

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny

DISSENY D'UNA IMPRESSORA 3D FDM MODULAR

TREBALL FINAL DE

Grau en Enginyeria en Disseny Industrial i Desenvolupament de Productes

REALITZAT PER

Ferran Llabata i Alfonso

TUTORITZAT PER

César Iribarren Navarro

CURS ACADÈMIC: 2020/2021

RESUM

El projecte escrit a continuació té com a objectiu desenvolupar una impressora 3D de modelat per deposició de filament modular i de codi obert que deixe la porta oberta als seus usaris tant per modificar o canviar tots els seus components, com la seua programació, per adaptar-la a les seues necessitats o actualitzar-la sense dependre de tercers. Per aconseguir-ho aquesta ha de ser dissenyada amb components estandaritzats o de fàcil obtenció i ha de ser capaç d'imprimir a 290°C i d'utilitzar filaments flexibles, a més de ser còmoda d'utilitzar, ràpida, precisa, segura i requerir de poc manteniment.

Per a això, durant el següent projecte es realitzarà una anàlisi d'antecedents, de normativa relacionada amb el producte, i dels factors mecànics, elèctrics, i de programació a considerar, així com de les possibles alternatives per a cada decisió de disseny, justificant d'aquesta manera el producte final que rebrà el nom de Tramuntana en honor al vent de València, lloc on va nàixer el projecte.

Paraules clau: Impressora 3D, FDM, modular, codi obert

RESUMEN

El proyecto escrito a continuación tiene como objetivo desarrollar una impresora 3D de modelado por deposición de filamento modular y de código abierto que permita a sus usuarios tanto modificar o cambiar todos sus componentes, como su programación, para adaptarse a sus necesidades o actualizarla sin depender de terceros. Para ello, esta debe ser diseñada con componentes estandarizados o de fácil obtención y debe ser capaz de imprimir a 290°C y de utilizar filamentos flexibles, además de ser cómoda de utilizar, rápida, precisa, segura y requerir de poco mantenimiento.

Para lograrlo, durante el siguiente proyecto se realizará un análisis de antecedentes, de normativa relacionada con el producto, y los factores mecánicos, eléctricos, y de programación a considerar, así como de las posibles alternativas para cada decisión de diseño, justificando de esta manera el producto final que recibirá el nombre de Tramuntana en honor al viento de València, lugar donde nació el proyecto.

Palabras clave: Impresora 3D, FDM, modular, código abierto

ABSTRACT

The project written below aims to develop a modular and open source 3D filament modeling printer that allows all its users both to modify or change all its components, as well as its programming, to adapt to their needs or update it without depending on third parties. To achieve this it must be designed with standardized or easily obtainable components and must be able to print at 290°C and use flexible filaments, as well as being comfortable to use, fast, accurate, safe and that require little maintenance.

For it, during the following project will realize an analysis of antecedents, of rule related with the product, and of the mechanical factors, electrical, and of programming to consider, as well as of the possible alternatives for each decision of design, justifying in this way the final product that will receive the name of Tramuntana in honor to the wind of Valencia, place where the project was born.

Keywords: 3D printer, FDM, modular, open source

DOCUMENTS CONTINGUTS AL TFG

- Memòria
- Plànols
- Plec de condicions
- Pressupost

ÍNDEX MEMÒRIA

1.	OBJECTE	1
2.	ANTECEDENTS	2
2.1.	Tipus de sistemes de moviment	3
2.1.1.	Cartesià lineal	3
2.1.2.	Cartesià "H-Bot"	4
2.1.3.	Cartesià "Core XY"	5
2.1.4.	Cartesià "Delta"	6
2.1.5.	Polar	7
2.2.	Tipus de carcasses	8
2.2.1.	Oberta	8
2.2.2.	Parcialment tancada	8
2.2.3.	Totalment tancada	9
2.3.	Tipus de capçals d'impressió	10
2.3.1.	Segons l'extrusora	10
2.3.2.	Segons el fusor	11
2.4.	Tipus de plaques base	11
2.4.1.	Segons el voltatge	11
2.4.2.	Segons la capacitat de processament	11
3.	FACTORS A CONSIDERAR	12
3.1.	Condicions del disseny	12
3.2.	Normativa del producte	15
3.3.	Normativa dels materials	17
3.4.	Protecció del disseny	18
3.5.	Condicions estructurals i mecàniques	20
3.6.	Condicions elèctriques i electròniques	21
3.7.	Condicions de programació	22
4.	PLANTEJAMENT DE SOLUCIONS	23
4.1.	Sistema de moviment	23
4.2.	Estructura	24

4.3.	Capçal d'impressió	25
4.4.	Sistema elèctric	27
5.	CRITERIS DE SELECCIÓ	29
5.1.	Sistema de moviment	29
5.2.	Estructura	30
5.3.	Capçal d'impressió	31
5.4.	Sistema elèctric	32
6.	JUSTIFICACIÓ DE LA SOLUCIÓ ESCOLLIDA	33
6.1.	Sistema de moviment	34
6.2.	Estructura	35
6.3.	Capçal d'impressió	37
6.4.	Sistema elèctric	38
7.	DESCRIPCIÓ DETALLADA DE LA SOLUCIÓ ESCOLLIDA	40
7.1.	Peces dissenyades	40
7.1.1.	Peces d'impressió 3D	40
7.1.2.	Panells	50
7.2.	Peces fabricades	53
7.3.	Firmware	65
8.	CONCLUSIONS	66
9.	ANNEXOS	68
9.1.	Perfils	68
9.2.	Dimensions panells	69
9.3.	Càlculs de corrioles i motors pas a pas	72
9.4.	Càlculs dels eixos roscats	73
9.5.	Càlculs potència font d'alimentació	74
9.6.	Guia d'usuari per a la configuració del firmware	75
10.	BIBLIOGRAFIA	83

ÍNDIX PLÀNOLS

1.	PLÀNOLS	1
----	---------------	---

ÍNDIX PLEC DE CONDICIONS

1.	OBJECTE	1
2.	NORMES DE CARÀCTER GENERAL	2
2.1.	Normativa del producte	2
2.2.	Normativa dels materials	4
3.	ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES	5
3.1.	Materials. Característiques i condicions de subministrament	5
3.2.	Fabricació	12
3.2.1.	Peces d'impressió	12
3.2.2.	Panells	19
3.2.3.	Perfils i eixos	19
3.3.	Peces ja fabricades	20
4.	PROCÉS D'ACOBLAMENT	22
4.1.	Plataforma d'impressió	22
4.2.	Xassís	23
4.3.	Carcassa fixa	23
4.4.	Sistema de moviment XY	24
4.5.	Electrònica	26
4.6.	Panells transparents	27
5.	CALIBRATGE	29
5.1.	Sistemes de moviment	29
5.2.	Extrusora	30
5.3.	Sistema elèctric	30
5.4.	Sistema d'escalfament	31
6.	ANNEXOS	32
6.1.	Perfils	32
6.2.	Dimensions panells	33
7.	BIBLIOGRAFIA	36

ÍNDIX PRESSUPOST

1.	PRESSUPOST	1
----	------------------	---

MEMÒRIA

Índex de figures

Figura 1: Esquema d'impresora cartesiana i Creality CR-10	3
Figura 2: Esquema i model 3D del mecanisme H-Bot	4
Figura 3: Esquema i model 3D del mecanisme Core XY	5
Figura 4: Esquema impressora Delta i model de 3D de la impressora Atom3D	6
Figura 5: Esquema impressora Polar i impressora Polar3D	7
Figura 6: Flsun-G core XY (esquerra) i Creality ender 3 (dreta)	8
Figura 7: Anycubic 4MAX pro 2.0 (esquerra) i Flashforge Creator pro (dreta)	8
Figura 8: Dremel Digilab 3D45 (esquerra) i Fusion3 F410 (dreta)	9
Figura 9: Esquema de sistema "Bowden"	10
Figura 10: Esquema de sistema d'extrusió directa	10
Figura 11: Esquema i secció 3D d'una gola tèrmica de PTFE alineat	11
Figura 12: Esquema i secció 3D d'una gola tèrmica metàl·lica	11
Figura 13: Esquema i secció 3D d'una gola tèrmica bimetàl·lica	12
Figura 14: Placa base BIQU Rumba de 12 / 24V i font d'alimentació de 12V 450W	13
Figura 15: Renders 3D, exemples de configuració de la carcassa	24
Figura 16: Capçal Titan aero (compacte) y capçal Titan Kit (tamany complet)	25
Figura 17: Capçals d'impressió proposats	26
Figura 18: Detall dels terminals de caragol d'una font SMPS i font SMPS	27
Figura 19: Plaques base proposades	28
Figura 20: Render 3D, màquina acabada	33
Figura 21: Render del sistema de moviment coreXY	34
Figura 22: Render sistema de moviment Y	35
Figura 23: Render configuració espai electrònica	36
Figura 24: Render del capçal complet i vista en secció del mecanisme d'extrusió	37
Figura 25: Render de la distribució de components i la pantalla tàctil	39
Figura 26: Renders 3D, del capçal d'impressió	41
Figura 27: Renders 3D, Pinces corretges	41
Figura 28: Renders 3D, unions eixos XY	42
Figura 29: Renders 3D, base subjecció frontal	42
Figura 30: Renders 3D, base subjecció motors Δ	43
Figura 31: Renders 3D, eixos guia Z inferiors	43
Figura 32: Renders 3D, base motors Z	43
Figura 33: Renders 3D, subjeccions superfície d'impressió-eix roscat	44
Figura 34: Renders 3D, subjeccions superfície d'impressió-eix guia	44
Figura 35: Renders 3D, subjeccions per als cargols d'anivellament	44

Figura 36: Renders 3D, conducte del ventilador de capa	45
Figura 37: Renders 3D, base per a la subjecció de l'electrònica	46
Figura 38: Renders 3D, alces per a la font d'alimentació	46
Figura 39: Renders 3D, muntura per a la pantalla TFT 35	47
Figura 40: Renders 3D, Espaiadors per als laterals de la pantalla	47
Figura 41: Renders 3D, bases per als imants de l'estructura	48
Figura 42: Renders 3D, cantoneres	48
Figura 43: Renders 3D, poms panells frontals	48
Figura 44: Renders 3D, bisagres	49
Figura 45: Renders 3D, base interruptor de final de carrera	49
Figura 46: Renders 3D, subconjunt dels panells opacs	50
Figura 47: Model 3D, acoblament panells transparents	51
Figura 48: Detall d'un perfil ranurat 20x20 en T	51
Figura 49: Esquema dels perfils del xassís	52
Figura 50: Esquadres perfils 20x20	53
Figura 51: Corretges dentades GT2 de 6mm	54
Figura 52: Corrioles dentades GT2 de 6mm	54
Figura 53: Motors de 59Ncm, 40Ncm amb eix roscat i 18Ncm respectivament	55
Figura 54: Motor Nema17 amb eix roscat i detall de l'eix	56
Figura 55: Exemples d'eixos cilíndrics de precisió i varilles de CF	57
Figura 56: Rodaments lineals Iigus® Drylin RJ4JP de 8 i 10mm	58
Figura 57: Capçal d'impressió BMG Wind	58
Figura 58: Anycubic 4MAX Pro "Printer ultrabase" vistes frontal i posterior	59
Figura 59: Superfície d'impressió magnètica "Sunipon"	59
Figura 60: Làmina d'aïllament tèrmic per al llit calefactat	60
Figura 61: Placa base Bigtreetech Skr 1.4 Turbo i diagrama de connexions	60
Figura 62: Controladors Bigtreetech 2209 v1.2	61
Figura 63: Pantalla tàctil BTT tft35 V.3.0	61
Figura 64: MOSFET 30A TEVO	61
Figura 65: Interruptor de final de carrera	62
Figura 66: font DUMVOIN Lihua-360W 12V i endoll	62
Figura 67: Ventiladors Artic F12, radial de 16mm i Noctua NF-A4x10	63
Figura 68: Cable extensor USB tipus B mascle a A femella	63
Figura 69: 200 Imants de neodimi de 5x1mm	63
Figura 70: Malla cobre-cables	64
Figura 71: Reixeta antipols	64
Figura 72: Fotografies d'estudi producte final	66

Figura 73: Benchys de calibratge, ABS (Roig), PLA (Blanc) i PA-CF (Negre)	67
Figura 74: Test calavera de PLA (esquerra) i porta-llapiseres de ABS (dreta)	67
Figura 75: Granota TPU flexible (esquerra) i mascareta de PLA (dreta)	67
Figura 76: Index perfils xassís	68
Figura 77: Index panells opacs	70
Figura 78: Index panells transparents	70
Figura 79: Programació, finestra Marlin Firmware Auto Build	75
Figura 80: Programació, apartat “@section info”	76
Figura 81: Programació, apartat “@section machine”	77
Figura 82: Programació, apartat “PID > Bed Temperature Control”	78
Figura 83: Programació, apartat “@section machine”	79
Figura 84: Programació, apartat “@section homing”	79
Figura 85: Programació, apartat “* Stepper Drivers”	80
Figura 86: Programació, apartat “The size of the printable area”	80
Figura 87: Programació, apartat “(Graphical LCDs)”	80
Figura 88: Programació, apartat #define SENSORLESS_HOMING	81
Figura 89: Programació, finestra Marlin Firmware Auto Build	82

Índex de taules

Taula 1: Comparació de sistemes de moviment	29
Taula 2: Comparació d'estructures	30
Taula 3: Comparació de capçals d'impressió	31
Taula 4: Comparació de sistemes elèctrics	32
Taula 5: Tamany dels perfils	52
Taula 6: Cargols	53
Taula 7: Eixos cilíndrics	57
Taula 8: Dimensions perfils	68
Taula 9: Dimensions generals panells opacs	70
Taula 10: Dimensions generals panells transparents	71
Taula 11: Càlculs corrioles	73
Taula 12: Càlculs eixos roscats	73
Taula 13: Càlcul de consum	74

1. Objecte

L'objecte del següent projecte és el disseny íntegre d'una impressora 3D FDM modular i de codi obert que permet als seus usuaris tant modificar tots els seus components com la seua programació per tal d'adaptar-la a les seues necessitats o actualitzar-la per ells mateixos. Aquesta màquina ha d'estar dissenyada amb components estandarditzats o de fàcil obtenció i ha de ser capaç de imprimir a 290°C i d'utilitzar filaments flexibles a més de ser còmoda d'utilitzar, ràpida, precisa, segura i requerir de poc manteniment.

Per a això es realitzarà una anàlisi d'antecedents, de normativa relacionada amb el producte, i dels factors mecànics, elèctrics, i de programació a considerar, així com de les possibles alternatives per a cada decisió de disseny, justificant d'aquesta manera el producte final que rebrà el nom de Tramuntana en honor al vent de València, lloc on va nàixer el projecte.

2. Antecedents

A continuació es procedirà a fer un estudi sobre els diferents sistemes amb els que actualment es construeixen les impressores FDM (*Fused Deposition Modeling*) per avaluar els pros i contres de cadascun i així poder justificar diverses decisions de disseny més endavant.

D'entre tots els sistemes de fabricació aditiva 3D, el FDM és el més àmpliament utilitzat i el més apropiat per a l'ús personal o en l'àmbit educatiu donat que és el més fàcil i segur d'operar i la matèria primera és fàcil d'obtenir. Aquestes impressores compten amb una superfície d'impressió sobre la qual el capçal d'impressió fon i diposita un filament de plàstic, que dibuixa formes planes de forma seqüencial una sobre l'altra fins a formar el volum de l'objecte final.

Estudi de components:

- 2.1. Tipus de carcasses
 - 2.1.1. Oberta
 - 2.1.2. Parcialment tancada
 - 2.1.3. Totalment tancada
- 2.2. Tipus de sistemes de moviment
 - 2.2.1. Cartesià lineal
 - 2.2.2. Cartesià "H-bot"
 - 2.2.3. Cartesià "CoreXY"
 - 2.2.4. Cartesià delta
 - 2.2.5. Polar
- 2.3. Tipus de capçals d'impressió
 - 2.3.1. Segons l'extrusora
 - 2.3.2. Segons el fusor
- 2.4. Tipus de plaques base
 - 2.4.1. Segons el voltatge
 - 2.4.2. Segons la capacitat de processament

2.1. Tipus de sistemes de moviment

2.1.1. Cartesià lineal

Es consideren impressores cartesianes totes aquelles que es basen en un sistema de coordenades de tres eixos ortogonals "X, Y, Z" per fer tots els càlculs de moviment d'aquesta. Dit això, es coneixen com a impressores "cartesianes lineals" a aquelles que utilitzen un motor *stepper* dedicat per a cada eix, aquest és el sistema més simple i d'ús més estès, pel que hi ha molta informació sobre el seu funcionament, i són fàcils de calibrar donat que el moviment de cada motor es tradueix de manera directa en cada eix.

D'altra banda aquest sistema implica que un dels motors està sempre subjecte al tren del capçal d'impressió, que és una part mòbil, el que limita la velocitat d'impressió de la màquina degut a l'augment de massa en moviment i provoca vibracions en els eixos que resulten en una menor resolució i un major nivell de soroll.

Hi ha dues formes principals de distribució del moviment en les cartesianes lineals, les que mouen el llit en l i el capçal en XZ i aquelles que mouen el llit en Z i el capçal en XY. Les primeres resulten més econòmiques donat que es redueixen considerablement les peces necessàries en la carcassa, però també donen els pitjors resultats d'impressió i un major nivell de soroll degut al moviment constant del llit, que en les altres només es maneja unes fraccions de mil·límetre per capa.

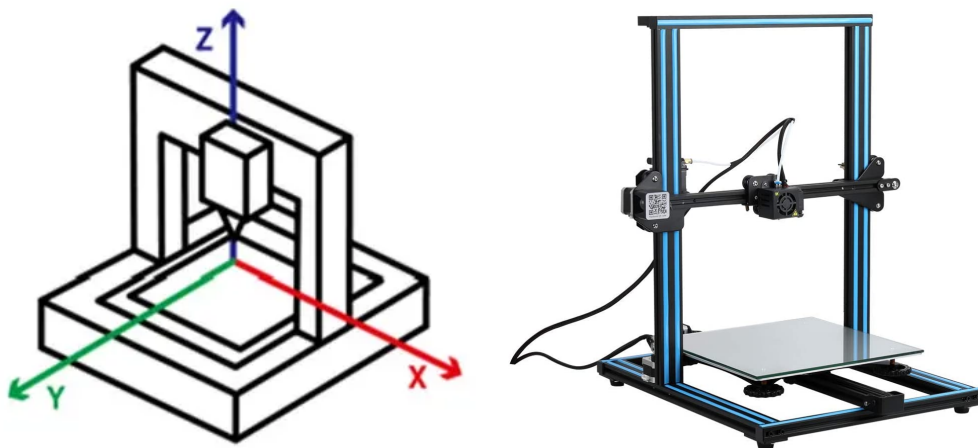


Figura 1: Esquema d'impressora cartesiana i Creality CR-10

2.1.2. Cartesià "H-Bot"

Les impressores cartesianes H-bot utilitzen també un sistema de tres eixos on la superfície d'impressió es mou de forma independent en l'eix Z però, a diferència dels anteriors, els motors del pla XY, anomenats " Δ_1 " i " Δ_2 ", fan moviments diagonals a 45° i tots dos han d'operar alhora rodant en la mateixa direcció per fer moviments en X i en direcció oposada per fer moviments en Y. Aquests estan units al capçal d'impressió mitjançant una sola corretja i situats de forma estàtica a la carcassa de la impressora, el que redueix considerablement el pes del tren del capçal d'impressió i les vibracions.

No obstant això, aquest sistema té un problema de disseny greu que només pot ser compensat mitjançant un exhaustiu ajust de toleràncies que resulta impossible de mantenir per a la majoria d'usuaris. Això es deu al fet que si les diferents seccions de la corretja amb la qual es transmet el moviment al capçal d'impressió no estan perfectament alineades o tenen tensions diferents, es genera un par de torsió no desitjat que pot afectar a la qualitat de la impressió de forma greu. També cal destacar que, degut a que les trajectòries en X i Y s'han de fer mitjançant l'acció conjunta dels motors " Δ_1 " i " Δ_2 ", els moviments del mecanisme són més difícils de processar per la placa base de manera que utilitzar una de 8bit pot no ser suficient per fer operar la màquina de forma ràpida i precisa.

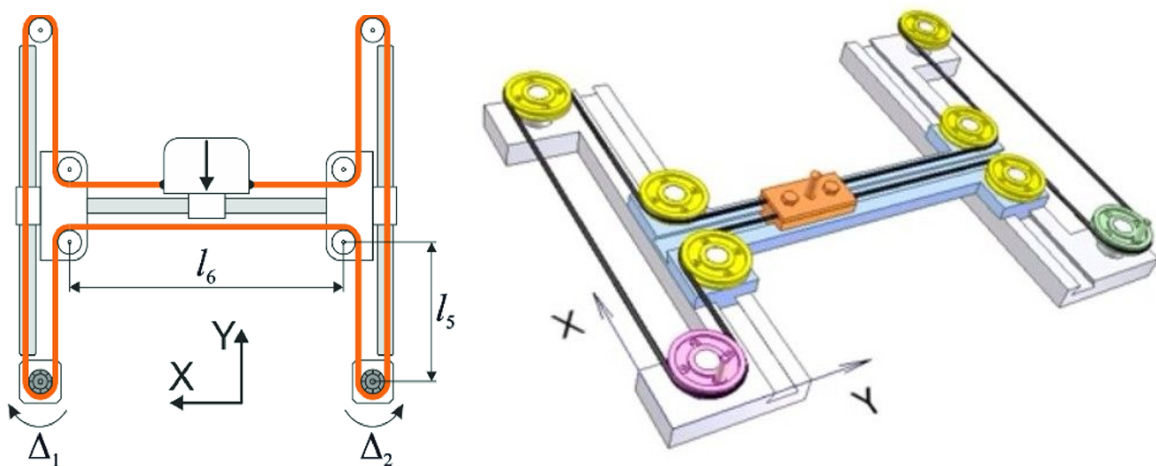


Figura 2: Esquema i model 3D del mecanisme H-Bot

2.1.3. Cartesià "Core XY"

El sistema de moviment "Core XY" és un mecanisme relativament nou que es desenvolupa a partir del "H-bot" i difereix d'aquest en què utilitza dues corretges, una per a cada motor, el que soluciona el problema d'alineament i ofereix tots els altres avantatges de sistema H-bot, amb l'únic desavantatge de ser un poc més complex. A l'igual que en el "H-Bot" els dos motors " Δ_1 " i " Δ_2 " del pla XY han de rodar en la mateixa direcció per fer moviments en X i en direcció oposada per fer moviments en Y, mentre que la superfície d'impressió es mou de forma independent en l'eix Z.

El correcte funcionament d'aquest mecanisme depèn en gran mesura del correcte tensionat de les seues corretges a causa de la seua longitud, de manera que l'ús d'unes de qualitat i d'un sistema per ajustar-les sense desmuntar el mecanisme es torna essencial per a l'operació correcta i còmoda de la màquina a llarg termini.

Cal destacar que, a l'igual que passa amb les H-bot, aquest sistema és complex de programar i calibrar que el cartesià lineal, de manera que no ha d'utilitzar-se en plaques base de 8 bit. Tot i això està sent utilitzat en impressores comercials amb gran èxit pels seus avantatges sobre les cartesianes lineals i hi ha una gran quantitat d'informació sobre el seu funcionament, pel que ja no es considera un sistema experimental.

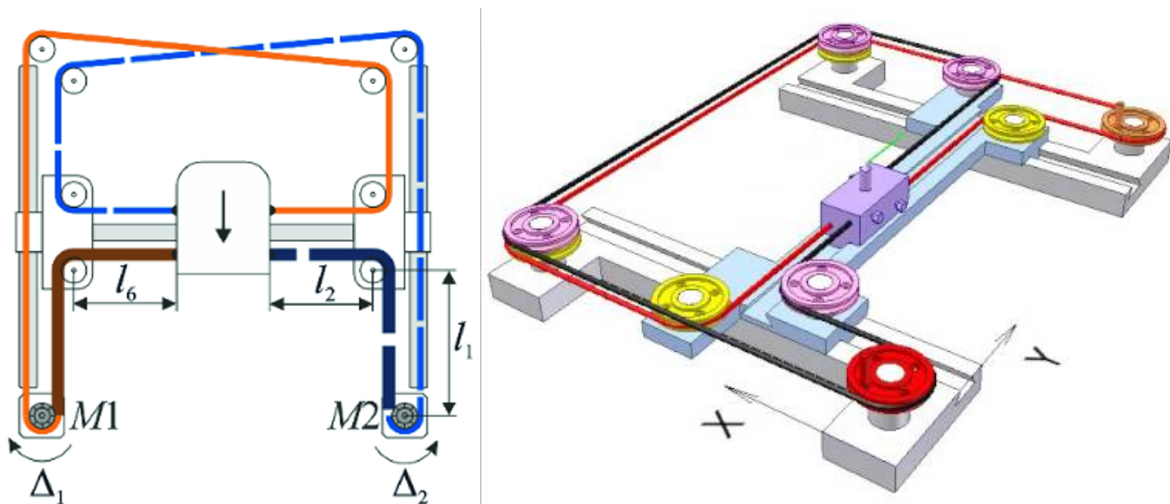


Figura 3: Esquema i model 3D del mecanisme Core XY

2.1.4. Cartesià "Delta"

Les impressores delta també utilitzen un sistema de coordenades cartesianes però per a moure el capçal en el volum d'impressió, que és cilíndric, fan ús de l'acció conjunta de tres braços que es mengen verticalment en l'estructura, canviant l'angle amb el que subjecten el capçal però mantenint-lo sempre paral·lel al llit. El sistema de control de la impressora utilitza aquests angles per a fer els càlculs cinemàtics i transformar-los en coordenades cartesianes, pel que és necessari l'ús coordinat dels tres motors per a fer la majoria dels moviments.

Degut a això, aquest sistema requereix de càlculs més complexos que els necessaris en una impressora cartesiana lineal, de manera que una placa base de 8bit pot no ser suficient. També tenen una qualitat d'impressió inferior a aquestes i necessiten d'un espai vertical molt gran en relació al seu volum d'impressió, però poden tindre velocitats d'operació molt altes per la seua reduïda massa en moviment, fet que ha resultat ser el seu atractiu principal.

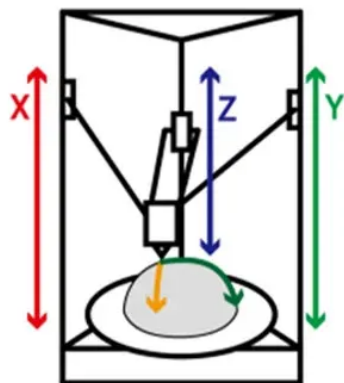


Figura 4: Esquema impressora Delta i model de 3D de la impressora Atom3D

2.1.5. Polar

La superfície d'impressió d'aquestes impressores també és circular, però la seua cinemàtica utilitza coordenades polars com a sistema de referència. El llit de les impressores polars gira i, de manera similar a com funciona un tocadiscs, utilitza un braç que canvia d'altura per dipositar el filament de plàstic fos en la superfície d'impressió. Per tal d'aconseguir aquest moviment el braç puja i baixa mentre que el llit, a més de girar, es mou allunyant-se i apropant-de la base del braç. Amb això pot situar el broquet del fusor en totes les coordenades d'un volum cilíndric, però les toleràncies del seu moviment depenen en gran mesura de la seua posició relativa al centre de rotació del llit.

És per això que les impressores polars estan sent poc desenvolupades i no tenen molta acceptació, encara que les més modernes aconsegueixen unes impressions de bona qualitat.

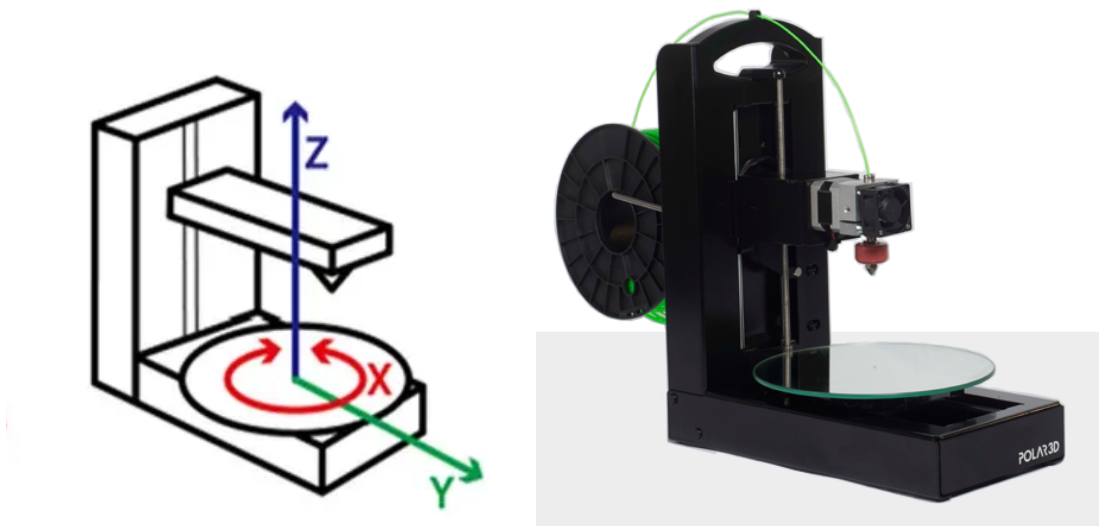


Figura 5: Esquema impressora Polar i impressora Polar3D

2.2. Tipus de carcasses

2.2.1. Oberta

Les impressores de carcassa oberta són aquelles el volum d'impressió de les quals no es troba cobert i, per tant, no generen un espai amb una temperatura regulada ni protegeixen el treball de la impressora davant de factors externs, com ho poden ser el vent, la humitat o els canvis bruscos de temperatura. L'únic avantatge que ofereixen les impressores obertes és un preu més econòmic.

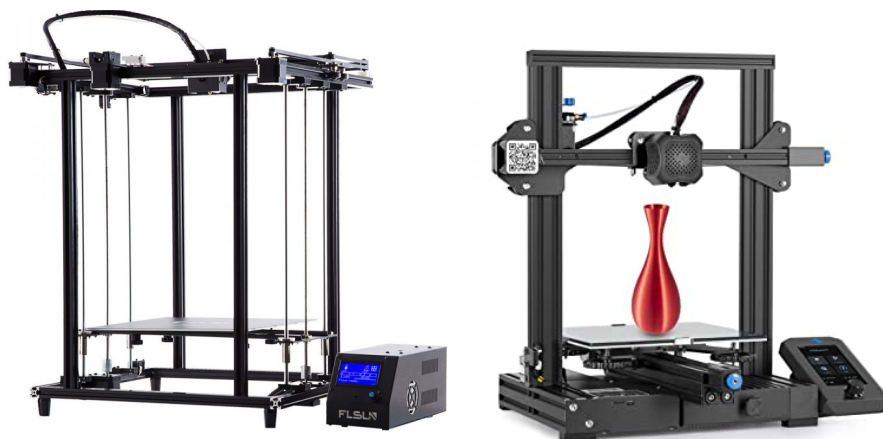


Figura 6: FLSUN-G core XY (esquerra) i Creality ender 3 (dreta)

2.2.2. Parcialment tancada

Les impressores parcialment tancades contenen el volum d'impressió dins d'un espai amb temperatura controlada i protegeixen la impressió de factors externs. Aquest tipus d'impressores són necessàries per imprimir en materials com ABS o ASA per la seua sensibilitat als canvis de temperatura. Les impressores parcialment tancades es diferencien de les completament tancades en què compten amb una ranura a la part superior per la qual passa el filament amb el que s'alimenta l'extrusora, és a dir, que la bobina de filament es troba a l'exterior de la impressora.

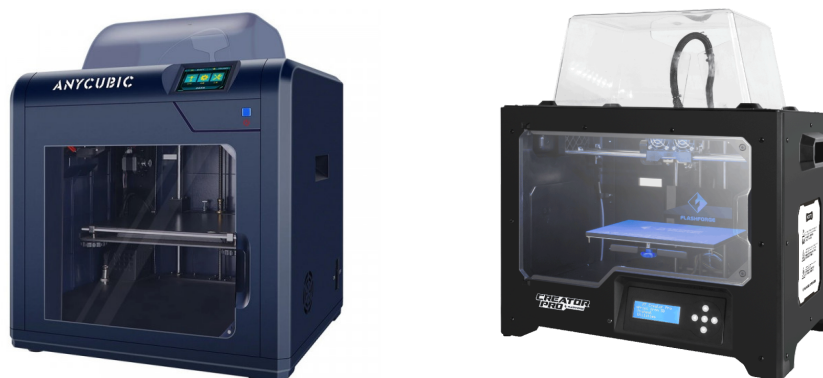


Figura 7: Anycubic 4MAX pro 2.0 (esquerra) i Flashforge Creator pro (dreta)

2.2.3. Totalment tancada

Les impressores totalment tancades compten amb els mateixos avantatges que les parcialment tancades però tenen una major capacitat per mantenir i controlar la temperatura del volum d'impressió i, a més, poden pre-escalfar el filament abans de fer-lo passar per l'extrusora. La funció de preescalfament pot resultar interessant, però sols resulta útil per a uns pocs filaments d'alta temperatura especialment sensibles a la humitat i pot afectar negativament altres d'ús més habitual com el PLA.

Aquest tipus d'impressores són més complexes i per norma general no són molt més útils que les parcialment tancades. A més resulten més incòmodes d'operar pel fet que el filament es troba en el seu interior, el que dificulta operacions com el canvi de filament o el fet d'utilitzar bobines de diferents mides.



Figura 8: Dremel Digilab 3D45 (esquerra) i Fusion3 F410 (dreta)

2.3. Tipus de capçals d'impressió

2.3.1. Segons l'extrusora

El final fred, o extrusora, fa ús d'un motor pas a pas i d'un sistema d'engranatges per a introduir o retirar el filament en el fusor de forma precisa i, segons la seua posició en relació a aquest, existeixen els següents:

- Extrusió "Bowden": el final fred està separat del fusor per un tub de PTFE que permet situar-lo en la carcassa de forma estàtica. Els sistemes Bowden redueixen d'aquesta manera la massa de les parts mòbils de la impressora, pel que poden arribar a velocitats d'impressió molt altes sense perdre qualitat. Tot i això, aquest sistema fa impossible utilitzar certs filaments flexibles i necessita distàncies de retracció llargues que redueixen la precisió de la deposició del filament.

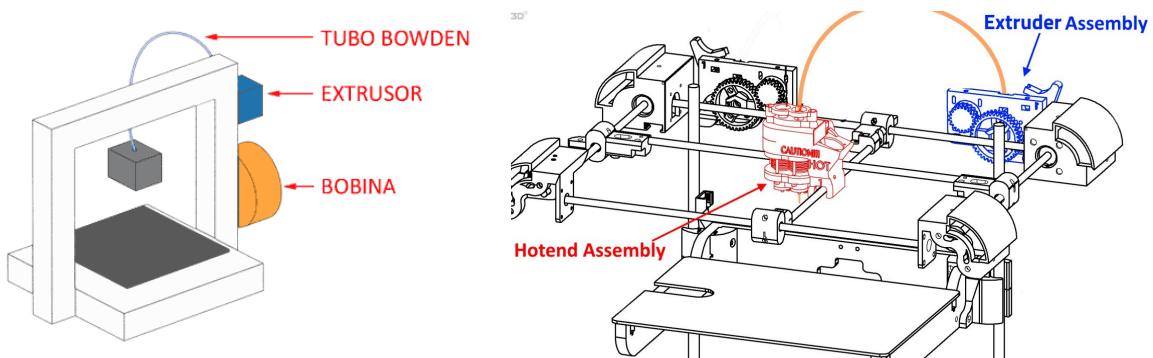


Figura 9: Esquema de sistema "Bowden"

- Extrusió directa: L'extrusora es troba directament unida al final calent i formen part de la mateixa peça mòbil. Això limita la velocitat de moviment del capçal d'impressió, però permet una alimentació de filament més precisa i àgil, a més de possibilitar l'ús de filaments molt flexibles gràcies que la curta distància entre l'extrusora i el fusor no permet que flexionen.

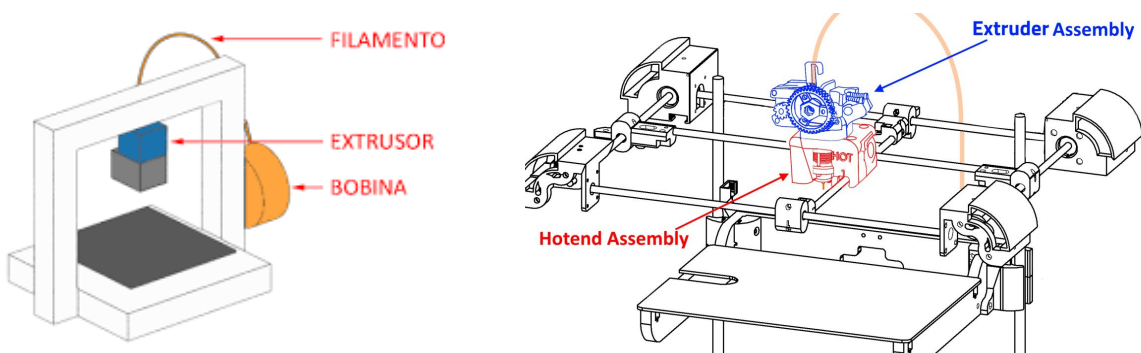


Figura 10: Esquema de sistema d'extrusió directa

2.3.2. Segons el fusor

El fusor, o final calent, compleix la funció de fondre el filament per dipositar-lo a la superfície d'impressió. El component que defineix el tipus de final calent és la gola o barrera tèrmica, que aïlla el bloc calefactat per mantenir la seua temperatura i evita que el filament es calfe en excés abans d'arribar-hi a aquest. Segons el tipus de gola tèrmica, es poden imprimir en uns materials o altres i la seua qualitat influeix en gran mesura en la impressió.

- PTFE alineat: Aquest tipus de gola tèrmica està composta per una camisa de metall que envolta un tub de PTFE que surt del final fred i acaba en el broquet del fusor, passant pel dissipador. Malgrat ser d'ús molt estès pel seu baix coeficient de fricció, resistència mecànica i fàcil fabricació, no resulten vàlides per imprimir amb plàstics com ABS o ASA, ja que temperatures d'operació superiors a 230° cremen el tub de PTFE.

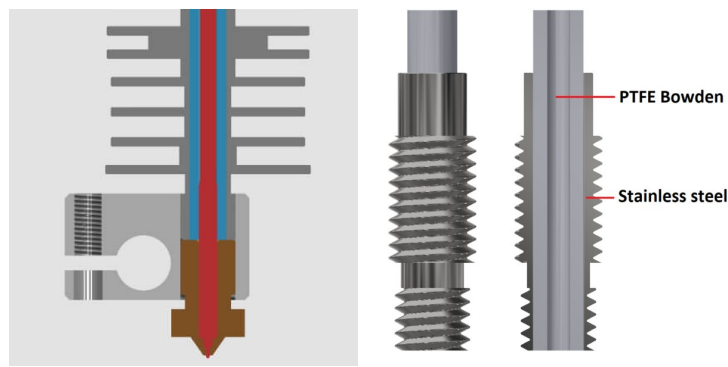


Figura 11: Esquema i secció 3D d'una gola tèrmica de PTFE alineat

- Metàl·lica: Aquestes goles tèrmiques també envolten el tub de PTFE que ve de l'extrusora, però només ho fan en la part superior per tal d'alinear-lo amb un orifici que el connecta amb la broqueta. Amb això s'aconsegueix que aquest no entre en el bloc calefactat però, a canvi, el filament ha de passar per una secció metàl·lica amb un índex de fregament superior al del PTFE. A més compten amb un estretament entre les rosques que dificulta la transmissió de calor per conducció i ajuda a aïllar el bloc calefactat. Aquestes goles són més cares i l'acabat de la seua superfície interior ha de ser de molt bona qualitat per no provocar problemes com ara embussos, però permeten imprimir amb materials d'alta temperatura.

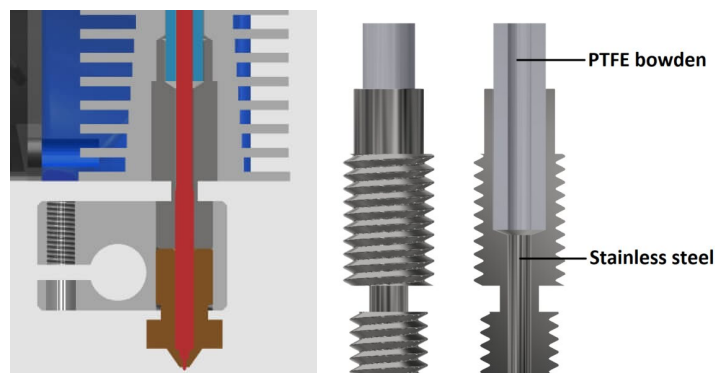


Figura 12: Esquema i secció 3D d'una gola tèrmica metàl·lica

- Bimetàl·lica: Aquestes goles tèrmiques es diferencien de les anteriors en què utilitzen dos materials metàl·lics diferents per a la seua superfície interior i exterior amb l'objectiu de millorar les seues propietats tèrmiques. Aquesta construcció és la més fràgil de totes, pot presentar problemes d'acoblament entre els seus components i, per a la majoria dels casos, no representa cap millora de qualitat apreciable davant d'una barrera tèrmica metàl·lica de qualitat.

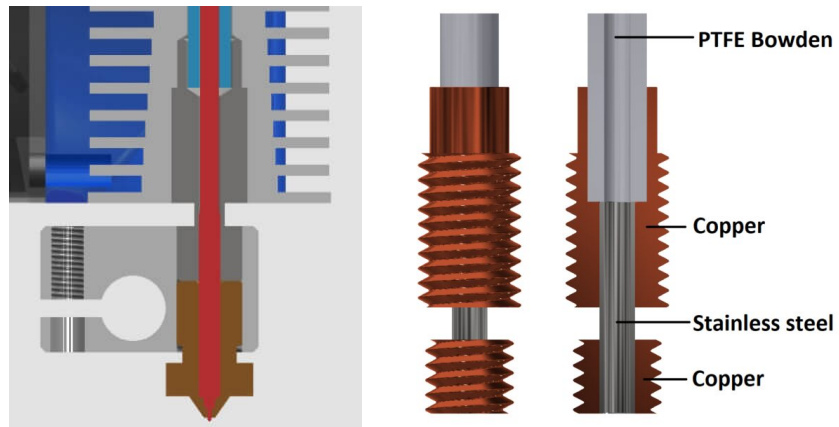


Figura 13: Esquema i secció 3D d'una gola tèrmica bimetàl·lica

2.4. Tipus de plaques base

2.4.1. Segons el voltatge

Les plaques base utilitzades en les impressores 3D poden classificar-se segons els voltatges als quals poden operar. Els dos més utilitzats són 12 i 24V i la seua diferència principal és la velocitat per escalfar els components calefactats i l'augment del par dels motors pas a pas. Malgrat que els sistemes de 24V o més són millors en termes de velocitat, la compatibilitat dels de 12V amb un major nombre de components ha fet que aquests siguen d'ús més estés. Actualment la majoria de les plaques de mercat s'adapten a la font d'alimentació i poden, per tant, operar tant a 12V com a 24V.

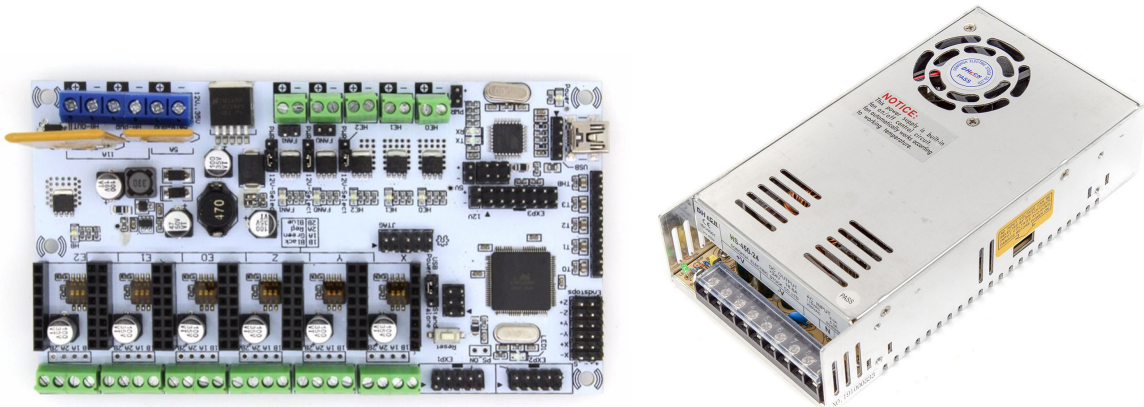


Figura 14: placa base BIQU Rumba de 12 / 24V i font d'alimentació de 12V 450W

2.4.2. Segons la capacitat de processament

Les plaques base per a impressió 3D solen fabricar-se en dos formats relatius a l'arquitectura del seu processador, les de 8 bits i les de 32 bits. Les plaques base de 32 bits resulten més versàtils i fàcils d'actualitzar donat que la seua capacitat de processament les fa més flexibles, i són necessàries per operar certs tipus de mecanismes de moviment que requereixen d'una gran quantitat de càlculs complexos, a més l'arquitectura i potència del processador també influeix en la resolució i velocitat d'impressió.

3. Factors a considerar

3.1. Condicions del disseny

Aquest treball naix de la idea de dissenyar una impressora 3D que funcione com a precedent per a crear rèpliques o versions d'aquesta en diferents mides o amb diferents característiques de forma senzilla i efectiva per a l'usuari. Per això s'haurà de prioritzar l'ús de components i materials normalitzats o d'ús estès i fàcil obtenció, així com una metodologia de disseny que no només tinga en compte l'optimització del producte final sinó també la facilitat de l'usuari per a modificar-lo.

L'objectiu d'aquesta impressora no només és, per tant, el de tindre un producte acabat, funcional i eficaç, sinó també el de ser un projecte de desenvolupament personal per als seus usuaris, que tindran la possibilitat de seguir actualitzant la seua màquina i d'aprendre sobre la tecnologia d'impressió 3D en tindre la llibertat de poder treballar sobre aquesta per a adaptar-la a les seues necessitats.

Per això serà necessari tenir en compte tant les normatives de seguretat i disseny d'aquest tipus de productes com els dissenys protegits de màquines similars, per després fer un llistat de condicions mecàniques, elèctriques, electròniques i de programació sobre les quals desenvolupar el projecte.

3.2. Normativa del producto

UNE-EN ISO/ASTM 52903:

- AENOR (2021). *Fabricación aditiva. Fabricación aditiva de materiales plásticos basada en extrusión de materiales. Parte 2: Equipo de proceso.* (ISO/ASTM 52903-2:2020). Madrid: AENOR.

UNE-CEN/TR/ISO/ASTM 52912:

- AENOR (2020). *Fabricación aditiva. Diseño. Fabricación aditiva con gradiente funcional.* ISO/ASTM/TR 52912:2020 (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en noviembre de 2020). Madrid: AENOR (2020)

UNE-EN ISO/ASTM 52902:

- AENOR (2020). *Fabricación aditiva. Artefactos de ensayo. Evaluación de la capacidad geométrica de los sistemas de fabricación aditiva.* (ISO/ASTM 52902:2019) Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO/ASTM 52910:

- AENOR (2020). *Fabricación aditiva. Diseño. Requisitos, directrices y recomendaciones* (ISO/ASTM 52910:2018) Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO/ASTM 52901:

- AENOR (2019). *Fabricación aditiva. Principios generales. Requisitos para la compra de piezas AM.* (ISO/ASTM 52901:2017). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO/ASTM 52900:

- AENOR (2017). *Fabricación aditiva. Principios generales. Terminología.* (ISO/ASTM 52900:2015). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO/ASTM 52921:

- AENOR (2017). *Terminología normalizada para la fabricación aditiva. Sistemas de coordenadas y métodos de ensayo.* (ISO/ASTM 52921:2013). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO 17296:

- AENOR (2017). *Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 2: Visión general de categorías de procesos y de materias primas.* (ISO 17296-2:2015). Madrid: AENOR.

- AENOR (2017). *Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 3: Características principales y métodos de ensayo correspondientes.* (ISO 17296-3:2014). Madrid: AENOR.
- AENOR (2017). *Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 4: Visión general del intercambio de datos.* (ISO 17296-4:2014). Madrid: AENOR.

UNE-EN IEC 61204:

- AENOR (2002). *Dispositivos de alimentación de baja tensión de salida en corriente continua. Características de funcionamiento.* (UNE-EN 61204/A1:2002). Madrid: AENOR.
- AENOR (2001). *Fuentes de alimentación de baja tensión de salida en corriente continua. Parte 6: Requisitos para las fuentes de alimentación de baja tensión de calidad asegurada.* (UNE-EN 61204-6:2001). Madrid: AENOR.
- AENOR (2018). *Fuentes de alimentación conmutadas de baja tensión. Parte 7: Requisitos de seguridad.* (UNE-EN IEC 61204-7:2018 (Ratificada)). Madrid: AENOR.

UNE-EN 50525:

- AENOR (2012). *Cables eléctricos de baja tensión. Cables de tensión asignada inferior o igual a 450/750 V (U₀/U). Parte 2-11: Cables de utilización general. Cables flexibles con aislamiento termoplástico (PVC).* (UNE-EN 50525-2-11:2012). Madrid: AENOR.
- AENOR (2015). *Cables eléctricos. Guía para la utilización de cables de tensión asignada no superior a 450/750 V (U₀/U). Parte 2: Guía específica relativa a los tipos de cables de la norma EN 50525.* (UNE-EN 50525-2-11:2012) Madrid: AENOR.

3.3. Normativa dels materials

UNE-EN ISO 19062-1:2016:

- AENOR (2020). *Plásticos. Materiales de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) para moldeo y extrusión. Parte 1: Sistema de designación y bases para las especificaciones.* (ISO 19062-1:2015). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO 19062-2:2020:

- AENOR (2020). *Plásticos. Materiales de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) para moldeo y extrusión. Parte 2: Preparación de probetas y determinación de propiedades* (ISO 19062-2:2019). Madrid: AENOR.

UNE-EN 12020-1:2009:

- AENOR (2013). *Aluminio y aleaciones de aluminio. Perfiles extruidos especiales en aleaciones EN AW-6060 y EN AW-6063. Parte 1: Condiciones técnicas de inspección y suministro.* Madrid: AENOR.

UNE-EN 12020-2:2017:

- AENOR (2017). *Aluminio y aleaciones de aluminio. Perfiles extruidos especiales en aleaciones EN AW-6060 y EN AW-6063. Parte 2: Tolerancias dimensionales y de forma.* (UNE-EN 12020-2:2017). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO 24026-1:2021:

- AENOR (2021). *Plásticos. Materiales de poli(metacrilato de metilo) (PMMA) para moldeo y extrusión. Parte 1: Sistema de designación y bases para las especificaciones.* (ISO 24026-1:2020). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO 24026-2:2021:

- AENOR (2021). *Plásticos. Materiales de poli(metacrilato de metilo) (PMMA) para moldeo y extrusión. Parte 2: Preparación de probetas y determinación de propiedades* (ISO 24026-2:2020). Madrid: AENOR.

3.4. Protecció del disseny

ES 2018/2685254 T3 - Impresora 3D

Disseny d'una impressora 3D tancada que utilitza tubs de material líquid en compte de filament i fa ús d'un sistema per a canviar de material durant la impressió.

ES 2020/2788661 T3 - Impresora 3D

Disseny d'un sistema de pintat de filament per a una impressora 3D FDM, amb l'objectiu de poder imprimir imatges a color en la superfície de models 3D.

ES 2020/2791483 T3 - Impresora 3D con estación de mantenimiento para cabezal de impresión y método de control de la misma

Impressora 3D centrada en un sistema per a facilitar el manteniment del capçal d'impressió.

ES 2019/2704551 T3 - Impresora 3D con medios para colorear el artículo impreso

Disseny d'una impressora 3D tancada centrada en un sistema de pintat simultani a la deposició de plàstic.

ES 2020/2776473 T3 - Sistema de movimiento mecatrónico para impresora tridimensional que utiliza piñones y cremalleras helicoidales

Disseny d'un sistema de moviment per a una impressora FDM amb molt d'èmfasi en la precisió del sistema resultant i en la seua cinemàtica.

CN 2015/204505847 U - Heat preservation 3D printer

Disseny d'una impressora 3D centrada en l'ús d'un material aïllant per a la carcassa amb l'objectiu d'aconseguir i mantindre altes temperatures en la cambra d'impressió d'una forma més eficient i estable.

CN 2017/107854914 A - A filtration device for 3D printer

Disseny d'una impressora 3D FDM tancada amb sistema de filtració per a les partícules i gasos que genera el plàstic en el fusor.

CN 2015/204622618 U - 3D printer

Disseny d'una impressora 3D tancada que proposa una distribució concreta de components a fi de facilitar l'operació i manteniment de la màquina.

CN 2015/205075343 U - 3D (three -dimensional) printer

Disseny íntegre d'una impressora 3D FDM tancada amb un sistema de control remot.

US 2016/10730232 B2 - Coextruded, multilayer and multicomponent 3D printing inputs

Disseny d'un sistema de deposició i alimentació de múltiples filaments per a impressores FDM

US 2016/2016332387 A1 - A device and method for removing 3D print material from build plates of 3D printers

Disseny d'un llit d'impressió flexible que permet retirar les peces impreses amb facilitat.

US 2017/2017036399 A1 - 3D printer

Disseny íntegre d'una impressora 3D FDM oberta amb capacitat per a plegar-se i ocupar menys espai.

US 2016/2016236407 A1 - 3D printer

Disseny d'una impressora 3D FDM tancada amb espai en la base per a allotjar el filament d'impressió

US 2017/2017182717 A1 - Multifunction 3D printer

Disseny d'una impressora 3D amb un capçal modular que li permet també funcionar com a talladora làser o fresadora cnc.

US 2019/10300651 B2 - Portable 3D printer

Disseny d'una impressora 3D FDM tancada de grandària i preu reduït.

3.5. Condicions estructurals i mecàniques

La impressora resultant d'aquest treball no només ha de ser modular i donar total control a l'usuari final sobre el producte, també ha de ser un producte acabat i a l'altura dels estàndards actuals de la indústria. És per això que ha de complir amb una sèrie de requisits estructurals i mecànics per ser competitiva davant d'altres productes substitutius, el que la portaria a ser una alternativa oberta i viable per a usuaris que estiguen interessats no només en fer ús professional o personal de la màquina, sinó també en tenir un projecte personal que li permet aprendre sobre el món de la impressió 3D i beneficiar-se'n d'aquest.

Les condicions de disseny essencials en aquest aspecte i, per tant, aquells factors que estaran sempre presents al llarg del desenvolupament del projecte són els següents:

- L'estructura ha d'estar feta amb materials estandarditzats o de fàcil accés.
- L'estructura ha d'aprofitar l'espai dels seus components essencials al màxim, deixant espai per afegir els mòduls que l'usuari necessita.
- L'estructura ha de tindre forma de cuboide i cobrir completament el volum de la impressora per poder tancar el seu disseny amb facilitat.
- El producte resultant ha de ser silenciós durant la seua operació i generar la mínima quantitat de vibracions o moviments no desitjats.
- L'estructura ha de ser suficientment rígida com per a que els components mòbils mantinguen la seua precisió després de llargs cicles d'ús.
- El mecanisme de moviment ha de tindre una precisió d'al menys 0.01mm i ser de manteniment simple.
- El mecanisme de moviment ha de ser silenciós, veloç i causar poques vibracions.
- El mecanisme de moviment s'ha de poder calibrar i mantenir de forma senzilla.
- En el cas de que el llit es moga en l'eix Z, aquest ha d'estar subjectat per dos costats per assegurar la seua estabilitat.
- El capçal ha de ser capaç d'imprimir amb màxima precisió i sense artefactes a 60mm/s com a mínim.
- El capçal ha de ser capaç d'imprimir materials a 290°C.
- La base del capçal d'impressió ha de ser simple i permetre l'ús de diferents extrusores i fusors amb poc o cap canvi en el disseny de l'estructura.
- Tots els components de la impressora han de ser de fàcil accés, mantenint els requisits de seguretat en aquells que ho necessiten.

3.6. Condicions elèctriques i electròniques

Els components elèctrics i electrònics de la impressora formen una part essencial del seu funcionament i, per tant, una selecció correcta d'aquests basant-se en un criteri que s'ajuste als objectius finals del producte i que tinga en compte els altres elements d'aquest és essencial. És tan important la rigidesa i consistència estructural de la màquina per aconseguir una bona precisió en el producte final com ho és, per exemple, una selecció correcta de motors pas a pas o l'ús d'una placa base capaç de processar i gestionar la informació que necessita la màquina per operar sense distorsions.

