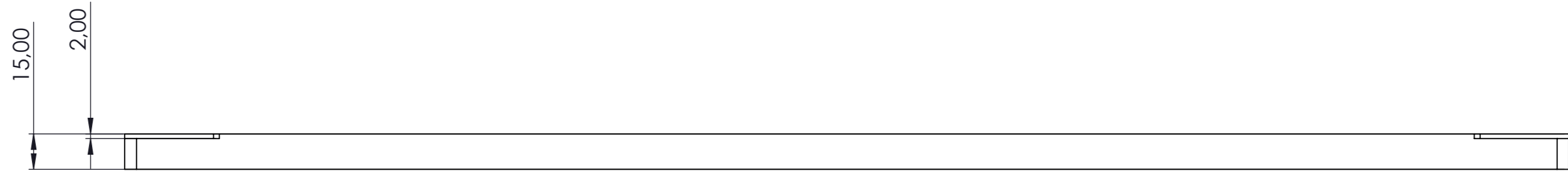



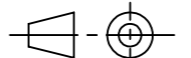
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



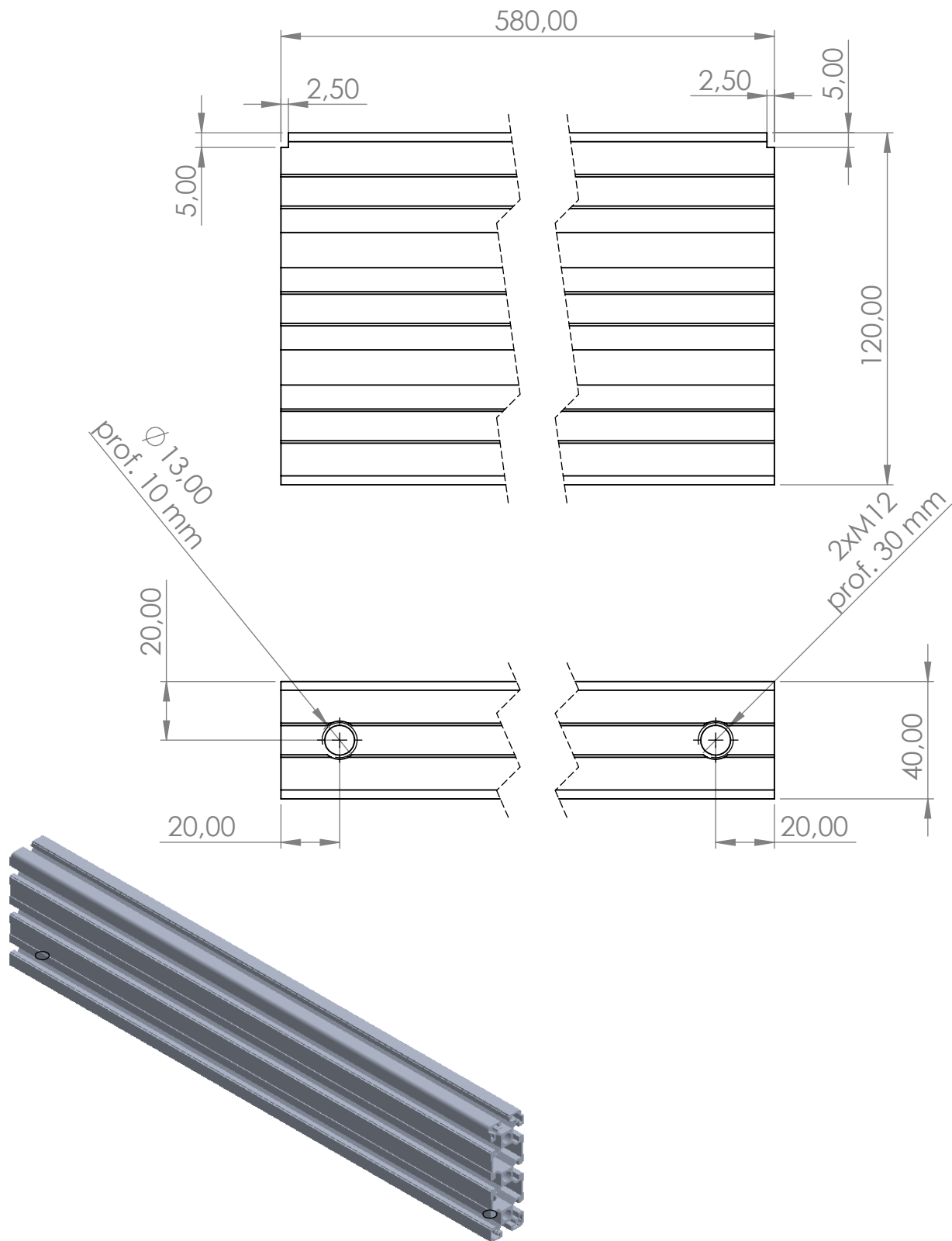
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa frontal		Plano N°: 1.1.1.
Escala 1:5		Un. dim. mm		Hoja N°: 1 de 1
Formato A3		 Material Aluminio		Fecha: 14/02/2020
		Dibujado por:		Julen Jauregui Balerdi


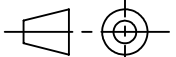
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa trasera		Plano N°: 1.1.2.
Escala 1:2	Un. dim. mm			Hoja N°: 1 de 1
Formato A3				Material Aluminio
		Dibujado por:		Julen Jauregui Balerdi

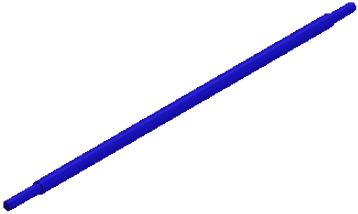
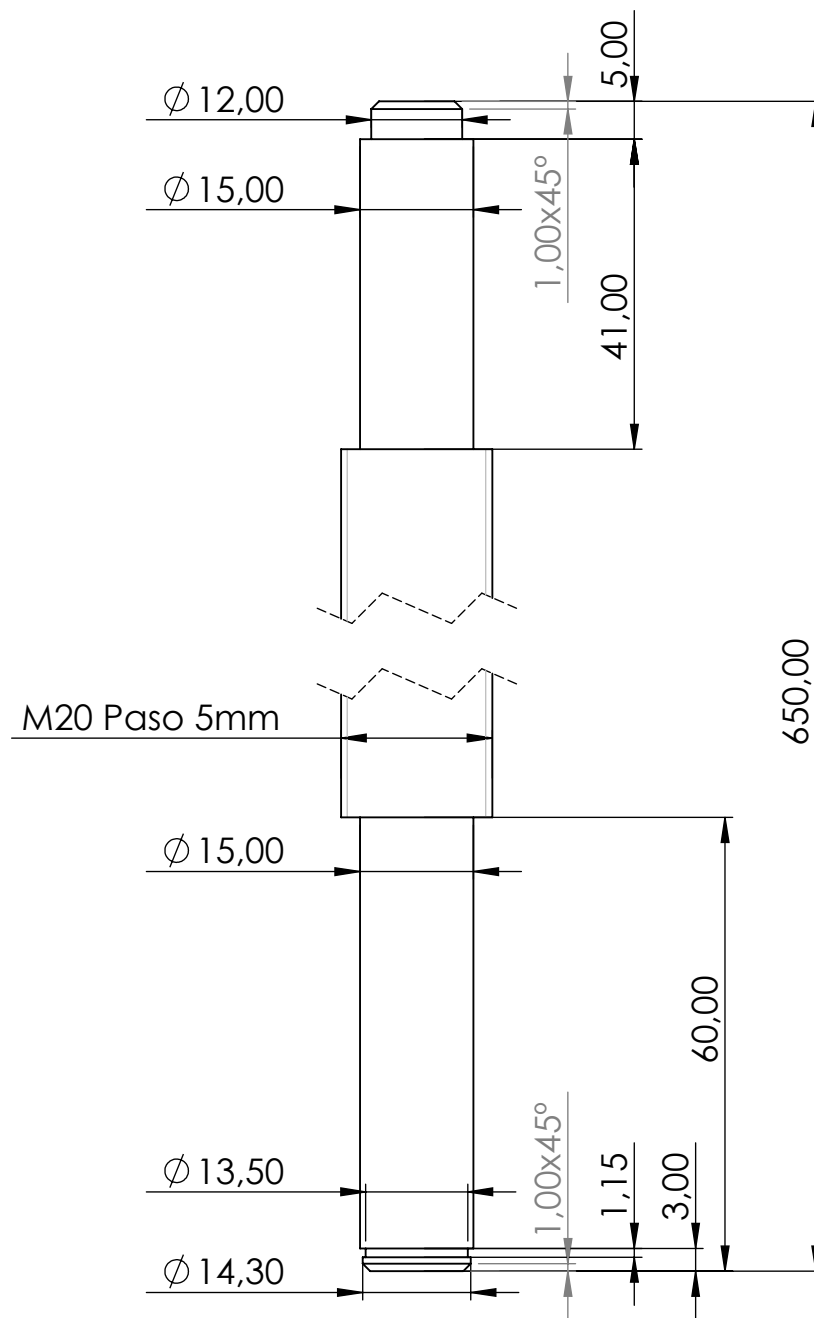
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Perfil soporte 40x120 L		Plano N°: 1.1.3.	
				Hoja N°: 1 de 1	
Escala 1:2	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020	
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi		

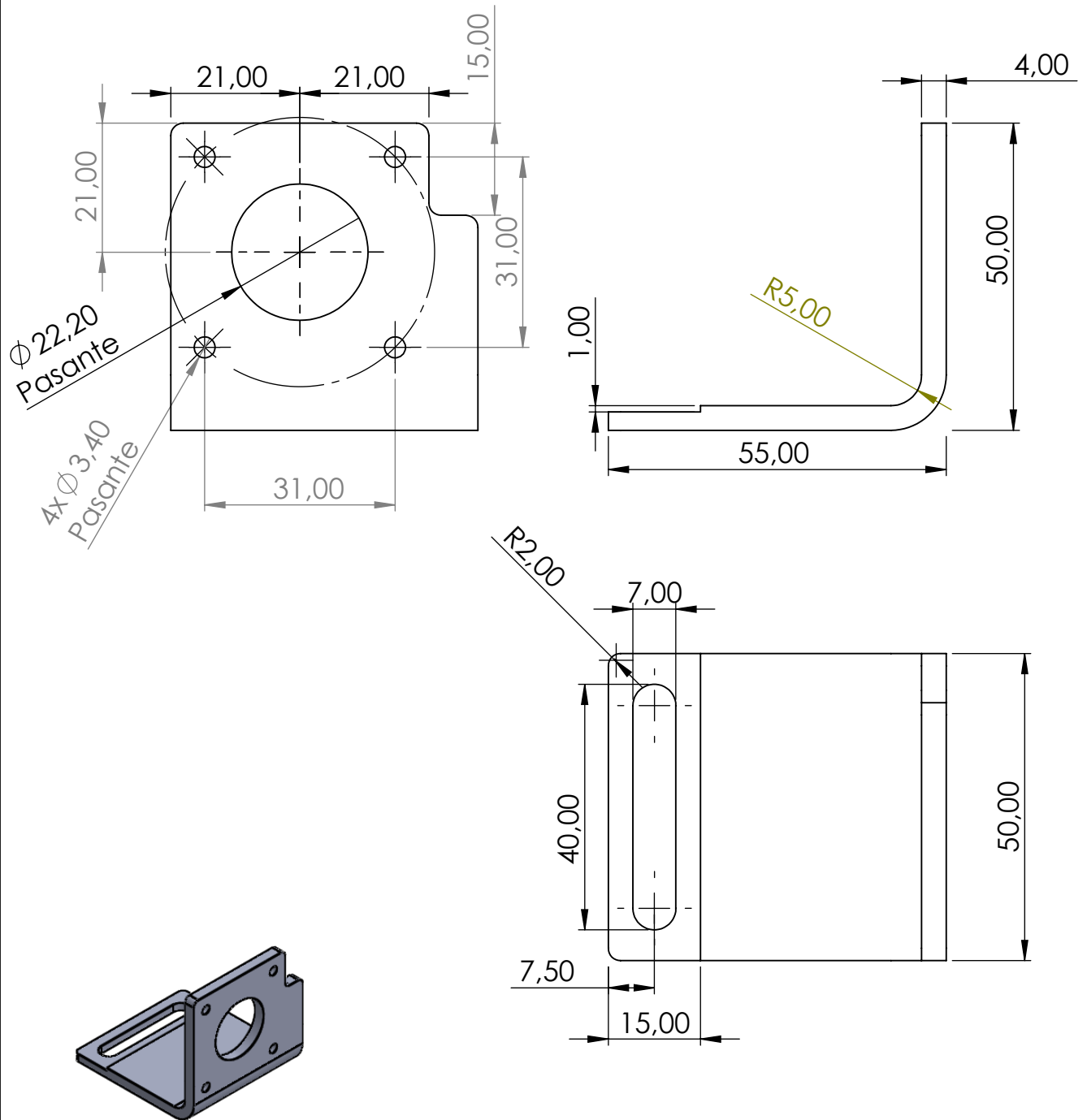


Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



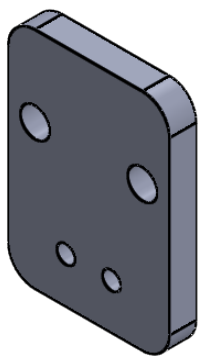
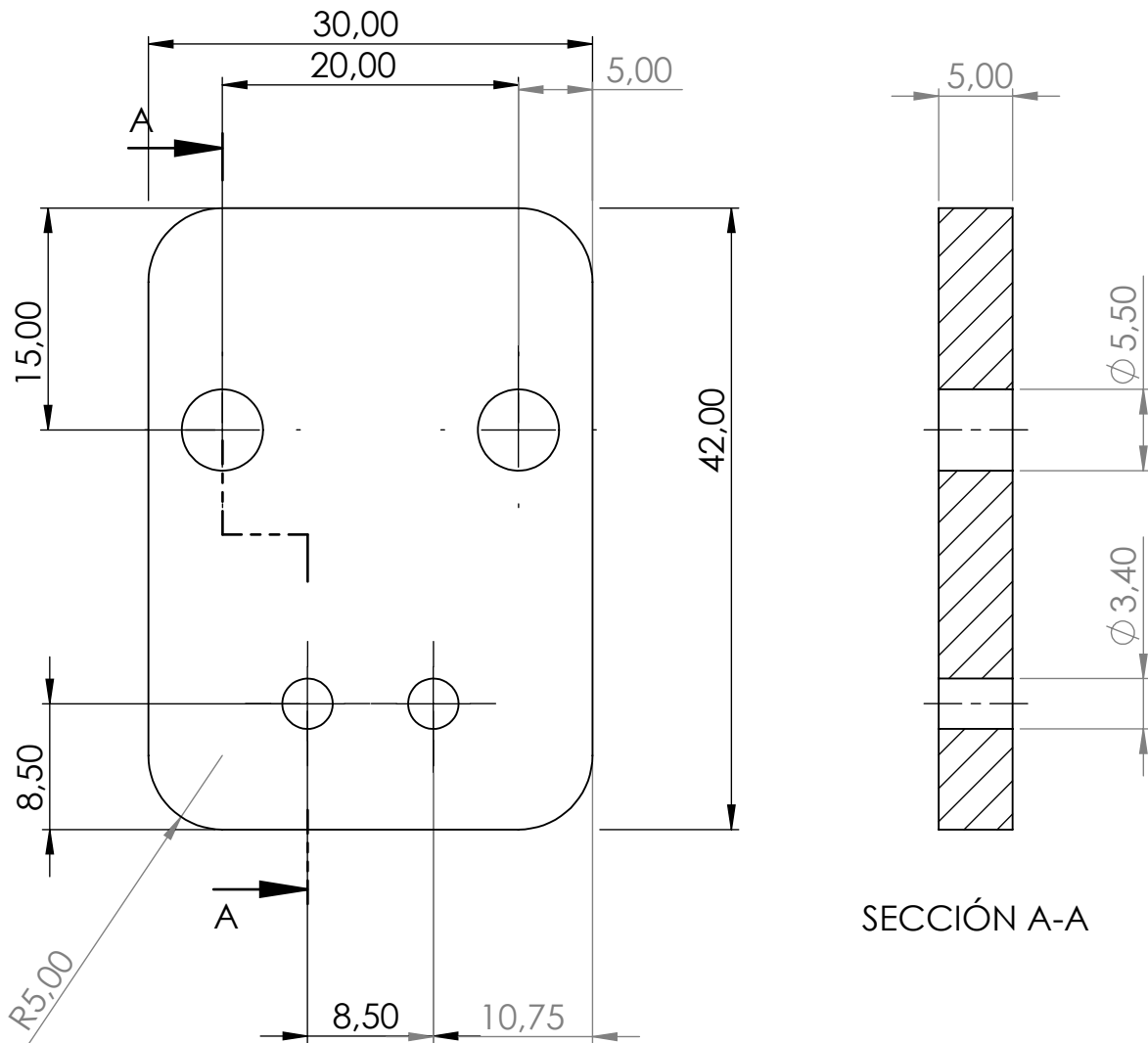
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Husillo Y		Plano N°: 1.1.4.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:1	Un. dim. mm		Material: Acero	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



