



U SCIENCE TECH
FACULTAT DE CIÈNCIES
I TECNOLOGIA
UVIC-UCC

Treball de Fi de Grau

Tribòmetre Pin-on-Disk

Matheus Felipe Borborema Rodrigues

Enginyeria Mecatrònica

Director: Ramón Jerez Mesa

Vic, 4 de juny del 2019

Agraeixo a en Ramón per la seva atenció i paciència com a tutor.

I dono la gràcies a en Jordi pels seus consells i suport durant la construcció del projecte.



Resum del Treball de Fi de Grau Enginyeria Mecatrònica

Títol: Tribòmetre Pin-on-Disk

Paraules clau: tribòmetre, Pin-on-Disk, tribologia, mecànica, CAD

Autor: Matheus Felipe Borborema Rodrigues

Direcció: Ramón Jerez Mesa

Data: 4 de juny del 2020

Resum

L'objectiu d'aquest Treball de Fi de Grau és realitzar el disseny d'un tribòmetre Pin-on-Disk, mecànic i teòric, i posteriorment procedir al seu muntatge. Per obtenir un disseny òptim abans s'ha realitzat una recerca sobre el món de la tribologia. Ja sigui cercant informació sobre aquesta rama de la ciència, com consultant l'estat de l'art actual del món comercial dels tribòmetres i també les normes estàndards que influeixen en els assajos de tribologia.

La realització del càlcul teòric s'ha basat prèviament en la consulta de diferents normes estàndards, amb la finalitat d'obtenir paràmetres de disseny per la màquina contrastats. S'entén per paràmetres de disseny velocitats, forces, entre altres magnituds emprades a la màquina. Posteriorment s'ha procedit als càlculs mecànics dels diferents actuadors de la màquina per assolir aquests paràmetres. Es discuteix quins criteris teòrics s'han aplicat, i si ha sigut possible assolir el disseny desitjat.

El disseny mecànic de la màquina s'ha basat en una recerca prèvia de l'estat de l'art de tribòmetres. S'ha comparat les diferents configuracions mecàniques per tal de tenir en compte els avantatges de cadascuna. Cal remarcar que s'ha donat importància a la innovació en aquest apartat, dins d'un marc raonable, i no s'ha desitjat realitzar una replica d'un tribòmetre existent. Per aquesta raó el disseny CAD ha tingut una gran importància. Finalment s'ha arribat a un disseny que satisfà les característiques d'un tribòmetre estàndard. I que permetria la fabricació de màquines de tribologia a un baix cost, seguint aquest disseny.



Final Project of Degree Abstract Mechatronics Engineering

Title: Tribometer Pin-on-Disk

Key words: tribometer, Pin-on-Disk, tribology, mechanics, CAD

Author: Matheus Felipe Borborema Rodrigues

Director: Ramón Jerez Mesa

Date: June 4, 2020

Abstract

The objective of this End-of-Degree Work is to design a Pin-on-Disk Tribometer, mechanical and theoretical, and then proceed to its assembly. In order to obtain an optimal design, research on the world of Tribology has been carried out beforehand. Either by looking for information on this branch of science, or by consulting the current state of the art of the commercial world of tribometers and also the standard norms that influence Tribology testing.

The realization of the theoretical calculation has been previously based on a query of different standard norms, in order to obtain contrasted design parameters for the machine. Design parameters are understood to be velocity, forces, among other magnitudes used in the machine. Subsequently, mechanical calculations of the different machine actuators have been made to achieve these parameters. It is discussed what theoretical criteria have been applied, and if it has been possible to achieve the desired design.

The mechanical design of the machine has been based on a previous investigation of the state of the art of tribometers. The different mechanical configurations have been compared to take into account the advantages of each one. It should be noted that importance has been given to innovation in this section, within a reasonable framework, and it has not been desired to make a replica of an existing tribometer. For this reason the CAD design had a great importance. Finally, the final design satisfies the characteristics of a standard tribometer. And that would allow the manufacture of tribology machines at a low cost, following this design.

Índex de continguts

1. Introducció	1
1.1. La tribologia	2
1.2. Normes ASTM	4
1.3. Estat de l'art.....	9
2. Objectius	11
2.1. Objectiu principal	11
2.2. Objectius específics.....	11
3. Disseny del prototip	12
3.1. Avaluació d'alternatives de disseny.....	12
3.2. Descripció general del prototip	13
3.3. Disseny mecànic	16
3.3.1. Càlcul parells motor.....	16
3.3.2. Càlcul molla.....	22
3.4. Disseny electrònic.....	25
4. Fabricació del prototip	27
4.1. Fabricació del sistema de rotació i fixació del disc	27
4.2. Fabricació del sistema de càrrega.....	29
4.3. Cost materials	31
5. Resultats	32
5.1. Càlculs mecànics i electrònics	32
5.2. Disseny mecànic	32
5.3. Fabricació prototip	33
6. Conclusió	35
7. Bibliografia	36

Llista de figures

Figura 1. Assajos de tribologia [15]	3
Figura 2. Radi de l'àrea de contacte [6]	5
Figura 3. Paràmetres típics d'assaig [14]	6
Figura 4. Característiques de mostres utilitzades en laboratoris [12].....	7
Figura 5. Fórmula pèrdua de volum [12].....	7
Figura 6. Resultats obtinguts a laboratori [12]	8
Figura 7. Tribòmetre Anton Paar TRB3 [1]	9
Figura 8. Tribòmetre UTS T30M-HT [5]	10
Figura 9. Tribòmetre UniTest 750 [2].....	10
Figura 10. Primer esbós prototip.....	12
Figura 11. Segon esbós prototip.....	12
Figura 12. Estructura tribòmetre	13
Figura 13. Mordassa K11-125 [3].....	14
Figura 14. Muntatge mordassa	14
Figura 15. Primer disseny del sistema de càrrega	15
Figura 16. Segon disseny del sistema de càrrega	15
Figura 17. Inèrcia mordassa	16
Figura 18. Inèrcia disc.....	16
Figura 19. Model mecànic transmissió eix X [10]	18
Figura 20. Massa sistema de càrrega.....	19
Figura 21. Model mecànic transmissió eix Y [10]	20
Figura 22. Massa conjunt porta pin	21
Figura 23. Corba força-deflexió d'una molla [11]	22
Figura 24. Molla comercial (Spring Makers, 2020)	23
Figura 25. Paràmetres molla [11].....	23
Figura 26. Característiques ADC [7]	26
Figura 27. ADC ADS1115 [17].....	27
Figura 28. Primer muntatge	28
Figura 29. Segon muntatge.....	28
Figura 30. Comprovació rodament amb eina SKF (SKF, 2020)	29
Figura 31. Muntatge sistema de càrrega.....	30
Figura 32. Restricció rotació porta pin.....	30
Figura 33. Vistes del disseny final	34

1. Introducció

Aquest Treball de Fi de Grau s'ha realitzat degut a l'interès en dissenyar una màquina real i funcional. Es realitza aquest disseny amb la intenció d'assolir competències en el càlcul teòric de màquines. I es dóna importància a l'apartat de disseny CAD, ja que es desitja realitzar un disseny propi i innovador, sense replicar un tribòmetre comercial existent.

Específicament, en aquest TFG es considera el model de tribòmetre **Pin-on-Disk**. Aquesta configuració de tribòmetre permet realitzar assajos en els quals una peça de forma esfèrica, **pin**, aplica una càrrega sobre una peça amb superfície plana en rotació, **disc**. Aquest assaig es realitza amb la finalitat d'estudiar posteriorment el desgast produït entre els dos elements, pin i disc.

Cal remarcar les principals característiques generals que ha de tenir una màquina per tal de realitzar un assaig de tribologia:

- Rigidesa de la màquina: la màquina d'assajos ha de ser suficient robusta i estable per evitar que les vibracions afectin els resultats de l'assaig de desgast.
- Sistema de control: un sistema capaç de mantenir una velocitat constant del disc respecte el pin.
- Comptador de cicles: la màquina d'assajos hauria d'estar equipada amb un dispositiu que compti i registri el nombre de revolucions del disc.
- Suport de mostres de disc: una mordassa o un altre dispositiu és necessari per subjectar de forma segura el disc.
- Fricció: és recomanable que el mecanisme disposi de dispositius capaços de mesurar la força de fricció, per exemple una cèl·lula de càrrega.

Els principals paràmetres d'assaig d'un tribòmetre són:

- Càrrega: la força de contacte entre el pin i el disc.
- Velocitat: és la velocitat de lliscament relativa entre les superfícies en contacte.

- Distància: la distància de lliscament acumulada en metres.
- Atmosfera: temperatura ambient del lloc on es realitza el test.

A continuació es farà una anàlisi sobre el món de la tribologia, normes estàndards d'assajos i estat de l'art dels tribòmetres.

1.1. La tribologia

La paraula tribologia prové del terme grec "tribos" que significa fricció o fregament. Així que la traducció completa de la paraula resulta ser "la ciència de la fricció o fregament". En la tribologia s'estudien principalment dos fenòmens, la **fricció** i el **desgast**.

La **fricció** és la força que s'oposa al moviment relatiu entre dues superfícies sòlides. Generalment la fricció genera problemes tals com:

- Pèrdua d'energia a causa de la generació de calor.
- Reducció de la durabilitat del material a causa del desgast.
- Molèsties degut al soroll.

Però per altres casos la fricció és necessària per a la funcionalitat d'algunes aplicacions, com per exemple cargols, frens, pneumàtics, etc.

El **desgast** és el procés d'eliminació de material d'una o de les dues superfícies sòlides que estan en contacte. Es produeix quan aquestes dos superfícies estan sotmeses a un moviment relatiu de lliscament o rodolament. Existeixen diversos tipus de desgast, tal com:

- Desgast adhesiu.
- Desgast abrasiu.
- Desgast erosiu.
- Desgast per fatiga superficial.
- Desgast per corrosió.
- Desgast per cavitació.

Degut que el desgast dels materials és un dels principals problemes en la indústria, existeix la necessitat d'estudiar aquest fenomen. Per aquesta raó actualment es realitzen assajos de tribologia per avaluar el comportament dels materials. D'aquesta manera es pot predir el seu comportament i anticipar-se als possibles problemes, així com programar manteniments preventius.

Els assajos de tribologia intenten reproduir les condicions reals a la que haurà de treballar un material. Encara que en molts casos és impossible simular totalment aquestes condicions. No obstant els resultats poden ser emprats en estudis comparatius dels materials d'interès. Actualment existeixen diversos tipus d'assajos de tribologia, entre ells l'assaig Pin-on-Disk.

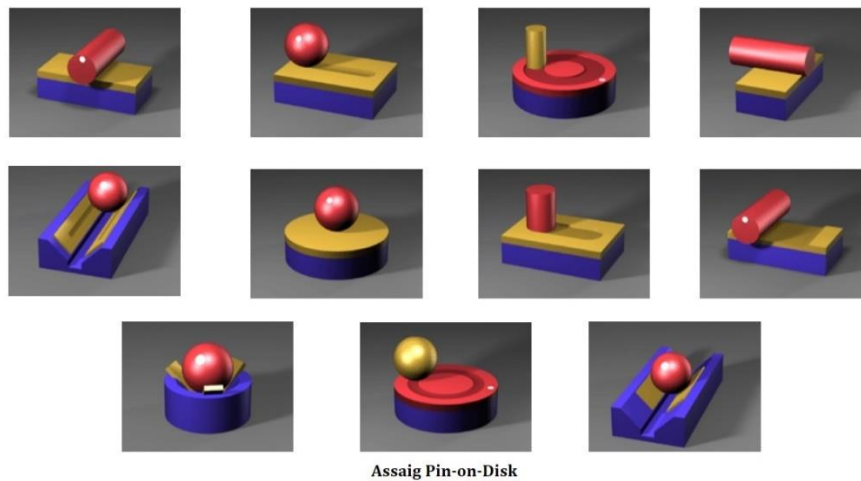


Figura 1. Assajos de tribologia [15]

Degut a la àmplia existència de diferents tipus d'assajos de tribologia, existeixen organismes públics i privats que normalitzen aquests assajos. Aconsellen que es segueixi les seves normes i directrius per tal d'obtenir resultats fiables en els assajos. Les principals agències de normalització internacionals són:

- ASTM: American Society for Testing Materials (USA).
- DIN: Deutsches Institut für Normung (Institut Alemany de Normalització).
- ISO: International Organization for Standardization (Suïssa).
- BS: British Standards (UK).

1.2. Normes ASTM

Com s'ha mencionat anteriorment, l'ASTM és una de les principals agències de normalització d'assajos de tribologia. Per aquesta raó s'ha decidit analitzar algunes de les seves normes amb la finalitat d'obtenir paràmetres d'assaig contrastats pel disseny de la màquina. Concretament s'han analitzat les següents normes:

- **Norma ASTM G132-96:**

La norma ASTM G132-96, Mètode d'Assaig Estàndard per a Assajos d'Abrasió en un Pin, detalla el procediment a seguir en un laboratori per tal de determinar la resistència al desgast d'un material quan es produeix un moviment entre una tela, pel·lícula de plàstic o paper abrasiu i un pin del material de prova.

Per aquest assaig, dos exemplars de pins són requerits. Un és del material d'assaig. L'altre és d'un material de referència. Cada pin és situat perpendicular a la superfície abrasiva, la qual és muntada en un disc circular. La màquina d'assaig permet un moviment relatiu entre la superfície abrasiva i el pin. El pin és pressionat contra la superfície abrasiva amb una càrrega específica exercida a través de pesos morts o un altre sistema. La rotació del pin és opcional.

Vàries mides i tipus d'abrasius són empleats en aquests assajos. L'abrasiu està enganxat a una tela, paper o pel·lícula de plàstic, i el conjunt està muntat al disc. El granat és un mineral preferible per aquests assajos, ja que dona bones correlacions.

Els seus paràmetres d'assaig són els següents:

- Càrrega: no especifica una càrrega concreta, però ens proporciona un rang de pressió d'1 a 2,5 MPa. Amb aquesta dada i les especificacions de diàmetre del pin (màx.= 10 mm, mín.= 2 mm), es pot trobar la càrrega màxima i mínima en newtons:

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F_{MÀX.}, F_{MÍN.}$$

A l'hora d'avaluar l'àrea de contacte que tindrà el pin amb el disc, es pot afirmar que es tindrà una àrea més reduïda, per tant el radi sempre serà

inferior al radi de la bola. Per determinar aquest radi s'ha analitzat la Teoria de Pressió de Contacte d'Hertz.

Si es té en compte que el pin serà una esfera de radi **R** que s'enfonsa la profunditat **d**. La teoria indica que l'àrea de contacte entre aquestes dues superfícies tindrà un radi **a** de:

$$a = \sqrt{R * d}$$

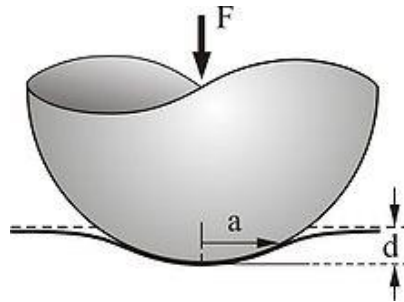


Figura 2. Radi de l'àrea de contacte [6]

Es fa la hipòtesi que la penetració **d** en la superfície serà de 1 mm. Es procedeix a calcular la càrrega màxima i mínima segons les dades extremes de la norma. Els valors obtinguts són orientatius, serveixen per definir un ordre de magnituds per tenir en compte en el disseny de la màquina.

$$2,5 \text{ MPa} = \frac{F_{M\grave{A}X.}}{4\pi * (\sqrt{5} * 1)^2} \rightarrow F_{M\grave{A}X.} = 157,08 \text{ N}$$

$$1 \text{ MPa} = \frac{F_{M\grave{I}N.}}{4\pi * (\sqrt{1} * 1)^2} \rightarrow F_{M\grave{I}N.} = 12,57 \text{ N}$$

- **Velocitat:** la norma només indica un rang de velocitat de translació d'1 a 10 cm/s. Es procedeix a calcular el rang de velocitat angular del porta-discs en rpm. Es té en compte la dada anterior i les especificacions de diàmetre del disc (màx.= 100mm, mín.= 30mm).

$$1 \text{ rev.} = 2\pi r$$

$$RPM \text{ màx.} = 0,1 \frac{m}{s} * \frac{1 \text{ s}}{0,0167 \text{ min.}} * \frac{1 \text{ rev.}}{2\pi * 0,015} = 63,53 \text{ rpm}$$

$$RPM \text{ mín.} = 0,01 \frac{m}{s} * \frac{1 s}{0,0167 \text{ min.}} * \frac{1 \text{ rev.}}{2\pi * 0,05} = 1,91 \text{ rpm}$$

- Longitud de pista: distància de lliscament, en metres.
- Entorn: aire de l'habitació normalment a 20 a 25 °C. La humitat i qualsevol entorn poc comú deu ser reportat.

Pin Diameter, mm	Force, N	Speed, m/s	Pin Rotation, r/min	Path Length, m
6.35	66.7	0.04	17 to 20	4 to 16

Figura 3. Paràmetres típics d'assaig [14]

- **Norma ASTM G99-95a:**

La norma ASTM G99-95a, Mètode d'Assaig Estàndard per a Assajos de Desgast amb Mecanismes Pin-on-Disk, descriu el procediment de laboratori per determinar el desgast de materials durant el seu lliscament amb un mecanisme Pin-on-Disk. Els materials són avaluats en parelles, normalment sota condicions no abrasives.

Per l'assaig de desgast pin-on-disk, dues mostres seran requerides. Una serà el pin amb punta arrodonida, posicionat de forma perpendicular a l'altre, normalment un disc circular. Una bola, sostinguda fermament, normalment és utilitzada com mostra de pin.

Els resultats de desgast normalment són obtinguts realitzant un assaig seleccionant una distància de lliscament, càrrega o velocitat. Els resultats també poden ser expressats en alguns casos amb gràfiques de volum de desgast contra distància de lliscament, utilitzant diferents exemplars per a diferents distàncies.

	Composition (weight%)	Microstructure	Hardness (HV 10)	Roughness ^A	
				R_z (mean) (μm)	R_a (mean) (μm)
Steel ball (100 Cr6) (AISI 52 100) ^B Diameter 10 mm	1.35 to 1.65 Cr ← 0.95 to 1.10 C 0.15 to 0.35 Si 0.25 to 0.45 Mn	martensitic with minor carbides and austenite	838 ± 21	0.100	0.010
Steel disc (100 Cr6) (AISI 52 100) ^C Diameter 40 mm	← <0.030 P ← <0.030 S	martensitic with minor carbides and austenite	852 ± 14	0.952	0.113
Alumina ball, diameter = 10 mm ^D	← 95 % Al ₂ O ₃ (with addi- tives of TiO ₂ ,	equi-granular alpha alumina with very minor secondary phases	1610 ± 101 (HV 0.2)	1.369	0.123
Alumina disc, diameter = 40.6 mm ^D	← MgO and ZnO)		1599 ± 144 (HV 0.2)	0.968	0.041

^A Measured by stylus profilometry. R_z is maximum peak-to-valley roughness. R_a is arithmetic average roughness.

^B Standard ball-bearing balls (SKF).

^C Standard spacers for thrust bearings (INA).

^D Manufactured by Compagnie Industrielle des Ceramiques Electroniques, France.

Figura 4. Característiques de mostres utilitzades en laboratoris [12]

Els seus paràmetres d'assaig són els següents:

- Càrrega: no especifica cap rang de càrrega.
- Velocitat: aconsella un rang de 60 a 600 rpm.
- Mostres: la típica mostra de pin és cilíndrica o esfèrica en forma. Normalment tenen un rang de diàmetres de 2 a 10 mm. I el disc d'assaig sol tenir un rang de diàmetre de 30 a 100 mm i un gruix en el rang de 2 a 10 mm.
- Acabat de la superfície: és aconsellable que tingui una rugositat de 0.8 μm .

Les mesures haurien de ser reportades en pèrdua de volum (mm^3) pel pin i el disc, de forma separada. El coeficient de fricció (definit en la terminologia G40) haurà de ser reportat.

$$\begin{aligned} \text{pin (spherical end) volume loss, mm}^3 &= \frac{\pi (\text{wear scar diameter, mm})^4}{64 (\text{sphere radius, mm})} \\ \text{disk volume loss, mm}^3 &= \frac{\pi (\text{wear track radius, mm})(\text{track width, mm})^3}{6 (\text{sphere radius, mm})} \end{aligned}$$

Figura 5. Fórmula pèrdua de volum [12]

Com a mínim l'informe haurà de contenir tipus de material, forma, processament, acabat de la superfície i procediment de preparació de mostres.

Results (ball) (disk)	Specimen Pairs			
	Steel-steel	Alumina-steel	Steel-alumina	Alumina-alumina
Ball wear scar diameter (mm)	2.11 ± 0.27 (2.11 ± 0.27)	NM	2.08 ± 0.35 (2.03 ± 0.41)	0.3 ± 0.06 (0.3 ± 0.06)
Ball wear volume (10 ⁻³ mm ³)	198 (198)	...	186 (169)	0.08 (0.08)
Number of values	102 (102)	...	60 (64)	56 (59)
Disk wear scar width (mm)	NM	0.64 ± 0.12 (0.64 ± 0.12)	NM	NM
Disk wear volume (10 ⁻³ mm ³)	...	480 (480)
Number of values	...	60 (60)
Friction coefficient	0.60 ± 0.11	0.76 ± 0.14	0.60 ± 0.12	0.41 ± 0.08
Number of values	109	75	64	76

^A Test conditions: $F = 10 \text{ N}$; $v = 0.1 \text{ ms}^{-1}$, $T = 23^\circ\text{C}$; relative humidity range 12 to 78 %; laboratory air; sliding distance 1000 m; wear track (nominal) diameter = 32 mm; materials: steel = AISI 52 100; and alumina = $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Figura 6. Resultats obtinguts a laboratori [12]

- **Norma ASTM F732-00**

Aquesta norma es basa en l'aplicació de tres assajos de desgast diferents:

- Mètode d'assaig d'aplicacions de moviment de desgast lineal recíproc.
- Mètode d'assaig d'aplicacions "Hype-Type".
- Mètode d'assaig d'aplicacions nominalment lineals de delaminació.

S'analitzarà els paràmetres d'interès, com són les característiques de la màquina, per tal de realitzar una comparació amb les altres normes. S'agafarà com referència el primer tipus de test.

La norma F732-00, Mètode d'Assaig Estàndard per a Assajos de Desgast de Materials Utilitzats en Pròtesis d'Articulació Total, descriu el procediment de laboratori per avaluar les propietats de desgast de combinacions de materials utilitzats en aquestes articulacions.

Els seus paràmetres d'assaig són els següents:

- Càrrega: especifica que la càrrega haurà de ser de 225N.
- Velocitat: indica una velocitat de translació mitjana de 50 mm/s. Per tant es procedeix a calcular l'equivalent a rpm.

$$1 \text{ rev.} = 2\pi r$$

$$RPM \text{ màx.} = 0,05 \frac{m}{s} * \frac{1 s}{0,0167 \text{ min.}} * \frac{1 \text{ rev.}}{2\pi * 0,015} = 31,76 \text{ rpm}$$

$$RPM \text{ mín.} = 0,05 \frac{m}{s} * \frac{1 s}{0,0167 \text{ min.}} * \frac{1 \text{ rev.}}{2\pi * 0,05} = 9,53 \text{ rpm}$$

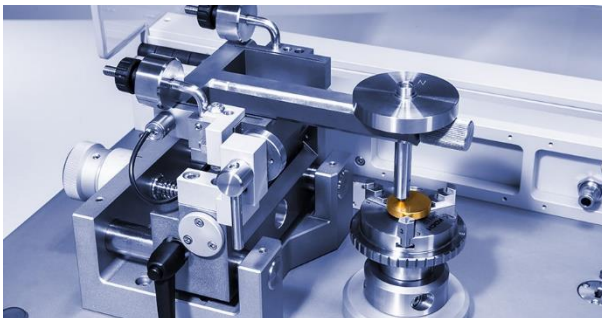
Després d'analitzar exhaustivament i comparar les tres normes anteriors, es decideix agafar els següents paràmetres de disseny inicials:

Càrrega: 225N
Velocitat: 600 rpm
Diàmetre pin: 10 mm

1.3. Estat de l'art

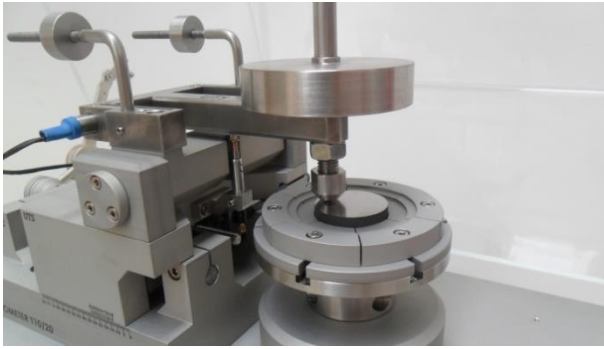
Consultant l'estat de l'art actual de les màquines de tribologia, s'ha comprovat que en el mercat existeix dues configuracions predominants:

- Configuració clàssica: és una configuració senzilla en la qual el tribòmetre té una forma de "martell". Se situa un pes a la seva punta per tal d'exercir una força externa sobre l'element avaluat.



Força	0 - 60N
F. fricció	0 - 20N
Velocitat	0,2 - 2000 rpm
Parell màx.	450 mN*m

Figura 7. Tribòmetre Anton Paar TRB3 [1]



Força	0 - 60N
F. fricció mesura	0 - 100N
Velocitat	50 - 1000 rpm

Figura 8. Tribòmetre UTS T30M-HT [5]

- Configuració cartesiana: és una configuració més complexa en la qual el tribòmetre té una forma semblant a una impressora 3D, i pot variar la posició dels seus eixos de manualment de forma lineal. La força externa no l'exerceix un pes com en la configuració anterior, sinó un component elèctric/mecànic. Aquesta configuració és menys predominant en el mercat.

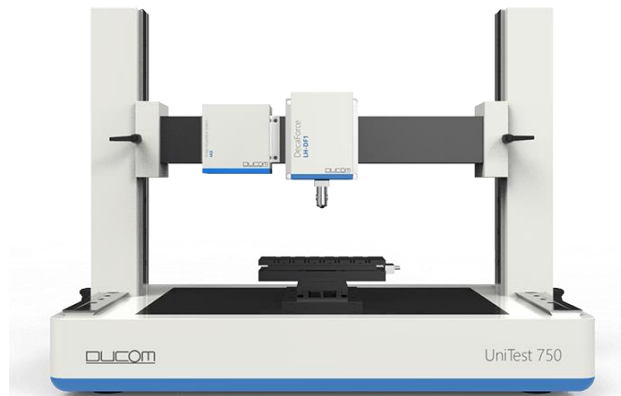


Figura 9. Tribòmetre UniTest 750 [2]

2. Objectius

2.1. Objectiu principal

- Dissenyar, muntar i testejar un tribòmetre funcional i assequible.

2.2. Objectius específics

- Cercar informació sobre la tribologia i tribòmetres.
- Consultar i discutir normes estàndards de tribologia.
- Realitzar càlculs teòrics necessaris per al disseny d'un tribòmetre.
- Dissenyar un prototip d'un tribòmetre amb el software CAD PTC Creo.
- Muntar el prototip del tribòmetre.
- Testejar el prototip del tribòmetre.

A causa de la situació de confinament pel virus COVID-19, els objectius relacionats amb el muntatge físic i prova del prototip han estat perjudicats. Alguns han estat completats parcialment, i d'altres han hagut de ser ajornats per a futures accions de treball.

3. Disseny del prototip

3.1. Avaluació d'alternatives de disseny

Aquest projecte no es basarà en una replicació estricta de la millor configuració de tribòmetre Pin-on-Disk. Si no que s'enfocarà en construir un tribòmetre tenint en compte els punts forts de cada configuració, per tal d'incloure en un prototip final. Es detalla a continuació les principals alternatives que s'han considerat per el disseny del prototip.

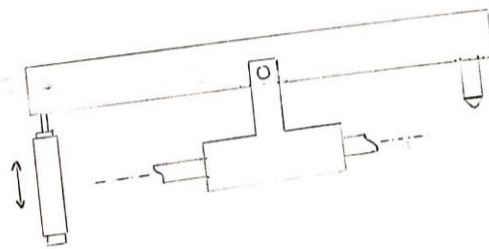


Figura 10. Primer esbós prototip

En primer lloc es considerava realitzar un prototip basant-se en un tribòmetre clàssic (**Figura 10**). Però canviant el sistema de càrrega amb pesos morts per un sistema de palanca pneumàtic. S'aplicaria una càrrega desitjada sobre el disc d'assaig amb l'ajuda d'un pistó pneumàtic. Però després d'analitzar a fons aquesta variant de disseny, es va descartar. Ja que resulta molt complex controlar amb precisió un pistó pneumàtic.

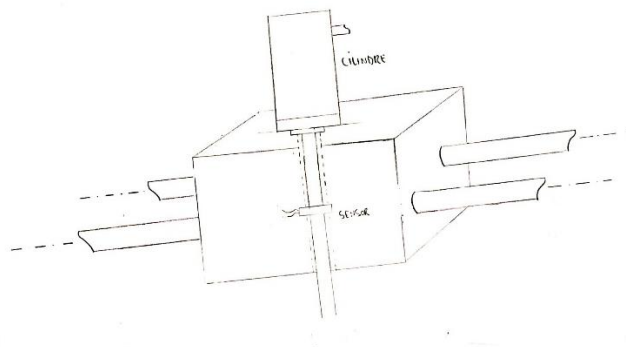


Figura 11. Segon esbós prototip

Posteriorment es va realitzar un segon esbós (**Figura 11**). Per solucionar el problema de control del pistó es va optar en incorporar una cèl·lula de càrrega. La cèl·lula de càrrega s'encarregaria de regular la càrrega aplicada per el pistó a sobre el disc. També es va decidir canviar l'estructura de palanca per un sistema de desplaçament cartesià. Però tot i així la idea no va madurar.

Finalment es va decidir conservar l'estructura cartesiana, però canviant el pistó pneumàtic per un altre sistema. Un motor i un vis sense fi s'encarregaria d'aplicar la càrrega. Es mantindria la cèl·lula de càrrega per contrastar la càrrega aplicada, i també s'afegiria una molla per disposar d'una càrrega lineal.

3.2. Descripció general del prototip

Després del procés de deliberació i disseny descrit a l'apartat anterior, el prototip al què es va arribar es el següent:

- Estructura: es pretén realitzar el prototip basant-se en una configuració cartesiana. Ja que es pot incorporar motors i obtenir un mecanisme dinàmic. Això facilitaria els assajos, perquè es podria manipular la màquina de forma precisa i automatitzada.