Les condicions elèctriques i electròniques sobre les quals desenvoluparem el projecte són les següents:

- Els components emprats han d'estar estandarditzats o ser de fàcil obtenció.
- Els components emprats han de ser compatibles amb la placa base.
- El cablejat dels components es triarà d'acord amb la seua funció i càrrega elèctrica, mantenint un codi de colors estàndard.
- La font d'alimentació ha de ser d'un format normalitzat i tindre algun certificat de qualitat.
- La font d'alimentació ha d'estar aïllada d'altres fonts de calor.
- La font d'alimentació ha de poder utilitzar-se directament sense ser modificada.
- El sistema elèctric ha de comptar amb protecció contra curtcircuits i contra l'escalfament excessiu o comportament anormal dels seus components.
- Els components que es calfen han d'estar correctament refrigerats.
- La placa base ha de tindre suficients funcions i ports com per a poder afegir més mòduls dels considerats inicialment en el disseny.
- La placa base ha de tindre suficient potència com per processar totes les operacions d'impressió sense afectar la seua qualitat.
- La placa base ha de poder utilitzar sistemes operatius personalitzats.
- La placa base ha de poder utilitzar-se tant en 12V com a 24V.
- La placa base ha de comptar amb suficient informació per part del venedor com per poder resoldre qualsevol problema elèctric o de programació.

3.7. Condicions de programació

La tercera part crucial en aquest projecte és la programació, de la qual depèn que la màquina siga capaç de dur a terme les operacions per a les quals ha estat dissenyada. Podem dividir la programació de la màquina en dues parts, el firmware de la placa base i el firmware de la pantalla que ens servirà d'interfície gràfica. Programar des de zero un firmware per a la impressora seria una tasca extremadament complicada, per sort, hi ha firmwares "base" de codi obert que podem fer funcionar per a aquest projecte amb unes quantes modificacions i que obren un món de possibilitats per a l'usuari final.

Tenint en compte tot això, el firmware a utilitzar en la màquina ha de complir amb les següents condicions:

- Ha de ser de codi obert i comptar amb una font d'informació fiable sobre totes les seues funcions.
- Ha de suportar la placa base, i els drivers dels motors de forma nativa.
- Ha de comptar amb una comunitat que el desenvolupe i de la qual l'usuari final pugua aconseguir ajuda.
- Ha de suportar el sistema de moviment triat de forma nativa.
- Ha de ser el més simple i autoexplicatiu possible per poder fer funcionar la màquina de forma bàsica amb poc coneixement sobre informàtica.
- Ha de poder donar-nos accés al terminal d'ordres des de la pròpia interfície sense elements externs.
- Ha d'estar programat en un llenguatge actualitzat i versàtil que no represente una limitació per a la màquina.
- La interfície del producte final ha de ser simple, intuïtiva i atractiva.

4. Plantejament de solucions

4.1. Sistema de moviment

El sistema de moviment per a aquest projecte ha de complir, necessàriament, amb les consideracions llistades en el punt 3.4, per tant tots els mecanismes que inicialment no compleixen amb aquestes queden descartats.

Malgrat que el sistema cartesià lineal és una bona opció, aquest es presenta en dues variables. En una d'elles el llit es mou en l'eix Z i el capçal en el pla XY, mentre que en l'altre llit es mou en l'eix Y i el capçal en el pla XZ. Aquesta segona opció no es sol utilitzar en dissenys tancats ja que, com la superfície d'impressió surt per davant i per darrere de l'estructura durant els seus moviments, l'espai horitzontal que ocupa mentre treballa en funció al seu volum d'impressió és molt més gran al que ocuparia una impressora on el llit realitza el moviment en Z, el que resultaria també en una carcassa de major grandària. També cal destacar que, com s'ha explicat anteriorment, són més sorolloses, menys precises i la seua velocitat és prou limitada.

El sistema H-bot per altra banda resulta molt precís, ràpid i silenciós, però el seu disseny és massa sensible a les toleràncies, la qual cosa complica molt l'acoblament i el manteniment de la màquina per part de l'usuari. Per aquesta raó el sistema H-Bot no sol utilitzar-se i en el seu lloc es prefereix el sistema Core-XY, que naix d'aquest i, tot i ser més complex, solventa molts dels seus problemes.

També queda descartat el sistema Delta pel fet que aquestes impressores només resulten atractives en formats xicotets donat que la quantitat d'espai vertical que necessiten en proporció al seu volum d'impressió escala molt ràpidament. A més també presenten molts problemes a l'hora d'utilitzar els sistemes d'extrusió directa, necessaris per a imprimir materials flexibles, i l'electrònica és difícil d'allotjar en un lloc accessible.

El sistema polar tampoc compleix les condicions de disseny degut a la dificultat per a aconseguir consistència en la qualitat de les seues impressions, especialment en superfícies d'impressió grans, per la poca informació que existeix sobre aquest sistema en comparació a altres i per la dificultat d'allotjar l'electrònica en un lloc accessible.

Els sistemes de moviment a considerar són, per tant, els següents:

- Cartesià lineal amb capçal XY
- Core XY

4.2. Estructura

Per a l'estructura és necessari fer ús d'un material versàtil i de fàcil obtenció que permeti de manera senzilla afegir mòduls, components i altres elements estructurals. A més ha de poder formar estructures prou rígides i consistents com per a què les parts mòbils puguin operar de manera precisa durant llargs períodes de treball. Aquesta classe de requisits són molt comuns a l'hora de fer màquines a mesura pel que actualment existeixen elements estructurals normalitzats que cobreixen totes aquestes necessitats i que es fabriquen per un preu assequible.

Aquests elements són els perfils ranurats i els podem trobar en una àmplia selecció de materials i formes junt a complements d'acoblament que permeten de manera senzilla unir els diferents perfils entre ells o a altres elements sense utilitzar maquinària especialitzada ni modificar-los de manera irreversible. Per a projectes com impressores 3D, talladores làser o fresadores CNC de "sobretaula" el més comú és utilitzar perfils d'alumini tipus B o I de ranura de 6 mm, per la seua àmplia disponibilitat, fiabilitat, rigidesa i adequació a la grandària de la màquina. Aquesta sèrie de característiques, al costat del seu ús habitual tant en impressores 3D de primeres marques com en projectes personals, fan que els perfils ranurats siguin el material estructural més adequat.

D'aquesta manera les possibles configuracions d'una estructura feta amb perfils d'alumini segons l'allotjament per a l'electrònica són les següents:

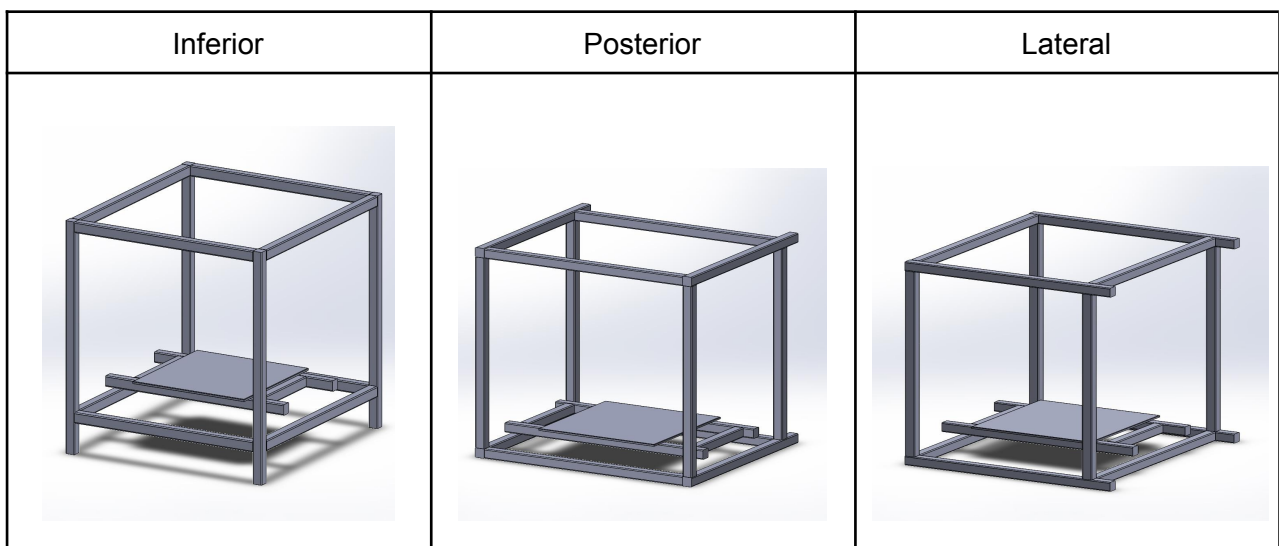


Figura 15: Renders 3D, exemples de configuració de la carcassa

4.3. Capçal d'impressió

Les condicions estipulades en el punt 3.4. limiten la configuració de capçals d'impressió viables per al projecte a sistemes d'extrusió directa compactes amb gola tèrmica metàl·lica o bimetàl·lica. L'extrusió ha de ser directa per la dificultat dels sistemes "bowden" per a imprimir filament flexible, que són incapaços d'utilitzar-los en la majoria dels casos ja que la distància entre el fusor i l'extrusora permet al filament doblegar-se en lloc de ser espentat a través del final calent. A més, la quantitat d'artefactes d'impressió no desitjats, com fils o pegots de plàstic, tendeix a ser menor quant menor és aquesta distància gràcies a l'augment de control sobre el filament.

Aquesta també és una raó per la qual els capçals d'impressió compactes resulten els més adequats per a aquest projecte ja que, a més d'estalviar espai i ser més lleugers, redueixen notablement la distància entre el punt des del qual s'espenta el filament i el punt des de que es diposita al utilitzar part de l'estructura de l'extrusora com a dissipador per al fusor.

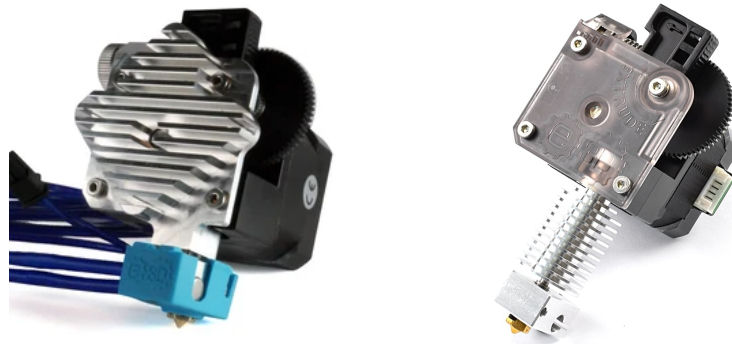


Figura 16: Capçal Titan aero (compacte) y capçal Titan Kit (tamany complet)

Finalment, no és recomanable utilitzar goles tèrmiques de PTFE alineat per a imprimir a temperatures superiors a 230° pel risc de cremar-les, fet que limita en gran mesura la varietat de plàstics que poden utilitzar. Tenint en compte això, els principals capçals d'impressió disponibles en el mercat que compleixen totes les condicions són els següents:





Titan Aero "Allmetal"	E3D Hemera
	
Trianglelab Matrix	BMG wind "Allmetal"
	
Biqu H2 "Allmetal"	
	

Figura 17: Capçals d'impressió proposats

Cal destacar que alguns d'aquests capçals tenen versions de gola tèrmica de tefló alineat, per la qual cosa cal assegurar-se d'obtenir el model correcte.

4.4. Sistema elèctric

Els components elèctrics més importants de la impressora són la font d'alimentació i la placa base, ja que s'encarreguen de distribuir l'energia i controlar el funcionament de la resta del sistema. En el cas de la font d'alimentació, i amb l'objectiu de complir amb les condicions de disseny esmentades, el més adequat és utilitzar una font tipus SMPS amb terminals de caragol. Aquestes són molt utilitzades en màquines de control numèric de "sobretaula", tant de primeres marques com casolanes, degut a la seua simplicitat, fiabilitat, eficiència i facilitat d'obtenció. A més, el seu format estandarditzat facilita el disseny de la muntura en la carcassa i els terminals de caragol simplifiquen la instal·lació de cablejat personalitzat.

El seu inconvenient principal és que no tenen un sistema normalitzat de control de qualitat o eficiència pel que, malgrat semblar idèntiques, dues fonts d'aquest format poden tindre diferències de qualitat molt grans i impossibles d'identificar a simple vista. Això representa un gran problema pel fet que una fallada en la font pot portar a l'inutilització permanent dels components que alimenta, a curtcircuits o fins i tot a un incendi en la màquina, pel que és recomanable obtindre-la d'un fabricant amb bona reputació i assegurar-se que està certificada per la norma ISO 9001 de gestió de qualitat.

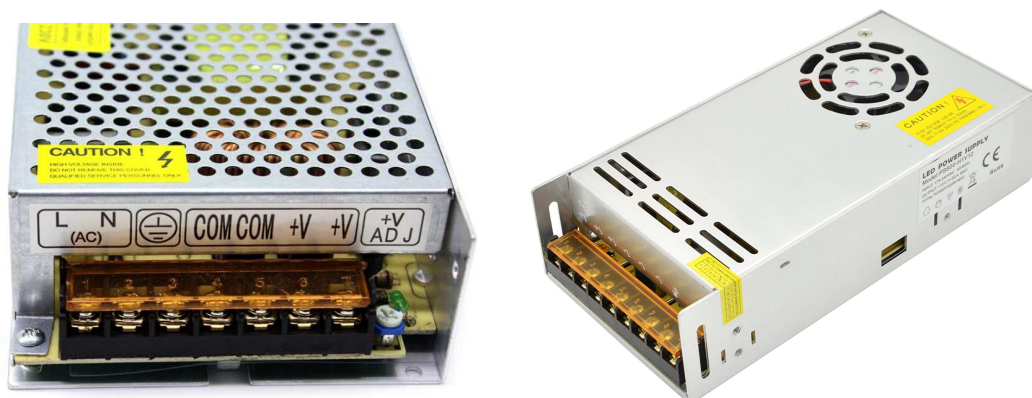


Figura 18: Detall dels terminals de caragol d'una font SMPS i font SMPS

Al contrari que les fonts, les plaques base per a impressores 3D no tenen un format estandarditzat, per la qual cosa diferents fabricants ofereixen dissenys i models amb diferències de gran importància per al resultat final del projecte. Com s'ha mencionat anteriorment existeixen dos tipus de plaques base segons la seua capacitat de processament, però les de *32bit resulten les més adequades per la seua major versatilitat, disponibilitat i potència que permeten a l'usuari final afegir mòduls a la impressora amb facilitat i no limiten l'elecció del sistema de moviment. A més, també és requisit de disseny que aquestes puguen operar tant en 12V com en 24V per a poder tindre la llibertat de triar el voltatge del sistema. Les principals plaques base disponibles que compleixen aquests requisits són les següents:

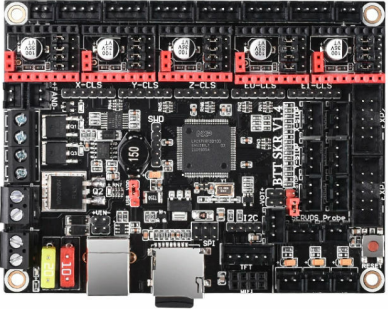
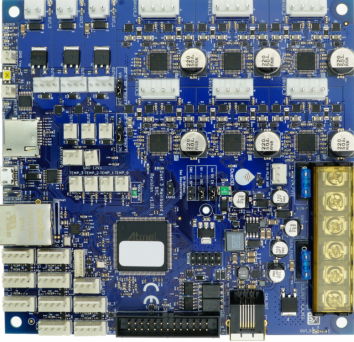
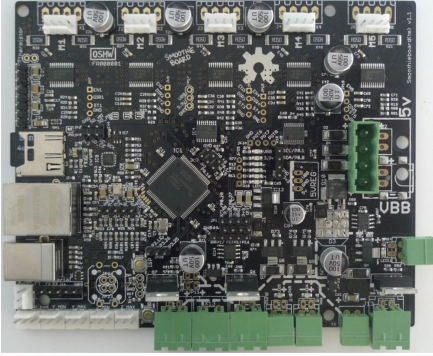
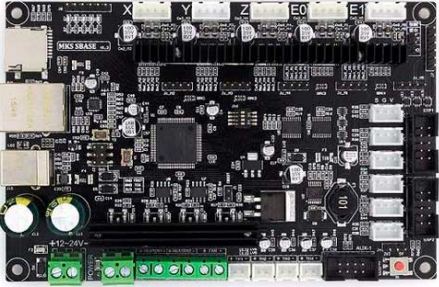
<p>BIQU bigtreetech SKR 1.4 turbo</p>	<p>Duet 3 6HC</p>
 <p>The image shows a black PCB with a red header strip at the top. It features a central microcontroller, various capacitors, and connectors. The text 'BIQU SKR 1.4 turbo' is visible on the board.</p>	 <p>The image shows a blue PCB with a central microcontroller, several capacitors, and connectors. It has a gold-colored terminal block on the right side. The text 'Duet 3 6HC' is visible on the board.</p>
<p>Smoothieboard v1</p>	<p>MKS SBASE V1.3</p>
 <p>The image shows a black PCB with a central microcontroller, various capacitors, and connectors. It has a green terminal block at the bottom. The text 'Smoothieboard v1' is visible on the board.</p>	 <p>The image shows a black PCB with a central microcontroller, various capacitors, and connectors. It has a green terminal block at the bottom. The text 'MKS SBASE V1.3' is visible on the board.</p>

Figura 19: Plaques base proposades

5. Criteris de selecció

5. 1. Sistema de moviment

Mètode de factors ponderats segons el sistema de moviment:

Factors	Valor (%)	Cartesià lineal	Core XY
Precisió	30	8	9
Lleugeresa	20	4	9
Calibratge	10	9	7
Simplicitat	10	9	6
Manteniment	10	7	7
Facilitat de càlcul cinemàtic	5	9	7
Operació silenciosa	5	6	9
Total	100	6.45	7.3

Taula 1: Comparació de sistemes de moviment

La velocitat i precisió d'impressió són els dos factors de major valor per a una impressora 3D de cara a l'usuari final i, de fet, aquests factors solen utilitzar-se com a mesura per a determinar la qualitat del producte pel fet que afecten l'experiència d'ús cada vegada que aquesta és utilitzada.

D'altra banda, el calibratge, la simplicitat i la facilitat de manteniment són factors que afecten principalment a la qualitat de vida de l'usuari i la freqüència en la qual aquests influeixen en l'experiència d'ús és reduïda. Això es deu al fet que la complexitat del mecanisme només resulta un problema durant les fases de disseny i acoblament i a la màquina només se li ha de fer manteniment una vegada cada x cicles de treball.

Finalment, la facilitat de càlcul cinemàtic és un factor de poc pes si es fa ús d'una placa base de *32Bit i el soroll de la màquina és un valor que, malgrat poder afectar en diferent mesura a diferents usuaris, no sol ser decisiu.

5.2. Estructura

Mètode de factors ponderats segons l'allotjament de l'electrònica en la carcassa:

Factors	Valor (%)	Posterior	Inferior	Lateral
Rigidesa	30	9	7	8
Eficiència de volum total	30	9	6	7
Facilitat d'accés	20	8	6	10
Ventilació	10	9	6	10
Espai per a l'electrònica	10	10	9	7
Total	100	8.9	6.6	8.1

Taula 2: Comparació d'estructures

La rigidesa estructural i l'eficiència del volum són els factors de major pes a l'hora de triar una configuració o altra pel fet que són aquells que més afecten l'experiència d'ús del producte. D'una banda la rigidesa contribueix a l'estabilitat dimensional del sistema de moviment, el que es tradueix no sols en una major precisió sinó també en una menor necessitat de manteniment i calibratge d'aquest. D'altra banda, l'eficiència de volum fa que la màquina ocupe el menor espai possible sense sacrificar volum d'impressió, el que permet a l'usuari situar-la i manipular-la en el seu espai de treball amb major facilitat.

Finalment, atès que l'objectiu d'aquest treball és fer un producte fàcil de manipular, modificar i mantindre, l'accés còmode a tots els seus components és un factor de major importància que la ventilació o l'espai total dedicat a l'electrònica donat que el nivell de refrigeració que necessiten els components elèctrics és molt bàsic i no ocupen molt d'espai en relació al tamany de la impressora.

5.3. Capçal d'impressió

Mètode de factors ponderats segons les propietats del capçal d'impressió:

Factors	Valor (%)	Aero	Hemera	Matrix	Wind	H2
Tamany	30	6	7	7	7	10
Pes	30	8 (288g)	6 (388g)	7 (357g)	9 (260g)	10 (219g)
Facilitat per a obtindre recanvis	20	9	8	8	9	4
Compatibilitat amb altres capçals	10	9	6	6	9	3
Preu	10	7	6	8	9	6
Total	100	7.6	6.7	7.2	8.4	7.7

Taula 3: Comparació de capçals d'impressió

Donat que tots els capçals considerats són capaços d'imprimir filaments flexibles amb facilitat i d'aconseguir fins a 290 °C de temperatura en el fusor de forma segura, la seua grandària i pes són els factors més importants a l'hora de decidir-se per l'un o l'altre, donat que aquests afecten, respectivament, al volum total d'impressió i a la velocitat a la qual pot operar la màquina de manera precisa.

Els altres factors influeixen principalment en la qualitat de vida de l'usuari i la freqüència amb la qual afecten l'experiència d'ús és menor, tanmateix aquests poden resultar decisius. Això es deu al fet que el mal funcionament d'algun component del capçal d'impressió sol inutilitzar completament la màquina, el poder substituir el capçal per un model nou sense modificar cap altre component facilita la seua actualització i, finalment, la diferència de preu entre un model o un altre pot ser molt gran i representar una barrera per a alguns usuaris.

5.4. Sistema elèctric

Mètode de factors ponderats segons les propietats de la placa base:

Factors	Valor (%)	SKR 1.4.	Duet 3	Smoothie	SBASE
Versatilitat	30	10	8	7	8
Informació	30	10	7	6	8
Disponibilitat	20	10	6	6	10
Compatibilitat directa amb altres components	10	9	9	7	9
Preu	10	10	5	8	10
Total	100	9.6			

Taula 4: Comparació de sistemes elèctrics

L'elecció d'una placa base que pugui adaptar-se a diverses configuracions amb facilitat és tan important com triar una sobre la qual es pugui aconseguir tota la informació necessària per a dur-les a terme. Això es deu al fet que un sistema molt potent i versàtil sobre el qual no es té la suficient informació pot resultar igual d'útil per a un usuari mitjà que un sistema més limitat amb molt de suport informatiu. La facilitat per a obtenir un recanvi també és un factor de molta importància pel fet que, per norma general, un error en la placa inutilitza completament la màquina i no pot reparar-se de manera senzilla i fiable, pel que substituir-la per una nova sol ser preferible.

D'altra banda, llevat que l'usuari decidisca fer la versió més simple de la màquina, la placa base necessitarà plaques filloles per a complir amb certes tasques, com un MOSFET per a aïllar el corrent del llit calefactat, un mòdul d'apagat programable, un mòdul de reinici d'impressió contra apagades o un de wifi. Si el fabricant de la placa també ofereix aquests components s'assegura una instal·lació fàcil i s'evita haver de forçar la compatibilitat amb terceres marques.

També cal destacar que el preu d'aquestes plaques i les seues filloles pot variar en gran manera d'un model a un altre, pel que aquest pot resultar un factor decisiu per a alguns usuaris i ha de tindre's en compte.

6. Justificació de la solució escollida

Gràcies a les estrictes condicions de disseny, la combinació de qualsevol de les configuracions i components proposats resulten en una màquina funcional i vàlida, ja que les solucions triades a continuació es basen en la cohesió i desenvolupament de les opcions que millors resultats ofereixen seguint el criteri exposat, tanmateix, aquest podria ser diferent per a certs usuaris.

Això es deu al fet que, com en tot projecte d'enginyeria, no existeix una solució ideal, sinó més aviat una solució òptima per a cada cas en l'actual estat de la tècnica. A causa d'això, si l'usuari final ho considera necessari podria triar i desenvolupar un conjunt de solucions diferent.

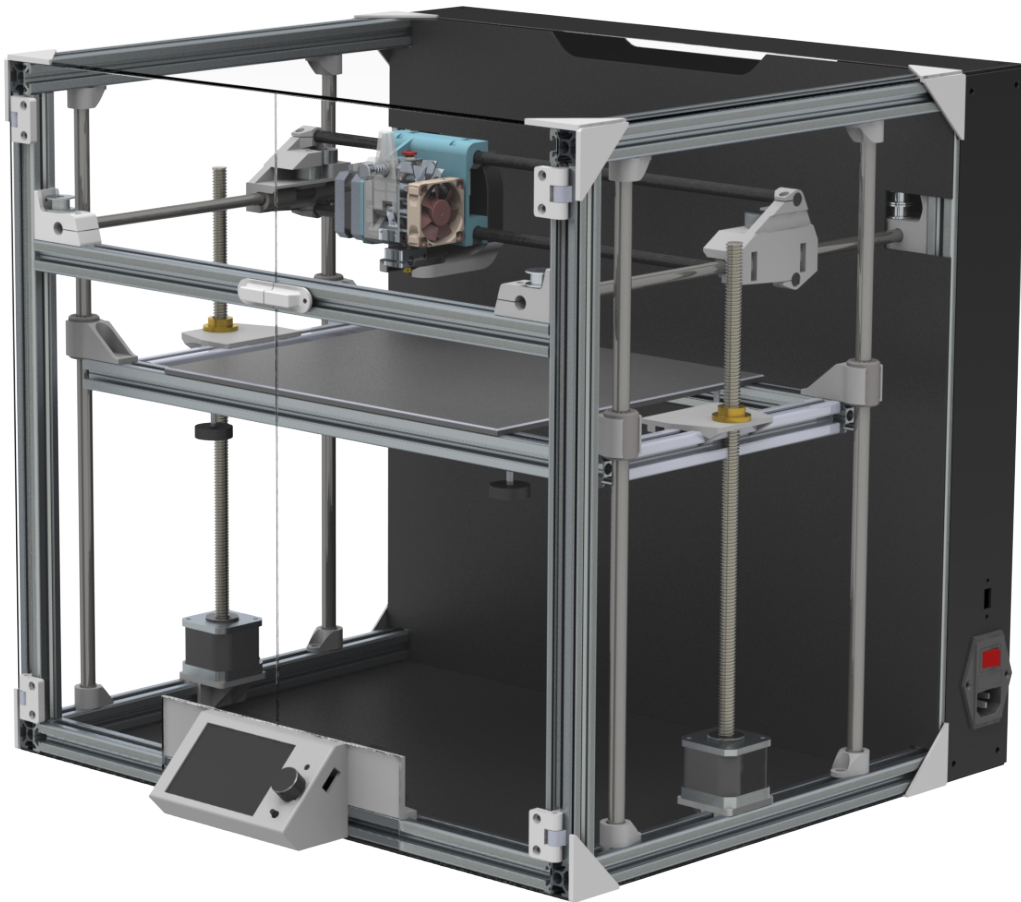


Figura 20: Render 3D, màquina acabada

6.1. Sistema de moviment

Tot i que que en principi la precisió dels sistemes cartesianes lineals i la dels CoreXY és la mateixa, aquests últims són capaços de mantindre-la a velocitats més altes gràcies al treball conjunt de tots dos motors per a la majoria de moviments, donat que les trajectòries totalment diagonals són menys comunes que les horitzontals o verticals, i a que la massa en moviment d'aquest mecanisme és considerablement menor, per la qual cosa, canviar la direcció de moviment del capçal d'extrusió o detindre'l requereix de menys esforç. També cal destacar que el major nivell de vibracions als eixos generat pel sistema cartesià lineal pot resultar en una qualitat superficial pitjor.

El mecanisme CoreXY també és molt més silenciós i, amb un disseny que tinga en compte els seus punts febles, no és difícil de mantindre ni calibrar. Per aquestes raons resulta més adequat malgrat la seua complexitat, ja que aquesta només és un factor rellevant durant el disseny i acoblament de la màquina, mentre que els inconvenients que presenta el sistema cartesià lineal afecten l'experiència d'ús del producte de manera constant.

Existeixen diverses maneres de configurar un mecanisme CoreXY segons el recorregut de la corretja. La forma més convencional és utilitzar un sistema de corrioles paral·leles per a cada recorregut de la corretja on l'encreuament d'aquestes es troba en posició oposada als motors. Tot i això, amb l'objectiu d'estalviar espai horitzontal i poder treballar sobre el capçal d'impressió sense interferir amb les corretges, farem ús d'un sistema modificat de corrioles superposades en el qual l'encreuament de les corretges es troba en el mateix costat que els motors. Als laterals de l'estructura es van a situar els dos eixos "Y" cilíndrics que subjecten el tren del capçal d'impressió, que serà mòbil i estarà compost per dos eixos disposats de forma vertical. Aquesta disposició, en comparació a una horitzontal, aprofita millor l'espai, deixa l'extrusora i el fusor més a la vista i dona més espai sota aquest per al sistema de refrigeració de capes a més de ser especialment resistent a la flexió en la direcció de la gravetat.

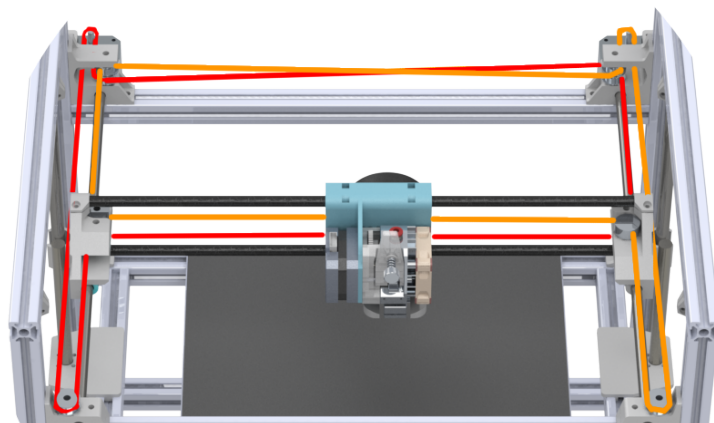


Figura 21: Render del sistema de moviment coreXY

Finalment queda definir la forma en que el llit calefactat es mourà en l'eix Z. El sistema més comú i efectiu és l'ús conjunt d'eixos guia i eixos roscats trapezoidals accionats mitjançant motors pas a pas. Per a complir amb les condicions de disseny la superfície d'impressió ha d'estar subjecta per un eix roscat a cada costat i quatre eixos de precisió que, a més de millorar en gran mesura l'estabilitat del mecanisme, contribueixen a la rigidesa de l'estructura al travessar-la verticalment pels seus costats.

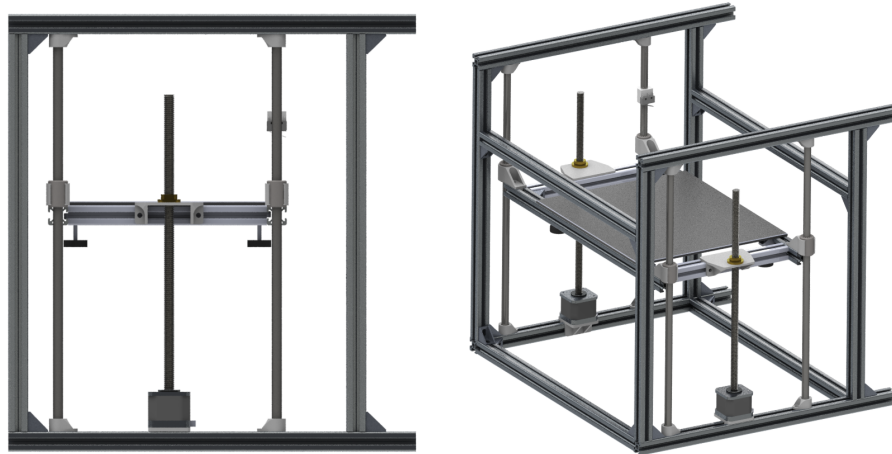


Figura 22: Render sistema de moviment Y

6.2. Estructura

L'estructura de la impressora ha de ser especialment rígida en la direcció de moviment del capçal d'impressió, que es situa en la part superior, ja que aquest genera quasi la totalitat de les forces aplicades sobre aquesta. Per aquesta raó, una estructura de menor altura i major base tindrà un millor acompliment gràcies a que la menor distància entre les forces aplicades i la base de la màquina redueix la magnitud dels moments flectors sobre els elements estructurals.

Amb l'objectiu d'optimitzar el disseny també és necessari buscar una configuració que rendibilitze al màxim les propietats estructurals de tots els seus components amb la finalitat d'utilitzar la menor quantitat d'elements estructurals dedicats i aprofitar els espais que aquests generen d'una forma eficaç. Per exemple, si l'allotjament d'un dels components força a l'estructura a augmentar el seu volum, que ha de ser un cuboide per a facilitar un disseny tancat, aprofitar aquest espai per a allotjar també l'electrònica és més eficient que generar un altre espai dedicat per a aquesta.

Els components del sistema de moviment CoreXY triats per al projecte generen quatre espais que envolten parcialment el volum d'impressió. Un en la part posterior de l'estructura creat pels motors pas a pas " Δ_1 " i " Δ_2 ", un altre en la part inferior generat pels motors de l'eix Z, i altre sobre el volum d'impressió creat pel capçal d'impressió.

Una distribució de l'electrònica en la part inferior obliga l'usuari a tombar la impressora per a poder treballar sobre els seus components elèctrics i força al disseny a alçar-la sobre la superfície en la qual es recolza per a oferir un flux d'aire suficient a la refrigeració, el que resulta en una configuració de major altura.

Una configuració amb l'electrònica en un lateral facilita molt el poder treballar amb la màquina i comptar amb una bona refrigeració, però no aprofita l'espai generat per altres components de la impressora, pel que podem dir que aquesta configuració és poc eficient. A més, situar l'electrònica en un lateral podria resultar massa accessible i ser poc segur per a espais amb xiquets o mascotes, especialment si l'usuari decideix fer la màquina el més econòmica possible i decideix no cobrir l'electrònica.

La configuració amb l'electrònica a la part posterior, d'altra banda, aprofita de forma molt eficaç l'espai generat pels motors del moviment en el pla *XY, pel fet que aquests són molt xicotets en comparació al volum que afigen a l'estructura. Aquesta configuració també permet la localització del capçal d'extrusió a menor altura el que, com s'ha explicat anteriorment, redueix els esforços que aquest genera sobre els elements estructurals al moure's. El seu únic inconvenient seria l'haver de girar la màquina per a poder treballar amb el sistema elèctric però, per altra banda, això també ajuda a mantindre'l relativament aïllat de l'usuari o terceres persones durant el seu ús habitual, el que resulta en un punt intermedi entre seguretat i accessibilitat.



Figura 23: Render configuració espai electrònica

6.3. Capçal d'impressió

A efectes de resultats d'impressió el capçal "Biqu H2" és el que millors resultats ha de donar, ja que és el més xicotet i lleuger, la qual cosa permet una major velocitat d'impressió i habilita un volum d'impressió major. Tot i això, aquest només pot adquirir-se actualment mitjançant la compra directa al seu fabricant a la Xina i la majoria dels seus components són dissenyats a mesura, fet que pot representar llargs terminis d'enviament que obligarien a tindre la màquina parada en el cas que el capçal d'impressió mostre algun problema. D'altra banda, el seu format únic i extremadament compacte fa que la seua montura no siga compatible amb cap altre capçal d'impressió disponible en el mercat actualment i redueix la capacitat de refrigeració del dissipador. A més, del seu motor pas a pas NEMA14 unit a un sistema d'engranatges amb ràtio 7:1 obté només 7,5N/cm de força, la meitat del que disposen la resta de capçals proposats, el que limita la velocitat a la que aquest és capaç d'alimentar el fusor amb filament sense perdre passos.

Aquestes raons fan que el "BMG wind" resulte una millor opció, ja que utilitza components d'ús estès i de fàcil obtenció com ara una gola tèrmica i un bloc calefactat "V6", un motor pas a pas Nema17 i un ventilador de 20x20 que poden ser comprats a un gran nombre de proveïdors de forma ràpida. A més, la diferència de pes entre tots dos és sols d'uns 41g, pel que possiblement no afecte a la qualitat d'impressió final si tenim en compte que hem pres altres decisions de disseny que redueixen molt més la massa en moviment, com per exemple emprar un sistema CoreXY que situa els dos motors del pla XY de forma estàtica en el xassís, els quals pesen entre 400 i 500g depenent del tamany.

A més el "BMG Wind" basa el seu sistema de muntura en els cargols del seu motor pas a pas Nema17 igual que la majoria de capçals d'impressió del mercat, pel que el disseny de la base sobre la qual es munta serà compatible amb molts altres models amb mínima o cap modificació. Aquest també resulta molt més lleuger que el "E3D Hemera" o el "Trianglelab *Matrix" i, igual que aquests, utilitza un sistema d'extrusió de doble engranatge que subjecta i espenta el filament de forma més precisa i segura davant del sistema d'engranatge i rodament del "Titan *Aero".

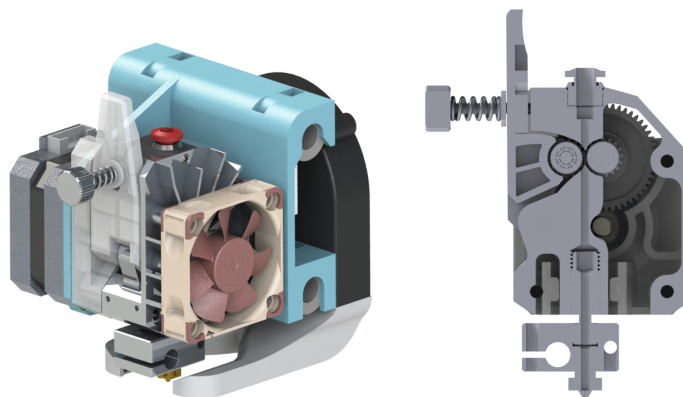


Figura 24: Render del capçal complet i vista en secció del mecanisme d'extrusió

6.4. Sistema elèctric

El sistema elèctric de la impressora ha de ser alimentat mitjançant una font SMPS amb terminals de cargol tal i com s'ha especificat anteriorment i, amb la intenció de mantindre el disseny simple i facilitar la compatibilitat de tots els components del projecte, aquesta ha de ser de 12V. Aquest voltatge és suficient per a calfar la superfície d'impressió a 110 °C i imprimir plàstics fins a 290 °C de manera còmoda utilitzant un aïllament correcte, a més, un voltatge menor és més segur i el seu ús estès entre components elèctrics i electrònics de tota mena facilita la selecció de la resta de mòduls de la impressora. Cal destacar que, donat que totes les plaques base seleccionades funcionen tant en 12V com en 24V, l'usuari té la llibertat de desenvolupar la seua màquina amb aquesta última opció si ho considera oportú.

En quant a la placa base, la "BIQU bigtreetech SKR 1.4 Turbo" resulta l'opció més apropiada donada la gran quantitat d'informació accessible sobre el seu funcionament, ús en projectes similars, alta quantitat de ports de tota mena i àmplia disponibilitat de plaques filloles oferides pel mateix fabricant.

Aquesta compta amb quatre eixides de 12V (o 24V) dedicades a ventiladors, una d'elles controlada mitjançant PWM; dues connexions per als steppers de l'eix Z, que faciliten la instal·lació de dos motors sincronitzats; dos ports independents per a extrusores i tres ports per a sensors de dos pins, a més de dos ports COM, un de TFT, un d'USB, i una ranura per a targetes SD entre altres connexions. Aquesta placa base també utilitza un sistema modular per als controladors dels motors pas a pas, que solen estar soldats i ser part de la placa, el que permet substituir-los en el cas que es trenquen en lloc d'haver de substituir la placa sencera, a més de donar major llibertat a l'usuari per a triar el sistema de control dels motors pas a pas.

El fabricant també ofereix un esquema electrònic amb la posició, nom i voltatges de cada connexió que facilita en gran mesura la programació de la placa i la seua configuració és suportada de manera nativa pel firmware "MARLIN", que és actualment el més utilitzat en impressores 3D tant per primeres marques com en projectes personals. "MARLIN" és un projecte de codi obert que compta amb una wiki pròpia amb tota la informació necessària sobre la seua programació, el seu codi font té anotacions sobre el funcionament de cada línia de comand i existeix una gran quantitat d'informació accessible sobre com treballar amb ell, a més d'una àmplia comunitat d'usuaris actius que poden resultar d'ajuda si dóna algun problema.

Totes aquestes facilitats fan del conjunt Bigtreetech SKR 1.4 Turbo + MARLIN una de les opcions més populars per a projectes d'impressores 3D en l'actualitat, el que també fa que tant la placa com els seus mòduls complementaris puguin ser obtinguts amb facilitat de diferents proveïdors a un preu assequible i de manera ràpida.

La competència directa d'aquesta placa és la "MKS SBASE v1.3" ja que també és suportada de manera nativa per "MARLIN" i el seu fabricant ofereix una àmplia varietat de plaques filloles interessants, no obstant això, donat que és menys popular i és més difícil d'obtenir, existeix molta menys informació sobre el seu ús i programació. A més, compta amb menys connexions, els controladors dels motors pas a pas no són modulars i no disposa de dos ports sincronitzats per a l'eix Z. Aquests inconvenients també els presenten les altres plaques però, a més, la "Duet 3 6HC" és molt més cara i la "Smoothieboard v1" resulta molt difícil d'obtenir. Bigtreetech també ofereix altres plaques com la "1.4.", de potència una mica inferior, o la "Mini", de grandària reduïda, que són bones opcions encara que no representen cap avantatge en aquest projecte davant de la "1.4. Turbo".

Finalment, és necessari afegir plaques filloles per a afegir certes funcions a la màquina amb la finalitat de millorar la seua seguretat i l'experiència d'ús. Aquestes són: un mòdul de pantalla LCD tàctil per a controlar la impressora i un mòdul MOSFET per a desviar de la placa base el corrent del llit calefactat, ja que aquest és el component que més energia consumeix i, per efecte Joule, pot arribar a sobrecalfar la placa, a més aquest aporta un mecanisme de protecció tèrmica i contra curtcircuits adicional al sistema. Bigtreetech també fabrica altres mòduls com ara sensors de filament, controladors LED, connexions a Wifi o mòduls UPS que no s'utilitzaran en aquest projecte, però que poden ser afegits a la màquina amb facilitat si l'usuari ho necessitara.

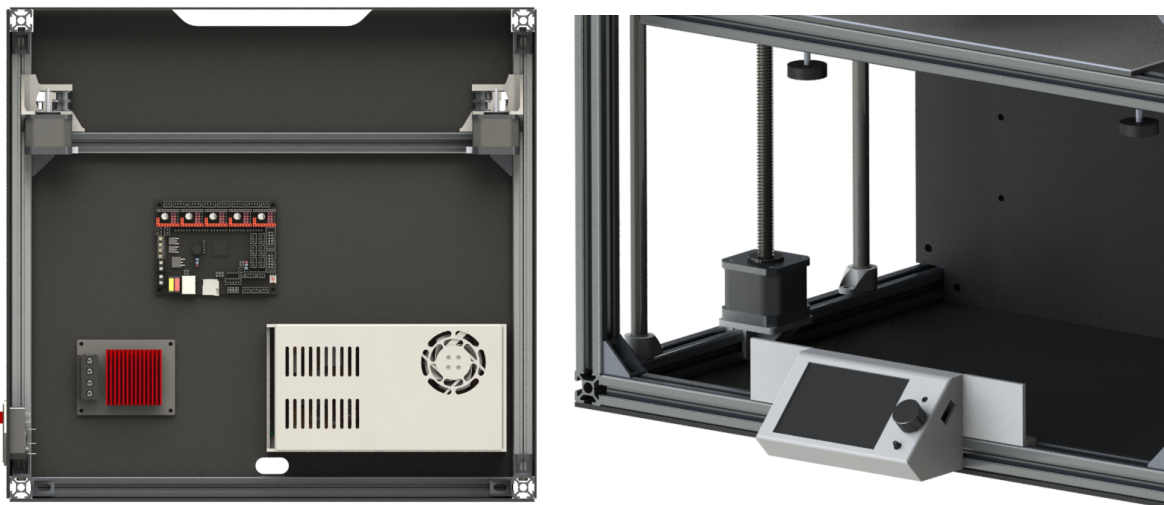


Figura 25: Render de la distribució de components i la pantalla tàctil

7. Descripció detallada de la solució escollida

La solució adoptada passa per cohesionar totes les decisions de disseny preses fins ara en un sol producte acabat, funcional i eficaç utilitzant només components de fàcil obtenció o fabricació i un firmware compilat específicament per a ell. Aquests elements es divideixen per tant en tres grups: les peces ja fabricades, les peces dissenyades i el firmware.

7.1. Peces dissenyades

7.1.1. Peces d'impressió 3D

Els següents components han de ser impresos preferiblement amb una màquina FDM pel propi usuari, però si aquest no disposa d'una sempre pot recurrir a un servei d'impressió 3D com el que ofereix l'universitat o algunes tendes especialitzades tant online com físiques o, si es dóna el cas, recórrer a un conegut que si en tinga i les pugui fabricar.

Preferiblement aquests components haurien de ser impresos en un material amb una temperatura de transició vítria sobre els 70°C, donat que van a estar en un ambient calfat on van a rebre diversos esforços mecànics, com ara el ABS, el Nylon o el ASA, seguint el material ideal el composite de fibra de carboni-Nylon per presentar la millor estabilitat dimensional i rigidesa, així com una excel·lent resistència a la fatiga i als esforços de compressió-tracció. Malauradament el Nylon-CF resulta prou car i molt difícil d'imprimir pel que pot no ser una opció per a alguns usuaris.

Tenint en compte això, i que aquesta impressora acabada pot imprimir Nylon-CF, pot ser una bona idea imprimir aquestes peces primer amb un material econòmic i fàcil d'imprimir com el PLA i, una vegada aquestes comencen a fallar o l'usuari encontre una configuració que ja no vulga modificar, substituir-les per les peces finals en Nylon-CF fetes amb la mateixa impressora.

Per últim, cap mencionar que les peces han sigut dissenyades per imprimir-se amb un gruix de línia de 0.4mm, una altura de capa de 0.2 i un farciment de entre el 50 i el 80% amb suports. Per a més informació sobre com imprimir cadascuna dirigiu-se al plec de condicions.

- **Base capçal d'impressió**

La base del capçal d'impressió té com a funció donar suport a tots els components del capçal que són el fusor, l'extrusora, les corretges, els rodaments per als eixos X i el ventilador de capa, a més ha de comptar amb algun sistema d'organització per als cables de tots els components elèctrics.

Per a assegurar una bona estabilitat en el capçal d'impressió cal emprar dos rodaments lineals de 8mm per eix, aquests van a estar subjectes amb un sistema de pinça i brides que permet desmuntar el capçal dels eixos amb facilitat a més de minimitzar la transmissió de vibracions i soroll. Les brides també resulten un bon sistema de fixació degut a que són fàcils d'implementar en el disseny, econòmiques, fàcils d'obtenir i, al contrari que els cargols, aquestes no s'afluixen amb les vibracions a més de no permetre apretar en excés els rodaments, acció que els podria deformar donat que són de plàstic.

La montura per l'assamblatge de l'extrusora es situa entre el sistema d'engranatges i el motor pas a pas Nema17 i aprofita els mateixos cargols de 3mm, situats en una configuració quadrada de 40mm de costat, que mantenen aquest acoblament unit. La montura també compta amb unes plataformes triangulars a la base per minimitzar la flexió del sistema, es situa molt prop del centre de masses de l'extrusora, el que resulta en la configuració estable, i té un forat circular de 28mm de diàmetre per fer passar l'eix.

Per últim, compta amb uns forats de 3mm per muntar el ventilador de capa, un suport per a gestionar els cables, un sistema d'ajust de tensió per a les corretges, en el qual s'han d'insertar dues femelles de 3mm, i les parets són de 3mm.

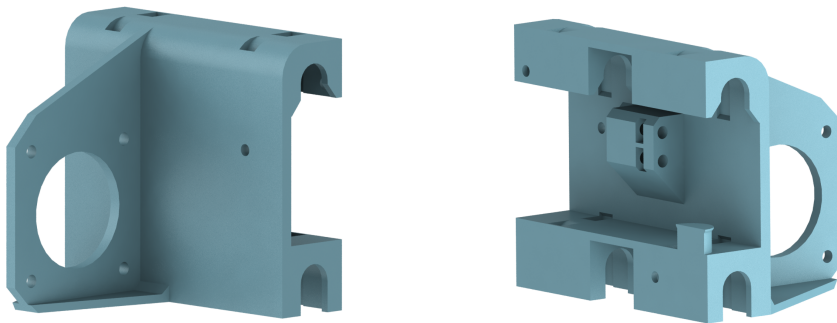


Figura 26: Renders 3D, del capçal d'impressió

- **Pinces corretges**

Per poder unir les corretges del sistema de moviment al capçal és necessari utilitzar unes pinces de fixació que s'instal·len en costat posterior del capçal. una de elles subjecta les dues corretges del sistema de forma estatica i l'altra sols una, però permet canviar la posició de la muntura per ajustar la tensió de la corretja mitjançant un cargol de 3mm.

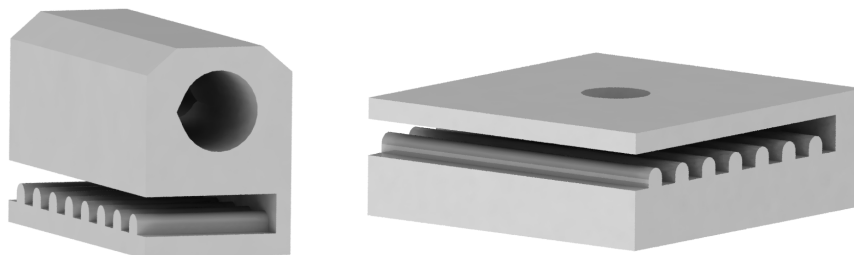


Figura 27: Renders 3D, Pinces corretges

- **Unions eixos XY**

Aquestes peces són essencialment simètriques excepte pels carrils i les muntures per a les corrioles, les quals estan invertides. Donat que aquest component ha de lliscar al llarg l'eix Y, disposa de dos espais per a allotjar rodaments lineals de 8mm que fan ús del mateix sistema de pinça i brida utilitzat en la base del capçal d'impressió.

Les muntures per als eixos X de 8mm, situats als extrems superior i inferiors de la peça, es subjecten de forma rígida directa a la peça mitjançant una pinça ajustable amb cargol de 3mm. Per altra banda, les muntures de 9mm de gruix per a les corrioles, que van subjectades amb cargols de 5mm, prenen una forma curvada de 9.75mm de radi per facilitar la instal·lació de les corretges.

La peça ocupa el mateix espai en l'eix Y que el capçal d'extrusió, 73mm, d'aquesta manera es poden situar els dos rodaments el més separats possible per maximitzar l'estabilitat del sistema sense reduir el volum d'impressió, donat que els marges de la carcassa amb els que aquesta peça es toparia són els mateixos que per al capçal. En la part posterior compta amb un espai de 10mm d'ample per evitar que la corretja que passa per darrere toque la peça.

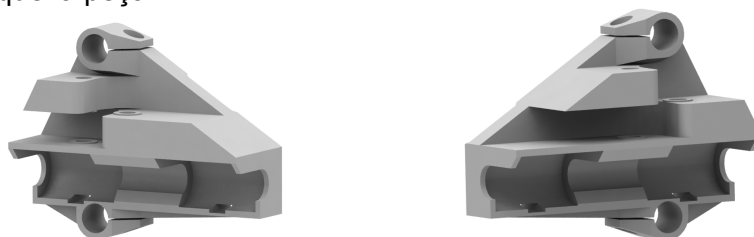


Figura 28: Renders 3D, unions eixos XY

- **Bases de subjecció frontals**

Aquestes peces de 18mm de gruix es subjecten a dos perfils frontals mitjançant dos cargols i rosques de 4mm i funcionen tant per a realitzar la unió com per a alinear-los mitjançant unes insercions rectangulars de 6mm d'ample per 4mm d'alçada que també ajuden en la rigidesa del component, aquestes llengüetes també estan incloses en el disseny de totes les peces que van unides als perfils. La peça també subjecta l'eix Y de 8mm amb una unió de pinça amb cargol de 5mm i conta amb un orifici passant de 5mm per a subjectar la corriola frontal.



Figura 29: Renders 3D, base subjecció frontal

- **Bases de subjecció motors Δ**

Aquestes bases simètriques compten amb un sistema més rígid de dos punts de recolzament per a les corrioles, donat que tenen que soportar les tensions de les dues, i es fixen als perfils mitjançant tres cargols de 4mm. A més, compten amb una montura per a motors NEMA17 reforçada amb nervis de 3mm de gruix per als motors " Δ_1 " i " Δ_2 " i l'eix Y de 8mm està fixat a pressió en un forat de 11mm, d'aquesta forma compta amb una subjecció rígida i precisa per un extrem i altra fàcilment ajustable per l'altre.

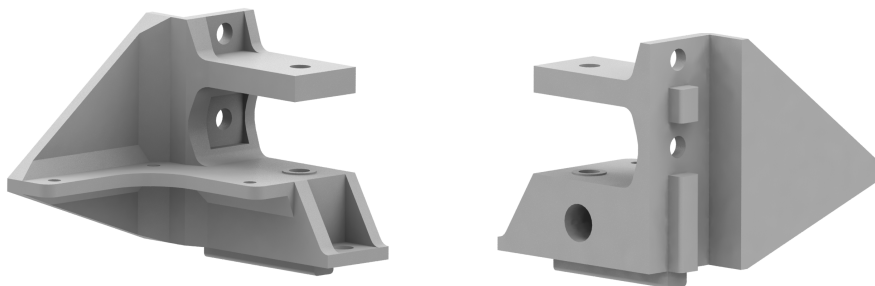


Figura 30: Renders 3D, base subjecció motors Δ

- **Subjeccions eixos guia Z inferiors**

Les subjeccions inferiors estan unides als perfils Z mitjançant un sol cargol de 5mm, subjecten l'eix de 10mm a pressió i mesuren 18mm d'ample per 17mm d'alçada.

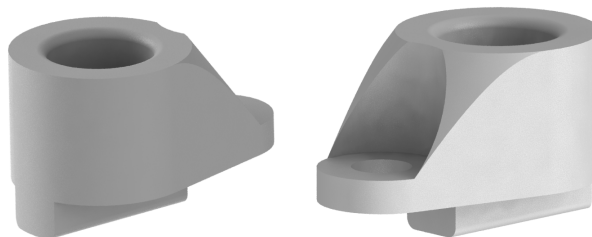


Figura 31: Renders 3D, eixos guia Z inferiors

- **Base motors Z**

Aquestes peces subjecten els motors Z en una plataforma de 4mm de gruix amb quatre cargols de 3mm i van unides al perfil inferior mitjançant un de 5mm. Tenen la funció d'oferir una superfície molt plana sobre la que muntar els motors pas a pas dels eixos Z i disposen tant d'una llengüeta rectangular per fixar-los com d'uns nervis de 3mm de gruix per assegurar la rigidesa del sistema.

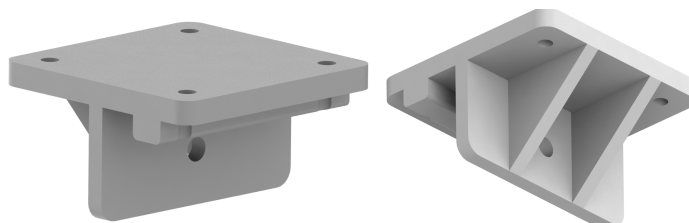


Figura 32: Renders 3D, base motors Z

- **Subjeccions superfície d'impressió-eix roscat**

Les subjeccions per a la superfície d'impressió de 3mm de gruix de parets estan unides mitjançant cargols de 5mm als perfils laterals del llit calefactat i a l'eix roscat amb la seua rosca, que està subjectada per quatre cargols de 3mm. La peça deixa un espai quadrat en la part inferior per allotjar el motor pas a pas i als costats té dos nervis de 3mm de gruix que reforçen la estructura. Amb aquesta geometria s'aprofita l'espai vertical de forma eficient i es guanyen uns 20mm d'altura d'impressió.

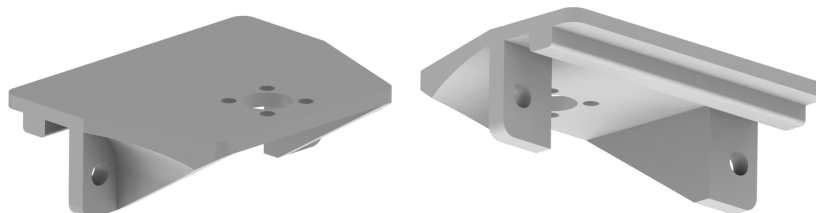


Figura 33: Renders 3D, subjeccions superfície d'impressió-eix roscat

- **Subjeccions superfície d'impressió-eix guia**

Aquestes peces de 26mm d'alçària subjecten els rodaments lineals de 10mm amb un mecanisme de pinça a pressió que compta amb uns sortints de 1.4mm per a bloquejar el component verticalment i està unida als perfils del llit mitjançant un cargol de 4mm. El nervis de 3mm ajuden a la rigidesa de la peça i el sistema de pinça, a més de ser molt fàcil d'emprar i no necessitar components d'unió, subjecta el rodament sense risc de deformar-lo.