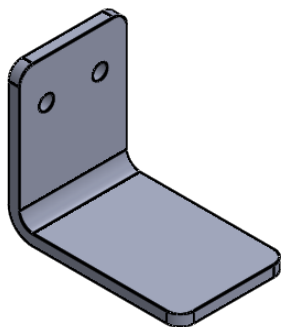
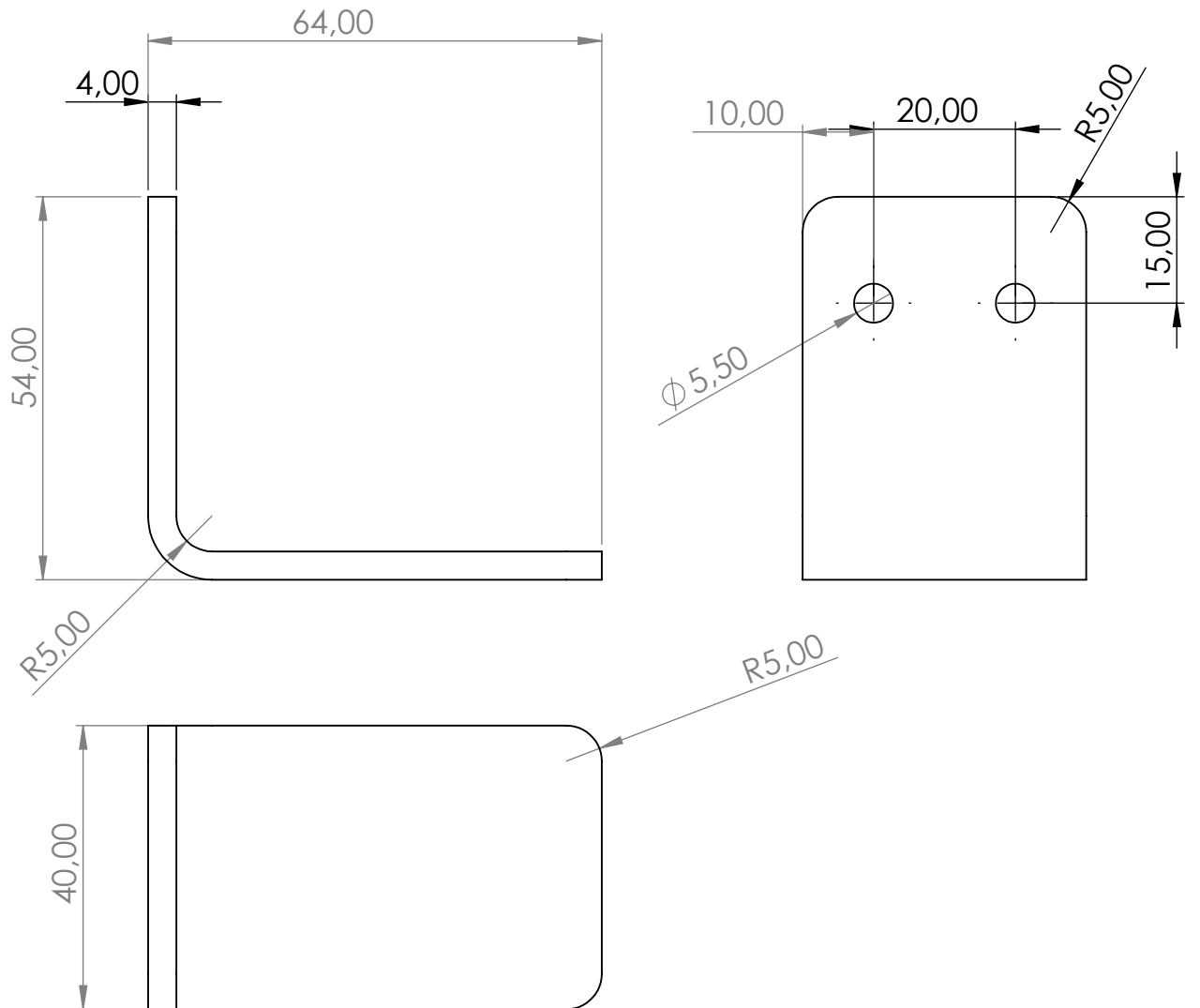
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Soporte nema 17 inferior		Plano N°: 1.1.5.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:1	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



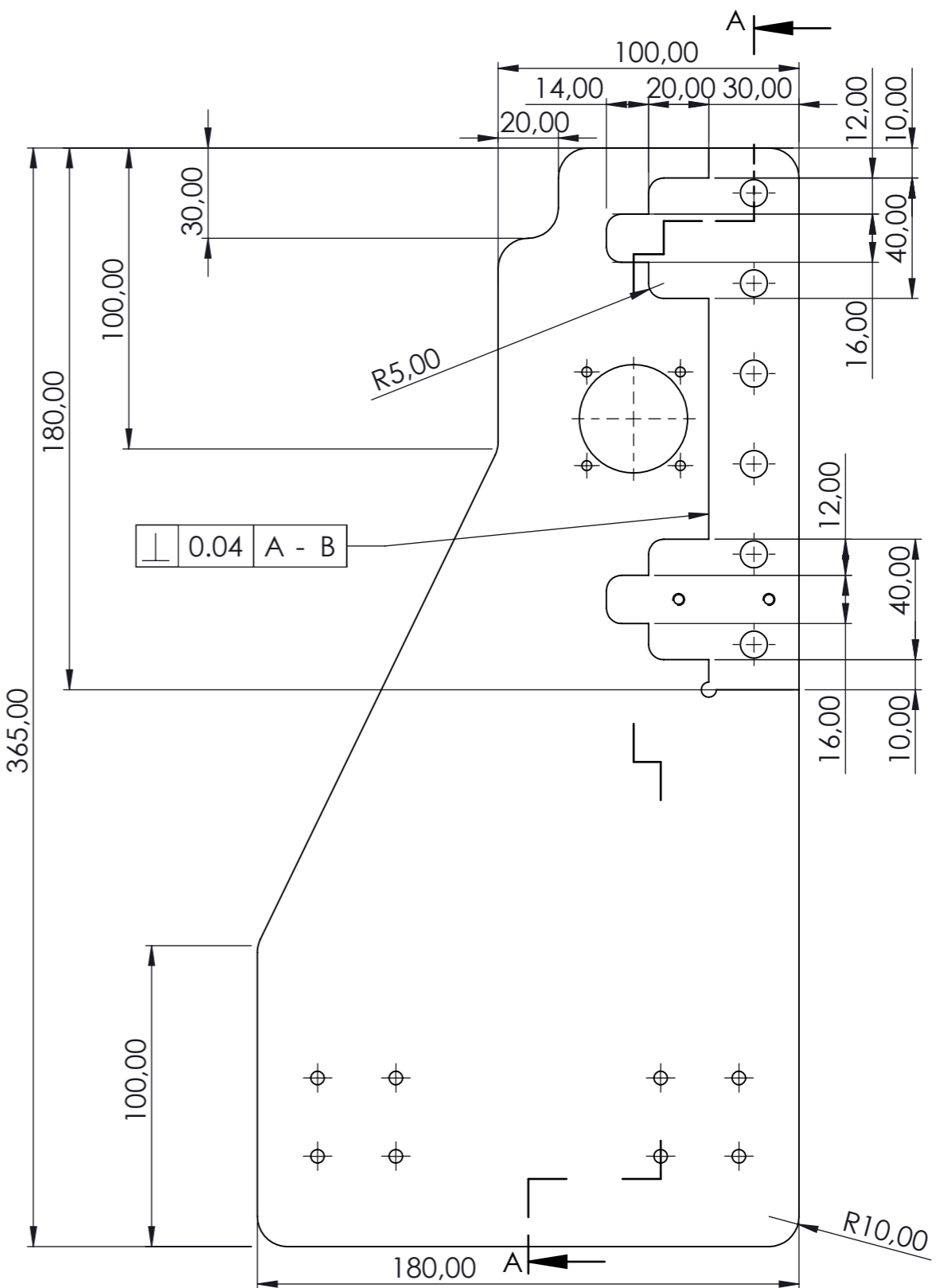
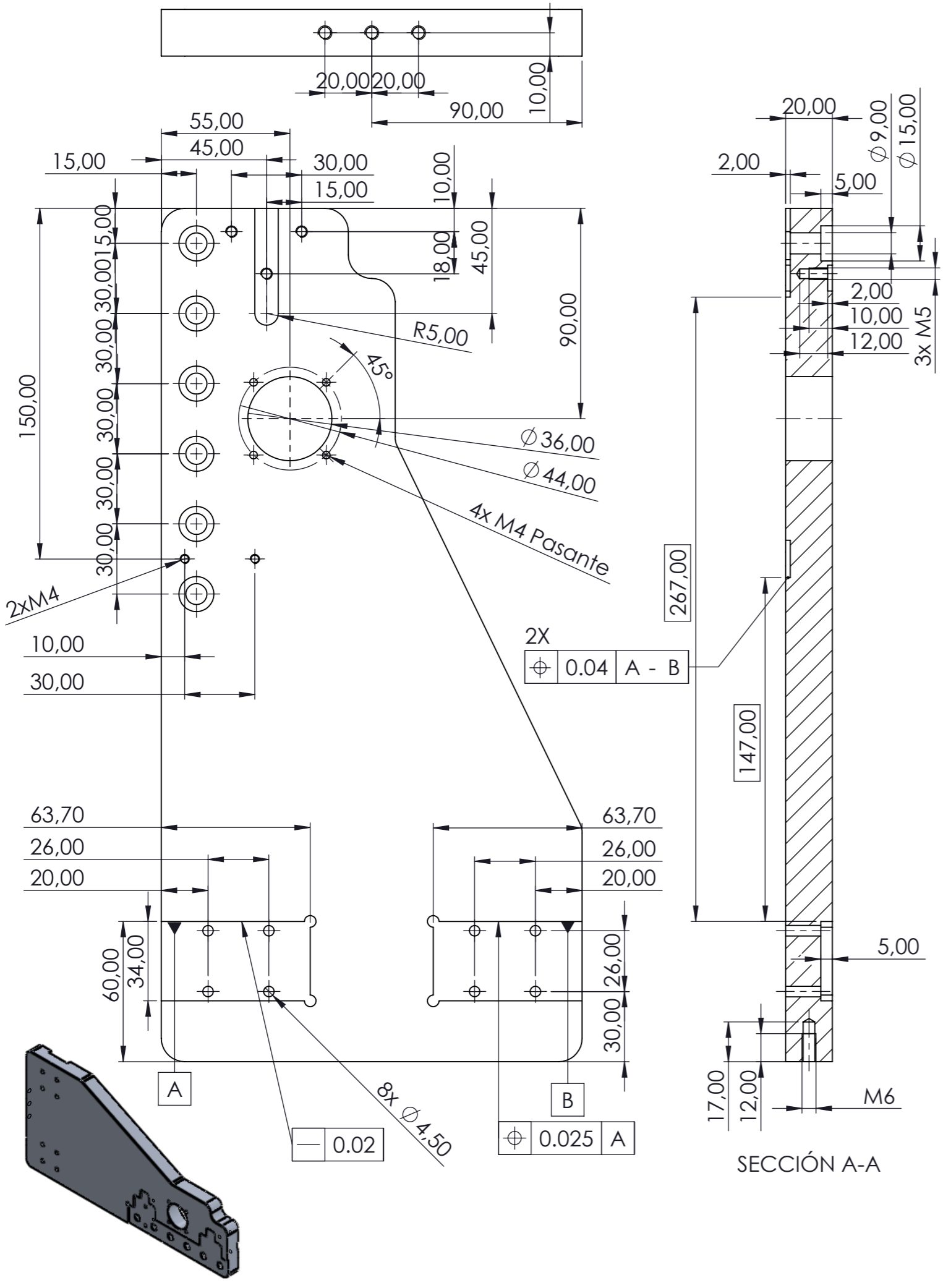
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Soporte sensor transversal		Plano N°: 1.1.6.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 2:1	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



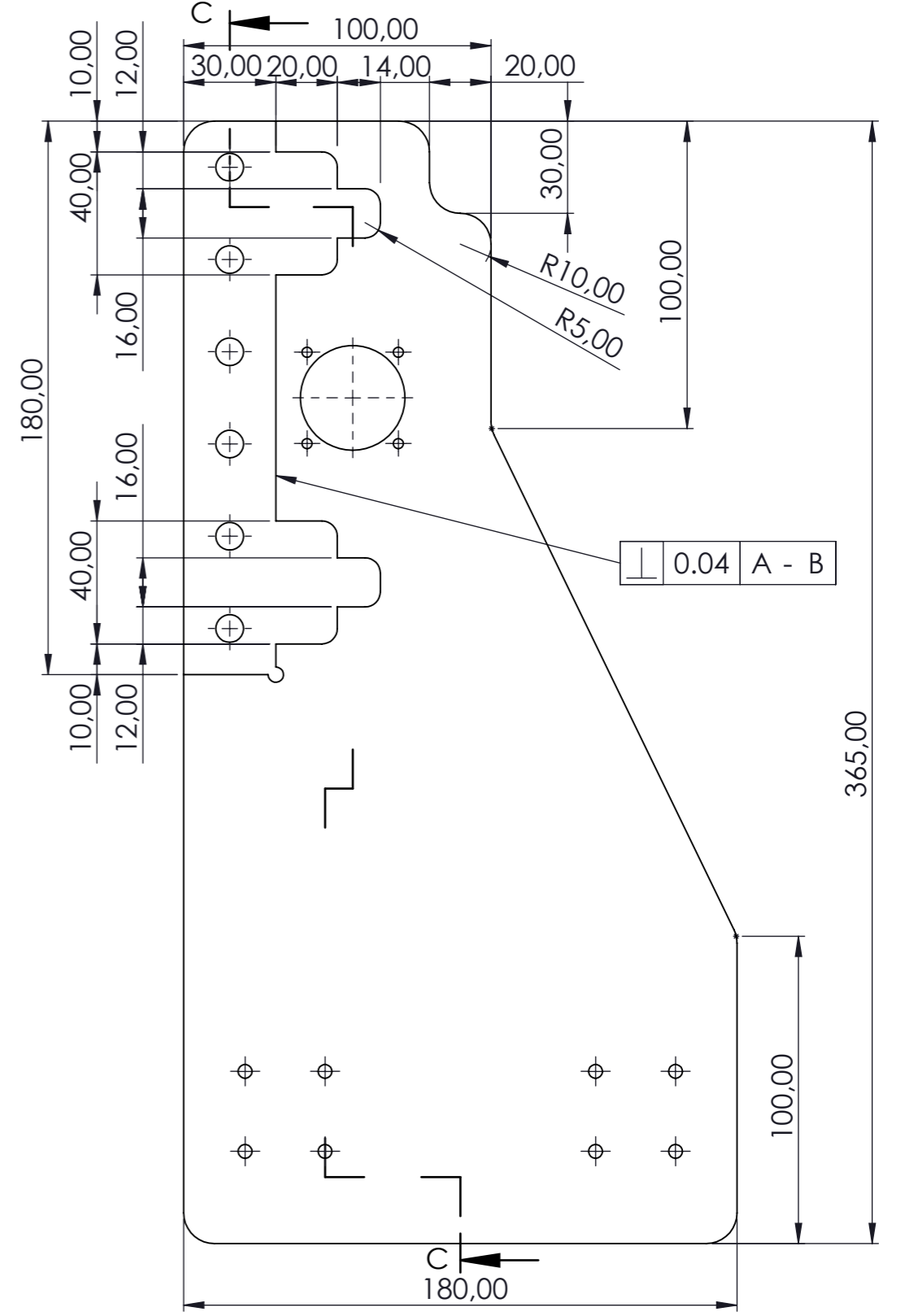
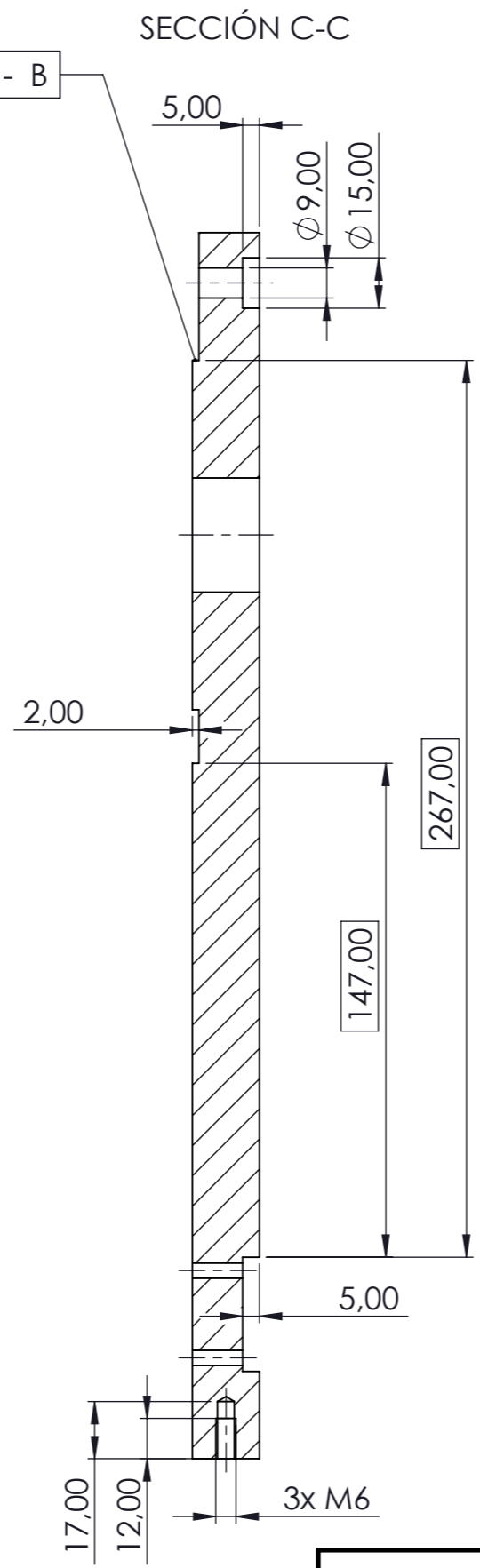
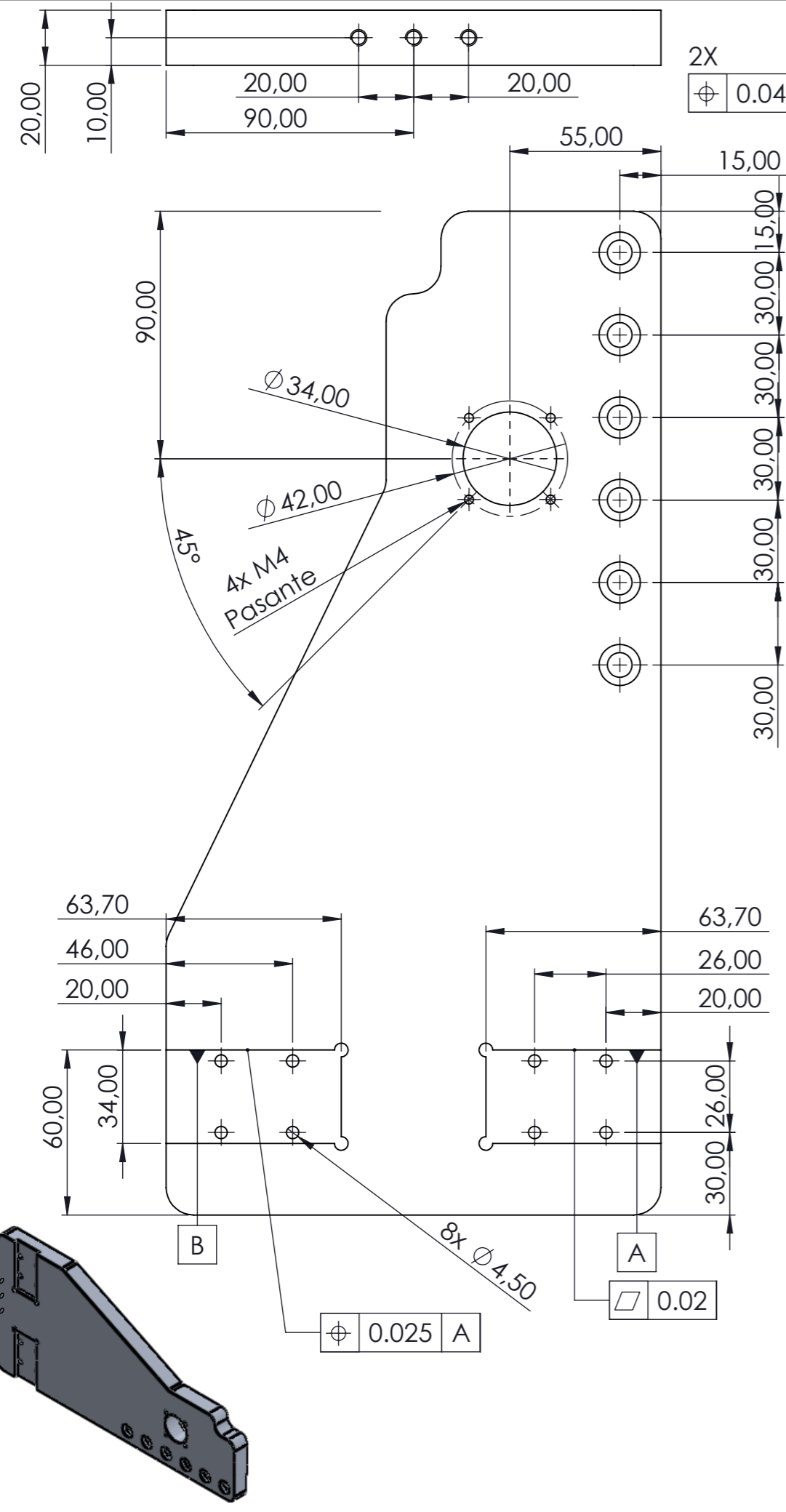
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Soporte bandeja		Plano N°: 1.1.7.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:1	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



