

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol: Disseny i assaig d'estructures reticulars

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Marc Casanova Guillamet

Tutor: Norbert Blanco

Departament: Enginyeria Mecànica i Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria Mecànica

Convocatòria (mes/any): Setembre 2018

Índex

1. Introducció	4
1.1 Antecedents	4
1.1.1 "Situació"	4
1.1.2 Problema de la compressió	4
1.2 Objecte del projecte	4
1.3 Requeriments i Abast	4
1.3.1 Requeriments	4
1.3.2 Abast	4
2. Anàlisi	5
2.1 Coneixement d'estructures reticulades	5
2.1.1 Definició	5
2.1.2 Característiques	6
2.2 Impressió 3D	6
2.2.1 Història	6
2.2.2 Impressora 3D	7
2.2.3 Software	8
2.3 Entorn	8
3. Metodologia	9
4. Proves d'impressió 3D	10
4.1 Proves d'impressió de peces formades per barres	10
4.2 Elecció de la forma exterior de les provetes	10
4.3 Passos seguits per millorar la impressió	11
4.3.1 Introducció	11
4.3.2 Solució a l'Efecte "Oozing"	12
4.3.3 Solució a la caiguda de material al imprimir el pont	15
4.3.4 Resultat final	19
4.3.5 Paràmetres finals a introduir al Slic3r	19
5. Disseny d'estructures reticulars	20
5.1 Mètode utilitzat	20
5.2 Característiques principals	21
5.3 Nomenclatura de les provetes	24
5.4 Tipus de provetes	24

6. Impressió de les provetes.....	27
6.1 Metodologia al imprimir	27
6.2 Ajustament paràmetres de Slic3r.....	27
6.3 Problemes d'impressió.....	28
7. Simulació per elements finits	33
7.1 Propietats del material.....	33
7.1.1 ABS 3D Ring	34
7.1.2 ABS 3D Bar.....	34
7.2 Preparació del model	37
7.3 Resultats.....	40
8. Assaig experimental a compressió	42
8.1 Realització de l'Assaig	42
8.2 Resultats.....	44
9. Anàlisi dels resultats	48
9.1 Introducció	48
9.2 Anàlisi dels resultats de la simulació per elements finits.....	48
9.2.1 Rigidesa	48
9.2.2 Ràtio (Rigidesa/Pes).....	49
9.3 Anàlisi dels resultats de l'assaig	51
9.3.1 Càrrega màxima	52
9.3.2 Ràtio (Càrrega/Pes)	53
9.3.3 Rigidesa	54
9.3.4 Ràtio (Rigidesa/Pes)	56
9.4 Comparació dels resultats entre l'assaig experimental i la simulació per elements finits.....	58
9.4.1 Comparació Rigideses	58
9.4.2 Comparació del ràtio rigidesa - pes.....	61
10. Conclusions.....	63
11. Relació de documents	64
ANNEX A	65
A.1 Resultats de l'assaig	66
A.1.1 Informes resultats provetes de gruix 2mm.....	67
A.1.2 Informes resultats provetes de gruix 2.5 mm.....	97
A.1.3 Informes resultats provetes de gruix 3 mm.....	127

ANNEX B	157
B.1 Manual Slic3r.....	158
B.2 Paràmetres utilitzats per imprimir les provetes	167

1. Introducció

1.1 Antecedents

1.1.1 “Situació”

La impressió 3D, i entre les diferents tècniques la FDM (*Fused Deposition Modelling*), permet fabricar aprofitant millor els materials amb pràcticament desaprofitament nul. A més aquesta tècnica permet fabricar elements amb geometries complexes que serien molt més complicades de fabricar amb altres mètodes o gairebé impossible. Això permet optimitzar millor les geometries i fabricar elements amb menys material però iguals propietats mecàniques, com per exemple les estructures reticulades.

1.1.2 Problema de la compressió

Aquestes peces han d'aguantar a compressió. El principal problema és mantenir una bona resistència a compressió de les peces i reduir el material de fabricació a la vegada.

1.2 Objecte del projecte

Dissenyar, fabricar (mitjançant impressió d'ABS en 3D) i assajar a compressió, peces iguals exteriorment, però formades per diferents configuracions d'estructures reticulars. Trobar els paràmetres d'impressió que permetin la fabricació d'aquest tipus de peces obtenint una bona qualitat. Establir paràmetres de disseny que permetin la fabricació d'estructures reticulades de forma més eficient a l'hora d'aguantar càrrega a compressió. Comparar els resultats de l'assaig amb els que s'obtingran numèricament.

1.3 Requeriments i Abast

1.3.1 Requeriments

El material utilitzat ha de ser ABS. Les peces han d'estar formades per barres. Després d'assajar diferents tipus d'estructures reticulades s'han de donar paràmetres de disseny que permetin la fabricació d'aquestes peces estalviant material però mantenint la capacitat d'aguantar càrrega a compressió. Comparar els resultats que s'obtinguin de l'assaig amb els que s'obtingran numèricament.

1.3.2 Abast

S'ha de trobar la manera d'imprimir aquest tipus de peces. Dissenyar i fabricar diferents estructures reticulades les quals puguin ser assajades a compressió i obtenir resultats. Donar els resultats obtinguts i analitzar-los per trobar paràmetres de disseny eficients per aquest tipus de peces a l'hora d'aguantar càrrega a compressió. Comparar els resultats de l'assaig amb els obtinguts de la simulació amb l'ANSYS Workbench®.

2. Anàlisi

2.1 Coneixement d'estructures reticulades

2.1.1 Definició

Una estructura reticulada està formada per elements lineals de poca secció denominades barres les quals creen superfícies estructurals planes (encavallada) o tridimensionals mitjançant la repetició de formes generalment triangulars.

Les principals parts d'aquest tipus d'estructures són les barres i els nusos. Les barres tenen una nomenclatura pròpia segons la manera en que estan disposades. D'aquesta manera en una encavallada tenim les barres inclinades anomenades diagonals, les barres verticals que són els muntants i les barres que segueixen l'eix de la biga anomenades cordons [1].

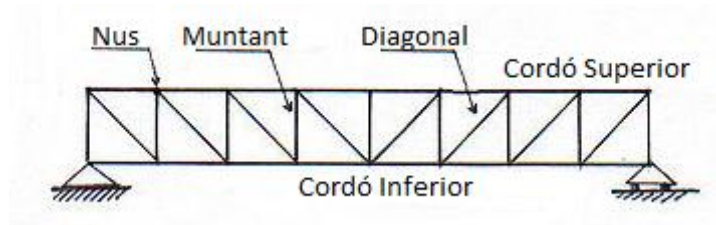


Figura 1: Parts de l'encavallada. Imatge trobada a la web: https://www.construmatica.com/construpedia/Viga_Warren, consultada el 25/07/2018

El nus és el punt on concorren els eixos de dos o més barres [2]. Aquest tipus d'unió és molt típica en les estructures triangulars i, malgrat proporcionar una petita rigidesa, es considera el nus com una articulació.

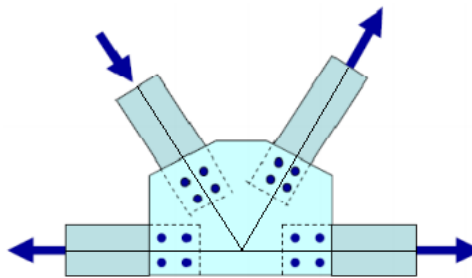


Figura 2: Nus d'una estructura de barres. Imatge trobada a la web: https://www.researchgate.net/figure/Figura-150-Diagrama-de-solid-lliure-de-la-barra-de-lexercici-115_fig35_303806058, consultada el 25/07/2018

Tradicionalment s'han utilitzat les encavallades (biga mestra) en arquitectura i en enginyeria estructural. Aquestes permeten obtenir bigues molt més lleugeres que les d'ànima plena. Normalment s'uneixen dos o més encavallades idèntiques mitjançant barres que van del nus d'una al mateix de l'altra [3]. A part també se'n afegeixen d'altres d'encreuades que restringeixen el moviment longitudinal d'una encavallada respecte l'altra.

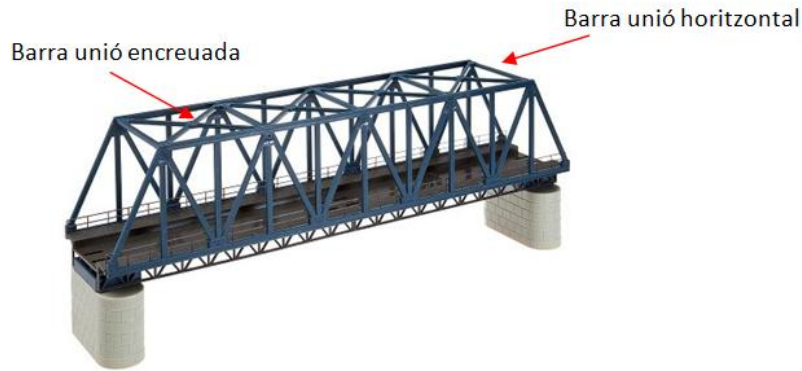


Figura 3: Unió d'encavallades. Imatge trobada a la web:
<https://www.pinterest.es/pin/432345632962021617/?lp=true>, consultada el 25/07/2018

2.1.2 Característiques

La principal característica d'aquest tipus d'estructures és l'elevada relació entre les seves propietats mecàniques i el seu pes. Si les càrregues estan aplicades als nusos, les barres només treballen a tracció o a compressió, esforços que les barres són capaces de suportar bé. El fet anterior i el poc pes d'aquest tipus d'estructures permet obtenir l'elevada relació entre propietats mecàniques i el pes. Cal dir que aquests resultats no serien els mateixos si els nusos fossin rígids o alguna de les càrregues estiguessin aplicades sobre les barres, de ser així, les barres passarien a treballar a esforç tallant i moment flector a més dels comentats anteriorment.

L'ús d'aquest tipus d'estructures facilita el transport i redueix el preu de l'estructura ja que es necessita menys material.

2.2 Impressió 3D

2.2.1 Història

La impressió 3D, tal i com el seu nom indica, permet reproduir objectes físics en 3 dimensions a partir de models creats per ordinador.

Aquest objecte és creat mitjançant la superposició de capes una sobre l'altra d'un material termoplàstic.

Existeixen diferents tecnologies d'impressió en 3D, la més comuna és la FDM ("Fused Deposition Modeling", Modelatge per deposició fosa).

La FDM parteix d'un sistema el qual té la capacitat de moure's en les 3 dimensions de l'espai (X, Y i Z). Aquests moviments es realitzen a partir de motors pas a pas.

Una de les particularitats dels materials és el punt de fusió. Gràcies a aquesta propietat podem fondre el material i dipositar-lo capa a capa de manera que vagi solidificant i així poder crear l'objecte en 3D. El material parteix d'una bobina, va a parar a l'extrusor on es fon i es va dipositant sobre una plataforma anomenada llit. Els factors més importants a l'hora d'imprimir són la velocitat en que es diposita el material, la temperatura de l'extrusor i la temperatura del llit.

2.2.2 Impressora 3D

La impressora utilitzada per la impressió de les provetes és una *Prusa* modificada per un antic estudiant de l'EPS [4]. Aquesta modificació va estar basada en aïllar la impressora mitjançant una estructura i tapes de metacrilat.

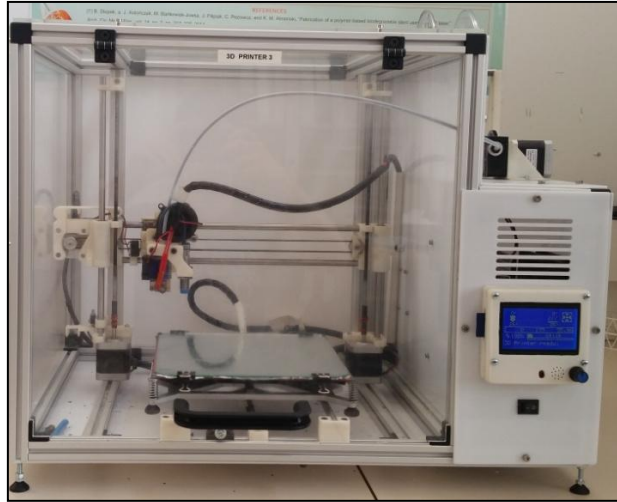


Figura 4: Impressora 3D

A continuació es mostren diferents imatges on s'identifiquen les principals parts d'una impressora 3D [5].

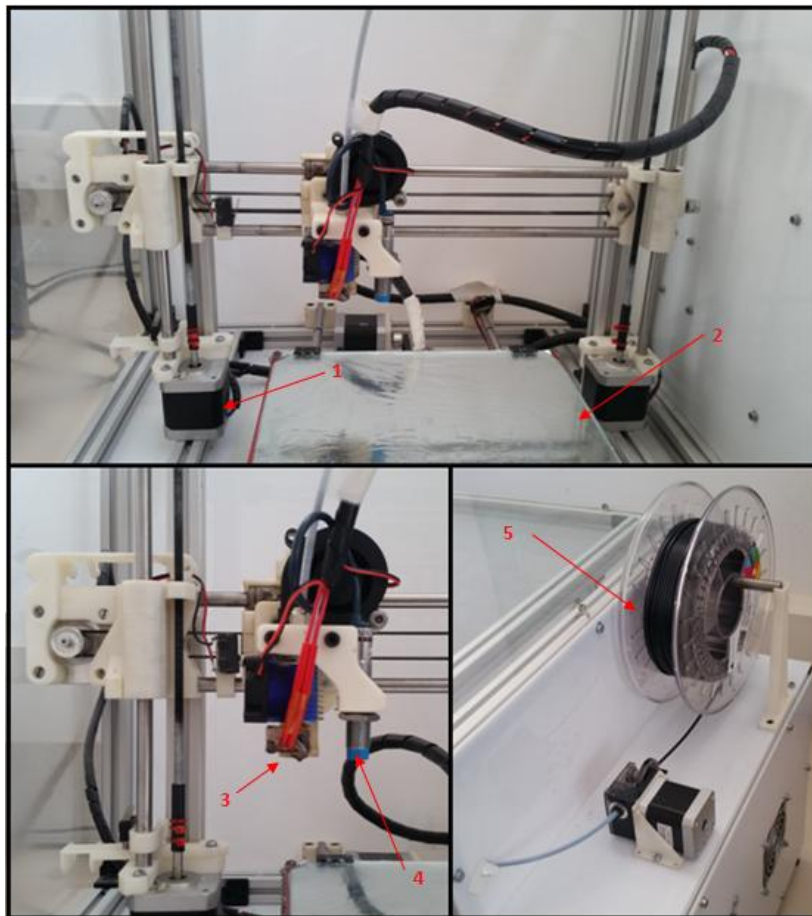


Figura 5: Parts impressora 3D

- 1: Motor pas a pas
- 2: Llit
- 3: Extrusor
- 4: Sensor de posició eix Z
- 5: Bobina de material (ABS)

2.2.3 Software

- Repetier Host

Repetier Host és el programa que s'utilitzarà per controlar i calibrar la impressora 3D. Des del propi programa controlem tant els moviments com les temperatures i el ventilador.

Aquest ens permet generar un arxiu .gcode que pugui ser interpretat per la nostra impressora a partir d'un o varis models 3D en format .stl.

Aquest software es compatible amb la majoria de firmwares de impressores 3D, ens permet importar objectes, distribuir-los al llit i finalment, gràcies a la integració de Slic3r o Cura, configurar els paràmetres d'impressió necessaris com per exemple temperatura, velocitat i altura de capa entre molts altres.

- Slic3r

Slic3r és un programa que converteix un model digital 3D en les instruccions d'impressió per una impressora 3D. Slic3r "talla" el model en capes, genera les trajectòries que ha de realitzar la impressora i calcula la quantitat de material a extrudir.

Permet ajustar paràmetres com per exemple velocitats i temperatures d'impressió entre d'altres per tal d'obtenir una bona qualitat d'impressió.

A l'Annex B es poden veure quins són aquests paràmetres i quina és la funció de cada un d'ells.

2.3 Entorn

Per la realització d'aquest treball disposem d'una impressora 3D situada a l'edifici PII de l'Escola Politècnica de l'UdG i una màquina que ens permetrà dur a terme l'assaig a compressió situada al Parc Tecnològic de l'UdG a un laboratori del grup de recerca Amade. Aquesta màquina és una MTS model Insight (Electromechanical 50 KN - Extended Length) equipada amb els utilatges corresponents per assajos a compressió.

3. Metodologia

Per la realització d'aquest treball es seguiran els passos següents.

Primerament es faran proves d'impressió 3D de peces senzilles formades amb barres per determinar si és possible la impressió d'aquestes. Un cop feta aquesta comprovació es buscarà la manera d'enquibir diferents tipus d'estructures reticulars dins una model de peça de mateixa forma i dimensions exteriors. S'imprimiran aquest tipus de peça tot variant els paràmetres d'impressió fins aconseguir una impressió de qualitat. Seguidament es buscarà una manera eficient de generar les peces en 3D, mitjançant el programa SolidWorks®, per les diferents estructures reticulades. Dins de les possibilitats d'impressió, es triarà un rang d'estructures reticulades les quals entraran dins de l'assaig. S'imprimiran les diferents peces (provetes) i s'assajaran tot obtenint dades força - deformació. Aquestes dades seran analitzades per trobar mètodes de disseny eficients a l'hora d'imprimir peces formades per aquest tipus d'estructures. Finalment es compararan els valors obtinguts de l'assaig amb els que s'obtingran de simular les peces amb l'ANSYS Workbench ®.

4. Proves d'impressió 3D

4.1 Proves d'impressió de peces formades per barres

Ja s'ha comentat que l'objectiu d'aquest projecte és assajar com es comporten les estructures reticulades en peces impreses en 3D. El material utilitzat per la fabricació de les provetes a experimentar serà l'ABS.

Un dels primers passos seguits va ser dissenyar algunes peces simples formades per barres i provar d'imprimir-les [6].

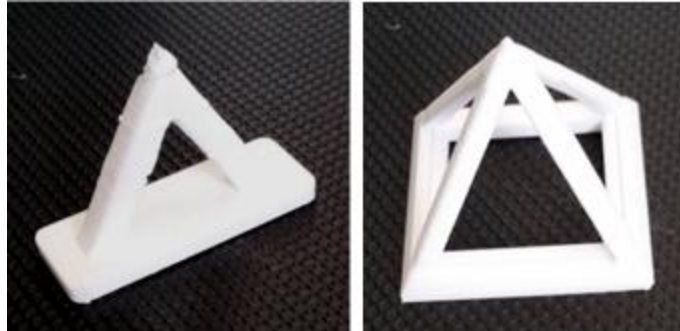


Figura 6: Primeres peces formades per barres impreses

Durant aquestes proves es va veure que era possible imprimir barres inclinades sempre que aquestes tinguessin un gruix de secció més gran de 2 mm. Per gruixos més petits la secció no quedava ben definida.