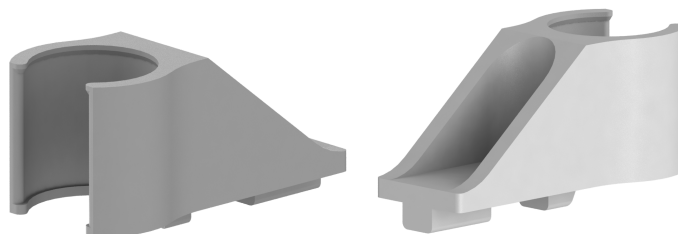


Figura 34: Renders 3D, subjeccions superfície d'impressió-eix guia

- **Bases d'anivellament**

Aquestes peces van unides a les cares interiors dels perfils de l'acoblament de la superfície d'impressió mitjançant un cargol de 5mm i una rosca i té la funció de subjectar els cargols d'anivellament de 3mm del llit calefactat. Mesuren 18mm d'alçària per 26mm d'amplària per 19mm de profunditat.

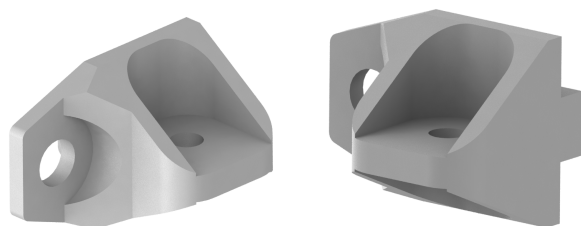


Figura 35: Renders 3D, subjeccions per als cargols d'anivellament

- **Conducte del ventilador de capa**

Aquest component buidat de 1,8mm de gruix de pared té la funció de dirigir l'aire que espenta el ventilador de capa cap als costats de la boquilla d'impressió per refrigerar el plàstic mentre es diposita, d'aquesta forma la calor del fusor no es transmet a la peça i s'eviten deformacions a més d'assegurar una superfície sòlida sobre la que depositar el filament fos en la següent passada del capçal d'extrusió. És important que l'aire es llance per ambdós costats de la boqueta per assegurar que es filament està sent correctament refrigerat en totes direccions.

Alguns plàstics com el PLA es beneficien enormement d'un bon sistema de refrigeració de capa mentres que altres com el ABS donen millors resultats sense ell. Amb el sistema de control escollit la potencia d'aquest pot ser controlada tant com des del programa d'impressió com des de la propia pantalla de la màquina, fins i tot si ja ha començat la impressió i sense aturar-la.

Aquest component va unit a pressió al propi ventilador i, si l'usuari ho considera necessari, es pot pegar. D'aquesta forma el conducte pot ser fàcilment desmuntat o apartar per a tindre accés total al fusor de forma ràpida, operació que resulta molt útil per a fer-li el manteniment, canviar la boqueta o netejar-lo quan un error d'impressió ha format un "pegot" en l'interior del la funda d'aïllament o un "espagueti", que ocorre quan el capçal per error comença a imprimir en l'aire i el filament s'enrosca en forma de "niu" o "plat de espagueti" al voltant seu.

També és important que aquest component no faja contacte directe amb el fusor donat que podria fondre's o deformar-se, per aquesta raó l'espai entre les eixides d'aire és de 22mm.

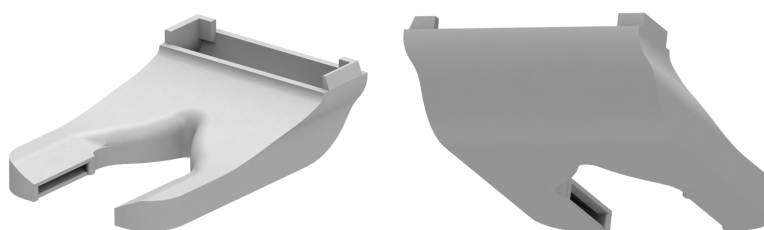


Figura 36: Renders 3D, conducte del ventilador de capa

- **Bases per a la subjecció de l'electrònica**

Aquestes peces tenen com a funció subjectar les plaques electròniques del sistema al seu panell i són, essencialment, unes alçes còniques de 3mm d'alçària i 8mm de base amb un forat de 3mm de diàmetre i 2,6mm d'alçària per enroscar un cargol. Aquestes van unides al panell amb pegament, preferiblement epoxy, per donar a l'usuari la llibertat de distribuir els components i d'emprar o afegir altres que no hem considerat en aquest treball sense canviar el disseny del panell o modificar-lo de forma irreversible.

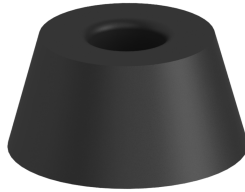


Figura 37: Renders 3D, base per a la subjecció de l'electrònica

- **Alces per a la font d'alimentació.**

Al contrari que les anteriors, el forat d'aquestes és de 4mm passant, són de 5mm d'alçària i el diàmetre exterior màxim és de 12mm. Això es deu al fet que la font d'alimentació és molt més pesada i les rosques que porta a la carcassa estan fetes per a muntar-la encargolada directament sobre un panel.

A més, la posició d'aquestes rosques està estandarditzada, pel que és la mateixa en totes les fonts SMPS del mateix format de tamany, pel que sí que es poden incloure forats en el panell per a subjectar-la sense perill de que aquests no coincidisquen amb els de la font.

Dit això, la font d'alimentació pot muntar-se directament sobre el panell sense alces, però al fer ús d'elles donem un espai que l'aïlla tèrmicament del volum d'impressió, que per a alguns plàstics ha d'estar sobre els 50 graus. És important que la font estiga ben refrigerada donat que l'eficiència i temps de vida d'aquesta són directament proporcionals a la seua temperatura d'operació.

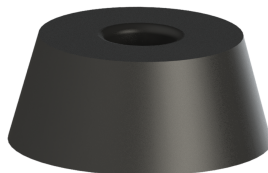


Figura 38: Renders 3D, alces per a la font d'alimentació

- **Montura per a la pantalla TFT 35**

La muntura de la pantalla compta amb un orifici rectangular 76x51,5mm en la part frontal per poder utilitzar-la a més d'un orifici quadrat de 12,5mm de costat per al dial de control i altres dos circulars de 5mm de diàmetre per al botó de reinici i per al xiulador. També compta amb ranures laterals per a l'ús còmode dels ports USB i SD de 7x15,4mm i 28x3,2 respectivament i d'un posterior semicircular de 4mm de radi per a treure els cables que connecten el mòdul a la placa mare.

La montura es troba recolzada a 45°C per poder utilitzar-la tant assegut com de peu de forma còmoda, i permet una geometria a la resta de la peça que pot ser impresa sense suports, el que redueix el temps d'impressió i millora la qualitat superficial de forma considerable. Per altra banda, aquesta sols es subjectada als perfils de l'estructura

mitjançant dues insercions quadrades, pel que pot ser fàcilment desmuntada i recol·locada en qualsevol altre punt de la màquina o fora d'aquesta amb l'objectiu de fer més còmodes certes operacions de manteniment, calibratge o diagnòstic de problemes.

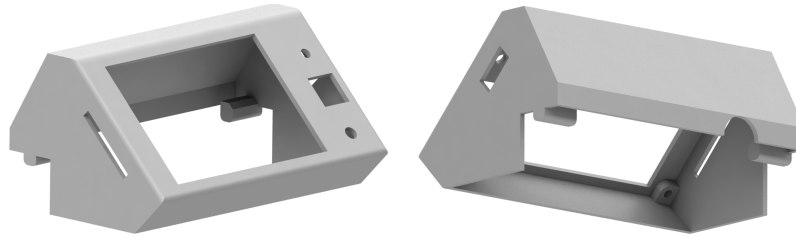


Figura 39: Renders 3D, muntura per a la pantalla TFT 35

- **Espaiadors per als laterals de la pantalla**

Aquestes peces simètriques de 38mm d'alçària per 45mm d'ample i 20mm de profunditat amb un gruix de paret de 3mm tenen l'únic propòsit de donar espai als laterals de la pantalla per mantindre el volum d'impressió tancat i poder utilitzar les connexions USB i SD sense dificultar l'obertura dels panells frontals i, per tant, soles han de ser impreses si es vol tancar la impressora. Donat que no són components estructurals i amb l'objectiu de reduir el nombre de peces i facilitar l'acoblament, aquestes van muntades a pressió en els perfils mitjançant llengüetes quadrades.

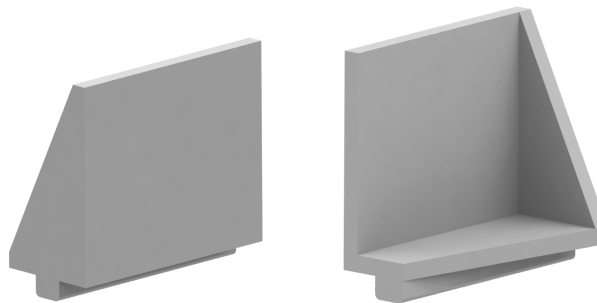


Figura 40: Renders 3D, Espaiadors per als laterals de la pantalla

- **Bases per als imants de l'estructura**

Aquestes peces són una réplica de les rosques de cap de martell per a les ranures dels perfils d'alumini amb la diferència de que aquestes en lloc de tindre una rosca, tenen un forat per allotjar tres imants de neodimi de 5x1mm i tenen la funció de subjectar els panells de la carcasa mitjançant aquests.

Cap destacar que el seu disseny lleugerament sobredimensionat permet instal·lar-les a pressió sense cap tipus de cargols, el que facilita el muntatge i permet una geometria compacta. Mesuren 11,8mm d'ample per 12mm de llarg per 5,4mm d'alçària.

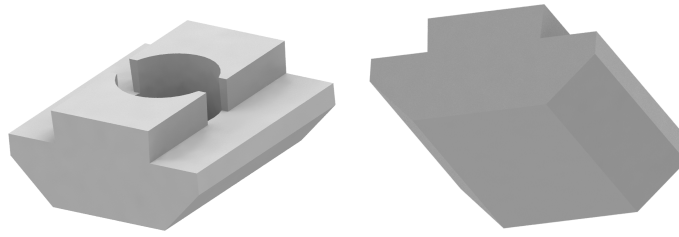


Figura 41: Renders 3D, bases per als imants de l'estructura

- **Cantoneres per als panells**

Aquestes triangulars van col·locades als cantons dels panells transparents i tenen com a propòsit tant oferir un espai per manipular-los sense deixar ditades com cobrir els imants units a aquests. Les parets d'aquesta peça són d'1,2 mm de gruix i els costats curts del triangle, que és recte, mesuren 40mm.

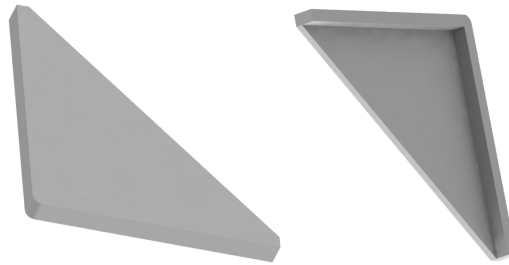


Figura 42: Renders 3D, cantoneres

- **Poms panells frontal**

Els poms són unes peces de 30x15x10 mm que tenen l'única funció de facilitar l'obertura dels panells frontals. Aquestes tenen una cavitat de 6x3mm en la part posterior per allotjar tres imants i un forat de 3mm passant per atornillar la peça al panell.

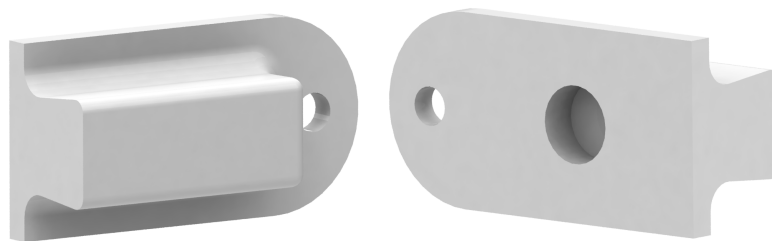


Figura 43: Renders 3D, poms panells frontals

- **Bisagres panells frontals**

Per poder obrir i tancar els panells frontals és necessari l'ús de quatre bisagres. Aquestes bisagres de 28mm d'alt i un gruix de paret de 5mm van fixades a pressió amb una llengüeta de 6mm al perfil d'alumini i utilitzen un cargol de 3mm com a eix de gir. Cal mencionar que aquesta peça s'imprimeix tota a la vegada, no en dues parts, per estalviar

l'ús de suports i obtenir una tolerància de 0.2mm que permet a la peça articular de forma estable sense joc.

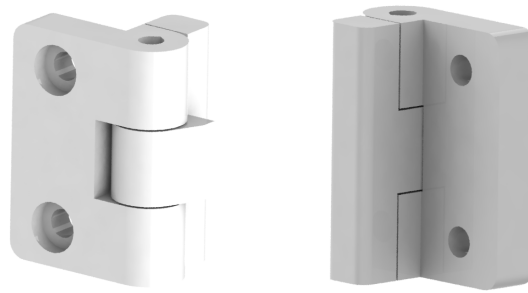


Figura 44: Renders 3D, bisagres

- **Base interruptor de final de carrera**

L'interruptor de final de carrera per a l'eix Z necessita una montura per poder instal·lar-se. En aquest cas anem a fixar-lo a un dels eixos verticals de 10mm amb un mecanisme simple de pinça a pressió, d'aquesta manera es pot regular la seua posició amb facilitat i no és necessari utilitzar més peces d'ensamblatge.

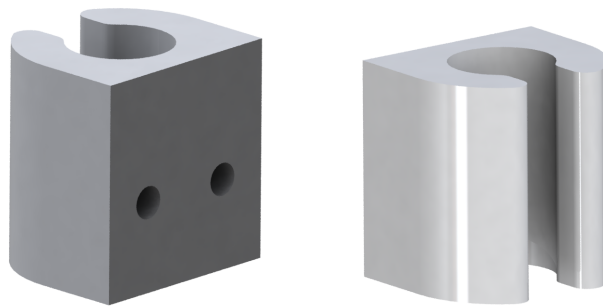


Figura 45: Renders 3D, base interruptor de final de carrera

7.1.2. Panells

La següent llista de components ha de ser fabricada amb panells acrílics de 3mm de gruix tallats amb làser o de forma mecànica, si l'usuari vol aconseguir un nivell d'aïllament tèrmic superior pot utilitzar panells de més gruix o cobrir-los amb algun element termoreфлектор.

Cal mencionar que un aïllament massa agressiu pot afectar negativament a la majoria dels materials d'ús habitual i que per poder treballar amb els plàstics d'alta temperatura més comuns, com el ABS, el ASA o el Nylon, és més important mantindre una temperatura estable que un ambient pròpiament calefetat, donat que el problema principal d'aquests filaments són els canvis de temperatura i la humitat. Els plàstics que realment necessiten d'un volum d'impressió d'alta temperatura són experimentals o materials tècnics poc comuns com el PEEK i els seus composites o el ULTEM, que per norma general sols poden ser utilitzats en màquines especialitzades per a treballar amb ells.

A més, cal tenir en compte que molts dels materials amb els que està feta la impressora també són impresos en 3D i que els components elèctrics utilitzats en aquesta són sensibles a la temperatura, per la qual cosa un aïllament excessiu no només no representa una millora apreciable en la qualitat d'impressió, sinó que pot comprometre l'estat de la màquina.

Les dimensions exactes de cada panell a fabricar es troben definides en el document dels plànols tècnics i les generals a l'annex.

- **Panells opacs**

Aquests panells tenen com a funció principal cobrir l'allotjament de l'electrònica i la part inferior de la màquina. El panell frontal té a més la funció de subjectar tot el sistema elèctric i, tant aquest com el posterior, tenen una ranura en la part superior per a introduir el tub de filament i els cables del capçal en l'interior del volum d'impressió. A diferència de la resta, que van subjectats amb cargols de 4mm convencionals als perfils de l'estructura, el panell traser va subjectat amb cargols de 6mm i compta amb uns forats per a la refrigeració de la font d'alimentació i la placa base. El panell C també té dos forats, un per a la base de l'endoll d'alimentació i altre per al port USB de la placa base. Les dimensions generals per als panells es poden trobar a l'annex i les exactes als plànols.

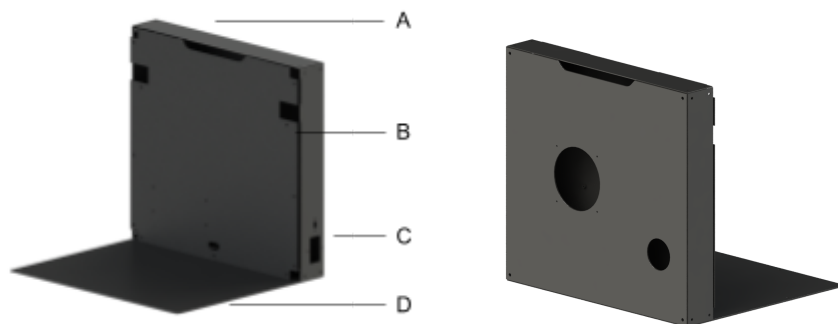


Figura 46: Renders 3D, subconjunt dels panells opacs

- **Panells transparents**

Aquests panells envolten el volum d'impressió per aïllar-lo i van subjectats als perfils de l'estructura mitjançant uns imants de neodimi coberts amb cantoneres, el que facilita obrir la impressora per fer operacions de manteniment o imprimir certs filaments que es beneficien d'una major refrigeració com el PLA.

Per altra banda, els dos panells frontals G1 i G2 van units a l'estructura amb imants per l'extrem interior, però per l'exterior estan subjectats amb dues frontisses, el que permet obrir-los per accedir al volum d'impressió amb facilitat. Aquests dos panells també compten amb uns talls en els cantons inferiors interiors per a l'acoblament de la pantalla i uns poms per obrir-los sense deixar ditades. Les dimensions generals per als panells es poden trobar a l'annex i les exactes als plànols.

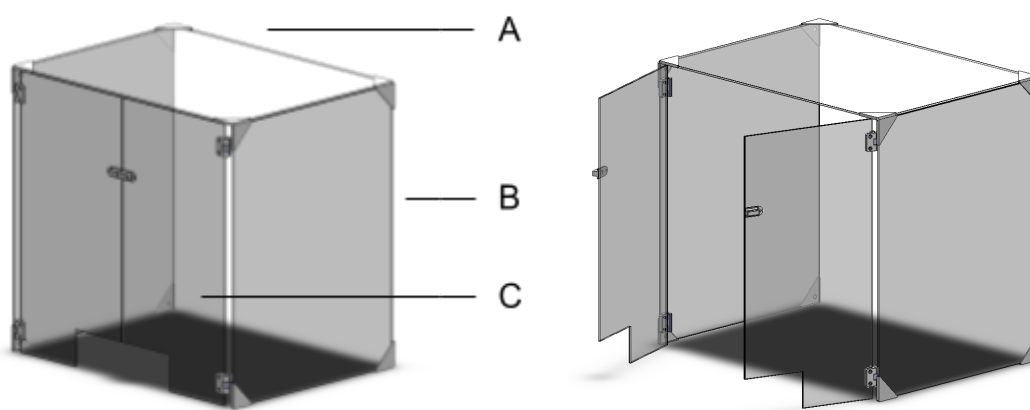


Figura 47: Model 3D, acoblament panells transparents

Perfils estructura

Els perfils de l'estructura, com s'ha mencionat anteriorment, són extrusions d'alumini 20x20 normalitzades amb ranures laterals que permeten la instal·lació de components sense fer modificacions permanents. Aquests perfils són de fàcil obtenció i n'hi ha molts negocis que els venen tallats a mesura per un preu assequible, també es poden comprar en mesures estandarditzades i ser tallades amb una màquina de mà amb relativa facilitat si és necessari.



Figura 48: Detall d'un perfil ranurat 20x20 en T

El tamany dels perfils depén del volum d'impressió que es vol obtenir i aquest varia depenent del tamany de la superfície d'impressió escollida i de l'altura d'impressió desitjada. Els perfils A i B corresponen a la profunditat i l'ample de la màquina respectivament, mentre que el C funciona com a travesser per a l'acoblament del llit calefactat. Per altra banda, els perfils D verticals determinen l'altura de la màquina.

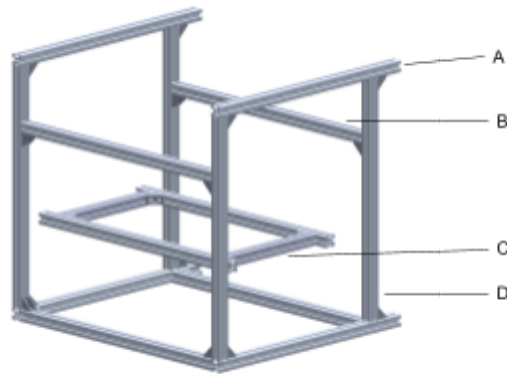


Figura 49: Esquema dels perfils del xassís

En l'annex estan definits els tamanyes de cada perfil en relació a aquestes dimensions, en aquest projecte anem a emprar un llit calefactat de 240x280mm i volem obtindre una altura d'impressió de 230mm, per tant els perfils han de ser els següents:

Perfil	Quantitat	Mesures
A	4	410 mm
B	6	430 mm
C	2	200 mm
D	4	400 mm

Taula 5: Tamanyes dels perfils

7.2. Peces fabricades

- **Esquadres per als perfils**

Les unions per als perfils són unes peces metàl·liques que permeten l'unió d'aquests a 90° i, per tant, es situaran en cadascuna de les seues interseccions. Existeixen diferents tipus d'unions amb la mateixa funció, però en aquest projecte anem a utilitzar esquadres interiors donat que són les més compactes i fàcils d'instal·lar. Si l'usuari troba necessari millorar la rigidesa de la màquina podria fer ús d'esquadres exteriors planes, però hauria de modificar el disseny del xassís per incloure-les.



Figura 50: Esquadres perfils 20x20

- **Cargols**

Per a l'acoblament de la màquina és necessari l'ús de cargols per a metall de rosca mètrica. Les mesures i el nombre d'aquests són els mateixos independentment del volum de la màquina i els seus caps queden a la preferència de l'usuari. Tot i que és recomanable utilitzar caps de botó, donat que el seu perfil baix facilita la seua instal·lació, és preferible comprar uns de fàcil obtenció local, independentment del seu cap, donat que d'aquesta forma es poden obtenir de forma econòmica i ràpida. Els cargols utilitzats en aquest projecte són els següents:

Tamany mm	Quantitat
3x5	52
3x27	4
3x35	2
5x8	94
5x22	4
5x32	1
5x40	1
6x10	4

Taula 6: Cargols

- **Corretges**

Les corretges són part essencial del sistema de moviment del capçal d'impressió, existeixen molts tipus, però les GT2 de 6mm estan dissenyades per cobrir les necessitats d'aquestes màquines i, per tant, són les més emprades i fàcils d'obtenir. Les corretges GT2 es fabriquen en poliuretà reforçat amb fibres de vidre o cables d'acer, però aquestes últimes no es solen utilitzar en impressores 3D donat que la velocitat d'operació, les tensions i el tamany de les corrioles d'aquestes fan que es desgasten massa ràpid, pel que és millor evitar-les. En aquest projecte es van a emprar dues corretges d'1,5m.



Figura 51: Corretges dentades GT2 de 6mm

- **Corrioles**

És important que les corrioles utilitzen el mateix pas de dents que la corretja, que en aquest cas és 2mm, pel que aquestes també han de ser GT2. Les d'ús més habitual són les de 16 i 20 dents i les seues diferències principals són el tamany, la superfície de contacte amb la corretja i la seua relació de transformació de potència.

Les de 20 dents són un poc més grans i ofereixen un 20% més d'avanç lineal per volta a canvi d'un 25% menys de parell de força o *torque*. Donat que per al mecanisme de moviment "Core XY" podem fer ús de motors de major tamany sense afectar a la massa en moviment del sistema, és preferible utilitzar aquestes per reduir la velocitat de gir dels motors i augmentar la superfície de contacte de la corriola amb la corretja, el que farà que duren més temps a més de reduir el soroll i les vibracions de la màquina. Els càlculs exactes sobre aquestes dades es troben a l'annex.

Per aquest projecte farem servir dues corrioles dentades amb fixació per als eixos dels motors, sis corrioles dentades lliures i altres quatre sense dents.



Figura 52: Corrioles dentades GT2 de 6mm

- **Motors pas a pas**

Per al sistema de moviment i l'extrusora de la màquina anem a fer servir motors pas a pas Nema17 d'1,8°/pas, perquè la relació entre velocitat, potència i tamany que ofereixen resulta ideal per a les impressores 3D, raó per la qual són els més utilitzats en aquestes aplicacions. A més, són assequibles, fàcils d'obtenir i els sistemes de control per a les impressores 3D estan optimitzats per operar-los.

Els motors d'1,8° per pas, xifra que fa referència a l'angle mínim que aquests poden girar, junt a les corrioles GT2 de 20 dents ens donen una resolució de 0,0125mm d'avanç lineal en el pla XY, que és suficient per a obtenir una tolerància en les peces fabricades de $\pm 0,01$ mm. En el cas que l'usuari busque una resolució major, aquest pot redimensionar el sistema de moviment de la màquina per fer-lo funcionar amb corrioles de 16mm i obtenir 0,01mm d'avanç per pas o utilitzar motors de 0,9°/pas, que són més cars i difícils d'obtenir, per doblar la resolució del mecanisme de forma efectiva sense modificar-lo. Els càlculs exactes sobre aquestes dades es troben a l'annex.

Per a aquest projecte utilitzarem dos motors de 59Ncm per als motors Δ^1 i Δ^2 , dos motors de 40 Ncm amb eix roscat integrat per al moviment en Z i un motor compacte *pancake* de 18Ncm per a l'extrusora.



Figura 53: Motors de 59Ncm, 40Ncm amb eix roscat i 18Ncm respectivament

- **Eixos roscats**

Els eixos roscats són ideals per al moviment vertical de la superfície d'impressió donat que, junt amb la seua rosca, formen un sistema de moviment no reversible que evita que aquest pugui caure pel seu propi pes. A més, la relació de reducció entre el gir del motor que l'acciona i l'avanç lineal de la rosca és molt alta, el que permet a un motor xicotet aplicar molta força i la velocitat de moviment reduïda producte d'aquesta relació no és un inconvenient, donat que el llit calefactat soles es maneja unes fraccions de mil·límetre per capa.

Els eixos roscats T8-8 són els d'ús més habitual i, per tant, els més fàcils d'obtenir, a més aquests donen una resolució de 0,0025mm d'avanç per pas quan s'utilitzen amb motors d'1,8°, que és suficient donat que les altures de capa més habituals es troben entre els 0,1 i els 0,25 mm. Si l'usuari ho considera necessari pot emprar eixos amb un menor avanç per revolució, com els T8-2, utilitzar motors de 0,9° o augmentar el *microstepping* en els *drivers* dels motors. Els càlculs exactes sobre aquestes dades es troben a l'annex.

Els eixos roscats utilitzats en aquest projecte van integrats en els motors per al moviment en Z i mesuren 300mm, a més duen les femelles incloses.

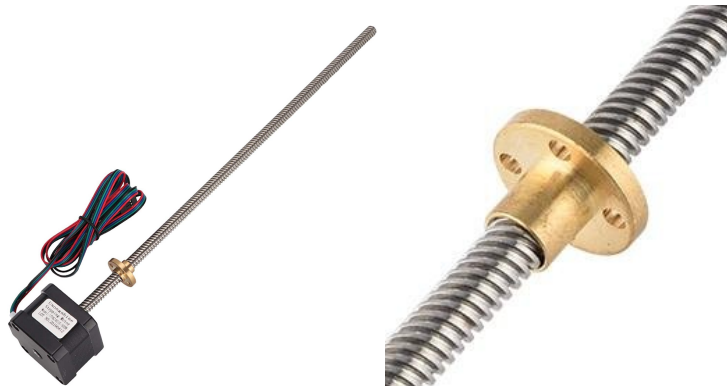


Figura 54: Motor Nema17 amb eix roscat i detall de l'eix

- **Femelles per als eixos roscats**

Les femelles per als eixos roscats solen vindre incloses amb el propi eix i aquestes fan servir la seua mateixa nomenclatura. Generalment es solen fabricar amb llautó donat que és fàcil de mecanitzar i quasi no desgasta l'eix d'acer, a més de tindre un coeficient de fricció d'entre 0,1-0,15 amb aquest quan es troba correctament lubricat. Cal mencionar que n'hi han femelles anti-retornament que minimitzen el joc entre aquestes i l'eix, però que aquestes no tenen un impacte apreciable en la qualitat d'impressió de la màquina donat que el pes del llit el manté sempre en la posició més baixa que permet la tolerància de la rosca.

En aquest projecte anem a utilitzar les rosques de llautó que venen junt als eixos seleccionats en el punt anterior.

- **Eixos cilíndrics de precisió**

Per a tots els moviments lineals és necessari l'ús d'eixos que funcionen com a guia. Els eixos cilíndrics són de fàcil obtenció i senzills implementar en el disseny, per la qual cosa resulten més interessants que altres alternatives com els rails o guies lineals. Aquests últims són més precisos, però també són més cars i necessiten d'un element de suport, com un perfil d'alumini, i d'una gran quantitat de cargols per instal·lar-se, a més, els rodaments que utilitzen són molt difícils de mantenir adequadament.

També cal mencionar que els eixos cilíndrics es poden fer servir com a element estructural, són fàcils de netejar i lubricar i els podem obtenir en diferents materials i gruixos. En quant als materials, l'acer temperat és el més econòmic i fàcil d'obtenir, a més, és suficientment rígid i resistent com per a funcionar com a element estructural. Per altra banda, són molt més pesats que els d'altres materials com l'alumini o els de fibra, pel que és convenient fer ús d'eixos més lleugers per al tren d'impressió donat que aquests van a estar constantment en moviment i sols tenen que suportar el pes del capçal.

L'alumini és la principal alternativa però, després d'investigar més, hem arribat a la conclusió de que les varilles de pultrusió de fibra de carboni són més adequades, donat que amb les mateixes dimensions són quasi un 60% més lleugeres i tenen una resistència tensil 2,4 vegades superior a més de ser 1,7 vegades més rígides.

Els eixos cilíndrics de precisió utilitzats en aquest projecte són els següents i a l'annex es troben les equacions per calcular les seues dimensions:

Posició	Mida	Material	Quantitat
X	8x410 mm	Fibra de carboni	2
Y	8x350 mm	Acer	2
Z	10x385 mm	Acer	4

Taula 7: Eixos cilíndrics



Figura 55: Exemples d'eixos cilíndrics de precisió i varilles de CF

Pràcticament totes les impressores 3D que fan servir eixos cilíndrics utilitzen eixos H6 de 8mm de diàmetre, el que facilita obtenir recanvis i rodaments a més de justificar el seu ús. Per als eixos Z utilitzarem de 10mm per millorar la rigidesa de l'estructura aprofitant que l'atravessen verticalment per quatre punts, els rodaments per a aquests no són tan habituals, però donat que el llit calefactat es mou poc i lentament, el cicle de vida útil d'aquests no hauria de ser un problema.

Es poden emprar eixos amb una tolerància superior a H6, però són molt més cars, difícils d'obtenir i la diferència en la qualitat final no és apreciable.

- **Rodaments**

Totes les peces mòbils del sistema de moviment han de lliscar sobre els eixos guia mitjançant rodaments lineals per minimitzar la fricció i assegurar la precisió del sistema. Tot i que els rodaments més habituals són els de boles d'acer, aquests resulten difícils de mantenir i, si no es lubriquen adequadament, poden oxidar-se amb facilitat, el que provoca inconsistències en el seu funcionament. A més, en l'ambient d'una impressora 3D aquests van a estar exposats tant a pols com a fragments de microplàstics que s'acumulen en facilitat a l'interior del mecanisme de la peça i poden arribar a bloquejar-los.

Per aquestes raons, en una impressora 3D resulta més pràctic fer ús de rodaments plàstics donat que aquests no tenen parts mòbils, s'autolubriquen, són molt més silenciosos i quasi no necessiten cap manteniment. A més, aquests poden ser utilitzats en eixos de fibra sense danyar-los, al contrari que els d'acer, i les forces laterals aplicades sobre eixos d'una impressora 3D són molt dèbils pel que no n'hi ha risc de deformar-los. Cada vegada més primeres marques estan començant a fer ús d'aquests rodaments en les seues impressores i n'hi ha fabricants com *Igus*[®] que dissenyen rodaments lineals plàstics específics per a aquestes aplicacions.

En aquest projecte farem ús de vuit rodaments lineals *Igus*[®] "Drylin" de 8mm i altres quatre de 10mm.



Figura 56: Rodaments lineals *Igus*[®] Drylin RJ4JP de 8 i 10mm

- **Capçal d'impressió**

Com s'ha explicat anteriorment el capçal d'impressió seleccionat per a aquest projecte és el "BMG wind" pel seu disseny compacte, lleugeresa i fàcil obtenció.

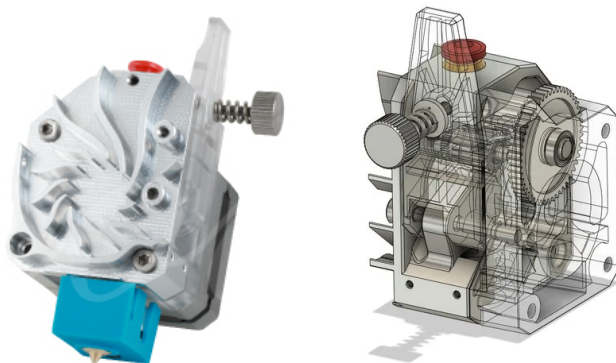


Figura 57: Capçal d'impressió BMG Wind

- **Llit calefactat**

El llit calefactat per a aquest projecte és el “*ultrabase*” de la *Anycubic 4Max Pro* que inclou una superfície d'impressió de vidre molt útil per a imprimir en materials amb un factor de contracció alt. Aquest es pot obtenir com a recanvi directament del proveïdor, però realment l'hem seleccionat per que ja disposem d'un i el seu tamany, de 280x240 mm, és adequat per als productes que es van a imprimir en la màquina. Si aquest no és el cas per a l'usuari que vol fer la seua pròpia màquina, és recomanable utilitzar un llit calefactat de tamany estàndard de fàcil obtenció i seguir la taula en l'annex corresponent per a la resta de components.



Figura 58: Anycubic 4MAX Pro “Printer ultrabase” vistes frontal i posterior

- **Superfície d'impressió**

La superfície d'impressió és un component que es pot canviar fàcilment i que els usuaris avançats solen substituir amb freqüència depenent de quin tipus de plàstic vaja a utilitzar en cada impressió. El més pràctic és fer ús d'un llit magnetic, donat que aquest es pot retirar amb facilitat i permet retirar les peces acabades doblant-lo, el que per norma general fa que es despeguen immediatament.

Les superfícies d'impressió magnètiques són una bona solució per a la majoria de plàstics d'ús habitual, però n'hi ha plàstics com el ABS que és millor imprimir en superfícies de vidre i, fins i tot, hi ha filaments que sols es poden imprimir en certs materials a causa de problemes d'adhesió, per aquestes raons el millor és informar-se de quina superfície és la més adequada per al plàstic que es vol imprimir i fer ús d'aquesta.

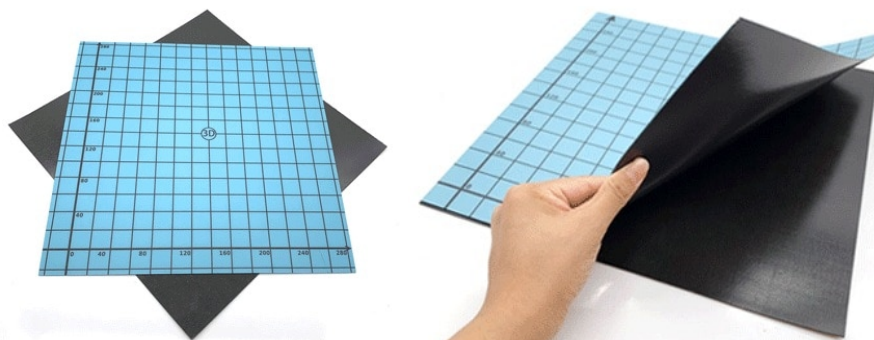


Figura 59: Superfície d'impressió magnètica “Sunipon”

- **Aïllant llit calefactat**

Amb l'objectiu de fer més eficient l'escalfament del llit calefactat anem a fer ús d'una làmina d'escuma autoadhesiva aïllant que permetrà al llit alcançar i conservar la seua temperatura objectiu d'una forma més ràpida.



Figura 60: Làmina d'aïllament tèrmic per al llit calefactat

- **Placa base**

La placa base utilitzada en aquest projecte és, com s'ha decidit anteriorment, la "BigtreeTech SKR 1.4. Turbo" per la seua facilitat d'obtenció, possibilitat d'expansió, plaques filloles disponibles i compatibilitat directa amb el *firmware Marlin*. Les configuracions de la placa es poden trobar a l'apartat de programació.

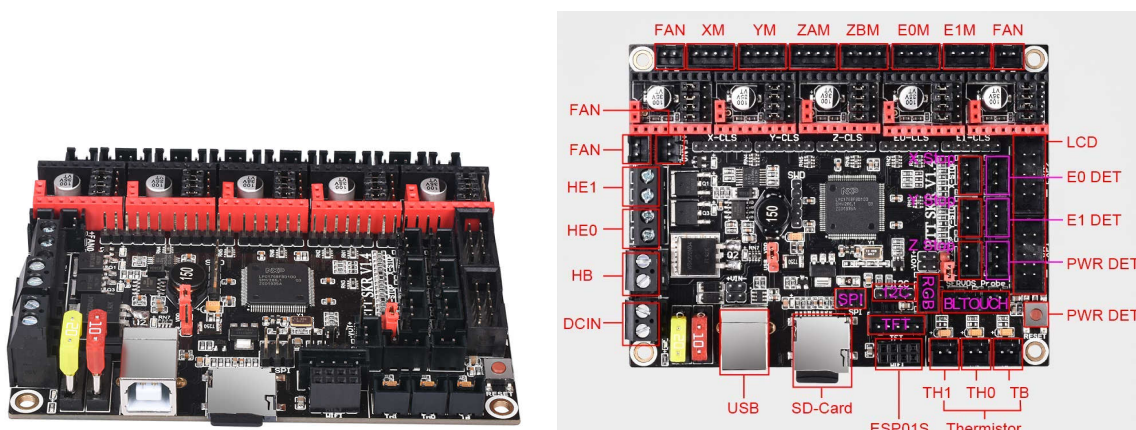


Figura 61: Placa base BigtreeTech SKR 1.4 Turbo i diagrama de connexions

- **Controladors TMC2209**

La placa base seleccionada fa ús d'un sistema de controladors modulars per als motors de la màquina, la qual cosa permet seleccionar-los segons les necessitats del disseny. Els TMC2209 i TMC2208 són fabricats per la mateixa empresa que la placa i es poden obtenir junt amb aquesta amb facilitat, la diferencia principal és que els TMC2209 poden fer "sensorless homing", és a dir que poden situar els finals de carrera sense utilitzar interruptors al detectar quan el motor bota passos, i es calfen menys que els TMC2208, però són un poc més cars que aquests.

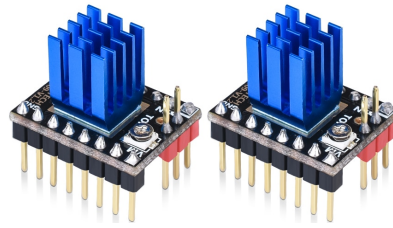


Figura 62: Controladors Bigtreetech 2209 v1.2

- **Pantalla tàctil**

Per a la interfície de control hem escollit una pantalla de 35 polsades amb control tàctil i dial que, a més de poder funcionar amb el mode tàctil, pot utilitzar la interfície original de Marlin, que pot resultar útil en certes ocasions. Aquesta pantalla conta, amés, amb un port USB i altre per a targetes SD que utilitzarem com a ports principals.

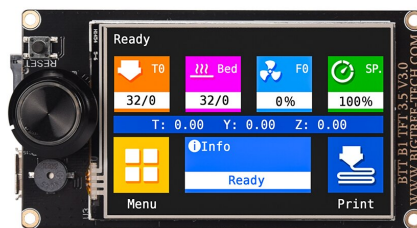


Figura 63: Pantalla tàctil BTT tft35 V.3.0

- **MOSFET**

Els MOSFET per a impressores 3D són mòduls simples que no requereixen de cap programació ni solen mostrar problemes de compatibilitat, el MOSFET de 30A TEVO és una opció molt adequada per al projecte, ja que és de fàcil obtenció i preu reduït, a més d'oferir una excel·lent dissipació passiva, protecció contra curtcircuits i suportar fins a 24V 30A. N'hi ha altres opcions de menor capacitat, però aquestes no ofereixen protecció contra curtcircuits i la diferència de preu no és significativa.



Figura 64: MOSFET 30A TEVO

- **Interrupctors de finals de carrera**

El disseny d'aquesta impressora sols necessita d'un final de carrera donat que els eixos X i Y fan ús del sistema *sensorless homing* dels controladors "TMC2208". Aquest interruptor té la funció de informar a la màquina d'on està la coordenada 0 i, per a l'eix Z, és més recomanable fer ús d'un interruptor que del sistema sense sensor perquè aquest encara no està molt ben implementat per al mecanisme d'eix roscat que anem a fer servir i sol donar errors de precisió.



Figura 65: Interruptor de final de carrera

- **Font d'alimentació**

La font d'alimentació que anem a utilitzar és la "DUMVOIN Lihua-360W" de tipus SMPS de 12V amb terminals de caragol, tal i com hem decidit amb anterioritat. Les fonts es poden trobar principalment amb dues potències, 360W i 240W, tot i que en principi podem utilitzar una de 240W, aquesta ens limita en gran mesura les temperatures a les que podria operar la màquina, no té potència per a fer ampliacions i el seu temps de vida seria molt menor al haver d'estar treballant a un percentatge major de la seua capacitat màxima. Per aquestes raons, i perquè la diferència de preu no és molt gran, és preferible utilitzar una font de 360W.

La font seleccionada conta, a més, amb certificació ISO9001 i proteccions contra sobrecàrregues, curtcircuits i sobretensions, a més d'un ventilador controlat per temperatura i inclou una presa de corrent europea amb fusible per connectar-la a la llum.



Figura 66: font DUMVOIN 360W 12V i endoll

- **Ventiladors**

Perquè la impressora funcione de forma correcta és necessari refrigerar de forma activa diversos components, aquests són la placa base i el capçal d'impressió. Per refrigerar la placa base anem a fer ús d'un ventilador gran de 120mm per la seua operació silenciosa i perquè disposem d'ells d'avant mà.

Per a la refrigeració de capes, un ventilador radial de 62mm, perquè el seu disseny compacte i alta pressió d'aire resulta ideal per al disseny; i per al dissipador del capçal, un compacte de 40mm. És important que aquest últim siga de la millor qualitat possible donat que el seu rendiment és directament proporcional al funcionament correcte de l'extrusora, també cal mencionar que els ventiladors barats d'aquest tamany solen ser molt sorollosos.

El ventilador de 120mm que anem a fer servir per a la placa no té perquè ser d'un tamany tan gran, un de 80mm dirigit als controladors dels motors pas a pas és suficient, fins i tot dos de 40mm en paral·lel, però utilitzar un ventilador de més tamany ajuda a recircular tot l'aire calent en l'espai de l'electrònica i, a més, proporciona aire fresc al ventilador de la font d'alimentació, que és d'extracció.

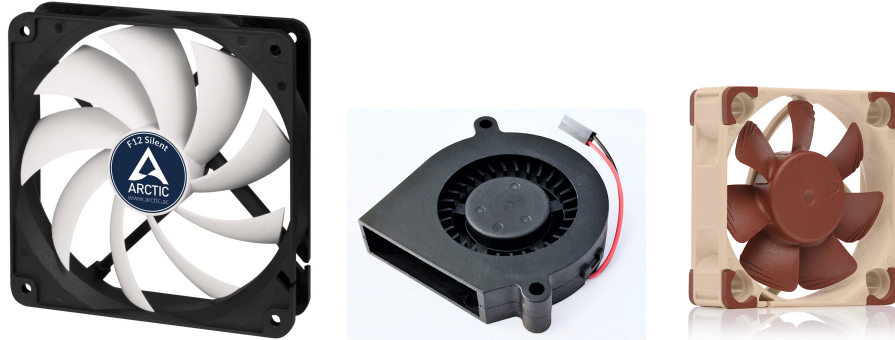


Figura 67: Ventiladors Artic F12, radial de 16mm i Noctua NF-A4x10

- **Cable extensor USB**

Per poder accedir a la placa base sense desmuntar la carcasa anem a emprar un cable extensor USB tipus B mascle a tipus A femella amb el que obtindrem un port extern sobre la connexió de la font d'alimentació.



Figura 68: Cable extensor USB tipus B mascle a A femella

- **Imants de neodimi**

Per als poms dels panells frontals i per al sistema de panells extraïbles es necessiten 42 imants de 5x1mm.



Figura 69: 200 Imants de neodimi de 5x1mm

- **Malla organitzadora de cables**

Per als cables exposats de la impressora utilitzarem una funda per a cables que a més de millorar el seu aspecte els protegeix i és retardant de flama UL94 V-2.



Figura 70: Malla cobre-cables

- **Reixeta antipols ventiladors**

Per últim, utilitzarem unes reixetes antipols per cobrir els ventiladors posteriors exposats a l'exterior que, a més, dificultaran el tocar-los per accident.



Figura 71: Reixeta antipols

7.3. Firmware

Per a que la màquina funcione correctament és necessari configurar el *firmware* Marlin per associar cadascun dels components a les connexions de la placa, especificant quin tipus són a nivell de programació. També cal fer diverses modificacions per millorar l'experiència d'ús i oferir diferents funcions útils per a la màquina a més de definir paràmetres com el sistema de moviment o els finals de carrera.

En la bibliografia es pot trobar la pàgina oficial de Marlin¹ i el portal de GitHub de Bigtreetech⁴ sobre com programar la placa base i les seues funcions. Cal mencionar també que tant Marlin³ com Bigtreetech⁵ compten amb una pàgina de Reddit oficial on es pot obtenir ajuda per solventar problemes o crear noves funcions. El més recomanable és seguir les guies oficials dels fabricants donat que estan sempre actualitzades, així i tot, en el punt 9.5 de l'annex n'hi ha una guia pas a pas per al *firmware Marlin 2.0.8* que es pot fer servir com a referència.

8. Conclusions

El projecte acabat ha resultat en una màquina d'alta precisió amb un gran volum d'impressió, disseny compacte i alta velocitat d'operació que és capaç d'imprimir tant peces detallades de qualitat com prototips a alta velocitat en molts plàstics diferents.

En aquest apartat mostrem imatges del producte i d'impressions fetes amb el mateix per mostrar els resultats reals del treball mostrat fins ara i, per tant, una mostra dels resultats que l'usuari pot esperar de la seua Tramuntana.

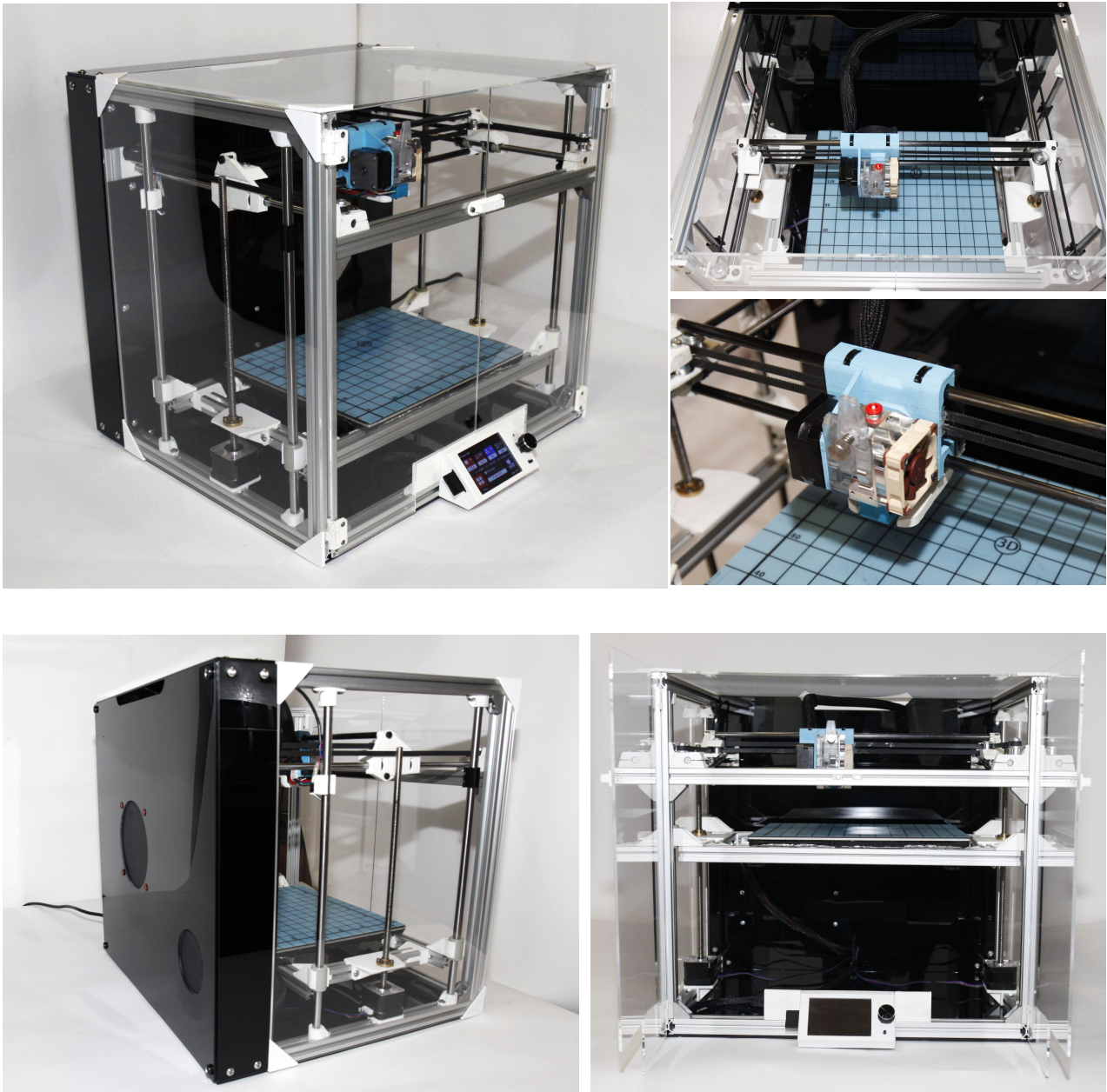


Figura 72: Fotografies d'estudi producte final



Figura 73: Benchys de calibratge, ABS (Roig), PLA (Blanc) i Nylon fibra de carboni (Negre)

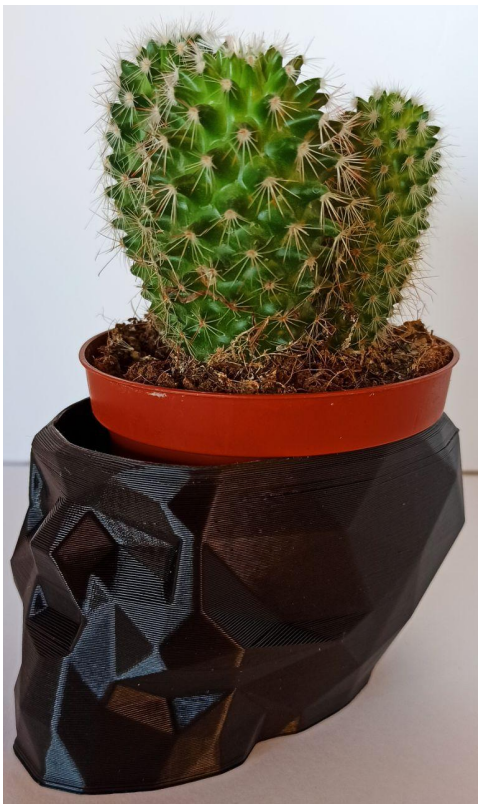


Figura 74: Test calavera de PLA (esquerra) i porta-llapiseres de ABS (dreta)

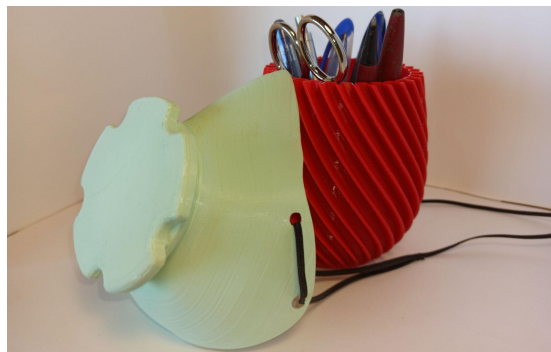
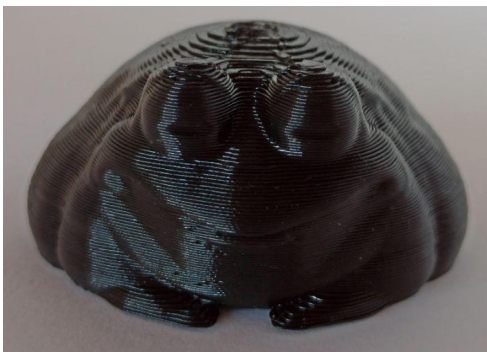


Figura 75: Granota TPU flexible (esquerra) i mascareta de PLA (dreta)

9. Annexos

9.1. Perfils

La selecció del volum d'impressió no afecta al procés d'acoblament de la màquina ni a la selecció de la resta de components pel que l'usuari és lliure de triar basant-se en el seu volum d'impressió objectiu. La taula mostrada a continuació defineix la grandària de cada tipus de perfil de l'estructura en relació als formats de superfície d'impressió més comuns.

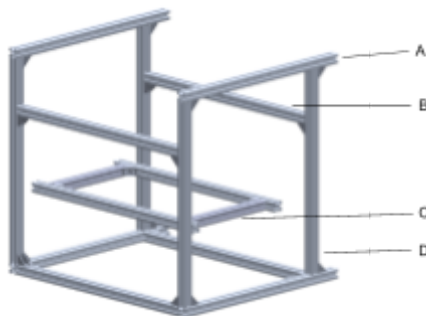


Figura 76: Index perfils xassís

Perfils	Superfície d'impressió (mm)				
	240 x 280	220 x 220	235 x 235	300 x 300	310 x 310
<u>A</u>	410	390	405	470	480
<u>B</u>	430	370	385	450	450
<u>C</u>	200	180	195	260	270

Taula 8: Dimensions perfils

En cas de voler utilitzar un tamany diferent al mostrat en la taula, les fórmules utilitzades per als càlculs són les següents:

$$\text{Perfil A} = 170 + \text{Profunditat}_{\text{Lit}}$$

$$\text{Perfil B} = 150\text{mm} + \text{Ample}_{\text{Lit}}$$

$$\text{Perfil C} = \text{Profunditat}_{\text{Lit}} - 40\text{mm}$$

En la taula anterior no es mostra el tamany del perfil D donat que les dimensions d'aquest són totalment dependents de les preferències d'altura d'impressió de l'usuari, seguint la següent fórmula:

$$\text{Perfil D} = \text{Altura d'impressió desitjada} + 180\text{mm}$$

En el cas de la màquina del projecte:

$$\text{Perfil D} = 230 + 170\text{mm} = 400 \text{ mm}$$

Cal tindre en compte que aquesta altura pot variar lleugerament segons el calibratge del llit i el gruix de les diferents superfícies d'impressió que es vulguen emprar, pel que és recomanable sobredimensionar un 10% l'altura d'impressió buscada, si és possible.

Els eixos utilitzats en el projecte han de tindre les següents dimensions directament relacionades amb els perfils de l'estructura:

$$\text{Eixos X} = \text{Perfil B} - 20\text{mm}$$

$$\text{Eixos Y} = \text{Perfil A} - 60\text{mm}$$

$$\text{Eixos Z} = \text{Perfil D} - 10\text{mm}$$

L'impressora està configurada per poder muntar-se amb eixos molt més llargs que els del volum d'impressió per maximitzar la compatibilitat i facilitar un reemplaç provisional en cas de necessita. El rang de tamanys acceptat per la màquina estan definits per la següent equació:

$$\text{Altura}_{\max} = \text{Eix Z} - \text{Altura motor Z}$$

$$\text{Altura}_{\min} = \text{Altura d'impressió} - \text{motor Z} + 10\text{mm}$$

9.2. Dimensions panells

Les dimensions generals especificades a continuació sols defineixen l'ample i l'altura màxims de cada panell. Per obtindre més detalls sobre la resta de les dimensions, com les posicions dels forats per als cargols o les diferents ranures, cal dirigir-se al document de plànols.