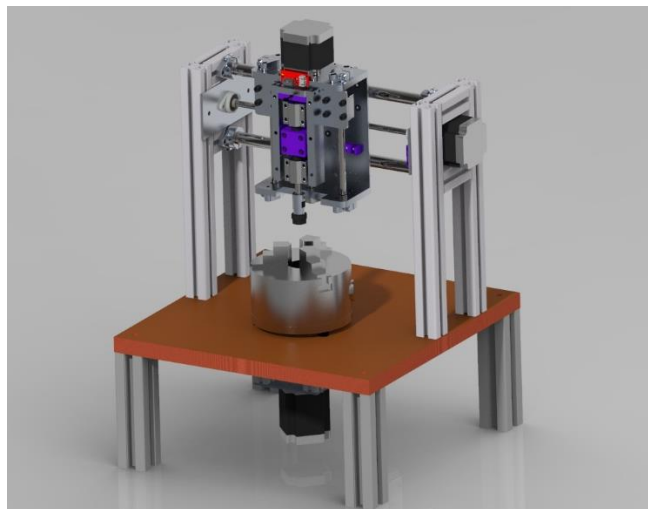


Figura 12. Estructura tribòmetre

- Sistema de rotació i fixació del disc: s'ha decidit incorporar una mordassa de torn comercial de 125 mm d'abast, comunament implementades en els tribòmetres clàssics. Així es podrà fixar la peça ràpidament de manera segura i centrada a l'eix del motor. A l'estar centrada s'evita que es generi moments innecessaris durant la rotació del motor. Un motor pas a pas M23-1.9-1D06-DY-A, amb un driver TB6600, serà l'encarregat de fer girar la mordassa.

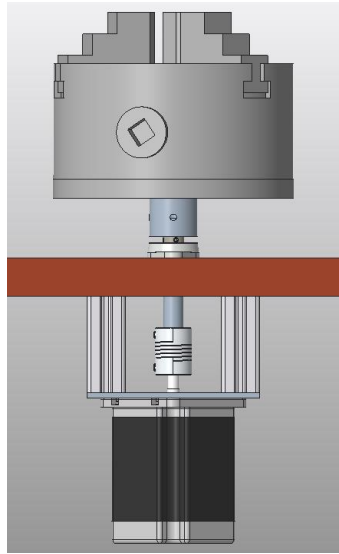


Figura 14. Muntatge mordassa



Figura 13. Mordassa K11-125 [3]

- Sistema de càrrega: és un component elèctric/mecànic encarregat d'aplicar la càrrega sobre el disc, i desplaçar el pin respecte l'eix X i Y amb l'ajuda de dos vis sens fi de 8mm i dos motor pas a pas M23-1.3-1D06-D9-A amb drivers drv8825. Amb l'ajuda d'una molla (ref: M01LE2662) i aplicant la Llei de Hooke ($F = k * \Delta l$), es podrà aplicar de forma lineal una força determinada a sobre el disc d'assaig. Aquest component també incorporarà una cèl·lula de càrrega per tal de contrastar les mesures de força.

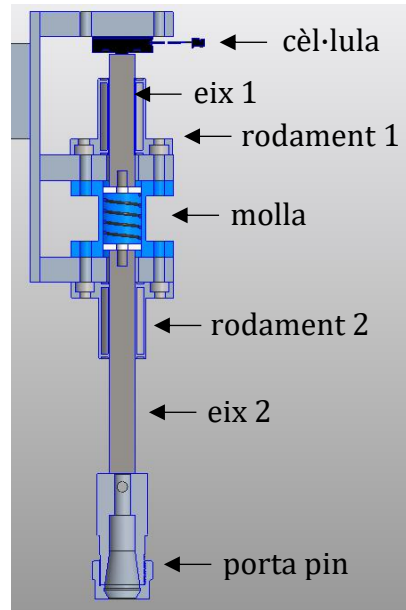
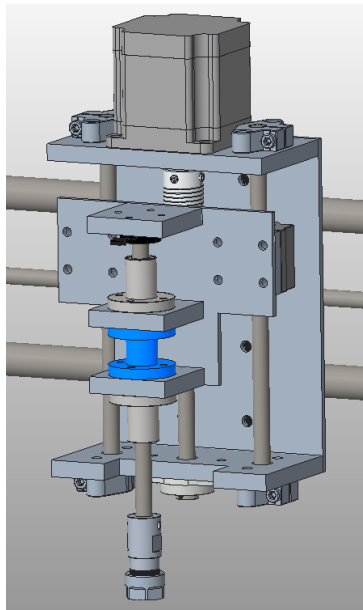


Figura 15. Primer disseny del sistema de càrrega

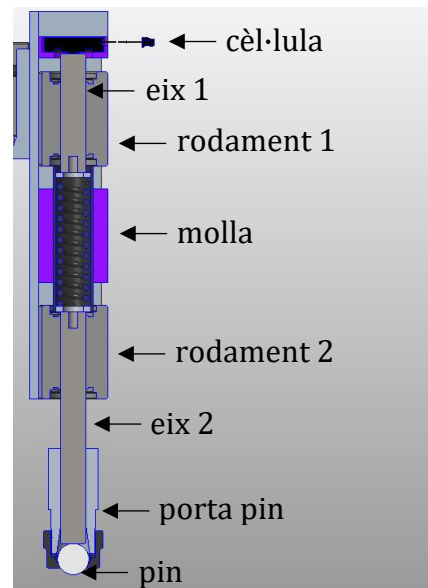
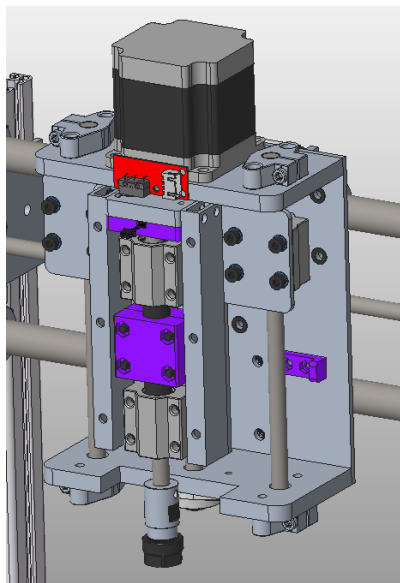


Figura 16. Segon disseny del sistema de càrrega

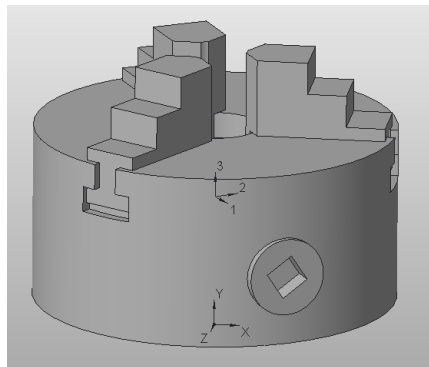
3.3. Disseny mecànic

Es justificarà els paràmetres de disseny de les diferents parts de la màquina. Tot aquest procés es farà basant-se en la informació extreta de les normes ASME.

3.3.1. Càlcul parells motor

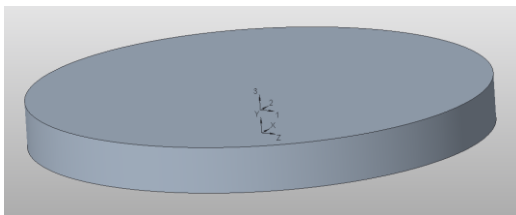
- **Motor del sistema de rotació i fixació:**

Es procedeix a calcular el parell que necessitarà el motor encarregat de rotar la mordassa conjuntament amb el disc. En primer lloc obtenim les inèrcies de les diferents peces que formaran el conjunt. Aquestes inèrcies s'obtindevin amb l'ajuda del software CAD PTC Creo, amb la seva eina d'anàlisis "Propiedades de masa", especificant acer com material.



```
TENSOR DE INERCIA:  
lxx lyy lzz 1.7595524e+01 -5.1607749e-03 -2.5713227e-03  
lyx lyy lzz -5.1607749e-03 1.0185694e+01 3.1229712e-03  
lzx lzy lzz -2.5713227e-03 3.1229712e-03 1.7593984e+01  
  
INERCIA en el CENTRO DE GRAVEDAD con relación al cuadro de coord  
  
TENSOR DE INERCIA:  
lxx lyy lzz 7.1364429e+00 -1.4611960e-03 -2.5725384e-03  
lyx lyy lzz -1.4611960e-03 1.0185691e+01 -3.1380953e-04  
lzx lzy lzz -2.5725384e-03 -3.1380953e-04 7.1349026e+00  
  
MOMENTOS PRINCIPALES DE INERCIA: (TONELADA * MM^2)  
I1 I2 I3 7.1329870e+00 7.1383578e+00 1.0185692e+01  
  
MATRIZ DE ROTACIÓN de la orientación _CHUCK_APT_K11_125MM_V7:  
0.59722 0.80208 -0.00048  
0.00037 0.00032 1.00000  
0.80208 -0.59722 -0.00010
```

Figura 17. Inèrcia mordassa



```
TENSOR DE INERCIA:  
lxx lyy lzz 4.0330197e-01 0.0000000e+00 0.0000000e+00  
lyx lyy lzz 0.0000000e+00 7.6576321e-01 0.0000000e+00  
lzx lzy lzz 0.0000000e+00 0.0000000e+00 4.0330194e-01  
  
INERCIA en el CENTRO DE GRAVEDAD con relación al cuadro de  
  
TENSOR DE INERCIA:  
lxx lyy lzz 3.8798670e-01 0.0000000e+00 0.0000000e+00  
lyx lyy lzz 0.0000000e+00 7.6576321e-01 0.0000000e+00  
lzx lzy lzz 0.0000000e+00 0.0000000e+00 3.8798668e-01  
  
MOMENTOS PRINCIPALES DE INERCIA: (TONELADA * MM^2)  
I1 I2 I3 3.8798665e-01 3.8798673e-01 7.6576321e-01  
  
MATRIZ DE ROTACIÓN de la orientación _PRT0008 a los EJES PRI  
0.00000 1.00000 0.00000  
0.00000 0.00000 1.00000  
1.00000 0.00000 0.00000
```

Figura 18. Inèrcia disc

L'eina d'anàlisi ens proporciona moltes dades, però cal observar només les inèrcies. En tractar-se de cossos amb simetria de revolució, només interessa avaluar les inèrcies en l'eix centroide. En aquest cas s'ha de tenir en compte l'eix Y. Com que els eixos centroides de les dues peces coincideixen, es podran sumar les seves inèrcies. El programa dóna les dades en $ton \cdot mm^2$, posteriorment cal passar-les a unitats SI. Les inèrcies obtingudes són les següents.

- Inèrcia mordassa= $1,01 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- Inèrcia disc mida màxima (100x10 mm)= $7 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

Abans de calcular el parell es necessita saber les rpm del sistema. En un principi s'havia decidit que es treballaria a 600 rpm. Però al treballar amb un motor pas a pas, serà difícil arribar a aquestes rpm sense perdre parell. Per tant s'ha de calcular les rpm que tindrà el sistema.

S'utilitza un motor pas a pas M23-1.9-1D06-DY-A amb un angle de pas de $1,8^\circ$. El hardware, driver TB6600, del motor es configurarà a pas complet, **200 passos per revolució**. I el software del motor, en aquest cas un programa en Arduino, serà configurat per donar 1000 polsos per segon (PPS), per tant tindrem **1000 passos per segon**. Si s'augmenta aquest nombre de PPS, el motor no funcionarà bé, ja que no es capaç d'assimilar més de 1000 PPS. Per tant es calcula els rpm màxims que podrà tenir el motor.

$$1,8^\circ * 200 \text{ pasos} = 360^\circ = 1 \text{ rev.}$$

$$rpm_{m\grave{a}x.} = \frac{1000 \text{ passos}}{1 \text{ s}} * \frac{1 \text{ rev.}}{200 \text{ passos}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 300 \text{ rpm}$$

Com s'ha comprovat el sistema podrà tenir 300 rpm com a màxim. Un cop obtinguda les inèrcies i rpm, es calcula l'acceleració angular i el parell mínim del motor aplicant el principi del moment d'inèrcia. S'aplica un factor de seguretat a causa de la fricció de $\eta_1 = 1,3$. El temps de reacció del sistema es fixarà en **0,5 s**.

$$I_T = 1,08 * 10^{-2} \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$\omega = 300 \text{ rpm} * \frac{2\pi}{1 \text{ rev.}} * \frac{1 \text{ min.}}{60 \text{ s}} = 31,42 \text{ rad/s}$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \rightarrow \frac{31,42 \text{ rad/s}}{0,5 \text{ s}} = 62,84 \text{ rad/s}^2$$

$$T = I * \alpha * \eta_1 \rightarrow (1,08 * 10^{-2}) * 62,84 * 1,3 = 0,88 \text{ N * m}$$

El parell mínim resultant és de 0,88 N*m. El motor M23-1.9-1D06-DY-A disposa de 1,9 N*m, per tant es podrà fer servir per aquesta aplicació.

- **Motor eix X:**

El mecanisme que s'utilitzarà per realitzar el moviment en l'eix X del sistema de càrrega es basarà en una transmissió com la representada en la **Figura 19**.

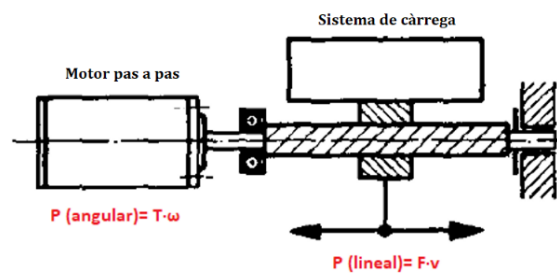


Figura 19. Model mecànic transmissió eix X [10]

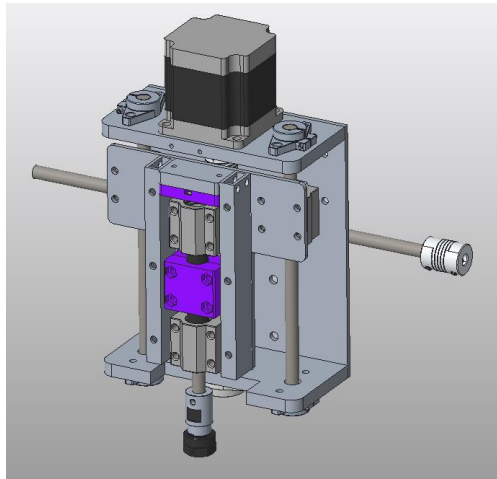
Es disposarà d'un motor pas a pas M23-1.3-1D06-D9-A que realitza un moviment rotatori, per tant una potència angular. Però es desitja transformar aquest moviment rotatori en lineal, amb un vis sens fi, per tal de realitzar un desplaçament respecte a l'eix X del sistema de càrrega.

Per tal que el moviment lineal es produeixi, la potència angular del motor i la potència lineal del conjunt hauran de ser iguals, tenint en compte factors de rendiment de la transmissió. Si es realitza la següent igualació, es podrà obtenir el parell mínim **T** del motor per tal de realitzar el moviment lineal.

$$P (\text{lineal}) = P (\text{angular})$$

$$F * v * \eta_1 = T * \omega * \eta_2$$

En primer lloc es necessita obtenir la massa del conjunt del sistema de càrrega que es desplaçarà linealment. Amb l'ajuda del software PTC Creo s'obté la massa del conjunt.



```
VOLUMEN = 5.5269459e+05 MM^3
ÁREA DE SUPERFICIE = 2.3980097e+05 MM^2
DENSIDAD MEDIA = 4.6630911e-09 TONELADA / MM^3
MASA = 2.5772652e-03 TONELADA

CENTRO DE GRAVEDAD respecto al cuadro de coordenadas
X Y Z 7.2699290e+01 1.2625527e+02 4.6802563e-02 M

INERCIA con relación al cuadro de coordenadas _ASSEMBLY

TENSOR DE INERCIA:
Ixx Ixy Ixz 5.0172443e+01 -2.3499219e+01 5.3552352e+00
Iyx Iyy Iyz -2.3499219e+01 2.6911160e+01 -1.5612459e-02
Izx Izy Izz 5.3552352e+00 -1.5612459e-02 6.3989452e+01
```

Figura 20. Massa sistema de càrrega

S'obté una massa de **2,58 kg**. El motor pas a pas empleat en el desplaçament en X disposarà d'un driver drv8825. El motor estarà configurat amb els mateixos passos i PPS que el motor anterior, per tant disposarà de **300 rpm** com a màxim. El vis sens fi empleat tindrà un **pas de 8mm**. S'aplicarà un factor de seguretat a causa de la fricció de $\eta_1 = 2$, i un factor de rendiment de $\eta_2 = 0,7$. El temps de reacció del sistema es fixarà en **t= 0,05 s**. Amb les dades esmenades es calcula el parell mínim del motor.

$$v = 300 \text{ rpm} * \frac{1 \text{ min.}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi * 0,008 \text{ m}}{1 \text{ rev.}} = 0,25 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{v}{t} \rightarrow \frac{0,25 \text{ m/s}}{0,05 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}^2$$

$$F = m * a \rightarrow 2,58 * 5 = 12,9 \text{ N}$$

$$P(\text{lineal}) = F * v * \eta_1 \rightarrow 12,9 * 0,25 * 2 = 6,45 \text{ W}$$

$$\omega = 300 \text{ rpm} * \frac{2\pi}{1 \text{ rev.}} * \frac{1 \text{ min.}}{60 \text{ s}} = 31,42 \text{ rad/s}$$

$$P(\text{angular}) = T * \omega * \eta_2 \rightarrow T * 31,42 * 0,7 \rightarrow 22T$$

$$F * v * \eta_1 = T * \omega * \eta_2 \rightarrow 6,45 = 22T \rightarrow T = \frac{6,45}{22} = 0,30 \text{ N} * \text{m}$$

El parell mínim resultant és de 0,30 N*m. I el motor M23-1.3-1D06-D9-A disposa de 1,3 N*m, per tant es podrà fer servir en aquesta aplicació.

- **Motor eix Y:**

El mecanisme que s'utilitzarà per realitzar el moviment en Y del porta pin es basarà en una transmissió com la representada en la **Figura 21**.

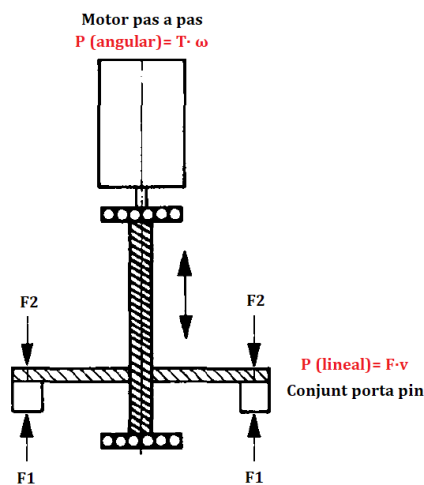
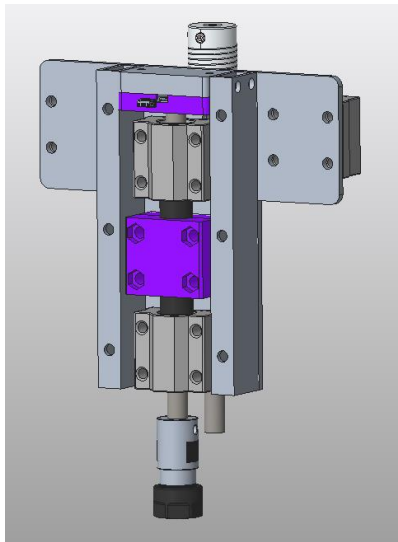


Figura 21. Model mecànic transmissió eix Y [10]

Per obtenir el parell mínim del motor encarregat de moure el conjunt del porta pin respecte a l'eix Y, s'utilitza el mateix model teòric de l'apartat anterior. Però tenint en compte que el disc ha de ser sotmès a una força màxima de $F_1 = 225 \text{ N}$. S'obté la massa del conjunt amb l'ajuda del PTC Creo.



```

VOLUMEN = 1.7444835e+05 MM^3
ÁREA DE SUPERFICIE = 1.1191095e+05 MM^2
DENSIDAD MEDIA = 8.1397368e-03 TONELADA / MM^3
MASA = 1.4199636e+03 TONELADA

CENTRO DE GRAVEDAD respecto al cuadro de coordenadas _
X Y Z -1.4495107e+01 1.5095093e+01 3.2479107e-02 MM

INERCIA con relación al cuadro de coordenadas _ASSEMBLY_

TENSOR DE INERCIA:
lxx lxy lxz 4.2233003e+05 3.1161824e+05 6.7040431e+02
lyx lyy lyz 3.1161824e+05 3.3464573e+05 -6.4564756e+02
lzx lzy lzz 6.7040431e+02 -6.4564756e+02 6.8929303e+05
  
```

Figura 22. Massa conjunt porta pin

Com es pot apreciar la massa del conjunt serà de **1,42 kg**. Amb les dades obtingudes es calcula el parell mínim utilitzant les equacions de potència.

$$P(\text{lineal}) = P(\text{angular})$$

$$F * v * \eta_1 = T * \omega * \eta_2$$

$$v = 300 \text{ rpm} * \frac{1 \text{ min.}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi * 0,008 \text{ m}}{1 \text{ rev.}} = 0,25 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{v}{t} \rightarrow \frac{0,25 \text{ m/s}}{0,05 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}^2$$

$$F_2 = m * a \rightarrow 1,42 * 5 = 7,1 \text{ N}$$

$$P(\text{lineal}) = (F_1 - F_2) * v * \eta_1 \rightarrow (225 - 7,1) * 0,25 * 2 = 108,95 \text{ W}$$

$$\omega = 300 \text{ rpm} * \frac{2\pi}{1 \text{ rev.}} * \frac{1 \text{ min.}}{60 \text{ s}} = 31,42 \text{ rad/s}$$

$$P(\text{angular}) = T * \omega * \eta \rightarrow T * 31,42 * 0,7 \rightarrow 22T$$

$$F * v * \eta_1 = T * \omega * \eta_2 \rightarrow 108,95 = 22T \rightarrow T = \frac{108,95}{22} = 4,95 \text{ N * m}$$

El parell mínim resultant és de 4,95 N*m. Per assolir aquest parell i mantenir 300 rpm s'hauria de disposar d'un motor d'altres prestacions i amb un preu elevat. Degut al pressupost limitat no es desitja contemplar aquesta opció. I per tant es decideix baixar la força de càrrega a $F_1 = 60 \text{ N}$. Si és recalcula el parell, s'obté el següent resultat:

$$T = 1,20 \text{ N} * m$$

El motor M23-1.3-1D06-D9-A disposa de 1,3 N*m, per tant es podrà fer servir en aquesta aplicació.

3.3.2. Càlcul molla

Per tal que la força exercida sobre el pin sigui lineal, s'instal·larà una molla a compressió. La fórmula de càlcul d'una molla és derivada de la llei d'Hooke. Aquesta llei estableix que l'allargament unitari que experimenta un cos elàstic és directament proporcional a la força aplicada sobre ell mateix.

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta x}$$

Una molla de compressió helicoidal estàndard té una constant de molla k , que és bàsicament lineal en la majoria del seu rang operatiu. Concretament entre el 15% i 85% de la seva deflexió total.

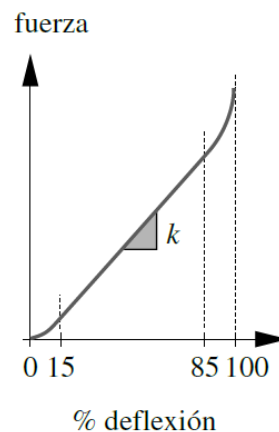
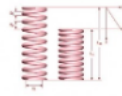


Figura 23. Corba força-deflexió d'una molla [11]

Es procedeix a triar una molla comercial i comprovar si compleix les necessitats de l'aplicació. Es té en compte, en una primera hipòtesi, que la càrrega màxima exercida sobre la molla serà de 225N.



MUELLE DE COMPRESIÓN M01E2662

Muelle de Compresión M01E2662

LONGITUD LIBRE: 40
 DIAMETRO EXTERIOR: 10.25
 DIAMETRO INTERIOR: 6
 DIAMETRO DEL HILO: 2
 ESPIRAS UTILES: 12.05
 ESPIRAS TOTALES: 13.8
 CONSTANTE "K": 24
 MATERIAL: EN 10270-1 SH
 EXTREMOS: CERRADOS Y RECTIFICADOS
 PROTECCION SUPERFICIAL: SIN PROTECCION
 LONGITUD A BLOQUE: 27.6

Figura 24. Molla comercial (Spring Makers, 2020)

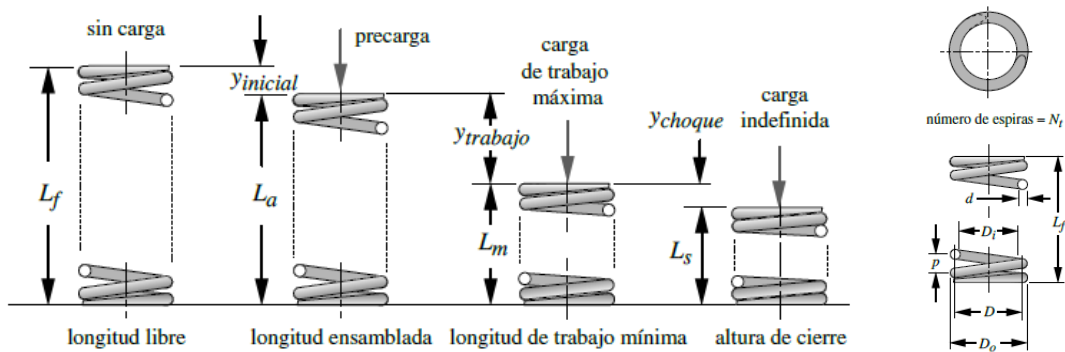


Figura 25. Paràmetres molla [11]

Es calcula la longitud de treball mínima a la qual estarà sotmesa la molla:

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta x} \rightarrow \Delta x = \frac{225 - 0}{24} = L_m$$

$$L_m = 9,375 \text{ mm}$$

Es comprova que hi ha marge entre la longitud de treball mínima i la longitud de tancament, per tal que la molla pugui treballar correctament:

$$L_f - L_s = 40 - 27,6 = 12,4 \text{ mm}$$

$$L_m < 12,4 \text{ mm}$$

En aquesta aplicació es desitja una resolució de força d'**1 N**. Per tant s'hauria de comprovar que la resolució de desplaçament lineal de l'actuador és igual o inferior al desplaçament lineal que es produeix a la molla quan s'aplica 1 N de força sobre ella.

$$\text{resolució lineal actuador} \leq \Delta x_{1N}$$

En calcular la resolució lineal de l'actuador es té en compte que fa servir un motor pas a pas M23-1.3-1D06-D9-A amb un angle de pas de 1.8° , i un vis sens fi de 8 mm de pas.

$$200 * 1,8 = 360^\circ = 1 \text{ revolució}$$

$$1 \text{ revolució} = 8 \text{ mm d'avanç}$$

$$\text{resolució lineal actuador} = \frac{8 \text{ mm}}{200 \text{ passos}} = 0,04 \text{ mm}$$

$$\Delta x_{1N} = \frac{\Delta F}{k} \rightarrow \frac{1 \text{ N}}{24} = 0,04167 \text{ mm}$$

$$0,04 \leq 0,04167 \quad \checkmark$$

A causa de la modificació de la càrrega màxima aplicada sobre el pin, és necessari realitzar un recalcul amb una segona hipòtesi de càrrega. Abans es disposava de 225 N de càrrega, i ara s'ha reduït a **60 N**. La reducció de càrrega està justificada en l'apartat de càlcul de parell del motor de l'eix Y. Per tant es realitza un recalcul amb la nova càrrega:

$$\Delta x = \frac{60 - 0}{24} = L_m$$

$$L_m = 2,5 \text{ mm}$$

$$L_m < 12,4 \text{ mm} \quad \checkmark$$

S'ha comprovat que amb la nova càrrega, la longitud mínima de treball de la molla ha baixat a 2,5 mm i es manté a dins el marge recomanat. Per tant es podrà fer servir la molla triada inicialment sense problemes.

També es necessari calcular la tolerància entre el diàmetre exterior de la molla i el tub que la contindrà. Les toleràncies mínimes recomanades són de $0,10 \cdot D$ per $D < 13 \text{ mm}$ o bé, $0,05 \cdot D$ per $D > 13 \text{ mm}$.

$$D = 6 + 2 = 8 \text{ mm}$$

$$D_{min. \text{ tub}} = 10,25 + 0,10 \cdot 8 = 11,05 \text{ mm}$$

Per tant es farà servir un tub d'11 mm de diàmetre interior per contenir la molla.

3.4. Disseny electrònic

Per aquesta aplicació és tria una cèl·lula de càrrega de la família FX29 de la marca TE Connectivity. En la família FX29 hi ha tres models disponibles:

- FX292: sortida no amplificada.
- FX293: sortida amplificada.
- FX29K, FX29J: sortida amplificada i digital (14 bits).

El model FX29 K o J era idoni per aquesta aplicació. Però els proveïdors no disposaven de stock d'aquest model, per tant s'ha triat el model FX293. L'adquisició del sensor es va realitzar al principi del projecte, quan encara es mantenia la hipòtesi de càrrega màxima de 225N. Per aquesta raó es va triar el model de 50 lb·f (222 N). Però es podrà treballar amb el mateix sensor sense problemes, ja que la nova càrrega màxima no excedeix el límit de mesura del sensor.

El sensor triat proporciona una sortida analògica, per tant es necessita convertir aquest senyal a digital amb un ADC (Analog-to-Digital Converter). En utilitzar un Arduino UNO es disposa d'un ADC de 10 bits integrat de sèrie en el xip de la placa. Per comprovar que el sensor té una resolució més petita o igual a la resolució desitjada de 1N, es calcula la resolució del sensor amb l'ADC de sèrie:

$$q = \frac{\text{valor fons d'escala}}{2^n \text{ bits}} = \frac{50 \text{ lb} * f}{2^{10}} = 0,049 \text{ lb} * f = 0,217 \text{ N}$$

$$0,217 \text{ N} \leq 1 \text{ N} \quad \checkmark$$

Un cop comprovada la resolució, es calcula l'error que es produirà en la mesura. Per realitzar aquest càlcul és consulta els paràmetres d'interès en les especificacions del xip controlador de l'Arduino UNO, l'ATMEGA 328P.

28.9 ADC Characteristics

Table 28-8. ADC Characteristics

Parameter	Condition	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Resolution	-40°C +125°C / 2.70 to 5.50V ADC clock = 200kHz			10		bits
Absolute accuracy	V _{CC} = 4.0V, V _{REF} = 4.0V	TUE		2.2	3.5	LSB
Integral non linearity	V _{CC} = 4.0V, V _{REF} = 4.0V	INL		0.6	1.5	LSB
Differential non linearity	V _{CC} = 4.0V, V _{REF} = 4.0V	DNL		0.3	0.7	LSB
Gain error	V _{CC} = 4.0V, V _{REF} = 4.0V		-3.5		+3.5	LSB
Offset error	V _{CC} = 4.0V, V _{REF} = 4.0V		-3.5		+3.5	LSB
Clock frequency			50		200	kHz
Analog supply voltage		AV _{CC}	V _{CC} - 0.3		V _{CC} + 0.3	V
Reference voltage		V _{REF}	1.0		AV _{CC}	V
Input voltage		V _{in}	GND		V _{REF}	V
Internal voltage reference	V _{CC} = 5v	V _{int}	1.0	1.1	1.2	V
Reference input resistance		R _{ref}	22.4	32	41.6	kΩ
Analog input resistance		R _{ain}		100		MΩ

Figura 26. Característiques ADC [7]

$$\text{error màxim ADC} = \text{error total} + \text{error de quantificació}$$

$$\text{error màxim ADC} = 2,2 \text{ LSB} + 0,5 \text{ LSB} = \pm 2,7 \text{ LSB}$$

$$\text{error mesura} = 2,7 * q = \pm 0,132 \text{ lb} * f = \pm 0,586 \text{ N}$$

S'ha comprovat que es produirà un error de ±0,586 N en la mesura. Si es desitja tenir una resolució de mesura d'1 N, aquest error seria massa alt. Per tant es descarta

utilitzar el ADC de sèrie de l'Arduino, i s'opta per un ADC amb més bits. Concretament l'ADS1115 de 16 bits. En disposar de 16 bits s'incrementa dràsticament la resolució, i per conseqüència l'error baixarà.