4.2 Elecció de la forma exterior de les provetes

Un cop s'ha vist que es poden imprimir peces en 3D formades per barres, es comencen a fer proves per tal de trobar la forma exterior de la proveta que encabirà els diferents tipus d'estructures reticulades.

Es dissenyen diferents formes exteriors de la proveta. Seguidament es mostren les principals:

- Proveta formada per les 4 parets del cantó d'un cub [7].

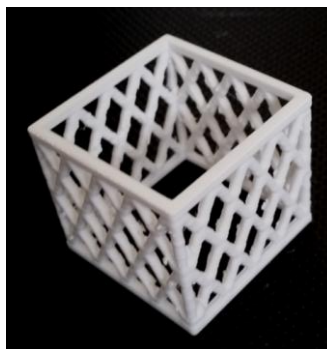


Figura 7: Proveta formada per les parets d'un cub

- Proveta on l'estructura reticular ajunta la base i la tapa d'un cub [8].

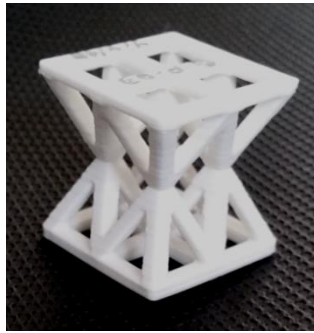


Figura 8: Proveta on les barres ajunta la base i la tapa d'un cub

- Proveta formada per el perímetre d'un cilindre [9].



Figura 9: Proveta formada per el perímetre d'un cilindre

Dels exemples anteriors s'acaba escollint el del cilindre. El principal motiu és que fa uns anys el grup de recerca AMADE va col·laborar en el disseny d'estructures reticulars fabricades amb material compost per a la indústria espacial i les geometries analitzades van ser cilíndriques i còniques. També cal dir que és més simple imprimir formes arrodonides que no pas formes quadrades. Per imprimir un quadrat la impressora ha de canviar la direcció en 90°, això implica haver de parar en sec i tornar accelerar. Aquest fet provoca que empitjori la fluïdesa de la impressió.

4.3 Passos seguits per millorar la impressió

4.3.1 Introducció

Un cop es té clara la forma exterior de les provetes que encabiran les estructures reticulars es procedeix a trobar la distància de pont (D_p) màxima que l'impressora és capaç d'imprimir amb certa qualitat [10]. S'agafa una proveta amb distància de pont d'uns 20 mm i es treballa per millorar la impressió d'aquesta. Tal i com es podrà veure a l'últim punt d'aquest apartat (4.3.4), es considera aquesta proveta com a proveta límit pel que fa a la distància de pont màxima. Aquesta distància, a l'hora de dissenyar els altres tipus de provetes serà igual o més petita.

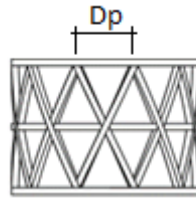


Figura 10: Representació de la distància del pont

Els principals problemes que apareixen al imprimir els “cilindres” en 3D són provocats a causa de l'efecte “Oozing” (el material continua sortint de l'extrusor a mesura que aquest es mou cap un altre punt d'impressió) i de caiguda de material a l'hora d'imprimir la primera capa del pont (impressió a l'aire).

4.3.2 Solució a l'Efecte “Oozing”

Aquest efecte és produït a causa de que l'extrusor segueix expulsant material mentre aquest es dirigeix cap una nova ubicació [11].

L'extrusor al moment de realitzar les següents passades topa amb el material que s'ha aplicat en excés i acaba trencant la barra.

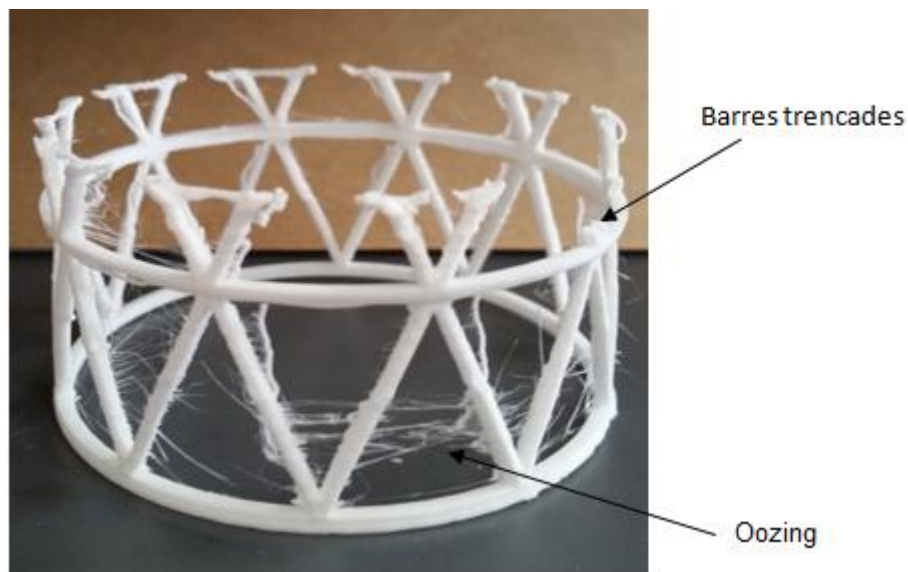


Figura 11: Efecte "Oozing"

Les primeres proves realitzades per intentar solucionar aquest problema es van basar en incrementar la longitud i la velocitat de retracció. La retracció es basa en fer girar el motor que injecta el material en sentit oposat de manera que el recull quan no es vol extrudir material.

En la taula següent es poden veure els canvis realitzats pel que fa aquests paràmetres:

Prova	Longitud retracció	Velocitat retracció
Inicial	4 mm	30 mm/s
1	6 mm	40 mm/s
2	9 mm	60 mm/s
3	10 mm	90 mm/s

En cada una de les proves anteriors es va veure certa millora, però els paràmetres que s'estaven modificant ja començaven a tenir valors molt elevats i augmentar-los més provocaria el perill de que l'engranatge que fa avançar el fil, deixes el material massa mercat i sigues inservible.

Seguidament es va intentar disminuir una mica la T^a d'extrusió. Es va passar de 240°C a 237°C (prova 4). En aquest cas es va notar molt poca millora i es va decidir provar de canviar altres paràmetres.

El següent paràmetre que es va modificar va ser la velocitat en que viatja l'extrusor fins al següent punt on ha de començar a imprimir (viatge sense extrusió). Es va passar d'una velocitat de 130 a 150mm/s (prova 5). Igual que en el cas anterior la millora va ser molt petita, i es va deixar d'augmentar aquest paràmetre ja que per valors molt elevats existeix el perill de que l'extrusor, a causa de la inèrcia, no imprimeixi en el punt adequat.

Finalment, el paràmetre que va acabar de donar una impressió acceptable (pel que fa a l'efecte "Oozing"), va ser el "Lift z". Aquest paràmetre el que fa és fer pujar l'extrusor unes dècimes abans de començar el viatge per arribar al següent punt d'impressió, i tornar a la posició inicial un cop hi ha arribat. Fins ara aquest paràmetre tenia un valor de 0.

Es van fer dos modificacions d'aquest paràmetre:

Prova	Lift Z
6	0.2 mm
7	0.3 mm

La prova 6 ja va donar un resultat força adient, tot hi així es va decidir augmentar una mica més, fins a 0.3mm, on l'efecte Oozing ja quasi no apareixia.

A la taula següent es poden veure imatges de la millora que han experimentat cada una de les diferents proves [12]:




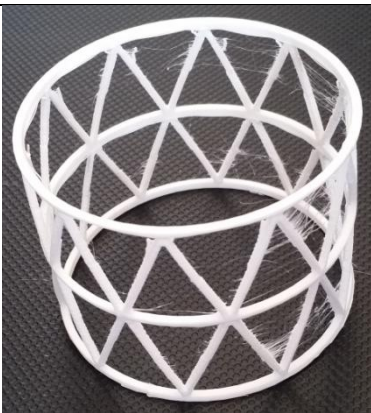

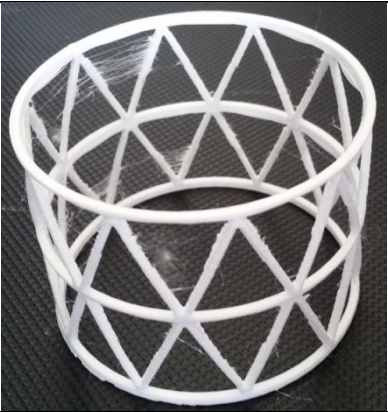


Imatges de les diferents proves	
Prova Inicial	Prova 1
	
Prova 2	Prova 3
	
Prova 4	Prova 5
	
Prova 6	Prova 7
	

Figura 12: Millora per cada una de les diferents proves

Problemes sortits de reduir l'efecte "Oozing":

- 1.- El fet de augmentar el paràmetre "Lift Z" implica que cada cop que s'ha d'iniciar un viatge d'una barra a una altre pugi l'extrusor i seguidament baixi. Això implica que el temps d'impressió augmenti. S'ha pogut comprovar que aquest és quasi el doble.
- 2.- Després d'imprimir la base/pont del "cilindre", en el moment de començar a imprimir les barres, en la primera capa de les barres s'hi sobre-extrudeix material.
- 3.- Un problema semblant a l'anterior passa cada cop que durant la impressió dels anells es canvia de capa.

4.3.3 Solució a la caiguda de material al imprimir el pont

Imprimir ponts (impressió a l'aire) és un dels moments crítics de la fabricació dels "cilindres" [13]. Els principals paràmetres que influeixen a millorar la impressió són els que estan relacionats amb la velocitat.

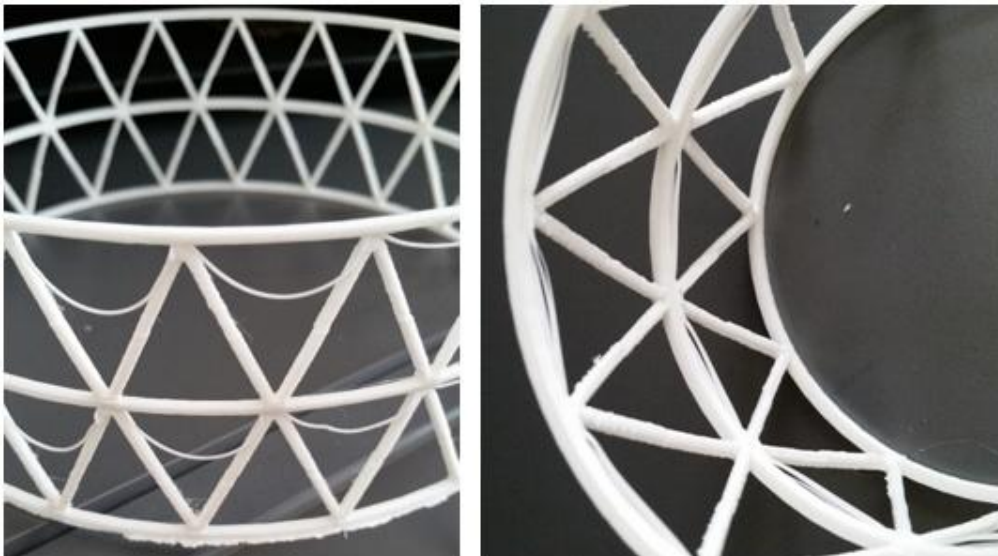


Figura 13: Caiguda de material al imprimir el pont

Fent una recerca d'informació sobre com solucionar aquest problema, es va veure que en diferents fonts coincidien en que a l'hora d'imprimir un pont, la velocitat del ventilador que refreda el material que surt de l'extrusor ha de ser del 100%. En les proves que es van realitzar es va poder veure que efectivament era així.

Ja en els primers "cilindres" impresos es va notar que la velocitat d'impressió era un paràmetre important per imprimir un pont amb certa qualitat. Aquesta ha de ser elevada però sempre intentant optimitzar-la de manera que això no provoqui que la capa del pont quedi mal recolzada sobre les barres.

La necessitat d'augmentar la velocitat d'impressió es va detectar en la primera prova ja que en la configuració inicial dels paràmetres d'impressió, per una mateixa capa (1^a capa del pont) les velocitats variaven. En general les parts on la velocitat era més elevada no hi havia tanta caiguda de material.

En el programa Slic3r existeix una opció que detecta quan s'està imprimint un pont i passa a imprimir a la "velocitat de pont" especificada. Al principi semblava que era una bona opció però es va notar que no era del tot eficaç ja que tardava força en detectar que s'estava imprimint un pont i per tant, durant aquest temps, el problema no es solucionava.

Els següents passos que es van realitzar per tal de trobar una solució van estar destinats a conèixer quines de les diferents velocitats que el programa Slic3r permet modificar influïen directament en la impressió de les capes del pont. Per fer-ho es van imprimir diferents "cilindres". Un cop detectades aquestes velocitats, es van anar augmentant fins a obtenir una millora important pel que fa a la impressió dels ponts.

Un cop arribat a aquest punt, ja no apareixia caiguda de material però la impressora no aconseguia generar un cercle (forma de la base del pont) sinó que el que imprimia eren línies rectes entre barra i barra. A part d'això, en diferents proves es va observar que un cantó del pont sempre quedava bastant més mal imprés que els altres. Siguent aquest un fenomen estrany, en una de les següents proves es va mirar què estava passant i en el moment que s'estava imprimint el pont es va veure que els cables elèctrics de l'extrusor topaven amb les passades de la primera capa del pont i sent aquestes molt delicades es desplaçaven de la posició original [14].

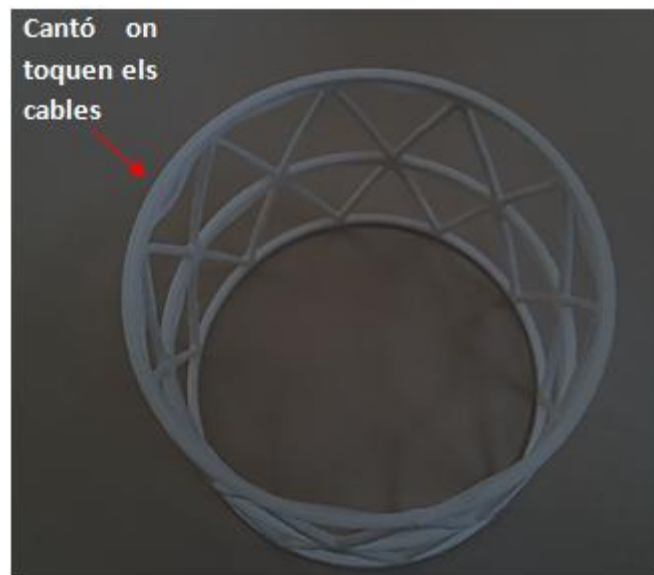


Figura 14: Part on toquen els cables durant la impressió

Per solucionar-ho es van lligar els cables al tub per on passa el material a extruir amb cinta aïllant per tal de que aquests no quedessin penjant [15]. Seguidament es va comprovar que l'extrusor pogues seguir realitzant tots els moviments al llarg de l'impressora en els 3 eixos (x, y i z).

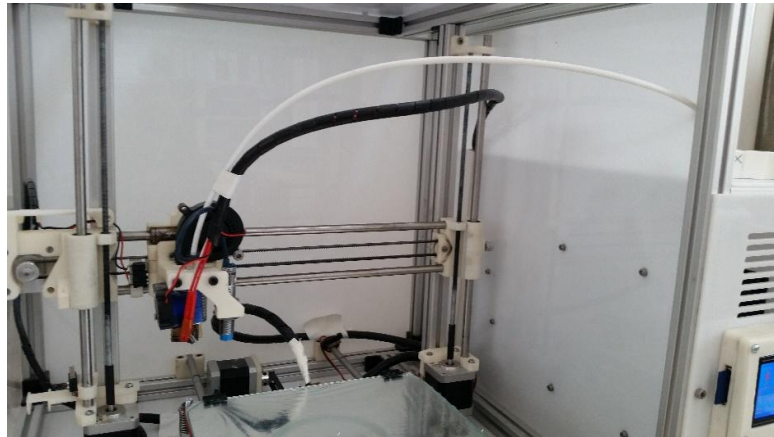


Figura 15: Cables lligats al tub per on passa el material a extrudir

Un cop solucionat aquest problema, totes les parts del pont quedaven igual però seguïem sense obtenir una base circular sinó que aquesta tenia forma poligonal amb numero de costats igual al numero de barres [16].

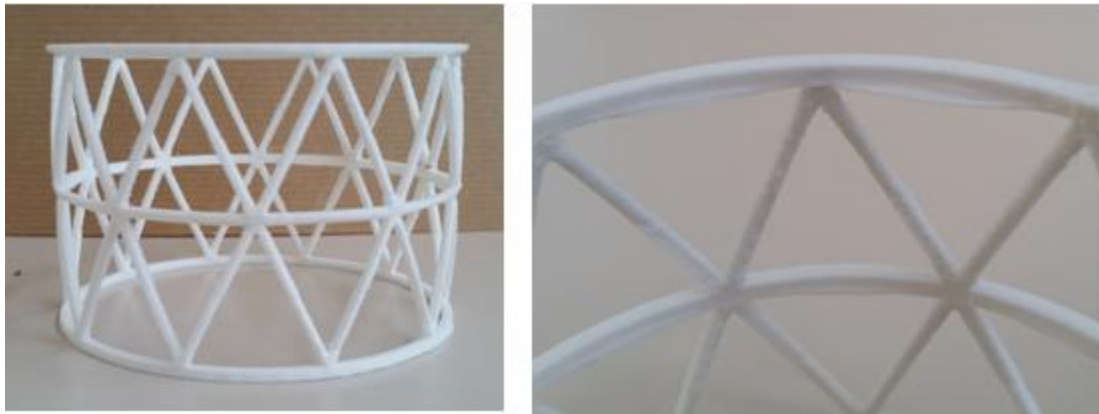


Figura 16: A l'esquerra pont sense caiguda de material, a la dreta base del pont amb forma poligonal

Es va intentar solucionar aquest problema canviant diferents paràmetres, però el que va donar resultats va ser activar l'opció de "External perimeters first".