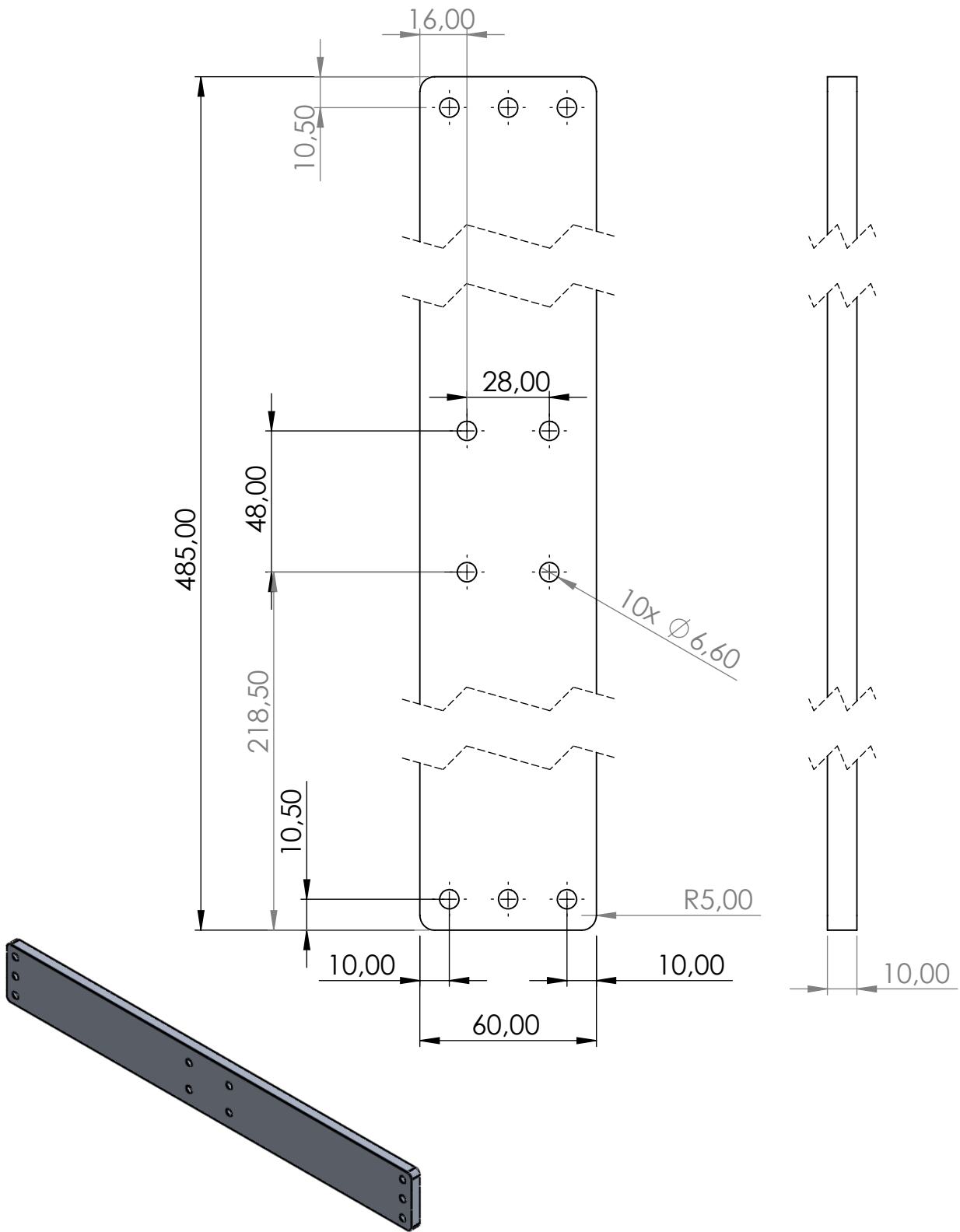
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa lateral izquierdo		Plano N°: 1.1.8.
Escala 1:2		Un. dim. mm		Hoja N°: 1 de 1
Formato A3		Material Aluminio		Fecha: 14/02/2020
Dibujado por:		Julen Jauregui Balerdi		

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia		+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3



Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa lateral derecho		Plano N°: 1.1.9.
Escala 1:2		Un. dim. mm		Hoja N°: 1 de 1
Formato A3		Material Aluminio		Fecha: 14/02/2020
		Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi		

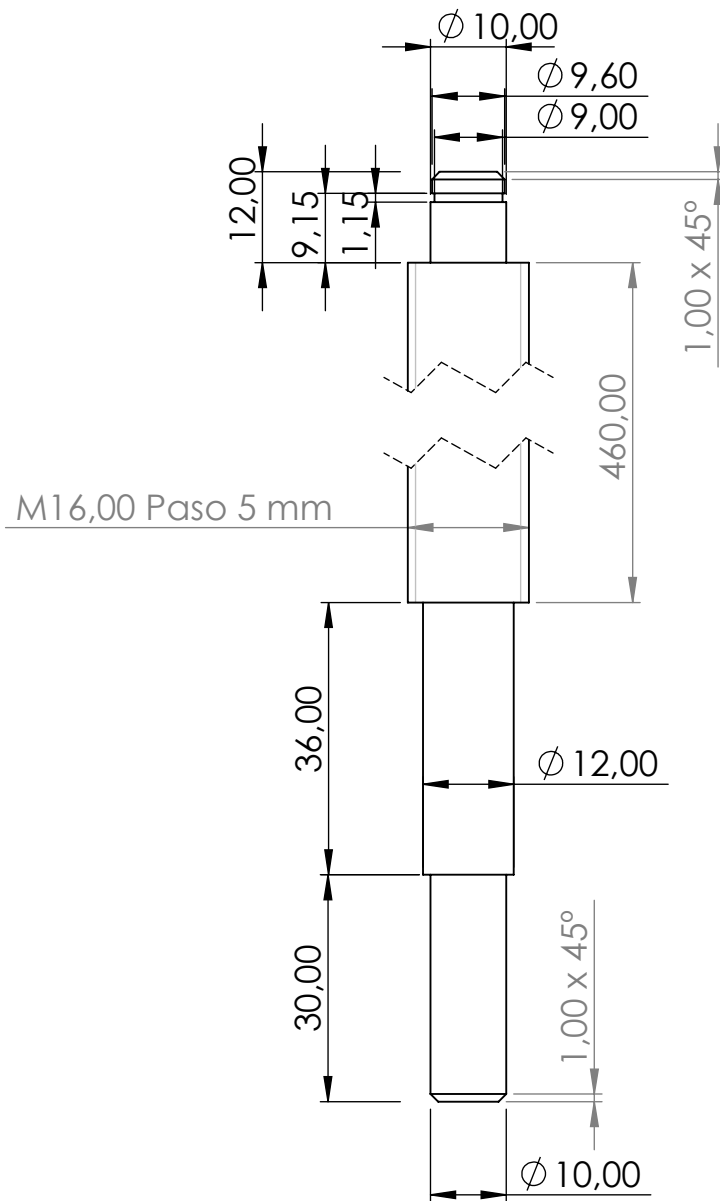
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa inferior		Plano N°: 1.1.10.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:2	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

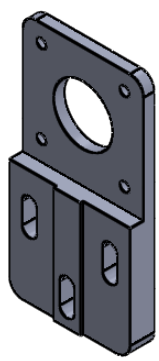
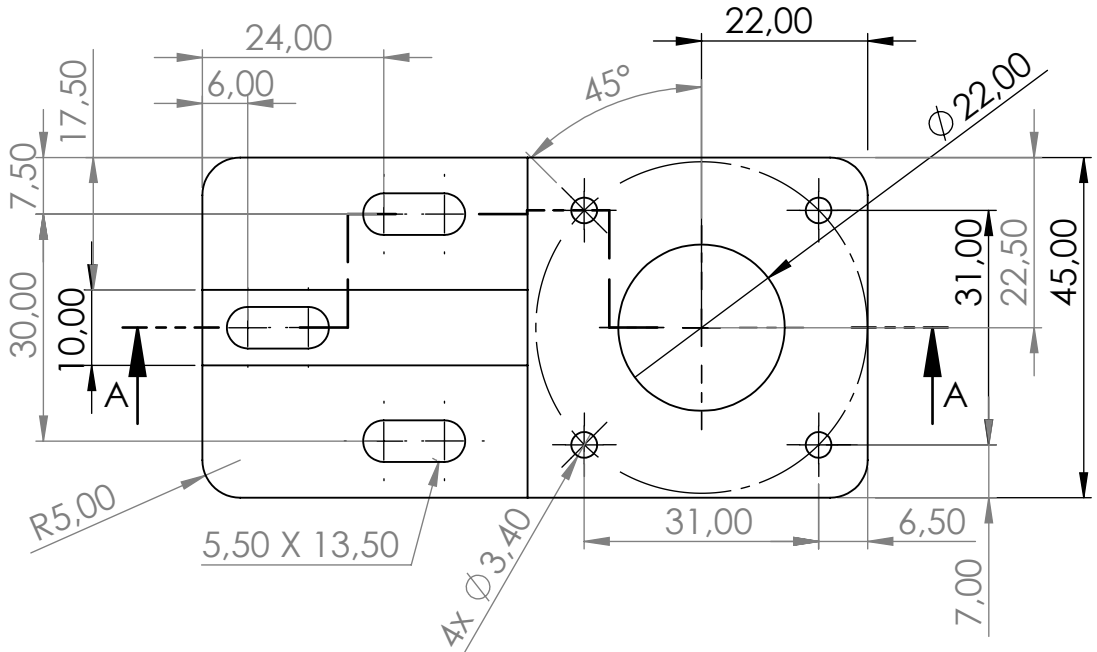
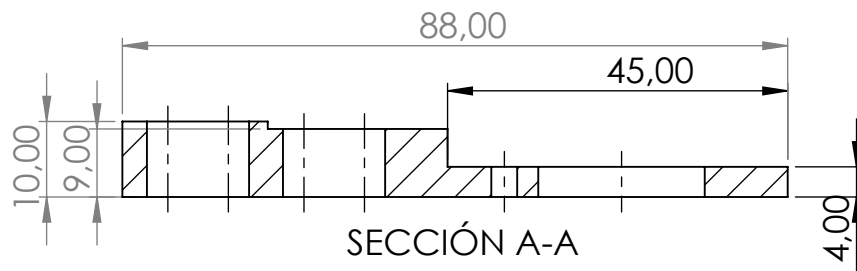



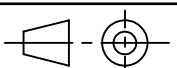
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



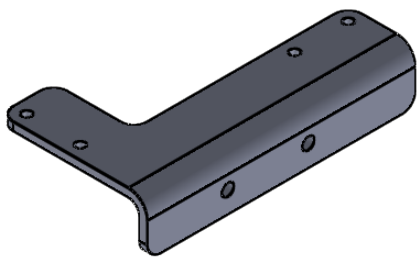
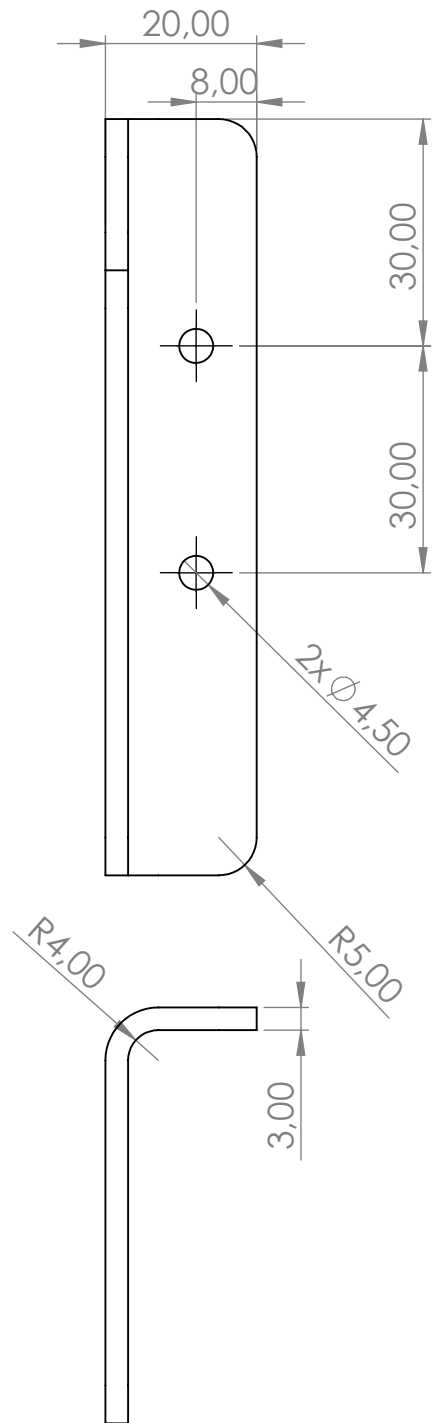
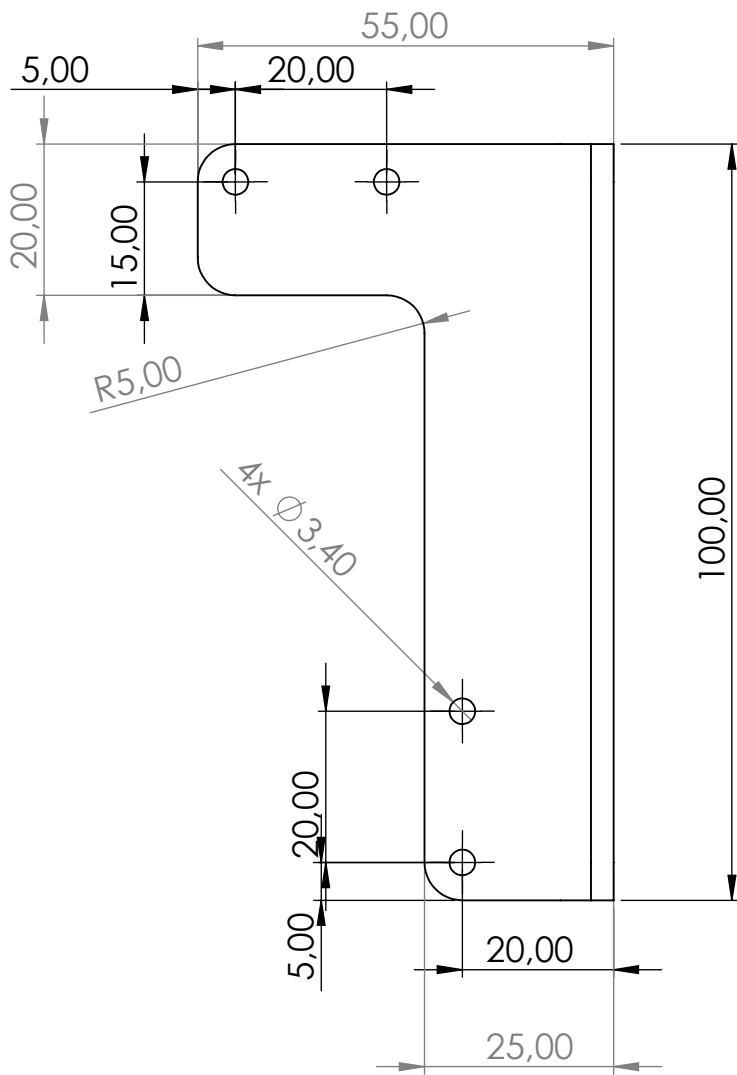
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Husillo X		Plano N°: 1.1.11.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:1	Un. dim. mm		Material: Acero	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



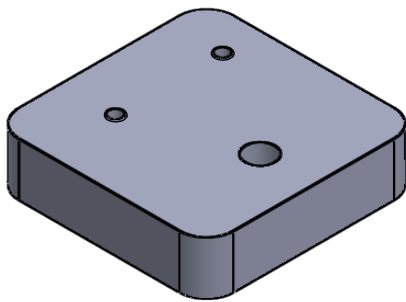
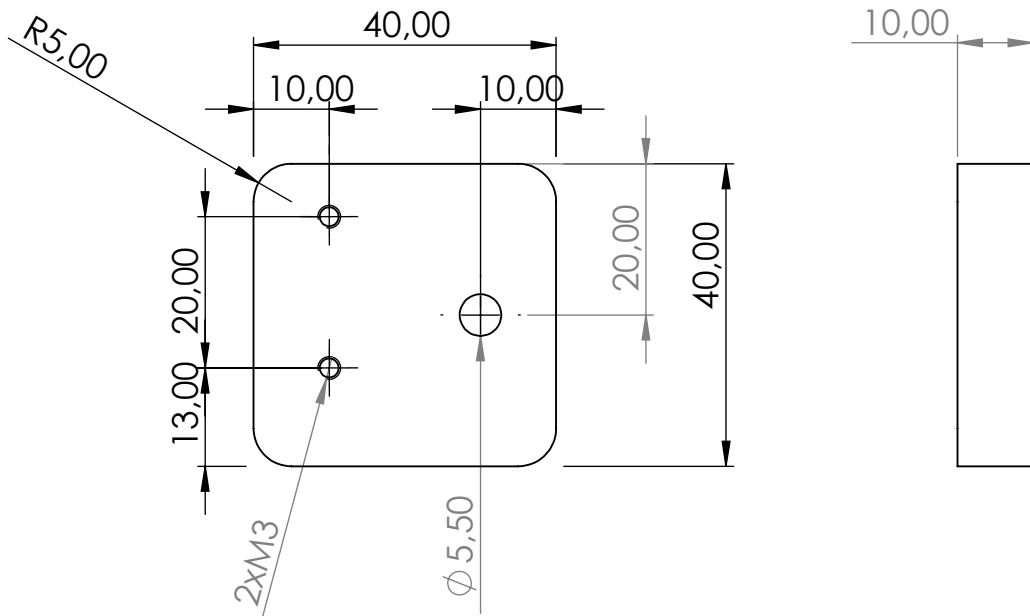
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Soporte nema 17 superior		Plano N°: 1.1.12.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:1	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