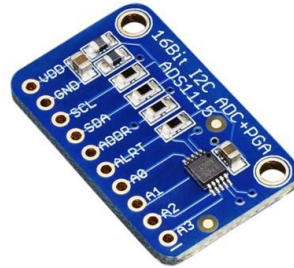


Figura 27. ADC ADS1115 [17]

$$q = \frac{\text{valor fons d'escala}}{2^n \text{ bits}} = \frac{50 \text{ lb} * f}{2^{16}} = 0,000763 \text{ lb} * f = 0,00339 \text{ N}$$

$$0,00339 \text{ N} \leq 1 \text{ N} \quad \checkmark$$

4. Fabricació del prototip

Es detallarà el procés de fabricació del prototip, problemes de muntatge i les decisions que es va prendre per corregir-los.

4.1. Fabricació del sistema de rotació i fixació del disc

En el disseny presentat a l'inici del projecte, es va contemplar realitzar un acoblament amb una planxa cargolada a la part inferior de la mordassa. El conjunt de la planxa i la mordassa aniria suportat per un rodament de 8 mm.

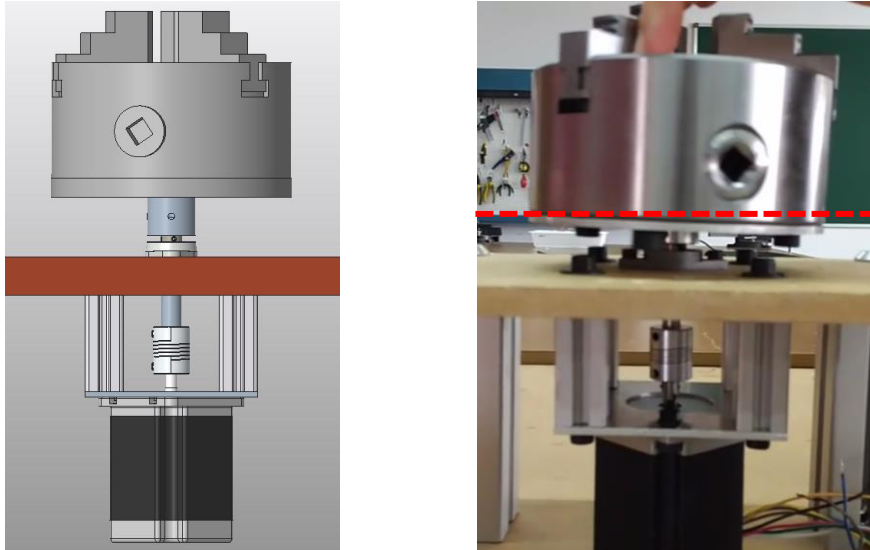


Figura 28. Primer muntatge

Al realitzar el muntatge es va comprovar que el disseny no era l'adient. Degut al pes de la mordassa i a la poca superfície de contacte del rodament, el sistema no girava totalment recte. Posteriorment es va optar per realitzar un segon disseny canviant el rodament. Es va incorporar un rodament axial 51113-ZEN, més gran i més robust que l'anterior. També es va augmentar el diàmetre de l'eix a 10 mm, i es va incloure dos rodaments extrems per mantenir aquest eix recte. El gruix de la xapa d'acoblament també es va augmentar.

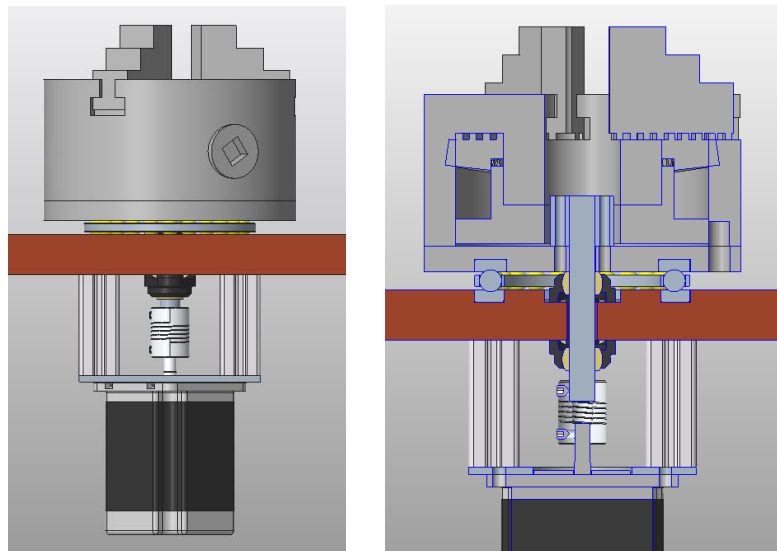


Figura 29. Segon muntatge

El rodament axial triat té un gran diàmetre i suportarà amb un gran marge les càrregues aplicades. Però tot i així es comprova si és adient per l'aplicació amb l'ajuda de l'eina de SKF de selecció de rodaments.

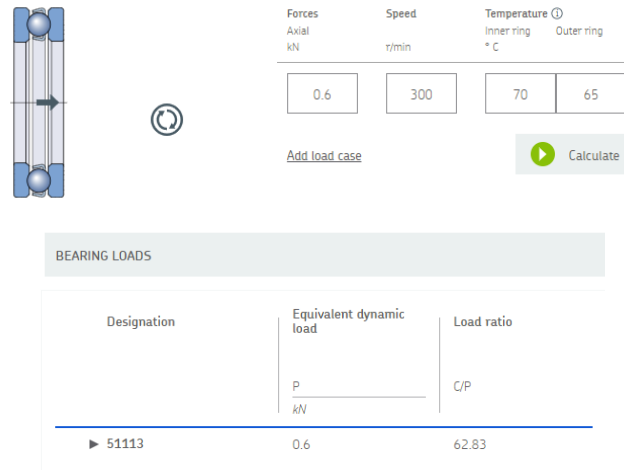


Figura 30. Comprovació rodament amb eina SKF (SKF, 2020)

Tot i que el rodament és del fabricant ZEN, els límits de càrregues són molt similars al model equivalent de SKF. Per tant es pot aplicar l'eina de selecció SKF amb seguretat. L'eina calcula un rati entre el límit de càrrega dinàmica del rodament i la càrrega aplicada equivalent. Com es pot veure aquest rati es C/P dóna un valor de 62,83. Al disposar d'un rati ≥ 1 es pot afirmar amb un 90% de confiança que el rodament suportarà la càrrega.

4.2. Fabricació del sistema de càrrega

Totes les peces metàl·liques que formen el conjunt del sistema de càrrega van estar mecanitzades amb una fresadora CNC. Gràcies a un disseny 3D detallat va ser possible mecanitzar i muntar totes les peces sense cap problema. Les peces que no eren possible mecanitzar amb CNC es van mecanitzar manualment.

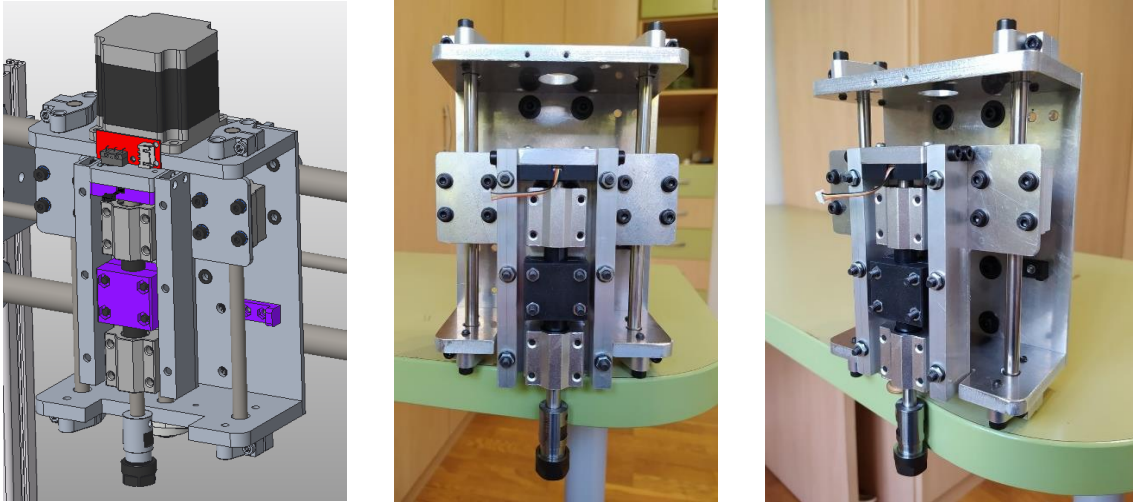


Figura 31. Muntatge sistema de càrrega

Al muntar el conjunt del sistema de càrrega es va detectar un problema. Al estar en contacte amb el disc el pin probablement rotaria sobre si mateix, ja que no disposava de cap element que ho impedís. Es va decidir corregir aquest error dissenyant un conjunt de peces que realitzarien la funció de suport, i que s'imprimien en 3D posteriorment.

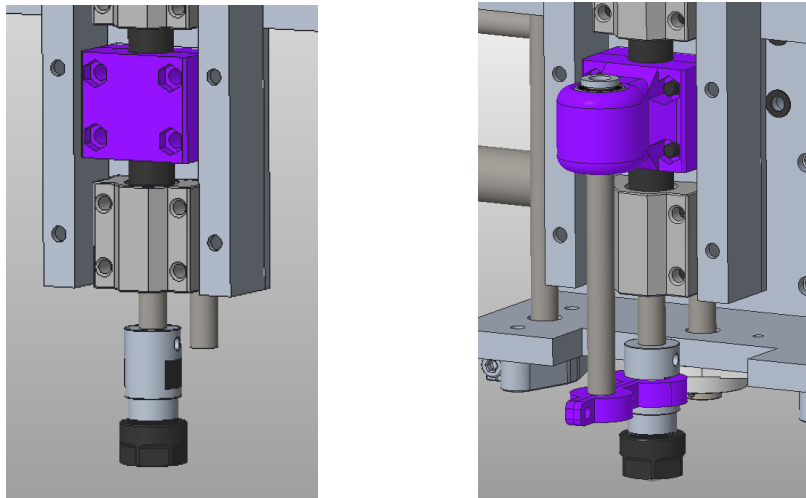


Figura 32. Restricció rotació porta pin

4.3. Cost materials

El projecte comptava amb pressupost límit per materials de 300 €. En utilitzar materials de baix cost i aprofitar materials disponibles a universitat, ha estat possible mantenir el preu total del projecte per sota del pressupost límit.

Descripció del material	Quantitat	Preu [€]	Cost [€]	Proveïdor
Mordassa K11-125	1	79,1	79,1	Amazon
Porta pinces ER11-8mm	1	12,49	12,49	Amazon
Vis sens fi T8 300mm + femella bronze	1	4,49	4,49	HTA3D
Vis sens fi T8 500mm + femella bronze	1	7,49	7,49	HTA3D
Final de carrera	2	0,55	1,1	HTA3D
Rodament lineal 8mm SC8UU	4	1,59	6,36	HTA3D
Rodament 8mm amb suport KFL08	3	1,65	4,95	HTA3D
Eix calibrat 8x450mm	1	3,27	3,27	HTA3D
Fixació eix 8mm SHF8	4	2,32	9,28	HTA3D
Femella perfil 30x30	16	0,08	1,28	HTA3D
Cèl·lula FX293X-040B-0050-L (50 lb*f)	1	56,54	56,54	Mouser
Molla M01LE2662 (k=24)	1	9,52	9,52	SpringMakers
Rodament axial 51112-ZEN	1	9,92	9,92	123Rodamiento
Motor M23-1.3-1D06-D9-A	2	30,46	60,92	Productos CNC
ADC ADS1115	1	0	0	UVIC
Driver TB6600	1	0	0	UVIC
Motor M23-1.9-1D06-DY-A	1	0	0	UVIC
Driver DRV8825	2	0	0	UVIC
Arduino UNO	1	0	0	UVIC
Cargoleria	1	0	0	UVIC
Perfils alumini 30x30	1	0	0	UVIC
Perfils alumini 20x20	1	0	0	UVIC
Xapes i altres perfils alumini	1	0	0	UVIC
Fusta	1	0	0	UVIC
Rodament lineal 8mm LM8UU	1	0	0	UVIC
Rodament lineal 16mm SC16UU	2	0	0	UVIC
Fixació eix 16mm SHF16	4	0	0	UVIC
Eix calibrat 16x300mm	2	0	0	UVIC
Eix calibrat 8mm	1	0	0	UVIC
Acoplador motor 6,35x8mm	3	0	0	UVIC
Rodament EFOM-10mm	2	0	0	UVIC
TOTAL			266,71	

5. Resultats

5.1. Càlculs mecànics i electrònics

S'han obtingut tots els càlculs necessaris per a seleccionar actuadors i elements mecànics per un tribòmetre funcional. Tots els càlculs parteixen de dades extreteres de normes estàndards.

S'ha obtingut un sistema de conversió de dades (ADC) fiable i que assoleix la resolució mínima d'observació desitjada.

5.2. Disseny mecànic

S'ha creat un disseny funcional i innovador d'un tribòmetre Pin-on-Disk. Aquest disseny s'ha vist reflectit en un model 3D complet en l'entorn CAD PTC Creo.

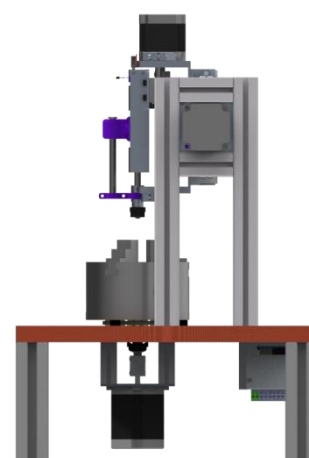
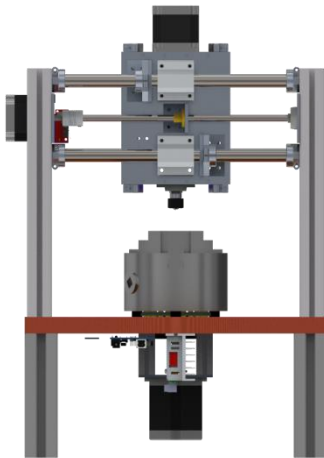
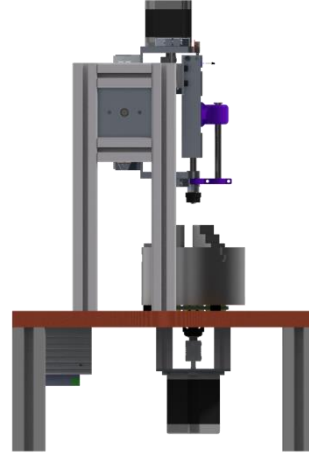
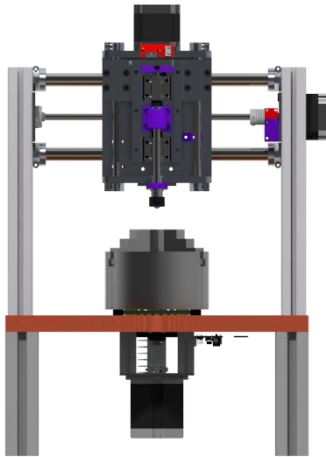
Per altre costat s'ha desenvolupat un sistema de càrrega capaç d'exercir una força sobre el disc de forma lineal, amb l'ajuda d'una molla, i contrastada per una cèl·lula de càrrega.

També s'ha obtingut un sistema de fixació i rotació del disc robust i estable, de fàcil accés i manipulació.

S'ha dissenyat una configuració capaç de realitzar un assaig de tribologia de forma automatitzada, disminuint la manipulació manual. Això comporta un increment en la precisió de la màquina, ja que és possible controlar els seus moviments electrònicament.

5.3. Fabricació prototip

Ha set possible realitzar la fabricació i muntatge del sistema de càrrega i sistema de rotació i fixació de la peça. I s'han corregit errors pel seu correcte funcionament.



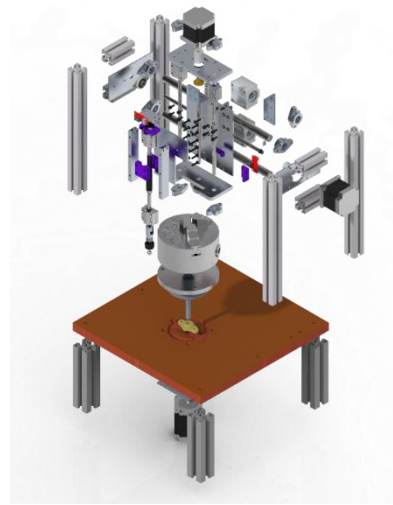
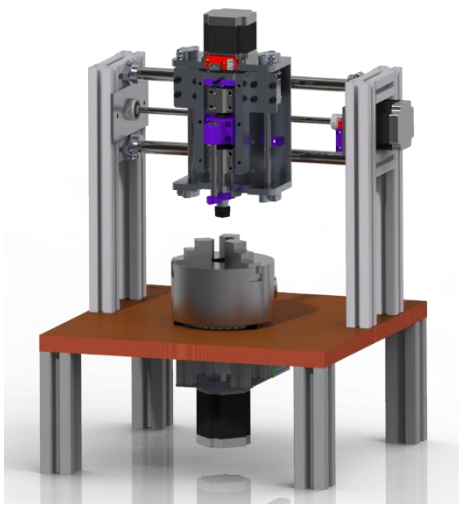
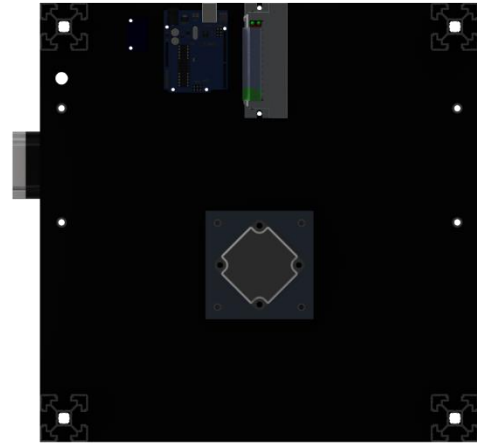
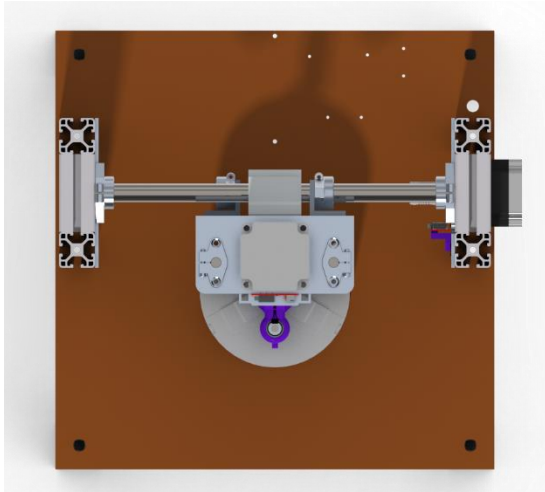


Figura 33. Vistes del disseny final

6. Conclusió

S'han assolit varis dels objectius plantejats a l'inici del projecte:

- 1- El disseny 3D es va consolidar en un model final robust i funcional, intentant sempre realitzar un tribòmetre assequible i destacable de la resta.
- 2- Es va realitzar tots els càlculs teòrics que justifiquen l'elecció dels components triats per la màquina.
- 3- El muntatge del prototip està parcialment acabat. Es disposa del sistema de càrrega i el sistema de rotació i fixació del disc.
- 4- No ha sigut possible testejar el tribòmetre degut a la situació de confinament.

No va ser possible assolir completament els dos últims punts donat la situació excepcional del confinament. Al tractar-se d'un projecte molt pràctic era necessari l'accés a un taller de fabricació i muntatge. Això no va ser possible, i es va prendre la decisió de donar prioritat a altres apartats del projecte.

També cal destacar que no va ser possible incorporar un sistema de mesura de la força de fricció, tal com recomanaven les normes ASTM. Però per altre costat s'han assolit molts altres aspectes indicats en aquestes normes.

7. Bibliografía

- [1] ANTON PAAR. *Tribómetro tipo pin-on-disk: TRB³*. 2019.
<https://www.anton-paar.com/es-es/productos/detalles/trb3-tribometro-pin-on-disk/>
(Consulta: 11 d'octubre del 2019)
- [2] DUCOM. *The UniTest 750*. 2019.
<https://ducom.com/test-instruments/mechanical-testers/unitest-750/>
(Consulta: 11 d'octubre del 2019)
- [3] BANGGOOD. *SANOU 125mm Torno Chuck K11-125*. 2019.
https://es.banggood.com/SANOU-125mm-Lathe-Chuck-K11-125-3-Jaw-Manual-Chuck-Self-Centering-Lathe-Tool-p-1152697.html?rmmids=search&cur_warehouse=CN#jsReviewsWrap
(Consulta: 23 d'octubre del 2019)
- [4] NOMADTECH. *Red Fox L CNC*. 2019.
<https://nomadtech.es/es/red-fox-cnc/35-red-fox-l-cnc.html>
(Consulta: 23 d'octubre del 2019)
- [5] UTS. *Pin-on-Disc*. 2015.
<http://www.uts-design.com/index.php?page=moduldetay&mid=1>
(Consulta: 9 de diciembre del 2019)
- [6] WIKIPEDIA. *Mecánica de contacto*. 2019.
https://es.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A1nica_de_contacto
(Consulta: 9 de diciembre del 2019)
- [7] MICROCHIP. *ATmega328P*. 2015.
<http://almez.pntic.mec.es/~jgonza86/Potencia%20mec%E1nica.htm>
(Consulta: 20 de diciembre del 2019)
- [8] WIKIPEDIA. *Power (physics)*. 2020.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Power_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_(physics))
(Consulta: 11 de març del 2020)

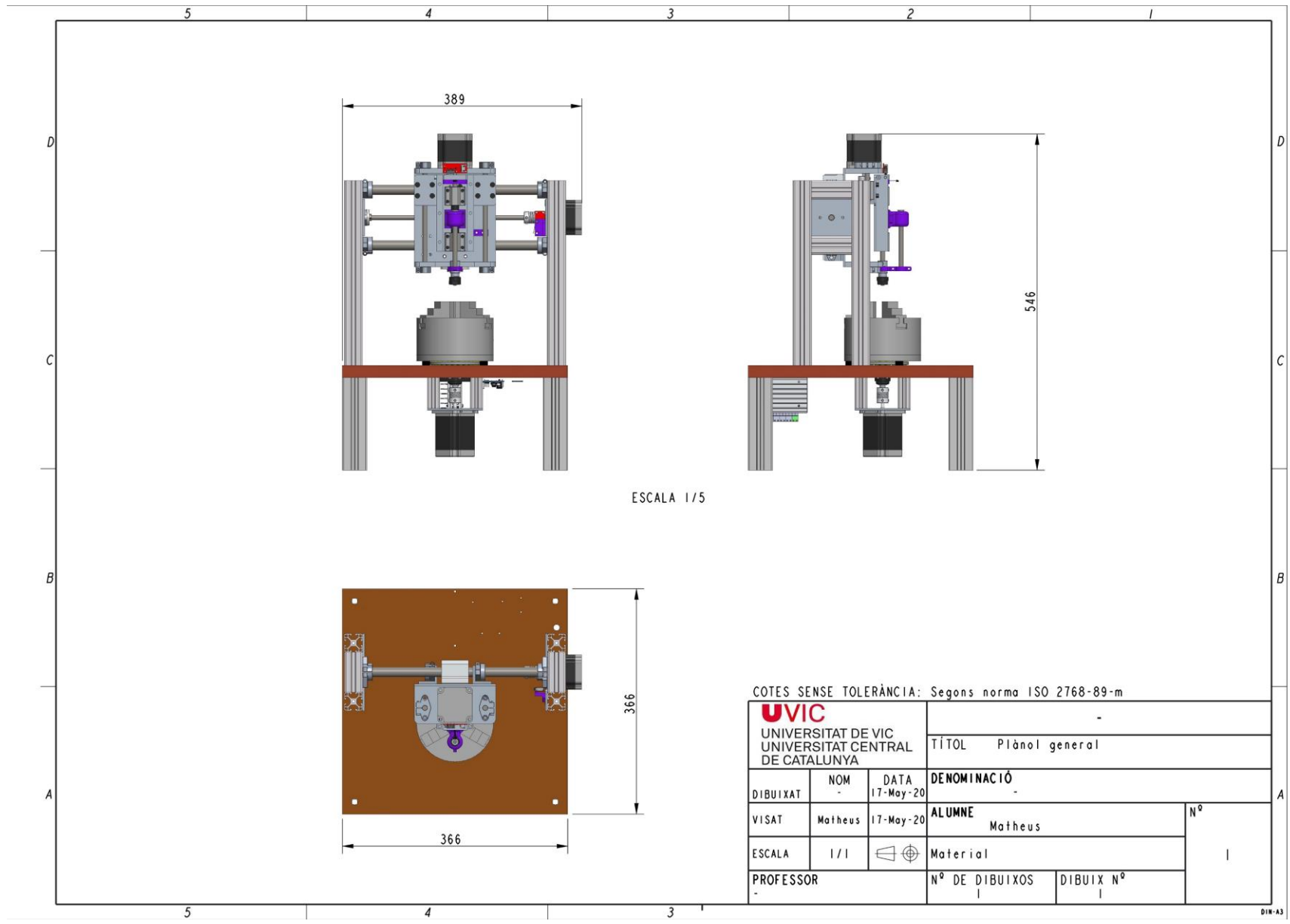
- [9] ALMEZ.PNTIC. *Potencia Mecánica*. 2017.
<http://almez.pntic.mec.es/~jgonza86/Potencia%20mec%E1nica.htm>
(Consulta: 11 de març del 2020)
- [10] BERGER LAHR. *Formulas + Calculations for Optimum Selection of Stepmotor*.
- [11] NORTON, ROBERT L. (2011). *Diseño de máquinas*. 4ta edició. Méxic, 2011.
- [12] ASTM (2000). G99-95a, *Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*.
- [13] ASTM (2000). F732-00, *Standard Test Method for Wear Testing of Polymeric Materials Used in Total Joint Prostheses*.
- [14] ASTM (1997). G132-96, *Standard Test Method for Pin Abrasion Testing*.
- [15] PICAS, JOSEP A. (2017). *Tribología – La Ciencia de la Fricción y el Desgaste*.
- [16] WIKIPEDIA. *Momento de inercia*. 2020.
https://es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia
(Consulta: 11 de maig del 2019)
- [17] CETRONIC. *Conversor ADC ADS1115 de 4 canales y 16 bits*. 2019.
<https://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?idIdioma=&idTienda=93&codProducto=999334061&cPath=1358>
(Consulta: 11 de maig del 2019)

Annex

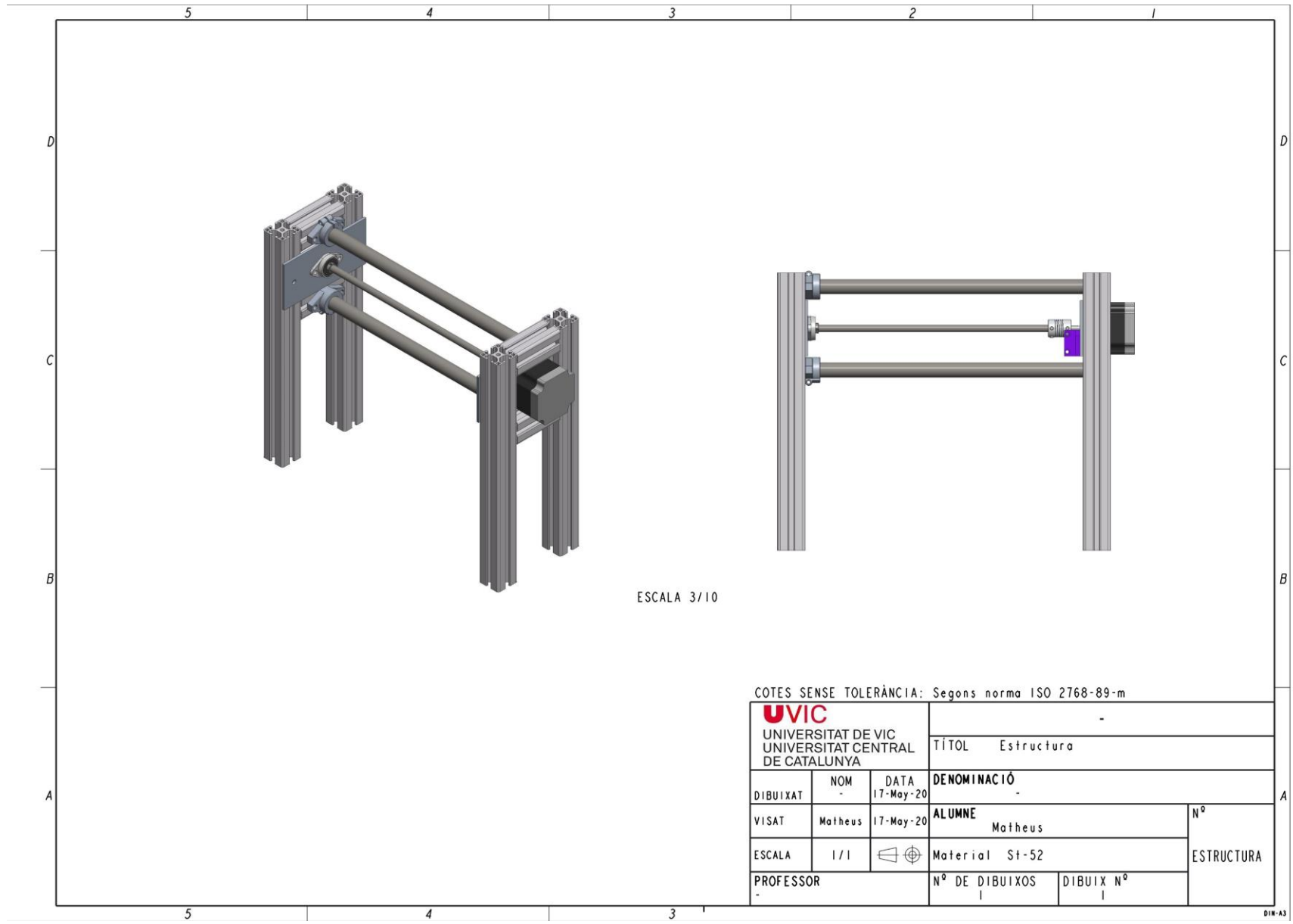
En aquest annex s'exposaran els plànols del tribòmetre Pin-on-Disk.