Per a l'altura dels panells cal fer ús d'el valor Y_{\max} que es calcula sumant 40mm (gruix d'un perfil x 2) a la longitud del perfil D, és a dir:

$$Y_{\max} = L_D + (20 \times 2)$$

En el cas de la màquina desenvolupada en el projecte:

$$Y_{\max} = 400\text{mm} + (20\text{mm} \times 2) = 440 \text{ mm}$$

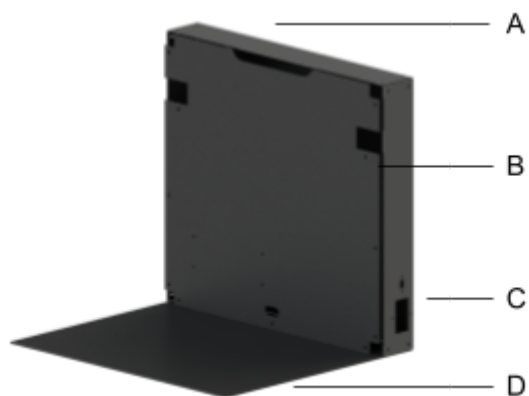


Figura 77: Index panells opacs

Dimensions generals panells opacs:

	Superfície d'impressió (mm)				
Panells	240 x 280	220 x 220	235 x 235	300 x 300	310 x 310
<u>A</u>	65 x 470	65 x 410	65 x 425	65 x 490	65 x 500
<u>B</u>	$Y_{\max} \times 470$	$Y_{\max} \times 410$	$Y_{\max} \times 425$	$Y_{\max} \times 425$	$Y_{\max} \times 427$
<u>C</u>	$Y_{\max} \times 65$	$Y_{\max} \times 65$	$Y_{\max} \times 65$	$Y_{\max} \times 65$	$Y_{\max} \times 65$
<u>D</u>	410 x 470	390 x 410	405 x 425	470 x 425	480 x 425

Taula 9: Dimensions generals panells transparents

Les fórmules utilitzades per determinar les dimensions són les següents:

Panell opac A => $65 \times (\text{Ample}_{\text{Lit}} + 190)$

Panell opac B => $Y_{\max} \times (\text{Ample}_{\text{Lit}} + 190)$

Panell opac C => $Y_{\max} \times 65$

Panell opac D => $(\text{Profunditat}_{\text{Lit}} + 170) \times (\text{Ample}_{\text{Lit}} + 190)$

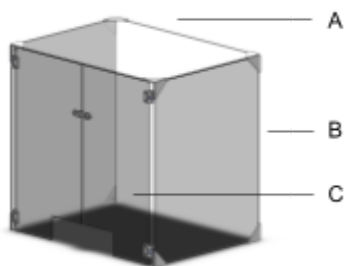


Figura 78: Index panells transparents

Dimensions generals panells transparents:

	Superfície d'impressió (mm)				
Panells	240 x 280	220 x 220	235 x 235	300 x 300	310 x 310
A	344 x 470	324 x 410	339 x 425	404 x 490	414 x 500
B	$Y_{\max} \times 344$	$Y_{\max} \times 324$	$Y_{\max} \times 339$	$Y_{\max} \times 404$	$Y_{\max} \times 414$
C	$Y_{\max} \times 225$	$Y_{\max} \times 195$	$Y_{\max} \times 202,5$	$Y_{\max} \times 235$	$Y_{\max} \times 240$

Taula 10: Dimensions generals panells transparents

Les fórmules utilitzades per determinar les dimensions són les següents:

Panell transparent A => $(\text{Profunditat}_{\text{Lit}} + 104) \times (\text{Ample}_{\text{Lit}} + 190)$

Panell transparent B => $Y_{\max} \times (\text{Profunditat}_{\text{Lit}} + 190)$

Panell transparent C => $Y_{\max} \times (\text{Ample}_{\text{Lit}} + 170) / 2$

9.3. Càlculs de corrioles i motors pas a pas

Les xifres utilitzades en el punt sobre les corrioles en l'apartat 7.2 es basen en conceptes de teoria de mecanismes i s'extreuen de les equacions expressades a continuació aplicades sobre els tres tamanys de corriola d'ús més habitual en impressores 3D de taula:

$$\mathbf{Ppmm} = (\mathbf{Ppr} * \mathbf{Mp}) / (\mathbf{Pas} * \mathbf{N}^{\circ}_{\text{dents}})$$

$$\mathbf{Resolució} = 1 / \mathbf{Ppmm}$$

\mathbf{Ppmm} = Passos per mil·límetre d'avanç de la corretja

\mathbf{Ppr} = Passos per revolució del motor, en un motor d'1,8 graus són 200

\mathbf{Mp} = Tamany de les "micropassades" del controlador, per defecte 16

\mathbf{Pas} = Pas de la corretja, en el cas de les GT2 és 2mm

$\mathbf{N}^{\circ}_{\text{dents}}$ = Nombre de dents polea (a més dents major és el radi)

$\mathbf{Resolució}$ = moviment mínim que pot realitzar el mecanisme (mm per pas)

Els passos per mil·límetre representen la quantitat de passos que el motor ha de donar per a que la corretja avanci un mil·límetre i és, per tant, indirectament proporcional a la velocitat resultant del mecanisme. És a dir que, en igualtat de condicions, un mecanisme amb una corriola de més dents, i per tant menys \mathbf{Ppmm} , farà avançar més la corretja que un amb menys en el mateix temps.

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

En mecànica vectorial bàsica el parell de forces o *torque* (expressat en la tercera equació) respecte d'un punt, és el producte creuat del vector de posició del punt d'aplicació de la força (en aquest cas el radi de la corriola) pel vector de força aplicada. Suposant una força igual en tots els càlculs i tenint en compte que els vectors de desplaçament i les forces aplicades en aquest cas són perpendiculars entre elles, podem dir simplement que el par motor necessari per operar el mecanisme és directament proporcional al radi de la corriola.

Per tant, i utilitzant la corriola més xicoteta com a referència:

$$P_{\text{pmm}} = (200 \times 16) / (2 * N^{\circ}_{\text{dents}})$$

Nº Dents	Ppmm	Velocitat	Resolució (mm)	Radi (mm)	Par de torsió
16	100	-	0,01	10,19	-
20	80	+20%	0.0125	12,73	+25%
25	64	+36%	0.015625	15,92	+56,23%

Taula 11: Càlculs corrioles

9.4. Càlculs dels eixos roscats

Els càlculs emprats en el punt sobre els eixos roscats de l'apartat 7.2 són similars als expressats en l'apartat 9.1, donat que també representen la relació entre l'avanç lineal del mecanisme i el gir del motor que l'acciona.

$$P_{\text{pmm}} = (P_{\text{pr}} * M_{\text{p}}) / (P_{\text{as}})$$

$$\text{Resolució} = 1 / P_{\text{pmm}}$$

Pas = en aquest cas representa el pas de l'eix roscat

Pas	Ppmm	Velocitat	Resolució (mm)
1	3200	-	0.0003125
2	1600	+100%	0,000625
4	800	+300%	0.00125
8	400	+700%	0.0025

Taula 12: Càlculs eixos roscats

9.5. Càlculs potència font d'alimentació

Per elegir una font apropiada per al projecte és necessari calcular el consum màxim teòric d'aquest per decidir la seua potència. A més, cal deixar un cert marge per poder afegir més mòduls donat que la màquina està pensada per a ser modular i expandible. Per calcular el consum màxim teòric és suficient amb calcular el consum de cada component i sumar-ho, per norma general la potència de consum (W) no ve expressada en els components, però el seu amperatge sí i coneguem el voltatge amb els que els alimentem, per tant el consum es pot calcular fàcilment seguint la següent fórmula:

$$W = V \cdot A$$

Per a la màquina del projecte els càlculs han sigut els següents:

Component	Unitats	Corrent (A)
Motor Nema17 de 18Ncm	1	0,8
Motor Nema17 de 40Ncm	2	1,5
Motor Nema17 de 59Ncm	2	1,7
Llit calefactat <i>Anycubic ultrabase</i>	1	16,66
Ventilador <i>Noctua 40x20</i>	1	0,05
Ventilador <i>Artic 120mm F12 TC</i>	1	0,20
Ventilador radial 60x15	1	0,15
Cartutx calentador fusor V6	1	3,33
total		27,59
Potència de consum (a 12V)		331,08 W

Taula 13: Càlcul de consum

Cal mencionar que tots els motors van a funcionar a un 60-70% de la seua corrent nominal i que tant el llit calefactat com el fusor no van a consumir la seua corrent màxima si no treballen a màxima temperatura (110°C i 300°C respectivament) pel que el consum real de la màquina és molt menor.

9.6. Guia d'usuari per a la configuració del firmware

En el moment de disseny d'aquesta màquina anem a fer servir la versió de Marlin 2.0.8, pel que en el futur és possible que la configuració necessària canvie i aquesta es quede desactualitzada. Si en el moment de fer la impressora existeix una versió nova, és preferible seguir les instruccions actualitzades de les pàgines mencionades anteriorment i fer ús d'aquesta guia sols per familiaritzar-se amb les tasques a fer, donat que el codi pot canviar molt entre versions del programa.

El primer pas és descarregar l'última versió del firmware Marlin¹ sense compilar des de la seua pàgina web oficial i després instal·lar el programa "Microsoft Visual Studio Code" de la pàgina oficial de Visual Studio⁶, que també es pot trobar a la bibliografia. Al obrir el programa, aquest demana que selecciones la carpeta del projecte en el que vols treballar, que és la carpeta de Marlin que hem descarregat anteriorment.

Dintre de visual Studio és necessari instal·lar els mòduls PlatformIO i AutoBuildMarlin que es poden buscar en la lupa que es troba a la barra de tasques de la part esquerra del programa, una vegada instal·lats cal reiniciar. Al acabar el programa ha de tindre un aspecte similar al següent:

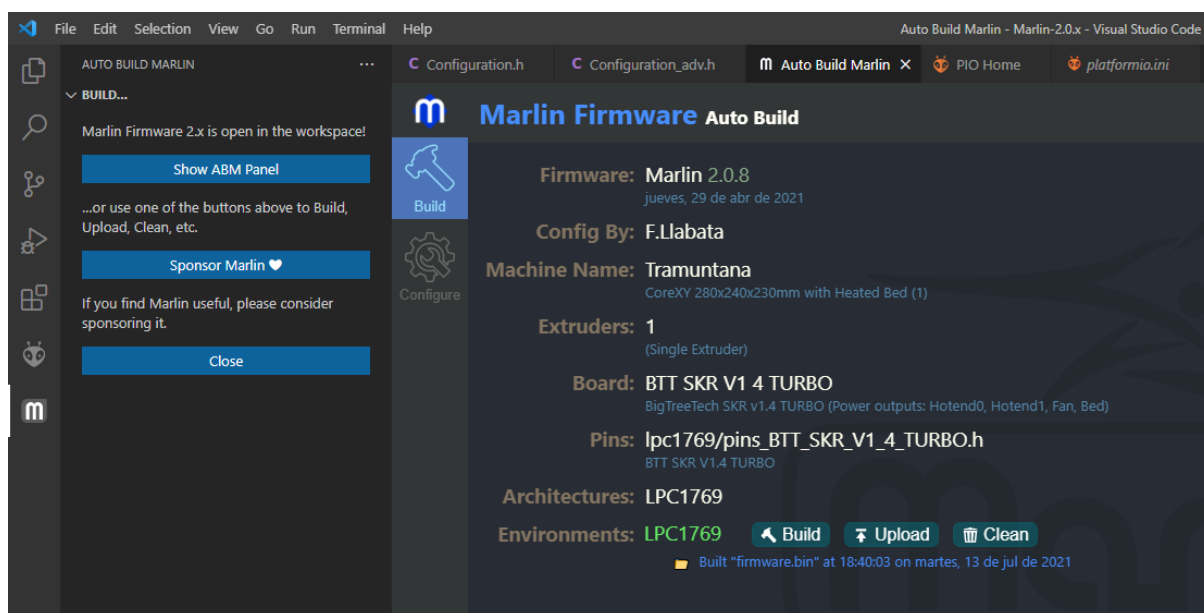


Figura 79: Programació, finestra Marlin Firmware Auto Build

En aquesta captura el Firmware ja està totalment configurat, el que vol dir que a la dreta, en la finestra de "Marlin Firmware Auto build", tots els apartats de configuració es mostren definits. Aquests són els següents:

- Config By (configurat per)
- Machine Name (nom de la màquina)
- Extruders (Nombre d'extrusors)
- Board (Model de la placa base)
- Pins (Connexions)
- Architectures (arquitectura)

A excepció dels primers dos punts, que es poden configurar a gust de l'usuari, la resta han de tindre la mateixa configuració al final del procés de programació que la mostrada en la captura. A continuació, descriurem els canvis necessaris en els arxius “configuration.h” i “configuration_adv.h” per aconseguir-ho, els fragments de text ressaltats mostren les línies de codi a modificar.

L'arxiu “Configuration.h” deuria obrir-se automàticament amb el programa, si aquest no és el cas, es pot trobar a la carpeta Marlin al menú que obri la primera icona de la barra de ferramentes esquerra “Explorer” (aquest menú es pot obrir polsant Ctr+Shift+E). Dintre d'aquesta pàgina de codi es poden buscar els apartats per paraules polsant “Ctrl+F”, comandament que obri un xicotet menú a la part superior dreta de la interfície, aquesta ferramenta és de gran utilitat donat que el codi té més de 2700 línies de comandament. A continuació, mostrem una llista amb les paraules clau a buscar en aquest desplegable junt amb captures i descripcions del que cal modificar en cada apartat.

- apartat “@section info”

```

60 //===== DELTA / SCARA / TPARA =====
61 //===== DELTA / SCARA / TPARA =====
62 //=====
63 //
64 // Download configurations from the link above and customize for your machine.
65 // Examples are located in config/examples/delta, ../SCARA, and ../TPARA.
66 //
67 //=====
68
69 // @section info
70
71 // Author info of this build printed to the host during boot and M115
72 #define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "F.Llabata" // Who made the changes.
73 // #define CUSTOM_VERSION_FILE Version.h // Path from the root directory (no quotes)
74

```

Figura 80: Programació, apartat “@section info”

En aquest apartat podem canviar el nom del autor de la màquina. El text ressaltat en taronja són les paraules clau buscades mentre que el text ressaltat en blau és la línia de comandament a modificar. Dintre d'aquesta sols s'ha de canviar el text escrit en taronja entre cometes, en aquest cas “F.Llabata”, pel nom de l'autor del programa, és a dir, l'usuari/organització/empresa que va a fer servir la màquina.

- Apartat “@section machine”

```

95 // @section machine
96
97 /**
98  * Select the serial port on the board to use for communication with the host.
99  * This allows the connection of wireless adapters (for instance) to non-default port pins.
100  * Serial port -1 is the USB emulated serial port, if available.
101  * Note: The first serial port (-1 or 0) will always be used by the Arduino bootloader.
102  *
103  * :[-1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]
104  */
105 #define SERIAL_PORT -1
106
107 /**
108  * Select a secondary serial port on the board to use for communication with the host.
109  * Currently Ethernet (-2) is only supported on Teensy 4.1 boards.
110  * :[-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]
111  */
112 #define SERIAL_PORT_2 0
113
114 /**
115  * This setting determines the communication speed of the printer.
116  *
117  * 250000 works in most cases, but you might try a lower speed if
118  * you commonly experience drop-outs during host printing.
119  * You may try up to 1000000 to speed up SD file transfer.
120  *
121  * :[2400, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 250000, 500000, 1000000]
122  */
123 #define BAUDRATE 115200
124

```

```

123 #define BAUDRATE 115200
124
125 // Enable the Bluetooth serial interface on AT90USB devices
126 //#define BLUETOOTH
127
128 // Choose the name from boards.h that matches your setup
129 #ifndef MOTHERBOARD
130 #define MOTHERBOARD BOARD_BTT_SKR_V1_4_TURBO
131 #endif
132
133 // Name displayed in the LCD "Ready" message and Info menu
134 #define CUSTOM_MACHINE_NAME "Tramuntana"
135
136 // Printer's unique ID, used by some programs to differentiate between machines.
137 // Choose your own or use a service like https://www.uuidgenerator.net/version4
138 //#define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"
139
140 // @section extruder
141
142 // This defines the number of extruders
143 // :[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
144 #define EXTRUDERS 1

```

Figura 81: Programació, apartat “@section machine”

Aquest apartat conté la configuració bàsica de la màquina. Totes les línies de comandament ressaltades han de coincidir amb les mostrades en la captura, a falta de l'apartat “CUSTOM_MACHINE_NAME” en el que es pot escriure el nom que l'usuari preferisca per a la seua màquina. Els “Serial port” són els ports de comunicació de la placa amb la pantalla tàctil i el “Baud Rate” és la velocitat a la que es modula la informació que transmet la placa. Per últim, en l'apartat “Motherboard” cal posar el model de la placa segons la nomenclatura trobada a l'arxiu boards.h i en “Extruders” el nombre de extrusores.

- Apartat “PID > Bed Temperature Control”

```

519  ▾ //=====
520  //----- PID > Bed Temperature Control -----
521  //=====
522
523  ▾ /**
524  * PID Bed Heating
525  *
526  * If this option is enabled set PID constants below.
527  * If this option is disabled, bang-bang will be used and BED_LIMIT_SWITCHING will enable hysteresis.
528  *
529  * The PID frequency will be the same as the extruder PWM.
530  * If PID_dT is the default, and correct for the hardware/configuration, that means 7.689Hz,
531  * which is fine for driving a square wave into a resistive load and does not significantly
532  * impact FET heating. This also works fine on a Fotek SSR-10DA Solid State Relay into a 250W
533  * heater. If your configuration is significantly different than this and you don't understand
534  * the issues involved, don't use bed PID until someone else verifies that your hardware works.
535  */
536  // #define PIDTEMPBED
537
538  // #define BED_LIMIT_SWITCHING
539

```

Figura 82: Programació, apartat “PID > Bed Temperature Control”

En aquest cas cal comentar (afegir “//” davant de la línia de comandament) les línies ressaltades per desactivar el control de temperatura “PID” en el llit calefactat. D’aquesta forma s’empra el sistema “bang-bang”, que és molt més senzill i no sol donar problemes com falses alertes de perill als sensors, problema habitual al utilitzar “PID” en el llit calefactat. El control “bang-bang” és menys precís, però donat que els llits calefactats tenen una capacitat calorífica alta, la seua temperatura oscil·la lentament, pel que l’alta velocitat d’actualització i precisió del sistema “PID” no resulta molt útil i, més bé, sol donar errors de lectura.

Això es pot demostrar fàcilment calfant el llit i el capçal d’impresió a la mateixa temperatura per després detindre l’escalfament, al fer-ho es pot observar com la temperatura del llit calefactat augmenta primer i descén després molt més lentament que la de la boqueta d’impresió. Per aquesta raó el llit no necessita un control de temperatura tan exhaustiu, donat que aquest manté la seua temperatura eficaçment d’una forma “natural”.

Dit això, el “PID” es pot ajustar per al llit calefactat amb bons resultats, però necessita d’una configuració molt precisa que no sol representar una gran diferència en els resultats d’impresió. Per aquestes raons i per simplificar la programació de la màquina és preferible simplement activar el control “bang-bang”.

- Apartat “@section machine”

```

654 //=====
655 //===== Mechanical Settings =====
656 //=====
657
658 // @section machine
659
660 // Enable one of the options below for CoreXY, CoreXZ, or CoreYZ kinematics,
661 // either in the usual order or reversed
662 #define COREXY
663 //#define COREXZ
664 //#define COREYZ
665 //#define COREYX
666 //#define COREZX
667 //#define COREZY
668 //#define MARKFORGED_XY // MarkForged. See https://reprap.org/forum/read.php?152,504042
669

```

Figura 83: Programació, apartat “@section machine”

En aquest apartat cal retirar el “//” en la línia marcada per definir el sistema de moviment. Ninguna línia més d’aquest apartat ha d’estar definida.

- Apartat “@section homing”

```

674 // @section homing
675
676 // Specify here all the endstop connectors that are connected to any endstop or probe.
677 // Almost all printers will be using one per axis. Probes will use one or more of the
678 // extra connectors. Leave undefined any used for non-endstop and non-probe purposes.
679 #define USE_XMIN_PLUG
680 #define USE_YMIN_PLUG
681 #define USE_ZMIN_PLUG
682 //#define USE_XMAX_PLUG
683 //#define USE_YMAX_PLUG
684 //#define USE_ZMAX_PLUG
685
686 // Enable pullup for all endstops to prevent a floating state
687 #define ENDSTOPPULLUPS
688 #if DISABLED(ENDSTOPPULLUPS)
689 // Disable ENDSTOPPULLUPS to set pullups individually
690 //#define ENDSTOPPULLUP_XMAX
691 //#define ENDSTOPPULLUP_YMAX
692 //#define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
693 //#define ENDSTOPPULLUP_XMIN
694 //#define ENDSTOPPULLUP_YMIN
695 //#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
696 //#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN_PROBE
697 #endif
698
699 // Enable pulldown for all endstops to prevent a floating state
700 //#define ENDSTOPPULLDOWNS
701 #if DISABLED(ENDSTOPPULLDOWNS)

```

Figura 84: Programació, apartat “@section homing”

En aquest apartat cal definir soles les línies marcades, el resultat s’ha de veure idèntic a la captura.

- Apartat “* Stepper Drivers”

```

725 * stepper drivers that support them. You may also override timing options in Configuration_adv.h.
726 *
727 * A4988 is assumed for unspecified drivers.
728 *
729 * Use TMC2208/TMC2208_STANDALONE for TMC2225 drivers and TMC2209/TMC2209_STANDALONE for TMC2226 drivers.
730 *
731 * Options: A4988, A5984, DRV8825, LV8729, L6470, L6474, POWERSTEP01,
732 *         TB6560, TB6600, TMC2100,
733 *         TMC2130, TMC2130_STANDALONE, TMC2160, TMC2160_STANDALONE,
734 *         TMC2208, TMC2208_STANDALONE, TMC2209, TMC2209_STANDALONE,
735 *         TMC26X, TMC26X_STANDALONE, TMC2660, TMC2660_STANDALONE,
736 *         TMC5130, TMC5130_STANDALONE, TMC5160, TMC5160_STANDALONE
737 * :['A4988', 'A5984', 'DRV8825', 'LV8729', 'L6470', 'L6474', 'POWERSTEP01', 'TB6560', 'TB6600', 'TMC2100'
738 */
739 #define X_DRIVER_TYPE TMC2209
740 #define Y_DRIVER_TYPE TMC2209
741 #define Z_DRIVER_TYPE TMC2209
742 // #define X2_DRIVER_TYPE A4988
743 // #define Y2_DRIVER_TYPE A4988
744 // #define Z2_DRIVER_TYPE A4988
745 // #define Z3_DRIVER_TYPE A4988
746 // #define Z4_DRIVER_TYPE A4988
747 #define E0_DRIVER_TYPE TMC2209
748 // #define E1_DRIVER_TYPE A4988

```

Figura 85: Programació, apartat “* Stepper Drivers”

En aquest apartat es defineixen els controladors que es van a utilitzar en la placa base, en aquest cas els “TMC2209”. Cal definir soles les línies marcades, que corresponen als drivers X, Y, Z i al E0, que és l’extrusora.

- Apartat “The size of the printable area”

```

1227 // The size of the printable area
1228 #define X_BED_SIZE 280
1229 #define Y_BED_SIZE 240
1230

```

Figura 86: Programació, apartat “The size of the printable area”

En aquest apartat cal definir, en mil·límetres, el tamany de la superfície d’impressió.

- Apartat “(Graphical LCDs)”

```

2173 //===== (Graphical LCDs) =====
2174 //=====
2175
2176 //
2177 // CONTROLLER TYPE: Graphical 128x64 (DOGM)
2178 //
2179 // IMPORTANT: The U8glib library is required for Graphical Display!
2180 //         https://github.com/olikraus/U8glib\_Arduino
2181 //
2182 // NOTE: If the LCD is unresponsive you may need to reverse the plugs.
2183 //
2184
2185 //
2186 // RepRapDiscount FULL GRAPHIC Smart Controller
2187 // https://reprap.org/wiki/RepRapDiscount\_Full\_Graphic\_Smart\_Controller
2188 //
2189 #define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER

```

Figura 87: Programació, apartat "(Graphical LCDs)"

En aquest apartat cal definir "REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER", que és la configuració corresponent per a la pantalla "TFT35" elegida per al projecte.

Amb aquesta última configuració hem acabat amb l'arxiu "configuration.h" i sols queda fer un canvi a l'arxiu "configuration_adv.h", que es troba sobre el "configuration.h" en l'arbre d'arxius, per acabar amb la configuració i compilar.

- Apartat #define SENSORLESS_HOMING (configuration_adv.h)

```
2809 #define SENSORLESS_HOMING // StallGuard capable drivers only
2810
2811 #if EITHER(SENSORLESS_HOMING, SENSORLESS_PROBING)
2812     // TMC2209: 0...255. TMC2130: -64...63
2813     #define X_STALL_SENSITIVITY 30
2814     #define X2_STALL_SENSITIVITY X_STALL_SENSITIVITY
2815     #define Y_STALL_SENSITIVITY 20
2816     #define Y2_STALL_SENSITIVITY Y_STALL_SENSITIVITY
2817     // #define Z_STALL_SENSITIVITY 8
2818     // #define Z2_STALL_SENSITIVITY Z_STALL_SENSITIVITY
2819     // #define Z3_STALL_SENSITIVITY Z_STALL_SENSITIVITY
2820     // #define Z4_STALL_SENSITIVITY Z_STALL_SENSITIVITY
2821     // #define SPI_ENDSTOPS // TMC2130 only
2822     #define IMPROVE_HOMING_RELIABILITY
2823 #endif
```

Figura 88: Programació, apartat #define SENSORLESS_HOMING

En aquest apartat tan sols cal definir les línies marcades. És important no definir l'eix Z donat que en aquest anem a fer ús d'un interruptor de final de carrera.

Hi ha altres línies que han de ser modificades per a que la màquina funcione correctament, però els paràmetres que aquestes defineixen es poden ajustar de forma més còmoda des de la interfície de la pròpia impressora una vegada muntada, donat que corresponen a paràmetres de calibratge com ara els passos per mil·límetre del motors.

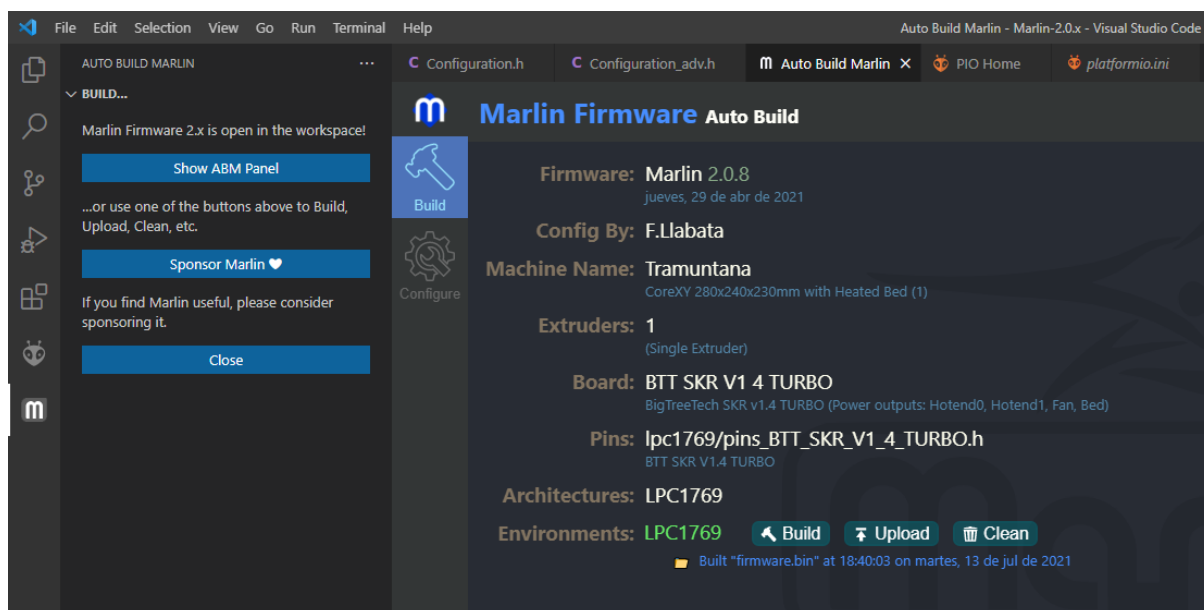


Figura 89: Programació, finestra Marlin Firmware Auto Build

Una vegada acabat sols queda compilar el programa i pujar-lo a la tarjeta SD de la placa base. Per fer aquesta tasca s'ha d'anar al menú "Auto Build Marlin" de la barra de ferramentes de l'esquerra i clicar en el botó "upload" de l'apartat "Environments" amb la tarjeta SD connectada a l'ordinador. Fet això sols queda col·locar la tarjeta en la placa base i el firmware estarà instal·lat i en funcionament.

9. Bibliografía

- 3D Printing*. "The Benefits of Fully Enclosed Filament 3D Printers". (23-04-2019) En: <<https://3dprinting.com/3dprinters/fully-enclosed-3d-printers/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- 3DPrintBeginner*. "BMG Wind Review: Sidewinder X1 Upgrade Guide". (16-08-2020) En: <<https://3dprintbeginner.com/bmg-wind-review-sidewinder-x1-upgrade-guide/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- 3DSourced*. "The Complete 3D Printer Extruder Buyer's Guide". (2021) En: <<https://www.3dsourced.com/guides/3d-printer-extruder-guide/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Airwolf 3D*. "Bowden VS Direct Drive". (s.d.) En: <<https://airwolf3d.com/comparing-bowden-vs-direct-drive-3d-printer/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Arceo, F. *3D Solved*. "How to fix 3D printing layer separation". (s.d.) En: <<https://3dsolved.com/3d-printing-layer-separation-fix/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- BCN3D Technologies*. "The anatomy of an Extrusion System". (2019) En: <https://www.bcn3d.com/documents/The_anatomy_of_an_Extrusion_System_BCN3D_Technologies.pdf> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Broncesval*. "EN AW-6063". (s.d.) En: <<https://www.broncesval.com/aluminio/aluminio-aleacion-magnesio-en-aw-6063/>> [Consulta: 14 de juliol de 2021]
- Broncesval*. "Metacrilato PMMA". (s.d.) En: <<https://www.broncesval.com/plasticos-tecnicos/pmma-metacrilato/>> [Consulta: 14 de juliol de 2021]
- Contreras, Lucía. *3Dnatives*. "Tipos de impresoras 3D FDM: Delta, Cartesiana, Polar y Brazo robótico". (23-10-2020) En: <<https://www.3dnatives.com/es/tipos-impresoras-3d-fdm-190620172/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Carrier, P. *Dyze Design*. "What are the differences between a 12V and 24V 3D printer?". (15-04-2019) En: <<https://dyzedesign.com/2019/04/differences-12v-24v-3d-printer/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Creativity 3D*. "Transmisión directa VS Bowden Extrusor". (s.d.) En: <<https://creativity3d.shop/blogs/choose-your-3d-printer/direct-drive-vs-bowden-extruder?lang=es>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]

- Creativity 3D*. "Core-XY VS Cartesiano". (s.d.) En:
 <<https://creativity3d.shop/blogs/choose-your-3d-printer/core-xy-vs-cartesian>>
 [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Creativity 3D*. "3D Printer 8-bit Motherboard VS 32-bit Motherboard: Differences". (30-07-2020)
 En:
 <<https://www.creativity.com/blog-detail/3d-printer-8-bit-motherboard-vs-32-bit-motherboard>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- DEXCRAFT*. "Aluminium vs carbon fiber – comparison of materials". (07-10-2015) En:
 <<http://www.dexcraft.com/articles/carbon-fiber-composites/aluminium-vs-carbon-fiber-comparison-of-materials/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- DragonPlate*. "Carbon Fiber vs. Aluminum". (10-06-2020) En:
 <<https://dragonplate.com/carbon-fiber-vs-aluminum>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Dy, Alvin. *Total 3D Printing*. "CoreXY vs HBot 3D Printers: Which is Right For You?".
 (14-01-2021) En: <<https://total3dprinting.org/corexy-vs-hbot/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Fargo 3D Printing*. "Advantages and Disadvantages of Direct and Bowden Extrusion".
 (30-11-2017) En:
 <<https://www.fargo3dprinting.com/advantages-disadvantages-direct-bowden-extrusion/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Filament2Print*. "Types of 3D extruders and Hotend". (28-02-2018) En:
 <https://filament2print.com/gb/blog/36_types-3d-extruders-and-hotend.html>
 [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Flynt, J. *3D INSIDER*. "Cartesian, Delta, and Polar 3D Printers: What are They and What's the Difference?". (13-03-2019) En:
 <<https://3dinsider.com/cartesian-vs-delta-vs-polar/?amp>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Flynt, J. *3D INSIDER*. "What are Polar 3D Printers and Best Models to Consider".
 (24-07-2019) En: <<https://3dinsider.com/polar-3d-printers/?amp>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Gebrehiwot, S.Z., Espinosa Leal, L., & Eickhoff, J.N. et al. "The influence of stiffener geometry on flexural properties of 3D printed polylactic acid (PLA) beams". *Prog Addit Manuf* 6, 71–81 (02-09-2020) En:
 <<https://doi.org/10.1007/s40964-020-00146-2>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Martin. *The 3D Printer Bee*. "CoreXY vs. H-Bot: Which System is Better for a 3D Printer?". (s.d.) En: <<https://the3dprinterbee.com/corexy-vs-hbot/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- O'Connell, J. *All3DP*. "FDM 3D Printers Explained: Cartesian, Delta, CoreXY & More". (04-04-2020) En:

- <<https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Pomykal, L. *Lukas Pomykal*. "V6 Bore heat break". (2021) En: <<https://www.lpomykal.cz/v6-bore-heat-break/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Pomykal, L. *Lukas Pomykal*. "V6 All metal heat break". (2021) En: <<https://www.lpomykal.cz/v6-all-metal-heat-break/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Pomykal, L. *Lukas Pomykal*. "V6 Copper heat break". (2021) En: <<https://www.lpomykal.cz/v6-copper-heat-break/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Proto 3000*. "ABS-M30". (s.d.) En: <<https://proto3000.com/materials/absm30/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Proto3000*. "Carbon Fiber Nylon 12CF". (s.d.) En: <<https://proto3000.com/materials/nylon-12cf/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Proto3000*. "ASA" (s.d.) En: <<https://proto3000.com/materials/asa/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Stover, C., & Weeistein, E. W. *MothWorld: A Wolfram Web Resource*. "Polar Coordinates". (s.d.): <<https://mathworld.wolfram.com/PolarCoordinates.html>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Thang, N. D. "Controlling two linear motions of an object 1a". (09-10-2016) En: <<https://www.youtube.com/watch?v=lkM2K7CsiHo>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Thang, N. D. "Controlling two linear motions of an object 3". (20-10-2016) En: <https://www.youtube.com/watch?v=fW7jzLN-__w> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- UNE*. "La norma sobre fabricación aditiva, en español". (05-2020) En: <<https://revista.une.org/25/la-norma-sobre-fabricacion-aditiva-en-espanol.html>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Weisstein, E. W. *MathWorld: A Wolfram Web Resource*. "Polar Angle". (s.d.) En: <<https://mathworld.wolfram.com/PolarAngle.html>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]
- Wordpress*. "RepRap – How to choose your Pulleys for your 3d printer". (12-02-2014) En: <<https://nutz95.wordpress.com/2014/12/02/reprap-how-to-choose-your-pulleys-for-your-3d-printer/>> [Consulta: 1 de juliol de 2021]

Índex de referències *Firmware* i programació

¹ *Marlin Firmware Oficial*: <https://marlinfw.org>

² *Marlin Firmware Github*: <https://github.com/MarlinFirmware/Marlin>

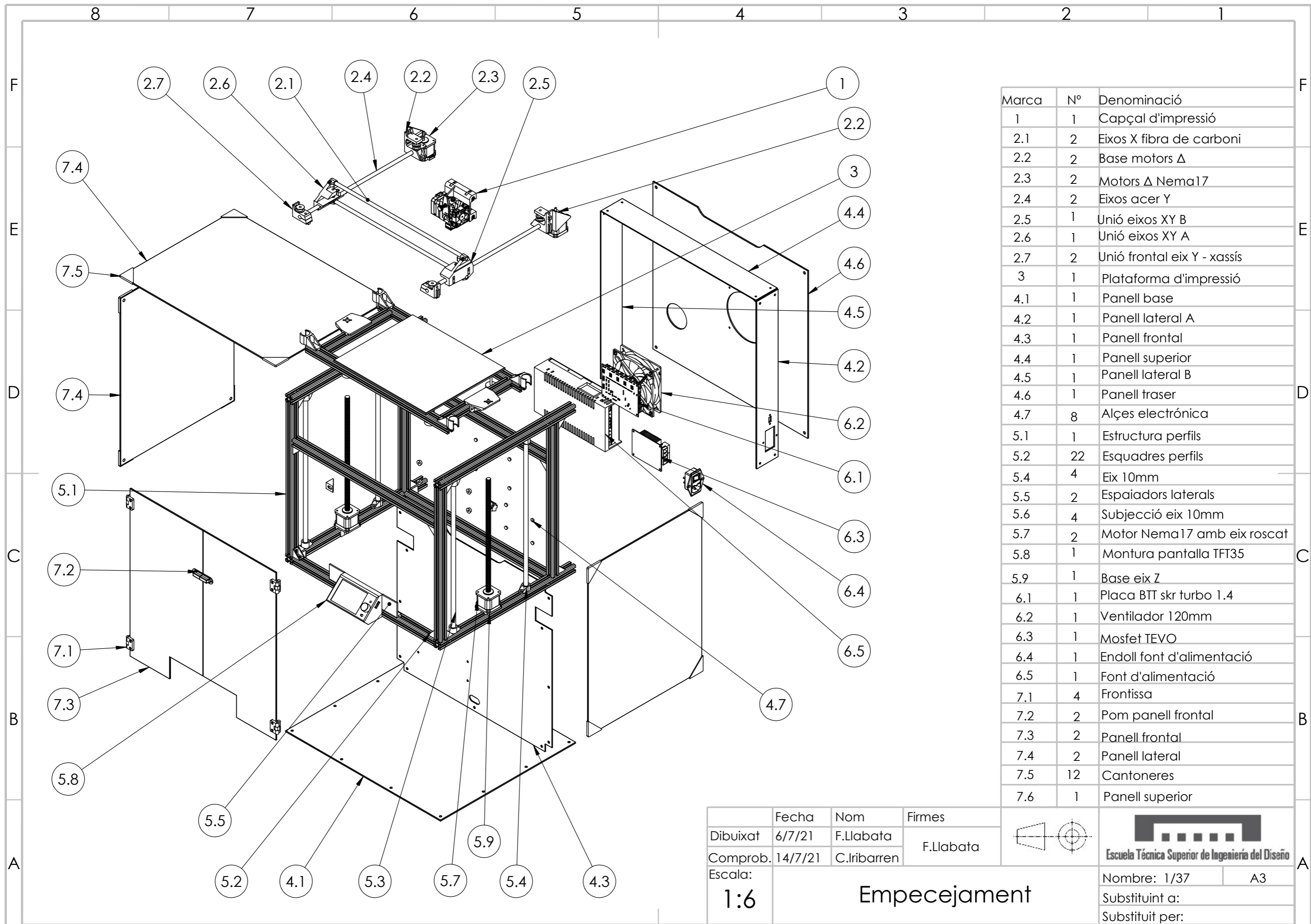
³ *Marlin Firmware Reddit*: <https://www.reddit.com/r/MarlinFirmware/>

⁴ *BigTreeTech Github*:
<https://github.com/bigtreetech/BIGTREETECH-SKR-V1.3/tree/master/BTT%20SKR%20V1.4>

⁵ *BigTreeTech Reddit*: <https://www.reddit.com/r/BIGTREETECH/>

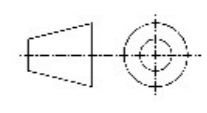
⁶ *Visual Studio Code Oficial*: <https://www.reddit.com/r/BIGTREETECH/>

PLÀNOLS

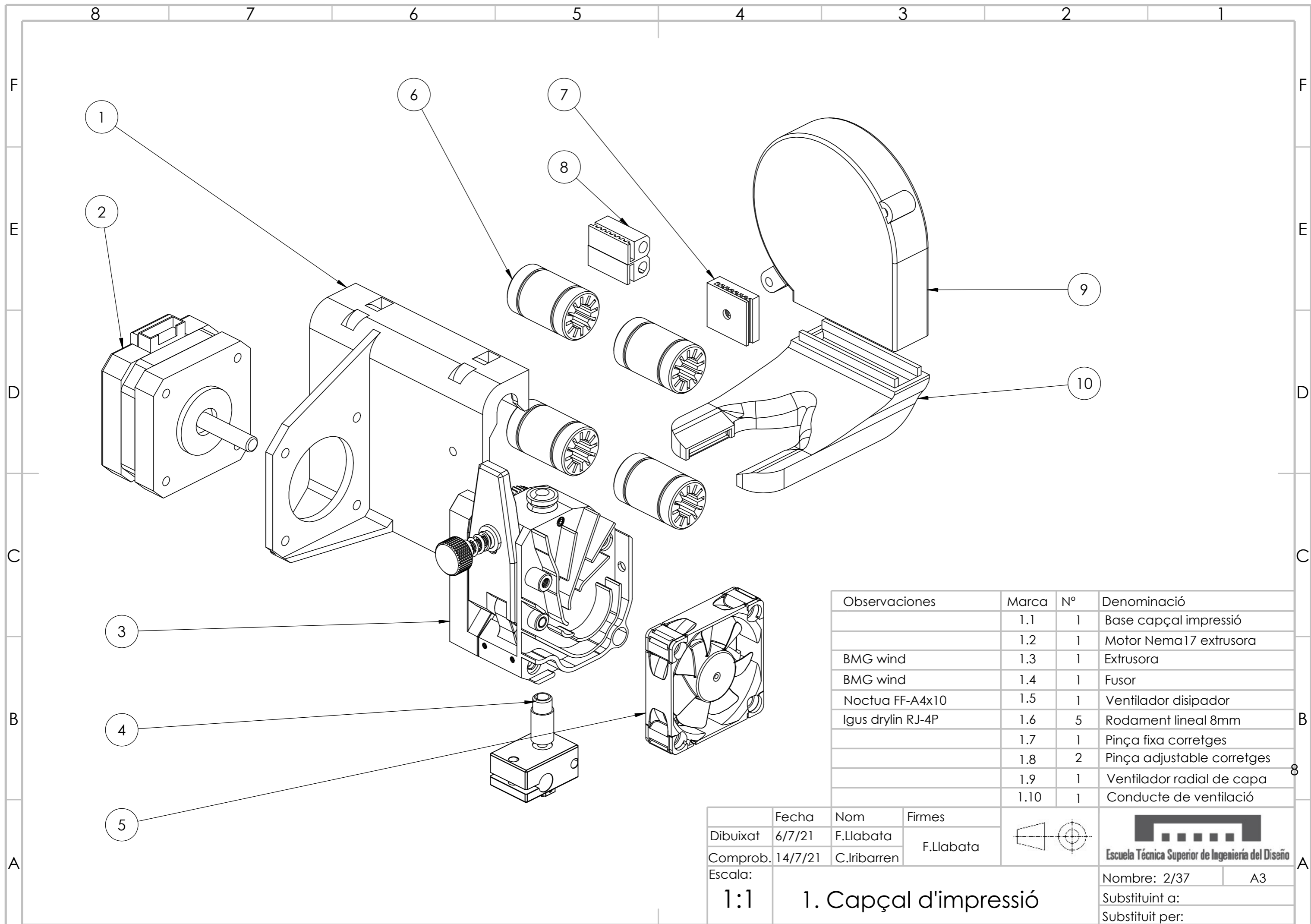


Marca	Nº	Denominació
1	1	Capçal d'impressió
2.1	2	Eixos X fibra de carboni
2.2	2	Base motors Δ
2.3	2	Motors Δ Nema17
2.4	2	Eixos acer Y
2.5	1	Unió eixos XY B
2.6	1	Unió eixos XY A
2.7	2	Unió frontal eix Y - xassís
3	1	Plataforma d'impressió
4.1	1	Panell base
4.2	1	Panell lateral A
4.3	1	Panell frontal
4.4	1	Panell superior
4.5	1	Panell lateral B
4.6	1	Panell traser
4.7	8	Alçes electrònica
5.1	1	Estructura perfils
5.2	22	Esquadres perfils
5.4	4	Eix 10mm
5.5	2	Espaiadors laterals
5.6	4	Subjecció eix 10mm
5.7	2	Motor Nema17 amb eix roscat
5.8	1	Montura pantalla TFT35
5.9	1	Base eix Z
6.1	1	Placa BTT skr turbo 1.4
6.2	1	Ventilador 120mm
6.3	1	Mosfet TEVO
6.4	1	Endoll font d'alimentació
6.5	1	Font d'alimentació
7.1	4	Frontissa
7.2	2	Pom panell frontal
7.3	2	Panell frontal
7.4	2	Panell lateral
7.5	12	Cantoneres
7.6	1	Panell superior

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	

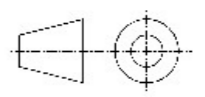


Escala:	1:6		Empecejament	
	Nombre: 1/37		A3	
	Substituint a:			
	Substituit per:			

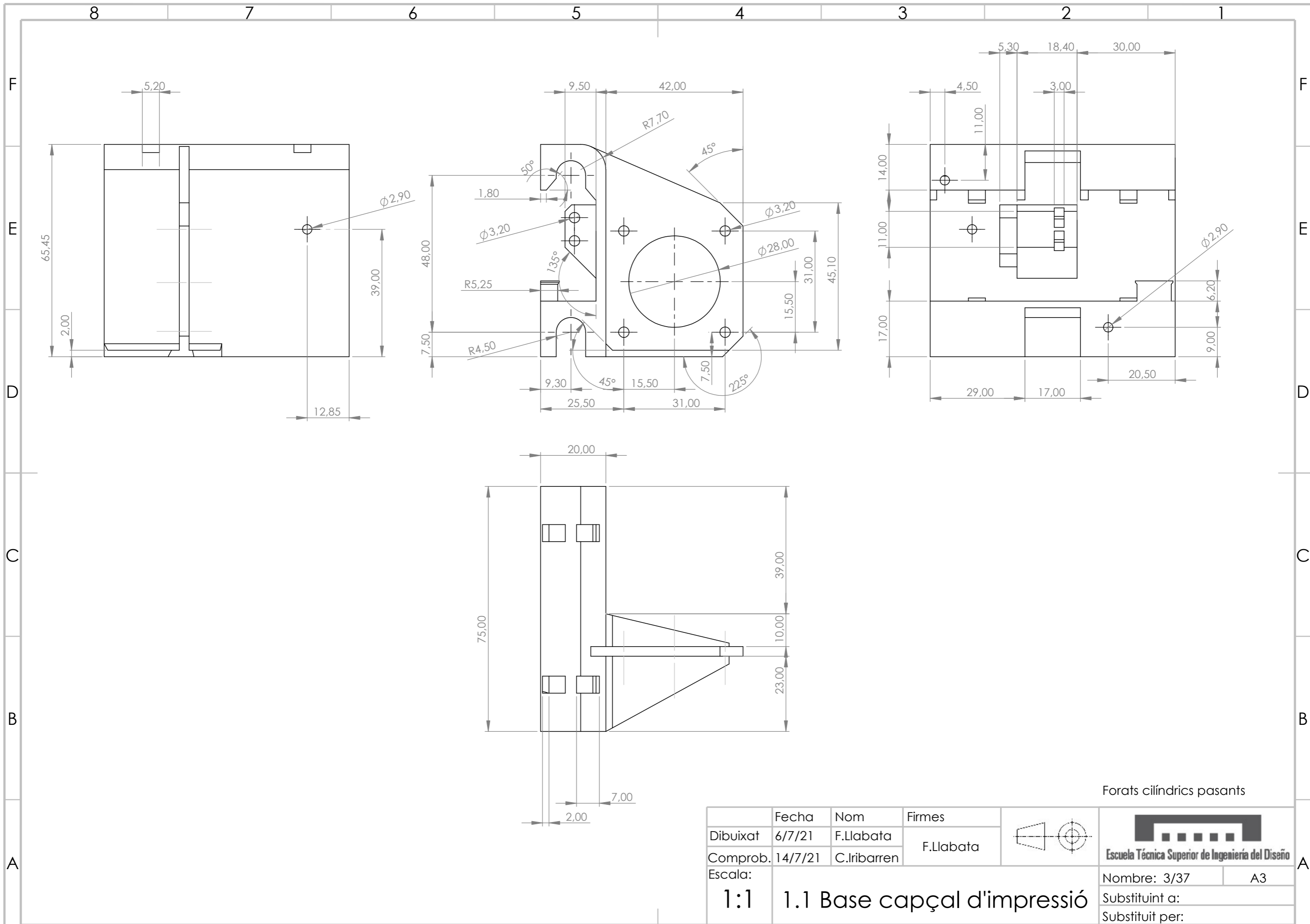


Observaciones	Marca	Nº	Denominació
	1.1	1	Base capçal impressió
	1.2	1	Motor Nema17 extrusora
BMG wind	1.3	1	Extrusora
BMG wind	1.4	1	Fusor
Noctua FF-A4x10	1.5	1	Ventilador dissipador
Igus drylin RJ-4P	1.6	5	Rodament lineal 8mm
	1.7	1	Pinça fixa corretges
	1.8	2	Pinça ajustable corretges
	1.9	1	Ventilador radial de capa
	1.10	1	Conducte de ventilació

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	

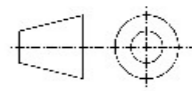


Escala:	1:1	1. Capçal d'impressió	Nombre: 2/37	A3
			Substituint a:	
			Substituit per:	



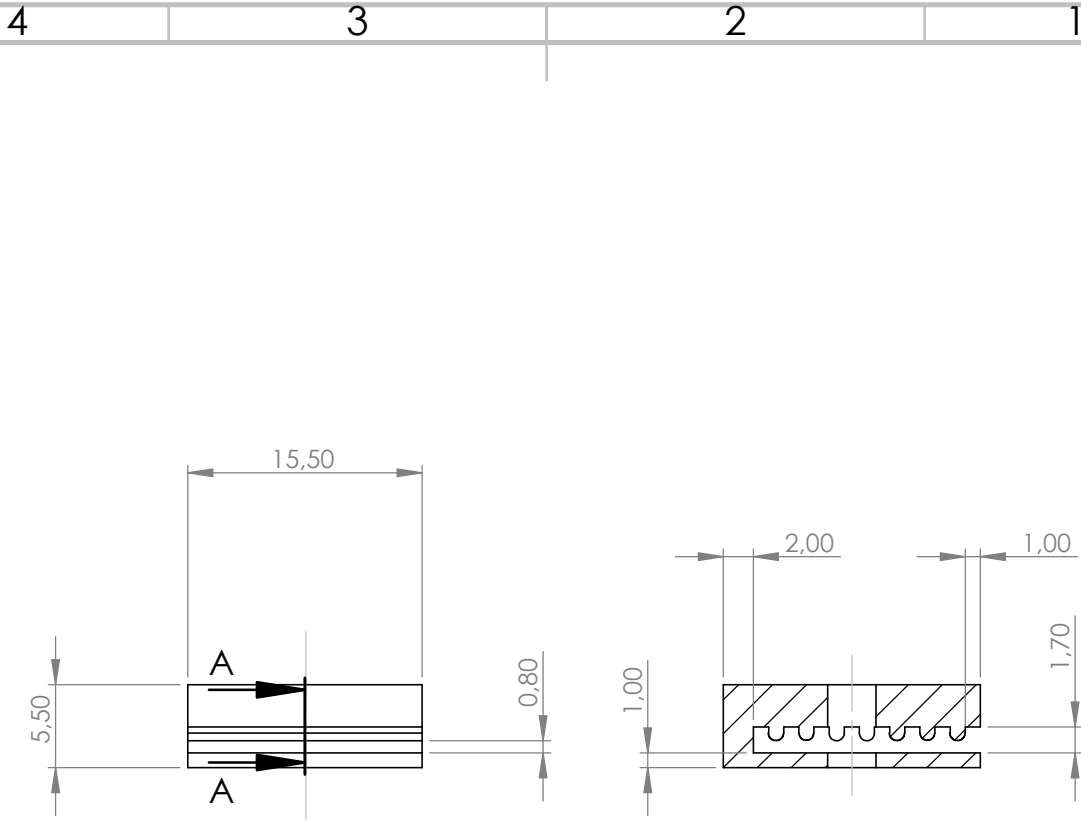
Forats cilíndrics pasants

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	

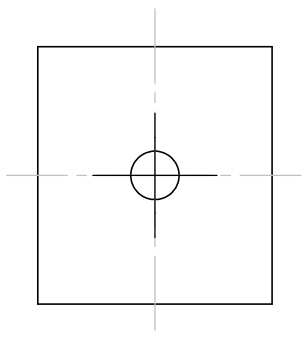


Escala:	1:1	1.1 Base capçal d'impressió
---------	-----	-----------------------------

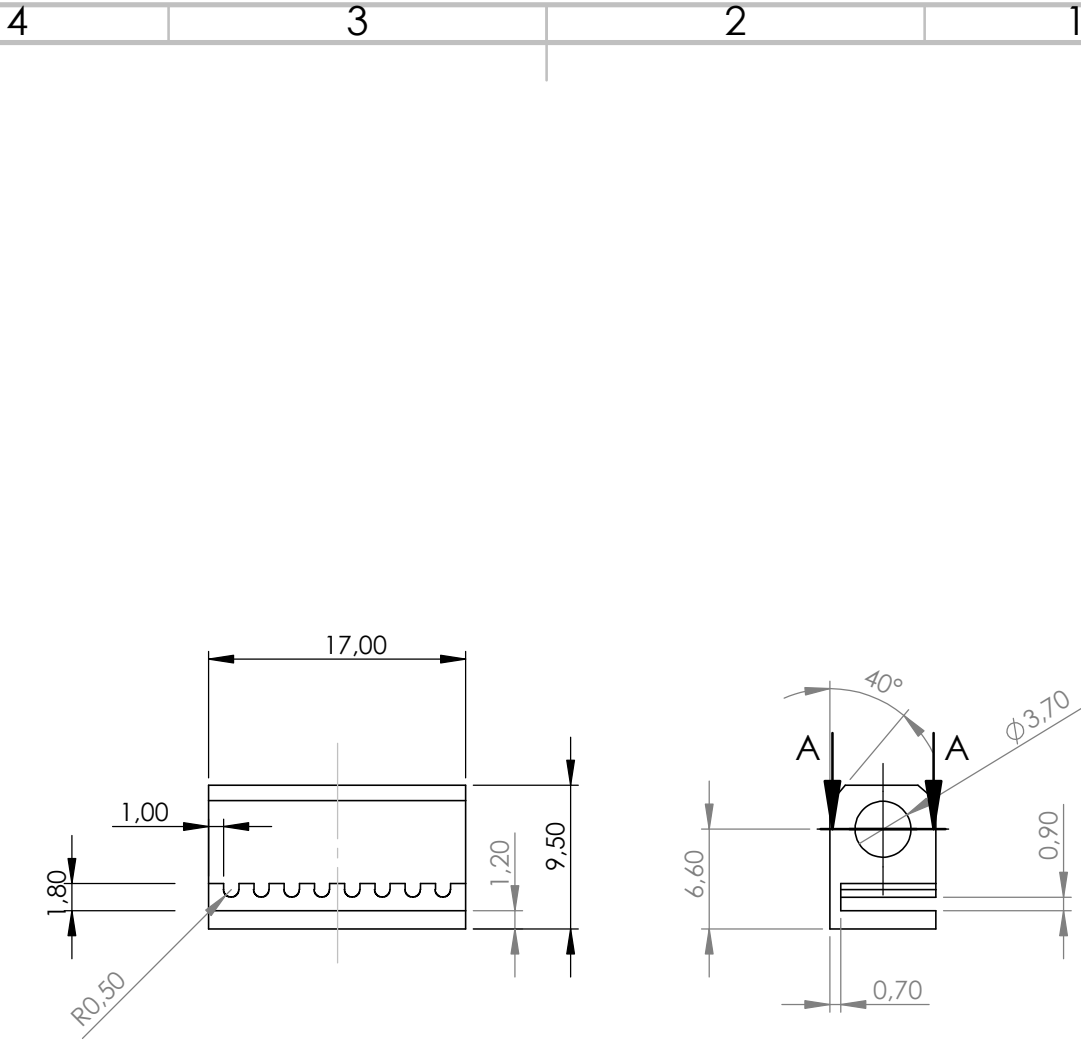
Nombre:	3/37	A3
Substituint a:		
Substituit per:		