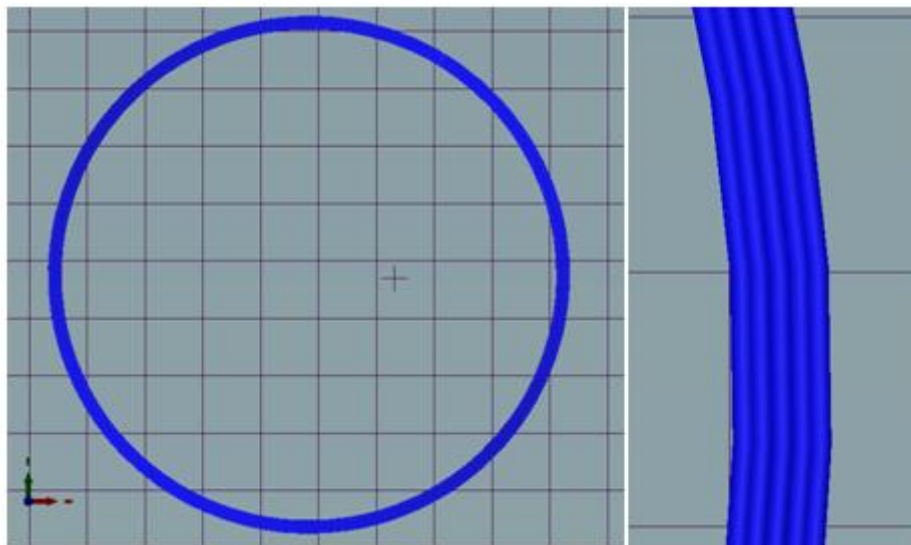


Figura 17: Capa del pont formada per 6 passades

Tal com es pot veure en la imatge anterior, cada capa del pont està formada per 6 passades (6 fils) [17]. El que fa l'opció anterior es començar la capa per les passades de l'extrem. La primera d'aquestes queda en forma poligonal igualment, però si no es mira el cilindre des de la part inferior no s'aprecia. El fet d'imprimir 1r aquestes, ajuda a que les següents passades de la mateixa capa, quedin enganxades a la que les precedeix i es millori bastant la impressió pel que fa aquest problema.

Cal remarcar que aquest factor es gira en contra quan es volen imprimir peces on hi ha més barres i la distància de pont és més petita.

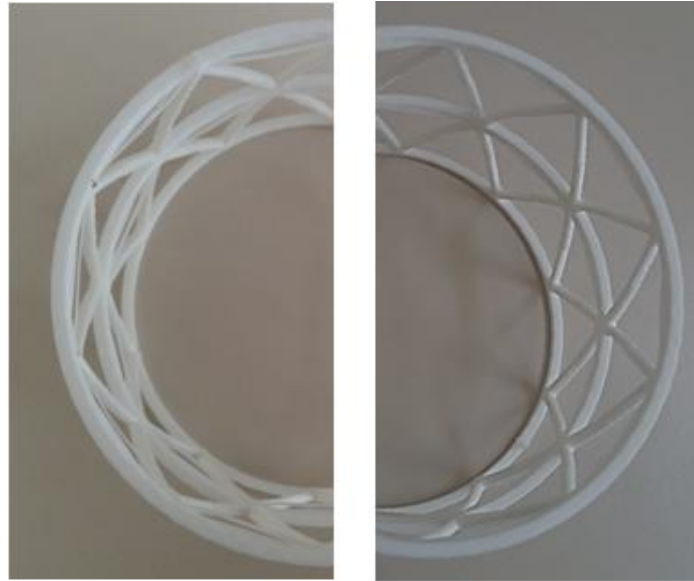


Figura 18: Paràmetre "External perimeters first" a l'esquerra desactivat i activat a la dreta

En aquest punt, tot hi que força menys, encara s'aprecia la forma poligonal, però es considera que ja és a causa del tipus d'estructura i es dona per bó [18]. Un "cilindre" amb la mateixa distància de pont amb diàmetre augmentat al doble (per tant també amb el doble de barres) es redueix aquest efecte pel simple fet de que un polígon de 20 costats sempre és més semblant a una circumferència que un de 10. Es fa la prova i efectivament és així [19].

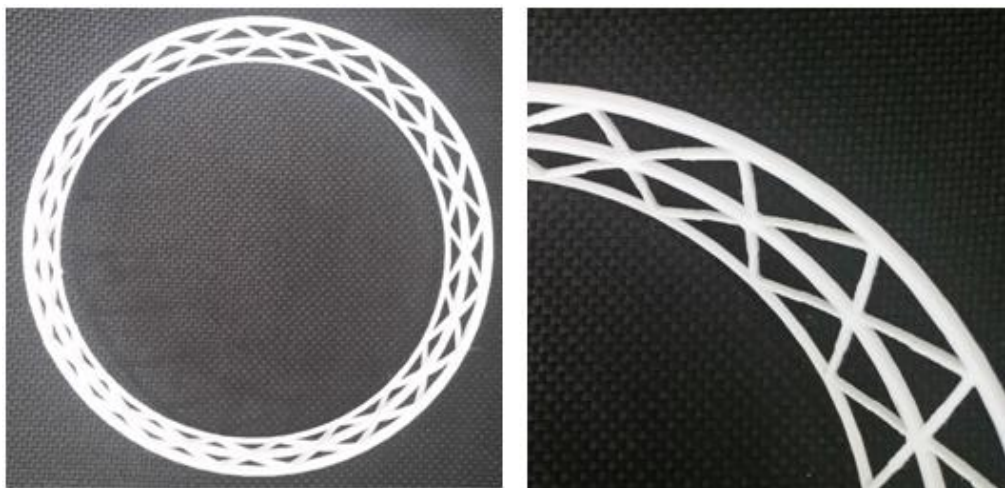


Figura 19: Disminució de la forma poligonal al augmentar el n° de barres i el diàmetre

4.3.4 Resultat final

Per tal de solucionar els principals problemes a l'hora d'imprimir aquest tipus d'estructures s'han modificat diferents paràmetres explicats en els punts anteriors. La modificació d'aquests han provocat que apareguin noves petites imperfeccions.

S'ha comentat que per reduir l'efecte "Oozing" es va haver d'augmentar la retracció i que per tal de millorar la impressió del pont un dels passos clau ha set augmentar la velocitat d'impressió. Aquestes dos modificacions juntes provoquen que al principi de la 1ª passada de la 1ª capa del pont, a causa d'haver fet una retracció elevada i de que es comenci a imprimir a gran velocitat, l'extrusor injecta poc material (filament més prim) i aquesta passada no acaba de quedar enganxada amb la següent [20].



Figura 20: 1ª passada de la 1ª capa del pont desenganxada

Augmentar la distància de pont empitjoraria aquest defecte, per tant, per mantenir certa qualitat d'impressió es considera aquesta distància de pont la distància màxima que poden tenir les provetes futures que formaran part de l'assaig.

4.3.5 Paràmetres finals a introduir al Slic3r

A l'Annex B es poden consultar els paràmetres que s'han d'introduir al Slic3r per garantir una bona impressió de les estructures reticulars.

5. Disseny d'estructures reticulars

5.1 Mètode utilitzat

Durant el període de proves els dissenys de les peces s'han fet mitjançant el programa de disseny assistit per computadora SolidWorks®. Cada una d'aquestes peces ha estat creada manualment. Una vegada es té clara la forma que tindran les provetes, es crea una peça parametritzada. D'aquesta manera serà molt més ràpid i fàcil aconseguir tots els fitxers de les provetes que s'hauran d'imprimir. Per poder imprimir una peça en 3D, aquesta s'ha de guardar amb format .STL.

A continuació es mostra una exemple de proveta amb les cotes principals [21]:

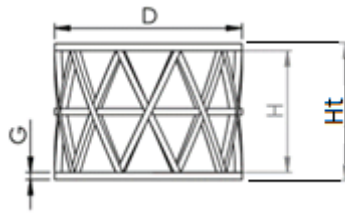


Figura 21: Cotes principals de les provetes

Les cotes "D" i "Ht" no varien ja que són les mides exteriors de les provetes. Els valors d'aquestes són 80 mm i 56 mm respectivament. Els paràmetres de disseny a variar són el nombre de barres, el nombre de pisos i el gruix. Al variar el gruix (G), també ho fa "H".

Per obtenir una peça parametritzada, s'ha de dissenyar una peça però a l'hora d'introduir les cotes, aquestes en comptes de tenir un valor se'ls ha d'assignar un nom.

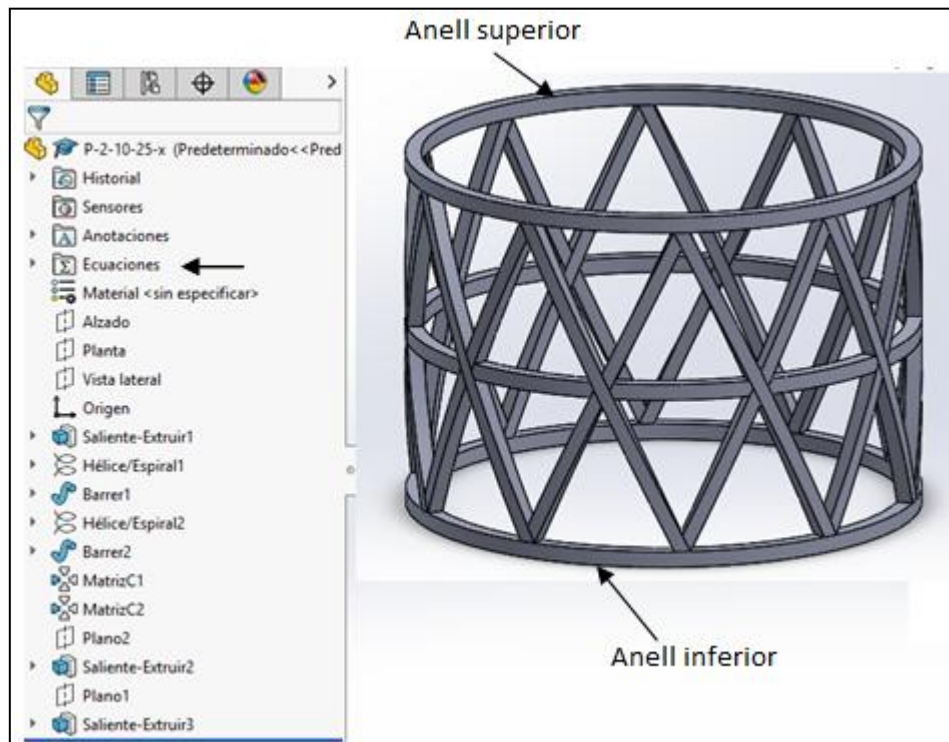


Figura 22: Proveta dissenyada al SolidWorks ®

Un cop tens creada la peça parametritzada (en el nostre cas ens han fet falta dos fitxers, un per provetes de 2 pisos i un altre per provetes de més de 2 pisos) només cal anar a l'apartat "Ecuaciones" (senyalat en la imatge anterior) i entrar els valors corresponents de cada nova proveta [22, 23].

Nombre	Valor/Ecuación	Equivale a
<input type="checkbox"/> Variables globales		
"D"	= 80	80
"G"	= 2.5	2.5
"H"	= 51	51
"Rev"	= 0.1	0.1
"N"	= 10	10
"Hpis"	= 25.5	25.5

Nombre	Valor/Ecuación	Equivale a
<input type="checkbox"/> Variables globales		
"D"	= 80	80
"G"	= 2.5	2.5
"H"	= 51	51
"Rev"	= 0.13333333	0.133333
"N"	= 15	15
"Hpis"	= 12.75	12.75
"NpMenys1"	= 3	3

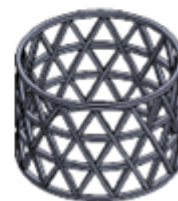
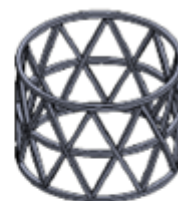


Figura 23: Apartat "ecuaciones" a dalt per provetes de 2 pisos, a baix per les de més de 2 pisos

5.2 Característiques principals

Tal i com s'ha comentat en l'apartat anterior, hi ha una sèrie de paràmetres que defineixen les provetes [24]. Depenent de quin és el valor d'aquests obtenim una proveta o una altra.

Aquests paràmetres es poden separar en 2 grups, els paràmetres que defineixen la forma exterior de la proveta i els que defineixen l'estructura reticular.

Nombre	Nombre
<input type="checkbox"/> Variables globales	<input type="checkbox"/> Variables globales
"D"	"D"
"G"	"G"
"H"	"H"
"Rev"	"Rev"
"N"	"N"
"Hpis"	"Hpis"
	"NpMenys1"

Figura 24: Paràmetres a definir, a l'esquerra per provetes de 2 pisos, a la dreta per provetes de més de 2 pisos

El paràmetre "D" és el diàmetre exterior de la proveta, aquest serà igual per cada una d'elles.

Els altres paràmetres defineixen l'estructura reticular i per cada una de les provetes seran diferents.

A continuació s'explica detalladament el significat de cada un dels paràmetres [25]:

- "D", és el diàmetre exterior de la proveta.

- “H”, és l'alçada entre l'anell superior i l'anell inferior (espai on estan albergades les barres). Aquest paràmetre variarà entre provetes de diferent gruix. El que si sempre serà igual és l'alçada total de la proveta (H_T).
- “G”, és el gruix de les barres i dels anells.

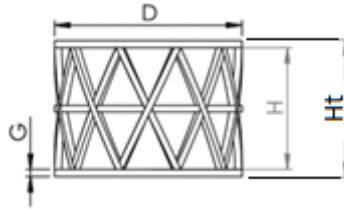


Figura 25: Representació de H (alçada on s'enquibeixen les barres) i Ht (alçada total de la proveta)

- “Rev”, significa revolucions. Cada una de les barres és una hèlix. Així doncs, “rev” són les revolucions que ha de girar l'hèlix al llarg de “H” [26].

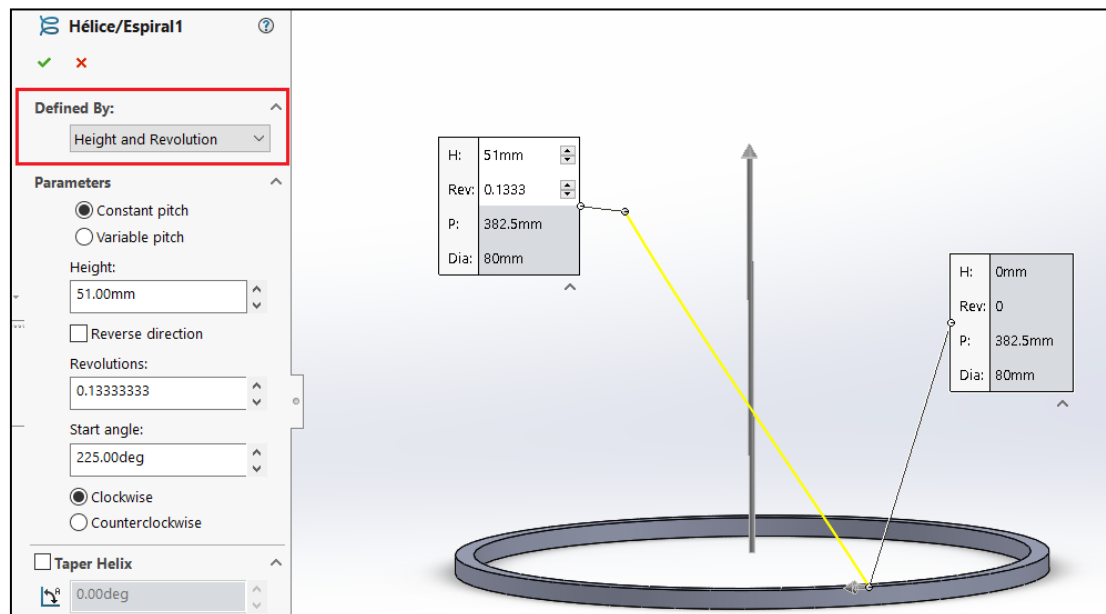
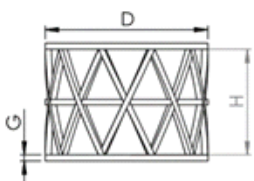


Figura 26: Hèlix definida per altura i nº de revolucions al SolidWorks ®

- “N” representa el número de triangles/barres que te cada pis. Un pis de 10 triangles esta format per 10 barres en forma d'hèlix que gira en sentit horari, i 10 que giren en sentit antihorari. És per això que al llarg del document, pot ser que en algun moment es parli de número de barres referint-se a número de triangles.
- “ H_{pis} ”, és l'alçada que hi ha entre un anell i el següent.
- $N_{pmenys1}$, és un paràmetre que representa el numero d'anells que tindrà la proveta excloent l'anell inferior.

Per calcular cada un d'aquests paràmetres s'ha generat un Excel, el qual es mostra a continuació, amb els càlculs d'una de les provetes [27].

Alçada (H)	50		Angle òptim (65°)	1,00356432
Nº Barres (Nb)	10			
Diàmetre (D)	80			
Gruix (G)	3			
H total	56			
Nº Pisos òptim	2,53482203			
Nº Pisos arrodonit	3		Distància pont aprox	25,1327412
Angle aprox	52,9843554			
Angle real	56,4165459		Distància pont real (<22,17)	20,6247768
Si l'angle real surt massa gran o massa petit, disminuir/aumentar el nombre de barres.				
Revolucions helix:	0,15			
Alçada pis	16,6666667			
Np-1	2			
Pàrametres a entrar al SolidWorks				
Per cilindres de 2 pisos utilitzar arxiu: 1.Cilindre-Paràmetric-2P				
Per cilindres de més de 2 pisos utilitzar arxiu: 1.Cilindre-Paràmetric-Més_de_2P				

Càlculs aprox:			
Tan angle	1,32629119	Angle radians	0,92475145
Càlculs reals:			
Tan angle	1,50606439	Angle radians	0,98465448
Formules:			
$Np = \frac{(2 \cdot H \cdot Nb)}{\pi \cdot D \cdot \tan(65)}$		Np: N° Pisos	
		Nb: N° Barres	
$\tan(\alpha) = \frac{(2 \cdot H \cdot Nb)}{\pi \cdot D \cdot Np}$			
$Dp = \frac{\pi \cdot D}{Nb}$		Dp: Distància pont	
Per els càlculs reals, mateixes formules però descontant els arcs del gruix de les barres:			
$Dp = \frac{\pi \cdot D - G \cdot Nb}{Nb}$			
Revolucions helix:		P: Pas	
$\tan(\alpha) = \frac{P}{\pi \cdot D}$		rev: Revolucions	
$rev = \frac{H}{P}$			

Figura 27: Excel utilitzat per calcular els paràmetres que defineixen cada proveta

A partir del diàmetre exterior, l'alçada total, el gruix, el número de barres i l'angle que formen les barres desitjats, l'Excel calcula tots els altres paràmetres necessaris per generar la peça al SolidWorks®.

L'angle comentat és un angle òptim entrat per l'usuari. A conseqüència del treball previ fet per AMADE amb estructures reticulars de compòsit per ús espacial es va determinar que l'òptim per aquest angle es situava al voltant dels 65°. Per tal de que un cop les barres han arribat a l'alçada "H", en aquest punt coincideixi amb els vèrtexs dels triangles, aquest angle varia. Cal dir que de tots els possibles, sempre és el més proper al demanat.