Lista de plànols

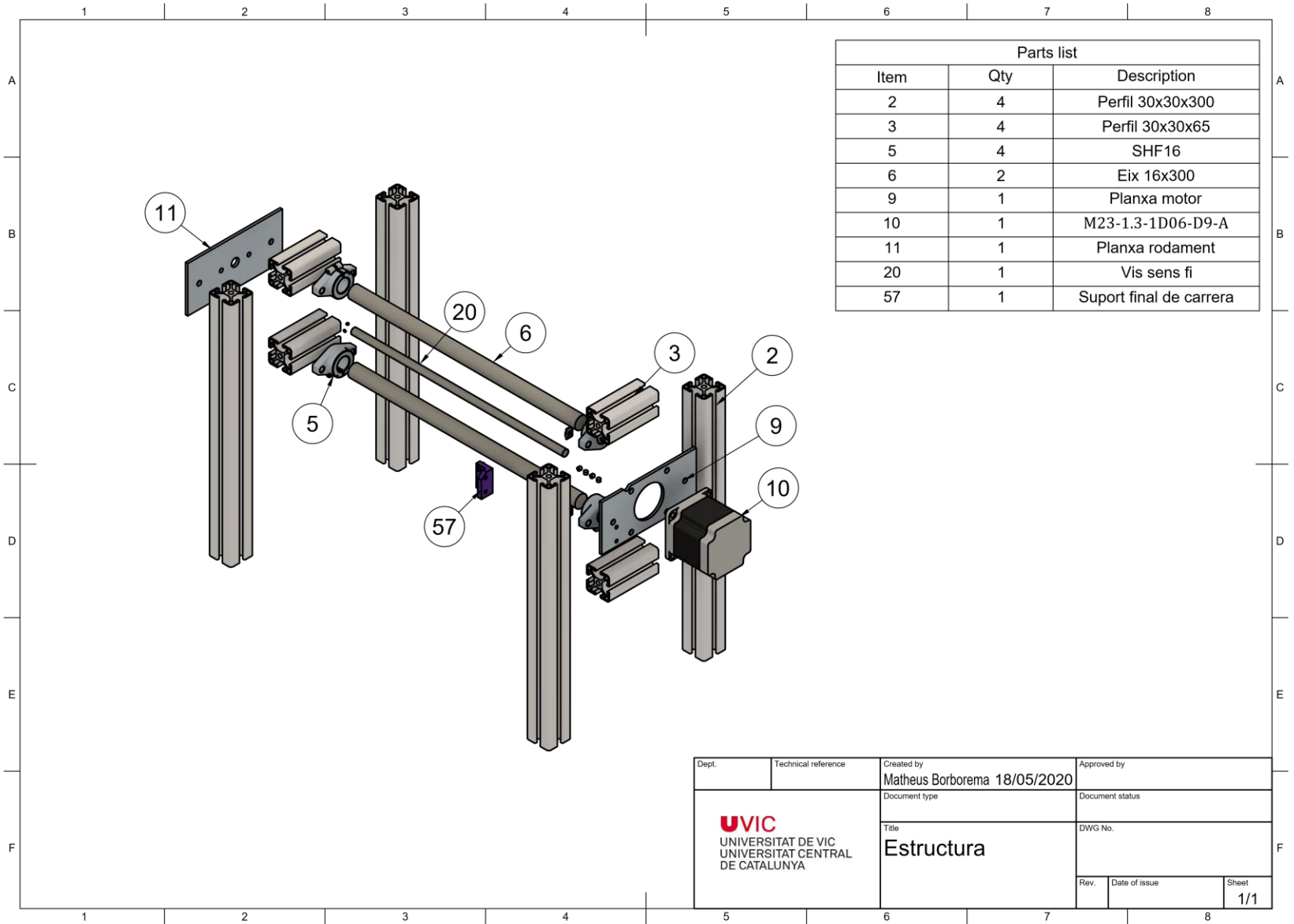
Plànol 1. Tribòmetre final.....	37
Plànol 2. Estructura.....	37
Plànol 3. Elements estructura	37
Plànol 4. Eix 16x300mm	37
Plànol 5. Vis sens fi	37
Plànol 6. Perfil 30x30x300mm	37
Plànol 7. Perfil 30x30x65mm.....	37
Plànol 8. Planxa motor	37
Plànol 9. Planxa rodament.....	37
Plànol 10. Suport final de carrera.....	37
Plànol 11. Sistema de càrrega	37
Plànol 12. Elements sistema de càrrega.....	37
Plànol 13. Eix 1.....	37
Plànol 14. Eix 2.....	37
Plànol 15. Eix 3.....	37
Plànol 16. Eix 4.....	37
Plànol 17. Fixació porta pin	37
Plànol 18. Perfil L 1	37
Plànol 19. Perfil L 2	37
Plànol 20. Perfil L 3	37
Plànol 21. Perfil 20x10.....	37
Plànol 22. Planxa 1	37
Plànol 23. Planxa 2	37
Plànol 24. Planxa 3	37
Plànol 25. Planxa 4	37
Plànol 26. Planxa 5	37
Plànol 27. Suport cèl·lula de carga	37
Plànol 28. Suport tub 1	37
Plànol 29. Suport tub 2	37
Plànol 30. Tope final de carrera	37
Plànol 31. Vis sens fi	37
Plànol 32. Tub molla	37
Plànol 33. Sistema de rotació i fixació	37
Plànol 34. Elements sistema de fixació i rotació.....	37
Plànol 35. Acoblador eix.....	37
Plànol 36. Base fusta.....	37
Plànol 37. Eix	37
Plànol 38. Perfil 20x20x50mm	37
Plànol 39. Perfil 40x40x150mm.....	37
Plànol 40. Planxa mordassa	37
Plànol 41. Planxa motor	37



Plànol 1. Tribòmetre final

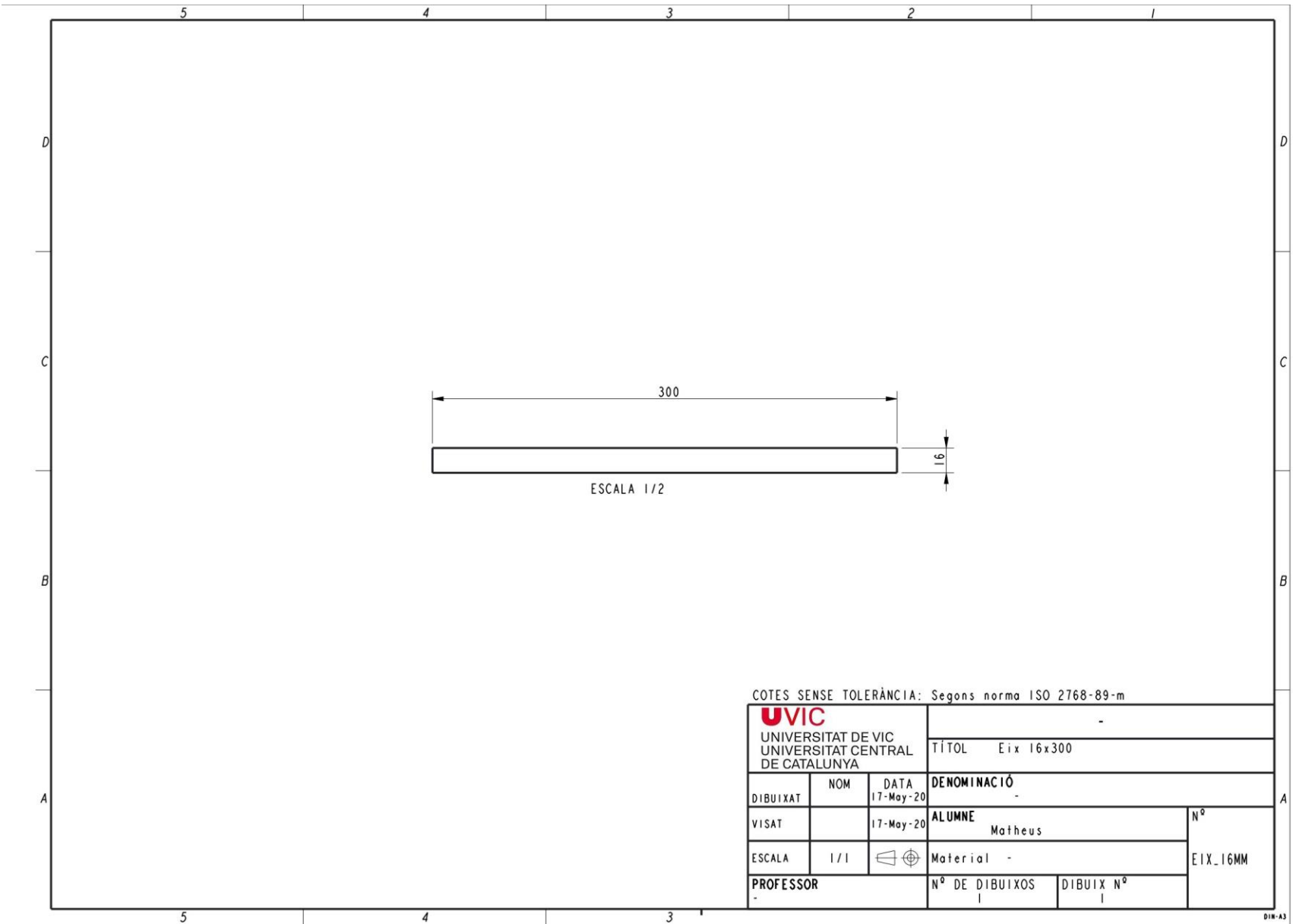


Plànol 2. Estructura

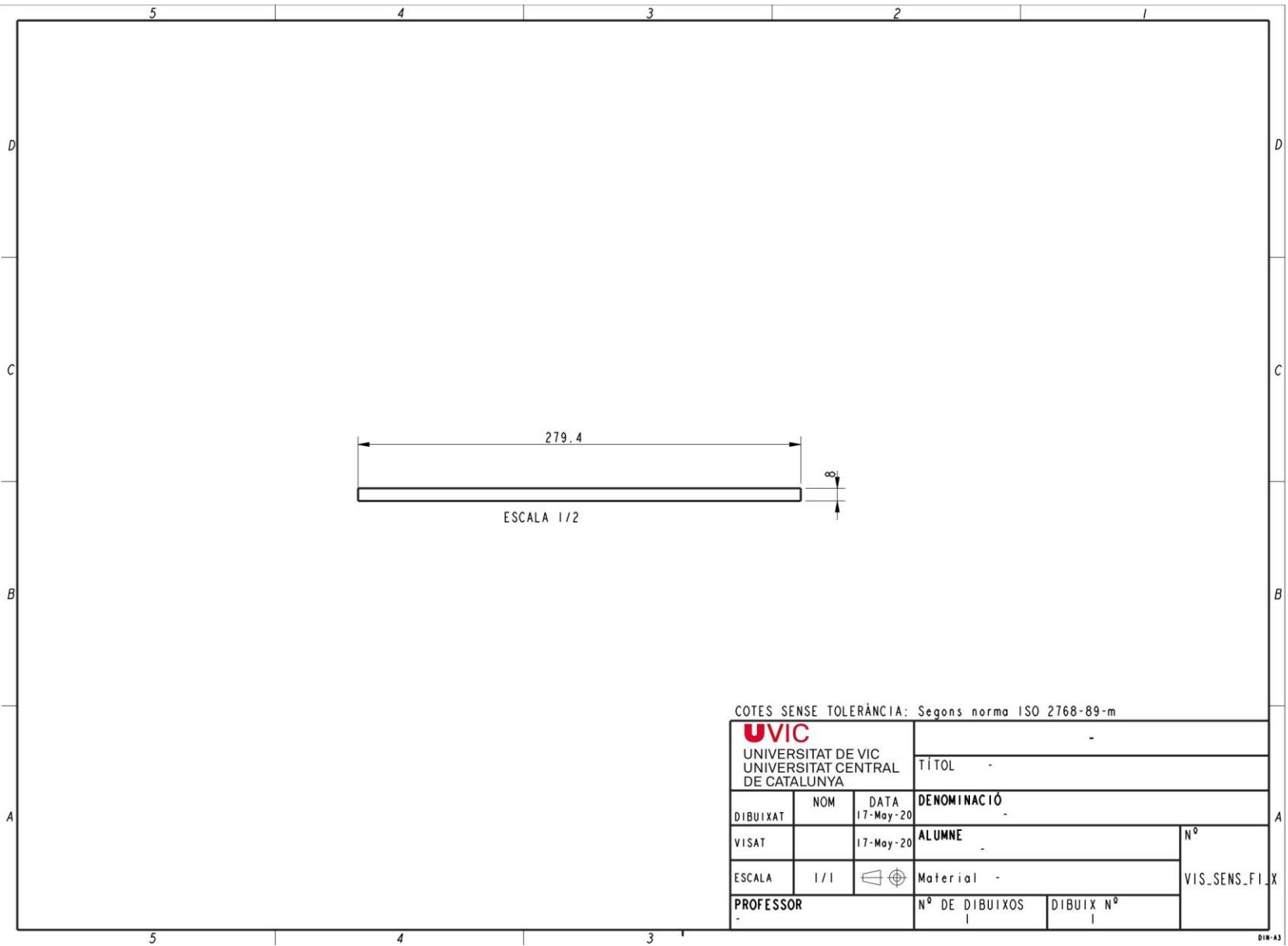


Dept.	Technical reference	Created by Matheus Borborema 18/05/2020	Approved by
 UVIC UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA		Document type	Document status
		Title Estructura	DWG No.
Rev.	Date of issue	Sheet	1/1

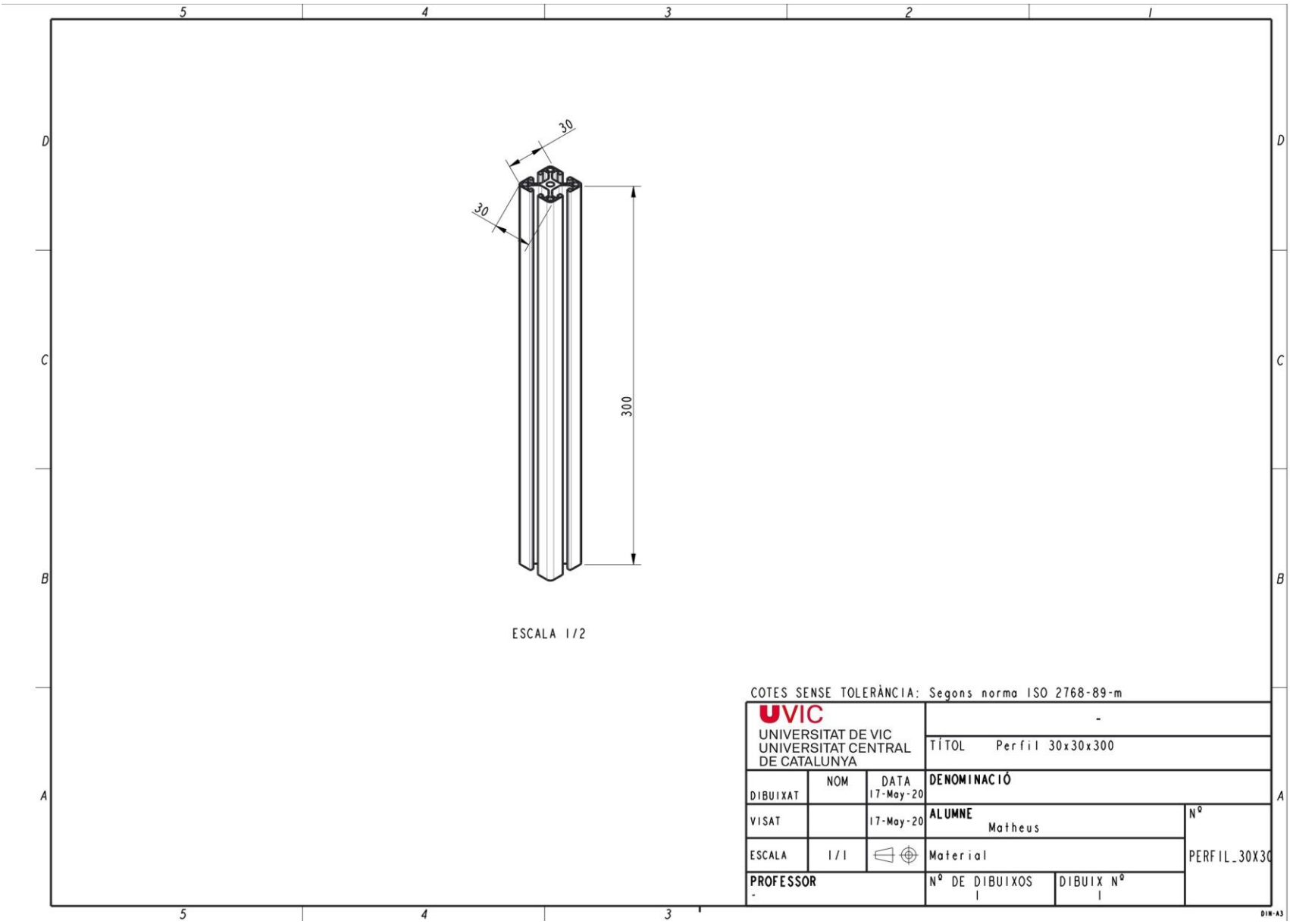
Plànol 3. Elements estructura



Plànol 4. Eix 16x300mm



Plànol 5. Vis sens fi

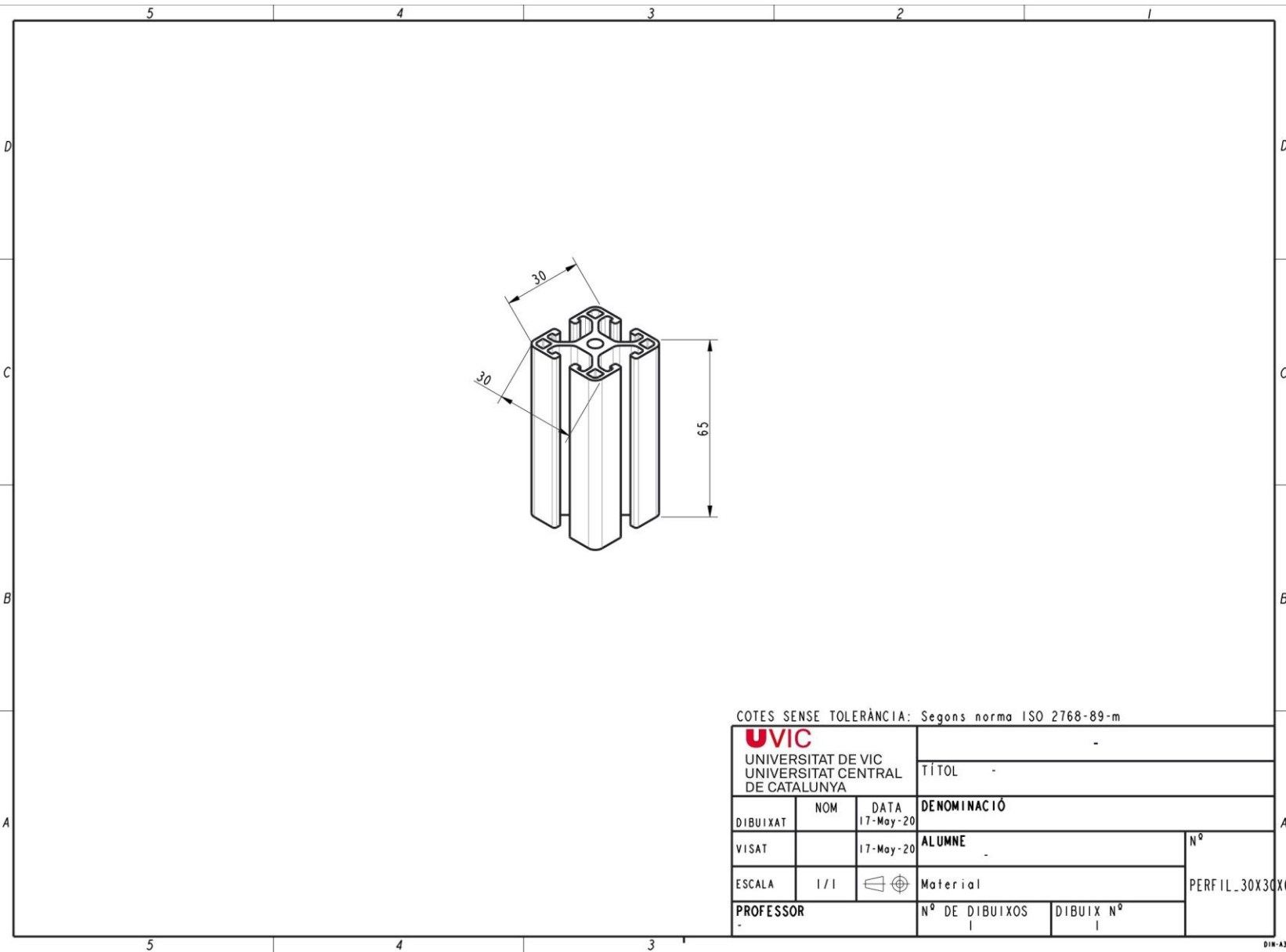


ESCALA 1/2

COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

 UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL Perfil 30x30x300	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ	
VISAT		17-May-20	ALUMNE	
ESCALA	1/1		Matheus	Nº
PROFESSOR			Material	PERFIL_30X30
			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
			1	1

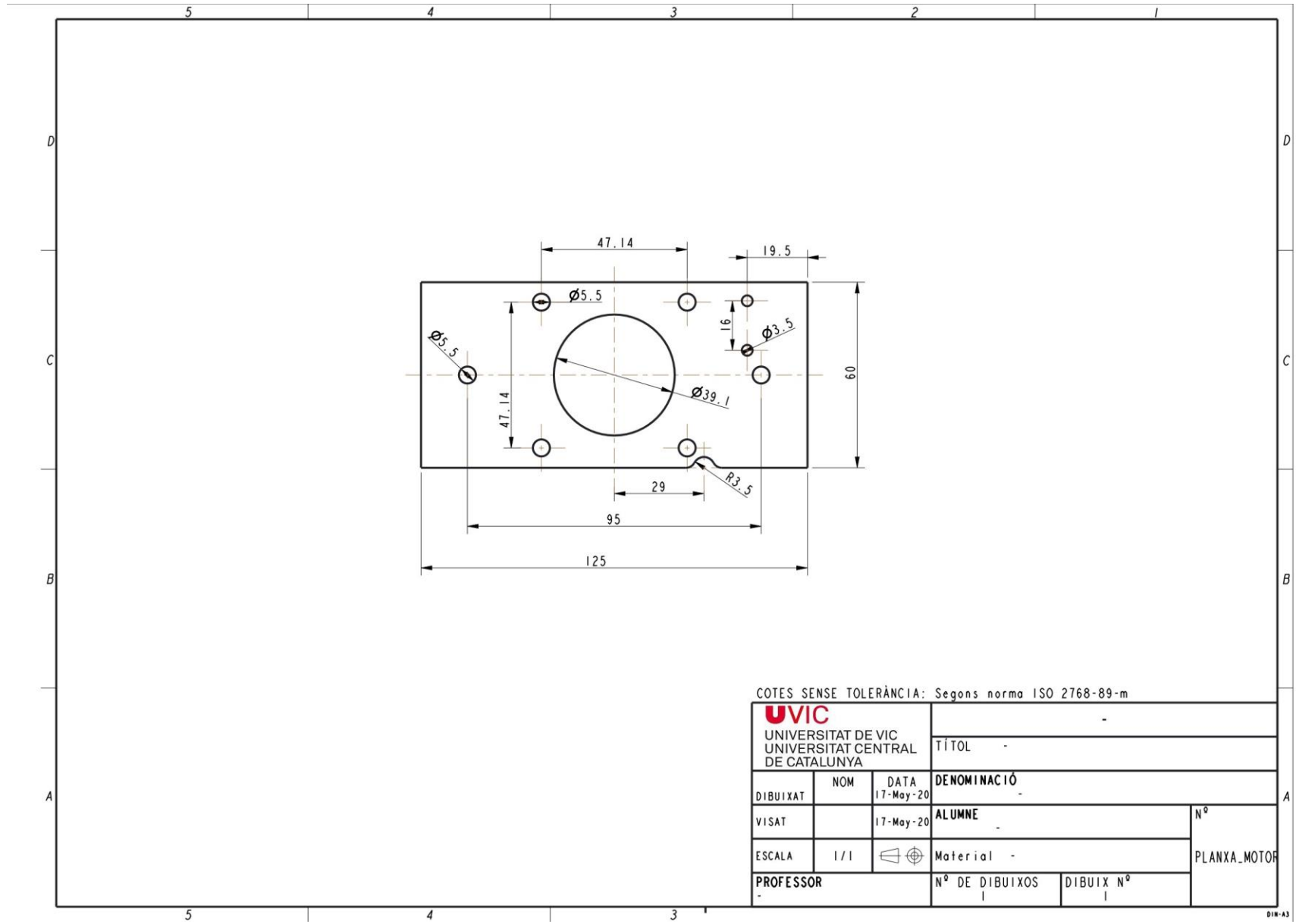
Plànol 6. Perfil 30x30x300mm



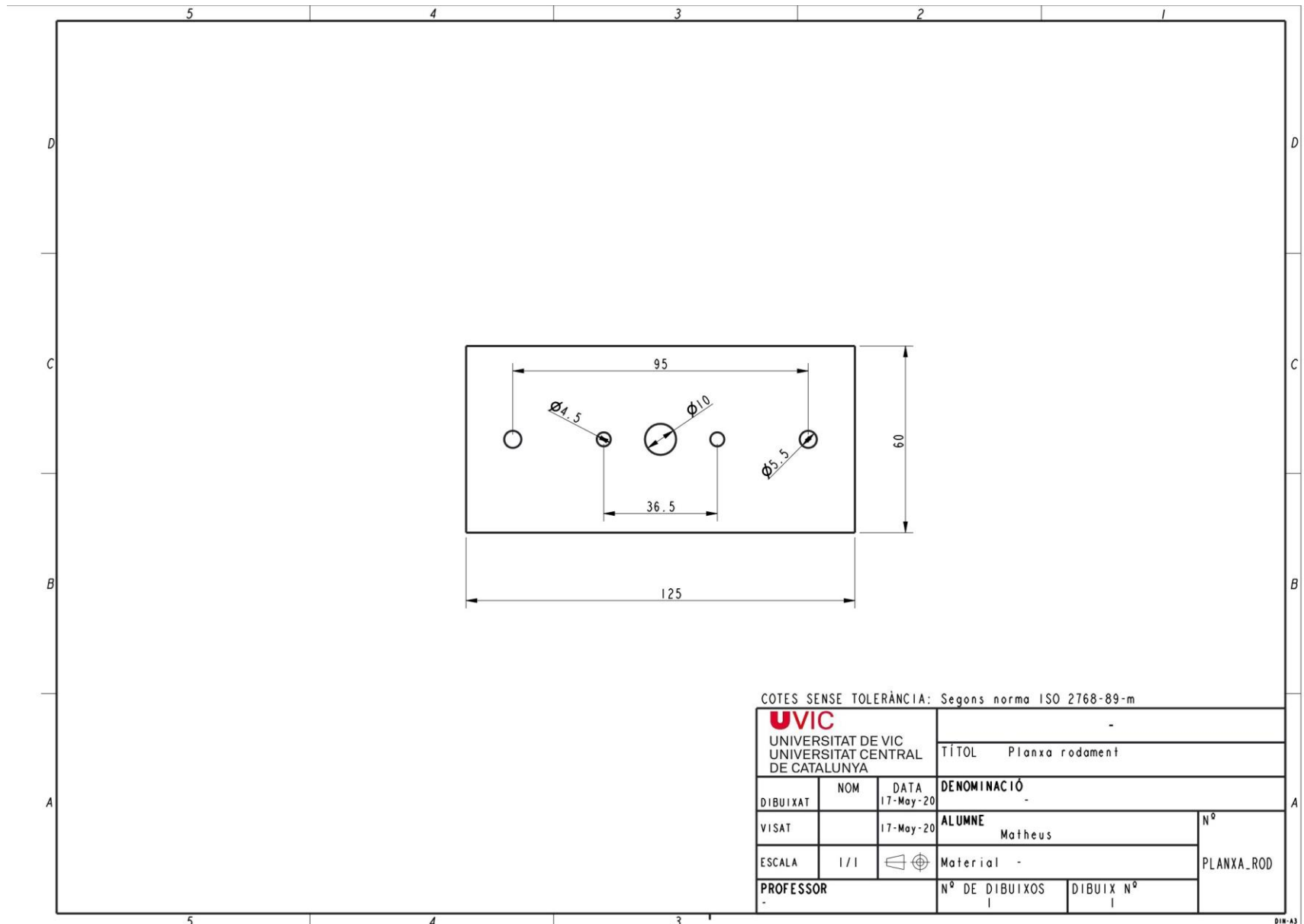
COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

UVIC UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL -	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ	
VISAT		17-May-20	ALUMNE -	
ESCALA	1/1		Material	Nº
PROFESSOR	-		Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
			I	I
			PERFIL_30X30X65	