SECCIÓN A-A

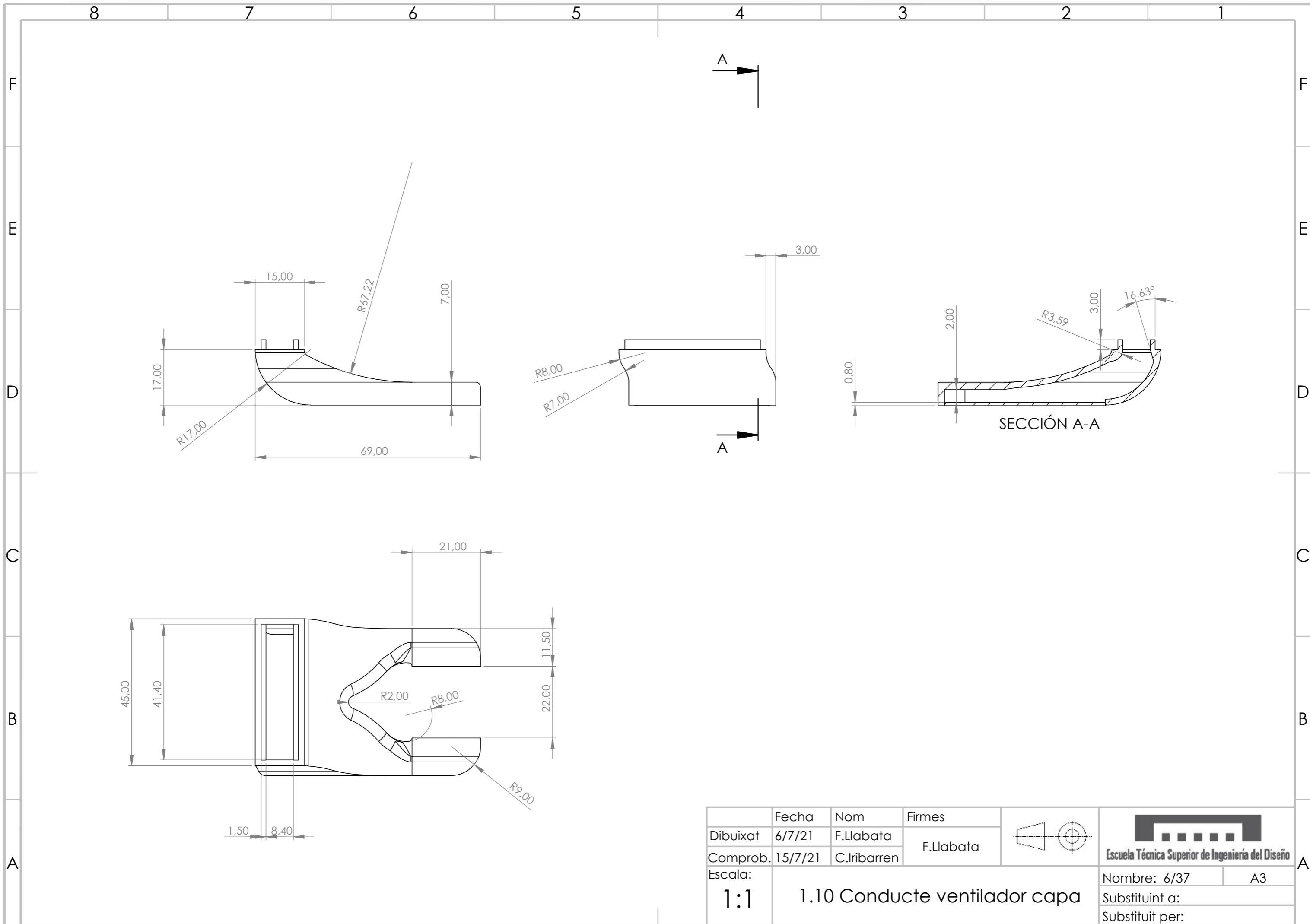


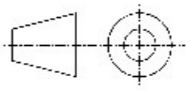

	Fecha	Nom	Firmes		
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata		
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren			
Escala:	2:1			Nombre: 4/37	
	1.7 Pinça fixa corretges			A4	
				Substituint a:	
				Substituit per:	

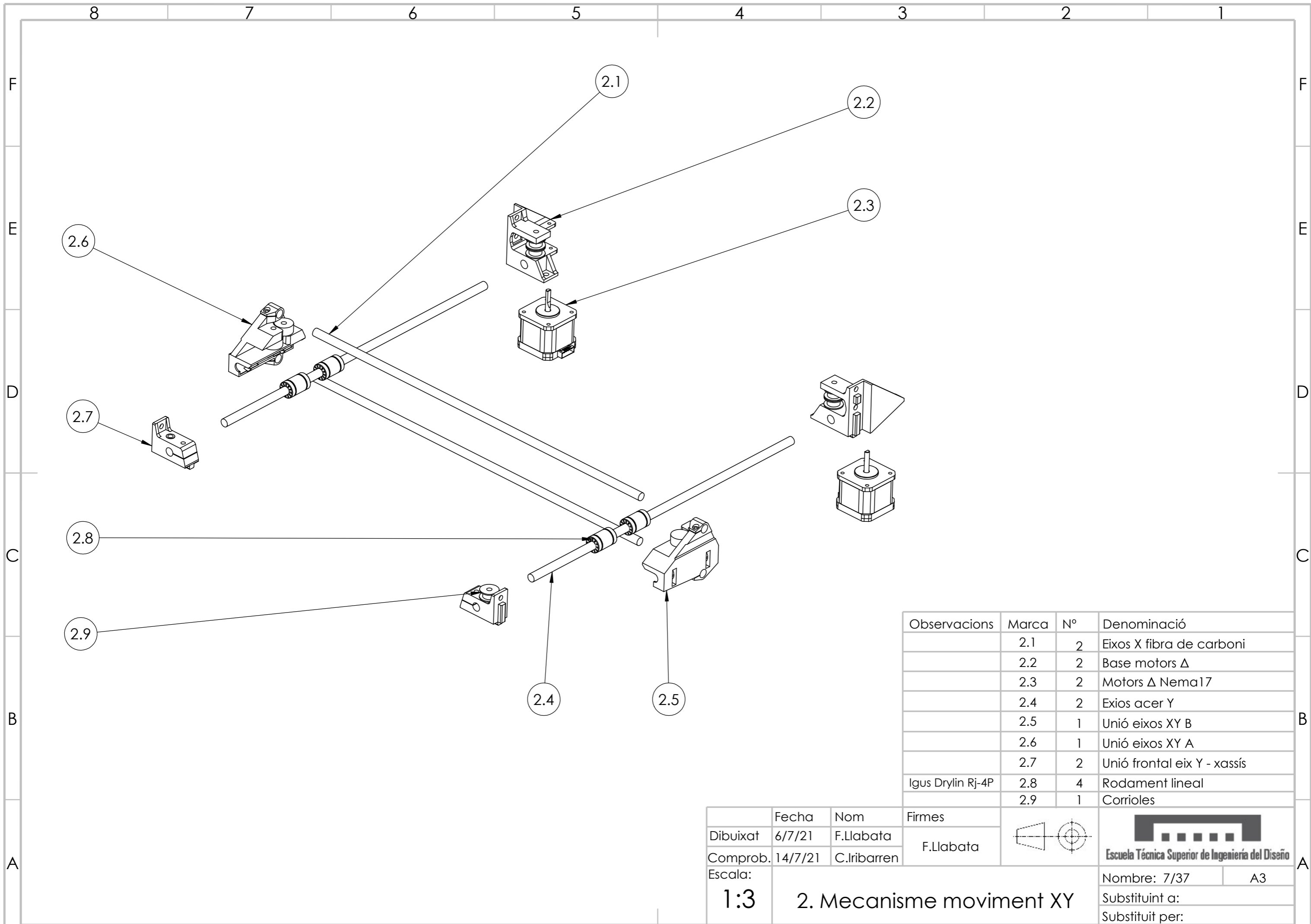


SECCIÓN A-A

	Fecha	Nom	Firmes		
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata		
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren		Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	
Escala:	2:1			Nombre: 5/37 A4	
	1.8 Pinça ajustable corretges			Substituint a:	
				Substituit per:	

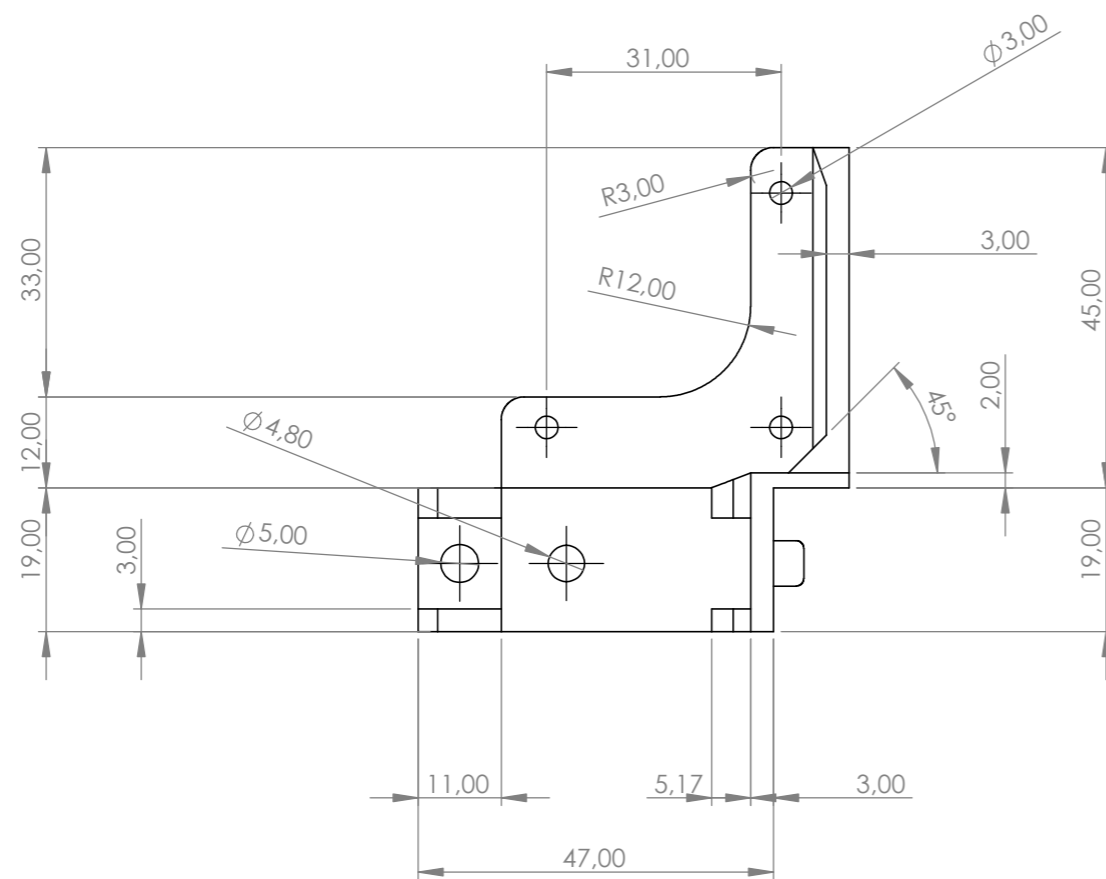
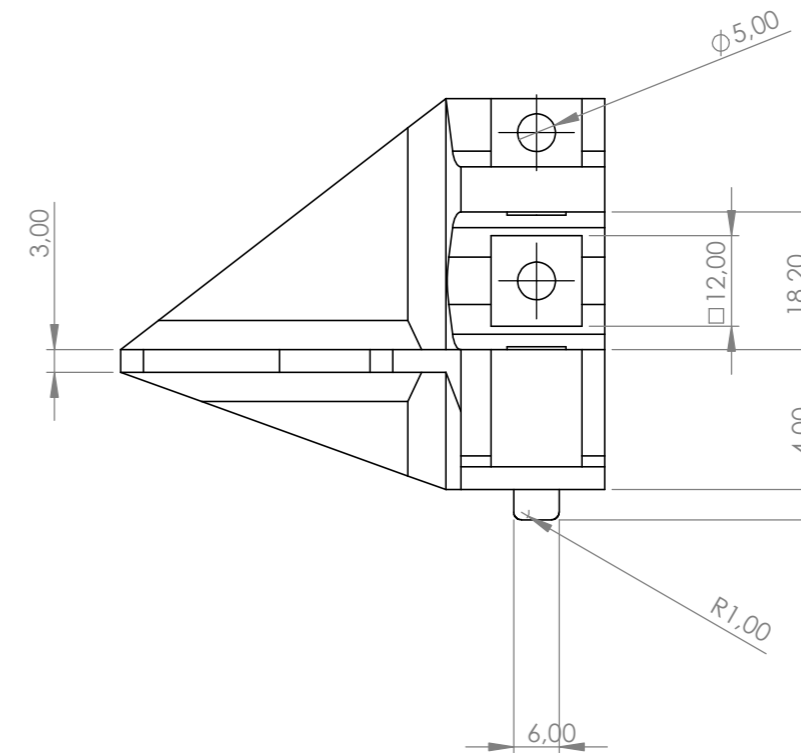
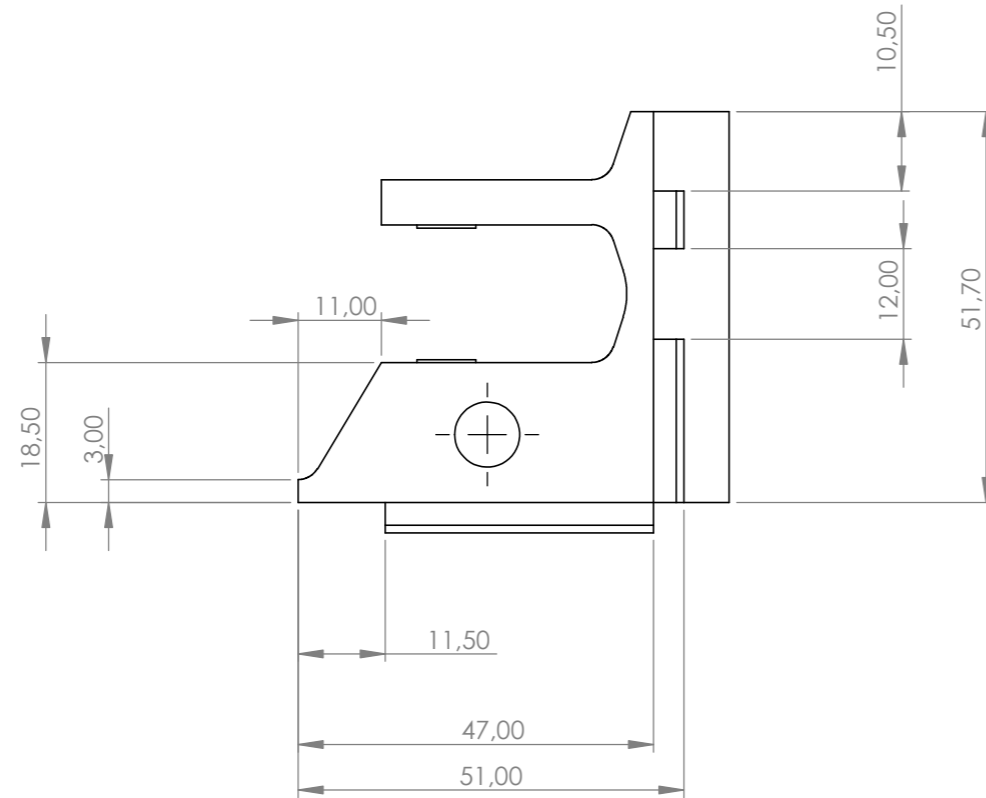


	Fecha	Nom	Firmes		 Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño							
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata									
Comprob.	15/7/21	C.Iribarren										
Escala:	1:1				Nombre: 6/37 A3							
							1.10 Conducte ventilador capa				Substituint a:	



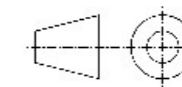
Observacions	Marca	Nº	Denominació
	2.1	2	Eixos X fibra de carboni
	2.2	2	Base motors Δ
	2.3	2	Motors Δ Nema17
	2.4	2	Exios acer Y
	2.5	1	Unió eixos XY B
	2.6	1	Unió eixos XY A
	2.7	2	Unió frontal eix Y - xassís
Igus Drylin Rj-4P	2.8	4	Rodament lineal
	2.9	1	Corrioles

	Fecha	Nom	Firmes		
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata		
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren			
Escala:	1:3 2. Mecanisme moviment XY			Nombre: 7/37	A3
				Substituint a:	
				Substituit per:	

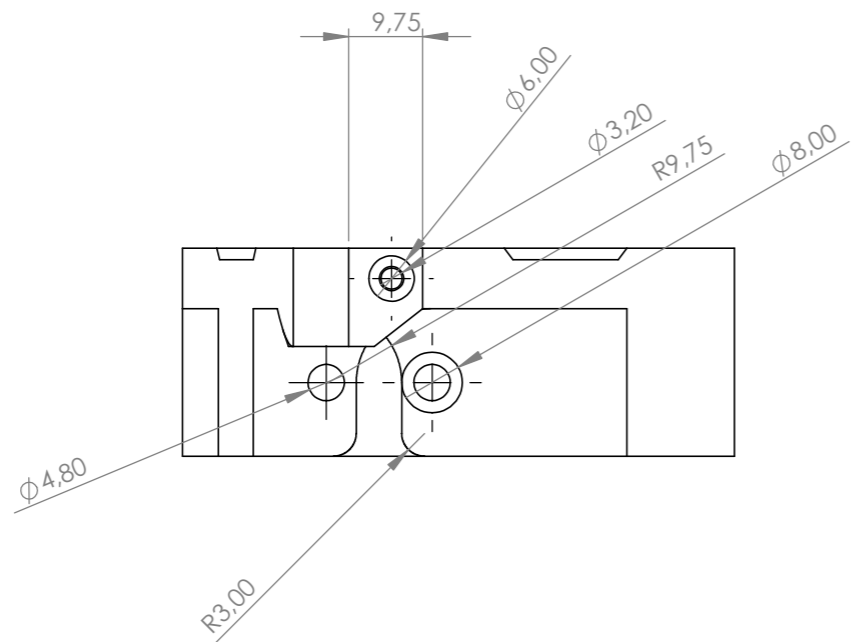
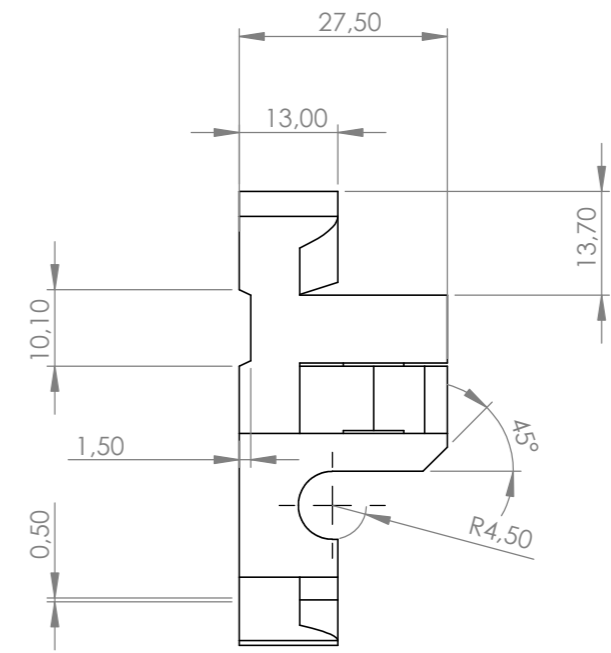
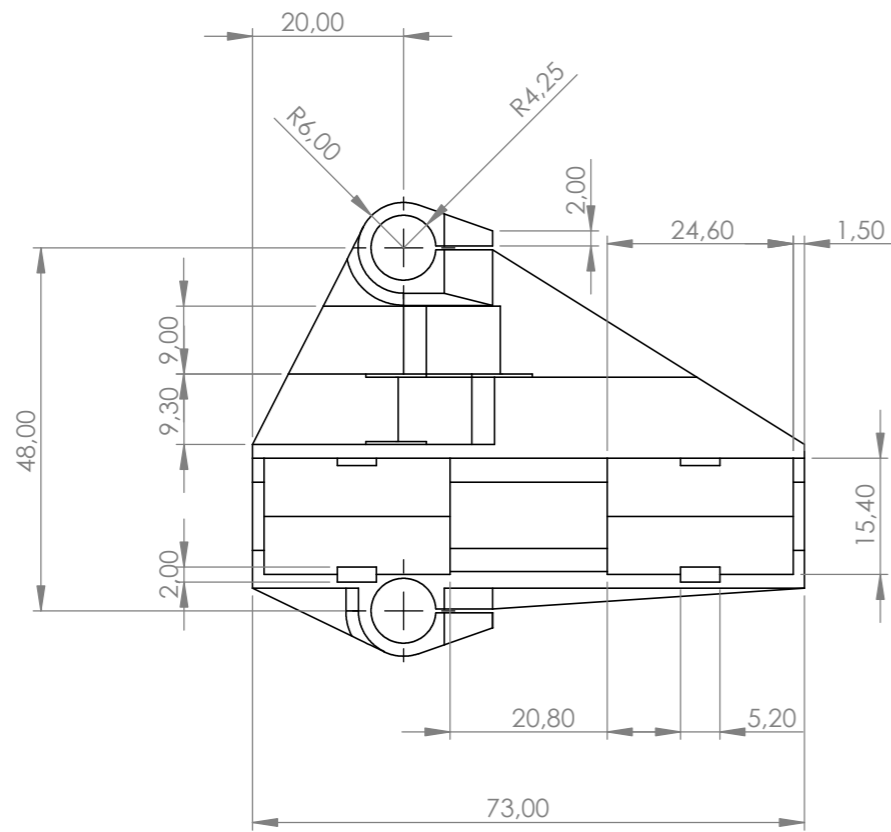


Forats cilíndrics passants

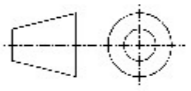

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.lirbarren	

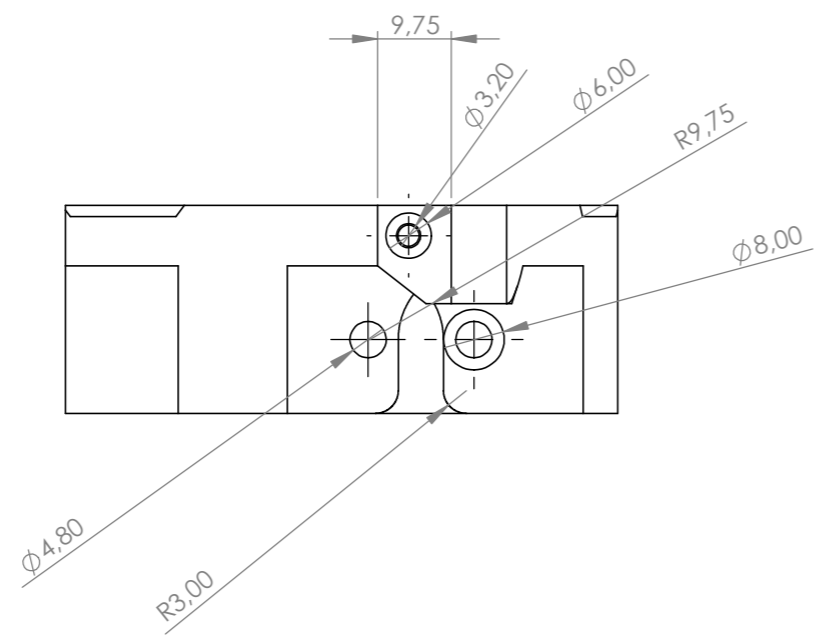
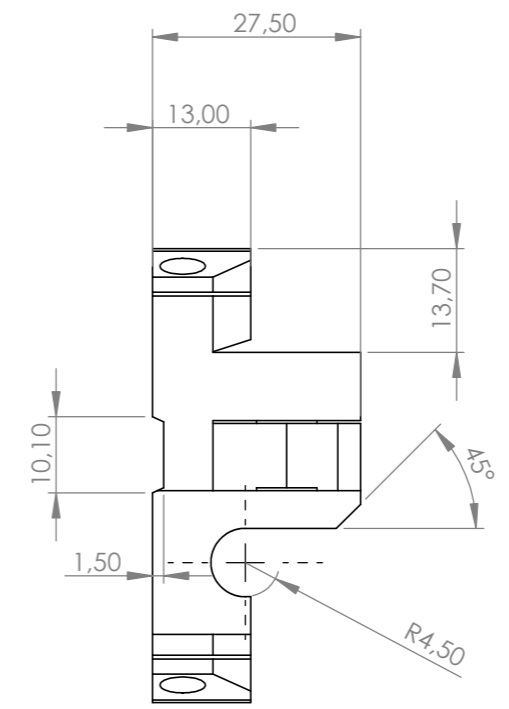
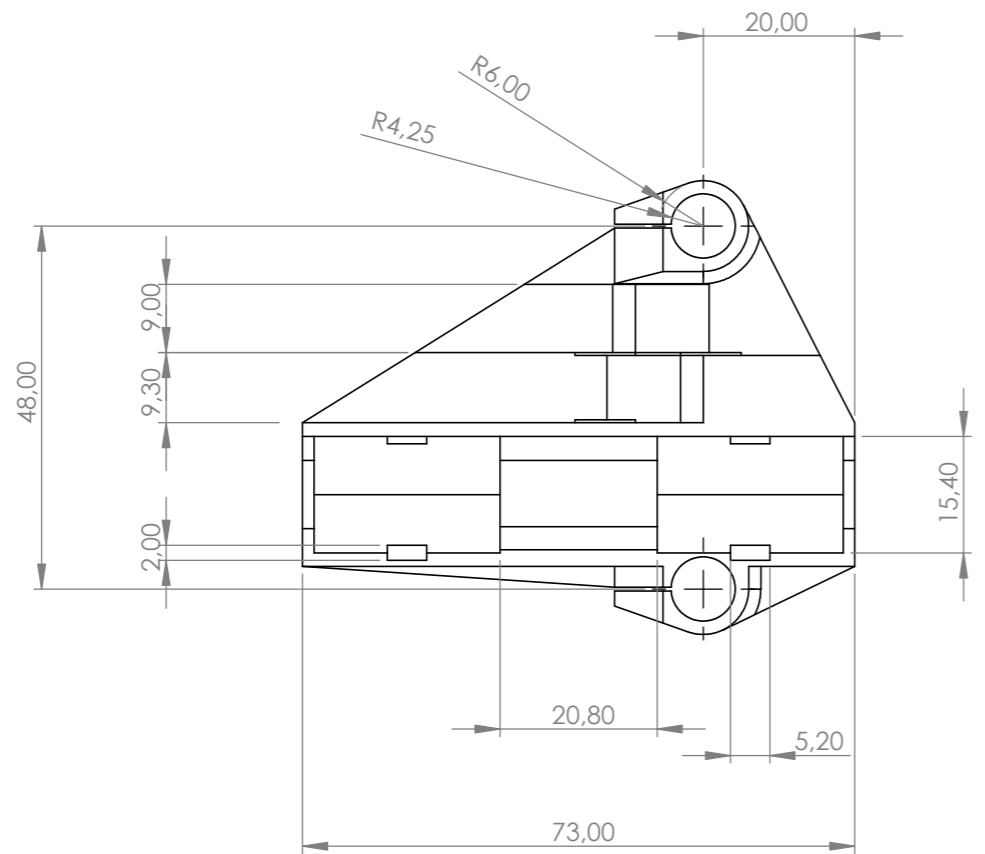


Escala:	2.2 Base motors Δ	Nombre: 8/37	A3
1:1		Substituint a:	
		Substituit per:	



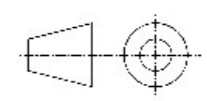
Forats cilíndrics passants

	Fecha	Nom	Firmes		 Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	
Dibuixat	7/7/21	F.Llabata	F.Llabata		Nombre: 9/37	A3
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren		Substituint a:		
Escala:	2.5 Unió eixos XY B			Substituit per:		
1:1						

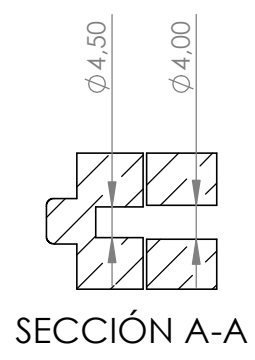
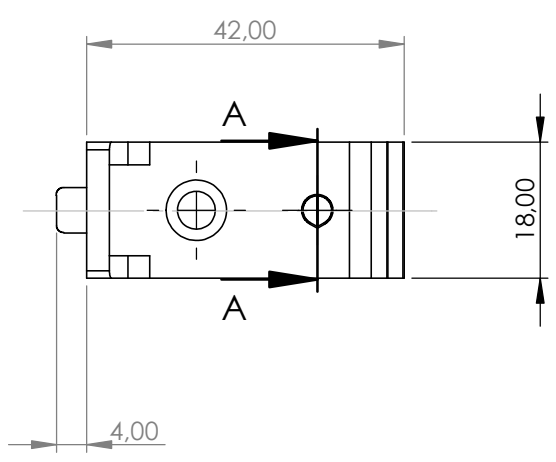
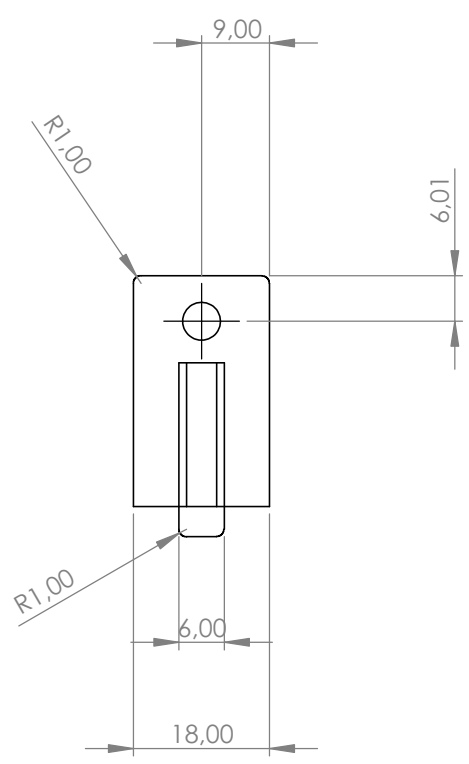
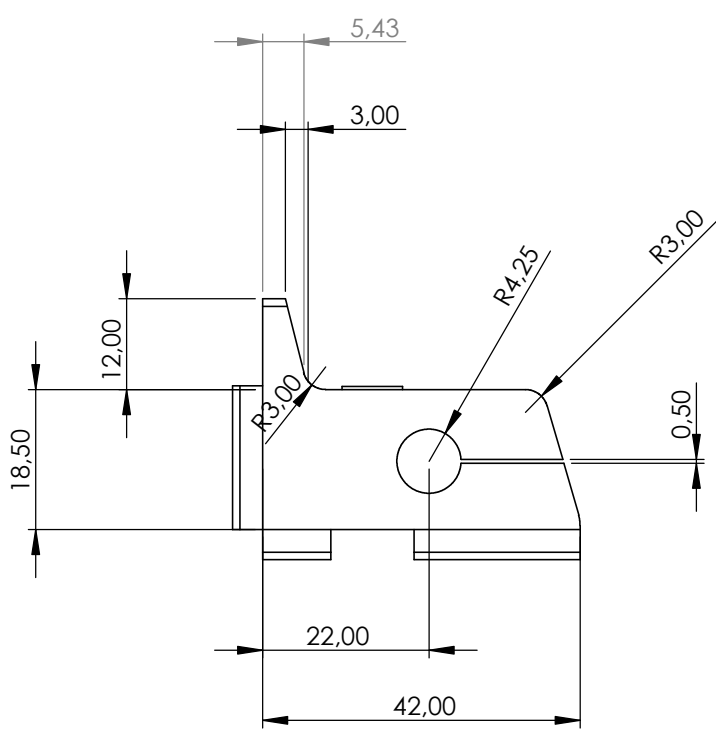


Forats cilíndrics passants

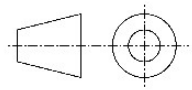

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	7/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	

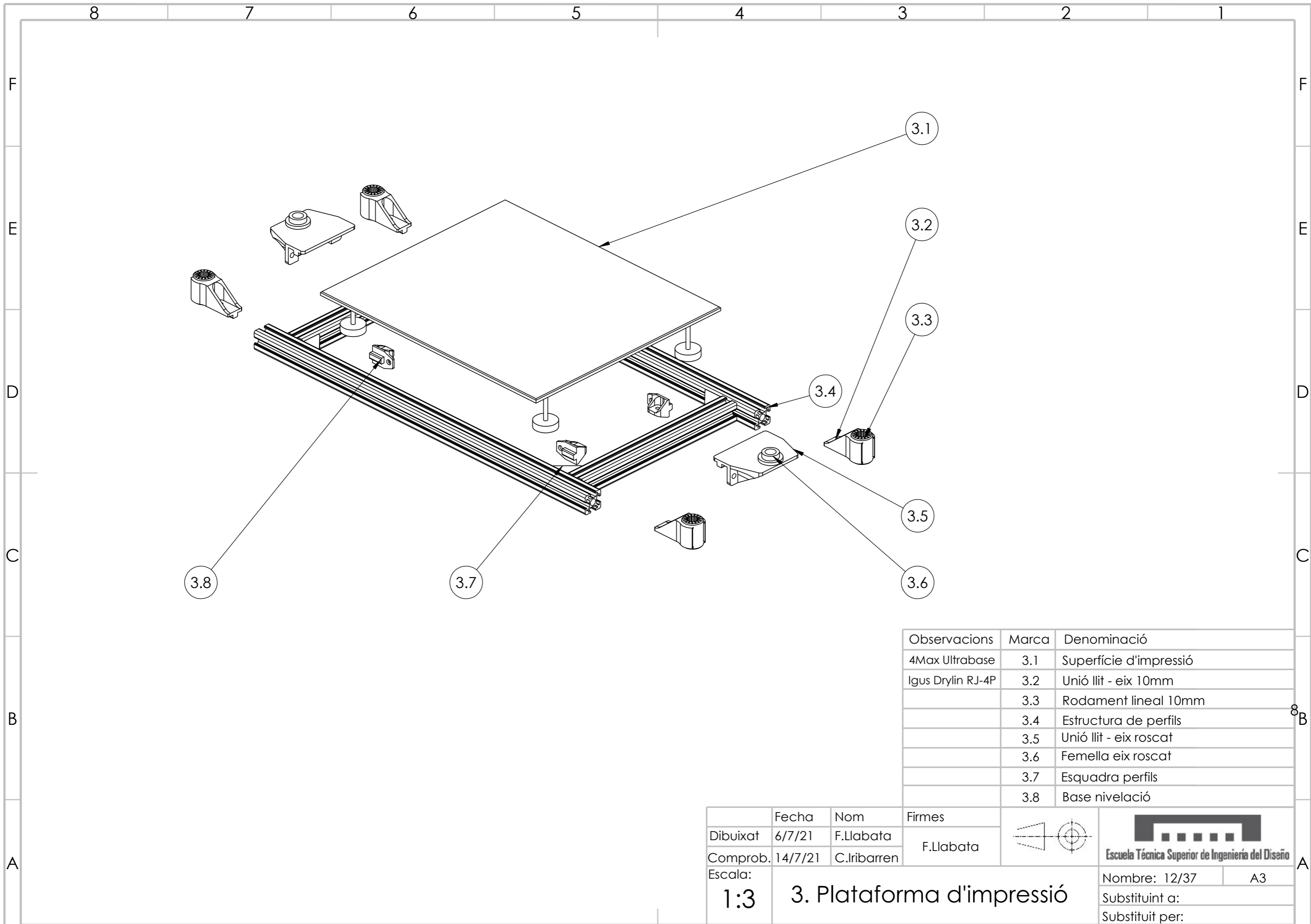


Escala:	2.6 Unió eixos XY A	Nombre: 10/37	A3
1:1		Substituint a:	
		Substituit per:	



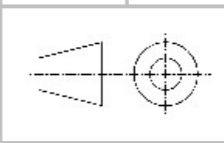
SECCIÓN A-A

	Fecha	Nom	Firmes		 <p>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</p>
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata		
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren			
A	Escala:			Nombre: 11/37	A4
2:1			2.7 Unió frontal eix Y - xassís		
			Substituint a:		
			Substituit per:		

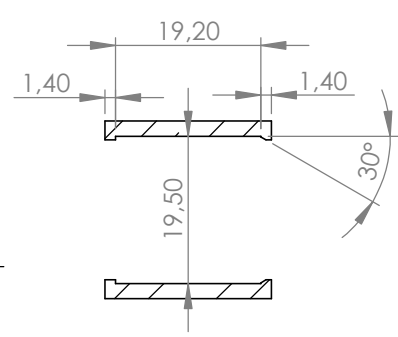
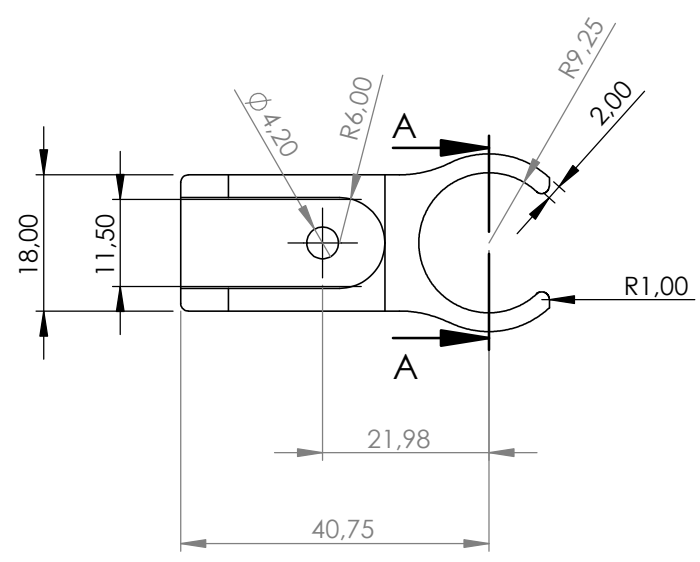
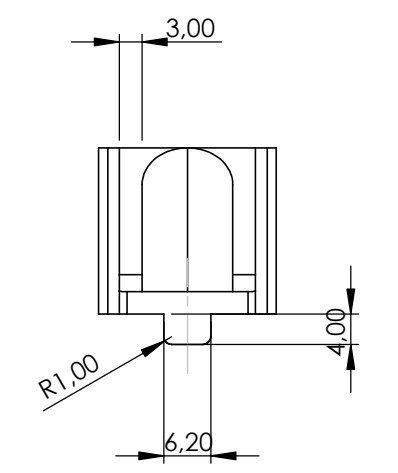
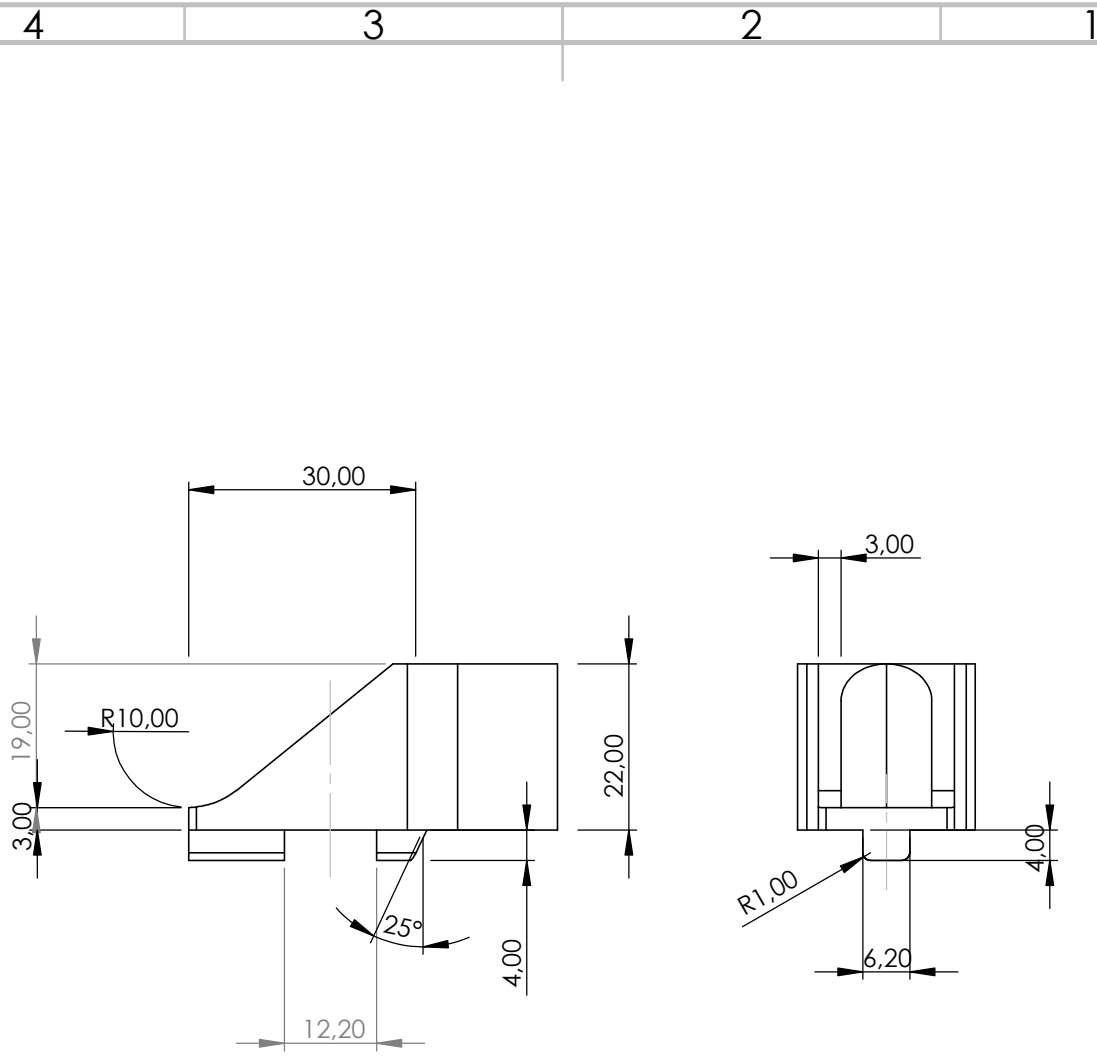


Observacions	Marca	Denominació
4Max Ultrabase	3.1	Superfície d'impressió
Igus Drylin RJ-4P	3.2	Unió llit - eix 10mm
	3.3	Rodament lineal 10mm
	3.4	Estructura de perfils
	3.5	Unió llit - eix roscat
	3.6	Femella eix roscat
	3.7	Esquadra perfils
	3.8	Base nivelació

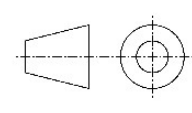

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	

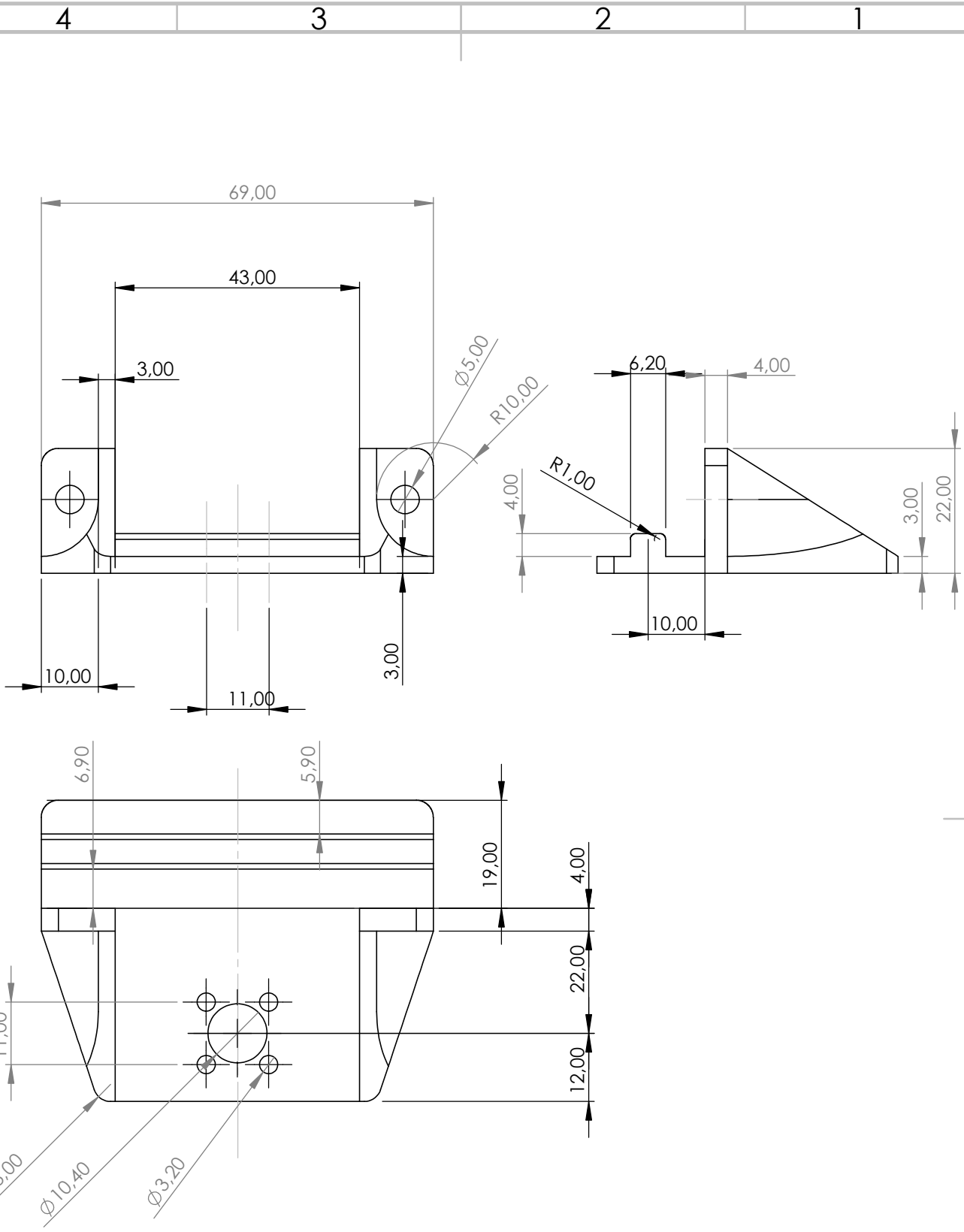


Escala:	3. Plataforma d'impressió	Nombre: 12/37	A3
1:3		Substituint a:	
		Substituit per:	

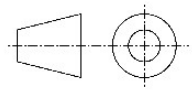


SECCIÓN A-A

	Fecha	Nom	Firmes		 Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata		
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren			
Escala:	3.2 Unió llit - eix 10mm			Nombre: 12/37	A4
1:1				Substituint a:	
				Substituit per:	



	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	

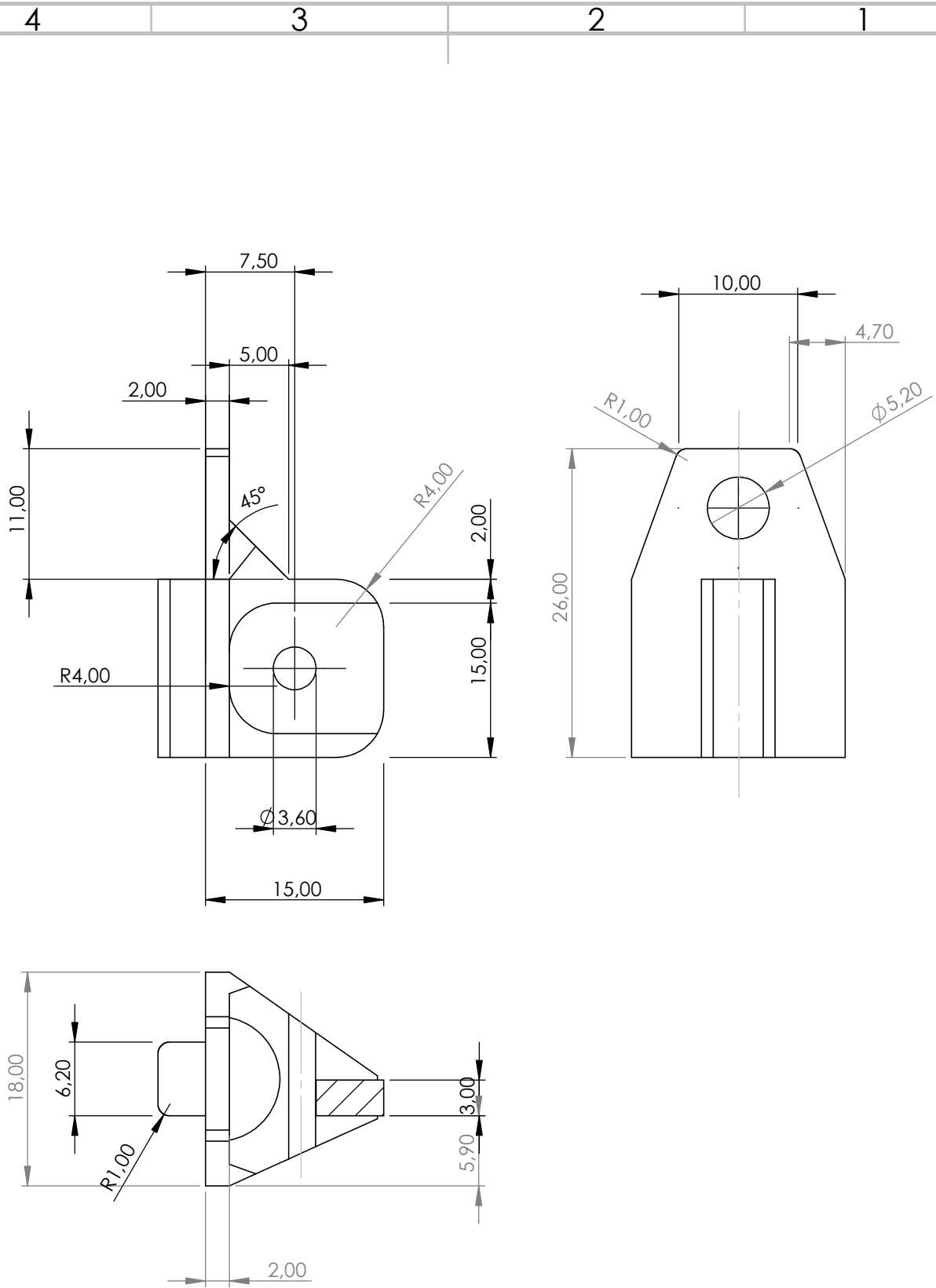



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

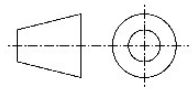
Escala:
1:1

3.5 Unió llit - eix roscat

Nombre: 14/37	A4
Substituint a:	
Substituit per:	



	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	

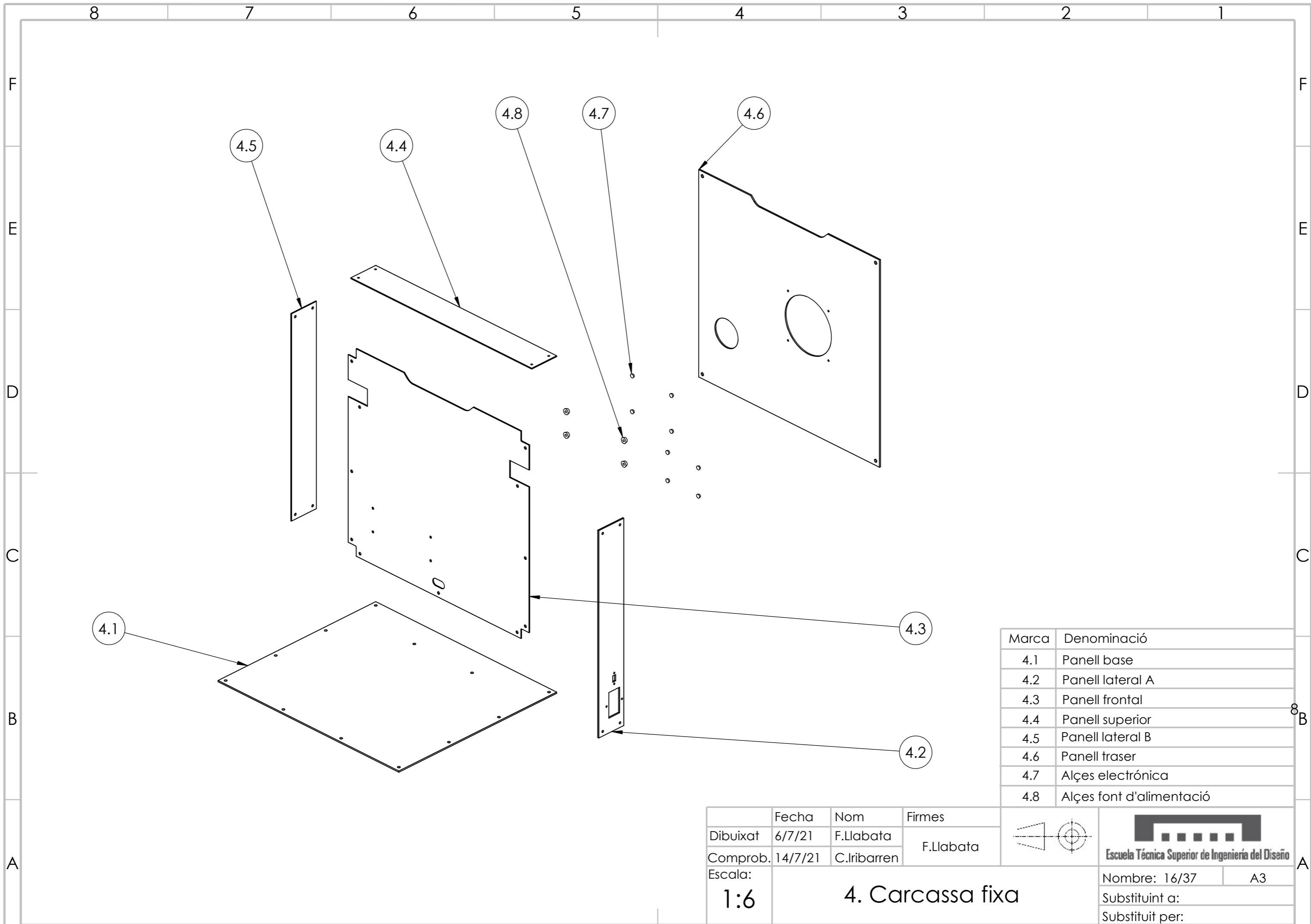



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Escala:
1:1

3.8 Base nivelació

Nombre: 15/37 A4
 Substituint a:
 Substituit per:

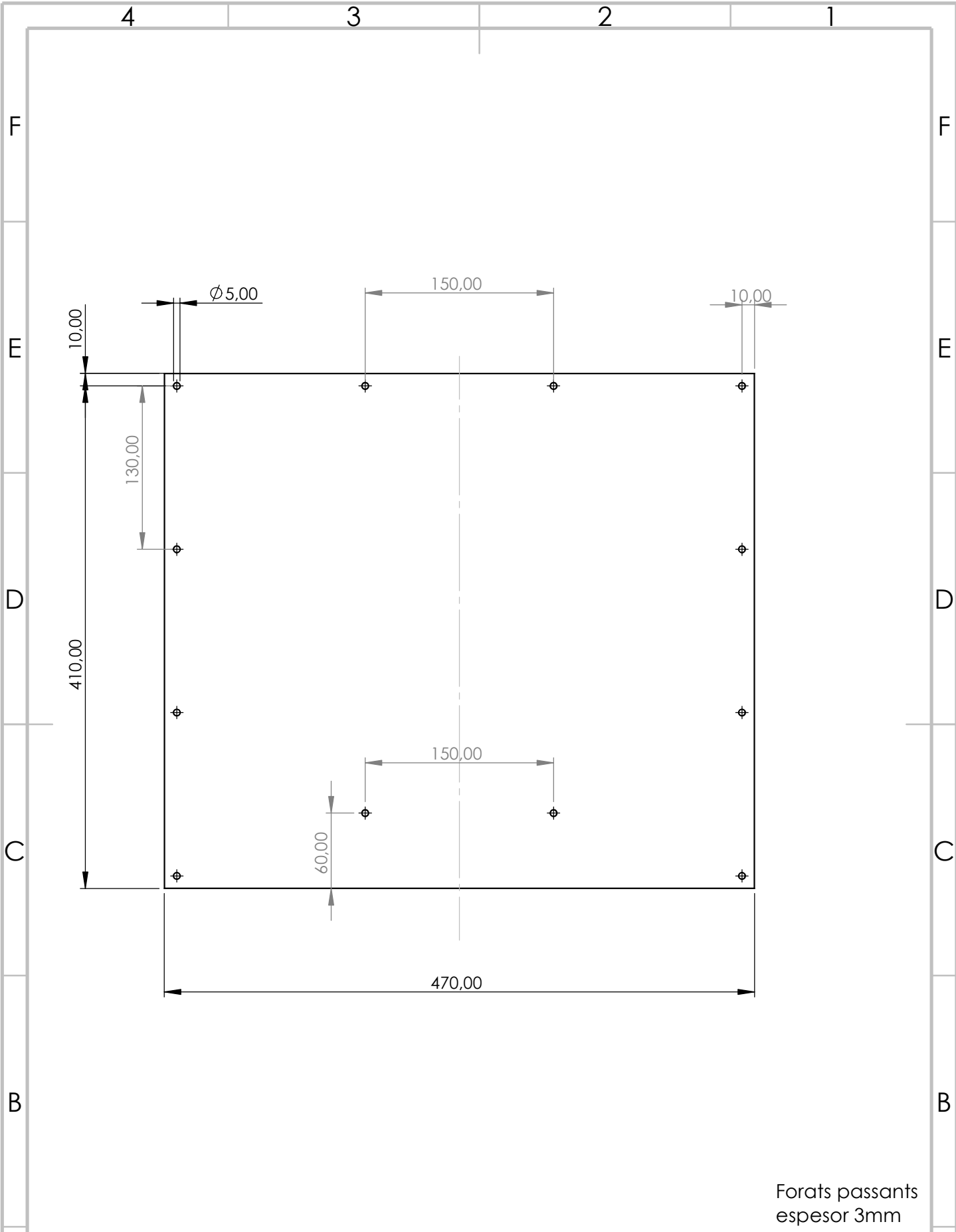


Marca	Denominació
4.1	Panell base
4.2	Panell lateral A
4.3	Panell frontal
4.4	Panell superior
4.5	Panell lateral B
4.6	Panell traser
4.7	Alçes electrònica
4.8	Alçes font d'alimentació