S'ha limitat el mínim de 10 barres per tal que la distància de pont no superi mai els 20 mm. Al augmentar el número de barres també ho fa l'angle que aquestes formen amb la base, per tant, la llargada de les barres disminueixen.

5.3 Nomenclatura de les provetes

El fet de voler treballar amb diferents tipus de provetes crea la necessitat de buscar una manera que permeti saber quina és quina.

En aquest cas s'ha seguit el següent mètode.

P-X-YY-ZZ

On:

X = Número de pisos

YY = Número de triangles de cada pis

ZZ = Gruix de les barres x10 (es multiplica per 10 per no haver d'utilitzar comes).

Per exemple, una proveta de 3 pisos, 12 triangles per pis i gruix 2,5 mm s'anomenarà a partir d'ara, P-3-12-25.

Un cop impresa cada una de les provetes, se les etiquetava amb el seu nom corresponent. Com que s'imprimeixen 2 provetes iguals de cada tipus es representa amb un 1 o un 2 al final de la nomenclatura (P-3-12-25-1 i P-3-12-25-2).

5.4 Tipus de provetes

La peça que es va utilitzar per fer les proves i millorar la impressió va ser la P-2-10-20. Aquesta es va considerar com a proveta límit pel que fa a la distància de pont. Les altres provetes que entraran a l'assaig, són provetes amb distància de pont més peita. És per això que per completar el rang de provetes a estudiar s'augmenta el número de barres d'aquesta.

S'estudiaran provetes que van de les 10 a les 21 barres, obtenint així provetes de 2 a 5 pisos.

Per tal de poder comparar el comportament d'estructures d'un mateix número de barres però diferent número de pisos, es canvia l'angle òptim per obtenir així provetes de 11 barres però una amb 2 pisos i una altre amb 3 pisos. El mateix es fa amb provetes de 18 barres però ara per 3, 4 i 5 pisos.

Això suma un total de 15 provetes. Es repetirà aquests tipus de provetes per diferents gruixos de barres, concretament per 2, 2,5 i 3mm. D'aquesta manera es completa la mostra amb un total de 45 combinacions diferents amb dues provetes per combinació. És a dir, 90 provetes en total.

Ja s'havia comentat anteriorment que no es recomanable imprimir barres de costat inferior als 2mm.

Seguidament es mostren taules amb tots els tipus de provetes que s'utilitzaran i les seves característiques [Taules 1 - 3].

- Gruix 2mm:

Proveta	Nº Pisos	Nº Barres	Distància Pont (mm)	Angle òptim (°)	Angle (°)	Longitud barra (mm)
P-2-10-20	2	10	22,17	60	66,02	28,46
P-2-11-20	2	11	19,97	62,5	68,15	28,01
P-3-11-20	3	11	19,53	60	58,98	20,22
P-3-12-20	3	12	17,73	60	61,35	19,75
P-3-13-20	3	13	16,22	60	63,44	19,37
P-3-14-20	3	14	14,92	60	65,29	19,08
P-3-18-20	3	18	11,16	65	70,96	18,33
P-4-15-20	4	15	13,47	60	60,42	14,95
P-4-16-20	4	16	12,5	60	62,2	14,70
P-4-17-20	4	17	11,65	60	63,82	14,49
P-4-18-20	4	18	10,89	60	65,29	14,31
P-5-18-20	5	18	10,62	57,5	60,1	12,00
P-5-19-20	5	19	9,96	60	61,64	11,82
P-5-20-20	5	20	9,36	60	63,07	11,66
P-5-21-20	5	21	8,82	60	64,39	11,53

Taula 1:: Característiques provetes de gruix de barra 2m

- Gruix 2,5 mm:

Proveta	Nº Pisos	Nº Barres	Distància Pont (mm)	Angle òptim (°)	Angle (°)	Longitud barra (mm)
P-2-10-25	2	10	21,65	60	66,07	27,90
P-2-11-25	2	11	19,45	65	68,25	27,45
P-3-11-25	3	11	19	60	59,1	19,81
P-3-12-25	3	12	17,21	60	61,52	19,34
P-3-13-25	3	13	15,69	60	63,66	18,97
P-3-14-25	3	14	14,4	60	65,56	18,67
P-3-18-25	3	18	10,64	65	71,37	17,94
P-4-15-25	4	15	12,94	60	60,79	14,61
P-4-16-25	4	16	11,98	60	62,62	14,36
P-4-17-25	4	17	11,12	60	64,28	14,15
P-4-18-25	4	18	10,37	60	65,8	13,98
P-5-18-25	5	18	10,09	57,5	60,67	11,70
P-5-19-25	5	19	9,43	57,5	62,26	11,52
P-5-20-25	5	20	8,83	60	63,74	11,37
P-5-21-25	5	21	8,29	60	65,1	11,25

Taula 2: Característiques provetes de gruix de barra 2,5m

- Gruix 3 mm:

Proveta	Nº Pisos	Nº Barres	Distància Pont (mm)	Angle òptim (°)	Angle (°)	Longitud barres (mm)
P-2-10-30	2	10	22,17	60	66,12	27,34
P-2-11-30	2	11	18,93	65	68,35	26,90
P-3-11-30	3	11	18,48	60	59,23	19,40
P-3-12-30	3	12	16,69	60	61,17	19,03
P-3-13-30	3	13	15,17	60	63,9	18,56
P-3-14-30	3	14	13,87	60	65,84	18,27
P-3-18-30	3	18	10,12	65	71,8	17,55
P-4-15-30	4	15	12,41	57,5	61,18	14,27
P-4-16-30	4	16	11,45	60	63,05	14,02
P-4-17-30	4	17	10,6	60	64,76	13,82
P-4-18-30	4	18	9,85	60	66,32	13,65
P-5-18-30	5	18	9,57	57,5	61,27	11,40
P-5-19-30	5	19	8,9	57,5	62,92	11,23
P-5-20-30	5	20	8,31	60	64,44	11,08
P-5-21-30	5	21	7,77	60	65,85	10,96

Taula 3: Característiques provetes de gruix de barra 3m

6. Impressió de les provetes

6.1 Metodologia al imprimir

Per portar un control de les provetes que s'anaven imprimint es va crear un Excel on es recollien diferents dades de les provetes ja impreses. D'aquesta manera, també es deixava constància de quines provetes estaven impreses i quines no.

Un cop acabada d'imprimir cada proveta, se l'etiquetava i es guardava fins al moment de l'assaig.

En total s'han d'imprès 90 provetes, 2 de cada un dels 45 tipus diferents. El fet de tenir-ne 2 de cada, ha d'ajudar a que els resultats siguin més fiables.

La impressora, per qüestió de temps, és capaç d'imprimir com a màxim 5 provetes al dia (tenint en compte que només se'n poden imprimir 2 a la vegada). Els dies els quals no sortia cap imprevist amb la impressora, es posaven 2 provetes al matí. Aquestes acabaven al migdia. Després se'n posava una a primera hora de la tarda, la qual acabava just a temps per posar-ne 2 més abans de tancar l'EPS.

Les vegades que es posaven 2 provetes a la vegada, eren 2 provetes del mateix tipus o bé provetes amb el mateix gruix de barra. Al ser mateix gruix de barra implica que per una mateixa capa, per les dues provetes o bé s'imprimia la part de les barres o bé la part de l'anell.

El temps destinat a la impressió de les provetes ha estat de 123 hores i 58 minuts.

6.2 Ajustament paràmetres de Slic3r

A mesura que s'anaven imprimint provetes es va veure convenient ajustar alguns paràmetres.

Al acabar d'imprimir la proveta P-3-14-20 s'observa que la 1^a passada de la 1^a capa dels ponts queden una mica desenganxades [28].

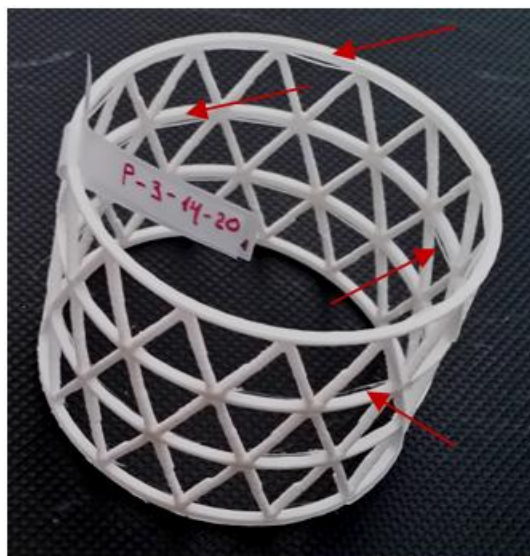


Figura 28: Proveta amb la 1^a passada de la 1^a capa dels ponts desenganxada

A partir d'aquesta, per provetes amb distàncies de pont més petites, es desactiva l'opció "External parameters first" (ja s'havia comentat abans que per distàncies de pont petites era millor desactivar-la). També es redueix la velocitat d'impressió dels anells de 80 fins a 75mm/s.

Un cops realitzats aquests canvis la impressió torna a ser correcta [29].

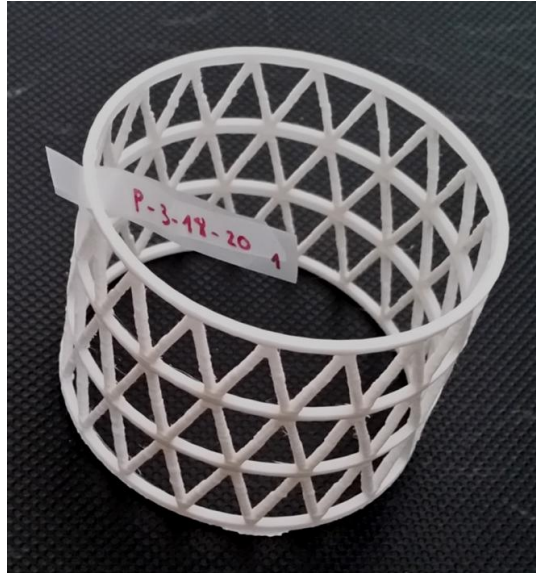


Figura 29: Proveta correctament impresa després d'ajustar els paràmetres

6.3 Problemes d'impressió

Durant la impressió de les provetes han anat apareixent problemes amb la impressora. A continuació es mostren els problemes principals i les corresponents solucions trobades.

- El moviment vertical (Eix Z) es transmet mitjançant 2 motors connectats a 2 barres roscaes. Aquestes barres rosquen amb una femella la qual està allotjada als suports del mecanisme que permet el moviment horitzontal de l'extrusor. En algunes ocasions aquestes femelles han sortit del seu allotjament i això ha provocat que l'extrusor no es pugues moure en l'eix Z [30].

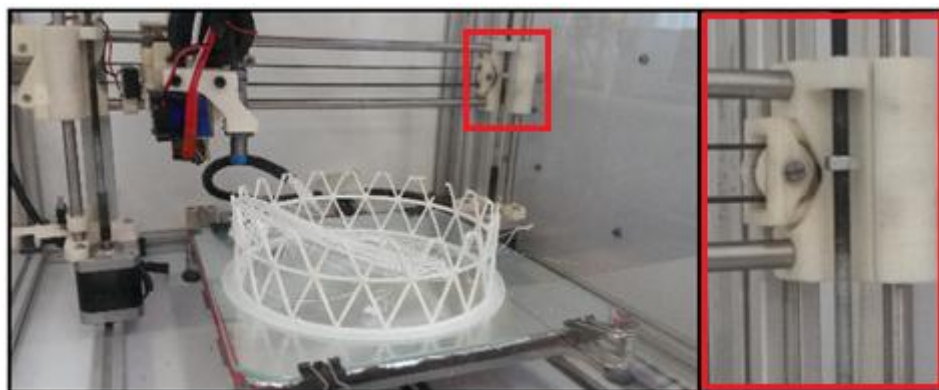


Figura 30: Femelles sortides del seu allotjament

Per solucionar aquest problema es tornava a allotjar la femella i seguidament, fent girar les barres roscades manualment i amb l'ajuda d'un peu de rei, es tornava a anivellar la guia horitzontal de manera que quedés paral·lela amb el llit.

- Per transmetre el parell del motor a la barra roscada s'utilitza un tub flexible a mode d'acoblament elàstic. Aquest a causa del desgast ha vist augmentat el seu diàmetre de manera que ja no podia transmetre el parell correctament. Igual que en el problema anterior, l'extrusor no es podia moure en l'eix Z.

Per solucionar aquest problema es van posar brides, solució una mica barroera però eficaç, ja que va permetre continuar amb la impressió de les provetes [31].

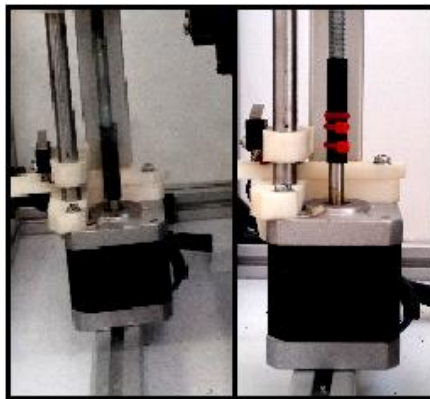


Figura 31: Tub flexible collat amb brides

- Per una correcta impressió és molt important que a l'hora de començar a imprimir, l'extrusor estigui situat a 0.1mm del llit (així està configurat en la majoria d'impressores).

Abans de començar a imprimir s'ha de comprovar que així sigui mitjançant un full de paper (el gruix d'un full de paper és de 0.1mm). Es fa anar l'extrusor a diferents punts del llit i es passa el paper, si aquest toca l'extrusor sense rascar massa està ben ajustat. De no ser així cada cantonada del llit disposa d'un cargol que el fa pujar o baixar segons convingui [32].

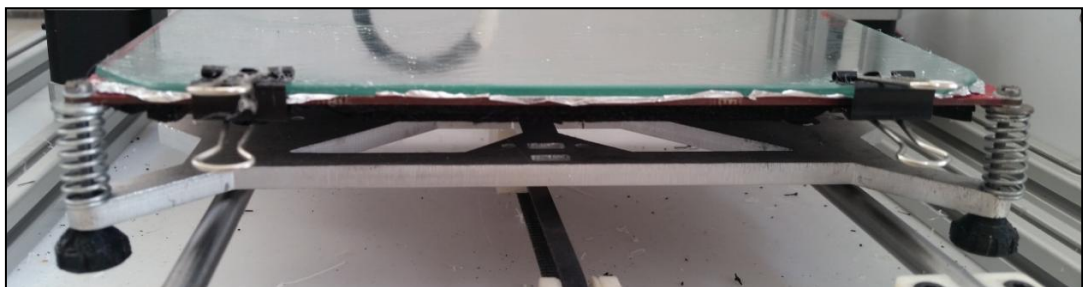


Figura 32: Cargols utilitzats per ajustar el llit

Aquesta feina, pel que fa al nostre cas, no era necessària ja que es disposava d'un sensor situat al costat de l'extrusor que s'encarregava de fer el reconeixement dels punts comentats. Un cop fet el reconeixement, sempre que l'error fos petit, modificava el recorregut de l'impressora. És a dir, per una mateixa capa, varia una mica la posició de l'Eix Z de manera que l'extrusor sempre estigui situat a 0.1mm del lit.

La utilització d'aquest sensor suposa un gran avantatge ja que estalvia molta feina. En varies ocasions però aquest fallava i en el moment de fer el reconeixement, no donava senyal de parar ni quan l'extrusor ja estava topant amb el lit.

Això implicava parar la impressió, ajustar el sensor i tornar-la iniciar [33].



Figura 33: Rodeta per ajustar el sensor

Per ajustar el sensor, es col·locava la punta de l'extrusor a 0,1 mm del lit mitjançant el mètode anterior. Seguidament amb un tornavís es feia girar la rodeta senyalada a la imatge anterior fins que s'encenia el led vermell. Aquest simbolitza que en aquesta posició el sensor comença a detectar l'objecte en qüestió.

- Error del sensor de temperatura de l'extrusor [34].



Figura 34: Error de temperatura de l'extrusor

Aquest error es donava per dos motius:

1- Els cables elèctrics del sensor, degut als moviments de la impressora, en algunes ocasions no acabaven d'estar ben connectats del tot.

La solució és tornar a connectar bé els cables.

2- Per imprimir les provetes és necessari tenir el ventilador a màxima velocitat. Això permet que el material solidifiqui més ràpidament però durant les primeres capes aquest ha d'estar parat per garantir la bona adhesió del material al llit. El "Repetier Host" ja té una opció d'engegar automàticament el ventilador al final del número de capa que es desitja (al nostre cas engegar-lo al final de la capa nº 7 ja garantia una bona adhesió). Un cop acabada d'imprimir la capa nº 7, el ventilador passa de 0 a 100% ja que aquesta opció no permet que l'engegada sigui gradualment. Això provoca que el sensor detecti una baixada important de la temperatura de l'extrusor i dona error.

Per solucionar aquest error es va buscar el % màxim al que es podia engegar el ventilador de cop sense que aparegués aquest error (40%). Seguidament per cada una de les provetes s'augmentava manualment i de forma progressiva fins arribar al 100%.

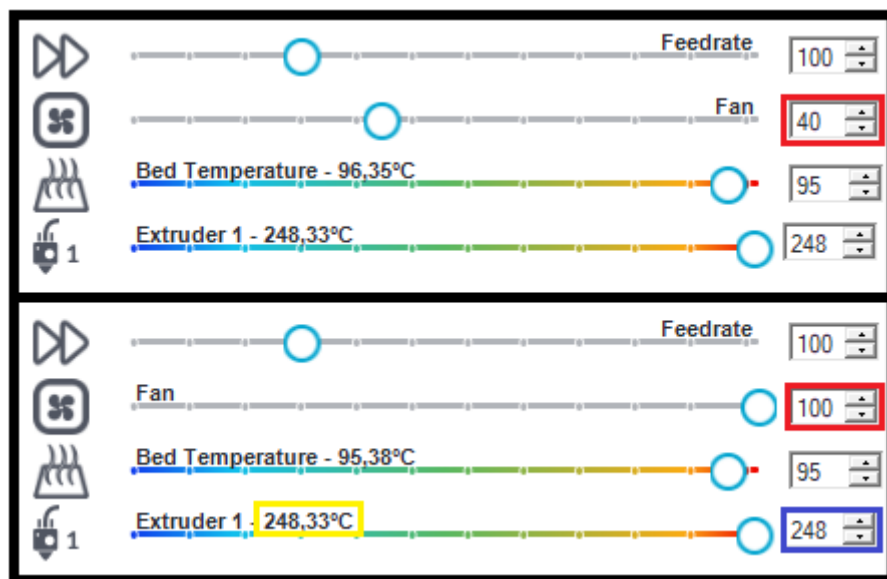


Figura 35: Panell per controlar la velocitat del ventilador, la temperatura de l'extrusor i la del llit durant la impressió

Per augmentar la velocitat del ventilador s'utilitzen les fletxes de l'apartat marcat amb vermell. Es va augmentant progressivament la velocitat de manera que la temperatura de l'extrusor (marcada en groc) no varies gaire de la desitjada (marcada en blau) [35].