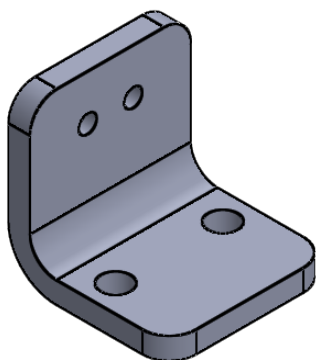
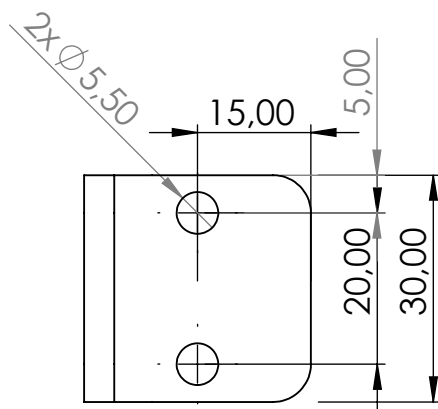
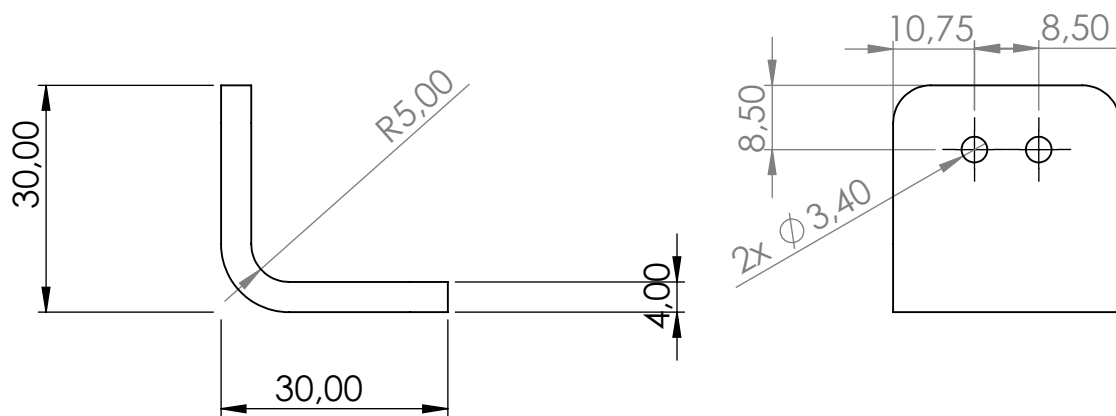
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Soporte portacables medio		Plano N°: 1.1.13.
Escala 1:1		Un. dim. mm		Hoja N°: 1 de 1
Formato A4		Material: Aluminio		Fecha: 14/02/2020
				Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



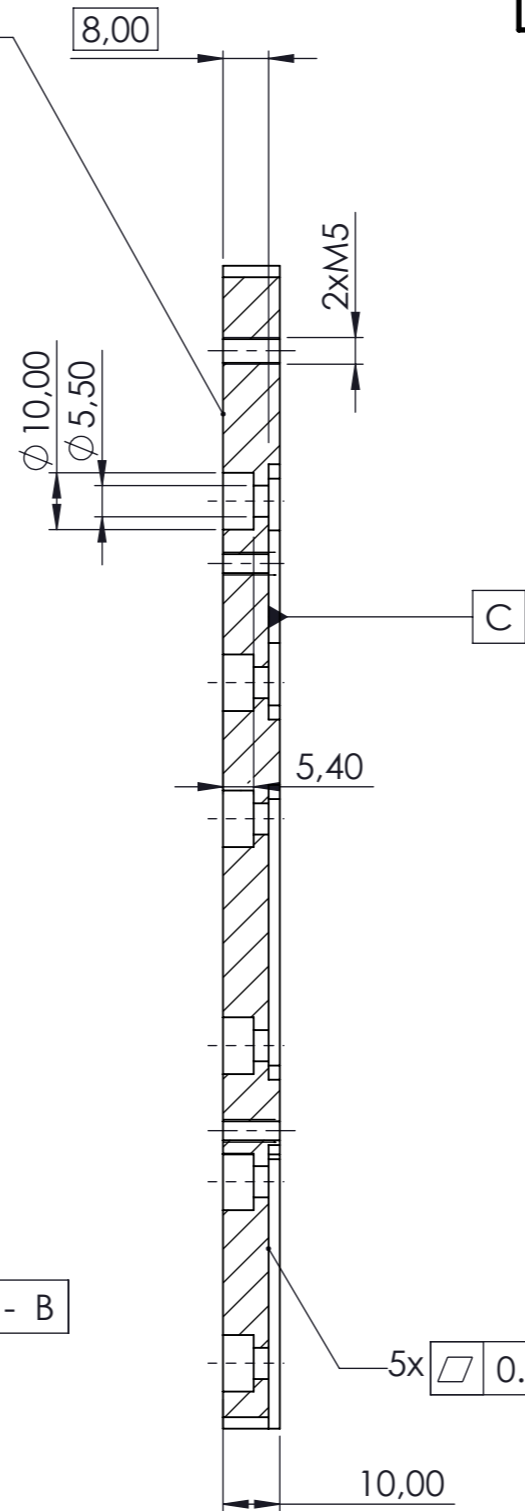
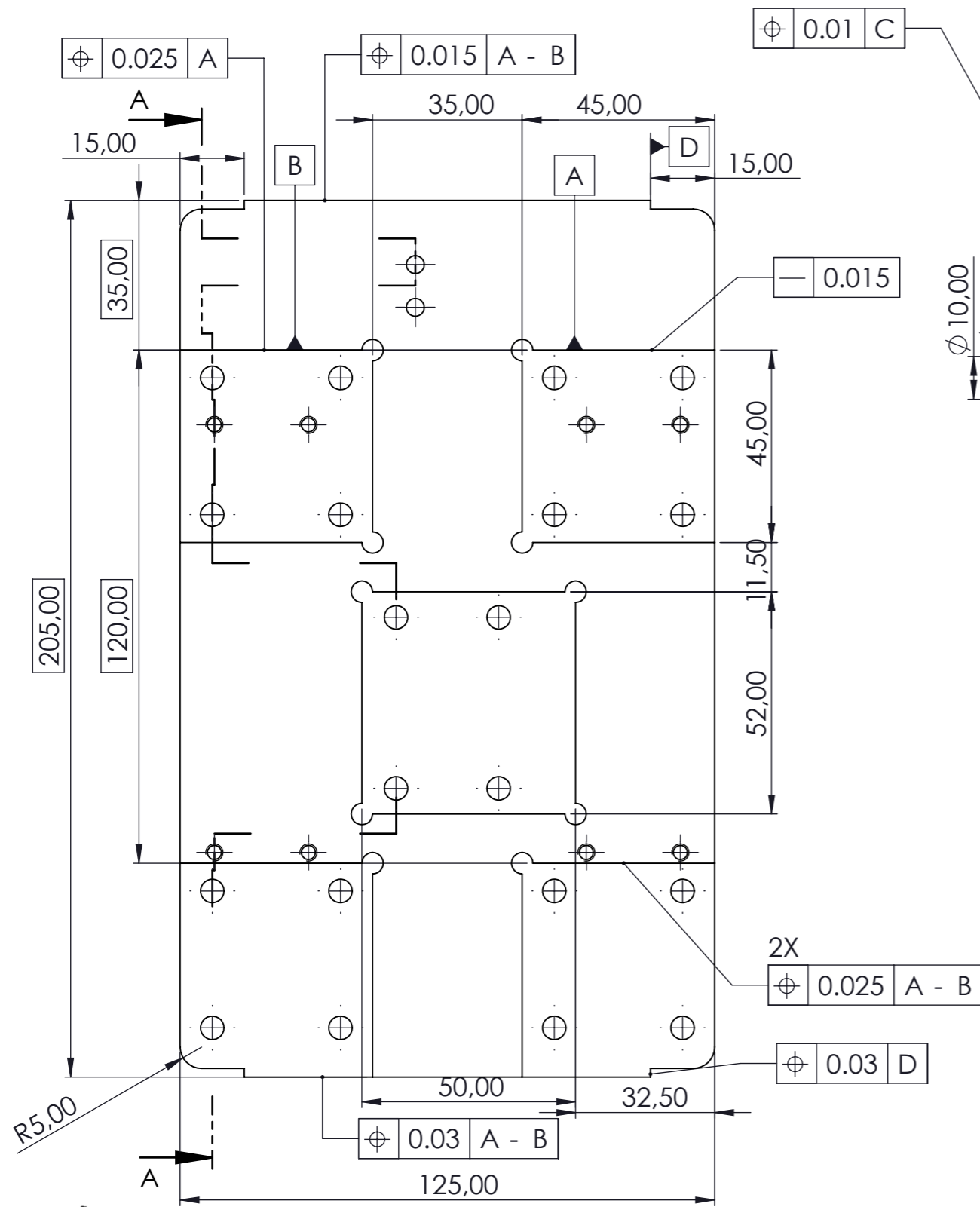
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Soporte portacables inferior		Plano N°: 1.1.14.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:1	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

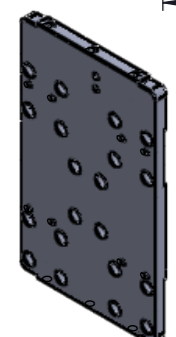
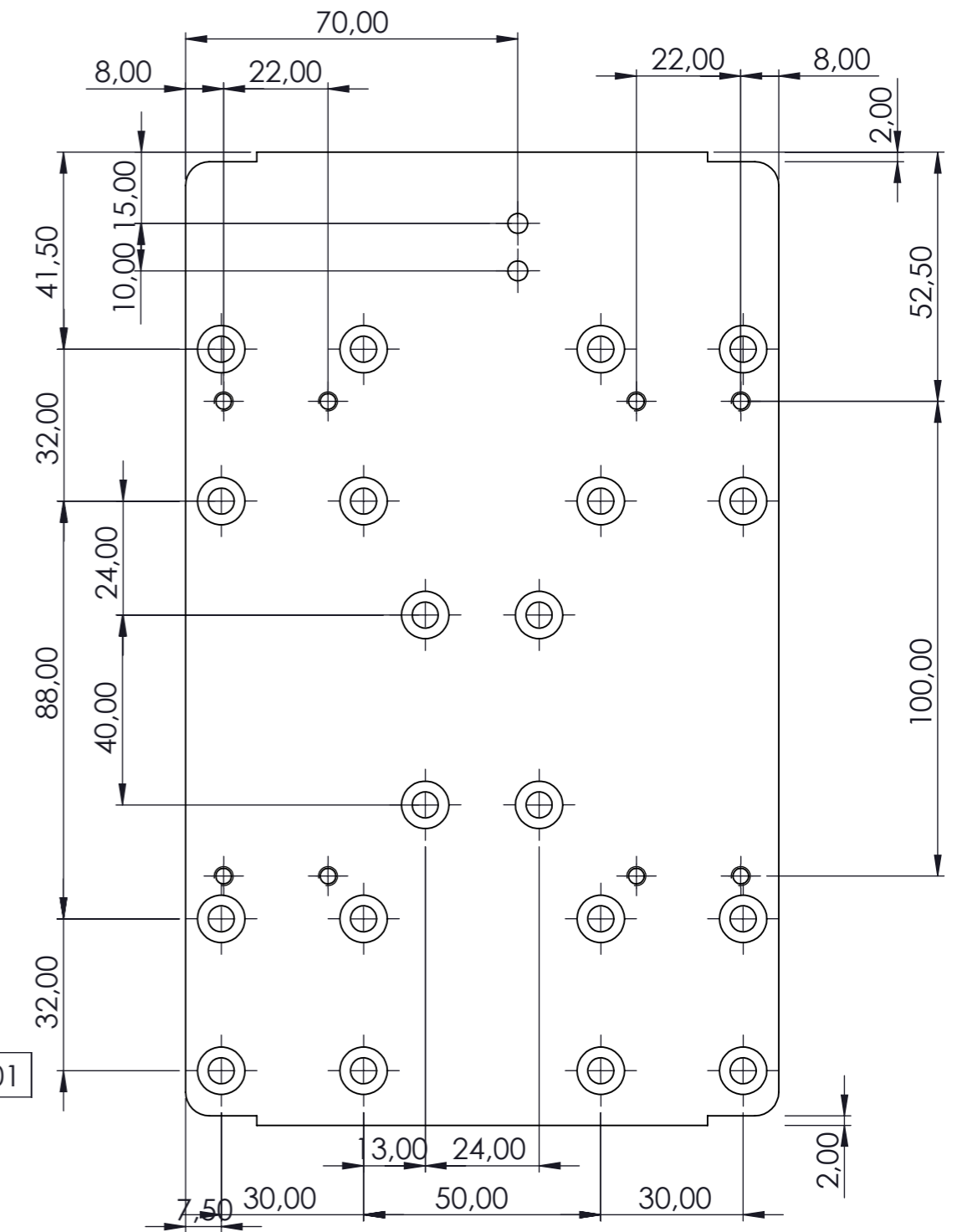


Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Soporte sensor longitudinal		Plano N°: 1.1.15.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:1	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

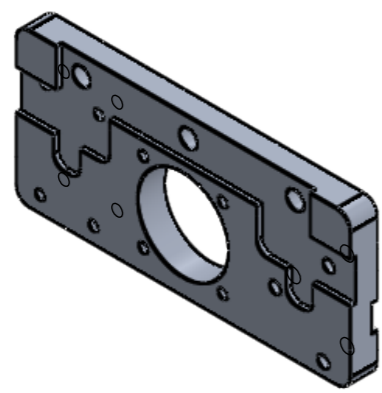
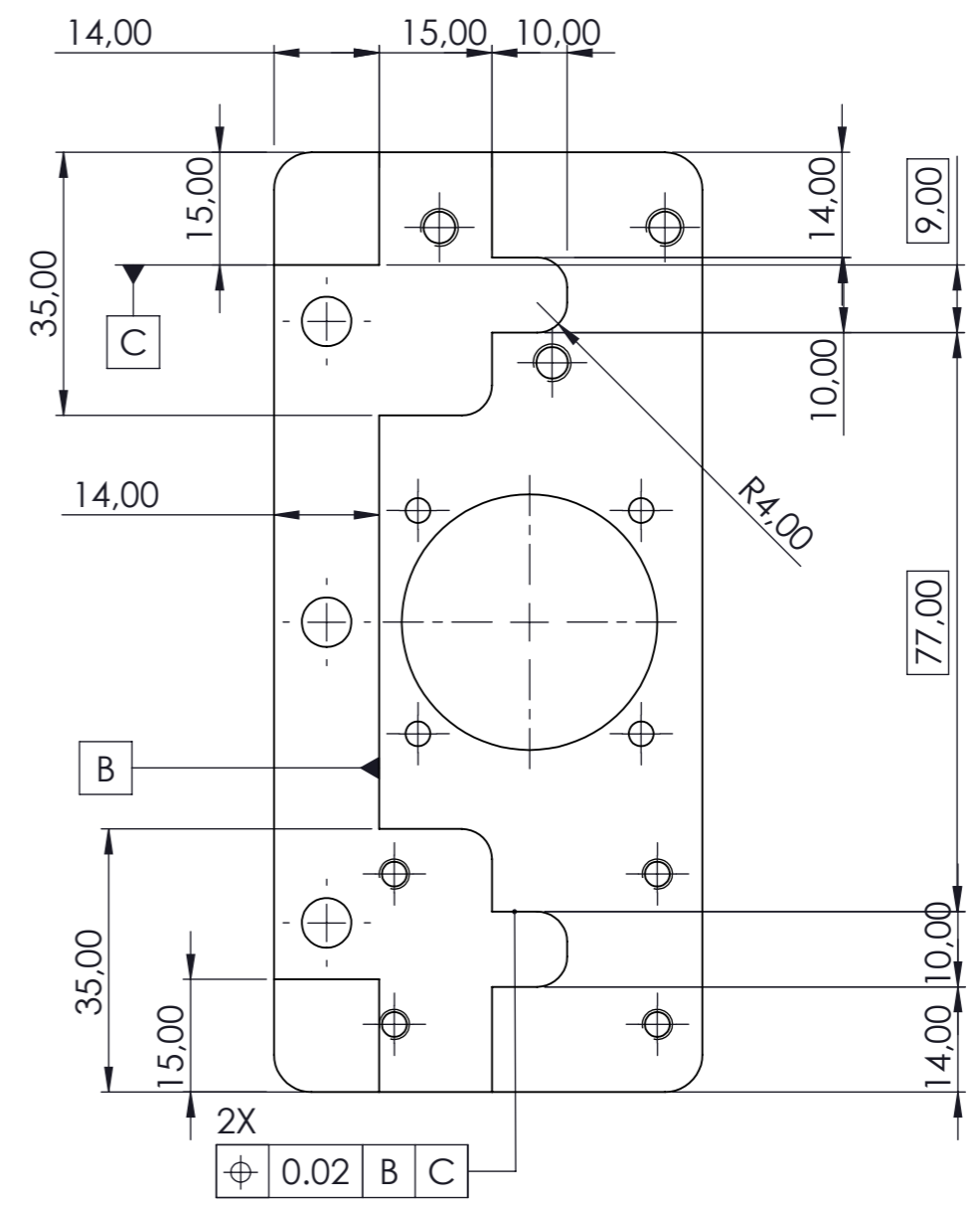
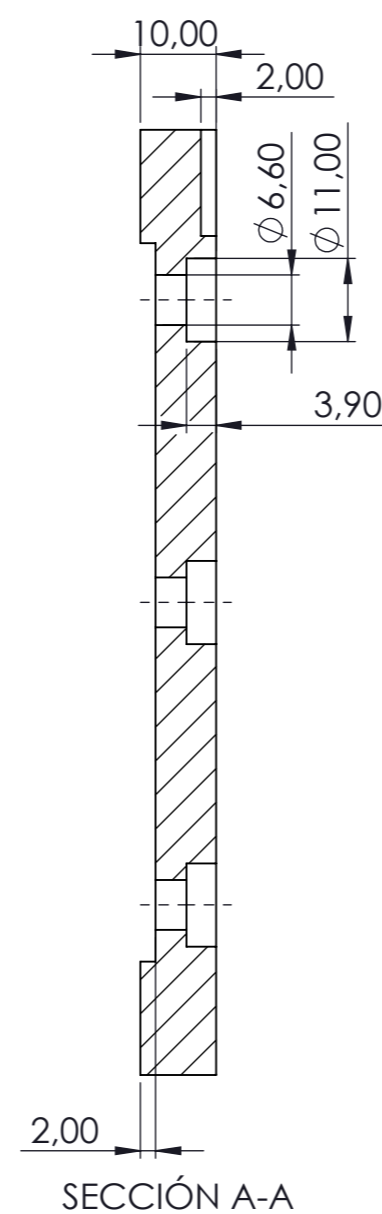
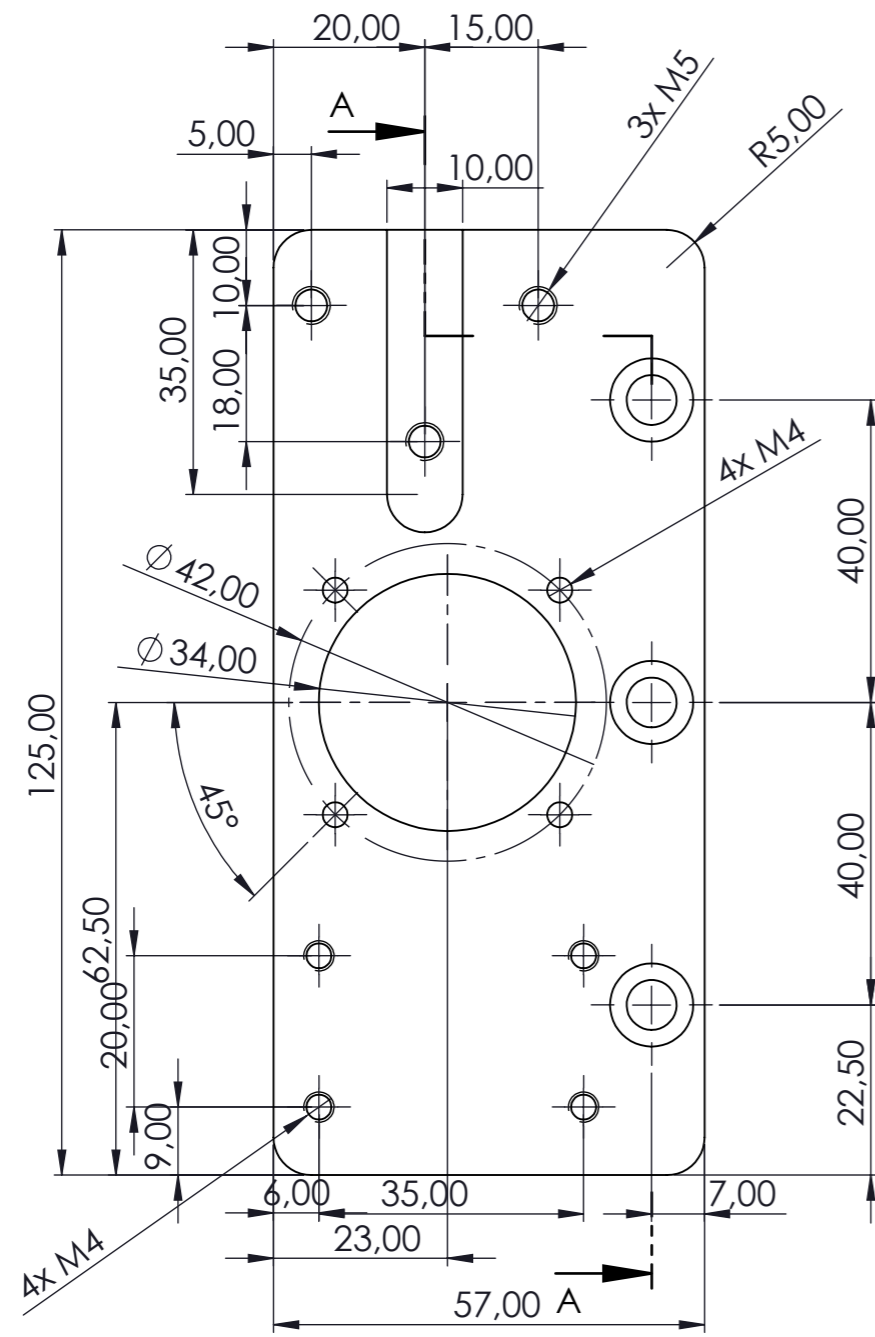