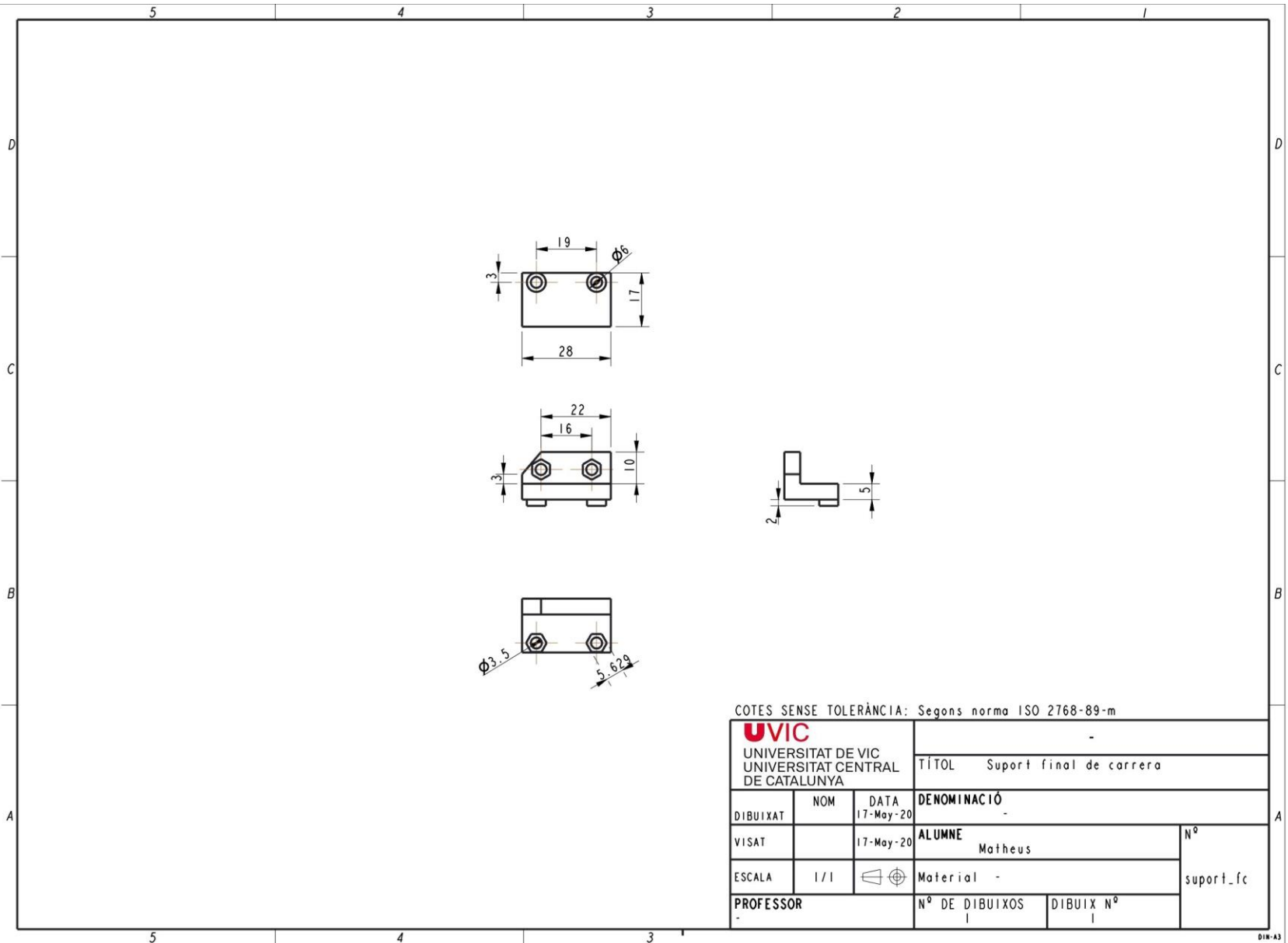
Plànol 7. Perfil 30x30x65mm



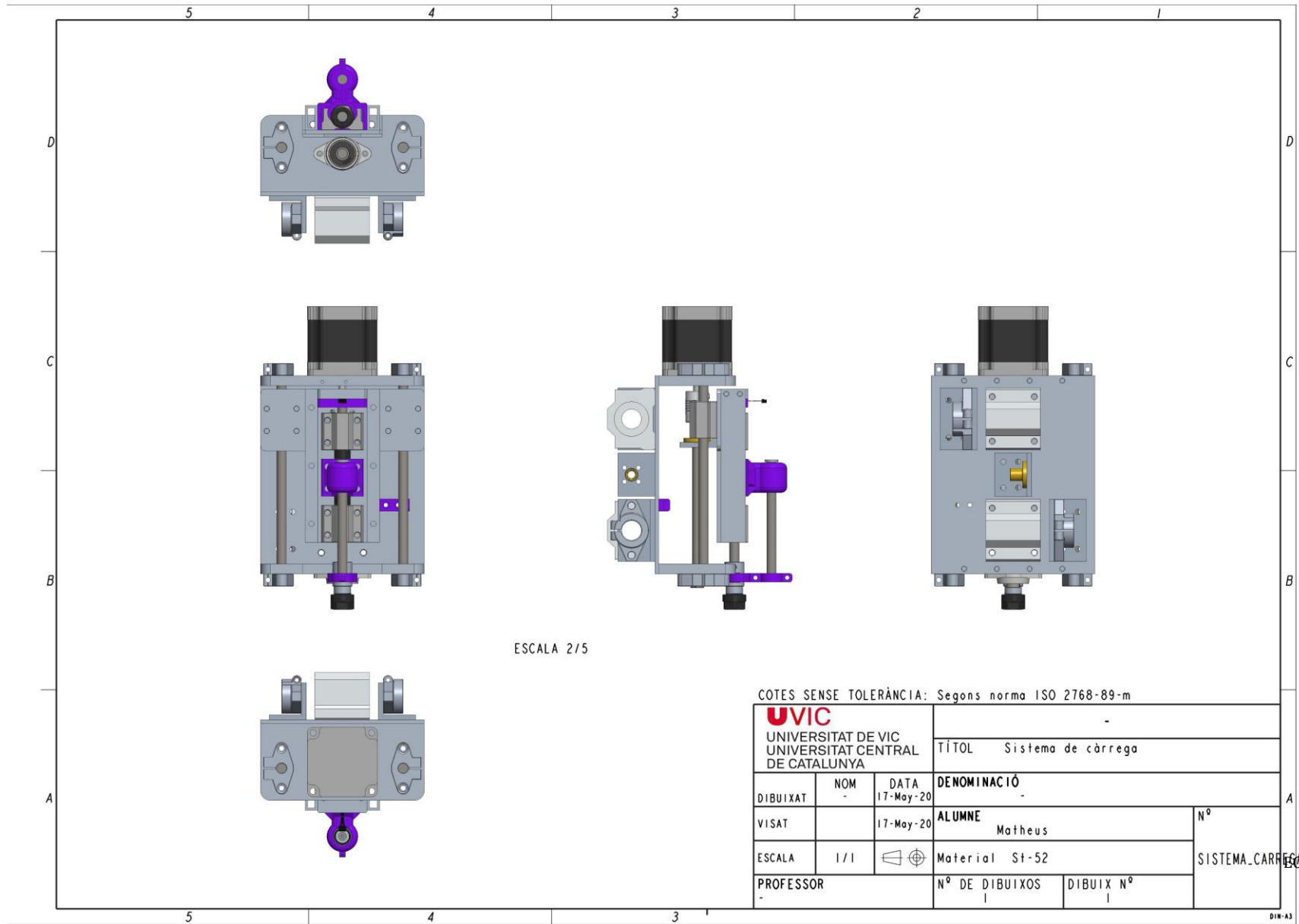
Plànol 8. Planxa motor



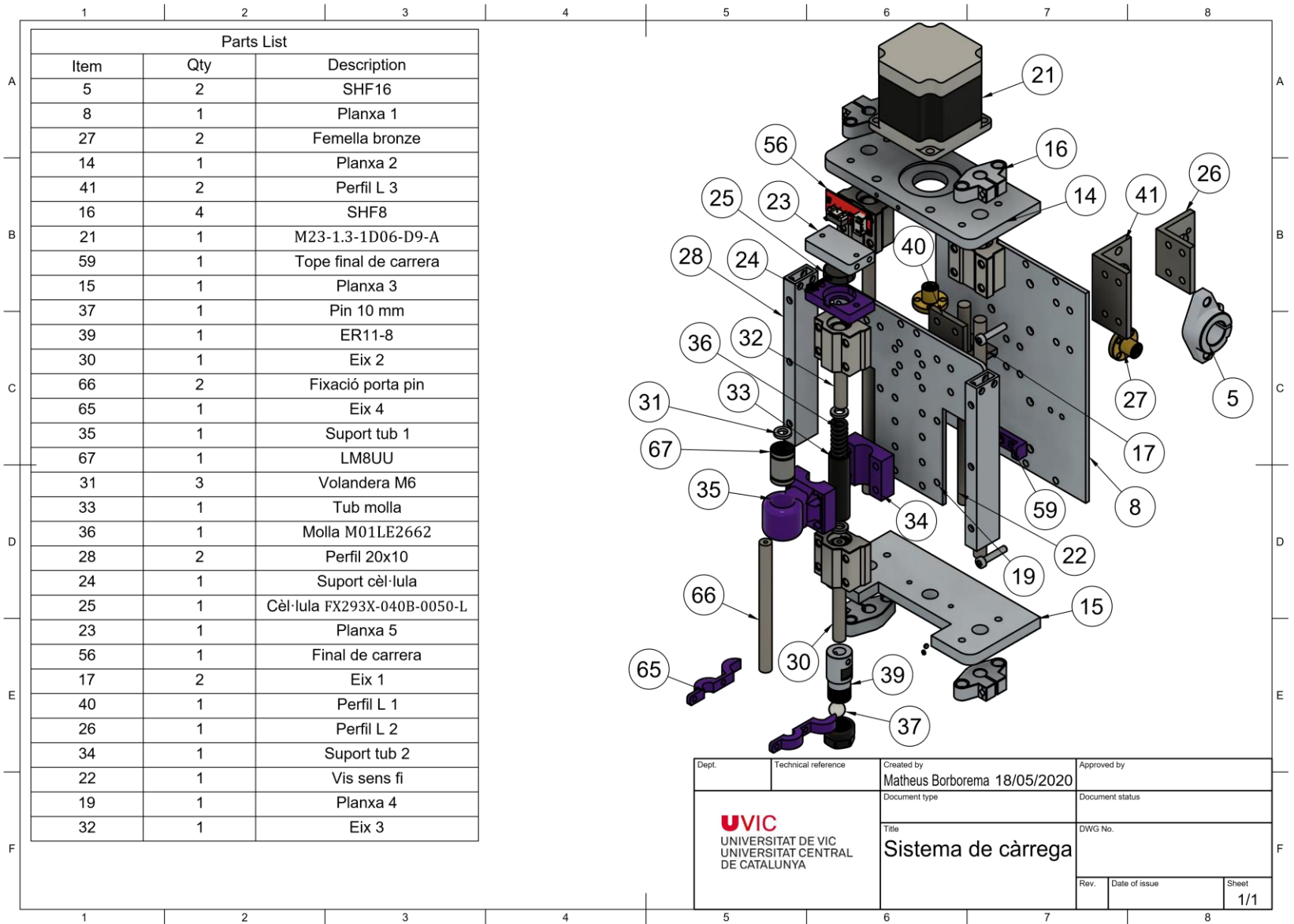
Plànol 9. Planxa rodament



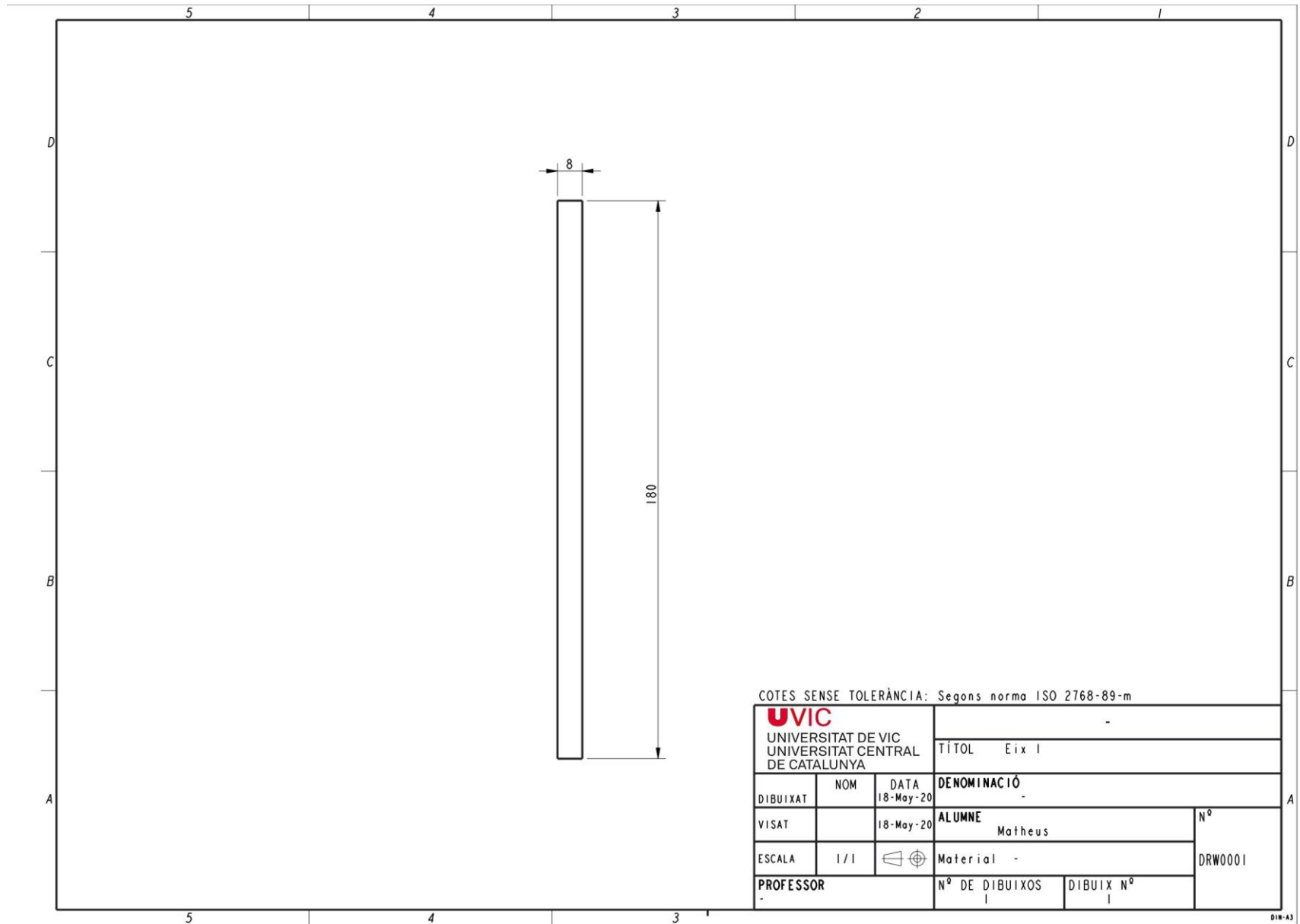
Plànol 10. Suport final de carrera



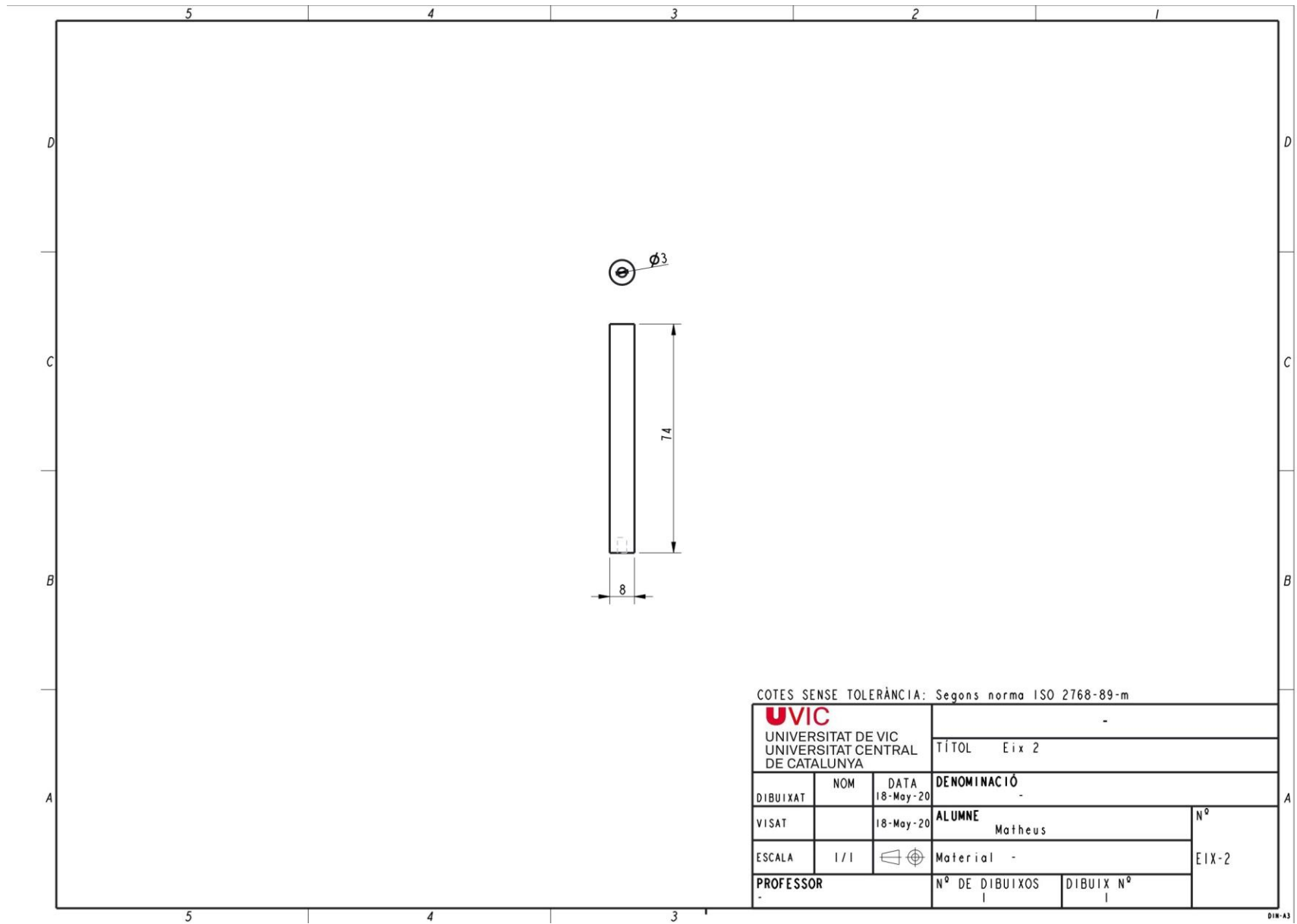
Plànol 11. Sistema de càrrega



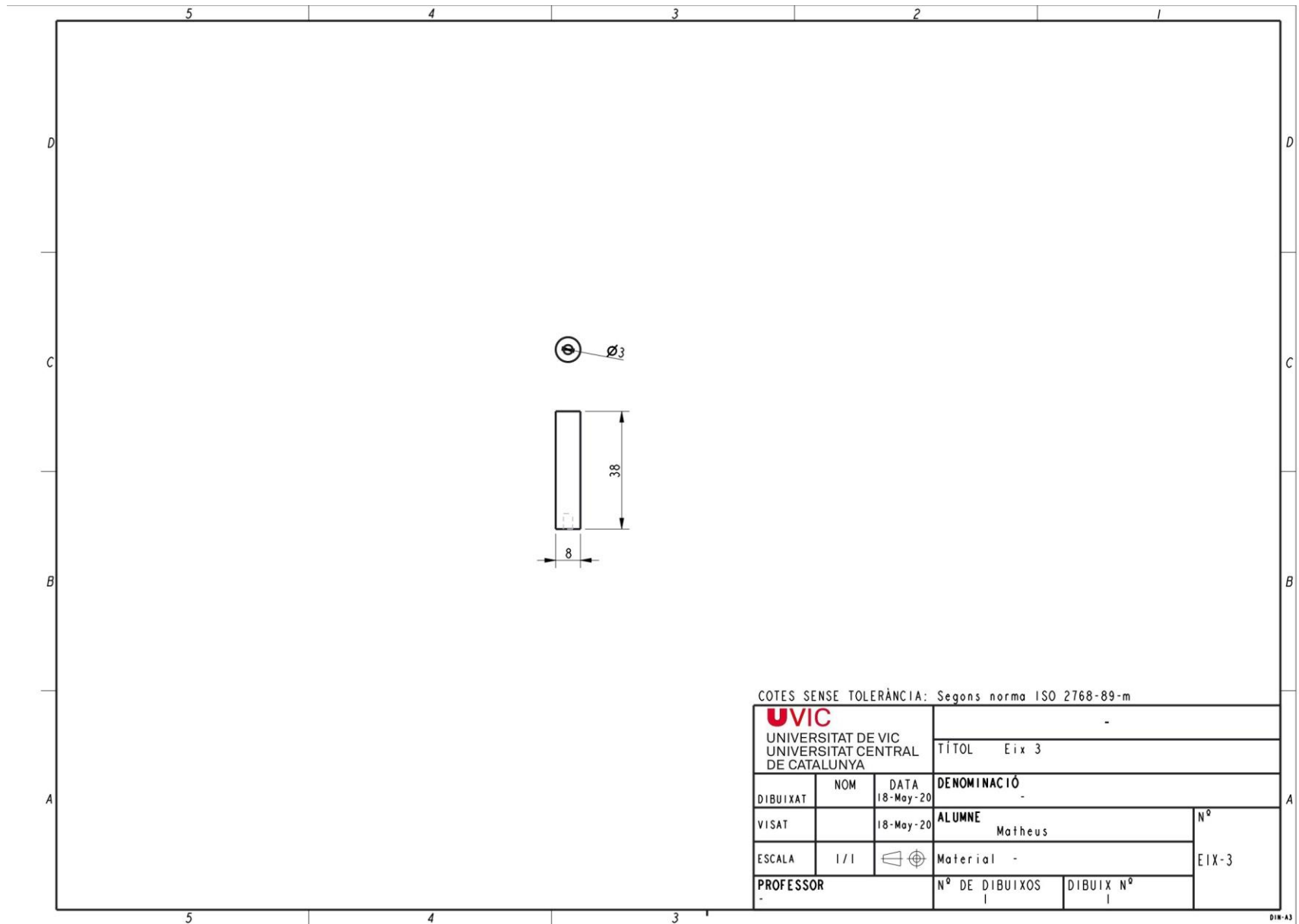
Plànol 12. Elements sistema de càrrega



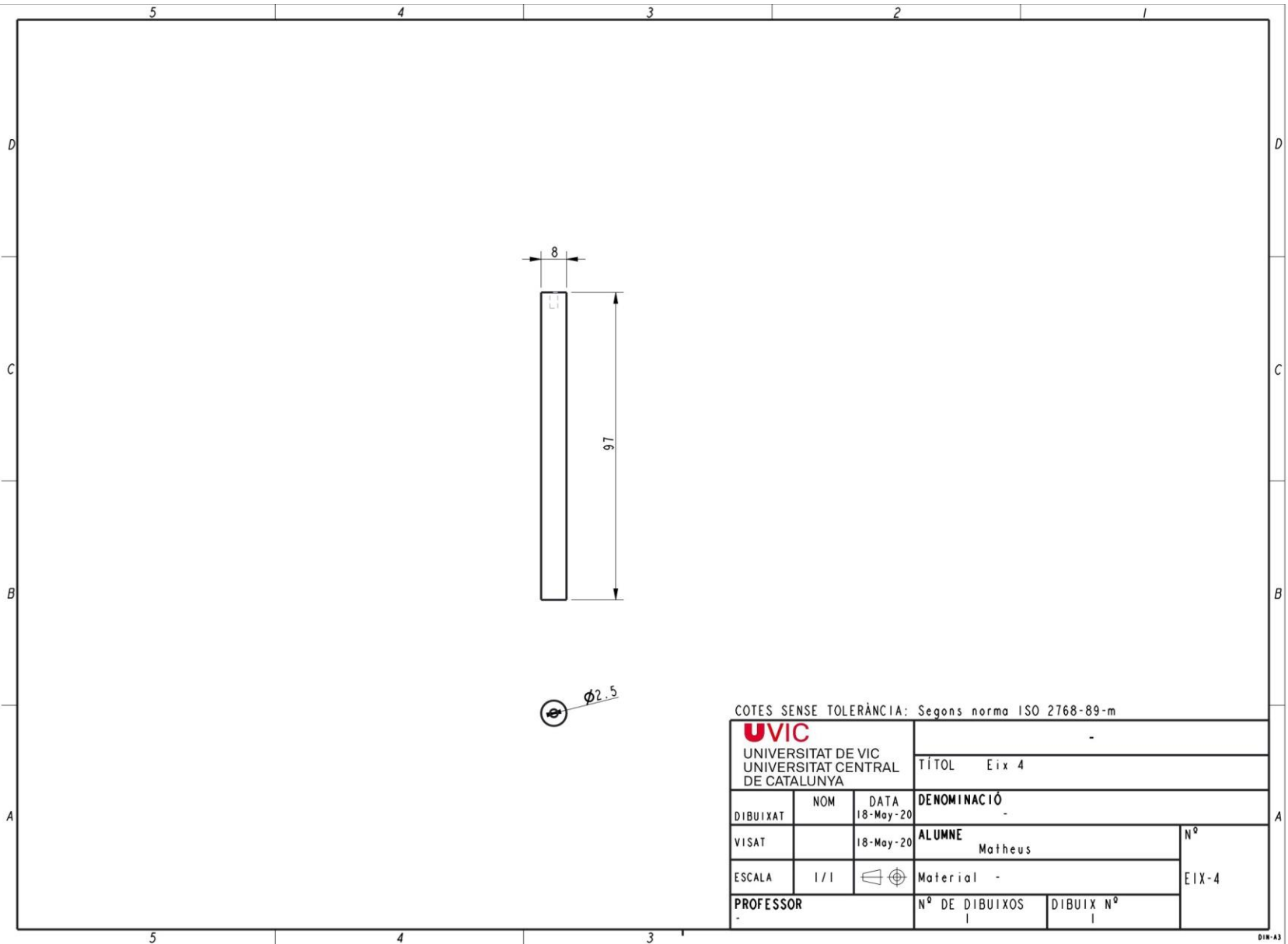
Plànol 13. Eix 1



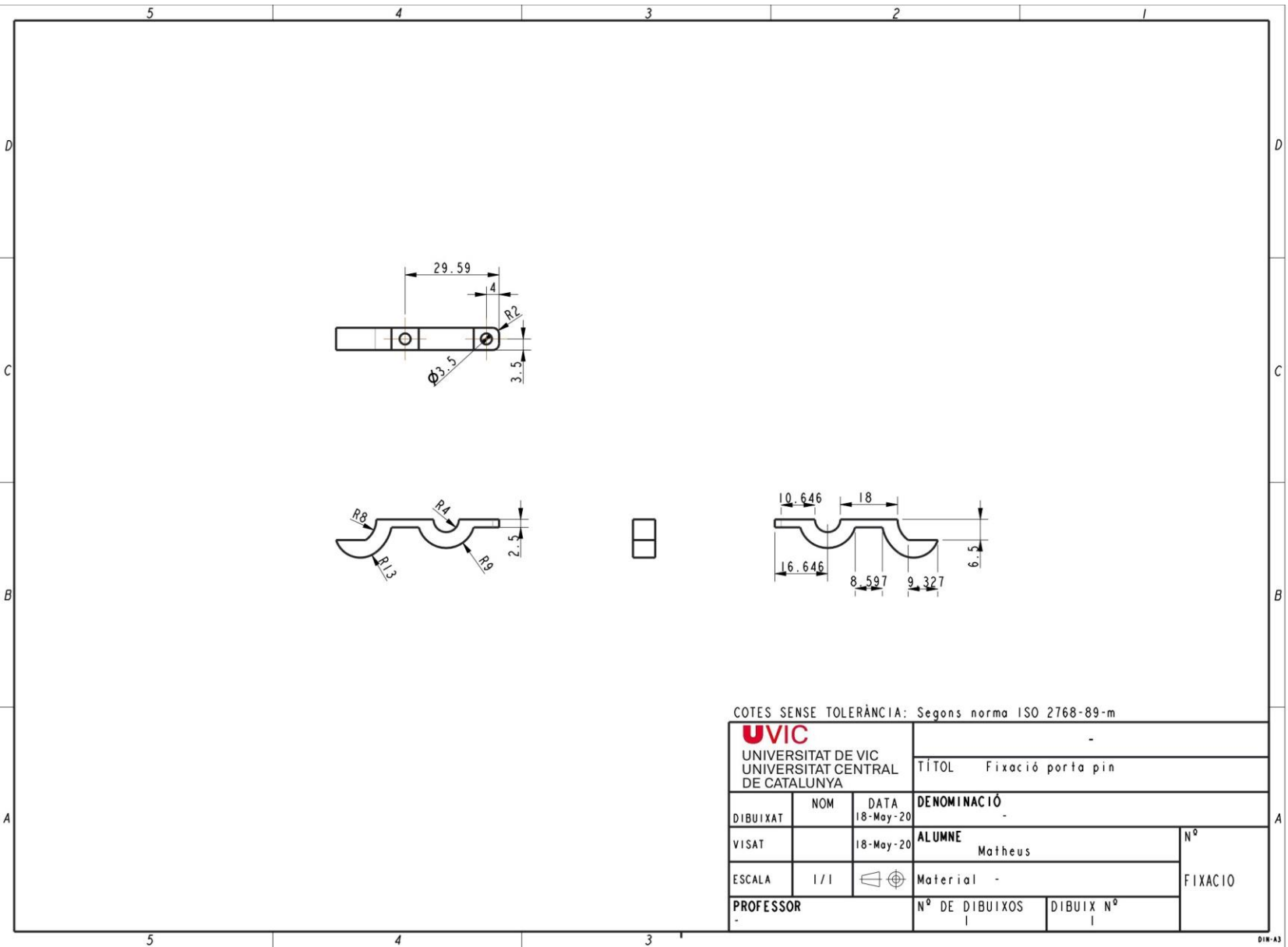
Plànol 14. Eix 2



Plànol 15. Eix 3



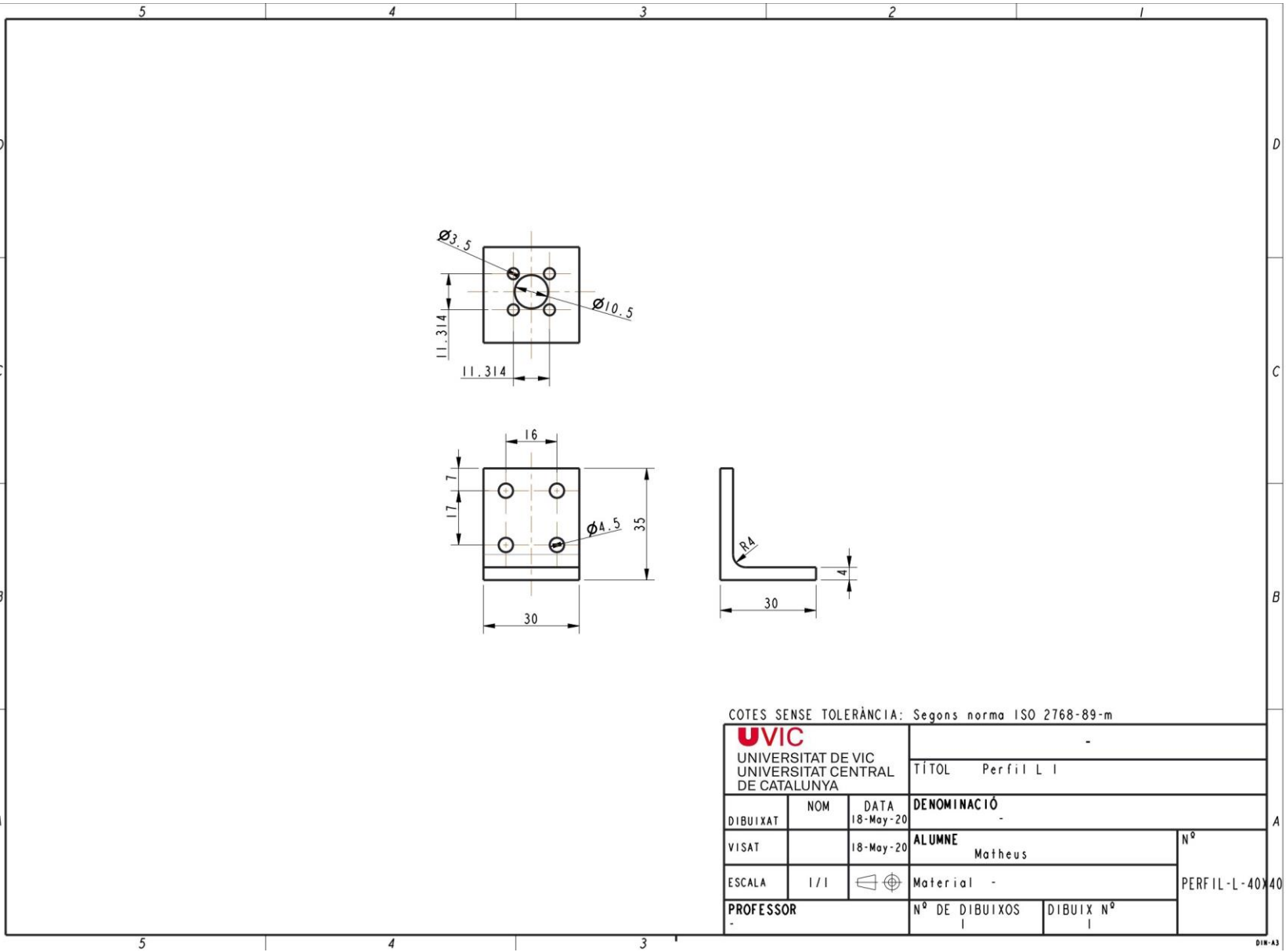
Plànol 16. Eix 4



COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

 UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA		-	
DIBUIXAT		NOM	TÍTOL
VISAT		DATA	Fixació porta pin
ESCALA		1/1	DENOMINACIÓ
PROFESSOR		18-May-20	-
		18-May-20	ALUMNE
		Matheus	Nº
		Material	FIXACIO
		Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
		I	I