- L'extrusor no extrudeix material al principi de la impressió.

Aquest problema pot aparèixer perquè l'extrusor està a menys de 0.1mm del llit i el material no pot sortir. La solució és ajustar el sensor de posició tal i com s'ha explicat anteriorment.

Un altra motiu és que la sortida de l'extrusor ha quedat taponada per restes de material. Per eliminar aquestes restes de material s'ha de treure l'extrusor i posar-lo en un pot banyat amb acetona. Seguidament amb l'ajuda d'una agulla s'ha d'acabar de netejar fins deixar la sortida de l'extrusor lliure.

7. Simulació per elements finits

7.1 Propietats del material

L'ABS imprès en 3D es comporta com un material ortotròpic. Les propietats d'aquest varien segons si es tracta de l'eix X, Y, o Z.

A continuació es mostren les propietats utilitzades per la simulació per elements finits en Ansys. Aquestes s'han obtingut del treball de final de màster d'en Bence Pál Gávay, antic estudiant de la UdG.

$$E_x = 1800 \text{ MPa} \quad ; \quad \nu_{xy} = 0.21 \quad ; \quad G_{xy} = 744 \text{ MPa}$$

$$E_y = 2000 \text{ MPa} \quad ; \quad \nu_{yz} = 0.38 \quad ; \quad G_{yz} = 725 \text{ MPa}$$

$$E_z = 1500 \text{ MPa} \quad ; \quad \nu_{xz} = 0.255 \quad ; \quad G_{xz} = 717 \text{ MPa}$$

El títol del treball és *"Investigation and optimization of 3D printers setting and surface treatment"*.

On:

E = Mòdul de Young

ν = Coeficient de Poisson

G = Mòdul de Rigidesa

Tal com es pot veure en la següent imatge [36], les propietats referents a l'eix X són les donades per la capacitat d'aguantar els esforços entre passada i passada d'una mateixa capa. Les que fan referència a l'eix Y són les referents a la capacitat d'aguantar esforços del fil i les de l'eix Z, la d'aguantar esforços entre capes.

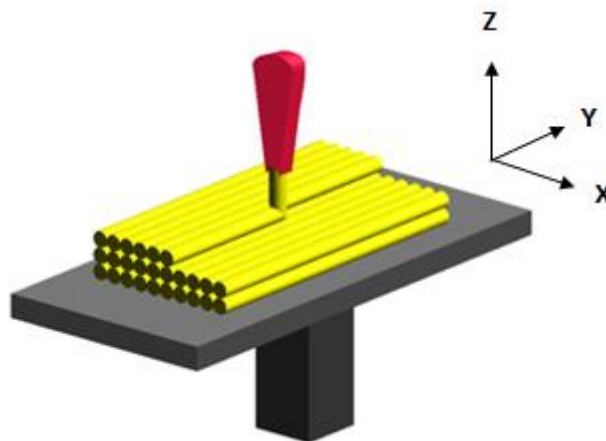


Figura 36: Eixos utilitzats per representar les propietats d'una peça impresa en 3D. Imatge trobada a la web: https://es.wikipedia.org/wiki/Modelado_por_deposici%C3%B3n_fundida, consultada el 27/07/2018

A partir d'aquestes propietats es creen 2 materials a l'apartat "Engineering Data" de l'ANSYS Workbench®, un per la part dels anells (ABS 3D Ring) i un per la part de les barres (ABS 3D Bar). Cal utilitzar materials diferents ja que l'impressora segueix diferents tipus de traçades en cada una de les parts. Això provoca que la direcció del fil (direcció de la passada) varia respecte els eixos globals.

7.1.1 ABS 3D Ring

Aquest material s'utilitzarà per la part dels anells. En aquest cas no caldrà variar les propietats anteriors ja que mitjançant un sistema de coordenades cilíndric (el qual es definirà a l'hora de crear el nostre model a l'Ansys), els eixos establerts per les propietats del material es corresponen amb les direccions de les passades a l'hora d'imprimir l'anell.

Aquest sistema de coordenades cilíndric el que fa és que la direcció "y" (direcció del fil) segueix una corba al voltant de l'eix Z, la mateixa que ha seguit la impressora per imprimir l'anell.

7.1.2 ABS 3D Bar

Aquest és el material que s'utilitzarà per definir la part de les barres. A la següent imatge [37], es pot veure la traçada que segueix la impressora a l'hora d'imprimir les barres.

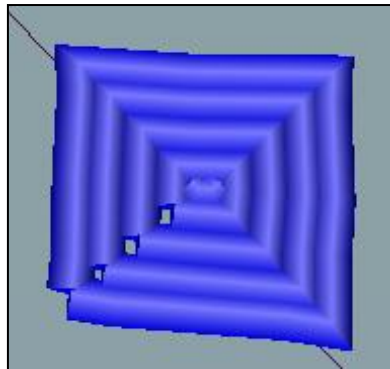


Figura 37: Traçada seguida per la impressora

A la imatge anterior veiem com la direcció del fil (eix Y) varia respecte l'eix global. És per això que es decideix canviar les propietats de manera que les propietats finals del material, siguin iguals tant en X com en Y.

Per tal d'obtenir unes propietats equivalents per a la secció de la barra es construeix un model simplificat d'aquesta amb elements finits, a la següent imatge es mostra un croquis de la simplificació [38].

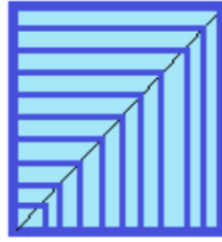


Figura 38: Traçada simplificada

Per trobar les noves propietats es genera una figura quadrada de costat 10 mm i gruix 1 mm a l'Ansys. Per cada un dels costats de la simetria respecte la diagonal, es modifiquen els eixos tenint en compte la direcció del fil [39].

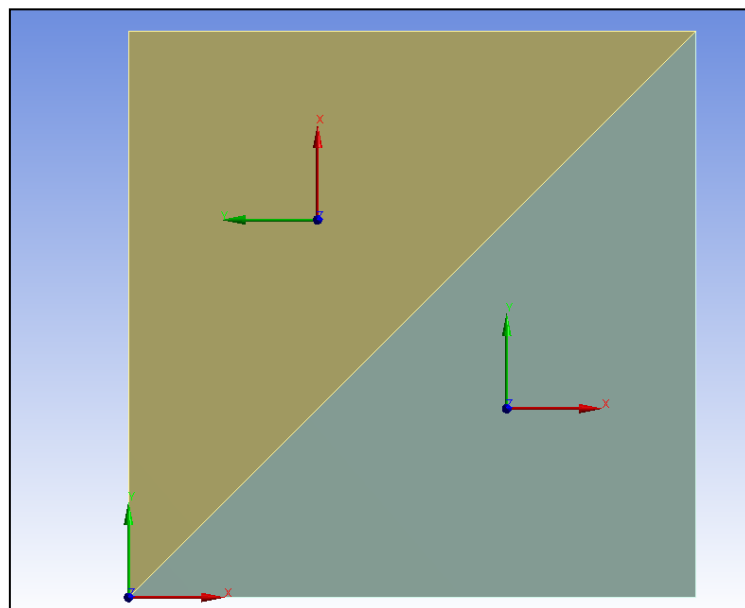


Figura 39: Eixos modificats tenint en compte la direcció del fil

Les propietats del material utilitzades per aquest model, són les que s'han mostrat anteriorment. Ara bé, a l'hora d'assignar el material d'aquesta geometria es tenen en compte els eixos mostrats a la imatge. En resum, les propietats del material del "costat beix" estan girades 90° (al voltant de l'eix Z) respecte les del "costat gris". D'aquesta manera es simula el canvi de direcció del fil a l'hora d'imprimir les barres.

Seguidament s'aplica una pressió d'1MPa a un dels costats del quadrat i es fixa el vèrtex del costat oposat [40].

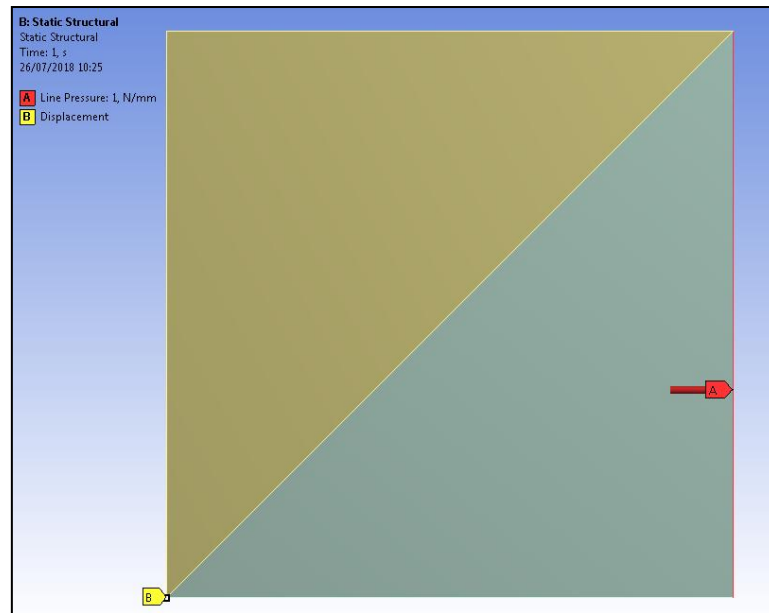


Figura 40: En vermell línia de pressió aplicada, en groc vèrtex fixat

Després de generar el mallat es demana que es calculin els resultats de deformació de la peça pel que fa a l'eix X i l'eix Y (eixos globals).

Del resultat on es mostra el desplaçament en l'eix X, més o menys al centre d'un dels costats per obtenir un valor mig, es llegeix quin ha estat el desplaçament.

$$\Delta l = 5.28 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Aquest es divideix per 10 (el costat del quadrat fa 10 mm), per obtenir un valor unitari.

$$\varepsilon_{xx} = 5.28 \times 10^{-4}$$

Es repeteix la mateixa operació per els resultats referents a la deformació en Y i s'obtenen els resultats següents.

$$\Delta l = -1.18 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{yy} = -1.18 \times 10^{-4}$$

Coneixent el desplaçament unitari aparegut a partir d'una tensió d'1 MPa podem trobar el mòdul de Young a partir de la següent fórmula.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad ; \quad E_x = \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x} = \frac{1}{5.28 \times 10^{-4}} = 1894 \text{ MPa}$$

Al tractar-se d'una simetria $E_x = E_y$

$E_z = 1500 \text{ MPa}$, aquest no varia ja que es tracta del mòdul entre capes.

Per trobar els poissons es segueixen les estimacions següents:

$$v_{xy} = \frac{-\varepsilon_{yy}}{\varepsilon_{xx}} = \frac{1.18 \times 10^{-4}}{5.28 \times 10^{-4}} = 0.223$$

Pel que fa, v_{yz} i v_{xz} , es consideren iguals i com a la mitjana de v_{yz} i v_{xz} inicials.

$$v_{yz} = v_{xz} = \frac{0.38 + 0.255}{2} = 0.3157$$

Per trobar els mòduls a rigidesa tallant s'utilitza la següent formula (s'assumeix un comportament isotròpic):

$$G_{ij} = \frac{E_{ii}}{2x(1 + v_{ij})}$$

$$G_{xy} = 774 \text{ MPa} \quad ; \quad G_{yz} = G_{xz} = 719 \text{ MPa}$$

A continuació es mostra un resum amb les propietats del material ABS 3D Bar:

$$E_x = 1894 \text{ MPa} \quad ; \quad v_{xy} = 0.223 \quad ; \quad G_{xy} = 774 \text{ MPa}$$

$$E_y = 1894 \text{ MPa} \quad ; \quad v_{yz} = 0.3175 \quad ; \quad G_{yz} = 719 \text{ MPa}$$

$$E_z = 1500 \text{ MPa} \quad ; \quad v_{xz} = 0.3175 \quad ; \quad G_{xz} = 719 \text{ MPa}$$

7.2 Preparació del model

Primerament es creen els dos materials comentats en l'apartat anterior, un per els anells (ABS 3D ring) i un per les barres (ABS 3D bar).

El següent pas és importar la geometria. Totes les geometries s'han generat en Solidworks®, com ja s'ha comentat, i després s'han exportat a l'ANSYS Workbench®.

Un cop s'ha importat la geometria s'assigna el material corresponent segons si es tracta de la part dels anells o de les barres. Per tal de poder assignar el material corresponent cal diferenciar prèviament les diferents parts de la geometria [41]. En aquest pas han sorgit alguns problemes ja que en diferents casos no es diferenciaven les parts automàticament i s'han hagut de modificar les geometries.

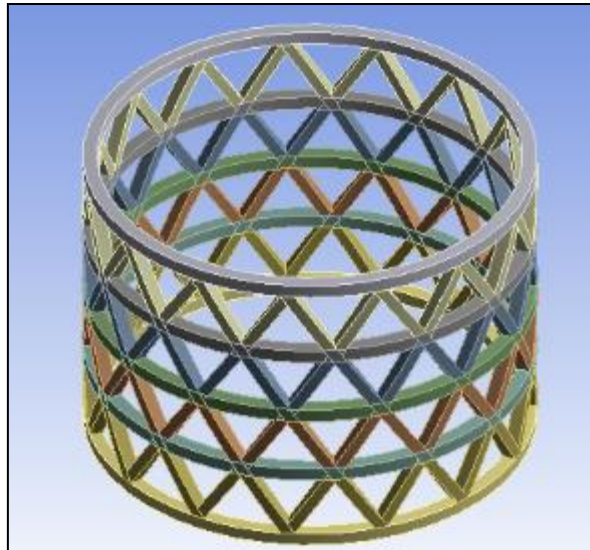


Figura 41: Model amb el material assignat segons si és part de l'anell o de barres

A continuació es crea un eix de coordenades cilíndric per tenir en compte que a l'hora d'imprimir, la direcció "y" del material, va canviant respecte els eixos globals [42].

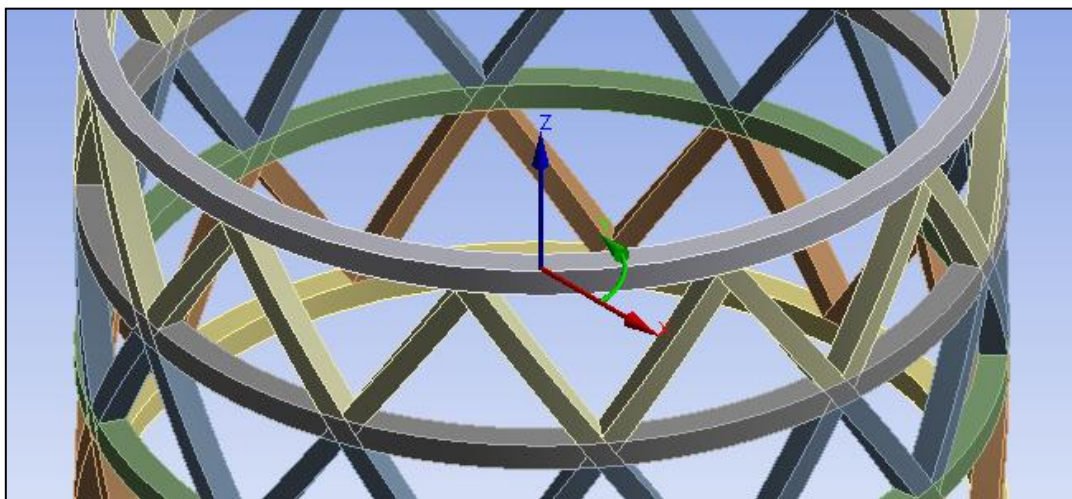


Figura 42: Eix de coordenades cilíndric

Seguidament es tria el mallat. El tipus d'element utilitzat ha estat "Program Controlled" amb mida d'1 mm [43]. Es van fer servir elements sòlids en forma de tetraedre amb 8 nodes. El nombre de nodes i elements ronda els 115342 i 57384 respectivament depenent de cada combinació d'estructura reticular.

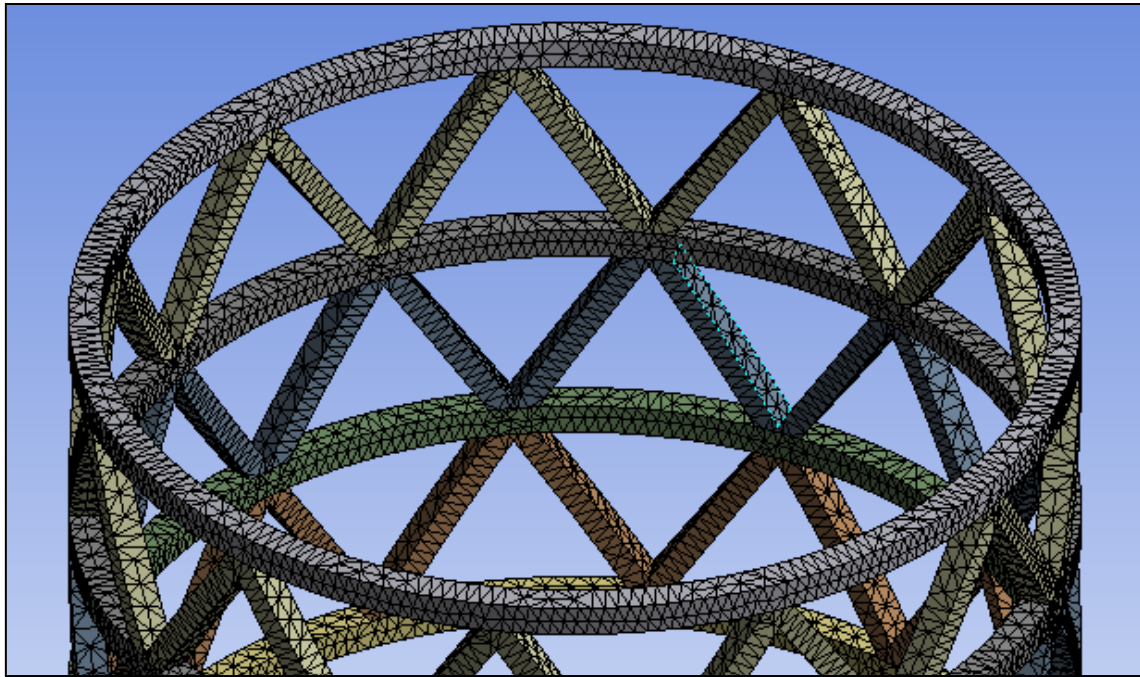


Figura 43: Mallat "Program Controlled" d'1 mm

A continuació s'ha de fixar la peça. Es mostra una imatge on es veuen els suports utilitzats [44].