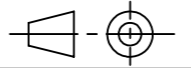
SECCIÓN A-A  
ESCALA 3 : 4



Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa central		Plano N°: 1.1.16.
Escala 3:4		Un. dim. mm		Hoja N°: 1 de 1
Formato A3		Material Aluminio		Fecha: 14/02/2020
				Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi

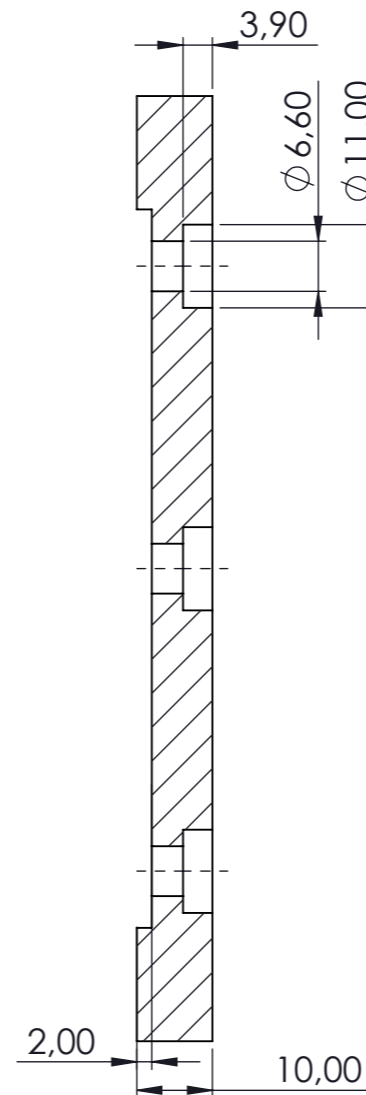
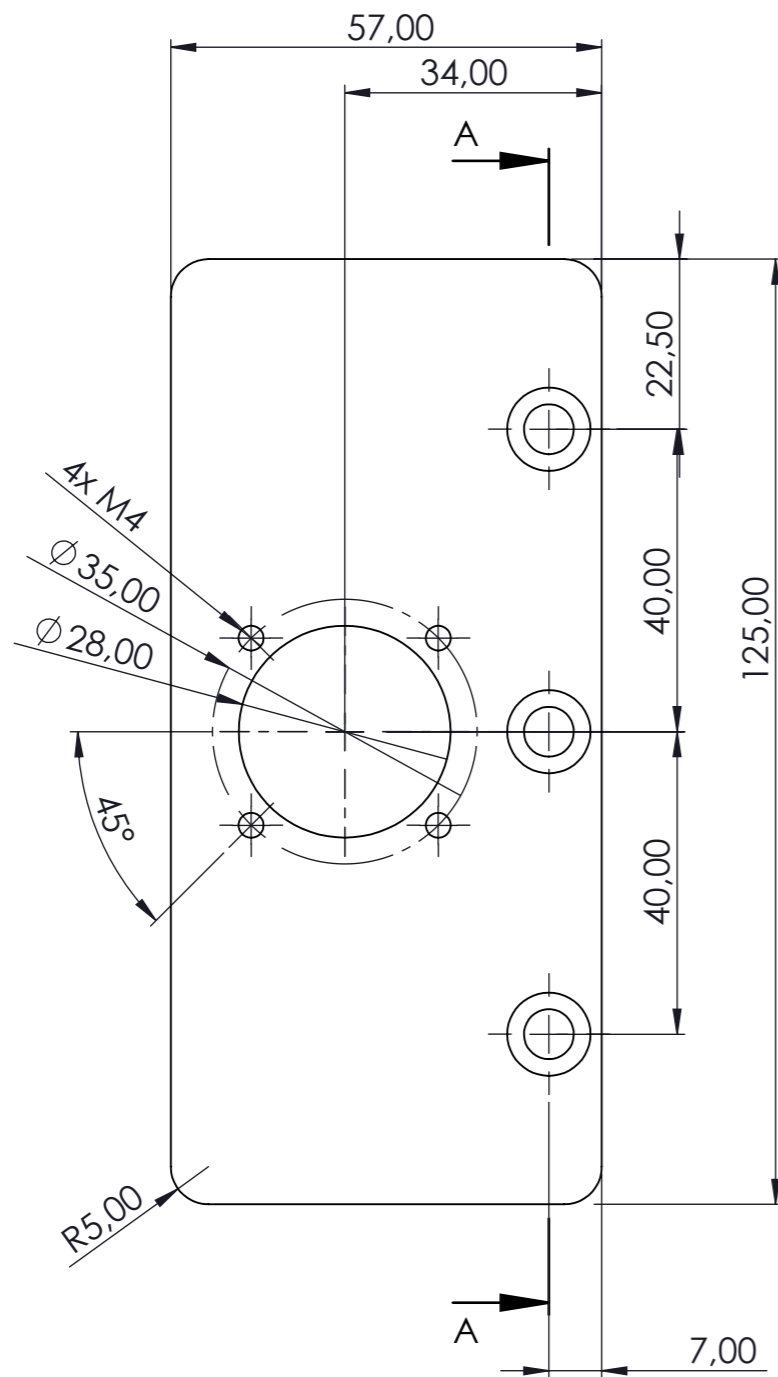
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



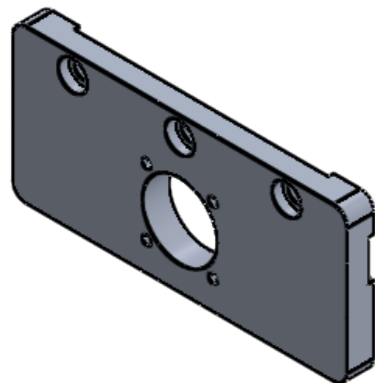
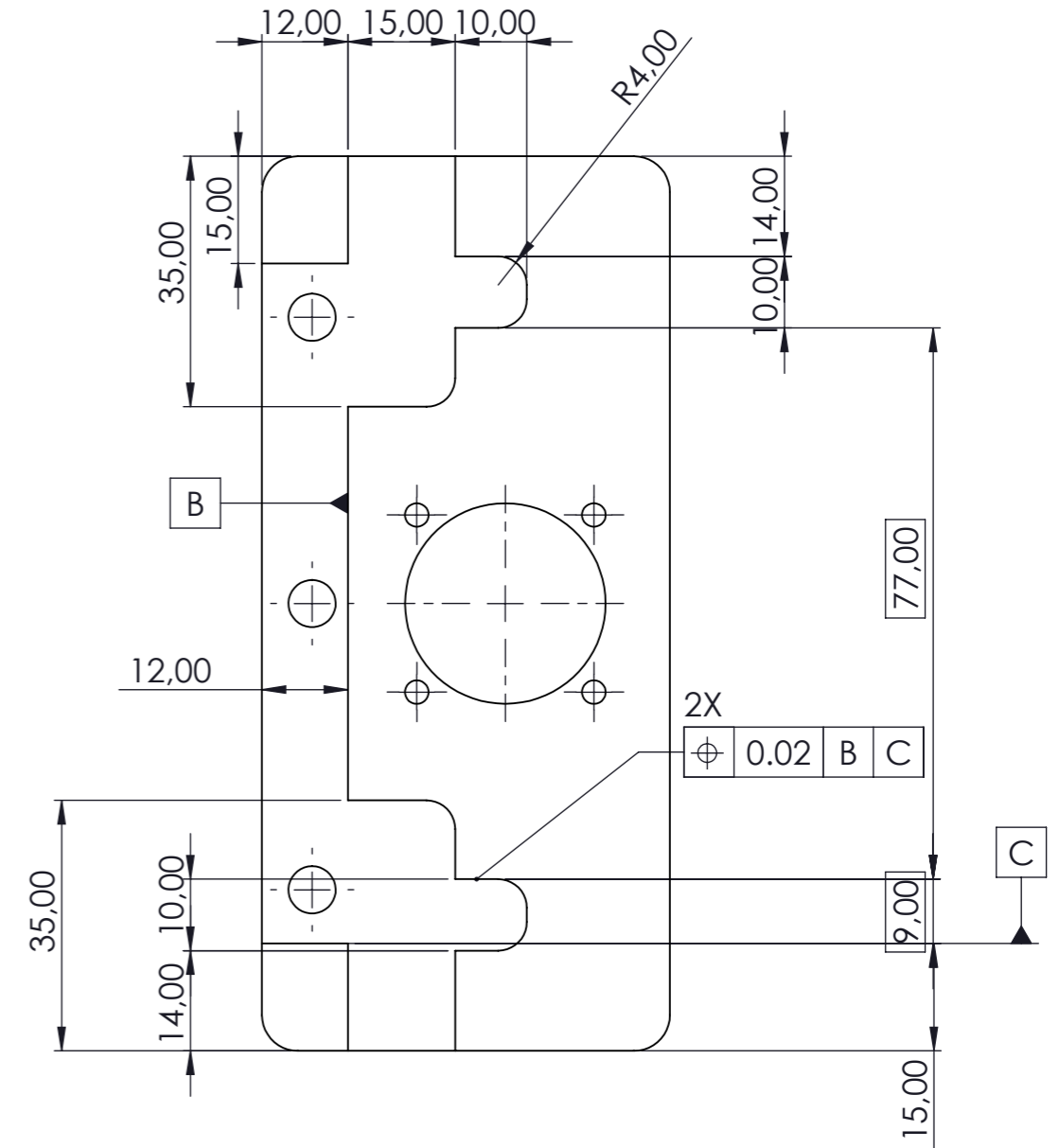
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Apoyo superior		Plano N°: 1.1.17.
Escala 1:1	Un. dim. mm	 UNIVERSITAT JAUME I	Material: Aluminio	Hoja N°: 1 de 1
Formato A3			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	Fecha: 14/02/2020



Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

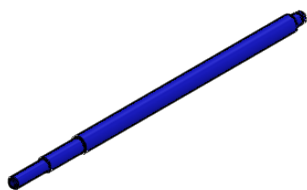
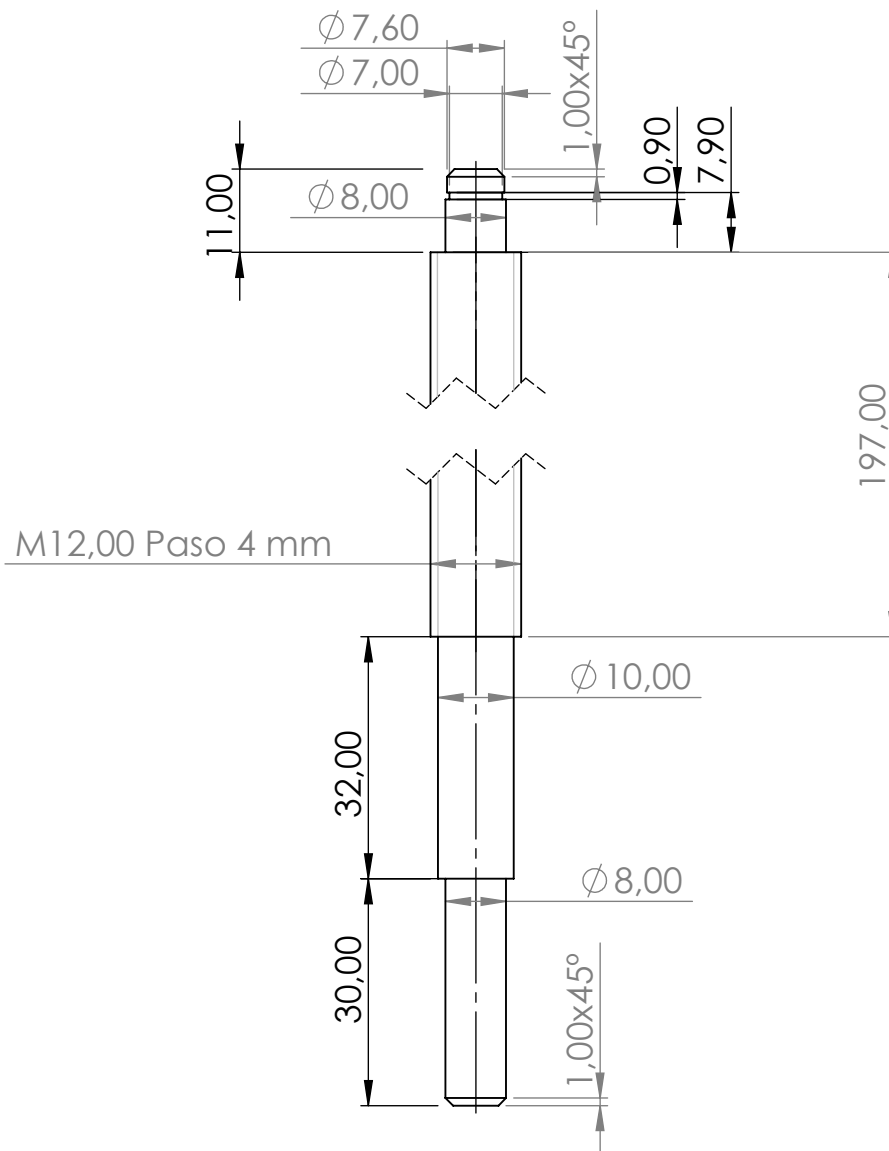