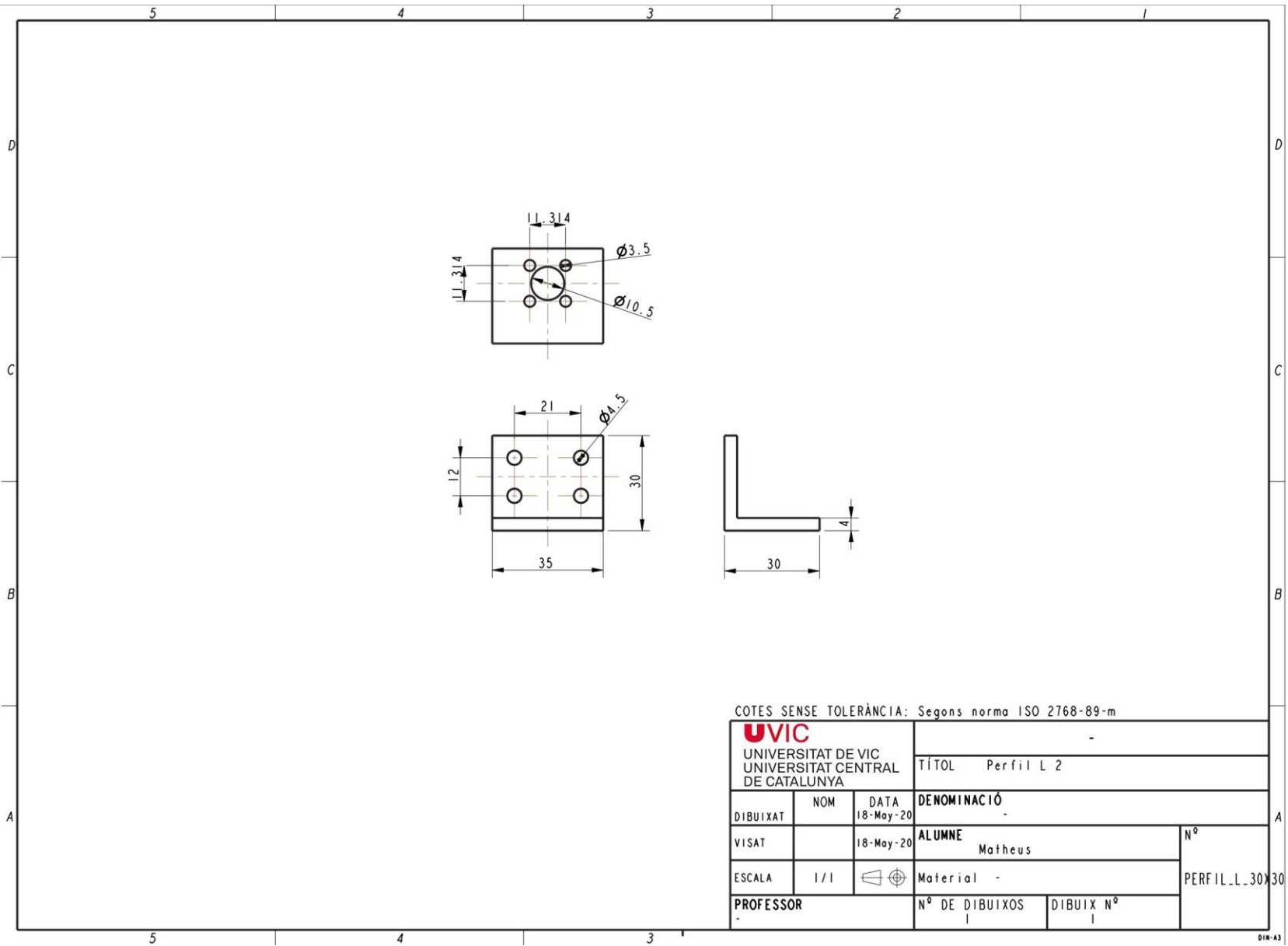
Plànol 17. Fixació porta pin



COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

 UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-		
			TÍTOL Perfil L 1		
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ		
		18-May-20	-		
VISAT		18-May-20	ALUMNE		Nº
			Matheus		
ESCALA	1/1		Material -		PERFIL-L-40X40
PROFESSOR			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº	
			1	1	

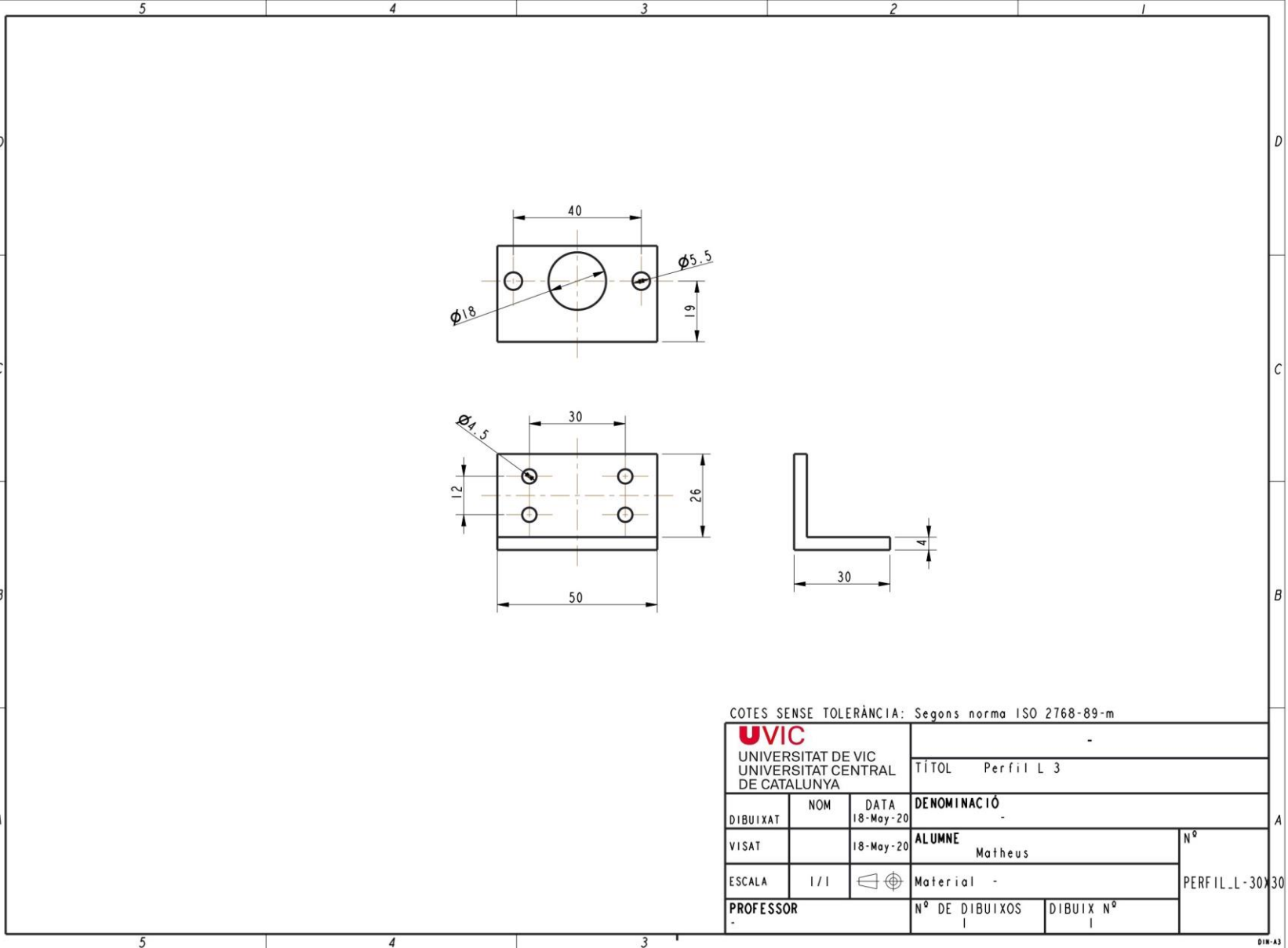
Plànol 18. Perfil L 1



COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

 UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL Perfil L 2	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ	
		18-May-20	-	
VISAT		18-May-20	ALUMNE	Nº
			Matheus	
ESCALA	1/1		Material	PERFIL_L_30x30
			-	
PROFESSOR			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
-			1	1

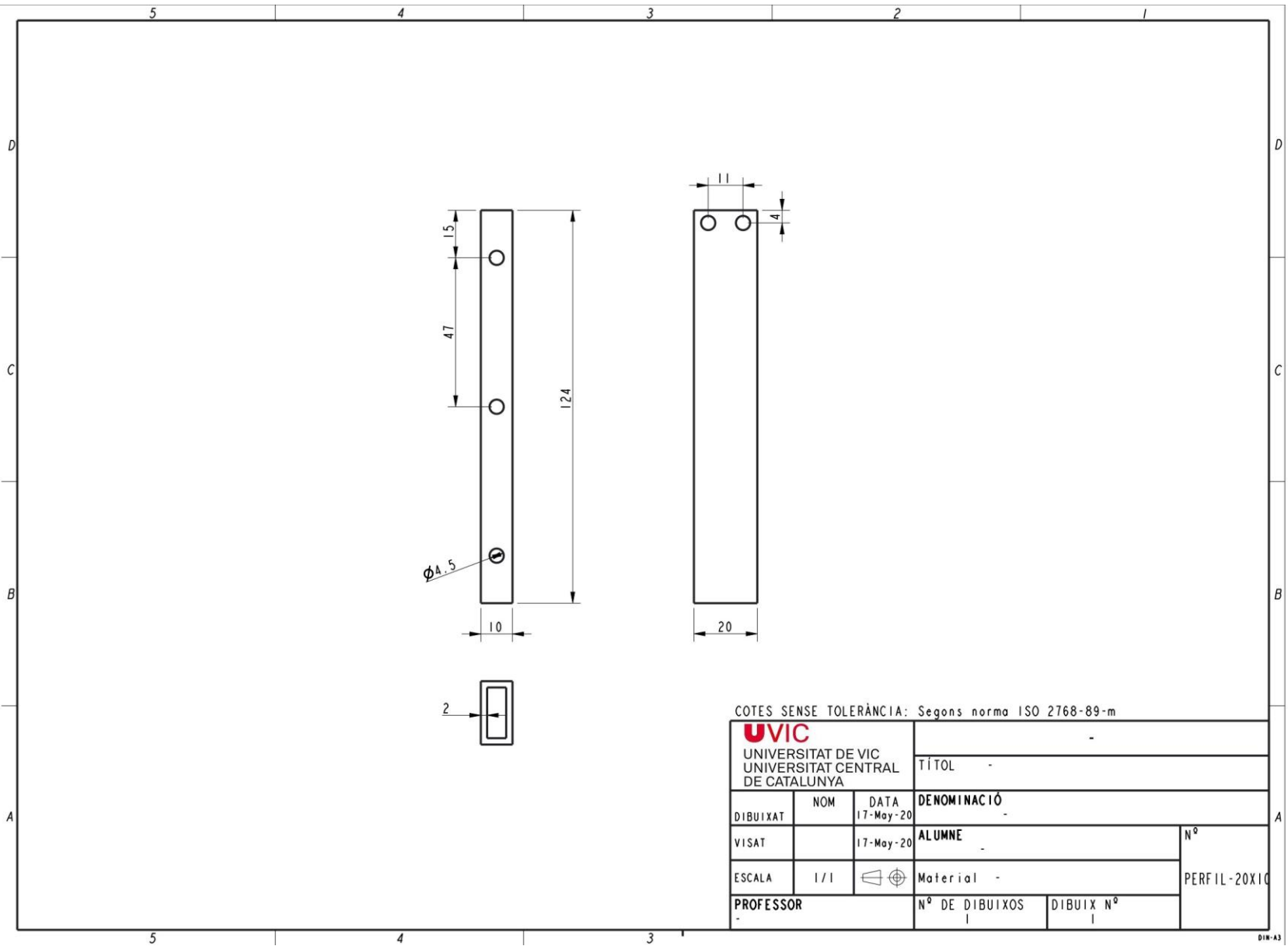
Plànol 19. Perfil L 2



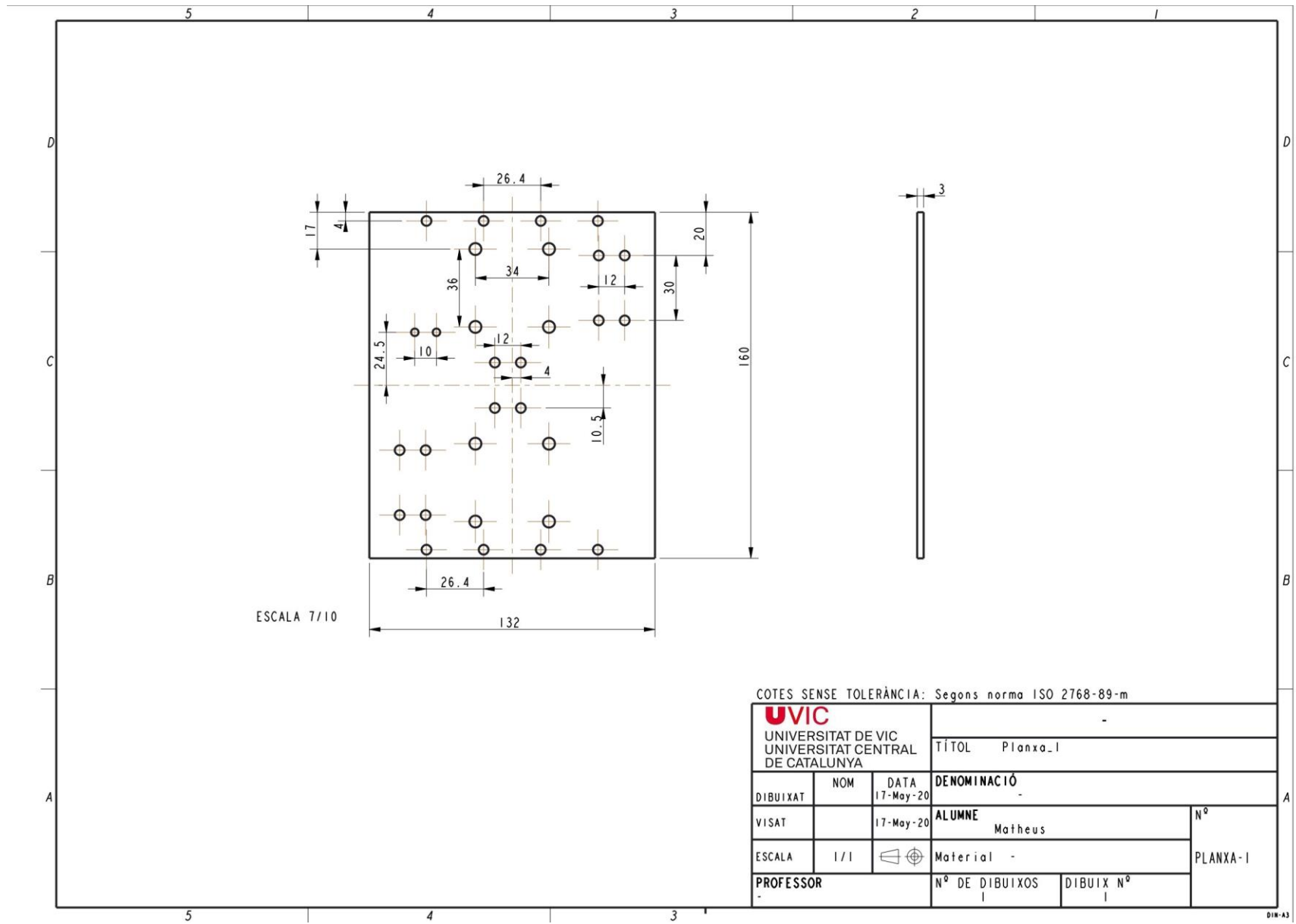
COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

 UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL Perfil L 3	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ	
		18-May-20	-	
VISAT		18-May-20	ALUMNE	Nº
			Matheus	
ESCALA	1/1		Material	PERFIL L-30x30
			-	
PROFESSOR			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
-			1	1

Plànol 20. Perfil L 3



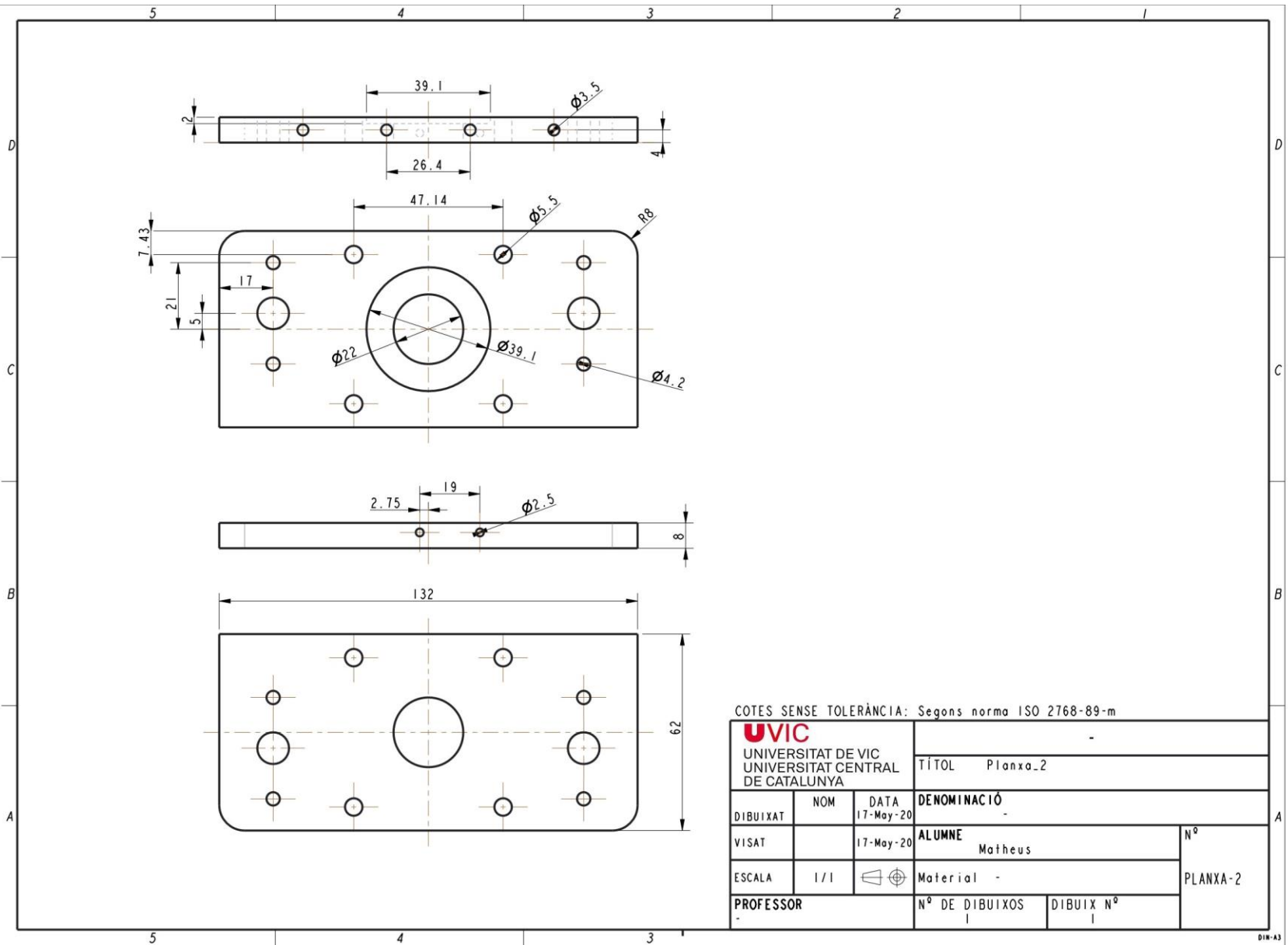
Plànol 21. Perfil 20x10



COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

		-	
UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA		TÍTOL Planxa.1	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ
		17-May-20	-
VISAT		17-May-20	ALUMNE
			Matheus
ESCALA	1/1		Material -
PROFESSOR			Nº DE DIBUIXOS
-			1
			DIBUIX Nº
			1
			PLANXA-1

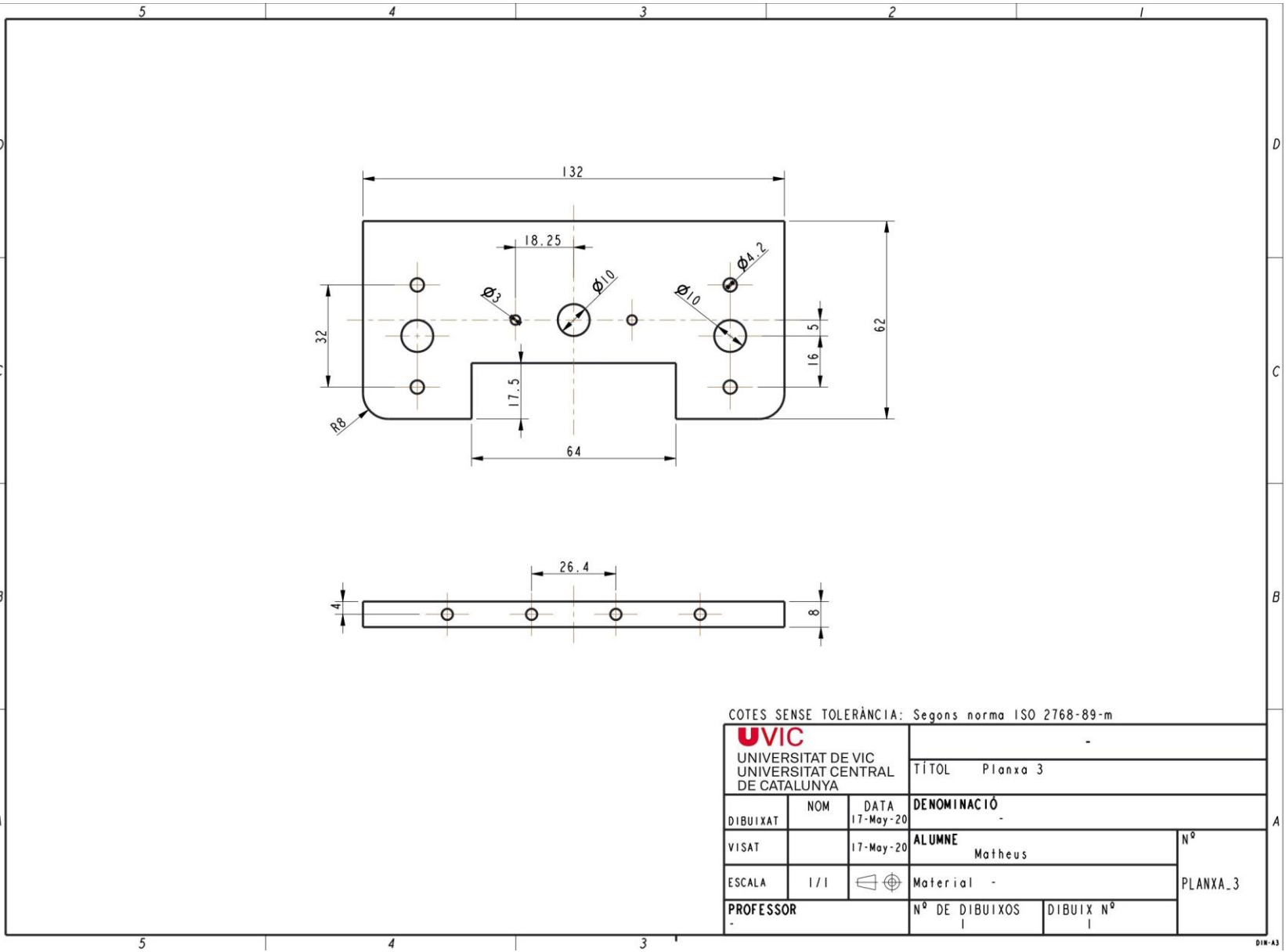
Plànol 22. Planxa 1



COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

UVIC UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA		-	
DIBUIXAT		TÍTOL Planxa_2	
VISAT		DENOMINACIÓ -	
ESCALA 1/1		ALUMNE Matheus	
PROFESSOR -		Material -	
		Nº DE DIBUIXOS 1	
		DIBUIX Nº 1	
		Nº PLANXA-2	

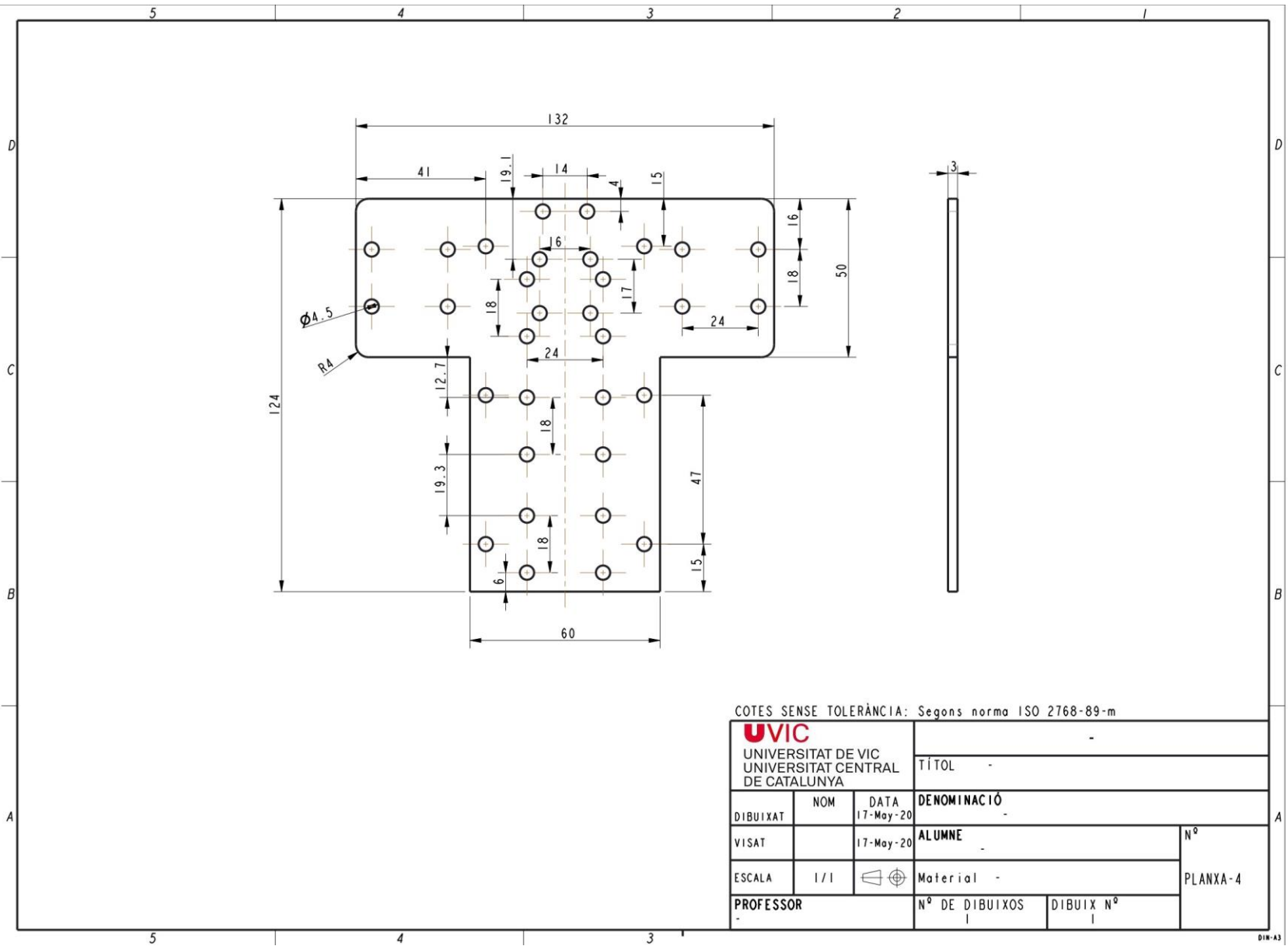
Plànol 23. Planxa 2



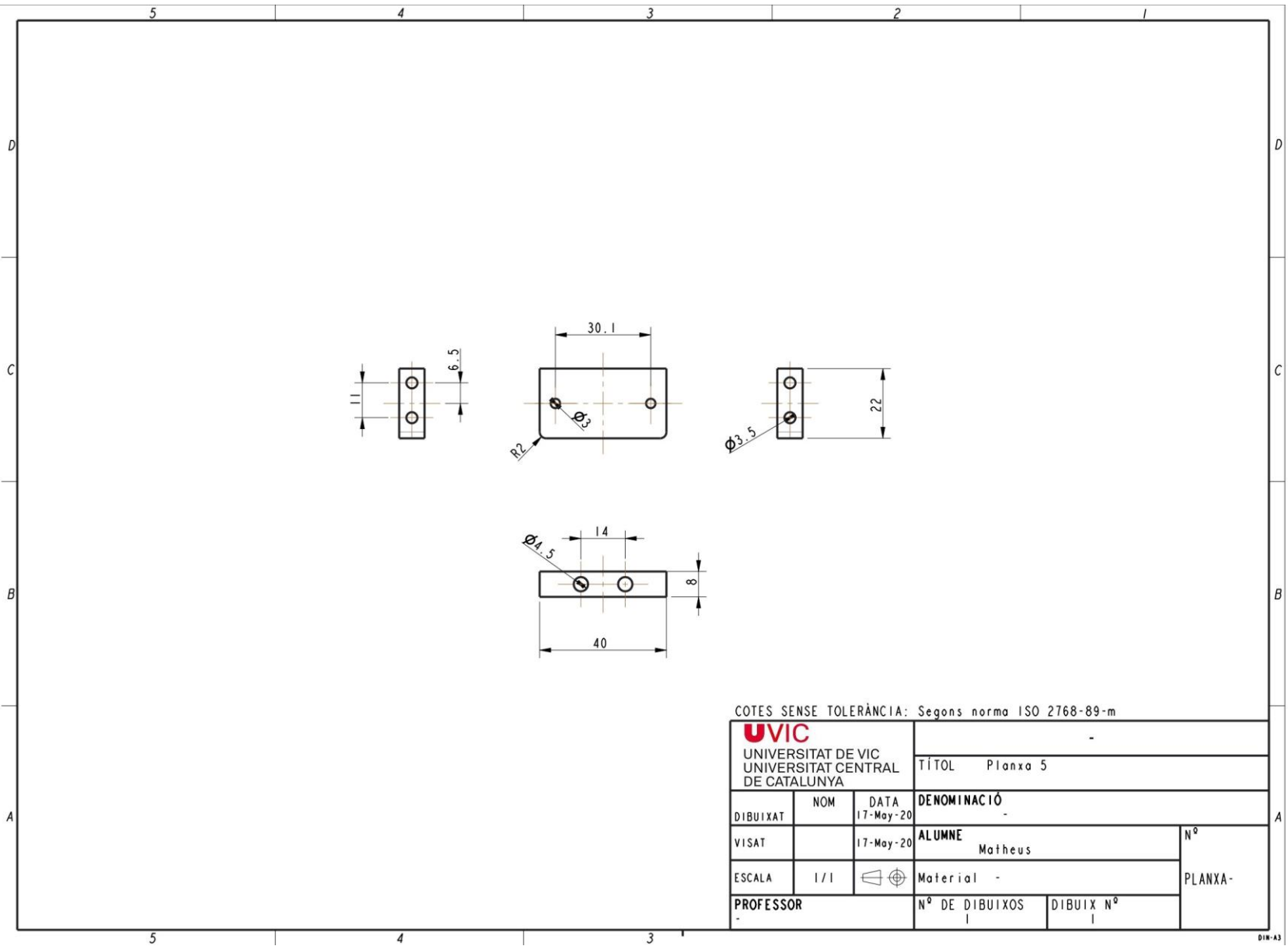
COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

 UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-		
			TÍTOL Planxa 3		
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ		
		17-May-20	-		
VISAT		17-May-20	ALUMNE		Nº
			Matheus		
ESCALA	1/1		Material -		PLANXA_3
PROFESSOR	-		Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº	
			1	1	

Plànol 24. Planxa 3



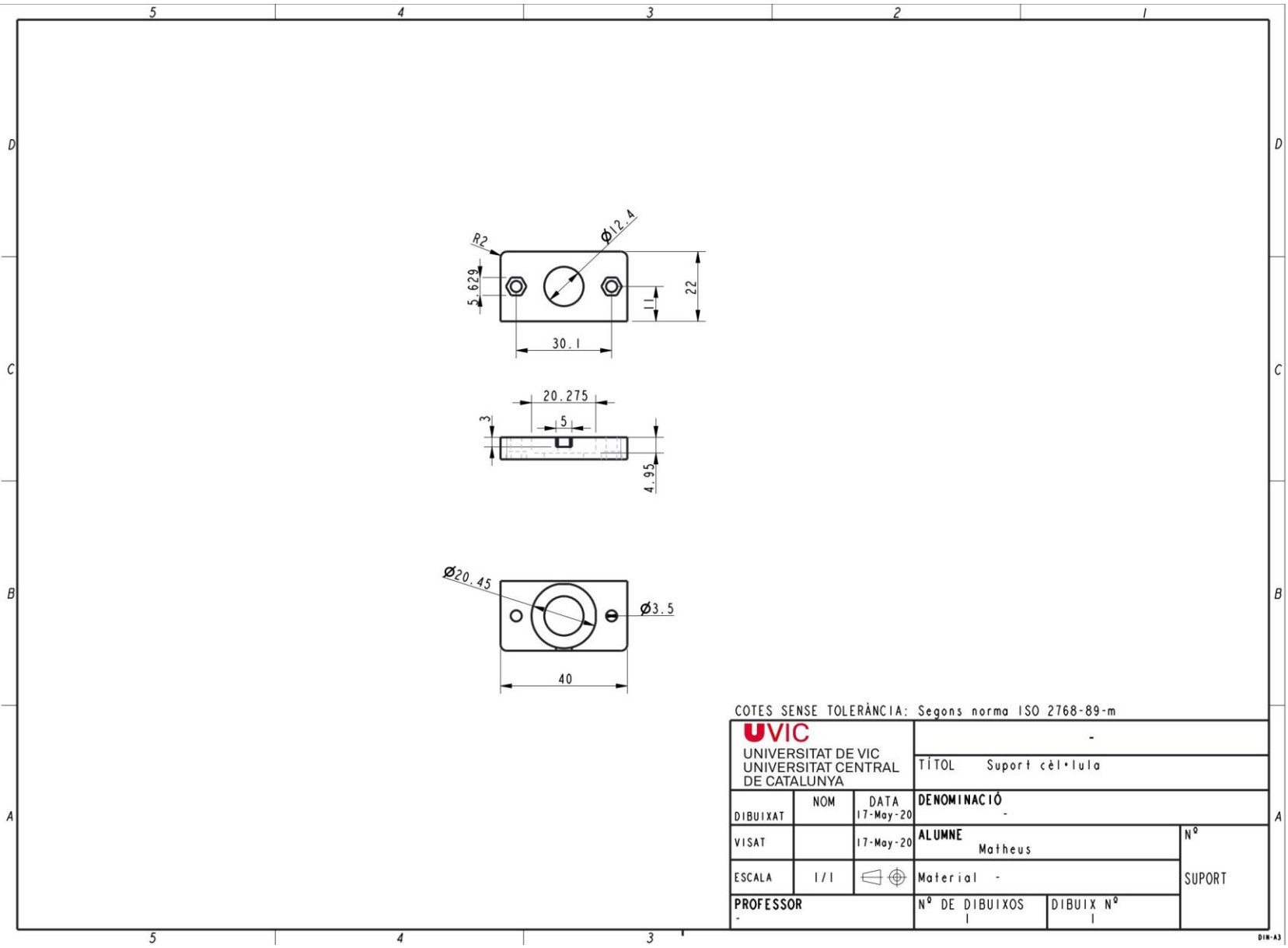
Plànol 25. Planxa 4



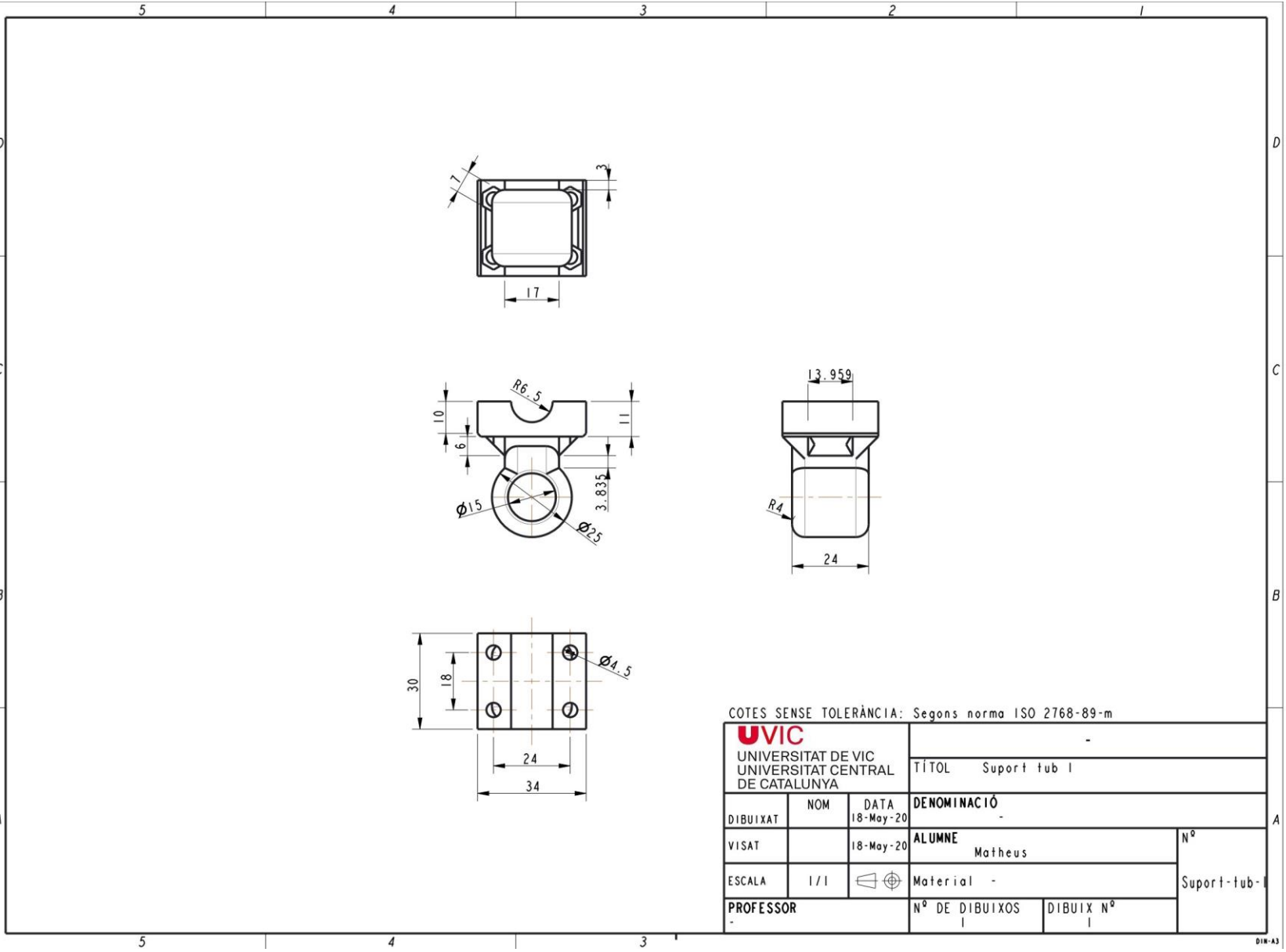
COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

UVIC UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL Planxa 5	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ	
		17-May-20	-	
VISAT		17-May-20	ALUMNE	Nº
			Matheus	
ESCALA	1/1		Material	PLANXA-
			-	
PROFESSOR			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
-			1	1

Plànol 26. Planxa 5



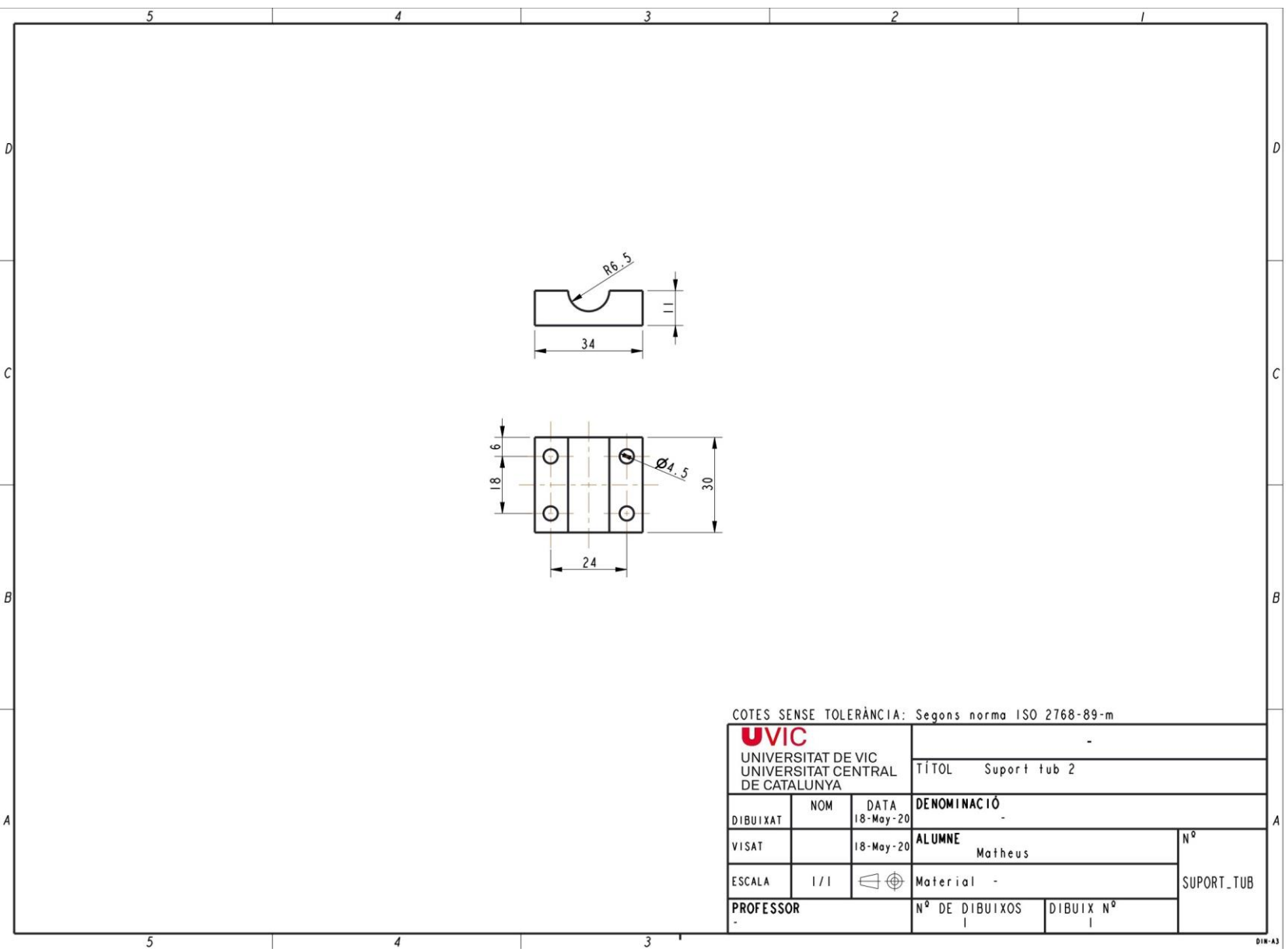
Plànol 27. Suport cèl·lula de carga



COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

 UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			TÍTOL Suport tub 1		
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ		
VISAT		18-May-20	ALUMNE		Nº
ESCALA	1/1		Matheus		
PROFESSOR			Material	-	Suport-tub-1
			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº	
			1	1	

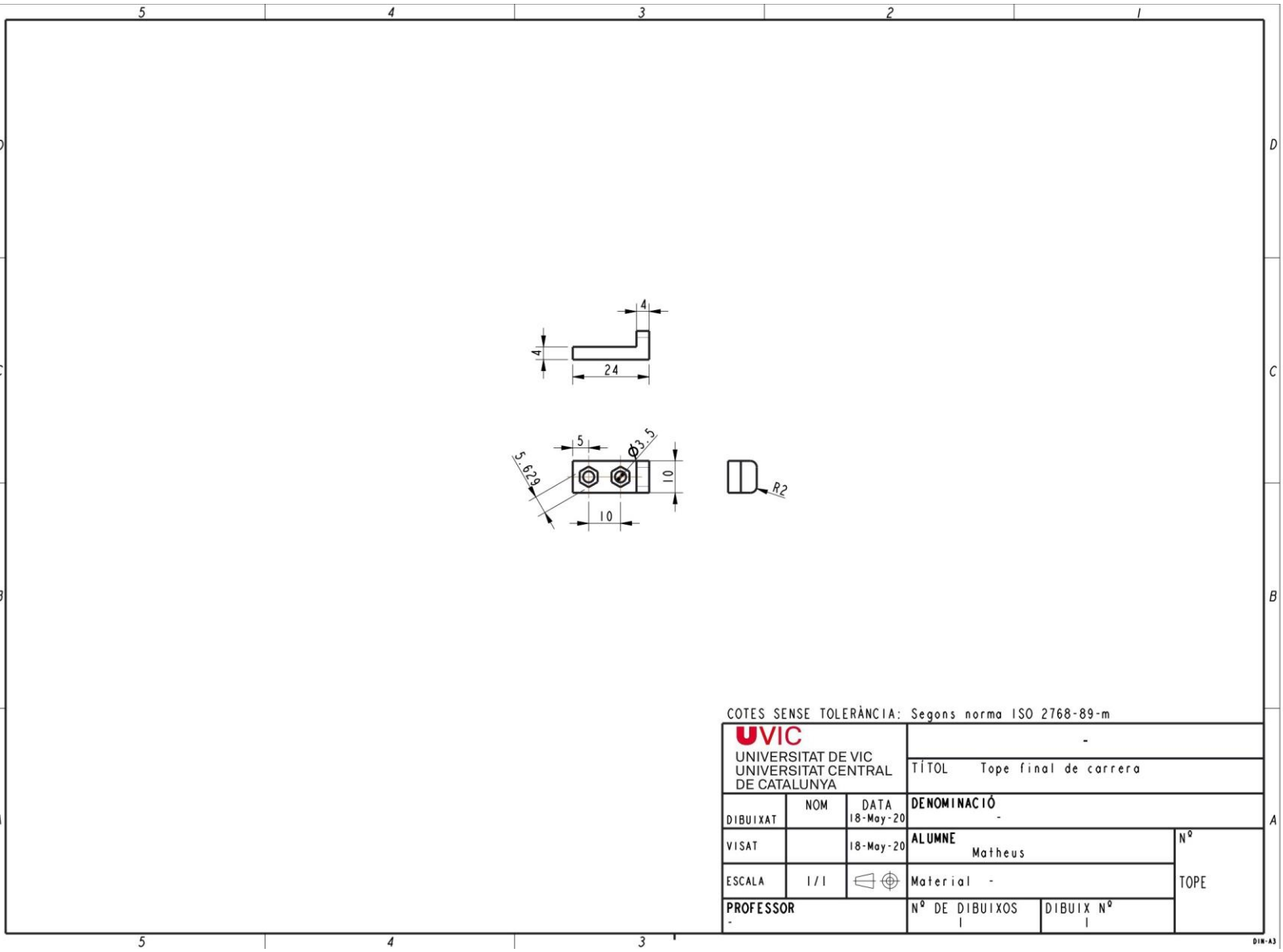
Plànol 28. Suport tub 1



COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

 UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL Suport tub 2	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ	
		18-May-20	-	
VISAT		18-May-20	ALUMNE	Nº
			Matheus	
ESCALA	1/1		Material	SUPORT_TUB
			-	
PROFESSOR			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
			1	1

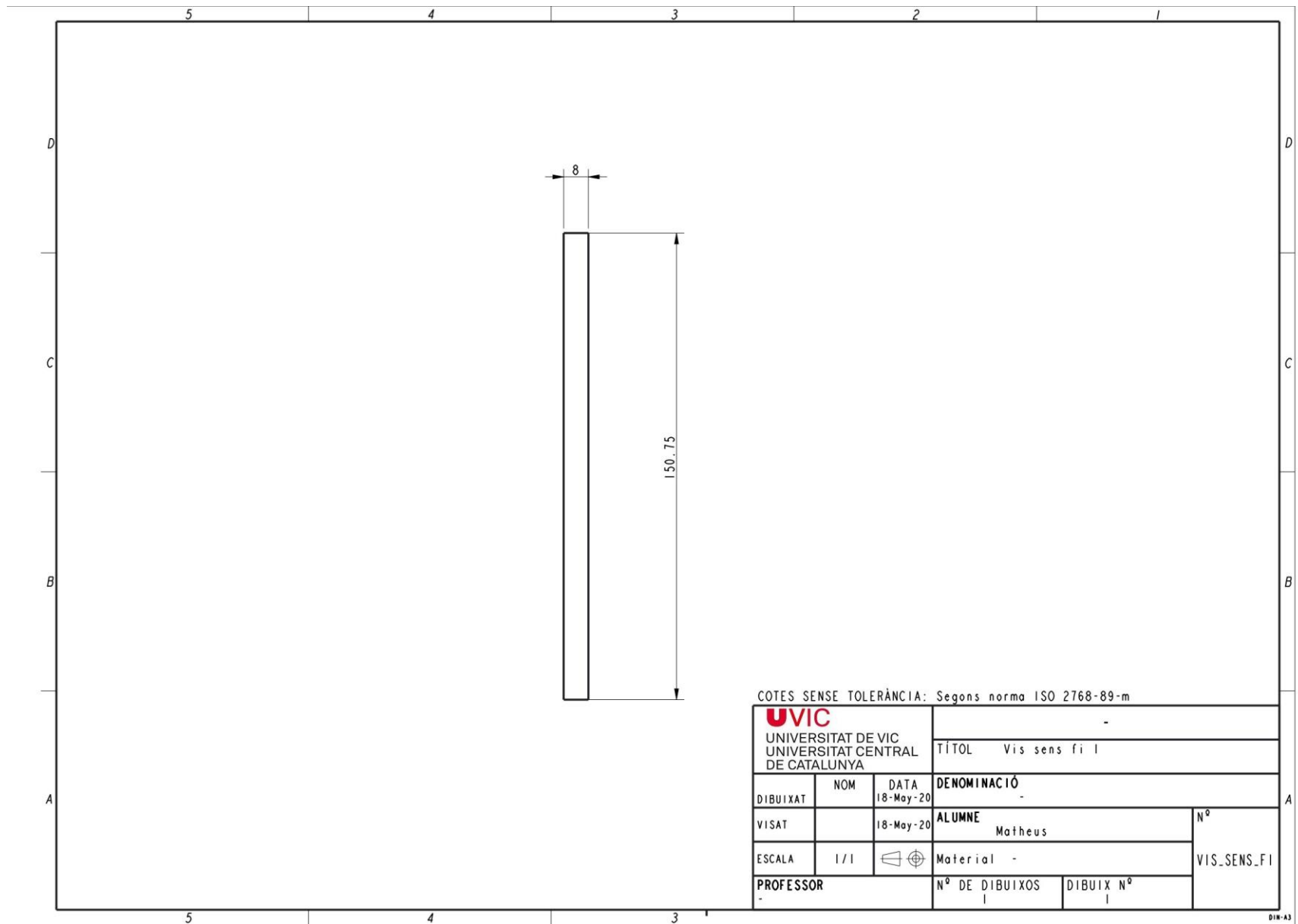
Plànol 29. Suport tub 2



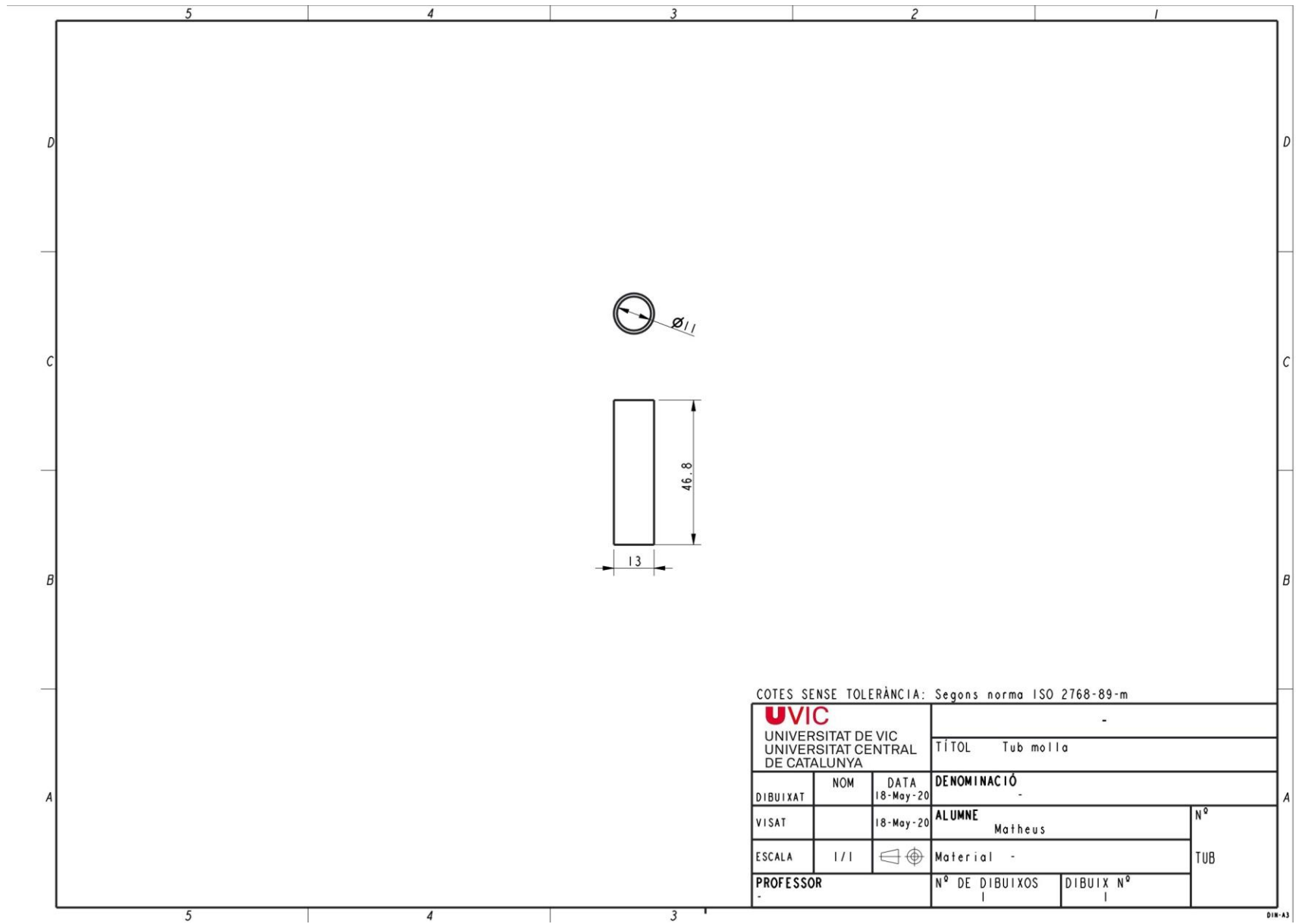
COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

 UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL Tope final de carrera	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ	
		18-May-20	-	
VISAT		18-May-20	ALUMNE	Nº
			Matheus	TOPE
ESCALA	1/1		Material -	
PROFESSOR			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
			1	1

Plànol 30. Tope final de carrera



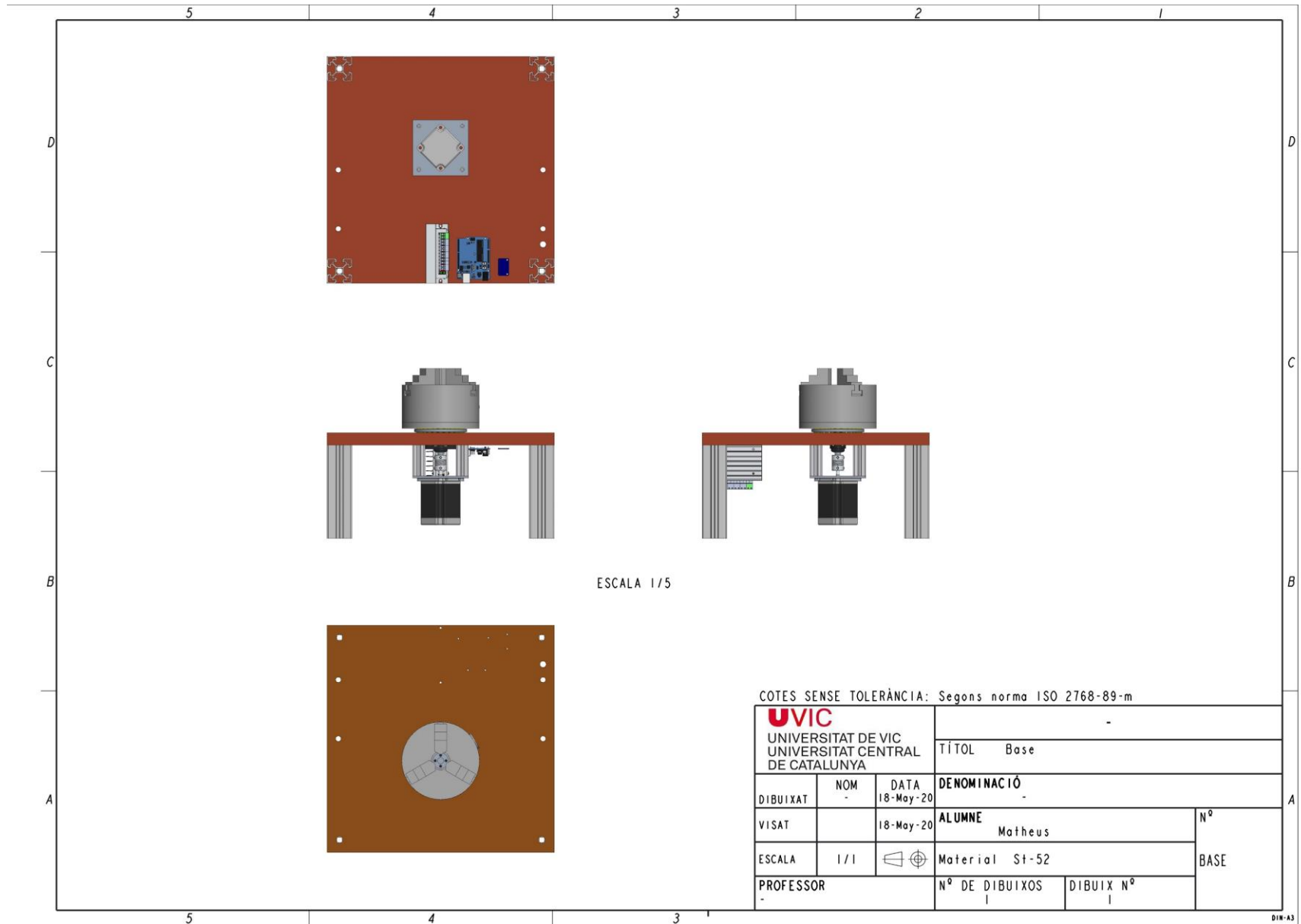
Plànol 31. Vis sens fi



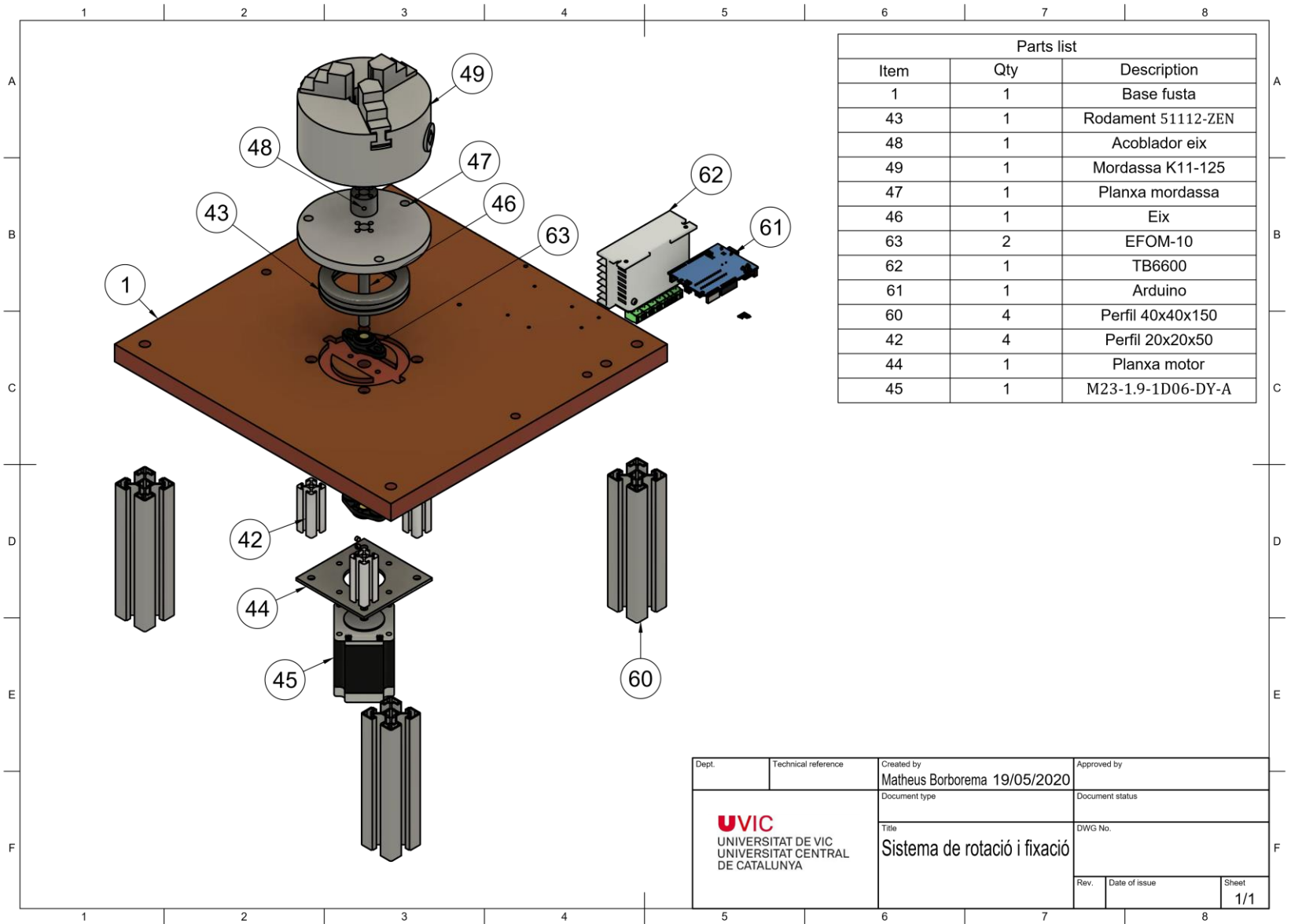
COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