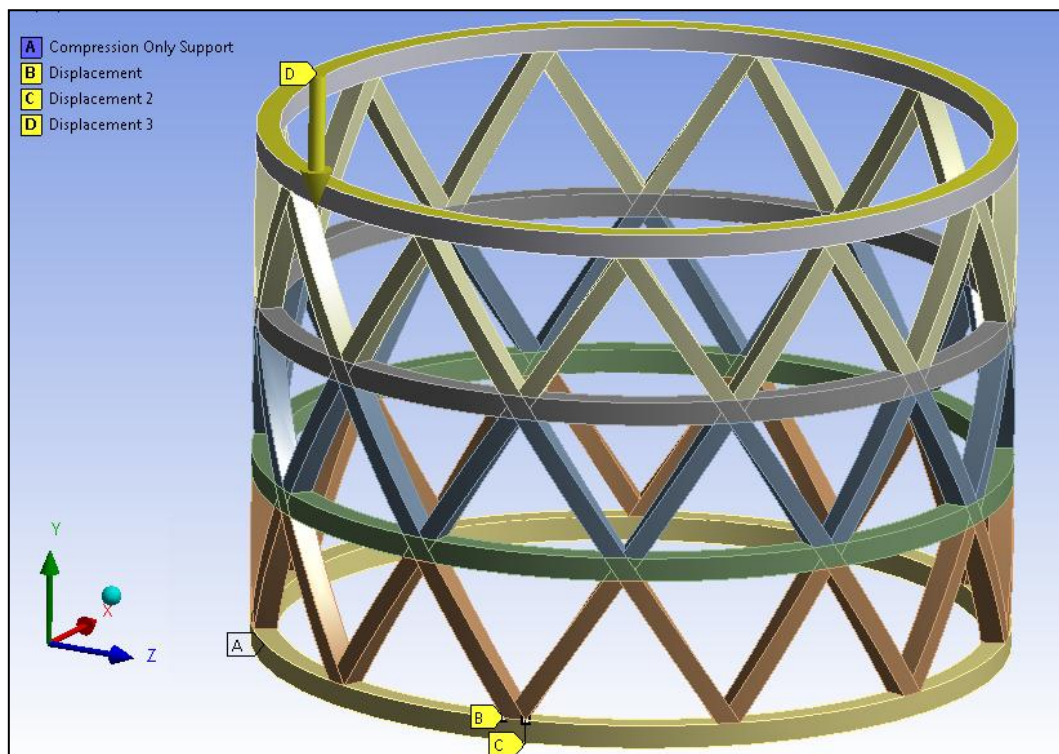


Figura 44: Suports utilitzats en el model

Per fixar la peça en l'eix Y s'ha utilitzat un "Compression Only Support". Pel que fa als eixos X i Z, s'ha utilitzat un "Displacement" al punt B concretant que el desplaçament en aquests eixos sigui de 0 mm. Per tal de que la peça no giri, s'ha seguit la mateixa operació del punt B, al punt C. Aquest cop només per l'eix Z.

Per simular l'efecte de la compressió, s'ha aplicat un desplaçament de -1 mm (respecte l'eix Y) a la part superior de la peça.

Idealment s'hauria d'haver fet un anàlisi no-lineal per capturar correctament l'efecte del pandeig, però degut a que només es volia tenir una predicció de la rigidesa global en cada cas i a que el temps de simulació en un anàlisi no-lineal per a 45 combinacions diferents era massa gran, es va optar per fer unes simulacions més simplifiades i ràpides tot i no ser tan acurades.

7.3 Resultats

Els resultats que s'han demanat que es mostrin són la reacció del "Compression Only" i les tensions normals i deformacions en els diferents eixos.

Pel que fa a la recopilació de resultats, només s'han agafat els donats per la reacció del "Compression Only". Aquests són els que es podran comparar amb els resultats obtinguts a l'assaig. Els altres s'han utilitzat per tenir una idea de quines són les zones on les peces pateixen més. El punt on les tensions a compressió són màximes (marcat amb blau a la següent imatge) es dona als nusos [45].

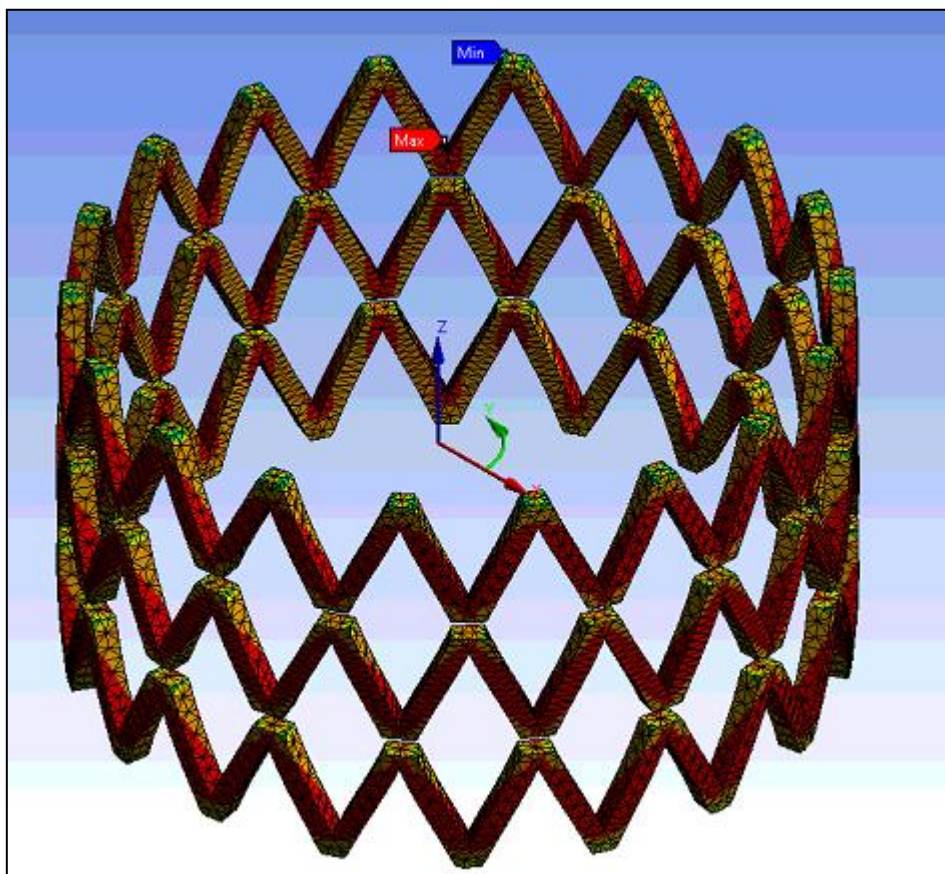


Figura 45: Punt on la tensió a compressió és màxima

Seguidament es mostra una taula on es pot veure la càrrega que suporta cada peça al comprimir-la 1mm [Taula 4]. Aquest mateix valor, al tractar-se d'un desplaçament d'1mm, es pot considerar la rigidesa (N/mm) de la peça.

Resultats ANSYS					
Gruix 2 mm		Gruix 2,5 mm		Gruix 3 mm	
Nom peça	Reacció (N)	Nom peça	Reacció (N)	Nom peça	Reacció (N)
P-2-10-20	1328,7	P-2-10-25	2152,3	P-2-10-30	2994,1
P-2-11-20	1580,25	P-2-11-25	2520,2	P-2-11-30	3683,4
P-3-11-20	1183,22	P-3-11-25	1819,6	P-3-11-30	2680,3
P-3-12-20	1458,9	P-3-12-25	2275,2	P-3-12-30	3394,5
P-3-13-20	1742	P-3-13-25	2781	P-3-13-30	3938,9
P-3-14-20	1975,4	P-3-14-25	3140,8	P-3-14-30	4435,5
P-3-18-20	3062,3	P-3-18-25	4522,6	P-3-18-30	6192,1
P-4-15-20	1801,4	P-4-15-25	2911	P-4-15-30	4073,1
P-4-16-20	2098	P-4-16-25	3134,6	P-4-16-30	4624,1
P-4-17-20	2224,1	P-4-17-25	3498,8	P-4-17-30	5089,2
P-4-18-20	2592,6	P-4-18-25	3849,5	P-4-18-30	5703,8
P-5-18-20	2204,5	P-5-18-25	3357,8	P-5-18-30	5061,8
P-5-19-20	2470,4	P-5-19-25	3776,8	P-5-19-30	5684,2
P-5-20-20	2701	P-5-20-25	4129,8	P-5-20-30	6080,3
P-5-21-20	3081,8	P-5-21-25	4478,6	P-5-21-30	6580,1

Taula 4: Resultats obtinguts amb l'ANSYS

A partir del volum de cada peça (obtingut de la peça en 3D generada al Solidworks) i de la densitat teòrica de l'ABS ($1,05 \text{ g/cm}^3$), s'ha calculat el pes teòric de cada una [Taula 5].

Pes teòric, Densitat = $1,05 \text{ g/cm}^3$			
Nom Proveta	Pes Gruix 2mm (g)	Pes Gruix 2,5mm (g)	Pes Gruix 3mm (g)
P-2-10-x	7,08	10,76	15,08
P-2-11-x	7,46	11,33	15,85
P-3-11-x	8,36	12,67	17,69
P-3-12-x	8,73	13,22	18,42
P-3-13-x	9,1	13,75	19,14
P-3-14-x	9,46	14,28	19,85
P-3-18-x	10,89	16,34	22,58
P-4-15-x	10,67	16,05	22,22
P-4-16-x	11,02	16,55	22,88
P-4-17-x	11,37	17,04	23,53
P-4-18-x	11,71	17,53	24,17
P-5-18-x	12,51	18,69	25,69
P-5-19-x	12,84	19,15	26,29
P-5-20-x	13,17	19,61	26,88
P-5-21-x	13,49	20,07	27,46

Taula 5: Pes teòric de cada proveta

8. Assaig experimental a compressió

8.1 Realització de l'Assaig

L'assaig s'ha realitzat al Parc Científic i Tecnològic de l'UdG. La màquina utilitzada ha estat una MTS Insight (Electromechanical 50 kN - Extended Length) la qual s'ha equipat amb els utilatges corresponents per un assaig a compressió [46].



Figura 46: Màquina utilitzada per l'assaig, MTS Insight (Electromechanical 50 kN - Extended Length)

La base on es situen les peces a assajar disposa d'un sistema de molles que permeten que cada peça quedi ben recolzada i alineada amb la direcció de la càrrega un cop comença l'assaig.

S'han assajat un total de 90 provetes, 2 de cada tipus, amb control per desplaçament. La velocitat d'assaig ha estat de 0.5 mm/min. S'han obtingut dades cada 0.05s referents a la deformació obtinguda (mm) i la força necessària per arribar-hi (N) [47].

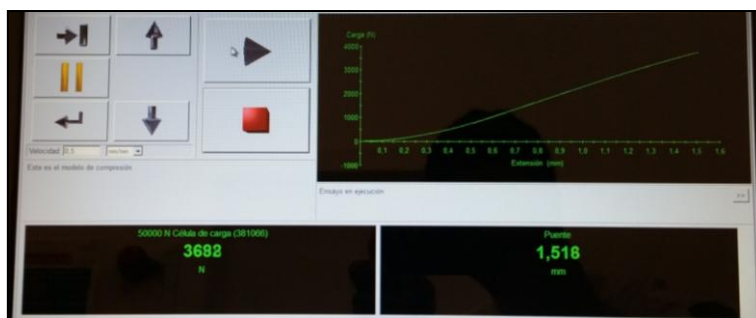


Figura 47: Finestra de resultats

Aquestes dades s'han utilitzat per obtenir la gràfica "Força – Deformació", mitjançant l'Excel, de cada una de les peces assajades.

A continuació es mostra la fitxa amb la gràfica d'una de les peces assajades [48]. Es poden trobar les fitxes de cada una de les provetes a l'Annex A.

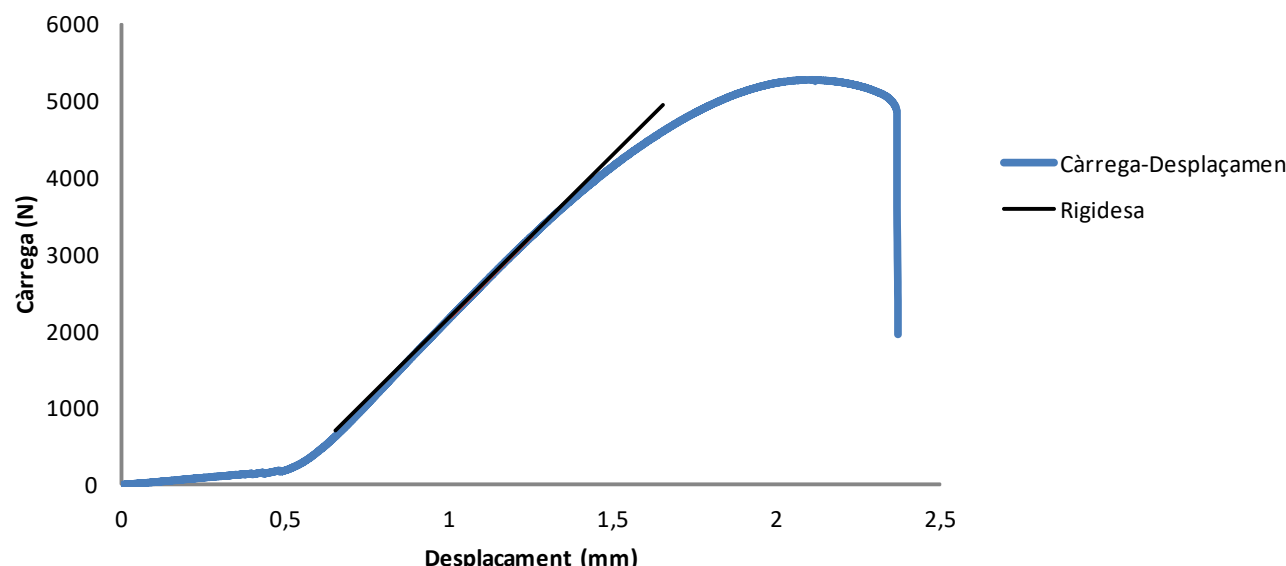
NOM PROVETA							
P-3-18-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	12/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	19,39
nº Pisos:	3	nº Barres:	18	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	5270,6	δ màx (mm):	2,11	δ*màx (mm):	1,61	Rigidesa (N/mm):	4253,60
GRÀFIC							
							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

Figura 48: Informe d'exemple d'una de les provetes assajades

8.2 Resultats

Abans de realitzar l'assaig s'han pesat totes les provetes, seguidament es mostren el valors obtinguts [Taula 6].

Gruix 2 mm			Gruix 2,5 mm			Gruix 3 mm		
Nom Proveta	PES (g)		Nom Proveta	PES (g)		Nom Proveta	Pes (g)	
	1	2		1	2		1	2
P-2-10-20	5,84	5,87	P-2-10-25	9,21	9,12	P-2-10-30	13	12,6
P-2-11-20	6,06	6,02	P-2-11-25	9,65	9,5	P-2-11-30	13,5	13,15
P-3-11-20	7,02	6,88	P-3-11-25	10,71	10,98	P-3-11-30	15,26	14,9
P-3-12-20	7,25	7,47	P-3-12-25	11,14	10,99	P-3-12-30	15,85	14,91
P-3-13-20	7,5	7,7	P-3-13-25	11,5	12,19	P-3-13-30	16,46	16,46
P-3-14-20	7,83	7,45	P-3-14-25	11,97	11,74	P-3-14-30	17,58	16,73
P-3-18-20	8,92	9,25	P-3-18-25	14,3	14,23	P-3-18-30	19,39	19,9
P-4-15-20	8,67	8,75	P-4-15-25	14,09	13,92	P-4-15-30	18,75	19,55
P-4-16-20	8,99	9,1	P-4-16-25	14,75	13,95	P-4-16-30	19,17	20,08
P-4-17-20	9,25	9,68	P-4-17-25	14,39	15,17	P-4-17-30	20,58	19,41
P-4-18-20	9,58	9,43	P-4-18-25	14,75	15,64	P-4-18-30	20,54	21,59
P-5-18-20	10,37	10,42	P-5-18-25	17,03	16,32	P-5-18-30	22,71	21,83
P-5-19-20	10,58	10,52	P-5-19-25	16,5	17,18	P-5-19-30	23,46	22,38
P-5-20-20	10,84	10,69	P-5-20-25	16,8	17,36	P-5-20-30	22,16	23,61
P-5-21-20	10,57	10,47	P-5-21-25	17,6	17,33	P-5-21-30	24,06	22,91

Taula 6: Pes experimental de cada proveta

A diferència del que s'esperava, l'estructura col·lapsa en el moment que trenquen les barres en comptes de per la part dels nusos.

El 75,5% de les provetes assajades han trencat per la part de les barres del pis superior (trencament fràgil) [49]. Aquest fet és degut a que al pis superior és la part de la impressió on hi ha més diferència tèrmica. Els pisos inferiors estan més a prop del llit el qual està calent per garantir l'adhesió de les peces. És per això que a les parts properes a aquest es redueix la diferència tèrmica.



Figura 49: Proveta col·lapsa degut al trencament de les barres del pis superior.

Les provetes que no han trencat per les barres del pis superior, s'han trencat per les barres d'algun altre pis o han deixat d'aguantar càrrega (sense acabar de trencar del tot) degut a una gran deformació [50].

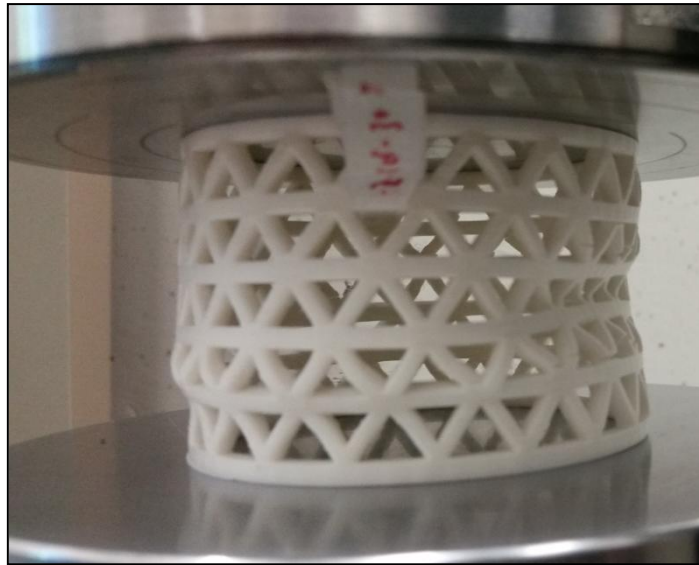


Figura 50: Proвета col·lapsa degut a una gran deformació

A continuació es mostren tres taules amb la càrrega màxima (F), desplaçament real ($\delta_{\text{màx}}$), desplaçament corregit ($\delta^*_{\text{màx}}$) i estimació de la rigidesa (E) de cada una de les peces assajades [51, Taules 7 - 9].