SECCIÓN A-A



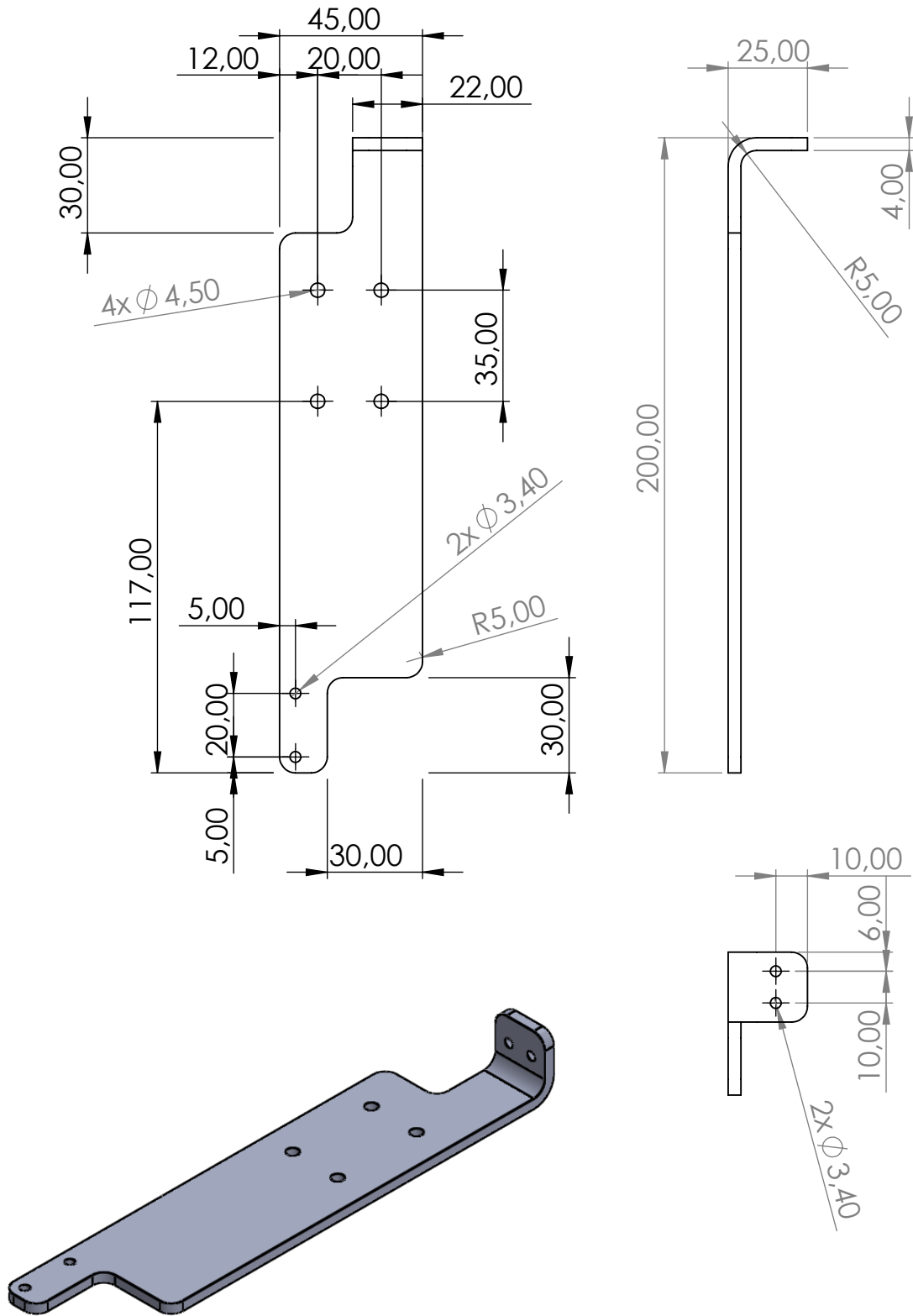
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Apoyo inferior		Plano N°: 1.1.18.
Escala 1:1		Un. dim. mm		Hoja N°: 1 de 1
Formato A3			Material Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Dibujado por:			Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



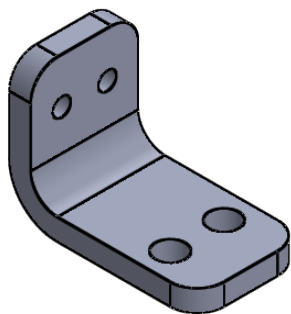
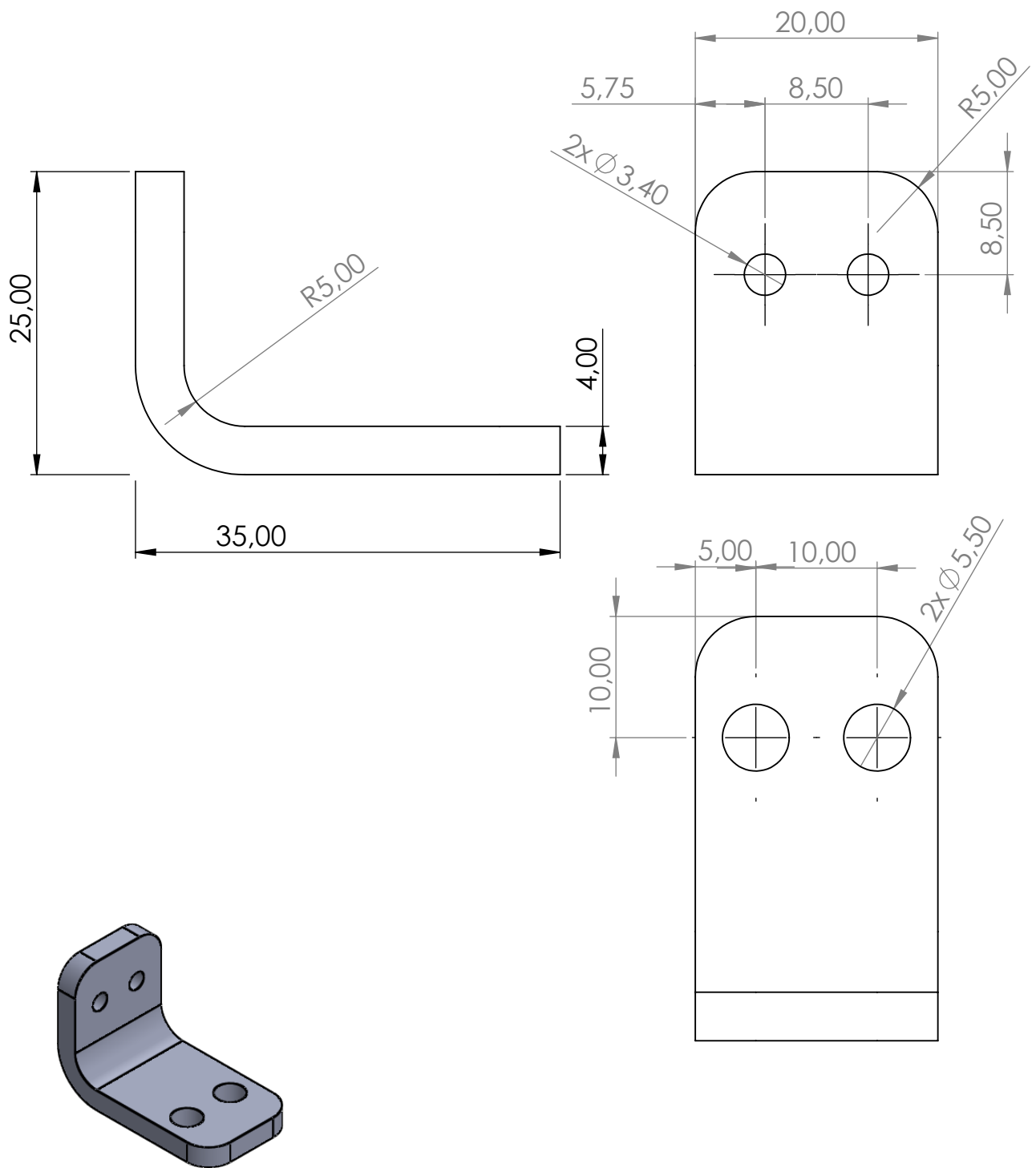
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Husillo Z		Plano N°: 1.1.19.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:1	Un. dim. mm		Material: Acero	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



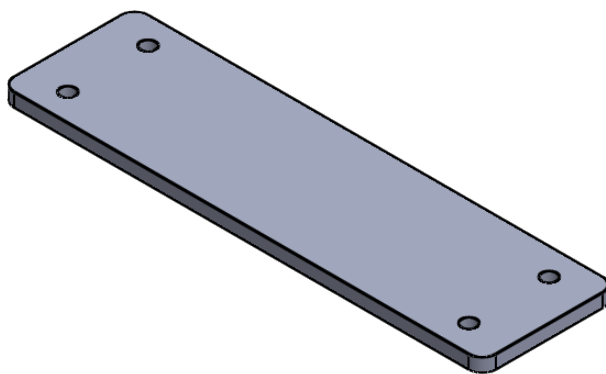
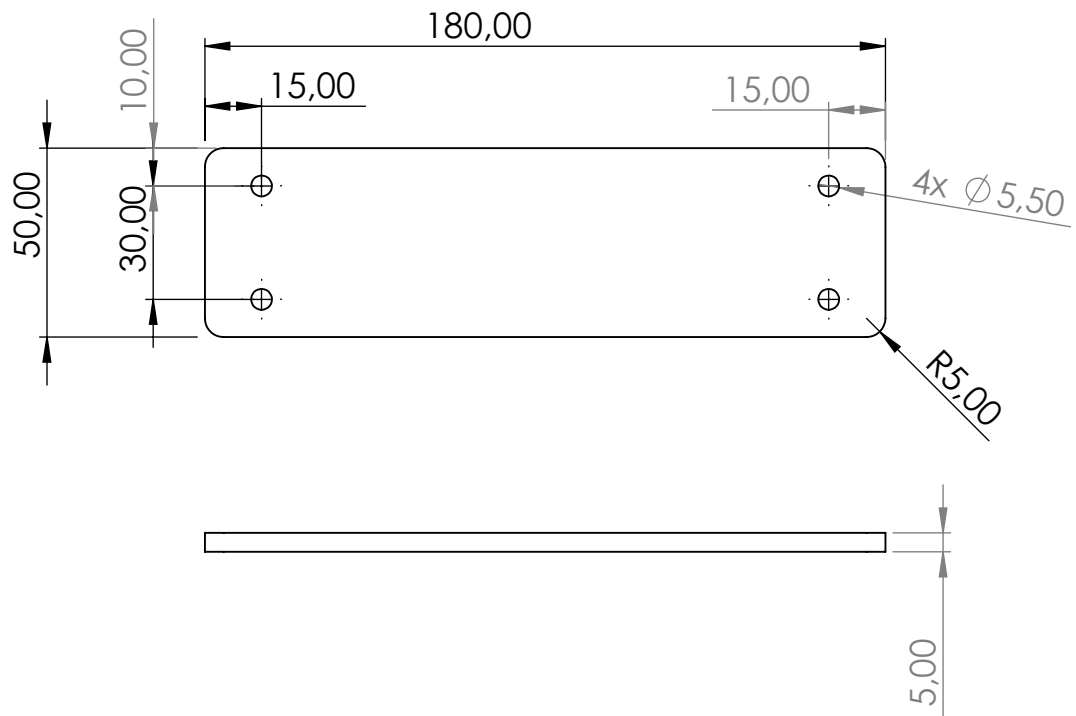
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Soporte portacables superior		Plano N°: 1.1.20.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:2	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



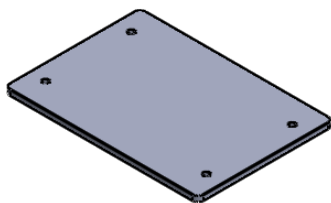
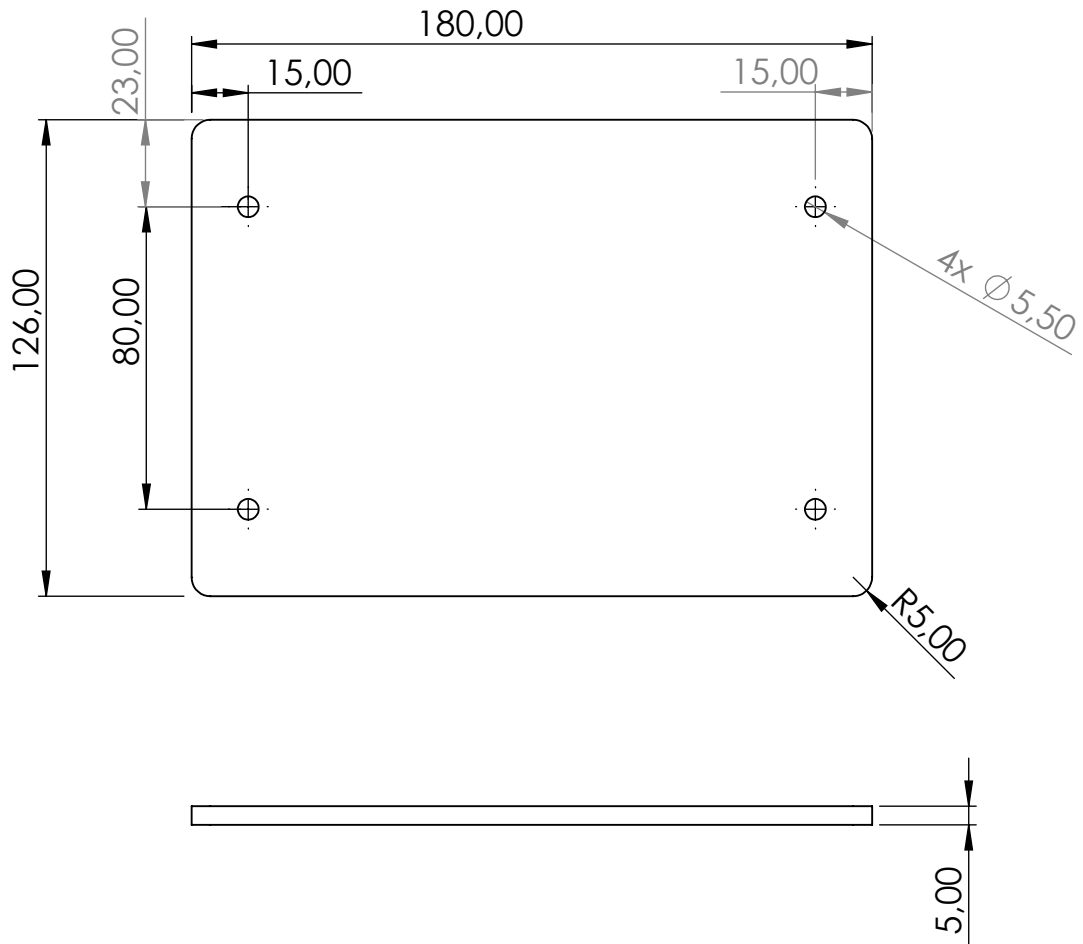
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Soporte sensor vertical		Plano N°: 1.1.21.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 2:1	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	


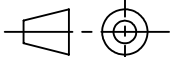
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



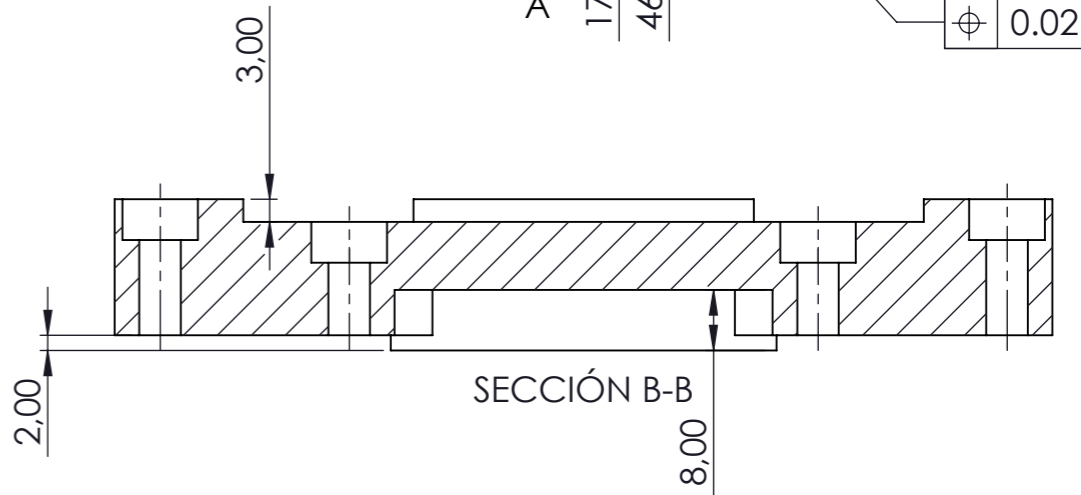
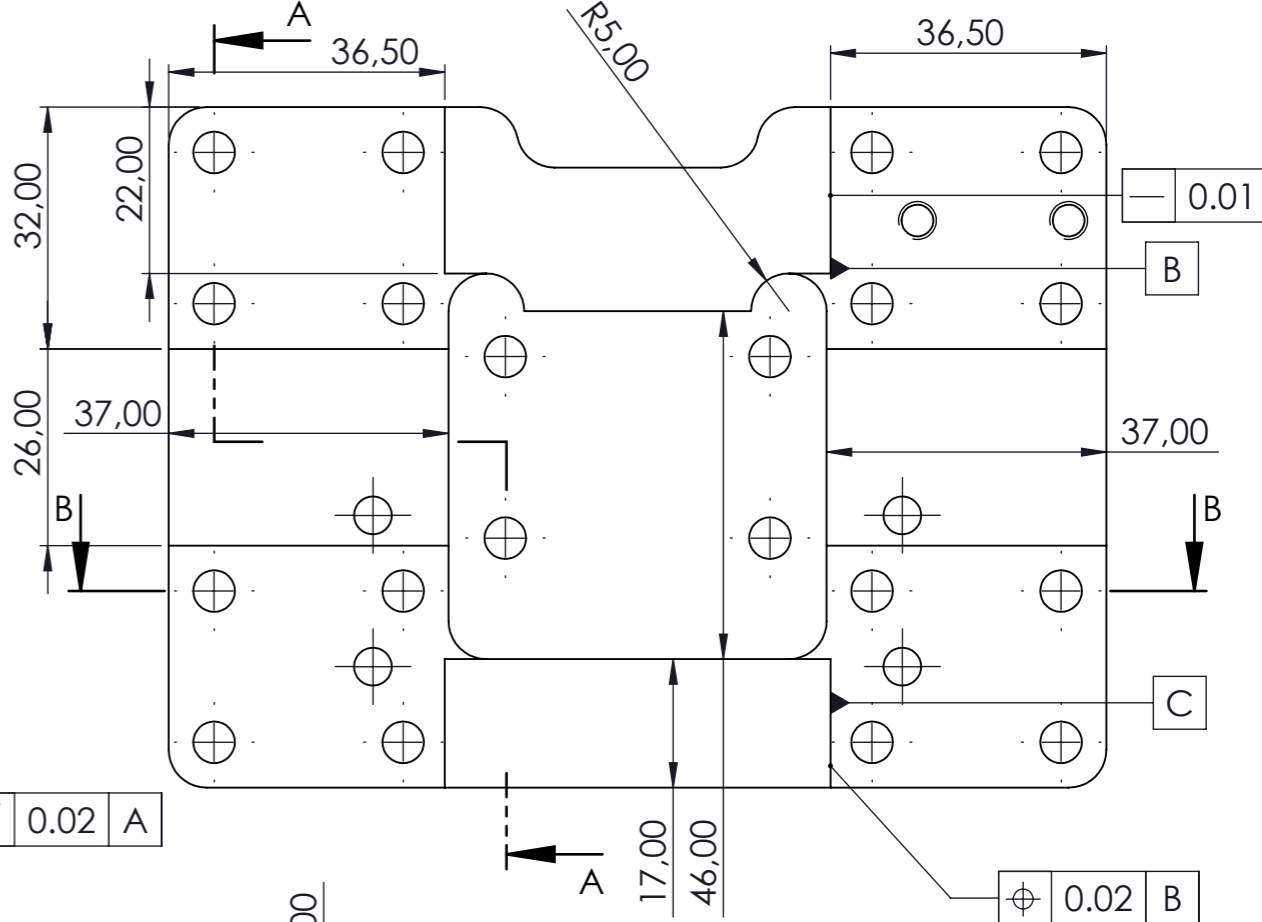
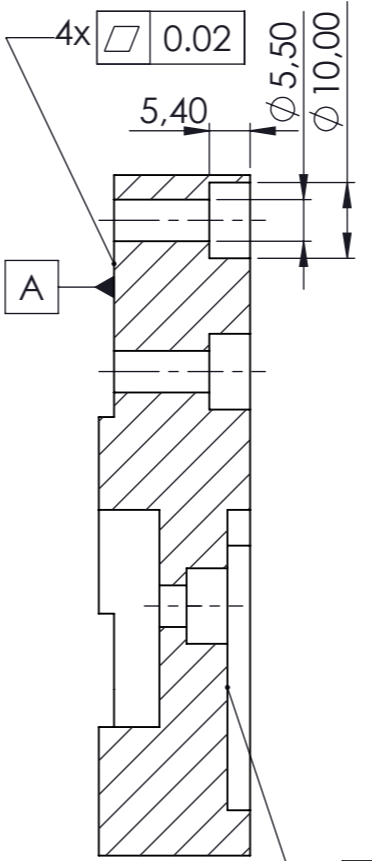
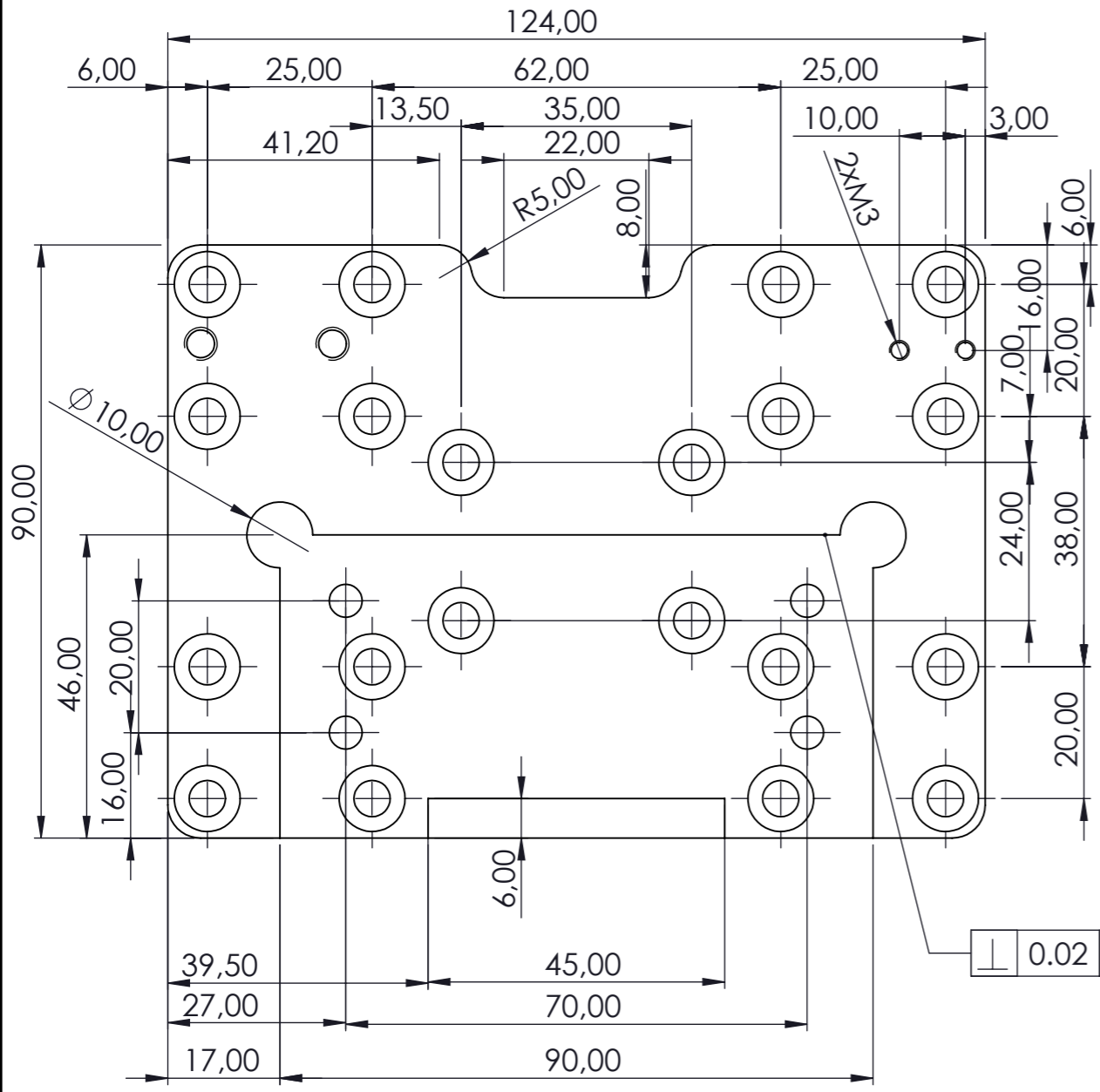
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa protectora delantera		Plano N°: 1.1.22.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:2	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