UVIC UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL Tub molla	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ	
		18-May-20	-	
VISAT		18-May-20	ALUMNE	Nº
			Matheus	
ESCALA	1/1	⊕	Material	TUB
			-	
PROFESSOR			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
-			1	1

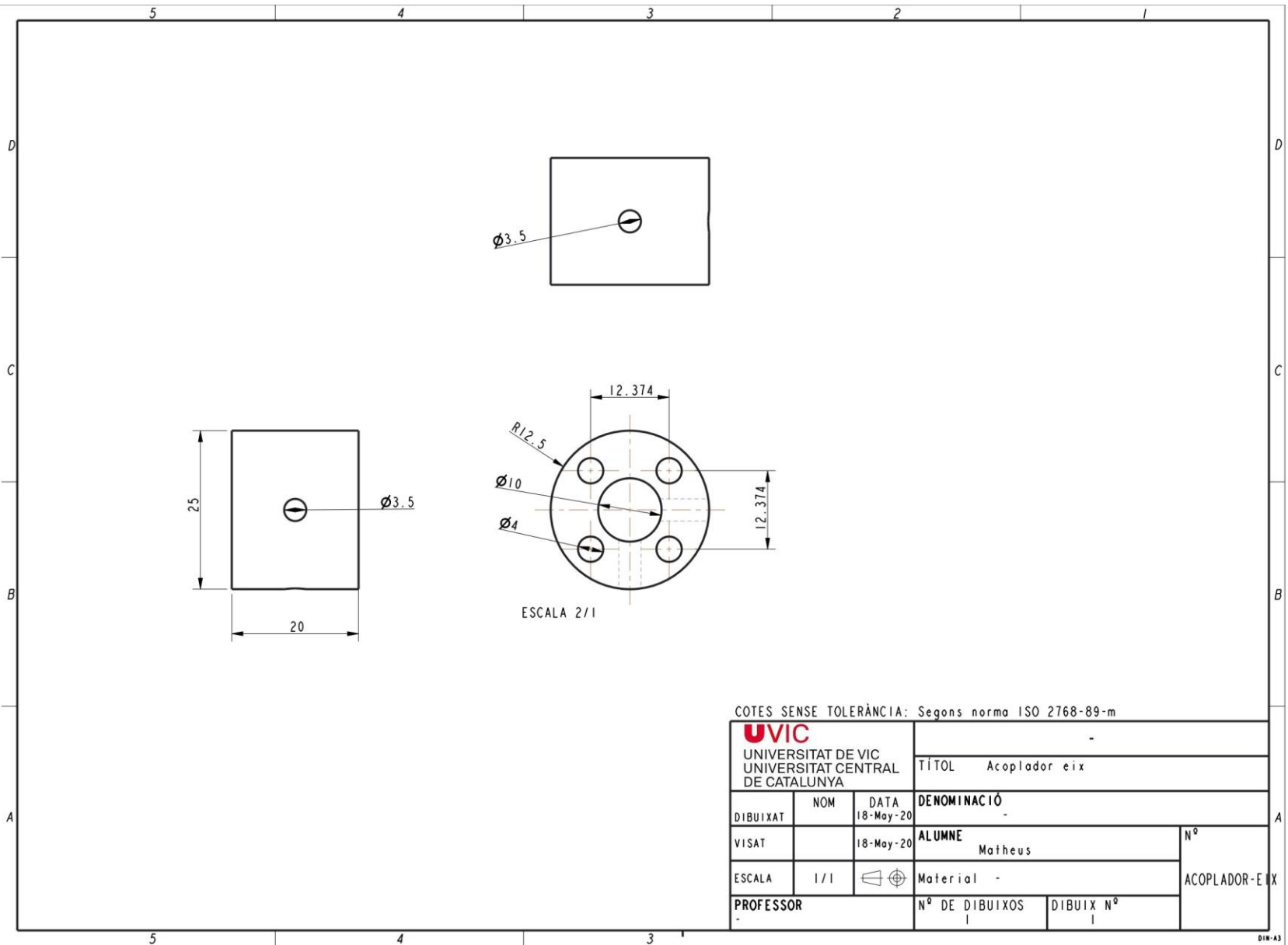
Plànol 32. Tub molla



Plànol 33. Sistema de rotació i fixació



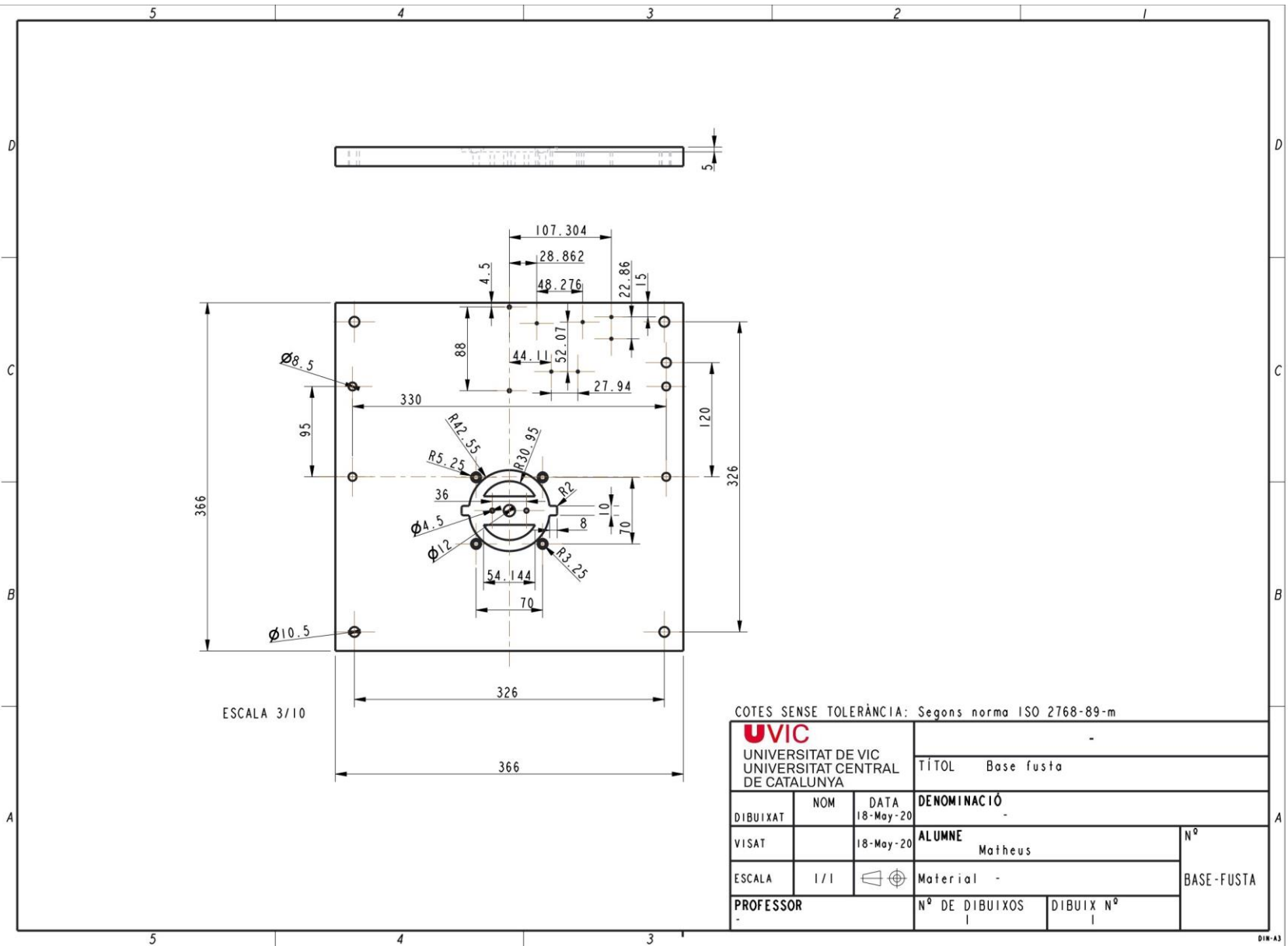
Plànol 34. Elements sistema de fixació i rotació



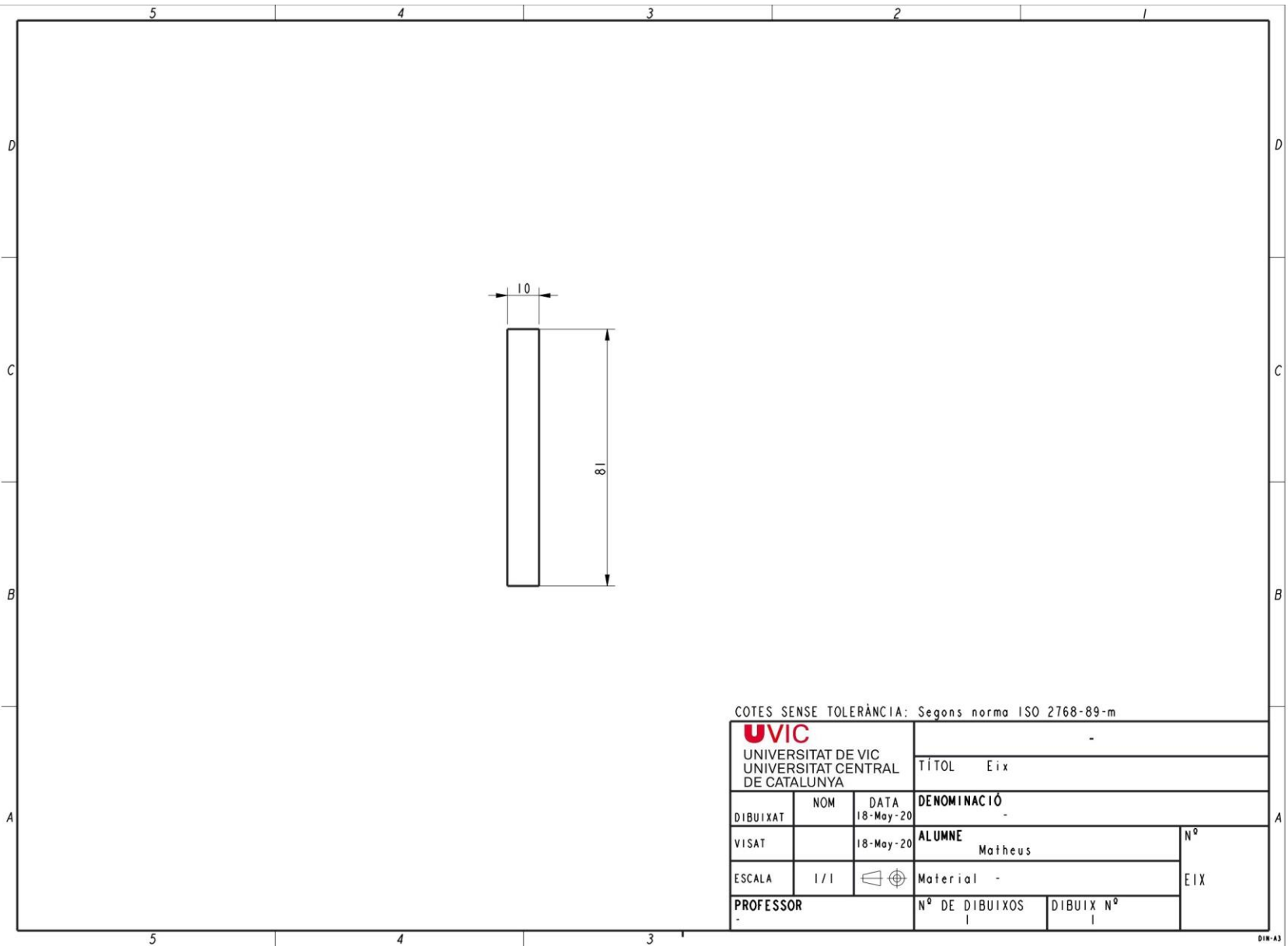
COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

UVIC UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL Acoplador eix	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ	
		18-May-20	-	
VISAT		18-May-20	ALUMNE	Nº
			Matheus	
ESCALA	1/1	☞	Material	ACOPLADOR-EIX
			-	
PROFESSOR			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
			1	1

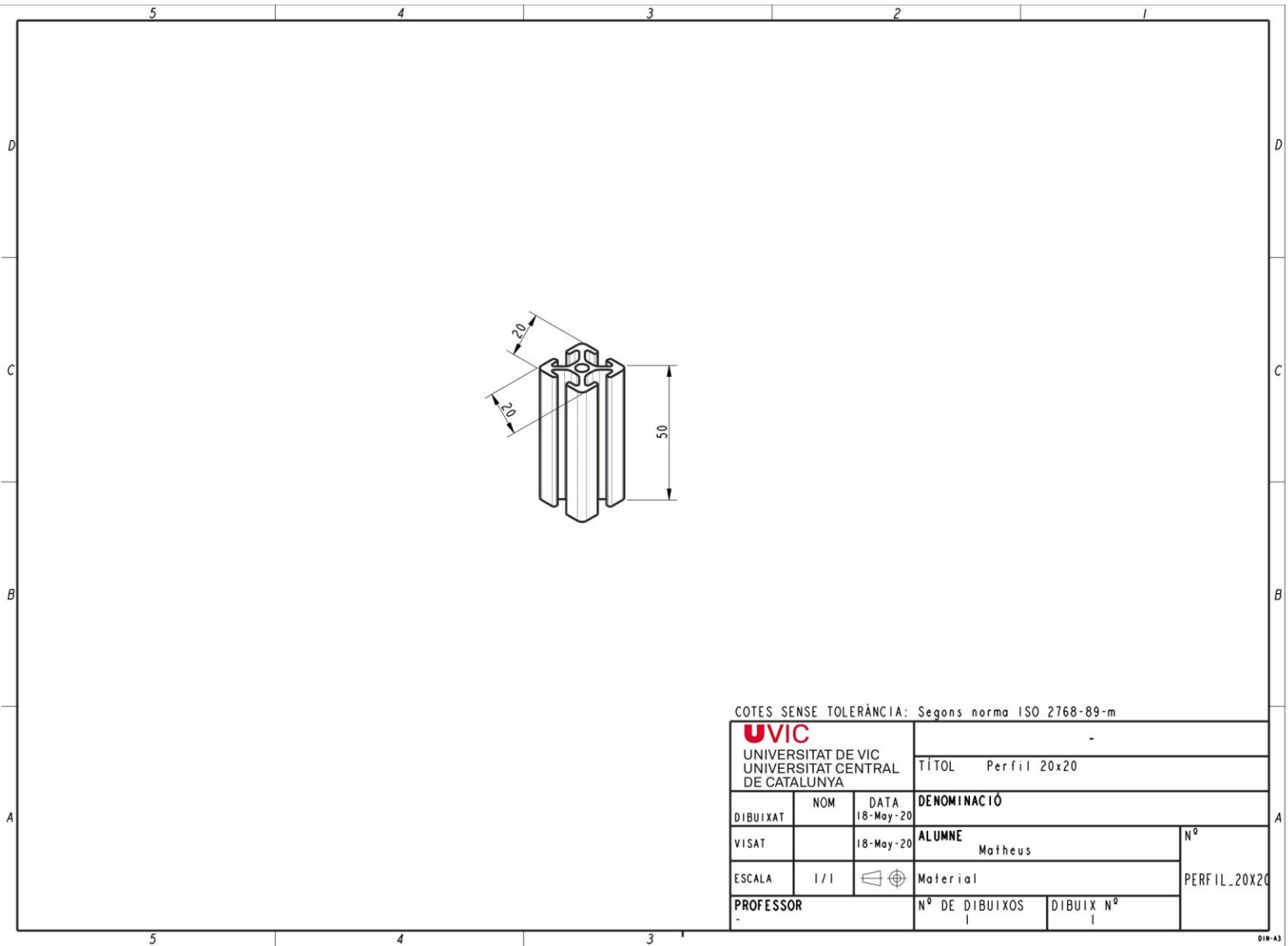
Plànol 35. Acoblador eix



Plànol 36. Base fusta



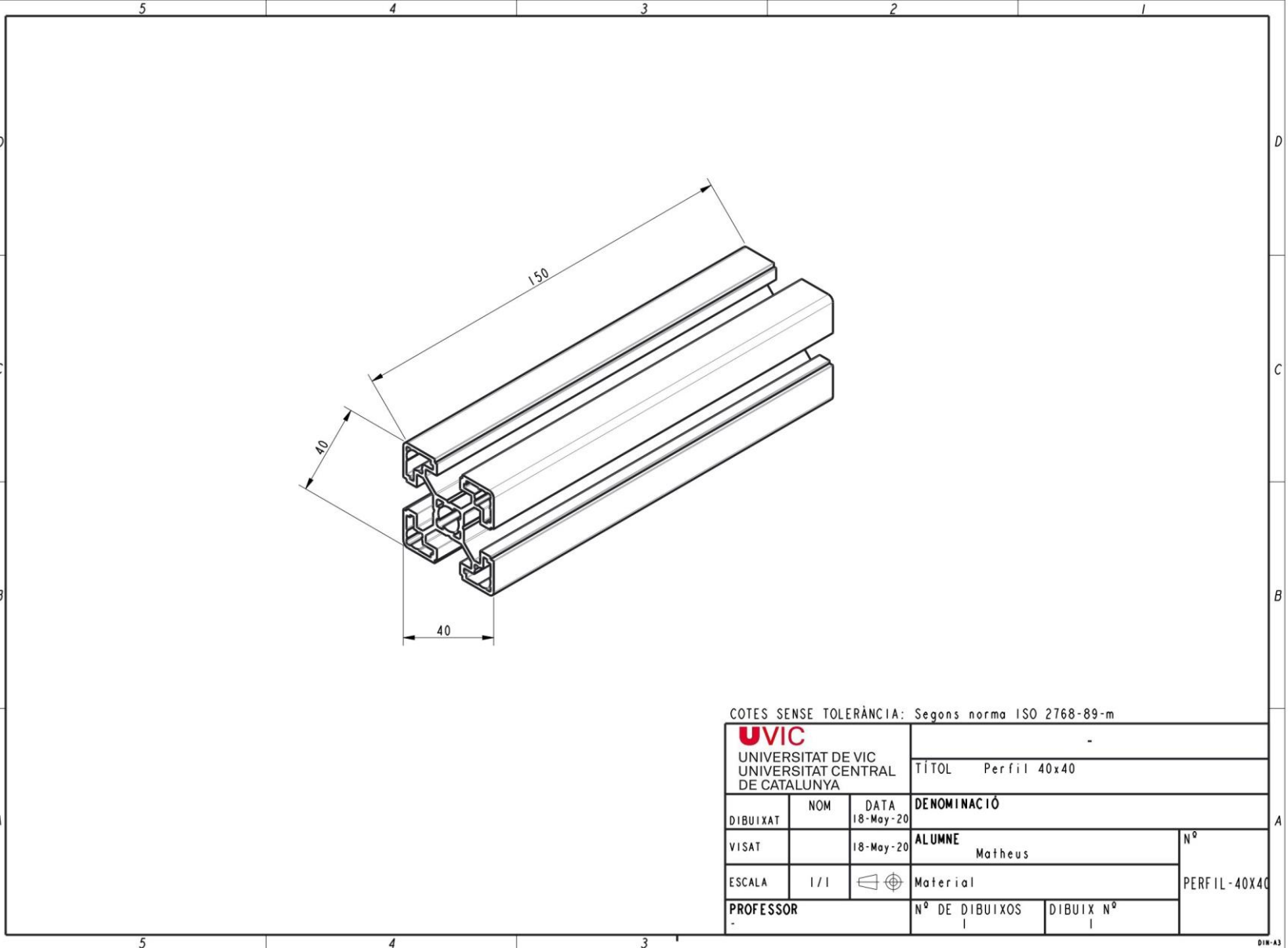
Plànol 37. Eix



COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

UVIC UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL Perfil 20x20	
DIBUIXAT	NOM	DATA 18-May-20	DENOMINACIÓ	
VISAT		18-May-20	ALUMNE Matheus	Nº
ESCALA	1/1		Material	PERFIL_20X20
PROFESSOR -			Nº DE DIBUIXOS 1	DIBUIX Nº 1

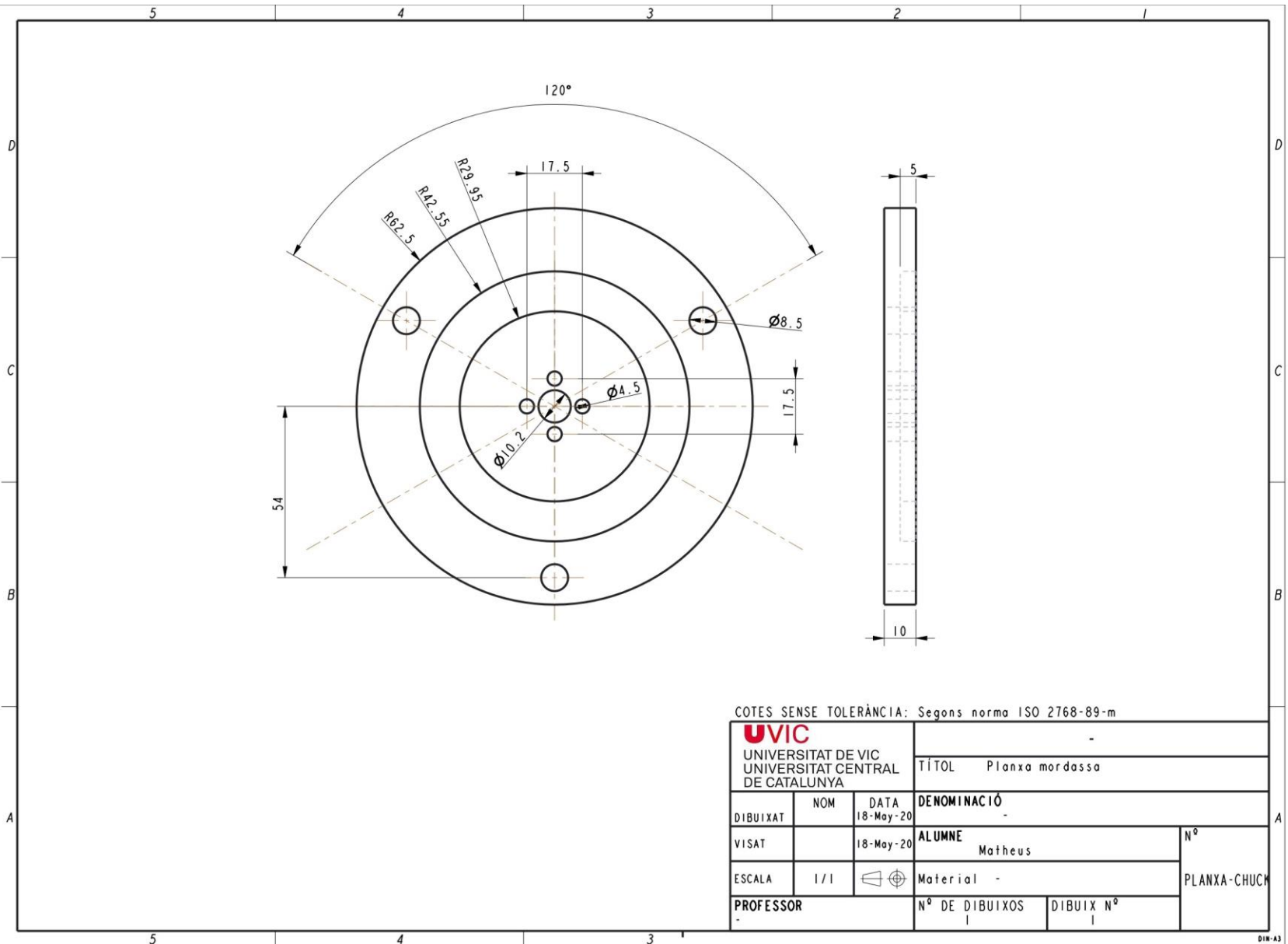
Plànol 38. Perfil 20x20x50mm



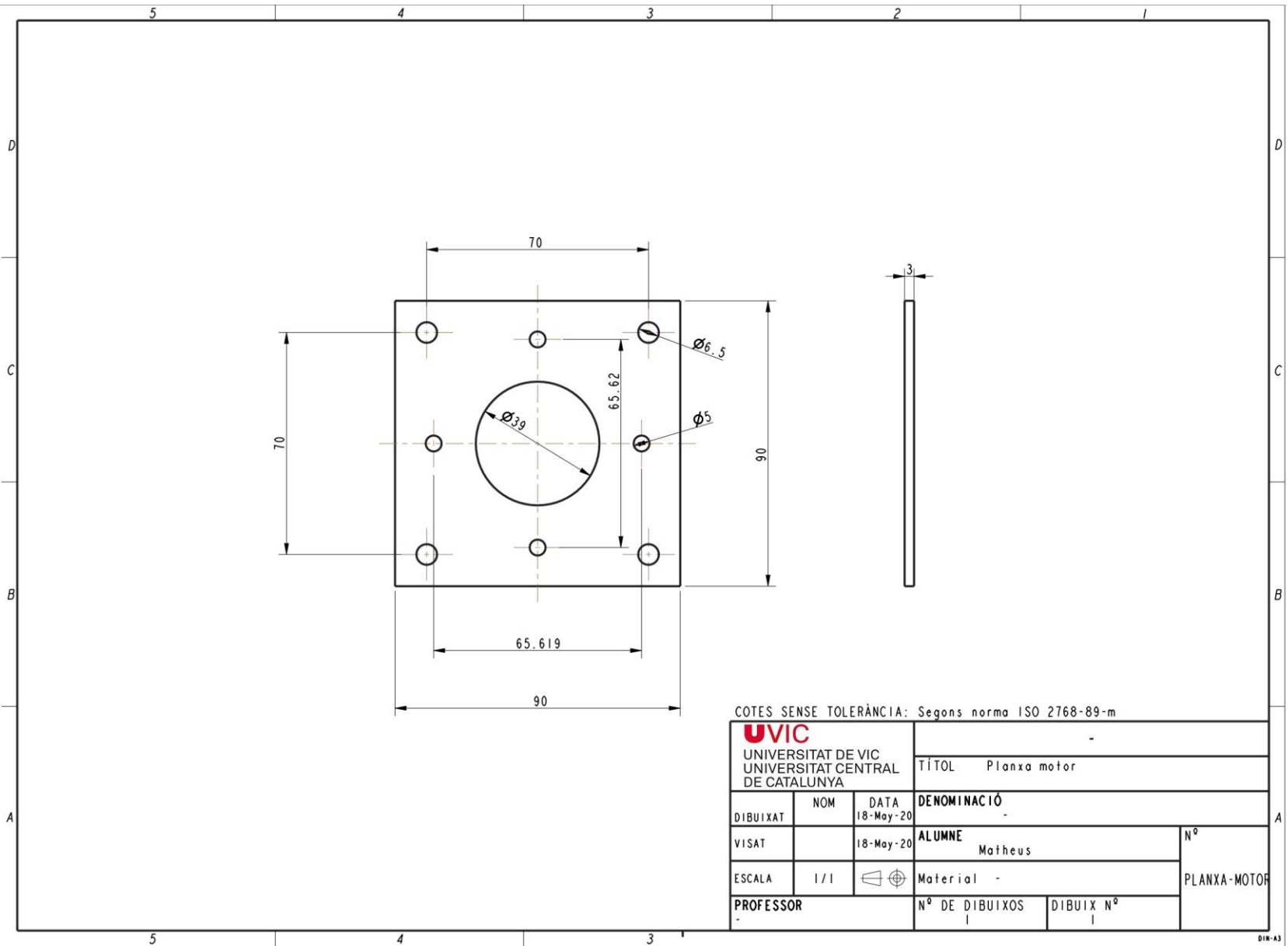
COTES SENSE TOLERÀNCIA: Segons norma ISO 2768-89-m

UVIC UNIVERSITAT DE VIC UNIVERSITAT CENTRAL DE CATALUNYA			-	
			TÍTOL Perfil 40x40	
DIBUIXAT	NOM	DATA	DENOMINACIÓ	
VISAT		18-May-20	ALUMNE	Nº
ESCALA	1/1	⊕	Material	PERFIL-40X40
PROFESSOR			Nº DE DIBUIXOS	DIBUIX Nº
			1	1

Plànol 39. Perfil 40x40x150mm



Plànol 40. Planxa mordassa



Plànol 41. Planxa motor