On:

$\delta_{\text{màx}}$ (mm) = Desplaçament de la proveta des del principi de l'assaig fins arribar a la càrrega màxima.

$\delta^*_{\text{màx}}$ (mm) = Desplaçament corregit a partir del pendent de la gràfica (Rigidesa, E).

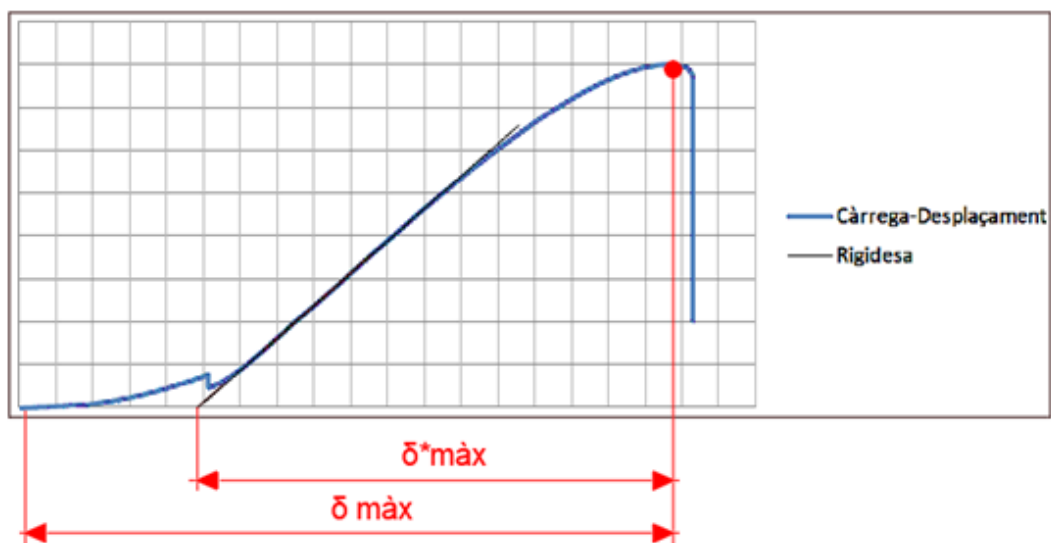


Figura 51: Representació de, $\delta_{\text{màx}}$ i $\delta^*_{\text{màx}}$

- Grup de peces amb gruix de barra 2 mm:

Resultats Assaig Compressió - Provets gruix 2 mm								
Nom Peça	Peça 1				Peça 2			
	F (N)	$\delta_{\text{màx}}$ (mm)	$\delta_{\text{màx}}^*$ (mm)	E (N/mm)	F (N)	$\delta_{\text{màx}}$ (mm)	$\delta_{\text{màx}}^*$ (mm)	E (N/mm)
P-2-10-20	396,3	0,82	0,68	806,75	353,7	0,77	0,62	751,68
P-2-11-20	433,5	0,95	0,7	858,08	417,9	0,96	0,6	861,26
P-3-11-20	562,3	1,04	0,75	820,05	434,6	1,16	0,86	720,89
P-3-12-20	721,9	1,05	0,87	943,63	752,2	1,19	1	892,55
P-3-13-20	844,3	1,25	0,92	1075,49	904,4	1,24	0,89	1188,06
P-3-14-20	910,5	1,09	0,82	1265,82	490,6	0,74	0,53	978,41
P-3-18-20	1118,5	0,94	0,75	1665,33	1415,5	1,1	0,83	1890,26
P-4-15-20	1145,3	1,54	1,3	1062,79	1168,3	1,56	1,32	1104,05
P-4-16-20	1359,9	1,5	1,25	1296,65	1286,6	1,44	1,19	1321,27
P-4-17-20	1292,8	1,46	1,11	1315,53	1342,8	1,38	1,06	1420,67
P-4-18-20	1496,3	1,93	1,19	1485,54	929,78	1,06	0,83	1356,03
P-5-18-20	1599,3	1,55	1,37	1435,14	1538,2	1,63	1,42	1338,93
P-5-19-20	1714,7	1,61	1,44	1479,86	1653,6	1,69	1,5	1404,05
P-5-20-20	1882,2	1,59	1,38	1663,19	1621,7	1,75	1,25	1534,91
P-5-21-20	1226,0	1,46	1,01	1423,49	2124,5	1,88	1,55	1910,71

Taula 7: Resultats assaigs provetes de gruix de barra 2mm

- Grup de peces amb gruix de barra 2,5 mm:

Resultats Assaig Compressió - Provets gruix 2,5 mm								
Nom Peça	Peça 1				Peça 2			
	F (N)	$\delta_{\text{màx}}$ (mm)	$\delta_{\text{màx}}^*$ (mm)	E (N/mm)	F (N)	$\delta_{\text{màx}}$ (mm)	$\delta_{\text{màx}}^*$ (mm)	E (N/mm)
P-2-10-25	916,0	1,46	0,79	1409,38	852,4	0,4	0,65	1391,42
P-2-11-25	1080,3	1	0,77	1683,9	970,8	1,21	0,64	1649,22
P-3-11-25	1334,9	1,37	1,13	1346,95	1444,0	1,55	1,23	1387,22
P-3-12-25	1433,1	1,5	1,13	1469,6	1597,4	1,76	1,28	1509,86
P-3-13-25	1551,9	1,41	1,06	1658,53	2096,6	1,83	1,3	1928,04
P-3-14-25	2001,8	1,78	1,29	1835,19	1742,0	1,59	1,21	1690,54
P-3-18-25	2949,2	1,56	1,11	3042,44	2649,2	1,78	1,35	2492,22
P-4-15-25	2487,6	2,11	1,33	2074,72	2328,5	2,08	1,44	1967,11
P-4-16-25	2632,2	2,08	1,36	2075,58	1726,1	1,99	1,49	1470,85
P-4-17-25	2437,6	2,07	1,65	1954,88	3046,5	2,11	1,69	2164,11
P-4-18-25	2657,6	2,07	1,26	2335,48	2462,9	1,89	0,9	2735,49
P-5-18-25	2720,0	2,01	1,26	2269,4	2354,3	2,09	1,34	1946,94
P-5-19-25	2531,9	2,11	1,3	2141,35	2331,0	2,11	0,94	2489,23
P-5-20-25	3658,0	2,11	1,93	2574,05	4129,0	2,11	1,78	2880,46
P-5-21-25	4255,7	2,11	1,79	3127,66	3685,7	2,11	1,87	2626,1

Taula 8: Resultats assaigs provetes de gruix de barra 2,5mm

- Grup de peces amb gruix de barra 3 mm:

Resultats Assaig Compensió - Provetes gruix 3 mm								
Nom Peça	Peça 1				Peça 2			
	F (N)	$\delta_{\text{màx}}$ (mm)	$\delta_{\text{màx}}^*$ (mm)	E (N/mm)	F (N)	$\delta_{\text{màx}}$ (mm)	$\delta_{\text{màx}}^*$ (mm)	E (N/mm)
P-2-10-30	1894,2	1,24	0,87	2498,5	1826,4	2,01	1,37	1617,38
P-2-11-30	1928,9	1,69	1,21	1748,15	2027,5	1,77	1,15	2193,35
P-3-11-30	2447,3	2,56	1,67	1987,33	2088,0	2,16	1,5	1746,46
P-3-12-30	3006,5	2,2	1,75	2312,79	1811,9	1,57	1,22	1666,58
P-3-13-30	3395,3	2,24	1,72	2699,04	3570,2	1,95	1,72	2767,13
P-3-14-30	4030,1	2,37	1,81	2865,14	3478,2	2,6	1,87	2618,27
P-3-18-30	5270,6	2,11	1,61	4253,6	5556,8	2,07	1,76	4032,44
P-4-15-30	3611,8	2,86	2,16	2492,99	4287,2	3,11	2,35	2873,25
P-4-16-30	4288,5	2,93	2,2	2831,1	4624,4	3,34	2,12	3331,84
P-4-17-30	5747,5	2,94	2,18	3806,24	4497,9	2,28	2,01	3132,92
P-4-18-30	5265,1	2,92	2,51	2946,99	6112,3	3,03	2,61	3306,44
P-5-18-30	5720,7	3,52	3,24	3307,56	5081,8	2,95	2,62	3132,23
P-5-19-30	6289,2	3,6	3,25	3388,86	5419,1	3,38	3,12	3009,63
P-5-20-30	6024,4	3,41	2,75	3682,95	7041,5	3,02	2,69	4167,43
P-5-21-30	7718,3	2,99	2,74	4525,09	6706,0	3,02	2,52	4247,7

Taula 9: Resultats assaigs provetes de gruix de barra 3mm

9. Anàlisi dels resultats

9.1 Introducció

Un cop s'han obtingut els diferents resultats, es representen en diferents gràfics per tal de poder analitzar-los amb més facilitat i poder extreure conclusions.

9.2 Anàlisi dels resultats de la simulació per elements finits

A partir de la simulació amb ANSYS s'ha obtingut la rigidesa teòrica de cada una de les estructures reticulars tractades. Aquesta ve donada per la força de compressió que s'ha d'aplicar a l'estructura (proveta) per comprimir-la 1mm.

9.2.1 Rigidesa

A continuació es mostra un gràfic on es pot apreciar la rigidesa obtinguda numèricament de cada tipus de proveta [52]. Les barres blaves representen les provetes amb gruix de barra de 2 mm, les vermelles les de gruix 2,5 mm i finalment les verdes les de 3 mm.

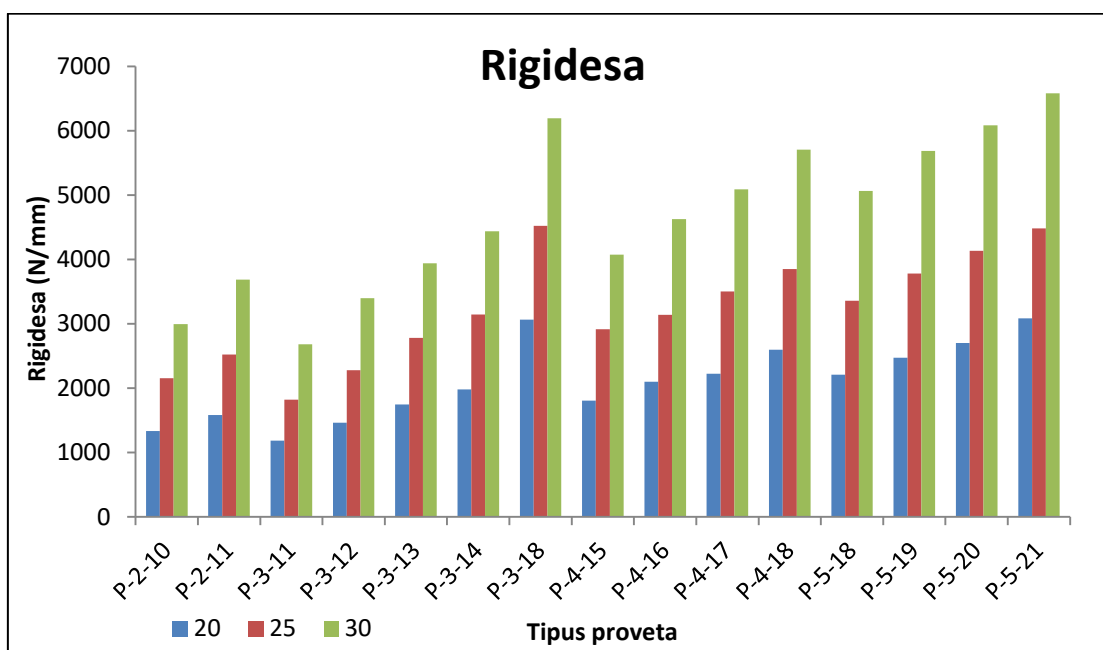


Figura 52: Rigidesa teòrica

Del gràfic es pot observar que pels diferents gruixos les provetes segueixen un mateix patró. En general dins d'un mateix numero de pisos, al augmentar el numero de barres també ho fa la rigidesa. En canvi, al augmentar el numero de pisos, tot hi augmentar el numero de barres, es pot veure com la rigidesa disminueix.

En el següent gràfic es representa l'augment de rigidesa que hauria d'experimentar teòricament una mateixa proveta al augmentar el gruix de barra de 2 mm a 2,5 mm (en blau) i al augmentar de 2 mm a 3 mm (en vermell) [53].

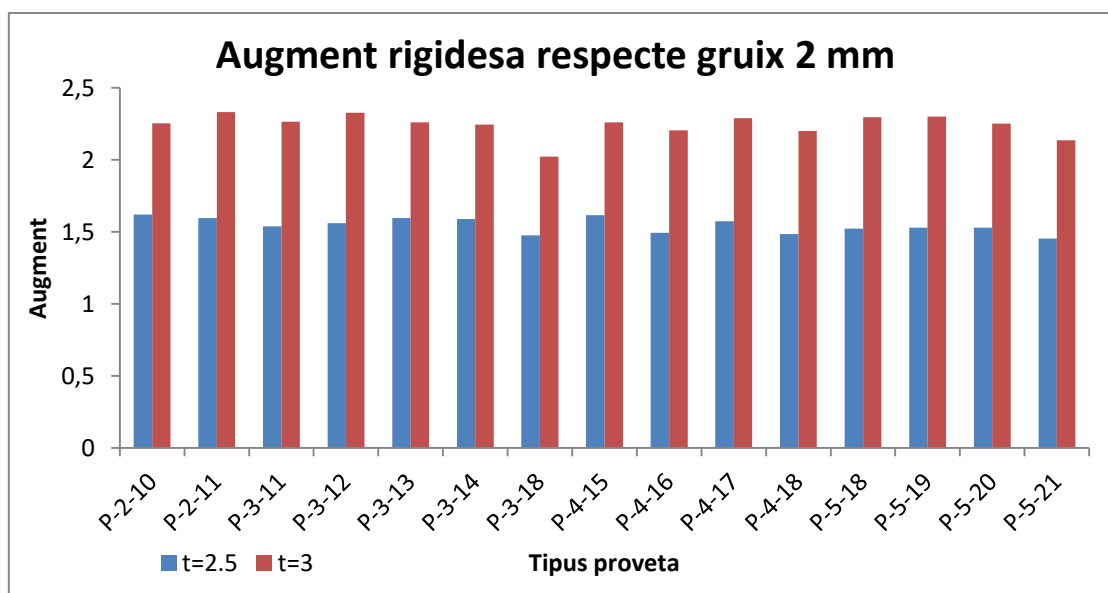


Figura 53: Augment rigidesa teòrica respecte provetes de gruix de barra 2mm

Podem observar que per una proveta de mateix numero de barres i mateix numero de pisos, augmentar el gruix de 2 a 2,5 mm, implica augmentar la rigidesa un factor de més o menys 1,55. Aquest factor es manté quasi constant per els diferents tipus de provetes. El mateix passa al observar l'augment entre les provetes de gruix 2 i les de gruix 3. Es pot veure com el factor també es manté quasi constant i que aquest, en aquest cas, és en mitjana de 2.25.

En general, augmentar el gruix de barra 0.5 mm hauria de suposar un augment de 1,5 vegades la rigidesa segons els resultats teòrics obtinguts.

9.2.2 Ràtio (Rigidesa/Pes)

Seguidament es vol analitzar quin efecte té el pes en la rigidesa de les diferents provetes. Per fer-ho s'ha dividit la rigidesa de les provetes per el pes teòric de cada una d'elles [54].

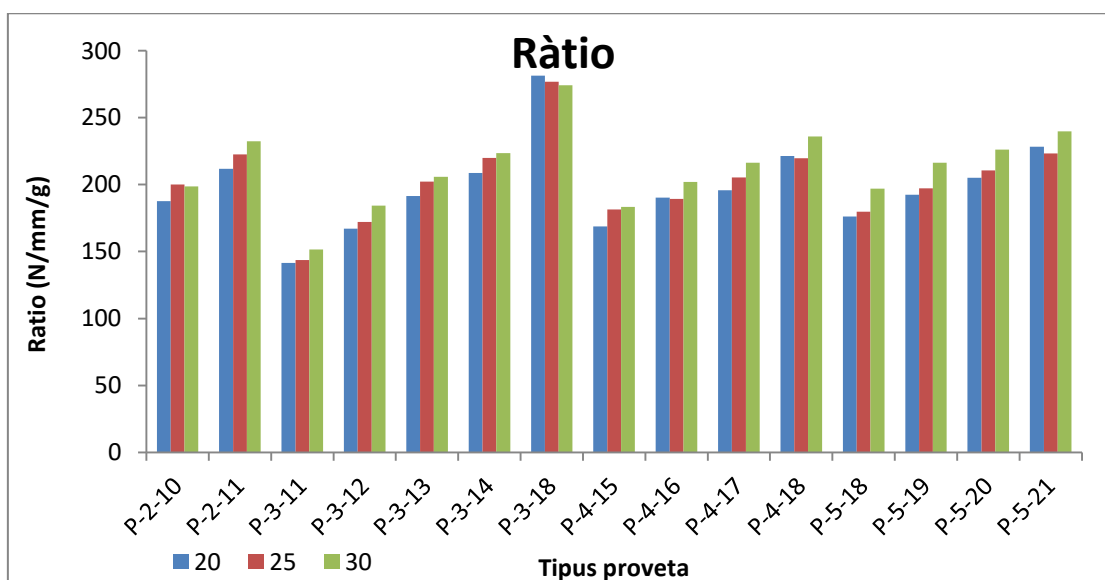


Figura 54: Ràtio teòric, rigidesa - pes

La tendència del ràtio entre les diferents provetes és molt semblant a la vista en la gràfica de la rigidesa. El ràtio augmenta dins el grup de provetes d'un mateix numero de pisos a mesura que augmenta el numero de barres i disminueix una mica quant s'augmenta el numero de pisos.