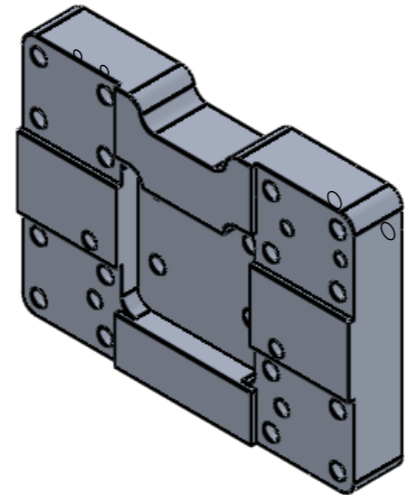
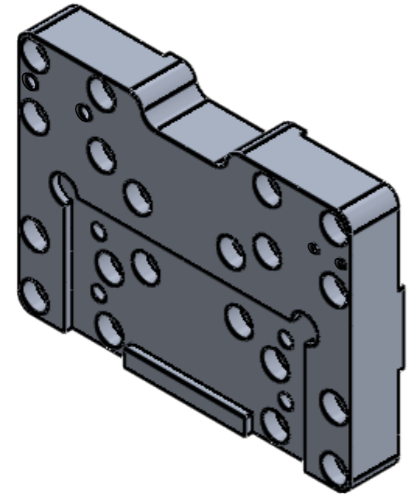
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa protectora trasera		Plano N°: 1.1.23.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:2	Un. dim. mm		Material: Aluminio	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	


Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



⊥ 0.02 B - C

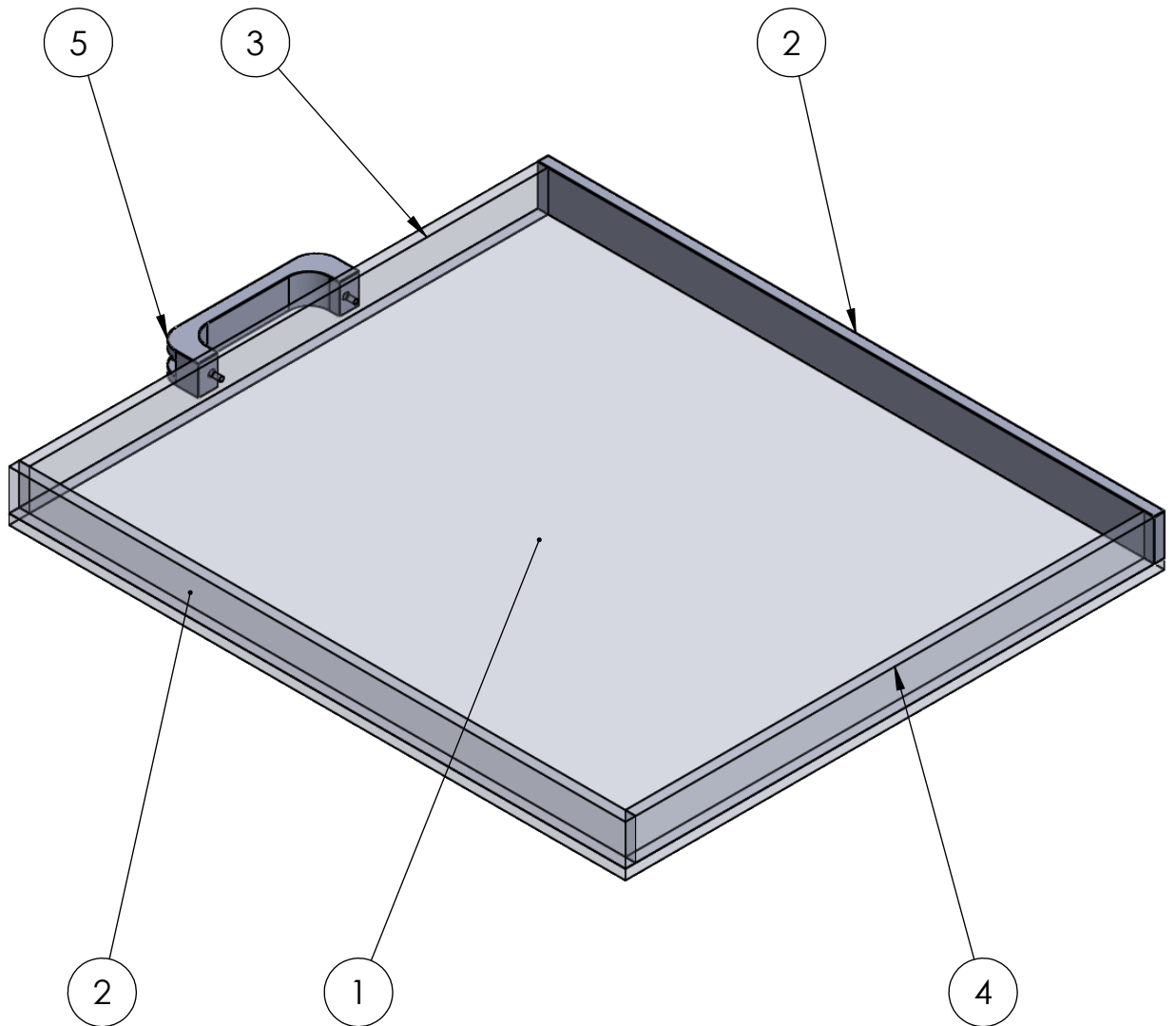
SECCIÓN A-A



Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa final		Plano N°: 1.1.24.
Escala 1:1		Un. dim. mm		Hoja N°: 1 de 1
Formato A3		 UNIVERSITAT JAUME I	Material Aluminio	Fecha: 14/02/2020
			Dibujado por:	Julen Jauregui Balerdi



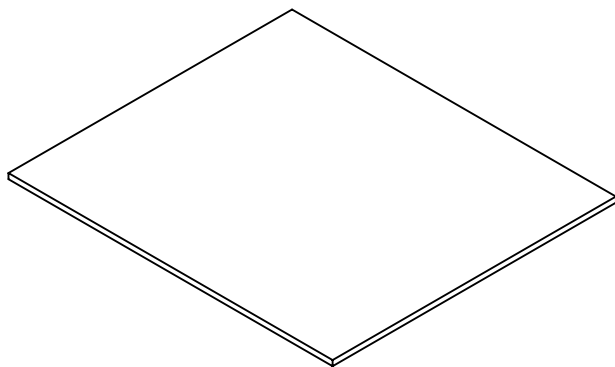
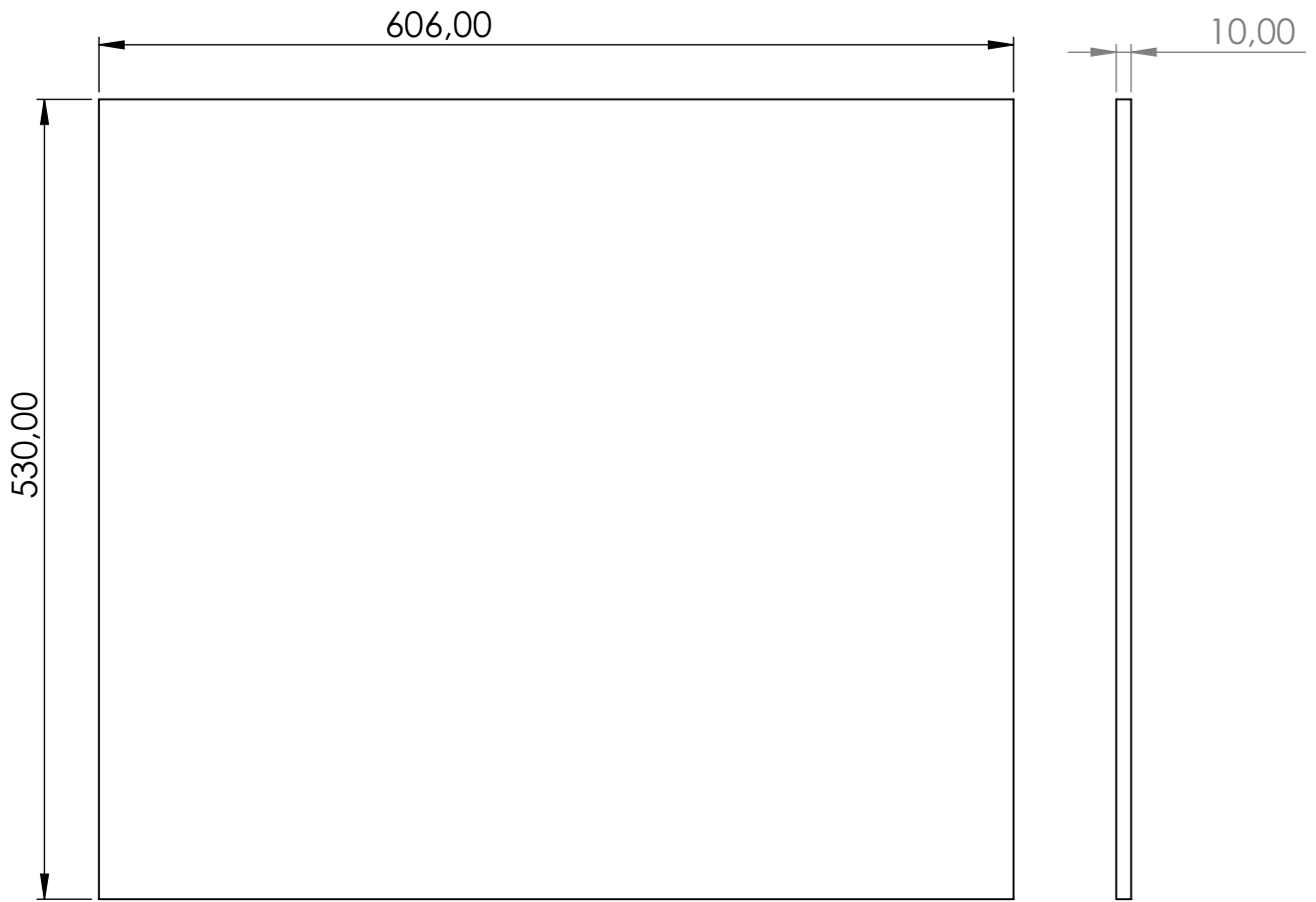
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



5	Manilla	-	Comercial	1
4	Posterior bandeja	1.2.4.		1
3	Frontal bandeja	1.2.3.		1
2	Lateral bandeja	1.2.2.		2
1	Base bandeja	1.2.1.		1
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE	N.º DE PLANO	OBSERVACIONES	CANTIDAD

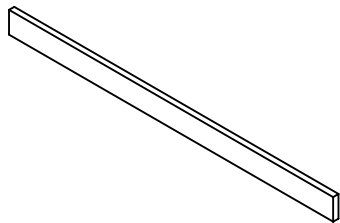
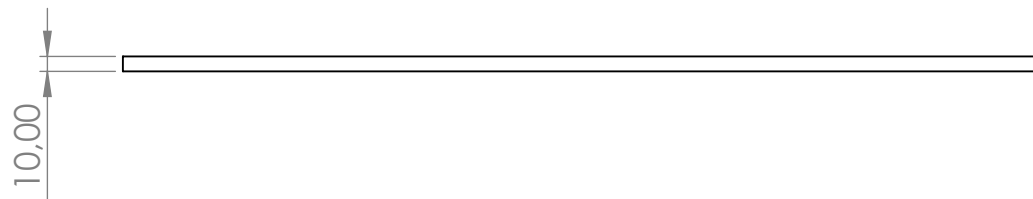
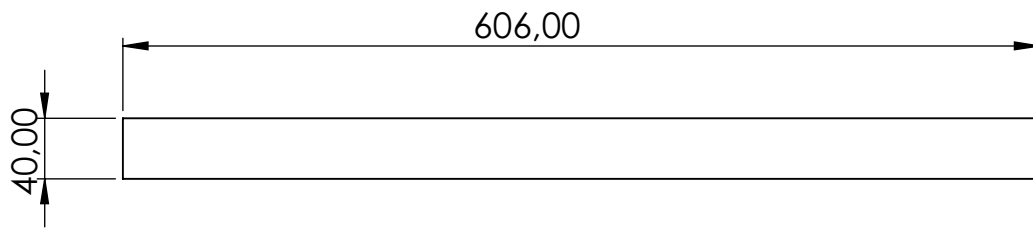
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Bandeja		Plano N°: 1.2
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:5	Un. dim. mm		Material: -	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por:	Julen Jauregui Balerdi


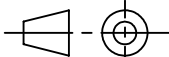
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



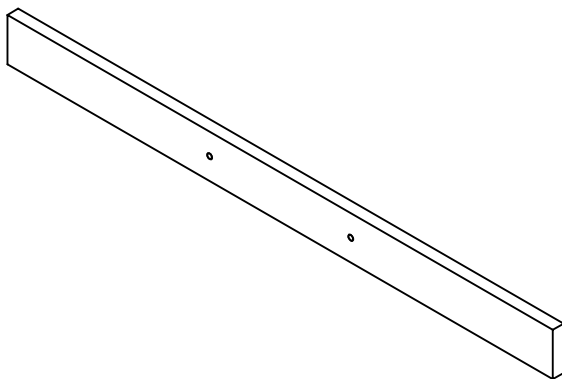
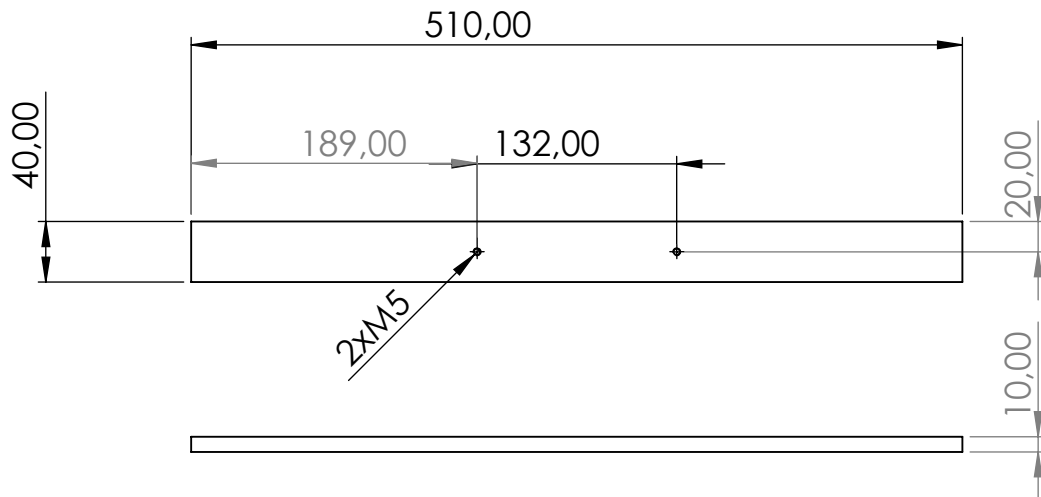
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Base bandeja		Plano N°: 1.2.1.	
				Hoja N°: 1 de 1	
Escala 1:5	Un. dim. mm		Material: Policarbonato	Fecha: 14/02/2020	
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi		