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	
Escala:	<h2 style="margin: 0;">4. Carcassa fixa</h2>		
1:6			

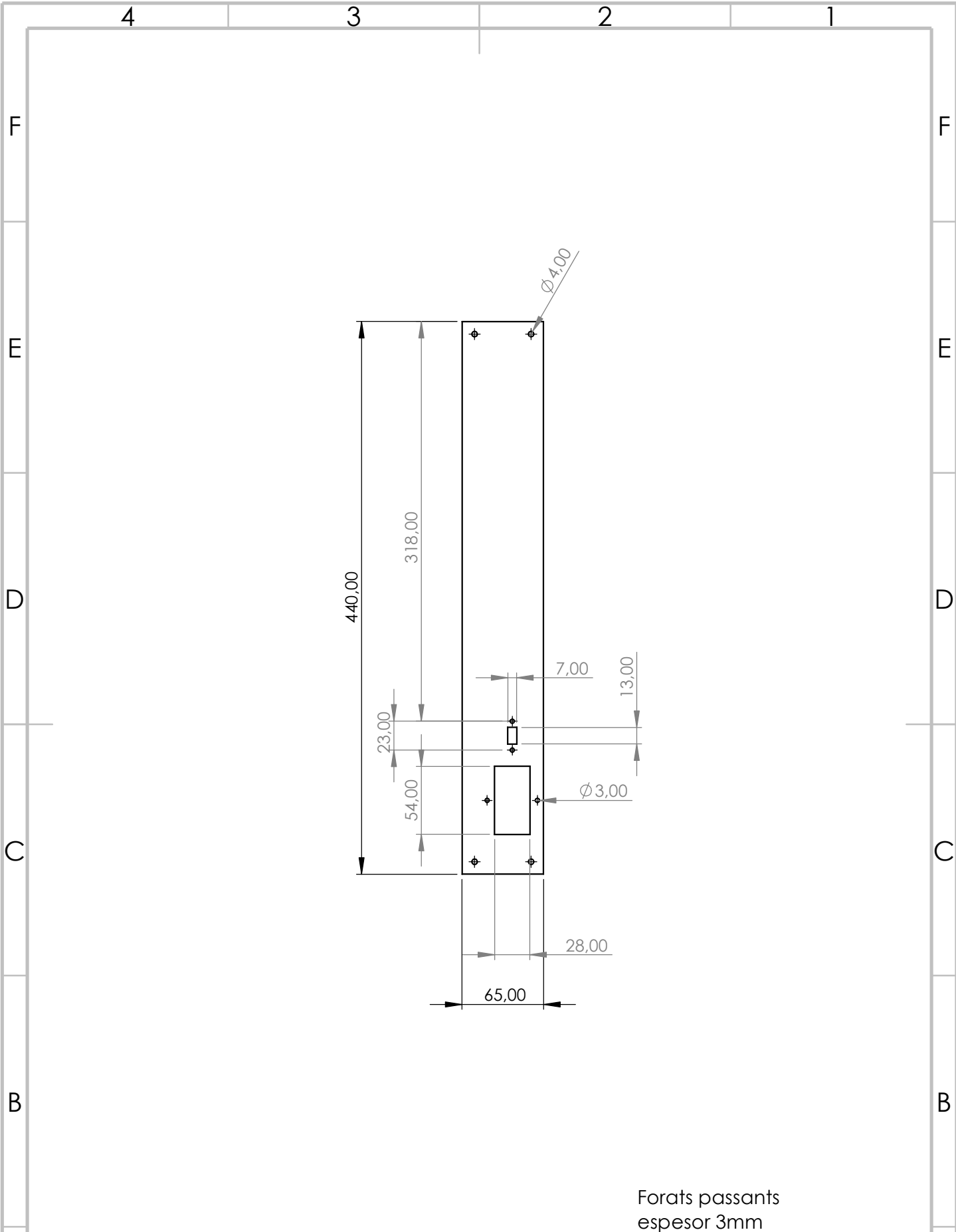
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Nombre: 16/37	A3
Substituint a:	
Substituit per:	



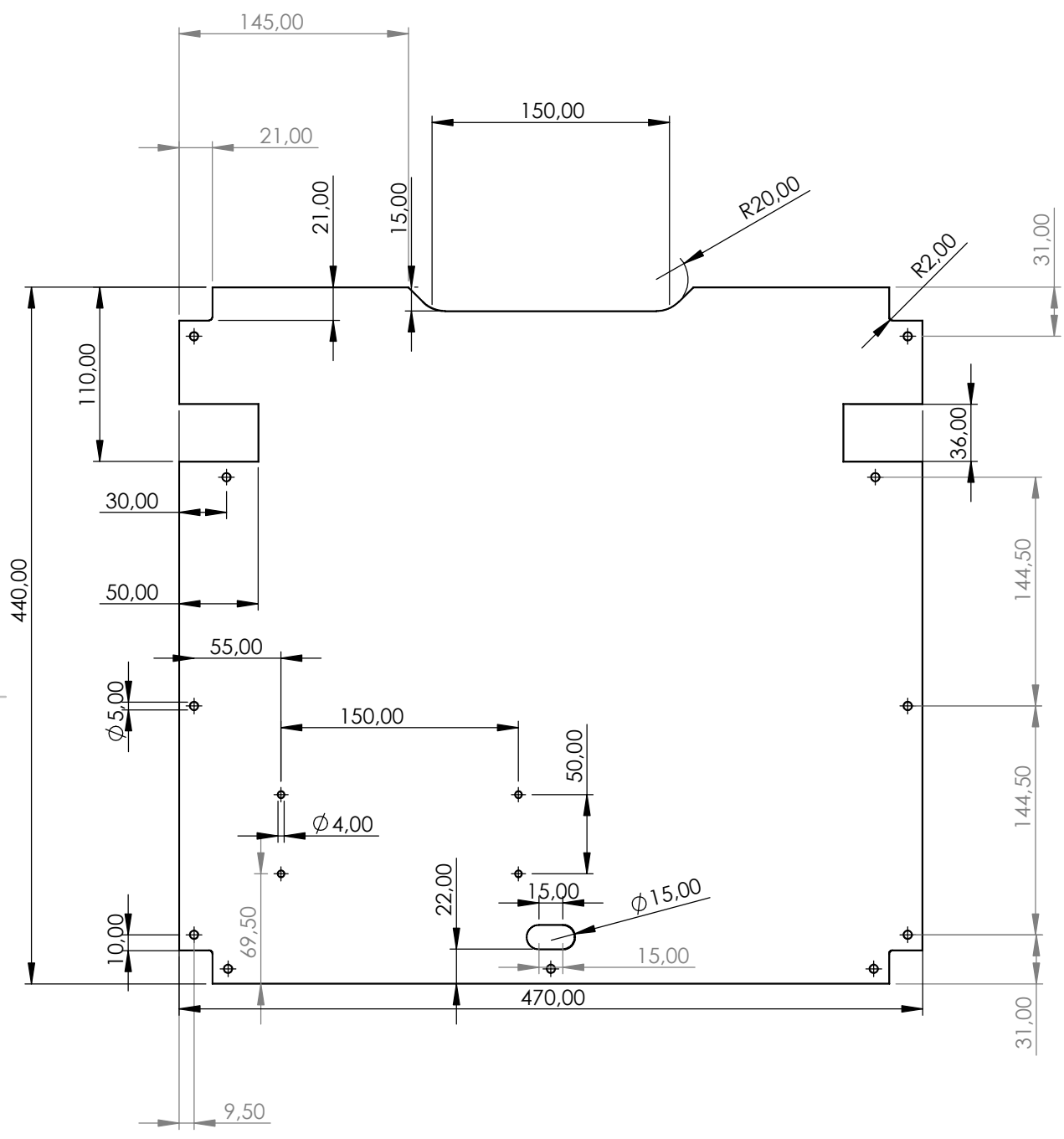
Forats passants
 espesor 3mm

A	Fecha	Nom	Firmes				
	Dibuixat	6/7/21	F.Llabata				F.Llabata
	Comprob.	14/7/21	C.Iribarren				
Escala:				Nombre: 17/37		A4	
1:4				4.1 panell base		Substituint a:	
						Substituit per:	



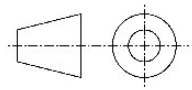
Forats passants
 espesor 3mm

A	Fecha	Nom	Firmes			
	Dibuixat	6/7/21	F.Llabata			F.Llabata
	Comprob.	14/7/21	C.Iribarren			
	Escala:	4.2 panell lateral A			Nombre: 18/37	A4
	1:4				Substituint a:	
					Substituit per:	



Forats passants
espesor 3mm

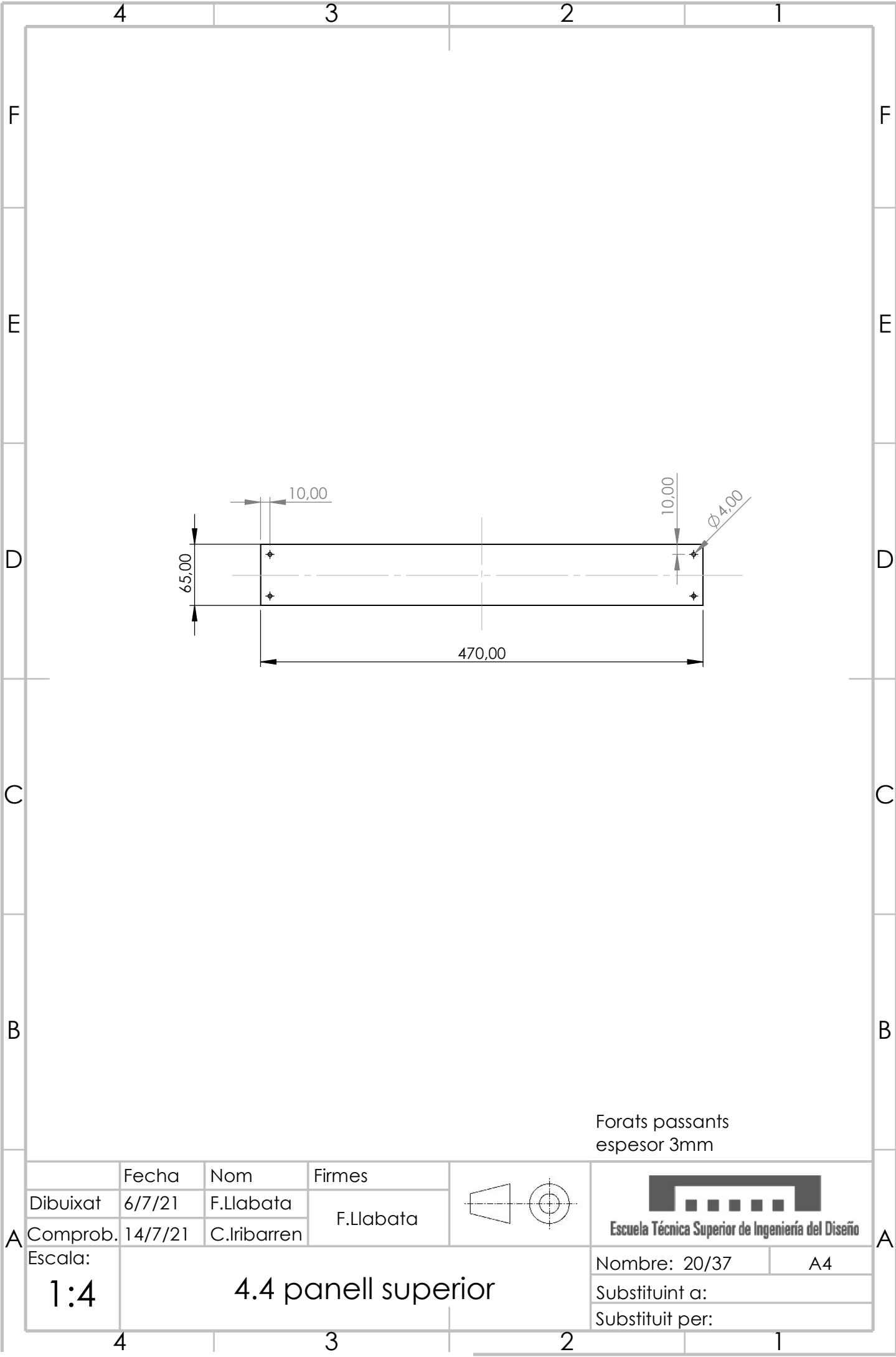
	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	



Escala:
1:4

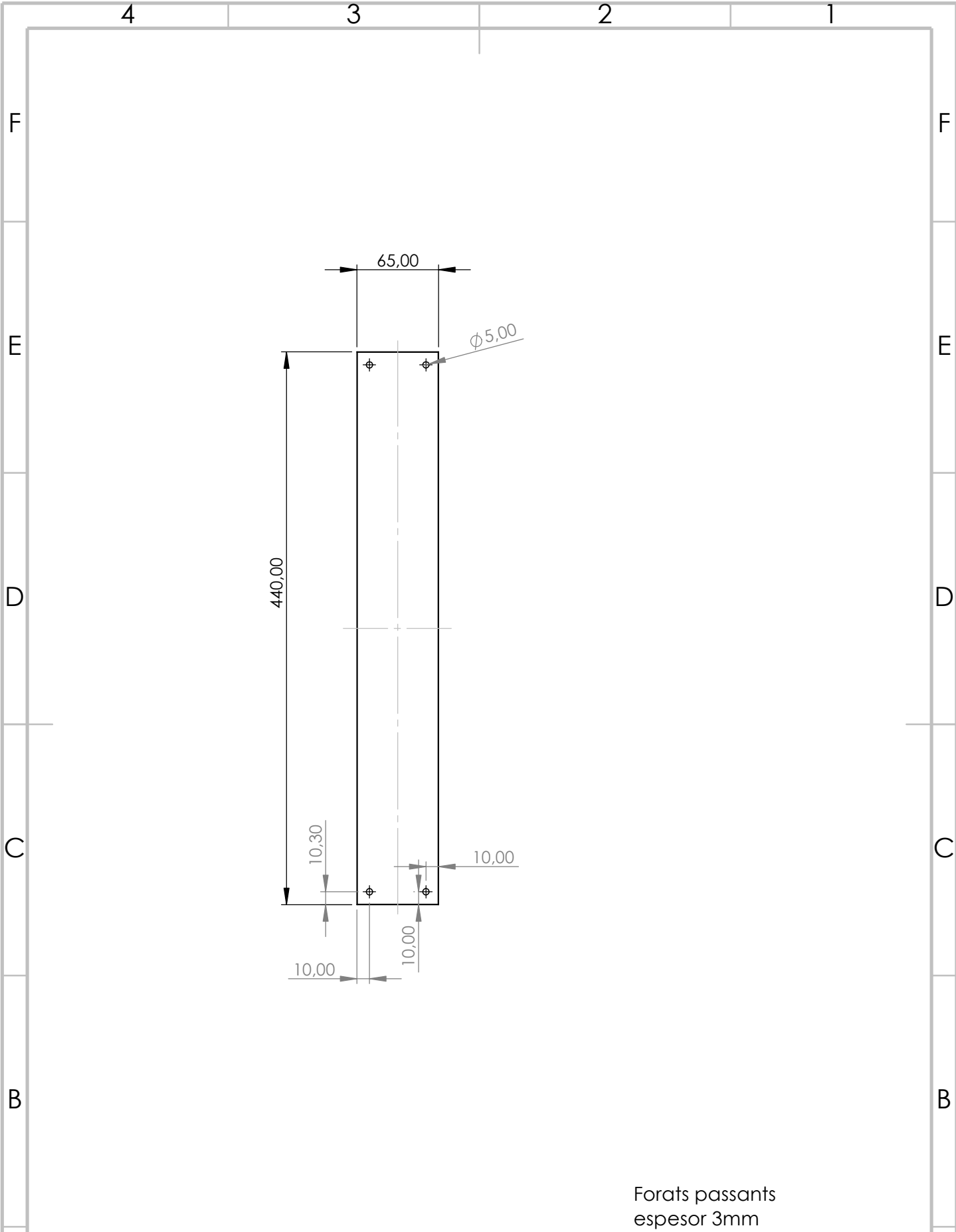
4.3 panell frontal

Nombre: 19/37 A4
 Substituint a:
 Substituit per:



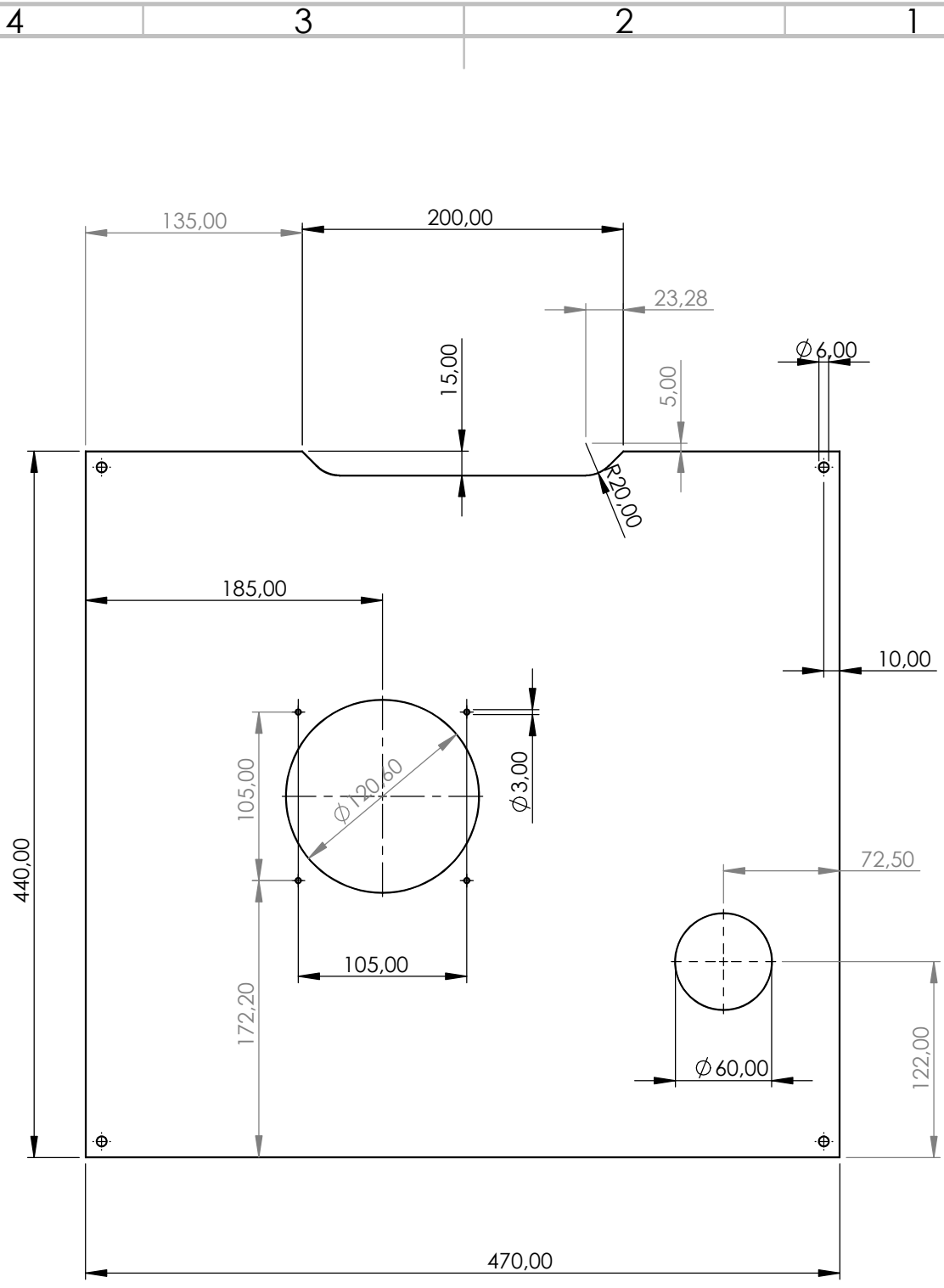
Forats passants
 espesor 3mm

	Fecha	Nom	Firmes		
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata		
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren			Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Nombre: 20/37 A4 Substituint a: Substituit per:
A	Escala: 1:4			4.4 panell superior	



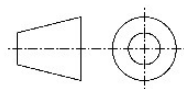
Forats passants
 espesor 3mm

	Fecha	Nom	Firmes		
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata		
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren			
Escala: 1:4	4.5 panell lateral B				Nombre: 21/37 A4 Substituint a: Substituit per:



Forats passants
espesor 3mm

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Escala:

1:4

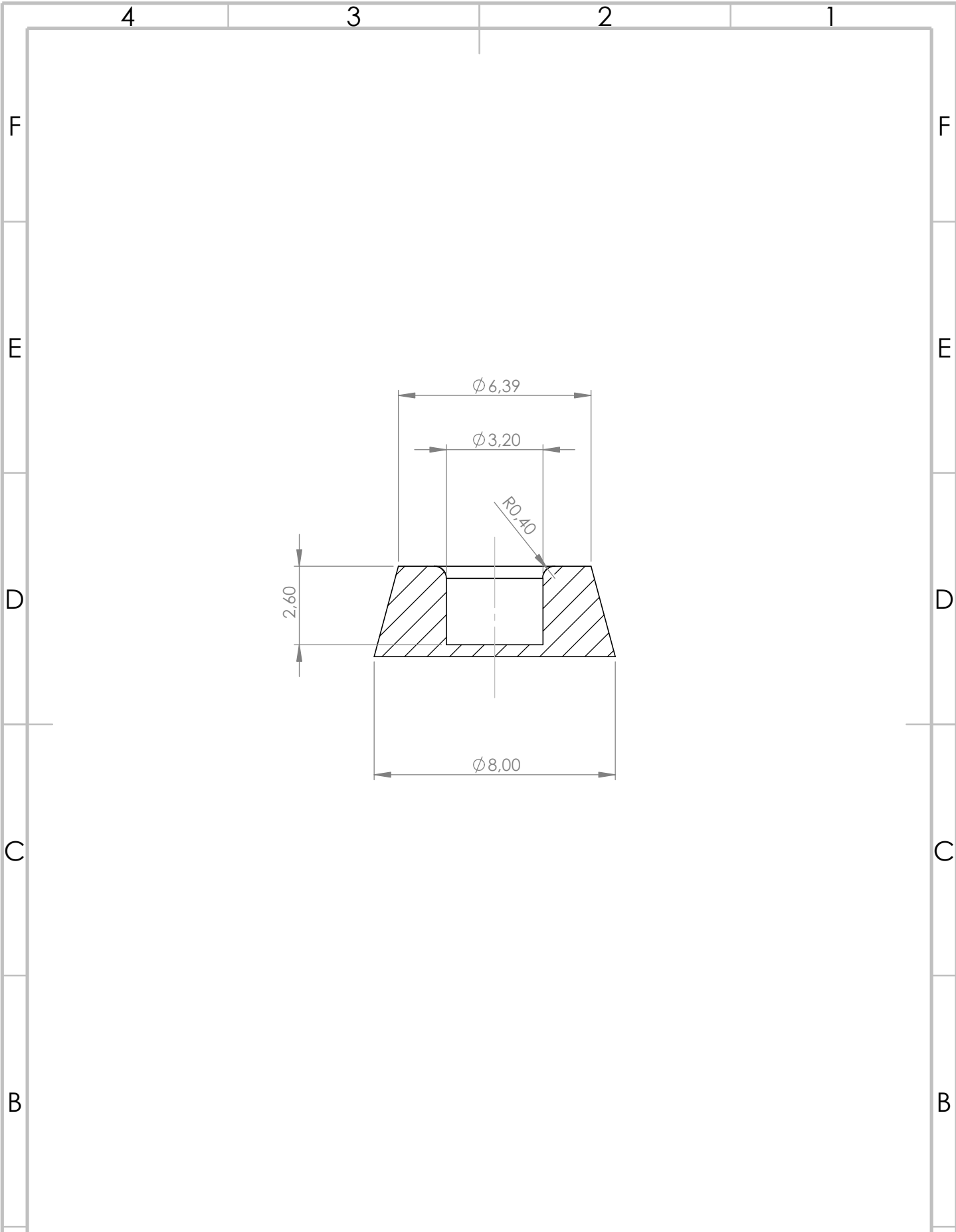
4.6 panell traser

Nombre: 22/37

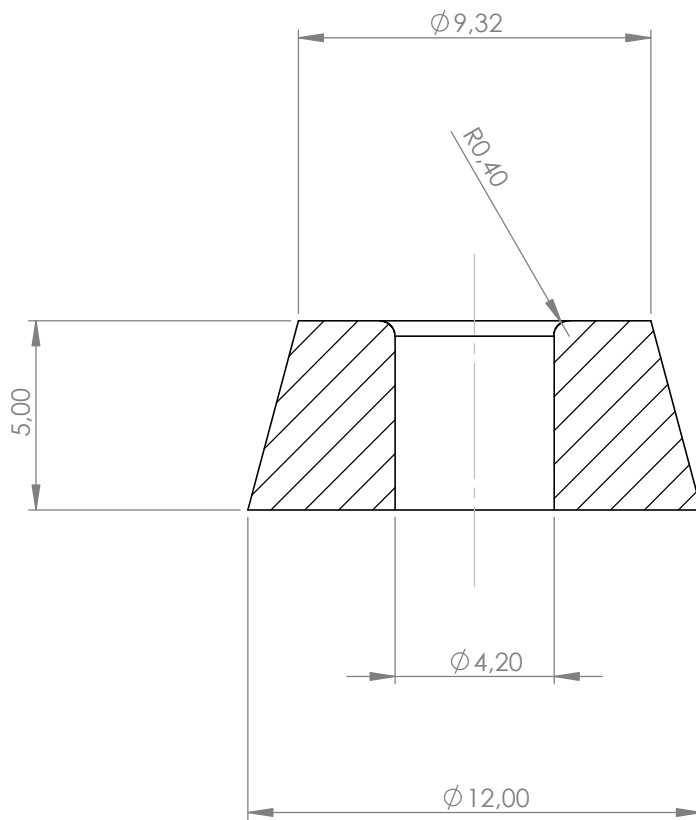
A4

Substituint a:

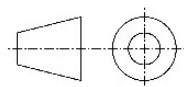
Substituit per:



	Fecha	Nom	Firmes		
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata		
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren		Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	
Escala: 6:1	4.7 Alçes electrónica			Nombre: 23/37	A4
				Substituint a:	
				Substituint per:	



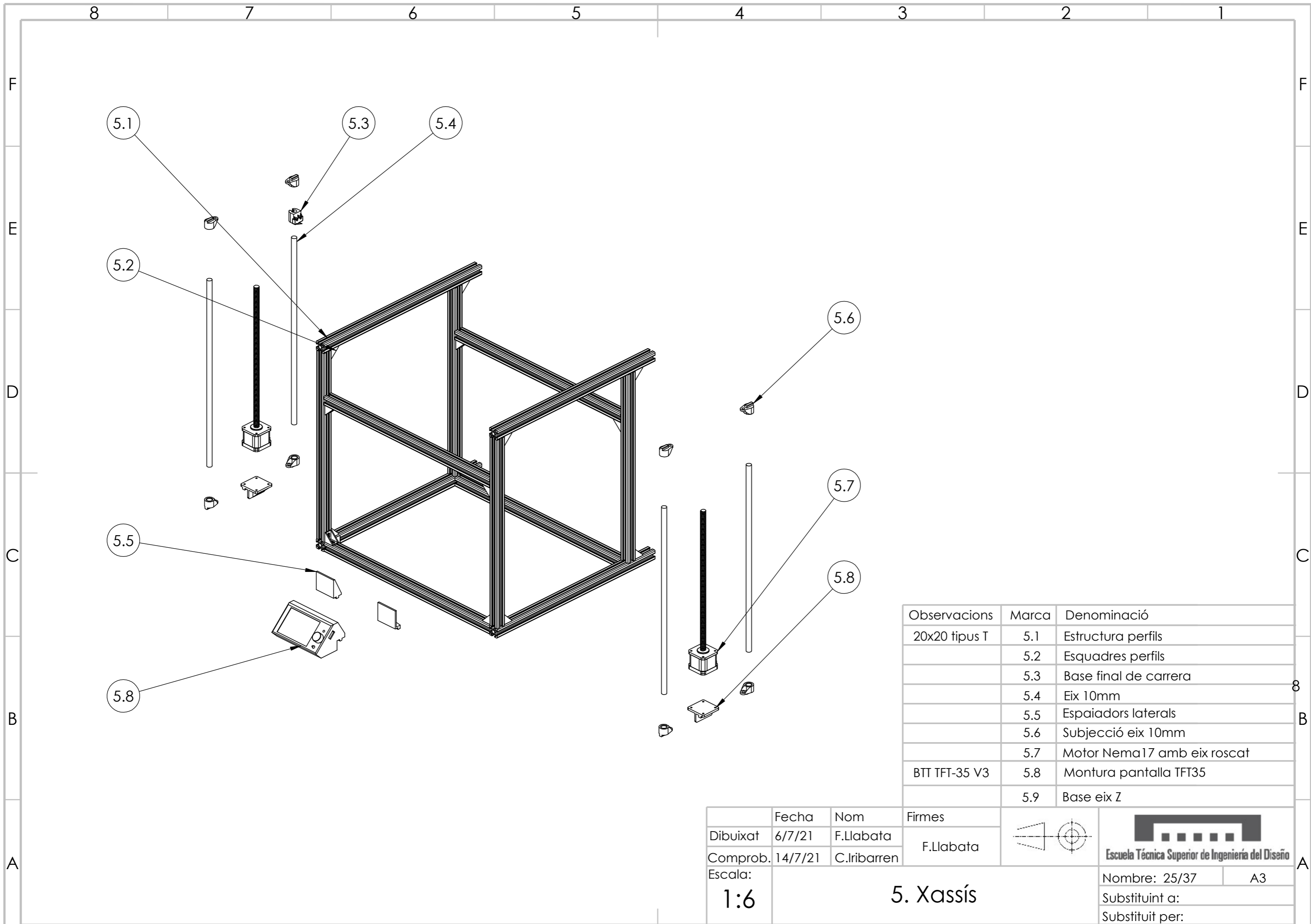
	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	



Escala:
6:1

4.8 Alçes font d'alimentació

Nombre: 24/37 A4
 Substituint a:
 Substituit per:



Observacions	Marca	Denominació
20x20 tipus T	5.1	Estructura perfils
	5.2	Esquadres perfils
	5.3	Base final de carrera
	5.4	Eix 10mm
	5.5	Espaiadors laterals
	5.6	Subjecció eix 10mm
	5.7	Motor Nema17 amb eix roscat
BTT TFT-35 V3	5.8	Montura pantalla TFT35
	5.9	Base eix Z

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	
Escala:	5. Xassís		
1:6			

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Nombre: 25/37	A3
Substituint a:	
Substituit per:	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

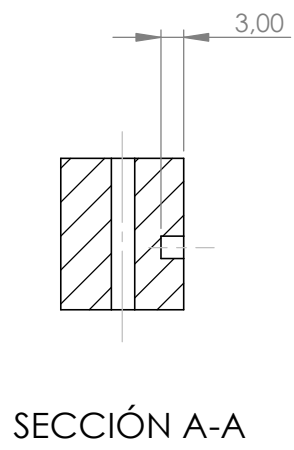
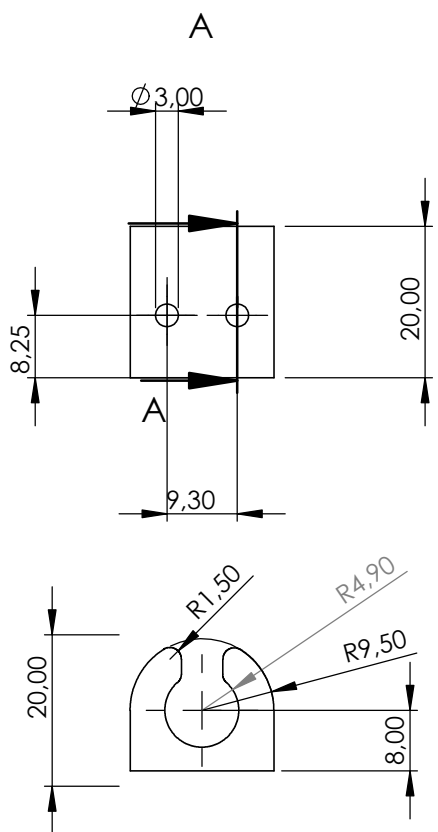
D

C

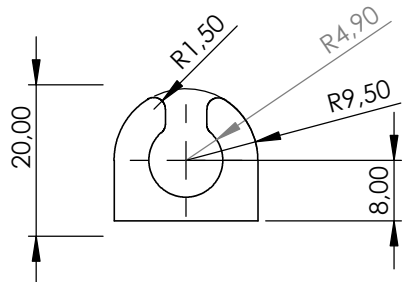
C

B

B



SECCIÓN A-A



A

A

	Fecha	Nom	Firmes	
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata	
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren		



Nombre: 26/37		A4
Substituint a:		
Substituit per:		

Escala: 1:1	5.3 Base final de carrera
-----------------------	----------------------------------

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

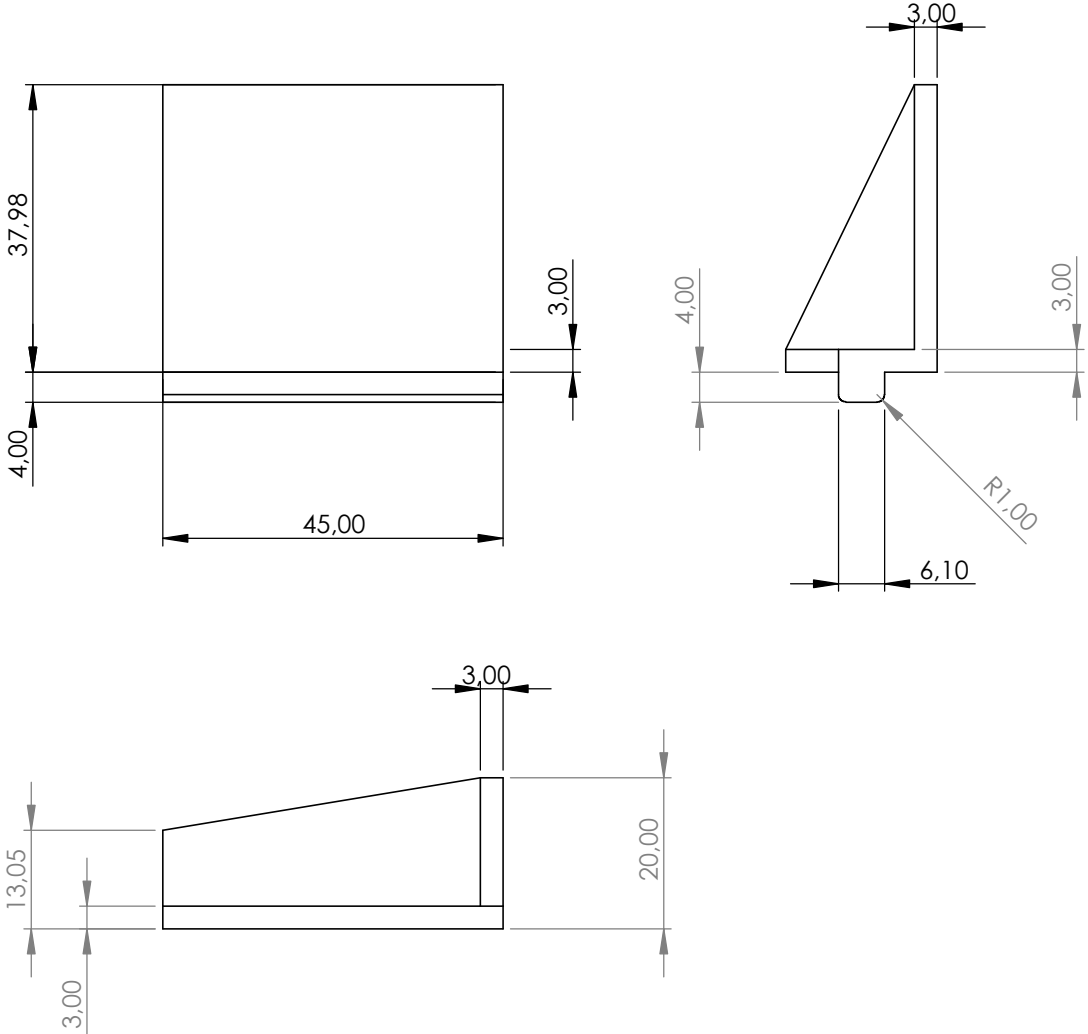
D

C

C

B

B



A

A

	Fecha	Nom	Firmes	
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata	
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren		

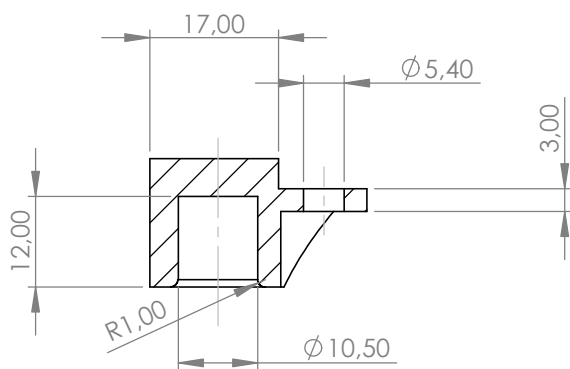
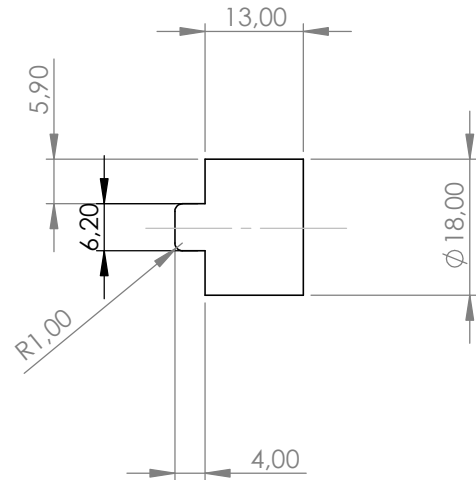
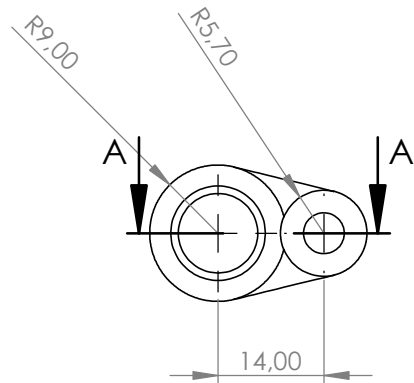


Escala:
1:1

5.5 Espaiadors laterals

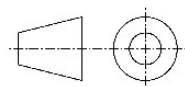
Nombre: 27/37 A4
 Substituint a:
 Substituit per:

4 3 2 1



SECCIÓN A-A

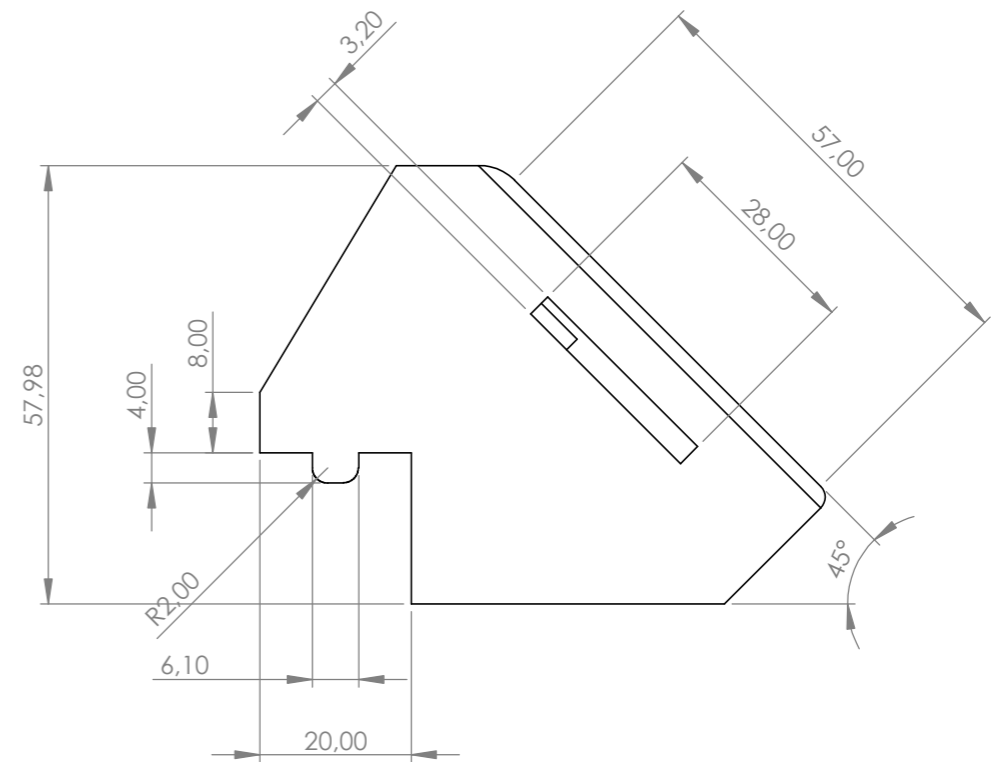
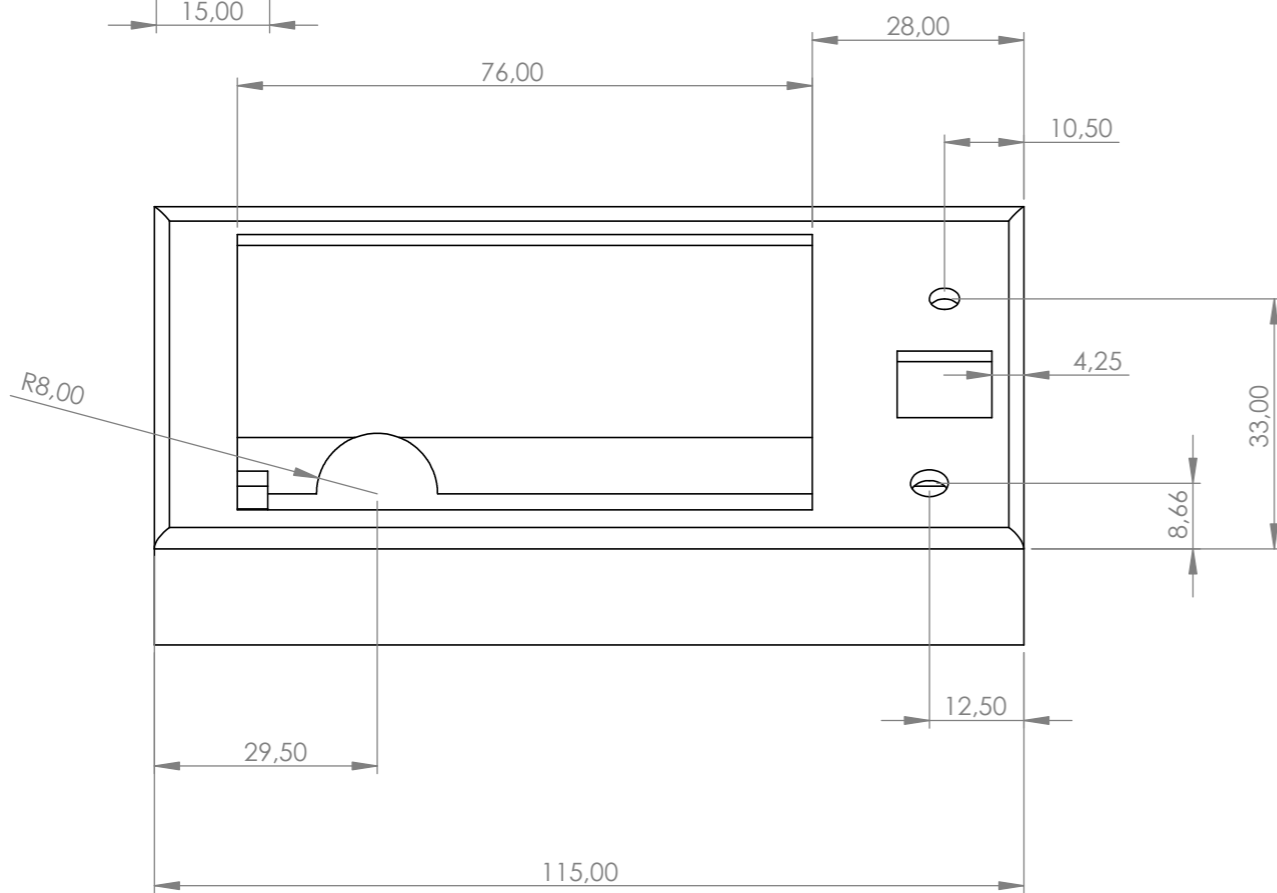
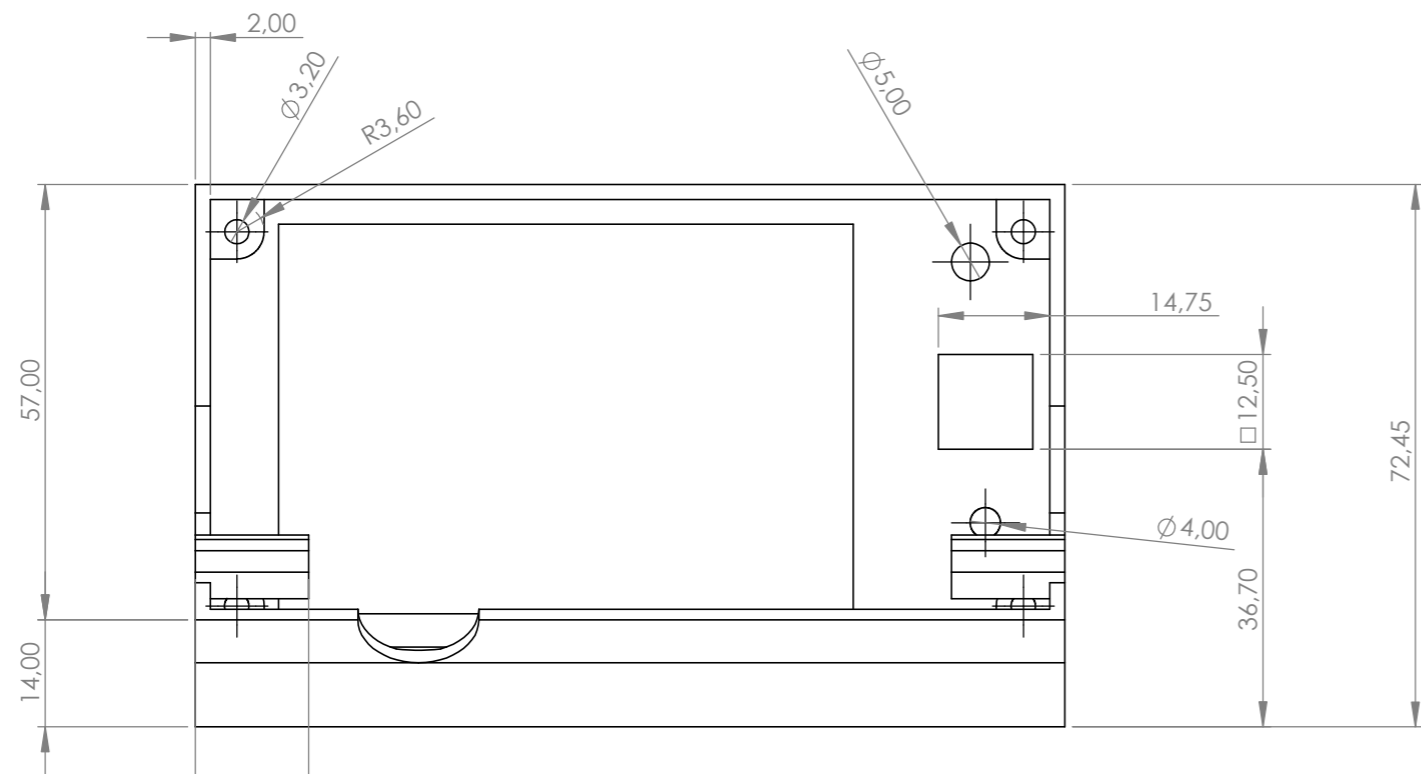
	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	



Escala:
1:1

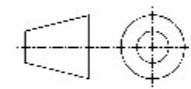
5.6 Subjecció eix 10mm

Nombre: 28/37 A4
 Substituint a:
 Substituit per:



Forats cilíndrics passants

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	



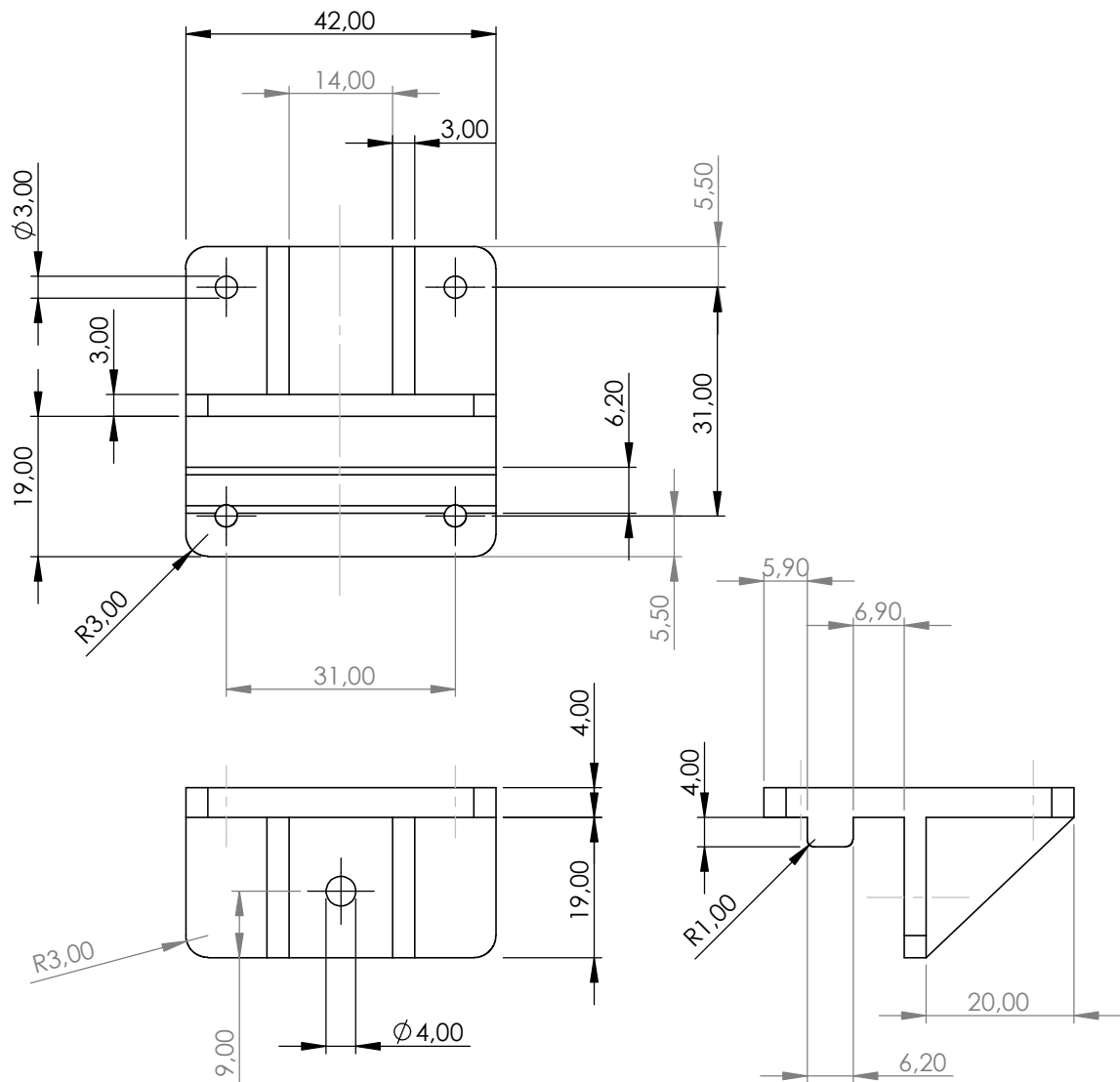
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Escala:
1:1 5.8 Montura pantalla TFT 35

Nombre: 29/37 A3

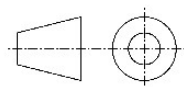
Substituint a:

Substituit per:



Forats cilíndrics passants

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	



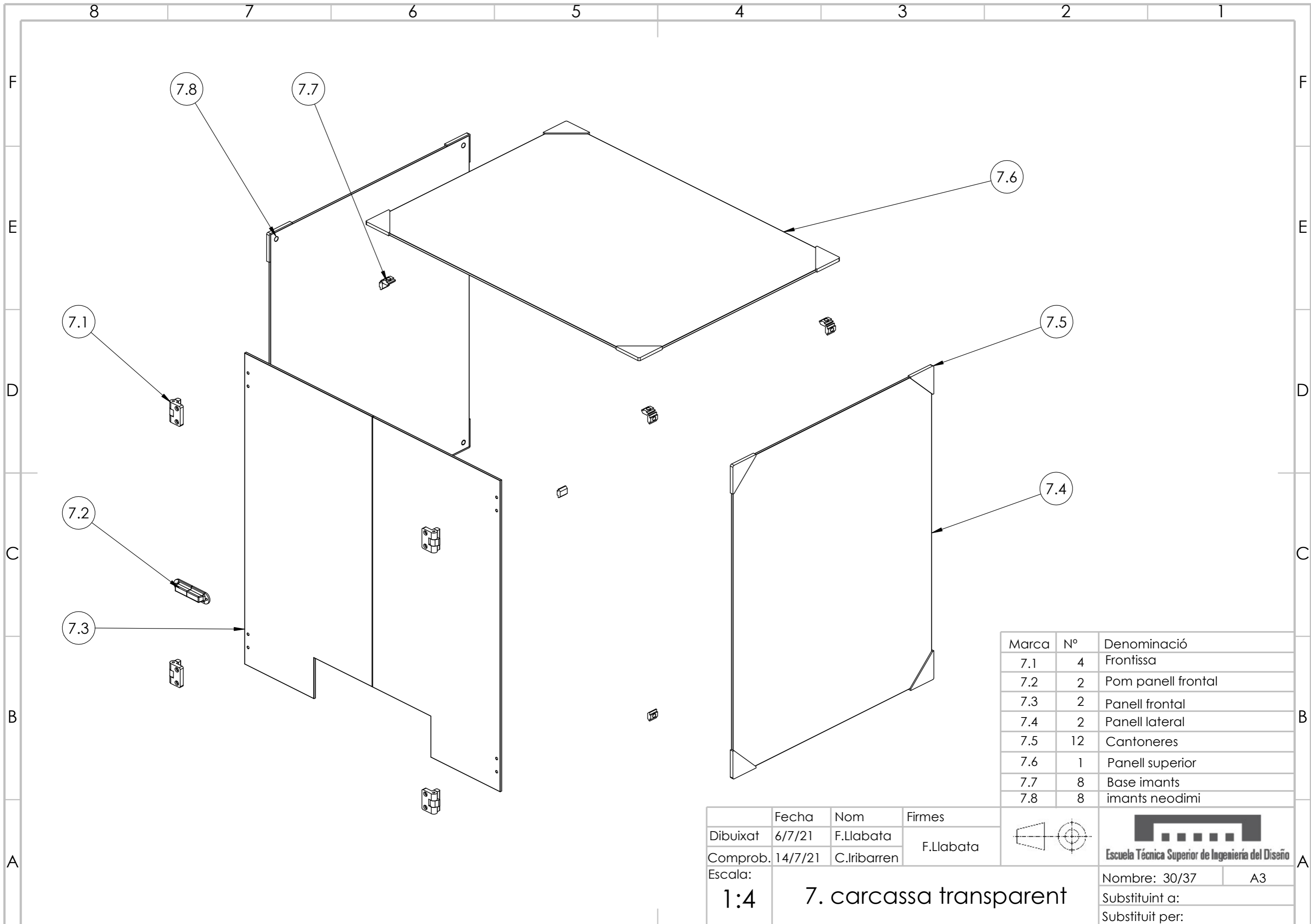
Nombre: 30/37 A4

Substituint a:

Substituit per:

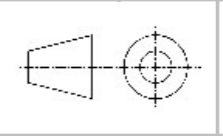
Escala:
1:1

5.9 Base eix Z

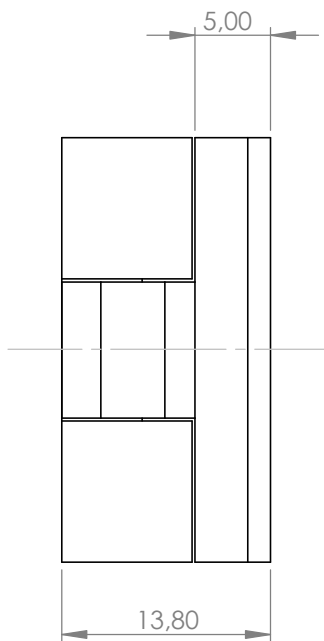
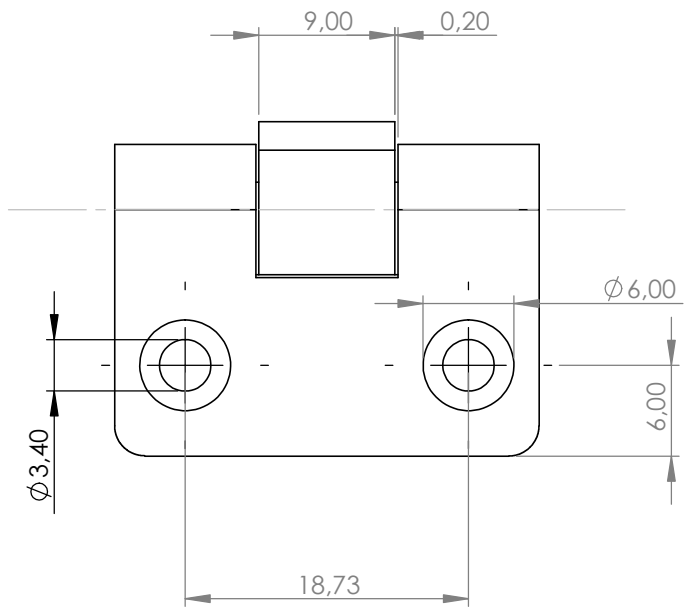
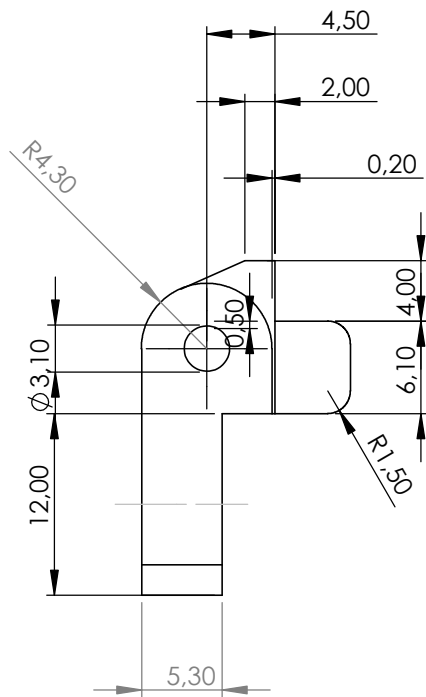


Marca	Nº	Denominació
7.1	4	Frontissa
7.2	2	Pom panell frontal
7.3	2	Panell frontal
7.4	2	Panell lateral
7.5	12	Cantoneres
7.6	1	Panell superior
7.7	8	Base imants
7.8	8	imants neodimi

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	

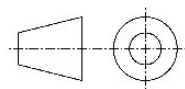


Escala:	7. carcassa transparent	Nombre: 30/37	A3
1:4		Substituint a:	
		Substituit per:	



Forats cilíndrics passants

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	



Escala:

1:1

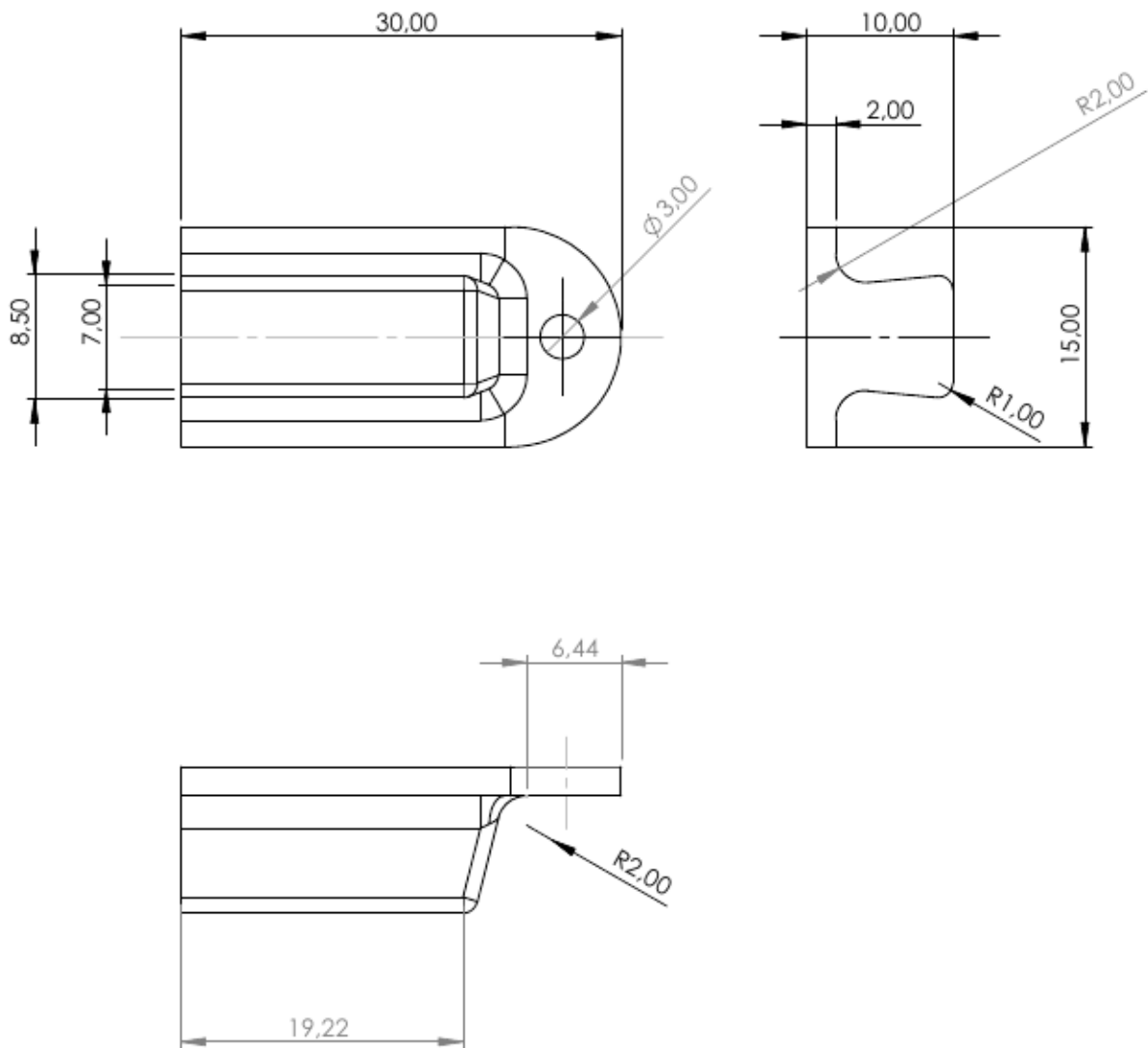
7.1 Frontissa

Nombre: 31/37

A4

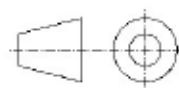
Substituint a:

Substituit per:



Forats cilíndrics passants

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	



Escala:

1:1

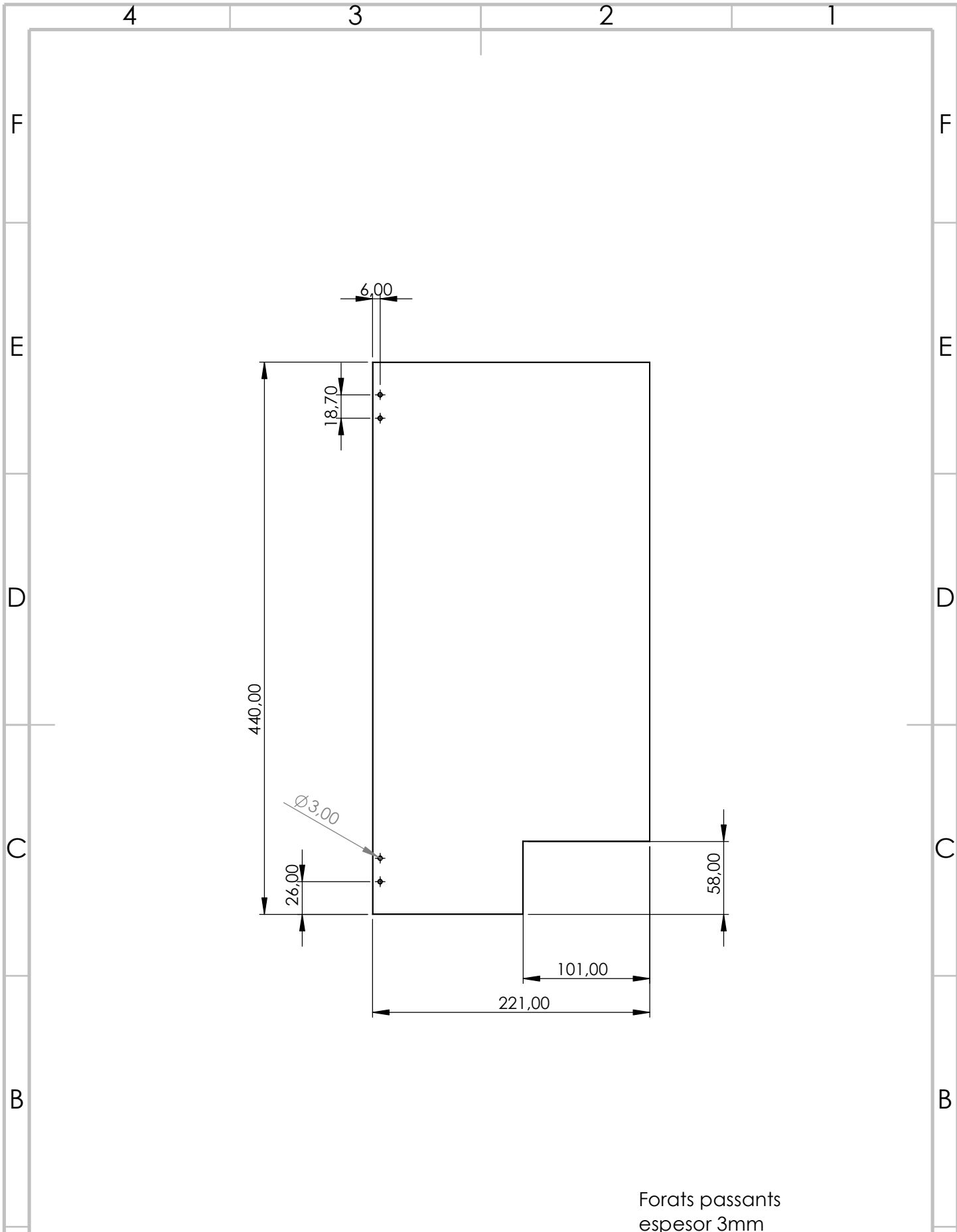
7.2 Pom panell frontal

Nombre: 32/37

A4

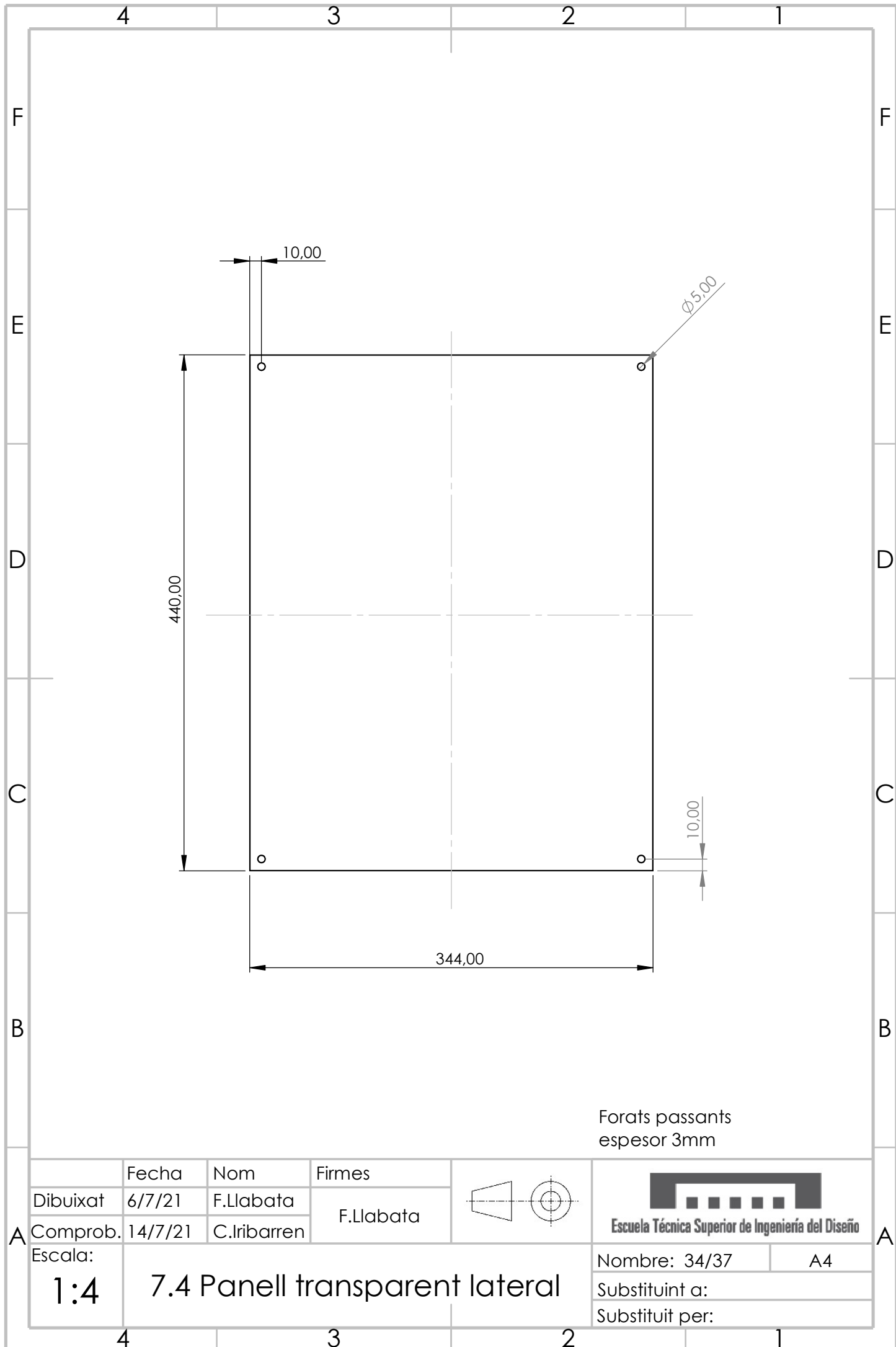
Substituint a:

Substituit per:



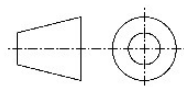
Forats passants
espesor 3mm

	Fecha	Nom	Firmes		
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata		
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren			Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Escala:	1:4			Nombre: 33/37	
	7.3 Panell transparent frontal			A4	
				Substituint a:	
				Substituit per:	



Forats passants
 espesor 3mm

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Escala:

1:4

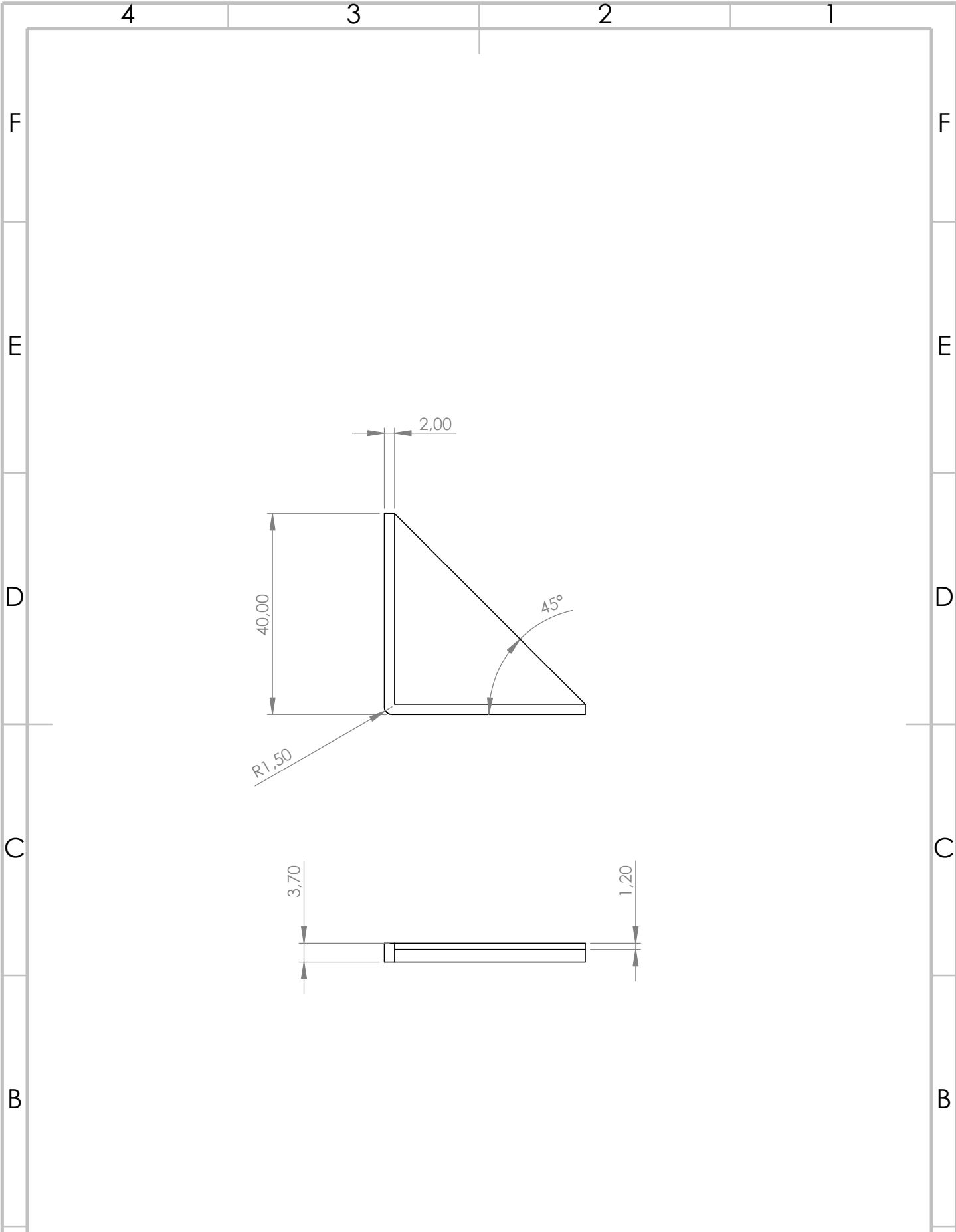
7.4 Panell transparent lateral

Nombre: 34/37

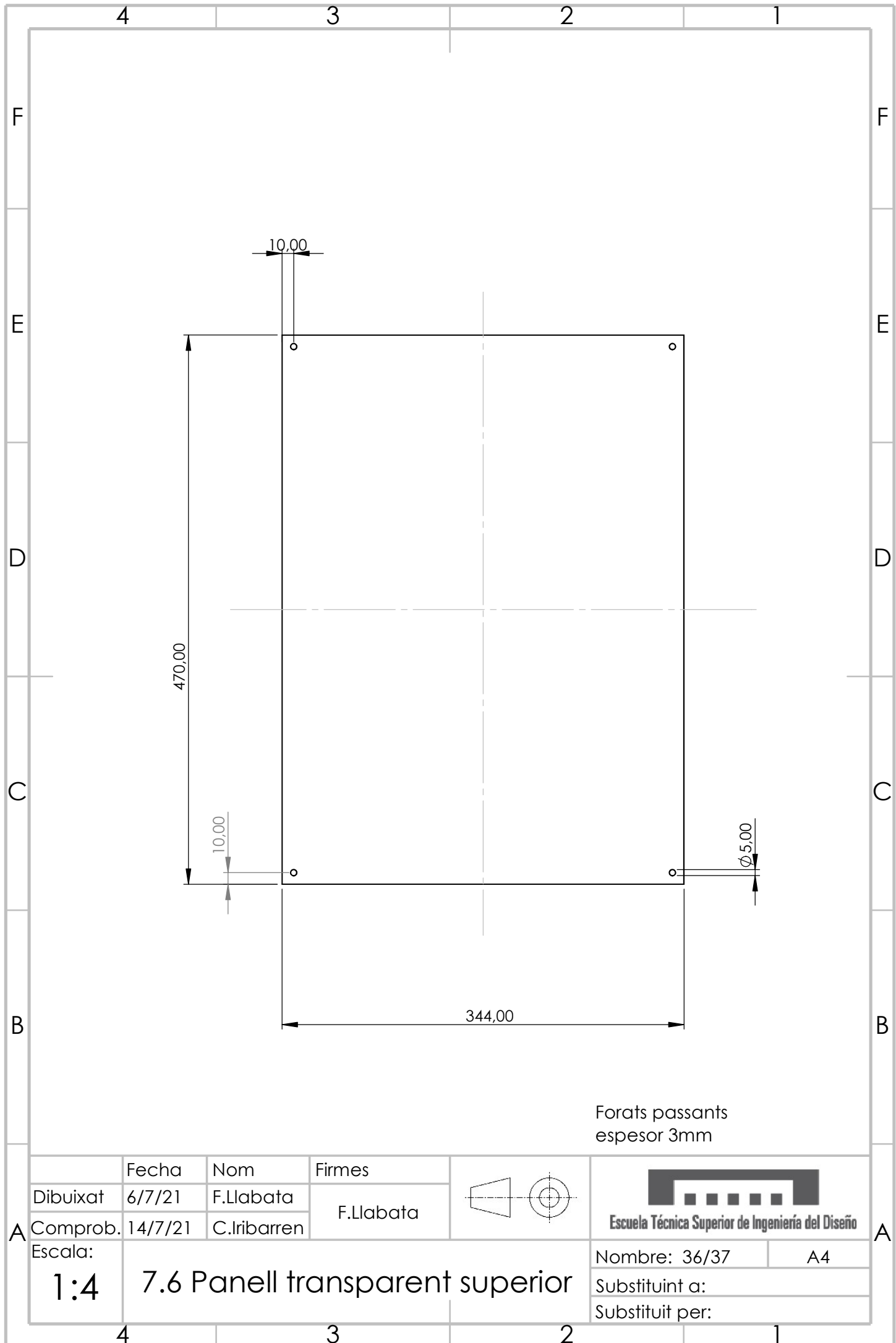
A4

Substituint a:

Substituit per:

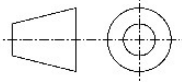


	Fecha	Nom	Firmes		
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata		
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren		Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	
Escala:	<h1>7.5 Cantoneres</h1>			Nombre: 35/37 A4	
<h1>1:1</h1>				Substituint a:	
				Substituit per:	



Forats passants
 espesor 3mm

	Fecha	Nom	Firmes
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren	



Escala:

1:4

7.6 Panell transparent superior

Nombre: 36/37	A4
Substituint a:	
Substituit per:	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

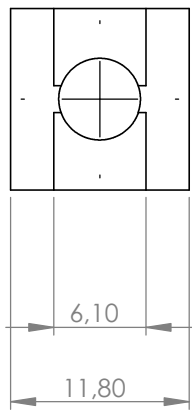
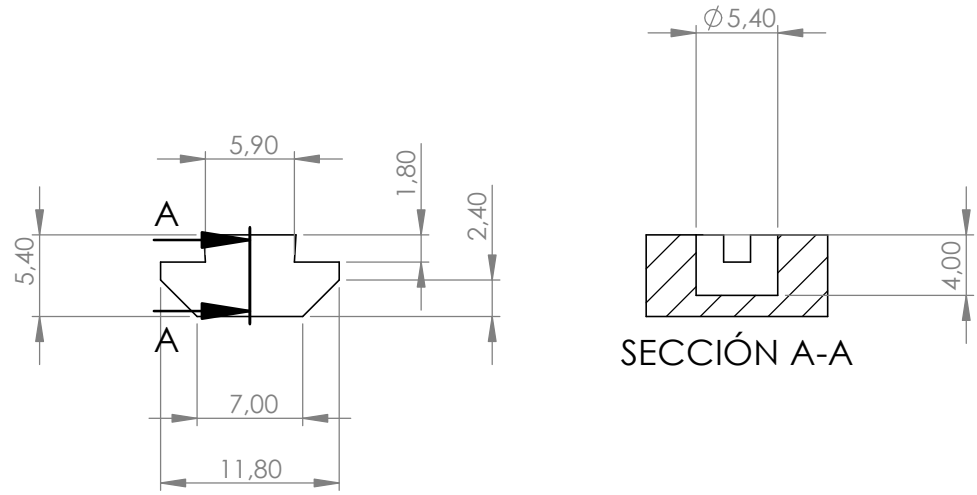
D

C

C

B

B



Forats passants
espesor 3mm

A

A

	Fecha	Nom	Firmes	
Dibuixat	6/7/21	F.Llabata	F.Llabata	
Comprob.	14/7/21	C.Iribarren		



Escala:
2:1

7.7 Bases imants

Nombre: 37/37 A4

Substituït a:

Substituït per:

4 3 2 1

___PLEC DE CONDICIONS___

Índex de figures

Figura 1: Diagrama de la relació entre la temperatura d'impressió i l'adherència entre capes en PLA	13
Figura 2: Seccions transversals a microscopi de diferents altures de capa.	13
Figura 3: Diagrama de la relació entre la càrrega de ruptura de diferents ganxos impresos en PLA amb 0.4mm de grosor de línia i l'altura de les seues capes	14
Figura 4: Diagrama de la relació entre el patró de farciment i la càrrega de ruptura a compressió de diferents cubs de PLA	15
Figura 5: Diferents percentatges o densitats de farciment	16
Figura 6: Diagrames de la relació entre la densitat del farciment i la resistència tensil i d'impacte (respectivament) en peces d'impressió FDM de ABS	16
Figura 7: Exemple d'ús de material de suport	17
Figura 8: Configuració de referència	18
Figura 9: Estructura plataforma d'impressió	22
Figura 10: Plataforma d'impressió	22
Figura 11: Xassís i acoblament plataforma d'impressió	23
Figura 12: Carcassa fixa	24
Figura 13: Acoblament eixos Y i motors Δ	24
Figura 14: Eixos XY i motors Δ	25
Figura 15: Recorregut coretges	25
Figura 16: Distribució components elèctrics - electrònics	26
Figura 17: Esquema connexions	26
Figura 18: Impressora acoblada sense carcasses transparent (oberta)	27
Figura 19: Imants cantoneres i bases per als imants del xassís	27
Figura 20: Impressora completada amb xassís transparent i panells modulars retirables	28
Figura 21: Índex perfils xassís	32
Figura 22: Índex panells opacs	34
Figura 23: Índex panells transparents	35

Índex de taules

Taula 1: Informació tècnica PLA	6
Taula 2: Informació tècnica ABS	7
Taula 3: Informació tècnica ASA	8
Taula 4: Informació tècnica PA12+CF15	9
Taula 5: Informació tècnica alumini AW-6063	10
Taula 6: Informació tècnica metacrilat	11
Taula 7: Perfils i eixos	19
Taula 8: Peces ja fabricades	20
Taula 9: Mesures dels perfils per a un volum d'impressió de 280x240x230	23
Taula 10: Dimensions perfils	32
Taula 11: Dimensions generals panells opacs	35
Taula 12: Dimensions generals panells transparents	35

1. Objecte

L'objecte del següent projecte és el disseny íntegre d'una impressora 3D FDM modular i de codi obert que permet als seus usuaris tant modificar tots els seus components com la seua programació per tal d'adaptar-la a les seues necessitats o actualitzar-la per si mateixos.

Per a això es realitzarà una anàlisi d'antecedents, de normativa relacionada amb el producte, i dels factors mecànics, elèctrics, i de programació a considerar, així com de les possibles alternatives per a cada decisió de disseny, justificant d'aquesta manera el producte final.

El present document es tracta del plec de condicions d'aquest projecte. Es procedeix a enunciar la normativa a tenir en compte relacionada amb el producte, condicions i especificacions tècniques i les proves i assajos que procedeixen.

En cas d'incongruència documental preval el que s'indique en aquest plec.

2. Normes de caràcter general

Per complir amb l'objectiu del projecte serà necessari tenir en compte les normatives de seguretat i disseny d'aquest tipus de productes aplicats a màquines d'impressió 3D de sobretaula.

2.1. Normativa del producte

UNE-EN ISO/ASTM 52903:

- AENOR (2021). *Fabricación aditiva. Fabricación aditiva de materiales plásticos basada en extrusión de materiales. Parte 2: Equipo de proceso.* (ISO/ASTM 52903-2:2020). Madrid: AENOR.

UNE-CEN/TR/ISO/ASTM 52912:

- AENOR (2020). *Fabricación aditiva. Diseño. Fabricación aditiva con gradiente funcional.* ISO/ASTM/TR 52912:2020 (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en noviembre de 2020). Madrid: AENOR (2020)

UNE-EN ISO/ASTM 52902:

- AENOR (2020). *Fabricación aditiva. Artefactos de ensayo. Evaluación de la capacidad geométrica de los sistemas de fabricación aditiva.* (ISO/ASTM 52902:2019) Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO/ASTM 52910:

- AENOR (2020). *Fabricación aditiva. Diseño. Requisitos, directrices y recomendaciones* (ISO/ASTM 52910:2018) Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO/ASTM 52901:

- AENOR (2019). *Fabricación aditiva. Principios generales. Requisitos para la compra de piezas AM.* (ISO/ASTM 52901:2017). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO/ASTM 52900:

- AENOR (2017). *Fabricación aditiva. Principios generales. Terminología.* (ISO/ASTM 52900:2015). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO/ASTM 52921:

- AENOR (2017). *Terminología normalizada para la fabricación aditiva. Sistemas de coordenadas y métodos de ensayo.* (ISO/ASTM 52921:2013). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO 17296:

- AENOR (2017). *Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 2: Visión general de categorías de procesos y de materias primas.* (ISO 17296-2:2015). Madrid: AENOR.
- AENOR (2017). *Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 3: Características principales y métodos de ensayo correspondientes.* (ISO 17296-3:2014). Madrid: AENOR.
- AENOR (2017). *Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 4: Visión general del intercambio de datos.* (ISO 17296-4:2014). Madrid: AENOR.

UNE-EN IEC 61204:

- AENOR (2002). *Dispositivos de alimentación de baja tensión de salida en corriente continua. Características de funcionamiento.* (UNE-EN 61204/A1:2002). Madrid: AENOR.
- AENOR (2001). *Fuentes de alimentación de baja tensión de salida en corriente continua. Parte 6: Requisitos para las fuentes de alimentación de baja tensión de calidad asegurada.* (UNE-EN 61204-6:2001). Madrid: AENOR.
- AENOR (2018). *Fuentes de alimentación conmutadas de baja tensión. Parte 7: Requisitos de seguridad.* (UNE-EN IEC 61204-7:2018 (Ratificada)). Madrid: AENOR.

UNE-EN 50525:

- AENOR (2012). *Cables eléctricos de baja tensión. Cables de tensión asignada inferior o igual a 450/750 V (U₀/U). Parte 2-11: Cables de utilización general. Cables flexibles con aislamiento termoplástico (PVC).* (UNE-EN 50525-2-11:2012). Madrid: AENOR.
- AENOR (2015). *Cables eléctricos. Guía para la utilización de cables de tensión asignada no superior a 450/750 V (U₀/U). Parte 2: Guía específica relativa a los tipos de cables de la norma EN 50525.* (UNE-EN 50525-2-11:2012) Madrid: AENOR.

2.2. Normativa dels materials

UNE-EN ISO 19062-1:2016:

- AENOR (2020). *Plásticos. Materiales de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) para moldeo y extrusión. Parte 1: Sistema de designación y bases para las especificaciones.* (ISO 19062-1:2015). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO 19062-2:2020:

- AENOR (2020). *Plásticos. Materiales de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) para moldeo y extrusión. Parte 2: Preparación de probetas y determinación de propiedades.* Madrid: AENOR.

UNE-EN 12020-1:2009:

- AENOR (2013). *Aluminio y aleaciones de aluminio. Perfiles extruidos especiales en aleaciones EN AW-6060 y EN AW-6063. Parte 1: Condiciones técnicas de inspección y suministro.* Madrid: AENOR.

UNE-EN 12020-2:2017:

- AENOR (2017). *Aluminio y aleaciones de aluminio. Perfiles extruidos especiales en aleaciones EN AW-6060 y EN AW-6063. Parte 2: Tolerancias dimensionales y de forma.* (UNE-EN 12020-2:2017). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO 24026-1:2021:

- AENOR (2021). *Plásticos. Materiales de poli(metacrilato de metilo) (PMMA) para moldeo y extrusión. Parte 1: Sistema de designación y bases para las especificaciones.* (ISO 24026-1:2020). Madrid: AENOR.

UNE-EN ISO 24026-2:2021:

- AENOR (2021). *Plásticos. Materiales de poli(metacrilato de metilo) (PMMA) para moldeo y extrusión. Parte 2: Preparación de probetas y determinación de propiedades* (ISO 24026-2:2020). Madrid: AENOR.

3. Especificacions tècniques

3.1. Materials. Característiques i condicions de subministrament

En aquest punt es mostren i comparen els diferents materials que es poden fer servir per a la fabricació de les peces d'impressió 3D dissenyades per a la impressora. Amb les seues composicions químiques, comportaments mecànics i subministradors.

- **PLA**

El PLA (àcid polilàctic) és un bioplàstic d'ús molt comú en impressió 3d perquè, a més de ser econòmic, és fàcil d'utilitzar i relativament ecològic. Al contrari que molts altres plàstics aquest no es fa a partir de petroli, sinó que s'extrau d'un cultiu de bacteris, és reciclable i, baix certes condicions, es pot fins i tot compostar. A més, n'hi ha varies empreses a Espanya que fabriquen filaments de PLA, pel que es pot obtenir amb una empremta de carboni reduïda.

Aquest plàstic és ideal per al prototipat de les peces a dissenyar i pot servir fins i tot com a matèria primera per al producte final en components que no estiguen sotmesos a una alta càrrega tèrmica o mecànica. Donat que per desenvolupar el projecte hem hagut de fer una gran quantitat de prototips, aquest és el filament que hem utilitzat per a totes les peces dissenyades, tot i que és recomanable utilitzar altres per al producte final.

Cada fabricant de filament de PLA utilitza la seua pròpia fórmula composta per àcid polilàctic i additius, raó per la qual les seues característiques poden variar d'un a altre. Tot i això, per norma general tots els filaments de PLA de qualitat es comporten d'una forma molt similar. La informació mostrada a continuació està extreta de la fitxa tècnica del filament "PLA premium" de Eolas Prints que hem utilitzat per al projecte.

Propiedades físicas del material PLA

Densidad	1,24	g/cm ³	UNE EN ISO 1183-1
Denominación técnica	Polylactic Acid		

Propiedades de impresión PLA

Temperatura de impresión	210± 20 °C
Temperatura de cama caliente	0 - 50°C
Ventilador	Encendido (100%)

Propiedades mecánicas

Resistencia de tracción	45MPa	ISO 527-1
Módulo de tracción	3500 MPa	ISO 527-1
Elongación de rotura	≤ 5 %	ISO 527-1
Impacto Charpy con entalla 23°C	≤ 5 kJ/m ²	ISO 179-1eA

Propiedades térmicas

HDT B	64°C
Vicat	84°C

Taula 1: Informació tècnica PLA

En la fitxa tècnica també ve expressada la tolerància del diàmetre del filament (0.05mm) i altres dades, com ara el percentatge de material d'origen biològic del filament (+99%), el temps de vida útil i certificats de seguretat per al seu ús en alimentació, joguets i envasos.

Aquest filament es pot comprar directament a la pàgina web de Eolas o en portals de venda online com Amazon. Altres marques com 3DFils també fabriquen filament de PLA de qualitat en Espanya que pot servir com alternativa o es pot comprar de forma local a una tenda física especialitzada.

- **ABS**

El ABS (Acrilonitril Butadiè Estirè) és també un filament econòmic d'ús molt habitual i és reciclable per mitjans convencionals, però és un derivat del petroli. El ABS és un material millor per al producte final especialment per la seua major resistència tèrmica i als impactes. Per altra banda, aquest presenta molts problemes de deformació i delaminació a causa del seu alt índex de contracció tèrmica, pel que resulta difícil d'imprimir.

També cal mencionar que aquest, al fondre's, emmet una serie de partícules i gasos que poden ser perjudicials per a la salut, raó per la qual és recomanable imprimir-lo en un espai ventilat.

Les següents dades sobre el material estan extretes de la fitxa tècnica del filament ABS de Smartfil que recomanem per al projecte.

	TIPICAL VALUE	UNITS	TEST METHOD
PHYSICAL PROPERTIES			
Chemical Name	Acrylonitrile Butadiene Styrene		
Material Density	1.04	g/cm ³	ISO 1183
MECHANICAL PROPERTIES			
Tensile Stress at break	45	MPa	ISO 527
Tensile elongation at break	65	MPa	ISO 178
Tensile Modulus	2300	MPa	ISO 527
Charpy Impact Strength 1eU	22	kJ/m ²	ISO 179/1eU
THERMAL PROPERTIES			
Heat Deflection Temperature	99	°C	ISO 75
Vicat Softening Temperature	105	°C	ISO 306
PRINTING PROPERTIES			
Print Temperature	230-250	°C	
Hot Pad	80-100	°C	
Fan Layer	OFF	%	

Taula 2: Informació tècnica ABS

En la fitxa tècnica també podem trobar altres dades com la necessitat d'utilitzar una impressora tancada per obtenir bons resultats, la seua reciclabilitat o la seua capacitat per dissoldre's en acetona.

Aquest filament es pot comprar directament a la pàgina web de smartmaterials3d o en portals de venda, com Amazon o 3Dfilamento. Altres marques com Esun, Fillamentum o Fiberology també ofereixen filament ABS de qualitat que es pot obtenir amb facilitat tant online com en tendes físiques com stuyo3d o servitec 3D.

- **ASA**

El ASA (Acrilonitril estirè acrilat) és un plàstic de major qualitat que el ABS i es sol utilitzar com a substitutiu d'aquest donat que té unes característiques similars, però resulta considerablement més fàcil d'imprimir. A més, el ASA té la propietat de mantindre el seu aspecte i resistències mecàniques de forma molt eficaç baix condicions adverses d'humitat, calor, estrés i rajos UV, pel que resulta molt útil per fer peces mecàniques. Per altra banda, el ASA és un poc més car que el ABS.

Aquest filament no necessita d'un ambient tancat per imprimir-se correctament, tot i que és molt recomanable i, al igual que tots els filaments que necessiten d'una temperatura d'impressió de més de 230°, necessita un fusor tot metàl·lic com l'utilitzat en Tramuntana.

Les següents dades sobre el material estan extretes de la fitxa tècnica del filament ASA de Smartfil que recomanem per al projecte.

	TIPICAL VALUE	UNITS	TEST METHOD
PHYSICAL PROPERTIES			
Chemical Name	Acrylonitrile Styrene Acrylate		
Material Density	1.07	g/cm ³	ISO 1183
MECHANICAL PROPERTIES			
Tensile Stress at Yield	47	MPa	ASTM D638 (50 mm/min)
Flexural Strength	76	MPa	ASTM D790 (15 mm/min)
Izod Impact Strength	156	J/m	ASTM D256
Rockwell Hardness	103	R-Scale	ASTM D785
Tensile Modulus	2.079	MPa	ASTM D638 (1 mm/min)
THERMAL PROPERTIES			
Heat Deflection Temperature	87	°C	ASTM D648 (1,8 MPa)
Vicat Softening Temperature	95	°C	ASTM D1525
PRINTING PROPERTIES			
Print Temperature	240-260	°C	
Hot Pad	90-110	°C	
Fan Layer	OFF	%	

Taula 3: Informació tècnica ASA

Aquest filament es pot comprar directament en la pàgina web de smartmaterials3d, en portals de venda com Amazon i 3Dfilamento o en tendes físiques com Servitec3D. Altres marques com Fiberology o Filoalfa també ofereixen filaments de ASA de qualitat que es poden utilitzar com a alternativa i comprar-se tant online com en tendes físiques.

- **Poliamida - Fibra de carboni**

El filament de Poliamida - FC és un composite de microfibras de carboni en una matriu termoplàstica de poliamida (també coneguda com Nylon) que combina la facilitat d'impressió del nylon amb la resistència tèrmica, lleugeresa i mínima dilatació tèrmica de les fibres de carboni que, a més, milloren l'adhesió entre capes creant micro unions mecàniques entre aquestes.

Aquest és, possiblement, el material d'impressió 3d d'ús domèstic més recomanable per a les peces de major estrés o exposició al calor de la impressora, com la base dels motors Δ o el conducte del ventilador de capa, donat que mostra una combinació d'estabilitat dimensional, resistència tèrmica i propietats mecàniques excel·lents que difícilment poden ser superades per altres filaments. Per altra banda, necessita una temperatura d'impressió molt alta (255-300°) i d'una boqueta d'acer endurit o rubí, donat que és extremadament abrasiu, a més d'un procés de secat intensiu abans de cada ús.

Si es disposa d'una màquina amb aquestes característiques és recomanable fer ús d'aquest filament, donat que la qualitat de les peces finals és molt alta i, un cop complerts els requeriments mencionats, imprimir peces dimensionalment correctes amb una qualitat superficial excellent és molt fàcil.

La impressora d'aquest projecte és capaç d'imprimir amb aquest filament, per aquesta raó es pot experimentar primer amb PLA i després anar substituint components amb PA+CF si l'usuari ho considera necessari.

Les següents dades sobre el material estan extretes de la fitxa tècnica del filament "PA12+CF15" Fiberology que recomanem per al projecte.

Technical information

Diameter:	1,75 mm
Diameter Tolerance:	+/- 0,02 mm
Avg Roundness:	+ 0,02 mm
Net Weight:	0,50 kg
Print Temperature:	255°C - 270°C
Bed Temperature:	80°C - 100°C

Material Properties

Mechanical Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Tensile modulus	ISO 527	MPa	8000
Tensile strength at break	ISO 527	MPa	125
Charpy - Impact strenght (Unnotched)	ISO 179/1eU (23°C)	kJ/M2	75 +- 15
Density	ISO 483	g/cc	1.07
Thermal Properties			
Melting Temperature	ISO 3146	°C	178
Temperature of Deflection under Load	ISO 75-1/2	°C	170
Flammability	UL 94	Class	HB

Taula 4: Informació tècnica PA12+CF15

Aquest filament és considerablement més car que la resta i relativament difícil d'obtenir, però es pot comprar directament des de la pàgina web de fiberology i des de portals de compra online com 3D jake o es poden buscar altres proveïdors de filaments similars com Esun o 3DXTECH.

- **Alumini AW-6063 per als perfils d'extrusió**

Els perfils d'alumini conformen el xassís de la màquina i la seua rigidesa es extremadament important per obtenir bons resultats. Aquesta no sols es veu influenciada per la geometria de la màquina, sinó també pel material amb el que estan fabricats els

perfils. En el cas d'aquest treball és necessari l'ús d'una aleació d'alumini de facil disponibilitat i bon rendiment resulte fàcil de mecanitzar donat que totes les peces deuen ser tallades.

L'aleació d'alumini AW-6063 en aquest aspecte resulta ideal donat que a més d'oferir uns acabats excelents i ser fàcil d'extruir, també resulta fàcil d'anoditzar i és suficientment rígid com per a utilitzar-se de material estructural. Per totes aquestes raons aquesta és una de les aleacions d'ús més estès per a perfil·leria i les seues capacitats s'han demostrat al llarg de moltes aplicacions, fent-ho a més molt fiable.

Composición Química Según norma EN 573-3

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Bi	Pb	Otros	Al
Min.	0,2	-	-	-	0,45	-	-	-	-	-	-	-
Max.	0,6	0,35	0,1	0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	-	-	0,15	Resto

Equivalencias Internacionales

USA	ESPAÑA	FRANCIA	ALEMANIA	G.B	SUECIA	SUIZA	CANADA	ITALIA
A.A.	U.N.E.	AFNOR	DIN(1712-1725)	B.S.	S.I.S.	VSM	ALCAN	UNI
6063	L-3441	A-GS	AlMgSi0,5	H9	4103	Extrudal	50S	3569

Propiedades Físicas Generales

Módulo Elástico N / mm ²	Peso específico gms / cm ³	Temperatura de fusión en °C	Coefficiente de dilatación lineal µm / mK	Conductividad térmica W / mK	Resistividad eléctrica µΩ m	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
69.000	2,70	615 - 655	23,2	193 - 218	30 - 35	49,5 - 57,5	-0,80

Taula 5: Informació tècnica alumini AW-6063

- **Panells de metacrilat d'extrusió**

El polimetilmetacrilat, també anomenat metacrilat, PMMA o simplement acrílic, és un material termoplàstic de fórmula $C_5H_8O_2$ que es sol utilitzar com a substitutiu per al vidre, donat que presenta una millor transparència, menor fragilitat i menor pes, tot i que aquest no és tan dur. El metacrilat també pot ser fàcilment tintat en colors opacs o semitransparents i es sol fer, per norma general, amb un acabat pulit brillant.

Tot i que aquest és un compost químic estable, molts fabricants utilitzen additius per millorar certes característiques del material. Per a aquest projecte el més convenient és buscar panells acrílics HT (high temperature), donat que van a estar exposats al calor del volum d'impressió i els volem, en part, per les seues propietats aïllants.

Metacrilato de Extrusión

Propiedades Generales	ISO	NF	Otros	Unidades	Espesors mm	Valor
Absorción de agua, 24 horas	62	T51002	DIN53495	%	4	0,3
Absorción de agua, 8 días	62	T51002	DIN53495	%	4	0,5
Absorción de agua Máxima (Inmersión 1200hrs.)	-	-	Interno	%	3	1,75
Densidad	1183	T51063	DIN53479	-	-	1,19

Propiedades Generales	ISO	NF	Otros	Unidades	Espesors mm	Valor
Radio Poisson a 20°	-	-	-	-	-	0,39
Fuerza de Tensión a 23°	527	T51034	DIN53455	-	-	-
Estrés a la Rotura	-2/A1/5	-	-	Mpa	4	74
Módulo de Elasticidad	-	-	-	Mpa	4	3300
Alargamiento a la Rotura	-	-	-	%	4	5
Fuerza de Tensión a -20°	527	T51034	DIN53455	-	-	-
Estrés a la Rotura	-2/A1/5	-	-	Mpa	4	-
Alargamiento a la Rotura	-	-	-	%	4	-
Fuerza de Tensión a 80°	527	T51034	DIN53455	-	-	-
Estrés a la rotura	-2/A1/5	D-1894	-	Mpa	4	-
Alargamiento a la Rotura	-	-	-	%	4	-
Resistencia a la flexión a 20°	178	T51001	DIN53452	-	-	-
Estrés a la Rotura	-	-	-	Mpa	4	120
Módulo de Elasticidad	-	-	-	Mpa	4	3250
Fuerza de Impacto Charpy (sin muescas)	179/2D	T51035	DIN53453	Kj/m ²	4	10
Fuerza de Impacto (com muescas)	180/1A	-	ASTMD256A	Kj/m ²	4	1,3
Dureza Rockwell (M)	2039	-	ASTMD785	-	-	95
Dureza Shore D	868	T51109	-	-	-	80
Fuerza de Compresión	684	T51101	DIN53454	Mpa	4	110
Resistencia a la Cizalladura (módulo dinámico)	-	-	DIN53445	Mpa	-	1700

Taula 6: Informació tècnica metacrilat

3.2. Fabricació

3.2.1. Peces d'impressió

Totes les peces d'impressió 3D dissenyades per al projecte estan fetes per a ser fabricades en una impressora FDM estàndard amb un sol filament utilitzant suports en aquelles que tinguen parets en angles de més de 50°, situació que el *slicer* detectarà automàticament si activem els suports en la configuració. En aquest projecte les anem a fabricar amb el PLA premium de Eolas per la seua facilitat de impressió i per la gran quantitat de prototips que anem a fabricar, per a produir les peces finals sols és necessària una bobina de 0'5Kg de material.

En el cas de fabricar aquestes peces mitjançant un servei d'impressió 3D, com el que ofereixen les tendes Servitec3d o 3DSAT en València, és convenient encomanar-les en un material com l'ABS, ASA o PA-CF (si es que disposen d'aquest) perquè, donat que ja es va a pagar pel servei que assegura un acabat de qualitat, és preferible obtindre els components en un material durador. També és recomanable explicar per a què van a utilitzar-se, d'aquesta forma els tècnics d'impressió que van a fabricar-les podran utilitzar la configuració més adequada.

Si les peces van a fabricar-se en una impressora de "taula" o per algun particular, és recomanable seguir les instruccions següents:

- **Temperatura d'impressió**

Per millorar l'adherència de les capes és preferible utilitzar una temperatura d'impressió alta dintre del rang especificat per el fabricant, per exemple si s'utilitza un PLA amb una temperatura d'impressió entre 190-215°C s'obtidran millors resultats imprimint a una temperatura d'entre 5-10°C inferior a la màxima, com ara 210°C. El mateix és necessari per a la temperatura del llit calefactat, que per al PLA sol ser d'entre 50-60°C.

Cal tindre en compte que una temperatura d'impressió molt alta afecta a altres aspectes de la peça final tot i que millore l'adhesió, especialment en seccions estretes o en aquelles que fan un pont entre diferents punts, pel que el millor és començar per imprimir diversos calibres a diferents temperatures per decidir quina té la millor relació entre precisió geomètrica i adhesió de capes.

Per a aquest projecte, i donat que anem a utilitzar el PLA+ de Eolas, imprimirem les peces a 210°C en el fusor i 55°C al llit.

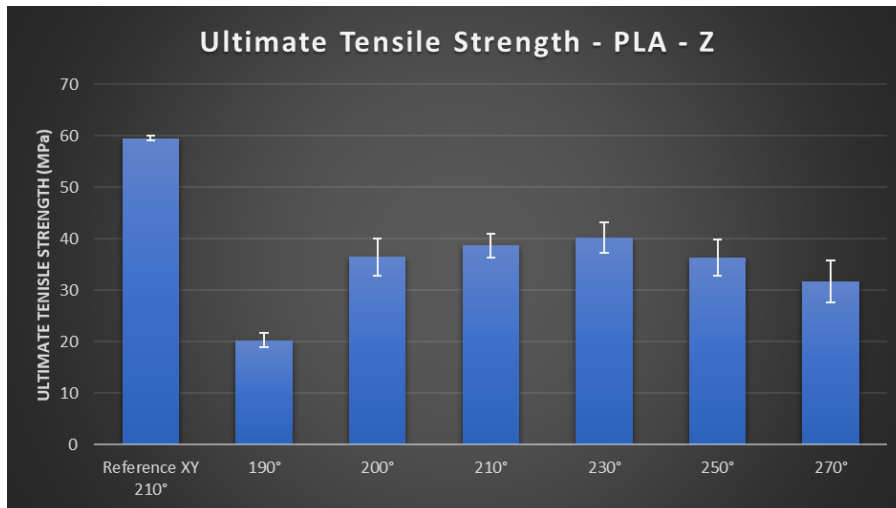


Figura 1: Diagrama de la relació entre la temperatura d'impressió i l'adherència entre capes en PLA

- **Altura de capa**

L'altura de les capes és també un factor a considerar per optimitzar l'adhesió entre capes d'una impressió donat que com més gran és la diferència entre el ample de la línia d'impressió i l'altura de la capa, major és la superfície de contacte entre capes, donat que el plàstic es queda més "apretat" i plena els espais entre les línies de filament dipositat.

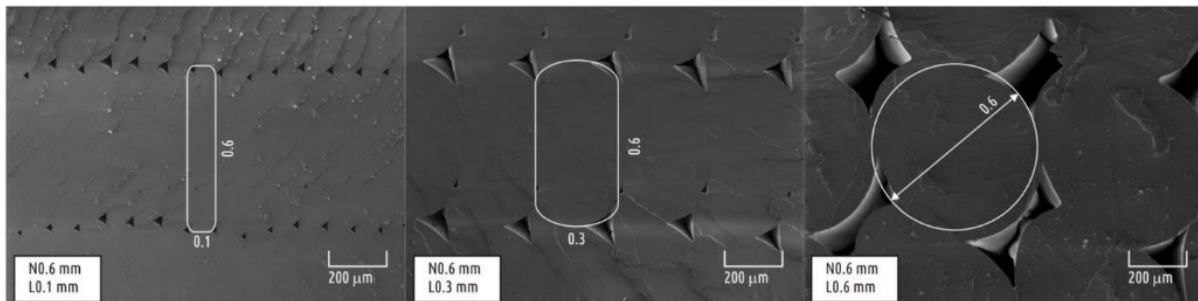


Figura 2: Seccions transversals a microscopi de diferents altures de capa.

A més, una menor altura minimitza la distància entre el broquet del fusor i la capa anterior a la que està imprimint, pel que aquesta es calfa més i millora la seua adhesió. Les capes de menor altura també impliquen que es deposite menys material per passada del broquet, pel que el flux de material és menor i aquest té temps de fondre's de forma uniforme. A més, també té altres beneficis com una millor resolució en Z i acabat superficial de la peça.

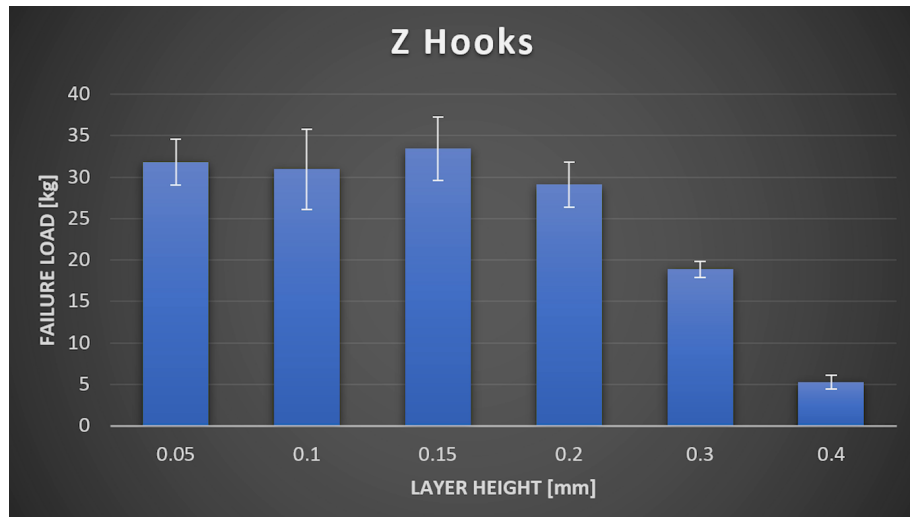


Figura 3: Diagrama de la relació entre la càrrega de ruptura de diferents ganxos impresos en PLA amb 0.4mm de grosor de línia i l'altura de les seues capes

Tot i que en principi pareix que una altura de capa menor sempre és més beneficiosa, la realitat és que la relació entre altura de capa i adhesió no és lineal i troba el seu punt òptim aproximadament a un 37,5% de l'ample de la línia d'impressió i cau ràpidament a partir del 50%. Per altra banda, cal tindre en compte que sí que hi ha una relació molt directa entre l'altura de capa i el temps de impressió, pel que una impressió feta amb 0,1mm d'altura de capa pot tardar perfectament el doble de temps en acabar que la mateixa amb 0,2mm.

El broquet que anem a emprar en aquest projecte, i el d'ús més generalitzat, és de 0,4mm pel que farem servir una altura de capa de 0,15 per obtindre el millor resultat.

- **Farciment**

Les impressores 3D FDM fabriquen les peces, per norma general, amb diverses capes exteriors sòlides i un farciment parcialment buit. El patró i el percentatge d'aquest es pot modificar, per aquesta raó el millor és buscar la relació més beneficiosa entre aquests i el consum de material per optimitzar la peça i obtindre els millors resultat possibles. Cada programa *slicer* té diferents patrons, però tots solen comptar amb el rectilini, reixa, triangles, cubic, lineal, panal d'abella i giroide.