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



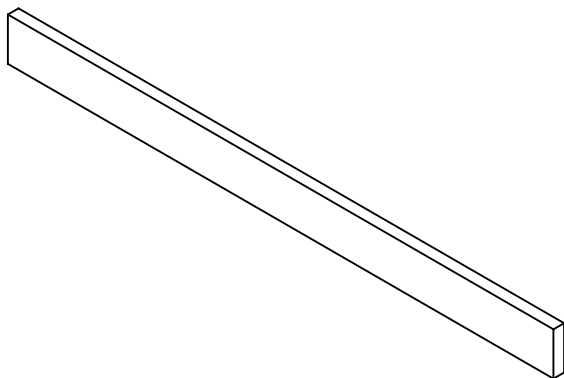
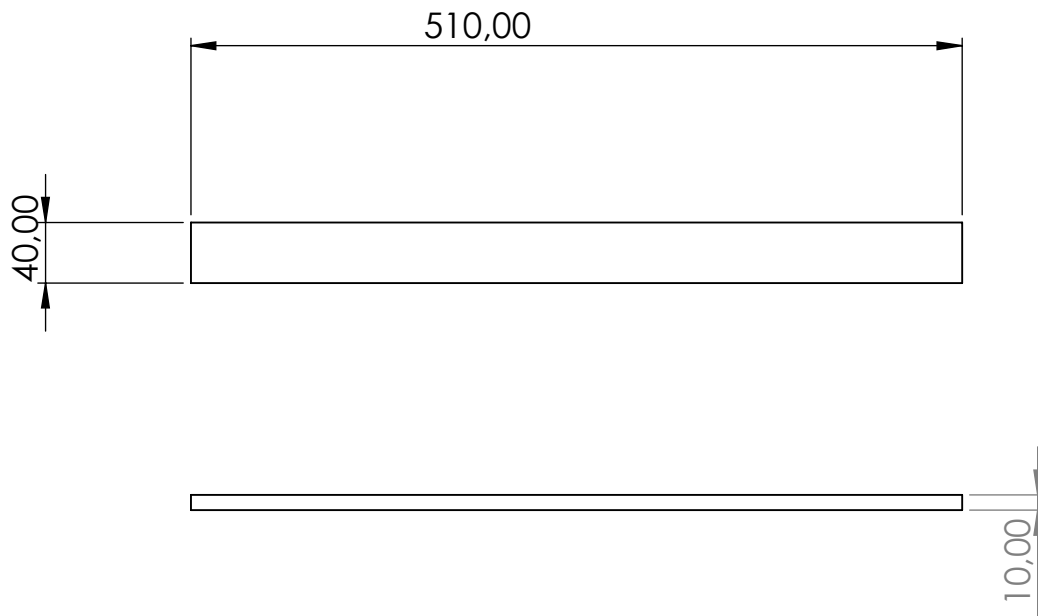
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Lateral bandeja		Plano N°: 1.2.2.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:5	Un. dim. mm		Material: Policarbonato	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



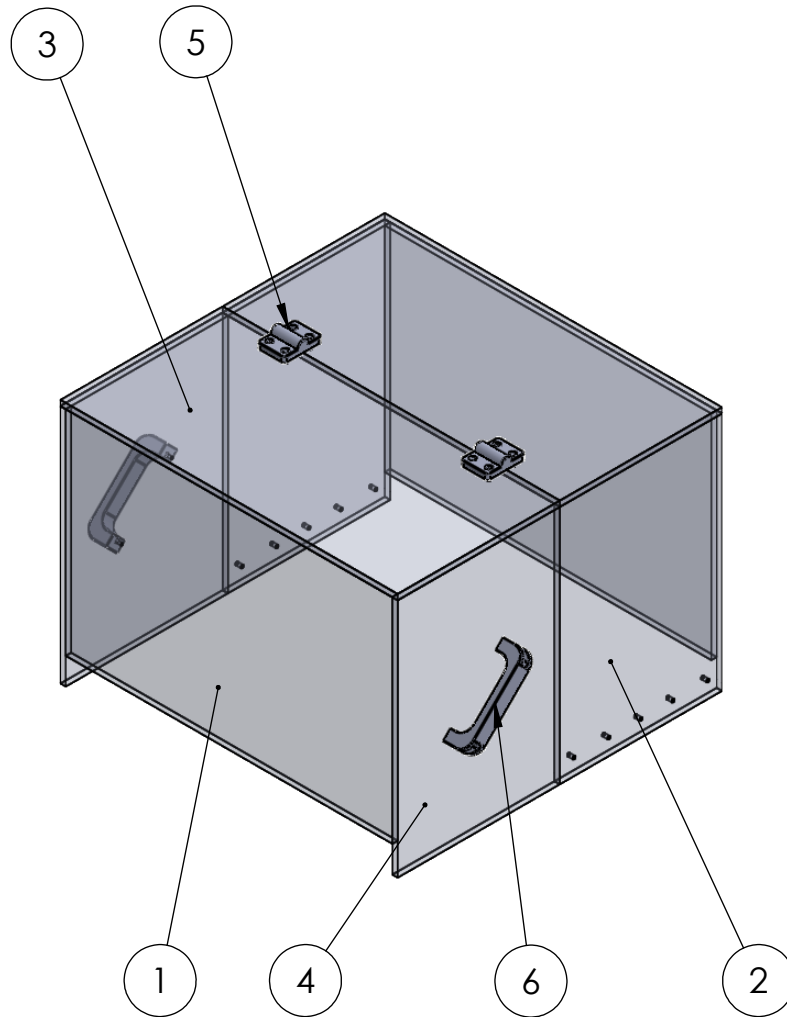
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Frontal bandeja		Plano N°: 1.2.3.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:5	Un. dim. mm		Material: Policarbonato	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5


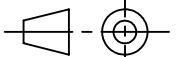


Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Posterior bandeja		Plano N°: 1.2.4.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:5	Un. dim. mm		Material: Policarbonato	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

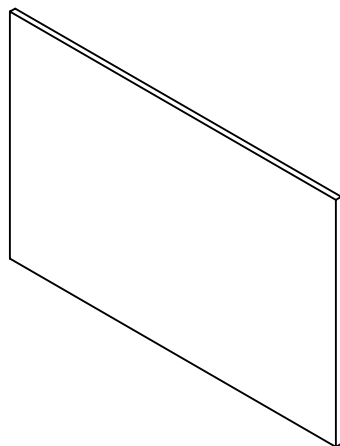
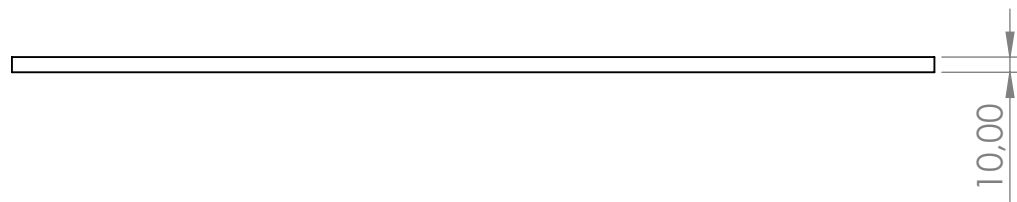
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



6	Manilla	-	Comercial	2
5	Bisagra plana	-	Comercial	2
4	Placa de plastico lateral movil	1.3.4		2
3	Placa de plastico superior	1.3.3		2
2	Placa de plastico lateral fijo	1.3.2		2
1	Placa de plastico frontal o trasera	1.3.1		2
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE	N.º DE PLANO	OBSERVACIONES	CANTIDAD

Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Paneles de protección		Plano N°: 1.3
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:10	Un. dim. mm		Material: -	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por:	Julen Jauregui Balerdi

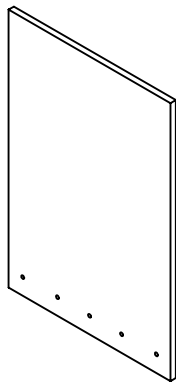
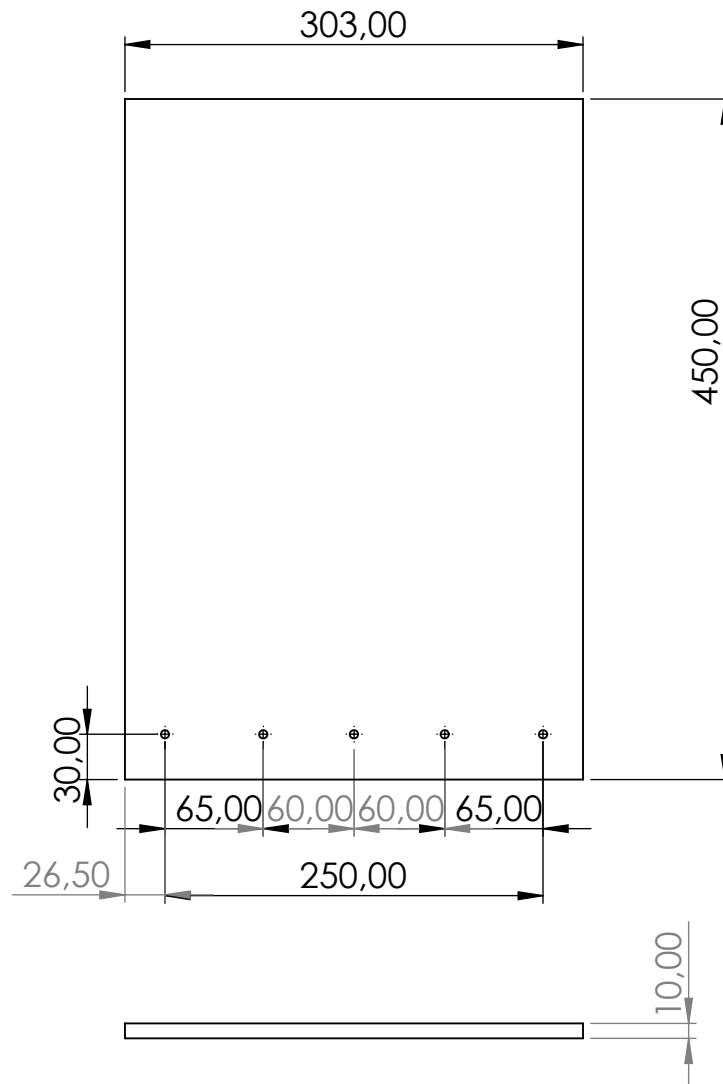
Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa de plastico frontal o trasera		Plano N°: 1.3.1.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:5	Un. dim. mm	 UNIVERSITAT PAIS VASCO	Material: Policarbonato	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

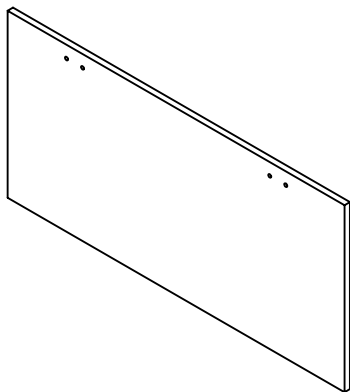
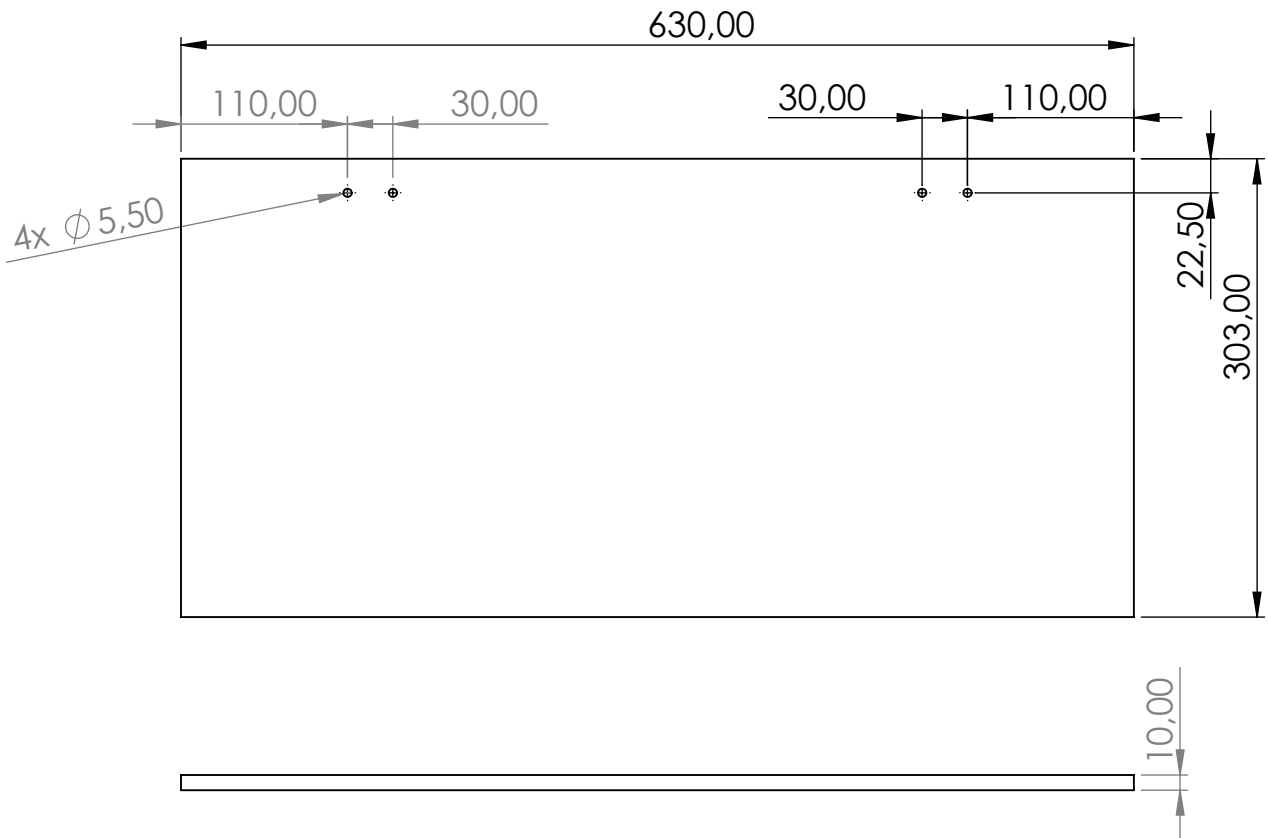


Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



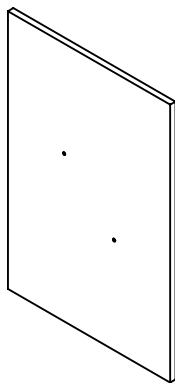
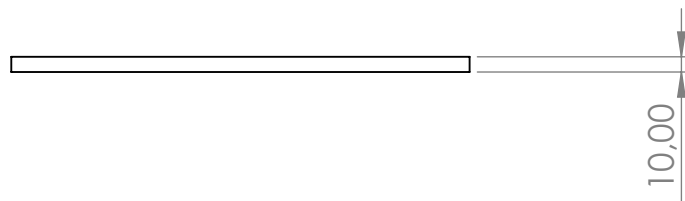
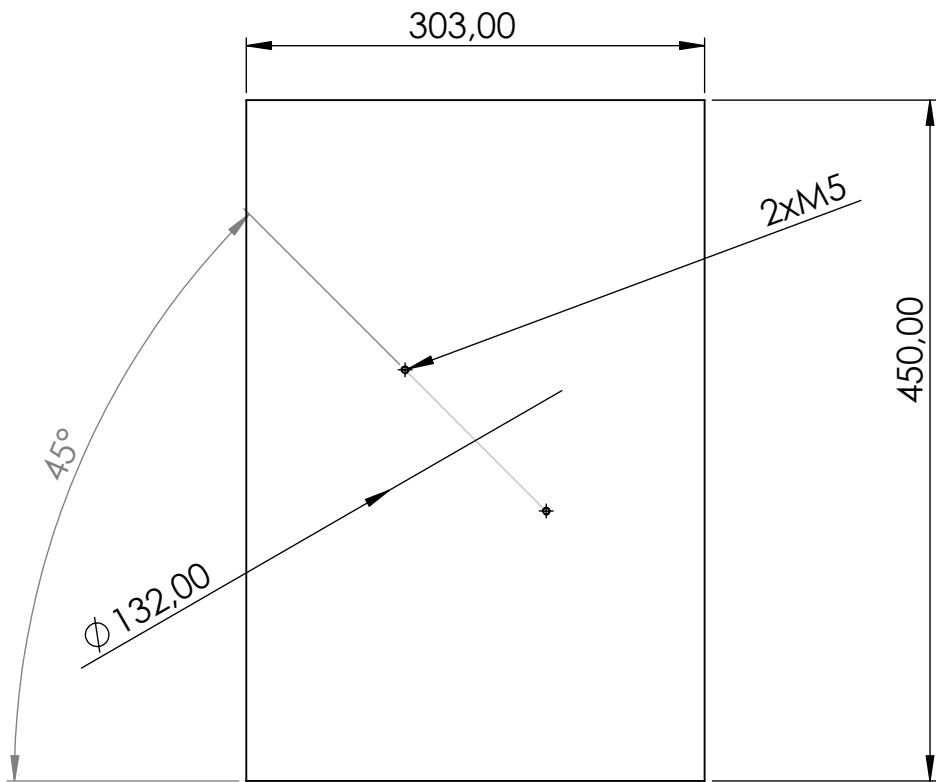
Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa de plastico lateral fijo		Plano N°: 1.3.2.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:5	Un. dim. mm	 UNIVERSITAT EUSKAL ERAKOLTEA	Material: Policarbonato	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa de plastico superior		Plano N°: 1.3.3.
Escala 1:5		Un. dim. mm	Material: Policarbonato	Hoja N°: 1 de 1
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	Fecha: 14/02/2020

Tolerancias generales ISO 2768	Dimensión	0,5 - 6	6 - 30	30 - 120	120 <
	Tolerancia	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Trabajo Fin de Master: Fresadora CNC para pequeños prototipos		Título Placa de plastico lateral movil		Plano N°: 1.3.4.
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:5	Un. dim. mm		Material: Policarbonato	Fecha: 14/02/2020
Formato A4			Dibujado por: Julen Jauregui Balerdi	