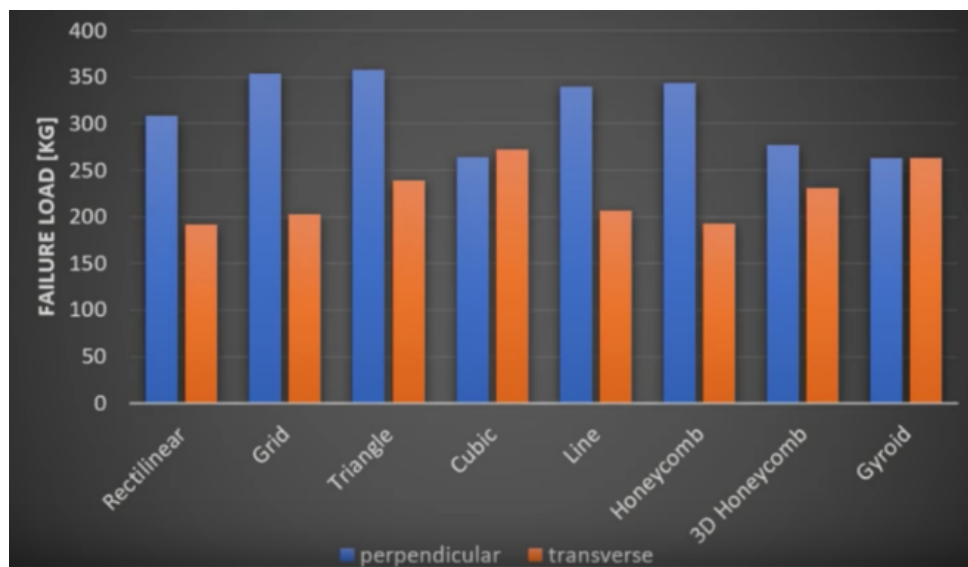
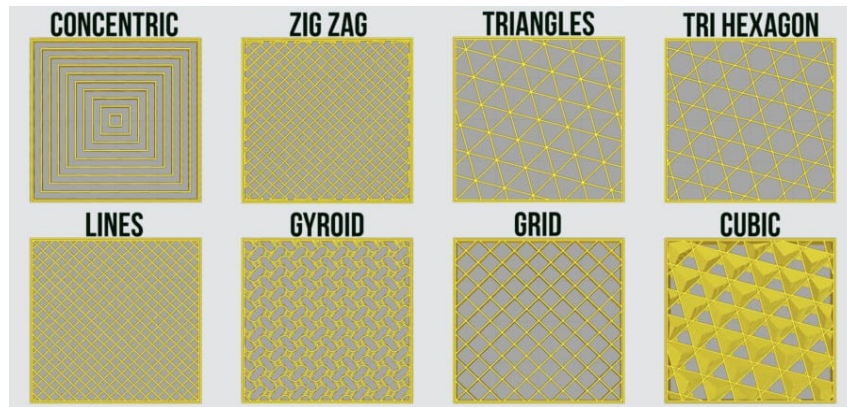


Figura 4: Diagrama de la relació entre el patró de farciment i la càrrega de ruptura a compressió de diferents cubs de PLA

En aquest treball i per unificar el programa d'impressió farem servir el patró cubic atès que dóna els resultats més igualats i alts, tant en direcció perpendicular, com transversal (referent a la direcció de impressió). Cal mencionar que el patró de giroide mostra uns resultats pràcticament idèntics als del cúbic i que, a efectes pràctics, el més possible és que no es note la diferència en el resultat final.

Per últim, cal utilitzar un percentatge de farciment que ens done una bona relació entre el temps d'impressió, precisió dimensional, ús de material i resistències mecàniques. Un farciment massa dens, quasi sòlid, sol provocar artefactes i deformacions en l'exterior de la peça donat que en l'interior d'aquesta no hi ha espai per a que les tensions provocades per la dilatació i contracció del material al anar canviant de temperatura no tenen forma de compensar-se més que per la superfície exterior. Aquest problema es soluciona al donar un percentatge d'espai en l'interior. A més, altres característiques mecàniques, com la resistència tensil, no troben el seu punt màxim al 100% de farciment.

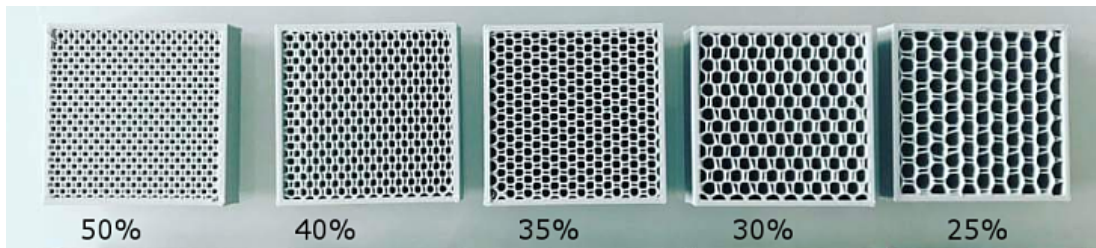


Figura 5: Diferents percentatges o densitats de farciment

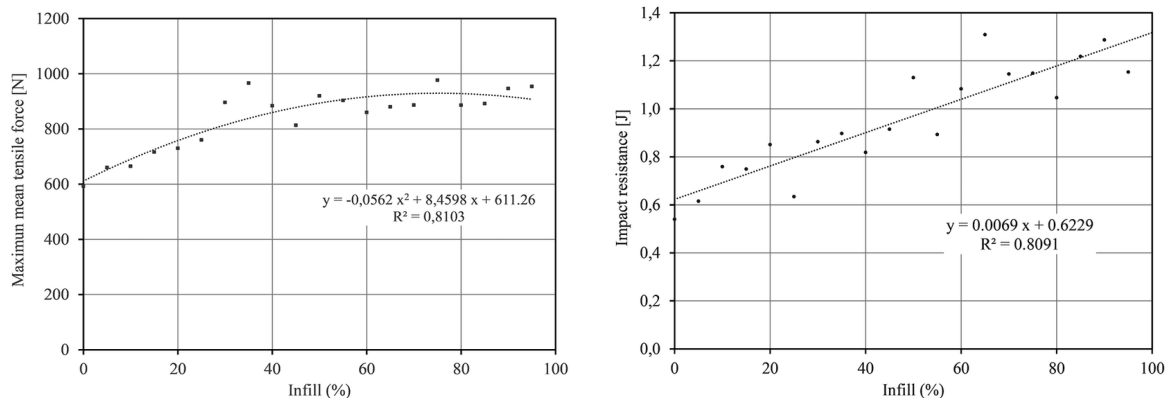


Figura 6: Diagrames de la relació entre la densitat del farciment i la resistència tensil i d'impacte (respectivament) en peces d'impressió FDM de ABS

Donat que busquem les millors propietats mecàniques per al cas d'aplicació i acabat final el més recomanable és utilitzar una densitat inferior al 100% que optimitze la resistència tensil donat que les peces, en principi, no van a ser sotmeses a esforços d'impacte, sinó més aviat a esforços de tensió i compressió. Per aquestes raons anem a fer servir una densitat de farciment del 75% en aquest projecte.

- **Velocitat d'impressió**

La velocitat d'impressió és altre factor molt important per obtenir peces de qualitat, una velocitat massa alta pot afectar negativament tant a la qualitat de l'acabat superficial com a l'adhesió entre capes i, fins i tot, derivar en problemes com falta d'extrusió o desplaçaments de capa. Per altra banda, una velocitat d'impressió excessivament baixa pot causar problemes com pegots de plàstic, ponts de mala qualitat o deformacions, especialment en zones estretes.

Donat que anem a fabricar peces funcionals que, en la majoria dels casos, necessiten d'unes toleràncies molt precises, el millor és imprimir a una velocitat baixa amb la qual la màquina done bons resultats. Aquesta velocitat depèn en gran mesura de la màquina, però sol estar entre els 15mm/s i els 40mm/s. Hi ha altres factors "avançats" com l'acceleració, l'avanç lineal i l'impuls que també afecten en gran mesura a la velocitat

d'impressió, però aquests són molt més complicats de modificar correctament per millorar els resultats, pel que és preferible no canviar-los si no es va a seguir un procés de calibratge a propòsit.

El més recomanable de nou és imprimir una sèrie de calibres a diferents velocitats per determinar quina és la velocitat d'impressió òptima, que en el cas de la impressora que anem a fer servir és de 30mm/s.

- **Suport**

El tipus i la densitat del suport afecta directament a la qualitat de moltes zones d'una impressió, com ara ponts, forats o parets molt inclinades, i a la quantitat de temps necessari de post-processament per obtenir la peça acabada. Per aquestes raons és recomanable prendre's un temps per buscar quina configuració de suport dona la millor qualitat i facilitat de retirament sense malgastar molt de plàstic. Per norma general és suficient en usar una densitat de suport entre el 7-15% en les peces que hem dissenyat i no necessitem d'un patró especialment rígid, donat que no comptem amb ponts molt llargs o seccions "en l'aire" de gran tamany, pel que un patró fràgil i fàcil de retirar com el zigzag o el lineal resulten els més apropiats.

En aquest projecte anem a fer servir un patró de zigzag amb 15% de densitat per als suports.

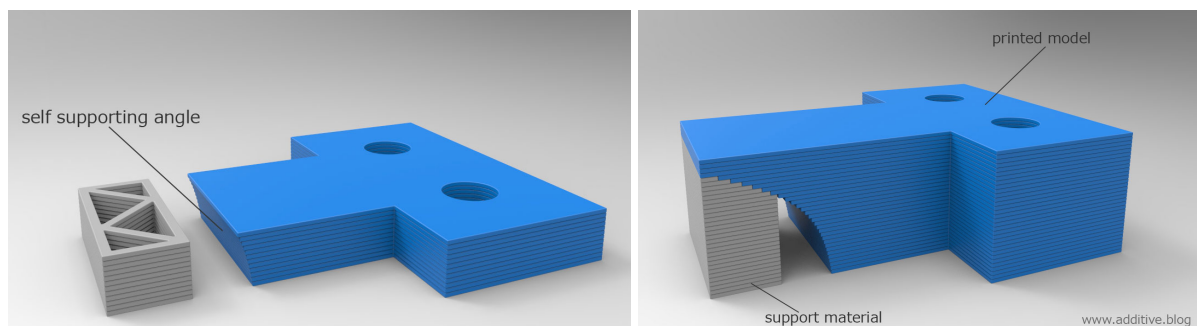


Figura 7: Exemple d'ús de material de suport

- **Altres configuracions**

Els *slicers*, que són els programes que transformen el model 3D en el codi d'impressió que utilitza la impressora per treballar, compten amb una gran quantitat d'opcions de configuració que afecten a la forma en que les peces són impreses i, per tant, a la qualitat de la impressió final. Les configuracions que hem explicat fins ara són les que tenen un major impacte en el resultat de la impressió i les que donen resultats similars en diferents màquines. Dit això, n'hi ha altres configuracions, com la retracció, que poden millorar el resultat i que depenen completament de la màquina utilitzada. Com a referència,

aquesta és la configuració que hem utilitzat en el *licer* Cura 4.10 per imprimir les peces finals utilitzades en el projecte amb la “Tramuntana”, la mateixa impressora del projecte.

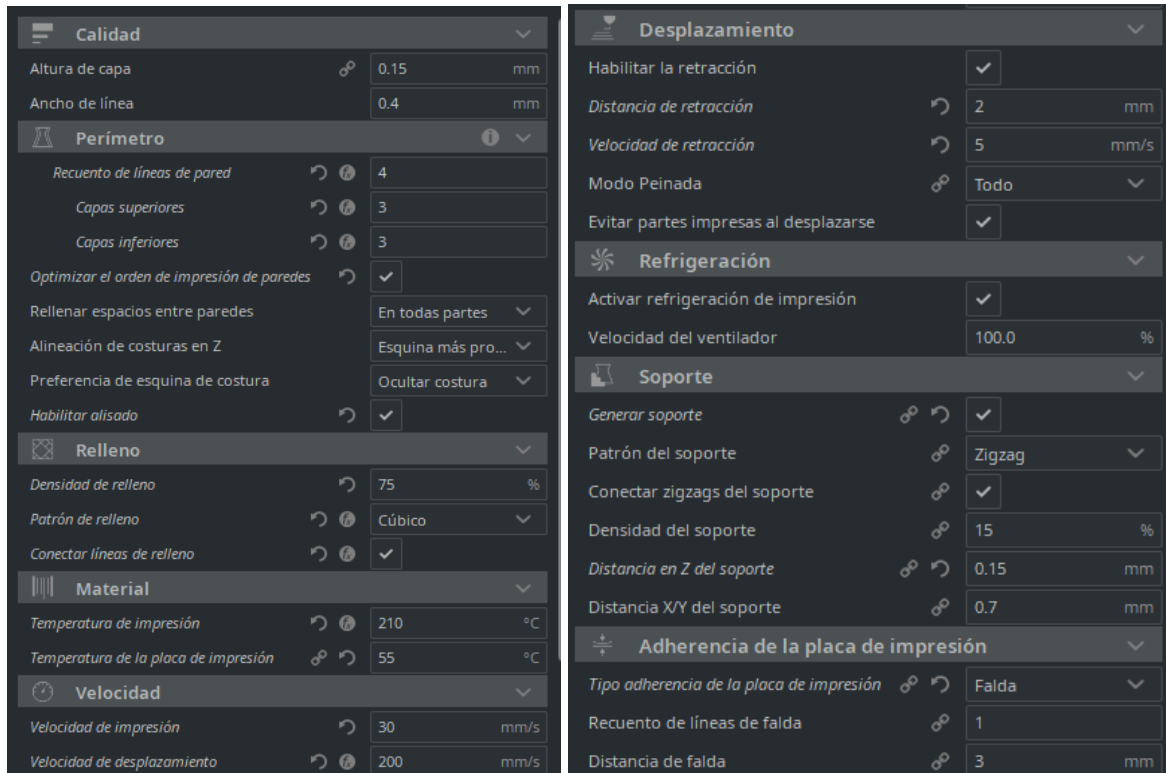


Figura 8: Configuració de referència

3.2.2. Panells

Els panells de metacrilat de 3mm que anem a utilitzar per al projecte no tenen mesures estàndard i, per tant, han de ser tallats a mesura. Tot i que és un material fàcil de treballar, utilitzar eines de mà convencionals per obtenir les peces descrites als plànols del treball a partir de llàmines prefabricades resultarà en un acabat final considerablement pitjor que si aquestes es tallen a làser en una tenda especialitzada.

Dit això, el més possible és que el rendiment final de la màquina no es veja afectat per la forma en que aquestes peces s'han fabricat pel que, si es disposen de les eines necessàries i l'aspecte final de la màquina no és una prioritat, es poden fer a mà per estalviar diners.

Per a aquest projecte hem decidit encomanar les peces a mesura en Metaval Abella, una tenda de tall laser i mecanitzat, en negre per als panells fixes i transparents per a la resta. A l'hora de encomanar les peces el més recomanable és facilitar els plànols tècnics d'aquestes al fabricant per evitar confusions. Les mesures generals dels panells es poden trobar a l'annex i les específiques als plànols de disseny.

3.2.3. Perfils i eixos

El cas dels perfils i els eixos és similar al dels panells, aquests es poden tallar amb eines de mà convencionals, però el seu acabat mai serà tan encertat com el d'una màquina de tall industrial. A més, en aquest cas el tall dels perfils no és un servei molt car i es pot demanar al mateix proveïdor d'altres components com els rodaments, els cargols de muntatge o les femelles. En la següent taula mostrem els perfils encomanats per al projecte junt als seus proveïdors i en l'annex es troba una taula amb el tamany dels perfils per a altres volums d'impressió comuns:

Producte	Unitats	Proveïdor
Perfil 20x20 tipo B ranura 6 430mm	6	Motedis
Perfil 20x20 tipo B ranura 6 410mm	4	Motedis
Perfil 20x20 tipo B ranura 6 400mm	4	Motedis
Perfil 20x20 tipo B ranura 6 200mm	2	Motedis
Eix acer templat H6 350mm	2	Motedis
Vareta carboni pultrusió 8x1000mm	1	Clipcarbono

Taula 7: Perfils i eixos

3.3. Peces ja fabricades

Per completar la màquina és necessari utilitzar una sèrie de peces ja fabricades, com components electrònics o mecanismes d'unió. La taula següent mostra totes les peces fabricades utilitzades per al projecte junt al seu preu i subministrador, cal mencionar que tots els components s'han comprat en tendes online, donat que la màquina ha sigut fabricada durant el tancament per pandèmia de 2021.

Producte	Unitats	Proveïdor
Cargols 3x5	52	Motedis
Cargols 3x35	2	Motedis
Cargols + femelles tipo T M5x8mm	94	Mejoser
Cargols 5x22	4	Motedis
Cargols 5x32	1	Motedis
Cargols 5x40	1	Motedis
Cargols 6x10	4	Motedis
Esquadres per a perfils 20x20	25	Ymwave
Rodament lineal Iigus RJ4P-01-10	4	Motedis
Rodament lineal Iigus RJ4P-01-8	12	DryLin R
Corrioles dentades GT2 de 20 dents	10	Fularr
Corrioles dentades GT2 amb fixació	10	Fularr
Corrioles llises de 5mm diàmetre	9	Electrely
Corretja GT2 6mm	1(5m)	Dollatek
Motor Nema17 59Ncm	3	Longrunner
Motor Nema17 amb eix roscat 300mm	2	Ashata
Kit extrusora + fusor BMG Wind	1	Mellow Store
Gola tèrmica V6 de titani	1	Trianglelab
Ventilador 120mm 12V	1	-
Ventilador 20mm 12V	1	Noctua
Ventilador radial 6015 12V	1	Onebstr

Reixeta antipols ventiladors	1	-
Allargador USB B mascle a A femella	1	System-S
skr 1.4 Turbo + TMC 2209 + TFT 35	1	Bigtreetech
Font d'alimentació 360W	1	Dumvoin
MOSFET 30A 8-24V	1	Fystec

Taula 8: Peces ja fabricades

4. Procés d'acoblament

Una vegada definits tots els materials i components necessaris per a muntar la màquina, tan sols queda juntar-los en el producte final. Per facilitar el procés l'hem dividit en una sèrie de subacoblaments que van units uns a altres.

4.1. Plataforma d'impressió

La plataforma d'impressió es munta a partir d'una estructura rectangular feta amb perfils C i B, i està unida mitjançant huit cargols M5x8 i quatre esquadres per a perfils 20x20, deixant 23mm d'espai entre l'extrem del perfils llargs i la cara exterior dels curts com es mostra a la següent imatge:



Figura 9: Estructura plataforma d'impressió

En els extrems dels perfils llargs es munten, mitjançant un cargol de 4x8mm, les subjeccions per als rodaments de 10mm per als eixos guia amb els rodaments instal·lats a pressió. A continuació, cal instal·lar en el centre dels perfils curts amb dos cargols de 5x8mm les unions per als eixos roscats amb les femelles per als eixos, utilitzant quatre cargols de 3x5mm. Per últim, s'instal·len les bases per als cargols d'anivellament amb un cargol de 5x8mm i el llit calefactat, amb l'escuma d'aïllament a la part inferior a aquestes. La posició de la superfície d'impressió es pot ajustar una vegada muntada tota la màquina.

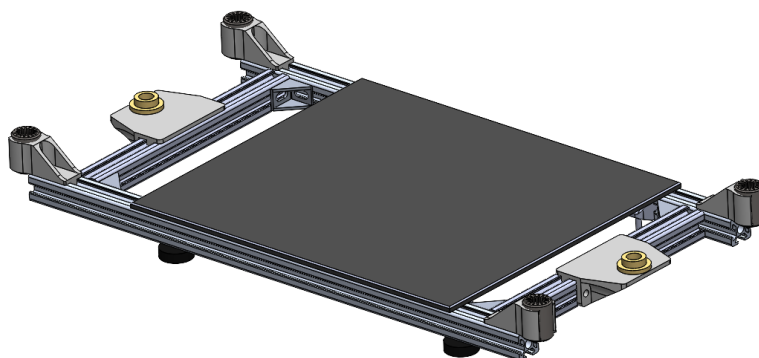


Figura 10: Plataforma d'impressió

4.2. Xassís

El xassís està format per una estructura de perfils d'alumini units mitjançant cargols de 5x8mm (32 en total) utilitzant esquadres amb la següent configuració i deixant un espai de 50mm de profunditat en la part trasera per a l'electrònica:

Perfil	Quantitat	Mesures
A	4	410 mm
B	6	430 mm
C	2	200 mm
D	4	400 mm

Taula 9: Mesures dels perfils per a un volum d'impressió de 280x240x230

Per a continuar amb l'acoblament no cal muntar els dos perfils superiors fins més endavant, el següent pas es instal·lar els quatre eixos guia de 10mm, introduint-los a pressió en les seues subjeccions i unint aquestes als perfils inferiors mitjançant cargols de 5x8mm. Entre els eixos s'han d'instal·lar les bases per als motors Z mitjançant un cargol de 5x8mm i unir a aquestes els motors amb els eixos roscats utilitzant 4 cargols de 35mm. Amb tots els eixos instal·lats queda lliscar la plataforma d'impressió en aquests, col·locar les subjeccions superiors per als eixos de 10mm.

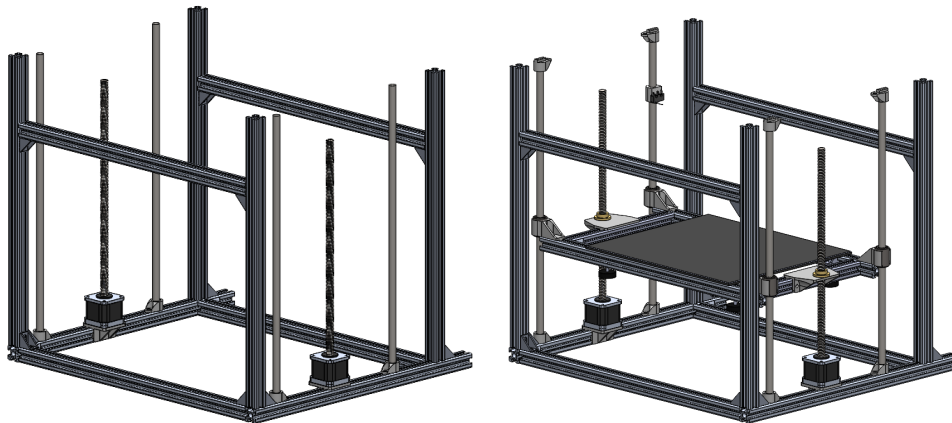


Figura 11: Xassís i acoblament plataforma d'impressió

4.3. Carcassa fixa

Per continuar, s'han d'instal·lar tots els panells de la carcassa fixa a excepció del posterior i el superior, que es posaran després de l'electrònica i el mecanisme de moviment XY respectivament. Aquests s'han d'unir amb l'estructura muntada al punt anterior mitjançant cargols de 4x8mm seguint el següent esquema:

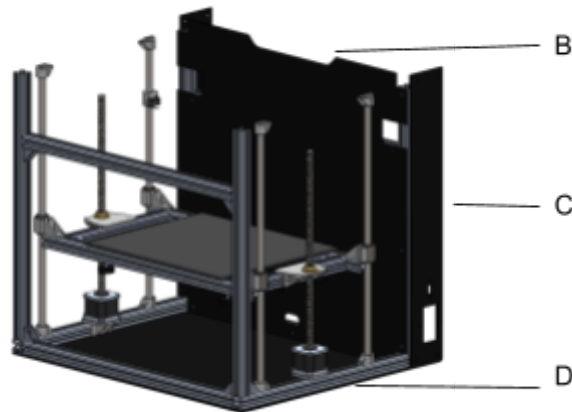


Figura 12: Carcassa fixa

Per últim, al panell del darrere s'han d'instal·lar les dues reixetes antipols als forats dels ventiladors amb cinta adhesiva i el ventilador de 120mm amb quatre cargols de 5x8mm.

4.4. Sistema de moviment XY

El mecanisme de moviment CoreXY s'instal·la amb cargols de 4x8mm sobre els perfils horitzontals superiors de la impressora, començant per les bases dels motors Δ amb els motors de 59Ncm amb corrioles fixes instal·lades mitjançant tres cargols de 3x10mm. A les bases s'han d'introduir a pressió els dos eixos Y d'acer de 8mm i cal lliscar en aquests quatre rodaments (dos en cadascun) lineals de 8mm abans de subjectar l'eix a la part frontal de la impressora amb la seua base. També cal instal·lar les dues corrioles corresponents en la seua montura utilitzant cargols de 5x40mm.

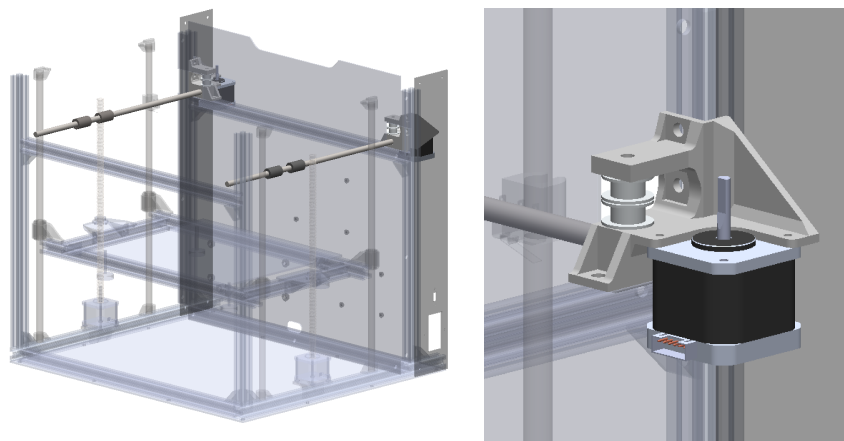


Figura 13: Acoblament eixos Y i motors Δ

Les bases frontals per als eixos Y es subjecten mitjançant un mecanisme de pinça a pressió que es pot ajustar amb un cargol de 5x15mm i van unides als perfils mitjançant un cargol de 5x8mm lateral, un de 5x32mm per a la base esquerra i altre de 5x40mm per a la base dreta, que també funcionen com a eix de rotació per a les corrioles frontals, que a la

part esquerra és sols una i a la dreta dues (o un espaiador del mateix tamany que la corriola substituïnt a la inferior).

El següent pas es instal·lar les peces d'unió dels eixos XY, mirant la màquina de front a la part dreta cal instal·lar la unió A i a l'esquerra la B. El primer és instal·lar les corrioles corresponents en les seues bases mitjançant cargols de 5x22mm i després col·locar les brides de 5mm d'ample en les seues ranures. A continuació, les peces s'encaixen a pressió en els rodaments de 8mm instal·lats als eixos i es fixen tancant les brides, que s'han de tallar després.

Per últim, cal unir els eixos de 8mm de fibra de carboni, amb dos rodaments lineals cadascun, a les muntures superiors i inferiors de la peça, fixant-los apretant la subjecció de pinça amb cargols de 3x8mm.

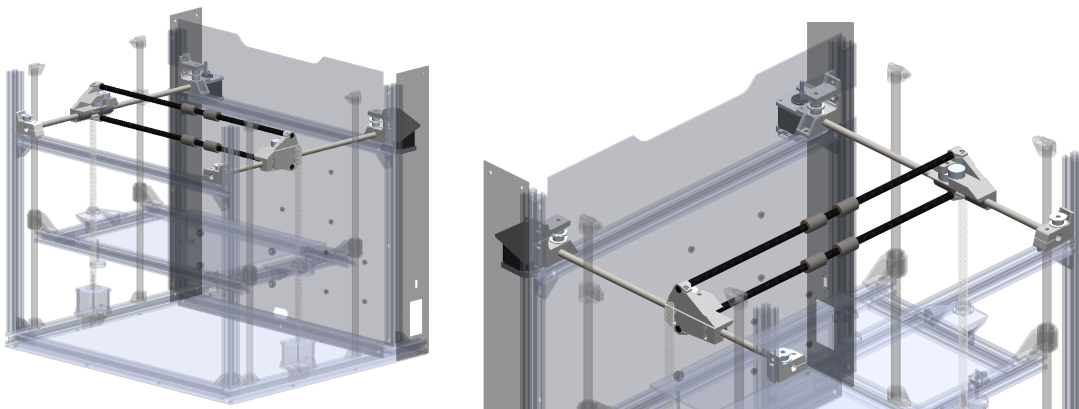


Figura 14: Eixos XY i motors Δ

Corrioles del mecanisme XY (com es mostra a la següent il·lustració) i fixar-ho amb les pinces ajustables al capçal mitjançant cargols de 3x32mm. La corretja roja es correspon amb el recorregut inferior i la taronja amb el superior.

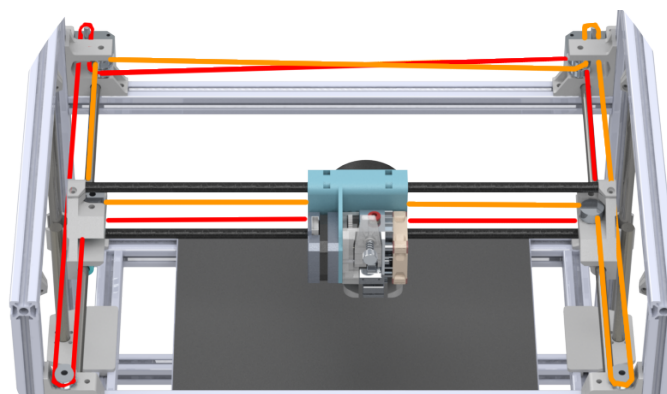


Figura 15: Recorregut corretges

Una vegada acabat aquest procés ja es poden instal·lar el panell i els perfils superiors que havíem omès en els punts anteriors utilitzant els cargols de 5x8mm corresponents i les seues esquadres.

4.5. Electrònica

La font d'alimentació va encargolada directament al panell opac frontal amb quatre cargols de 4x5mm utilitzant les alçes corresponents per separa-la del panell, després la base de la presa de corrent va encargolada al panell lateral esquerre mitjançant dos cargols de 3x8mm al igual que el cable d'extensió USB i tant la placa base com el modul MOSFET van cargolats a unes bases impreses en 3D que es poden pegar amb epoxy en qualsevol punt de la part posterior del panell opac frontal, tot i això aquesta és la configuració que recomanem:

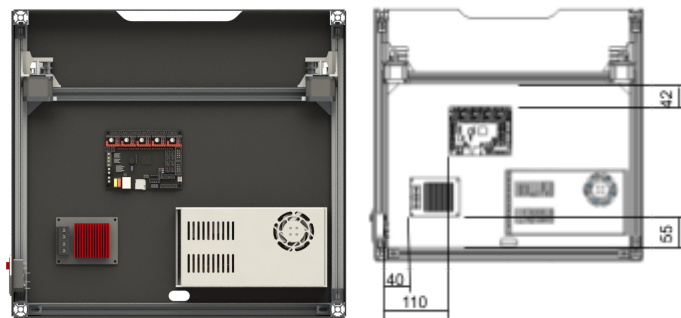


Figura 16: Distribució components elèctrics - electrònics

El següent pas és unir la pantalla TFT 35 a la seua base mitjançant quatre cargols de 3x8mm que s'instal·len per la part posterior d'aquesta i col·locar-la al perfil frontal inferior a pressió. Després, queda unir l'interruptor de final de carrera a la seua base i unir-ho a pressió a l'eix Z de 10mm posterior esquerre a l'altura del zero Z (aquesta altura es pot ajustar amb facilitat més endavant). Amb els components electrònics instal·lats cal establir totes les connexions seguint l'esquema següent:

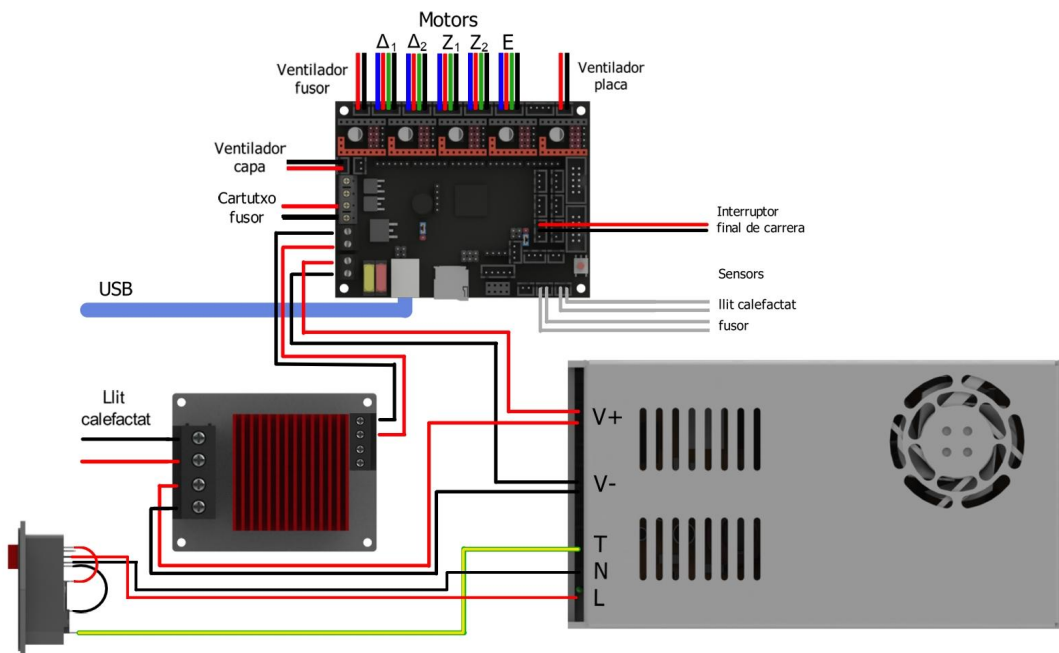


Figura 17: Esquema connexions

Una vegada acabat amb les connexions s'ha d'instal·lar el panell traser amb quatre cargols de 6x10mm, en aquest punt l'impressora ja està llesta per utilitzar-se.

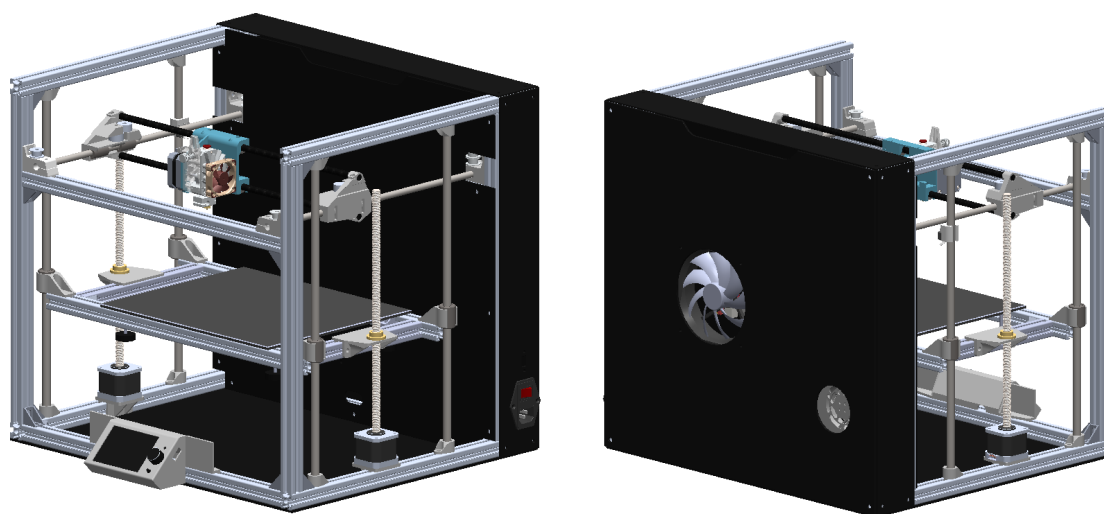


Figura 18: Impressora acoblada sense carcasses transparent (oberta)

4.6 Panells transparents

Aquest punt tan sols és necessari si es vol tancar el volum d'impressió de la màquina.

Els panells transparents laterals i superiors es subjecten a la carcassa mitjançant imants, a cada cantó del panell s'han d'instal·lar tres imants subjectats amb epoxy i la cantonera, pegada també amb epoxy, per cobrir-los. Per altra banda, als perfils del xassís cal col·locar a pressió les bases amb tres imants cadascuna, és important fixar-se en que la polaritat és la correcta per a que els panells es subjecten al xassís. Es necessiten un total de 12 cantoneres i 36 imants per als panells i altres 36 per a les bases del xassís.

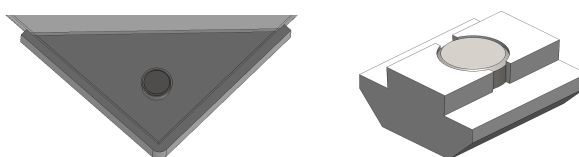


Figura 19: Imants cantoneres i bases per als imants del xassís

Per altra banda, els panells frontals van units al xassís mitjançant quatre frontisses. Aquestes es fabriquen d'una sola peça, no en dues parts, utilitzen un cargol de 3x27mm com a eix, es subjecten amb dos cargols de 3x80mm als extrems exteriors dels panells i van unides als perfils a pressió. En la zona frontal de la màquina, on coincideixen ambdós panells i el perfil horitzontal que subjecta els eixos Y, cal instal·lar també els poms de les portes, que van fixats amb epoxy i un cargol de 3x8mm, i contenen tres imants a més dels tres que caben al forat del panell. En el mateix punt cal posar dues bases per a subjecció

d'imants que coincideixen amb els dels poms per poder tancar les portes. Per últim, cal instal·lar a pressió els espaiadors laterals als costats de la pantalla per tancar totalment el volum d'impressió quan els panells frontals es tanquen.

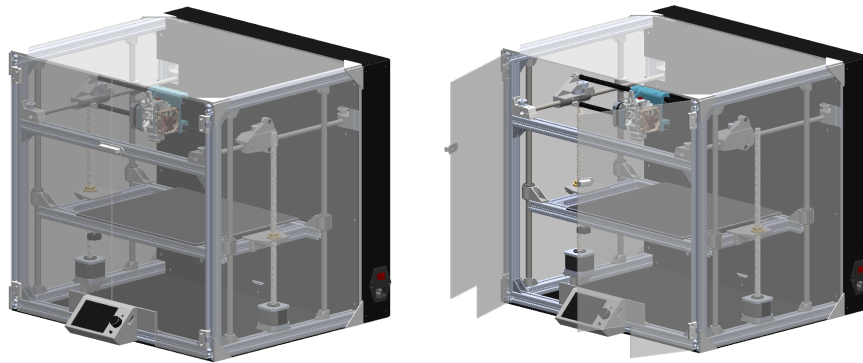


Figura 20: Impressora completada amb xassís transparent i panells modulars retirables

5. Calibratge

Per a que la màquina funcione de forma apropiada és necessari calibrar els sistemes de moviment, d'extrusió, elèctric i d'escalfament. A diferència de moltes altres impressores, Tramuntana permet calibrar i ajustar tots aquests valors des de la mateixa pantalla de la màquina, sense utilitzar un *pronterface* amb un ordinador o modificar la programació, tot i que també es pot fer d'aquesta manera mitjançant el USB lateral. Encara que aquests mètodes de calibratge són essencialment universals i es poden trobar guies fàcilment, anem a explicar-los pas a pas en aquest punt a més de facilitar els valors que han funcionat correctament per a la nostra màquina.

5.1. Sistemes de moviment

Per a que la màquina funcione correctament és important que les instruccions que aquesta rep es transformen en moviments precisos i iguals als esperats. Per aconseguir-ho cal calibrar els "passos per mil·límetre" de cadascun dels motors. En el cas dels motors Δ , ambdós tindran necessàriament la mateixa quantitat de passos per mil·límetre donat que utilitzen el mateix mecanisme de moviment (en espill) i els mateixos motors. Aquesta dada ens pot servir d'utilitat per comprovar si la instal·lació del sistema de moviment és correcta, donat que si els dos motors tenen els mateixos passos per mil·límetre i el capçal, quan és comandat d'avançar una certa distància en les dimensions X i Y, avança en una més que en l'altra, vol dir que la geometria del mecanisme o les correjes han de ser ajustades.

El primer pas és unir un objecte molt fi i recte al capçal de la extrusora per mesurar el moviment de forma precisa. En aquest cas hem emprat una agulla pegada amb cinta adhesiva. A continuació, cal fer ús d'un regle calibrat o un peu de rei i l'hem de col·locar paral·lel a un dels eixos principals de moviment amb el zero del regle baix l'agulla i amb la màxima precisió possible. Ara, cal ordenar manualment al capçal de la impressora des de la seua interfície que faja un moviment tan llarg com pot mesurar el regle (per evidenciar l'error de moviment donat que és acumulatiu) i observar quánt es desvia la mesura real del moviment ordenat, per ajustar els passos per mil·límetre en conseqüència.

Si l'extrusora s'ha mogut una distància superior a la ordenada vol dir que s'ha d'introduir un valor de passos per mil·límetre (o Ppmm) menor i, en el cas contrari, superior. Una vegada aquesta distància és mesurada cal recalcular els Ppmm amb la fórmula expressada a continuació i introduir el nou valor en la opció de "Steps per MM" del menú "machine-parameters" en els motors X i Y.

$$Ppmm = (\text{Distància}_{\text{ordenada}} * Ppmm_{\text{actual}}) / \text{Distància}_{\text{real}}$$

És recomanable repetir la prova diverses vegades tant a l'eix X com al Y per assegurar-se de que el calibratge és correcte i per comprovar si la geometria del mecanisme i la tensió de les correjes també ho és. En el nostre cas el valor dels passos per mil·límetre per als motors Δ ens ha donat 80,3 que és un valor molt prop al teòric de 80

calculat a l'annex de la memòria. Aquesta diferència front al valor teòric es pot deure a factors com l'elasticitat de les corretges o a errors mínims acumulats en les passades dels motors. Per aquestes raons no és suficient contentar-se amb els valors teòrics i cal fer un calibratge en la màquina real amb moviments reals.

Una vegada acabat aquest calibratge es pot imprimir una peça amb dimensions conegudes, com ara un cub simple, per mesurar de nou si els valors de la peça final coincideixen amb els de disseny. Aquest procés és recomanable si es vol especialitzar la màquina per imprimir un plàstic en concret.

5.2. Extrusora

El següent punt és molt similar a l'anterior donat que, de nou, anem a calibrar els passos d'un motor pas a pas. Aquesta vegada el que cal mesurar és la quantitat de filament que l'extrusora espenta baix un comandament. Per fer-ho cal calfar el fusor i fer una marca al filament sobre l'extrusora a una certa distància, per després fer que la màquina espente eixa quantitat de filament. De nou, si el filament extruït és superior a l'ordenat, el motor de l'extrusora necessita un valor de Ppmm menor. Aquest es pot calcular seguint la mateixa fórmula expressada al punt anterior.

5.3. Sistema elèctric

Primer de tot, si es disposa d'un multímetre pot ser interessant comprovar el voltatge de la font d'alimentació per ajustar el seu valor a exactament 12V mitjançant un xicotet cargol situat al costat de les connexions. Per comprovar el voltatge cal connectar la proveta negra del multímetre a terra i la roja a una de les connexions.

El següent punt és ajustar la corrent dels motors pas a pas a uns valors amb els que poder imprimir sense problemes a les velocitats desitjades sense que es sobrecalfen els motors. Per norma general aquest valor sol estar sobre un 60-70% de la corrent nominal del motor, el més recomanable és donar un valor així de forma provisional i després anar comprovant si els motors es calfen en excés o no durant les impressions o si perden passos.

Els NEMA17 utilitzats en el projecte poden arribar a una temperatura màxima d'operació de 80°C, però és recomanable ajustar el voltatge per a que no superen els 60°C, és a dir, idealment els motors no han de cremar al tacte fins i tot durant una impressió llarga. En el cas de voler alcançar velocitats extremadament altes (+300 mm/s) es pot considerar fer ús de refrigeració activa o utilitzar motors més grans.

En la maquina feta en el projecte els valors de corrent utilitzats són els següents i es poden modificar en la opció "Driver current" del menú "machine-parameters" :

- Motors Δ : 1000 mA
- Motors Z: 1000 mA
- Motor E (extrusora): 450 mA

Per últim, cal calibrar la sensibilitat del “TMC Bump”, és a dir, la sensibilitat del mètode de detecció de finals de carrera automàtics. Aquesta configuració és important donat que és molt important que la màquina faja un *homing* correcte abans de cada impressió per situar el zero màquina. Ajustar la seua sensibilitat és molt senzill, tan sols cal ordenar a la màquina fer *homing* moltes vegades canviant el valor de la sensibilitat fins trobar un que funcione sempre sense errors, aquest es pot ajustar en la opció “TMC Bump sensitivity” del menú “machine-parameters”.

En la màquina del projecte hem trobat que el millor valor tant per a X com per a Y és 60 (cal deixar Z en 0 donat que en aquest eix utilitzem un interruptor de final de carrera)

5.4. Sistema d'escalfament

Per norma general el sistema d'escalfament sol funcionar de forma correcta sense calibratge donat que disposa de sensors, però dedicant-li un poc de temps aquest pot funcionar millor i beneficiar la impressió de certs filaments especialment sensibles als canvis de temperatura.

El *firmware* marlin utilitza el *G-code* M303 per realitzar l'autocalibració del PID, que en aquest cas estem utilitzant per al fusor, i és suficient amb utilitzar aquest comandament i deixar que la màquina faja el cicle de calibratge automàtic. Aquest ha de ser insertat des del menú “G-code” de la consola de comandaments de la impressora i ens interessen els següents parametres:

M303 C<nombre de cicles de calibratge> S<temperatura> U(guardar)

El comandament que nosaltres hem emprat per calibrar la impressora del projecte és el següent:

M303 C8 S210 U

Una vegada acabats tots els processos de calibratge cal guardar la configuració a la EEPROM (que és la memòria permanent de la màquina) escrivint M500 a la consola o des de l'opció “Guardar EEPROM” en el menú “personalizar”.

6. Annexos

6.1. Perfils

La selecció del volum d'impressió no afecta al procés d'acoblament de la màquina ni a la selecció de la resta de components pel que l'usuari és lliure de triar basant-se en el seu volum d'impressió objectiu. La taula mostrada a continuació defineix la grandària de cada tipus de perfil de l'estructura en relació als formats de superfície d'impressió més comuns.

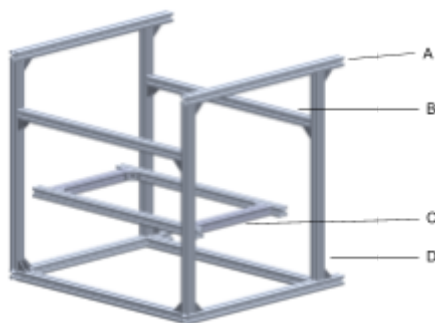


Figura 21: Index perfils xassís

	Superfície d'impressió (mm)				
Perfils	240 x 280	220 x 220	235 x 235	300 x 300	310 x 310
<u>A</u>	410	390	405	470	480
<u>B</u>	430	370	385	450	450
<u>C</u>	200	180	195	260	270

Taula 10: Dimensions perfils

En cas de voler utilitzar un tamany diferent al mostrat en la taula, les fórmules utilitzades per als càlculs són les següents:

$$\text{Perfil A} = 170 + \text{Profunditat}_{L_{lit}}$$

$$\text{Perfil B} = 150\text{mm} + \text{Ample}_{L_{lit}}$$

$$\text{Perfil C} = \text{Profunditat}_{L_{lit}} - 40\text{mm}$$

En la taula anterior no es mostra el tamany del perfil D donat que les dimensions d'aquest són totalment dependents de les preferències d'altura d'impressió de l'usuari, seguint la següent fórmula:

$$\text{Perfil D} = \text{Altura d'impressió desitjada} + 180\text{mm}$$

En el cas de la màquina del projecte:

$$\text{Perfil D} = 230 + 170\text{mm} = 400 \text{ mm}$$

Cal tindre en compte que aquesta altura pot variar lleugerament segons el calibratge del llit i el gruix de les diferents superfícies d'impressió que es vulguen emprar, pel que és recomanable sobredimensionar un 10% l'altura d'impressió buscada, si és possible.

Per últim, els eixos utilitzats en el projecte han de tindre les següents dimensions directament relacionades amb els perfils de l'estructura:

$$\text{Eixos X} = \text{Perfil B} - 20\text{mm}$$

$$\text{Eixos Y} = \text{Perfil A} - 60\text{mm}$$

$$\text{Eixos Z} = \text{Perfil D} - 10\text{mm}$$

L'impressora està configurada per poder muntar-se amb eixos molt més llargs que els del volum d'impressió per maximitzar la compatibilitat i facilitar un reemplaç provisional en cas de necessita. El rang de tamanys acceptat per la maquina estan definits per la següent equació:

$$\text{Altura}_{\max} = \text{Eix Z} - \text{Altura motor Z}$$

$$\text{Altura}_{\min} = \text{Altura d'impressió} - \text{motor Z} + 10\text{mm}$$

6.2. Dimensions Panells

Les dimensions generals especificades a continuació sols defineixen l'ample i l'altura màxims de cada panell. Per obtindre més detalls sobre la resta de les dimensions, com les posicions dels forats per als cargols o les diferents ranures, cal dirigir-se al document de plànols.

Per a l'altura dels panells cal fer ús d'el valor Y_{\max} que es calcula sumant 40mm (gruix d'un perfil x 2) a la longitud del perfil D, és a dir:

$$Y_{\max} = L_D + (20 \times 2)$$

En el cas de la màquina desenvolupada en el projecte:

$$Y_{\max} = 400\text{mm} + (20\text{mm} \times 2) = 440 \text{ mm}$$

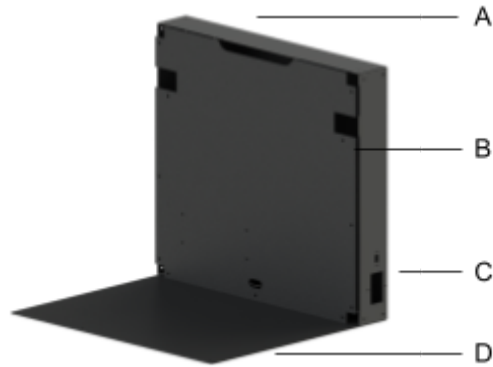


Figura 22: Index panells opacs

Dimensions generals panells opacs:

	Superfície d'impressió (mm)				
Panells	240 x 280	220 x 220	235 x 235	300 x 300	310 x 310
A	65 x 470	65 x 410	65 x 425	65 x 490	65 x 500
B	$Y_{\max} \times 470$	$Y_{\max} \times 410$	$Y_{\max} \times 425$	$Y_{\max} \times 425$	$Y_{\max} \times 427$
C	$Y_{\max} \times 65$	$Y_{\max} \times 65$	$Y_{\max} \times 65$	$Y_{\max} \times 65$	$Y_{\max} \times 65$
D	410 x 470	390 x 410	405 x 425	470 x 425	480 x 425

Taula 11: Dimensions generals panells opacs

Les fórmules utilitzades per determinar les dimensions són les següents:

Panell opac A => $65 \times (\text{Ample}_{\text{Lit}} + 190)$

Panell opac B => $Y_{\max} \times (\text{Ample}_{\text{Lit}} + 190)$

Panell opac C => $Y_{\max} \times 65$

Panell opac D => $(\text{Profunditat}_{\text{Lit}} + 170) \times (\text{Ample}_{\text{Lit}} + 190)$

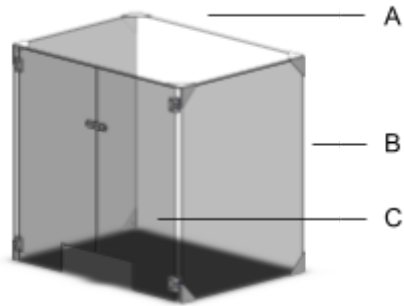


Figura 23: Índex panells transparents

Dimensions generals panells transparents:

	Superfície d'impressió (mm)				
Panells	240 x 280	220 x 220	235 x 235	300 x 300	310 x 310
A	344 x 470	324 x 410	339 x 425	404 x 490	414 x 500
B	$Y_{\max} \times 344$	$Y_{\max} \times 324$	$Y_{\max} \times 339$	$Y_{\max} \times 404$	$Y_{\max} \times 414$
C	$Y_{\max} \times 225$	$Y_{\max} \times 195$	$Y_{\max} \times 202,5$	$Y_{\max} \times 235$	$Y_{\max} \times 240$

Taula 12: Dimensions generals panells transparents

Les fórmules utilitzades per determinar les dimensions són les següents:

Panell transparent A => $(\text{Profunditat}_{\text{Lit}} + 104) \times (\text{Ample}_{\text{Lit}} + 190)$

Panell transparent B => $Y_{\max} \times (\text{Profunditat}_{\text{Lit}} + 190)$

Panell transparent C => $Y_{\max} \times (\text{Ample}_{\text{Lit}} + 170) / 2$

7. Referències

3DBenchy. <<http://www.3dbenchy.com>> [Consulta: 14 de juliol de 2021]

Broncesval. "EN AW-6063". En:

<<https://www.broncesval.com/aluminio/aluminio-aleacion-magnesio-en-aw-6063/>>

[Consulta: 14 de juliol de 2021]

Broncesval. "Metacrilato PMMA". En:

<<https://www.broncesval.com/plasticos-tecnicos/pmma-metacrilato/>> [Consulta: 14 de juliol de 2021]

CNC Kitchen. "The influence of extrusion temperature on layer adhesion". (19-12-2020) En:

<<https://www.cnckitchen.com/blog/the-influence-of-extrusion-temperature-on-layer-adhesion>> [Consulta: 14 de juliol de 2021]

CNC Kitchen. "The influence of layer height on the strength of FDM 3D Prints". (28-09-2019)

En:

<<https://www.cnckitchen.com/blog/the-influence-of-layer-height-on-the-strength-of-fdm-3d-prints>> [Consulta: 14 de juliol de 2021]

Eolas Prints. "Ficha Técnica del PLA". En:

<https://eolasprints.com/es/index.php?controller=attachment&id_attachment=1>

[Consulta: 14 de juliol de 2021]

Fiberlogy. "Technical Data Sheet PA12-CF15". En:

<https://fiberlogy.com/wp-content/uploads/2018/10/TDS_PA12CF15.pdf> [Consulta: 14 de juliol de 2021]

L. Alvarez, K., Lagos, R. & Aizpun, M. "Investigating the influence of infill percentage on the mechanical properties of fused deposition modelled ABS parts". (12-2016) En:

<https://www.researchgate.net/publication/311740076_Investigating_the_influence_of_infill_percentage_on_the_mechanical_properties_of_fused_deposition_modelled_ABS_parts> [Consulta: 14 de juliol de 2021]

Smart Materials 3D. "ABS Technical Data Sheet". En:

<https://www.smartmaterials3d.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=63> [Consulta: 14 de juliol de 2021]

Smart Materials 3D. "ASA Technical Data Sheet". En:

<https://www.smartmaterials3d.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=172> [Consulta: 14 de juliol de 2021]

_____**PRESSUPOST**_____

1. Pressupost

Donat que aquest producte està pensat per ser fabricat per l'usuari final el pressupost no té en compte la mà d'obra ni les hores treballades i és, per tant, una llista de tots els components que aquest necessita per muntar-la. També cal mencionar que el preu final del producte pot variar depenent dels proveïdors que l'usuari trie i d'altres factors com, per exemple, si aquest decideix tallar els panells a mà o no tancar el volum d'impressió, pel que el pressupost mostrat ha d'interpretar-se més com una referència que com un pressupost estricte.

Producte	Unitats	Preu (€)	Proveïdor
Perfil 20x20 tipo B ranura 6 430mm	6	8,22	Motedis
Perfil 20x20 tipo B ranura 6 410mm	4	5,23	Motedis
Perfil 20x20 tipo B ranura 6 400mm	4	5,10	Motedis
Perfil 20x20 tipo B ranura 6 200mm	2	1,08	Motedis
Eix acer templat H6 350mm	2	3,24	Motedis
Vareta carboni pultrusió 8x1000mm	1	14,20	Clipcarbono
Plaques de metacrilat incolor i negre	11	151,25	MetavalAbella
Cargols 3x5	52	2,18	Motedis
Cargols 3x35	2	0,40	Motedis
Cargols + femelles tipo T M5x8mm	94	21,98	Majoser
Cargols 5x22	4	0,40	Motedis
Cargols 5x32	1	0,12	Motedis
Cargols 5x40	1	0,15	Motedis
Cargols 6x10	4	0,34	Motedis
Esquadres per a perfils 20x20	25	13,39	Ymwave
Rodament lineal Igus RJ4P-01-10	4	5,65	Motedis
Rodament lineal Igus RJ4P-01-8	12	12,99	DryLin R
Corrioles dentades GT2 de 20 dents	10	12,90	Fularr
Corrioles dentades GT2 amb fixació	10	9,90	Fularr

Corrioles llises de 5mm diàmetre	9	12,38	Electrely
Corretja GT2 6mm	1(5m)	8,99	Dollatek
Motor Nema17 59Ncm	3	44,99	Longrunner
Motor Nema17 amb eix roscat 300mm	2	43,39	Ashata
Kit extrusora + fusor BMG Wind	1	52,13	Mellow Store
Gola tèrmica V6 de titani	1	3,68	Trianglelab
Ventilador 120mm 12V	1	-	Artic
Ventilador 20mm 12V	1	14,90	Noctua
Ventilador radial 6015 12V	1	2,18	Onebstr
Reixeta antipols ventiladors	1	-	-
Allargador USB B mascle a A femella	1	7,74	System-S
skr 1.4 Turbo + TMC 2209 + TFT 35	1	60,76	Bigtreetech
Font d'alimentació 360W	1	31,88	Dumvoin
MOSFET 30A 8-24V	1	7,16	Fystec
Bobina filament PLA Premium 1,75	250g	10'99	Eolas
Total		576.68	