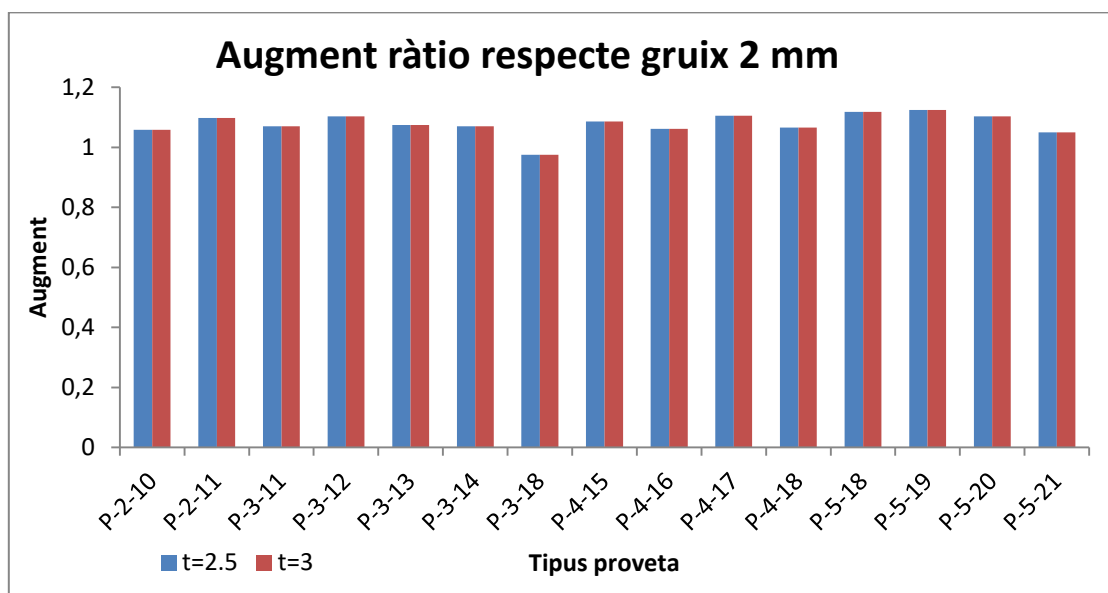


Figura 55: Augment ràtio teòric respecte provetes de gruix de barra 2 mm

Del gràfic anterior podem observar que l'augment del ràtio al augmentar el gruix de les barres és pràcticament nul [55]. En alguns casos, fins i tot, aquest arriba a disminuir.

Per tant, pel que fa a la rigidesa efectiva (rigidesa – pes) l'increment de rigidesa a l'augmentar el gruix queda contrarestat per l'increment de pes. En aquest sentit, una barra més esbelta, amb menor gruix (al augmentar el gruix per una mateixa combinació d'estructura reticular disminueix la longitud de barra), té un comportament similar al d'una barra menys esbelta, amb major gruix. No obstant, cal tenir present que el pes considerat és el global de tota la peça i inclou tant el pes de les barres com el pes dels anells circulars i per tant la comparació entre esbelteses de barra i pesos no és directa. Tot això fa, que aquesta comparació no sigui tan directa i calgui tenir en compte altres factors.

Per una mateixa combinació d'estructura reticular i els diferents gruixos de barra es divideix el ràtio obtingut per la longitud de barra (L_b) corresponent a cada gruix i així veure l'efecte que té. Es fa la prova amb la combinació P-4-15-X.

Proveta	Ràtio (N/mm/g)	L_b (mm)	Ràtio / L_b	Augment
P-4-15-20	169	14.9	11.29	-
P-4-15-25	181	14.6	12.42	1.1
P-4-15-30	183	14.3	12.85	1.14

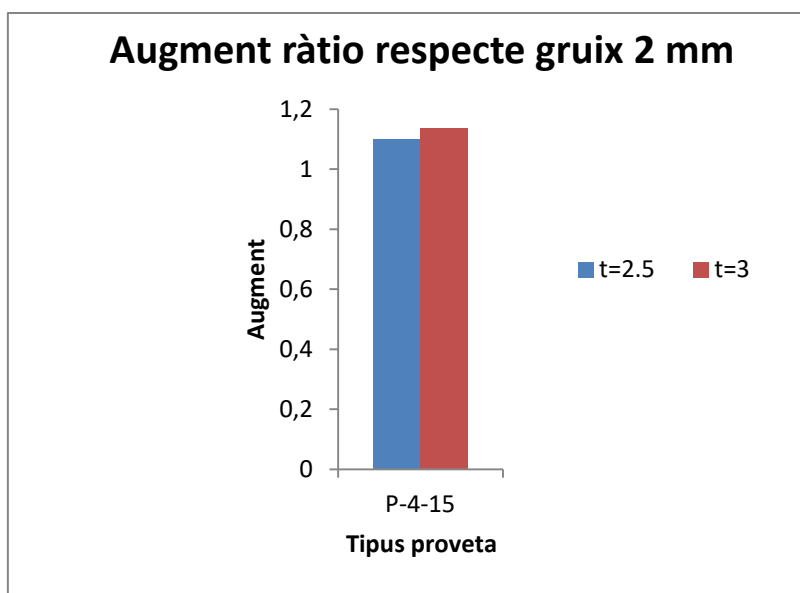


Figura 56: Augment ràtio/Lb respecte provetes de gruix de barra 2 mm per combinació P-4-15

Al dividir el ràtio per la longitud de barra corresponent, es pot veure que la longitud de barra té un petit efecte a la rigidesa efectiva. A diferència d'abans ara s'aprecia cert augment del ràtio al augmentar el gruix de les barres [56].

9.3 Anàlisi dels resultats de l'assaig

Durant l'assaig a compressió de les provetes impreses s'han anat obtingut valors de càrrega – deformació al llarg del temps fins que la proveta col·lapsa. A partir d'aquests valors s'han obtingut els resultats de càrrega màxima i rigidesa de cada proveta.

Anteriorment s'ha comentat que s'han assajat 2 provetes de cada tipus per tal d'obtenir uns resultats més fiables. No obstant, per la representació dels gràfics, s'han descartat les provetes que han aguantat un 20% menys del que ha aguantat l'altre igual ja que es considera defectuosa al contenir algun defecte de fabricació que ha fet que els resultats hagin estat inferiors als de l'altre proveta de la mateixa configuració. Per els tipus de proveta que no s'ha considerat cap de les 2 defectuosa s'ha fet la mitjana dels valors obtinguts.

La següent taula mostra les provetes que han estat descartades.

Provetes descartades		
P-3-11-20-2	P-3-14-20-2	P-3-18-20-1
P-4-18-20-2	P-5-21-20-1	P-3-13-25-1
P-4-16-25-2	P-3-12-30-2	P-4-17-30-2

9.3.1 Càrrega màxima

Per cada proveta assajada s'ha determinat el valor màxim de càrrega en la corba càrrega – desplaçament i s'ha agafat aquest valor com a límit de càrrega considerant que a partir d'aquest punt la proveta ja presenta dany i la seva funcionalitat resta compromesa malgrat encara sigui capaç de seguir aguantant càrrega al incrementa el desplaçament aplicat.

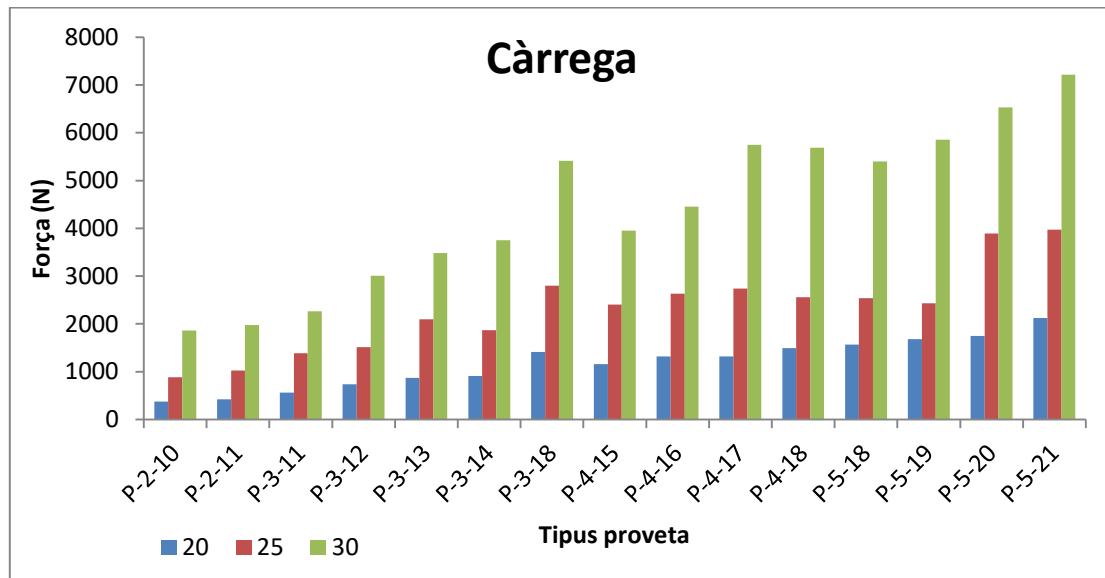


Figura 57: Càrrega màxima experimental

Del gràfic anterior podem veure com pels diferents gruixos, en general, les provetes aguanten més càrrega a mesura que augmentem el numero de barres [57]. També podem observar com les provetes que tenen un mateix gruix i numero de barra però es diferencien una amb l'altre per tenir una 1 pis de més (barres més curtes), a diferencia del que es podria esperar (barres més compactes), la de major número de pisos aguanta molt poc més o en alguns casos menys que l'altre. Per exemple, la P-4-18-30 aguanta més càrrega que la P-5-18-30.

L'estructura assajada amb valor de càrrega màxima més alta ha estat la P-5-21-30 (estructura de 5 pisos i 21 barres de gruix 3mm cada una). A l'hora d'escollir tipus d'estructura, cal buscar la que per un mateix numero de pisos tingui el màxim número de barres. Al augmentar el número de barres també ho fa l'angle que formen aquestes amb la base. L'augment d'aquests dos factors implica augmentar la càrrega màxima.

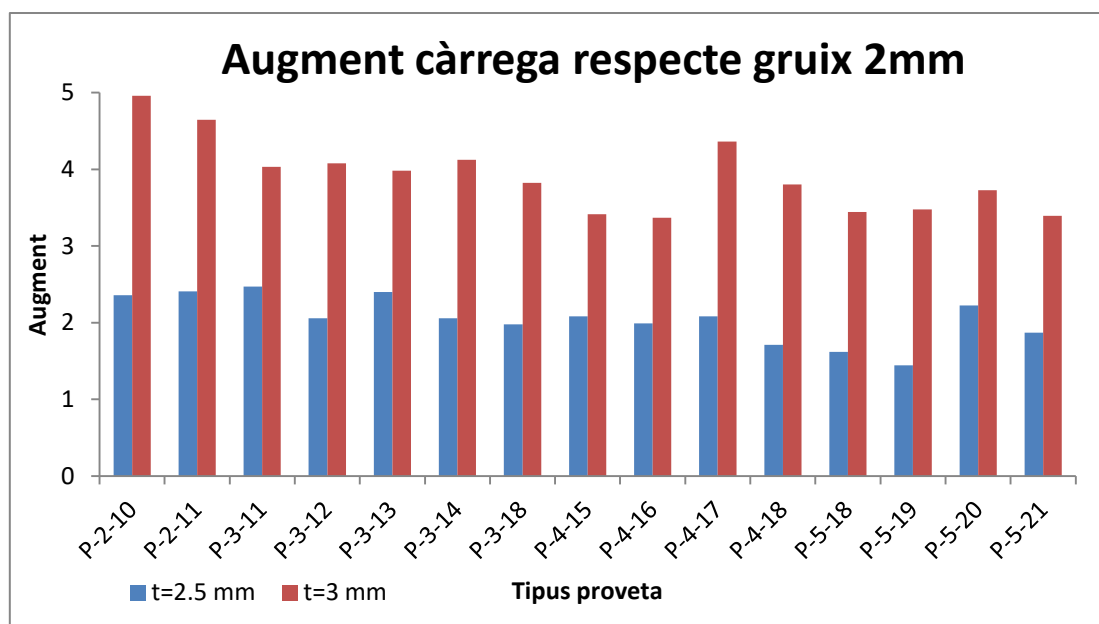


Figura 58: Augment càrrega màxima respecte provetes amb gruix de barra 2mm

En el gràfic previ es mostra l'augment de càrrega de les provetes d'un mateix tipus al augmentar-l'hi el gruix [58]. En blau es mostra l'augment de càrrega aparegut entre les de gruix 2 mm i gruix 2,5 mm i en vermell l'augment entre les de gruix 2 mm i 3 mm.

Podem extreure del gràfic, que tot haver-hi una diferència del factor augment de càrrega entre els diferents tipus de provetes, més o menys aquest es pot considerar força constant. En mitjana al augmentar el gruix de 2 a 2,5 mm augmenta la càrrega unes 2 vegades. També en mitjana però en aquest cas al augmentar el gruix de 2 a 3 mm veiem augmentada la càrrega unes 4 vegades.

9.3.2 Ràtio (Càrrega/Pes)

Per obtenir el ràtio càrrega - pes, s'ha dividit la càrrega màxima de cada proveta per el seu propi pes. Aquest ràtio ens permetrà veure quines provetes tenen més eficiència pel que fa al material utilitzat.

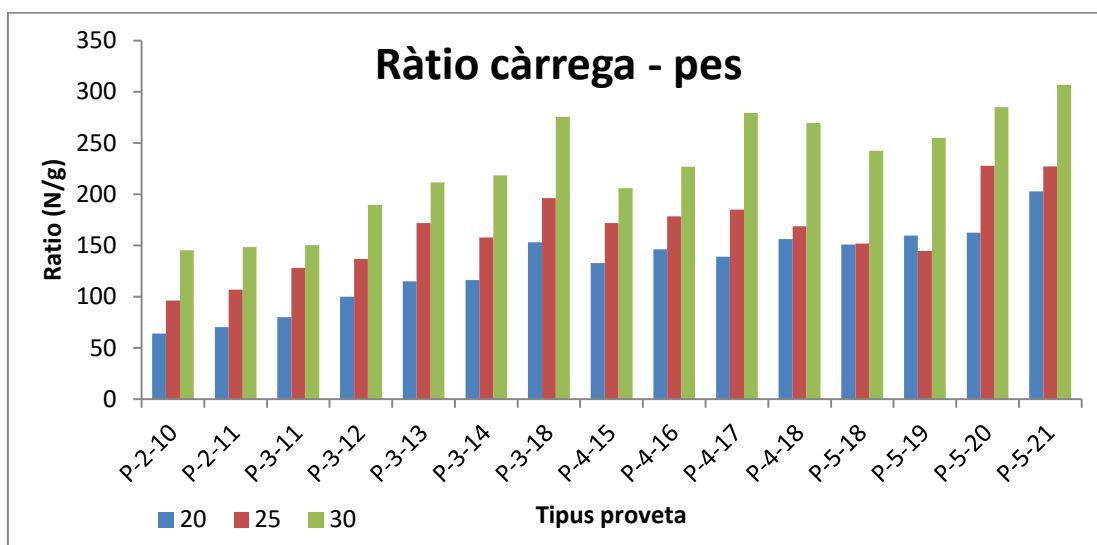


Figura 59: Ràtio experimental, càrrega - pes

El patró que segueix el gràfic del ràtio és molt semblant al de la càrrega màxima [59]. Veient aquest gràfic podem afirmar que val la pena augmentar el gruix de les barres fins a 3 mm ja que tot i utilitzar més material això es veu molt repercutit a l'hora d'aguantar més càrrega. Dins les provetes d'un mateix gruix i mateix numero de pisos, augmentar el numero de barres significa augmentar el ràtio. En canvi, podem veure com les provetes que tenen un mateix gruix i numero de barra però disposen d'un pis més, en general, en l'augment de càrrega no es veu reflectit l'augment de pes corresponent.

L'estructura assajada amb valor de ràtio més alta ha estat la P-5-21-30 (estructura de 5 pisos i 21 barres de gruix 3mm cada una). A l'hora d'escollir tipus d'estructura, cal buscar la que per un mateix numero de pisos tingui el màxim número de barres. Al augmentar el número de barres també ho fa l'angle que formen aquestes amb la base. L'augment d'aquests dos factors implica augmentar el ràtio càrrega – pes.

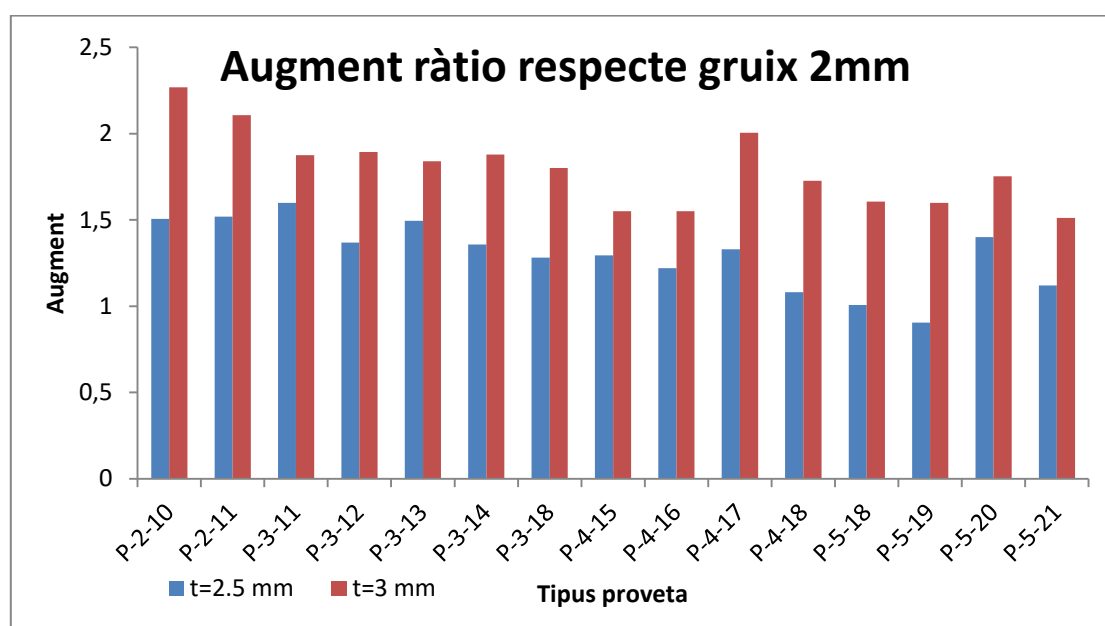


Figura 60: Augment ràtio respecte provetes amb gruix de barra 2mm

Com ja passava amb l'augment de càrrega, al augmentar el gruix, les diferents provetes experimenten un augment del ràtio força semblant [60]. El ràtio augmenta en mitjana 1,3 vegades al passar de gruix 2 mm a gruix 2,5 mm i 1.8 vegades al passar de 2 a 3 mm.

9.3.3 Rigidesa

A partir dels valors dels assajos s'han generat les gràfiques càrrega – desplaçament de cada proveta. El pendent d'aquestes gràfiques s'ha considerat com a la rigidesa de la proveta.

Seguidament es mostra la gràfica càrrega – desplaçament d'una de les provetes i un gràfic de columnes amb els resultats referents a la rigidesa de cada una d'elles [61, 62].

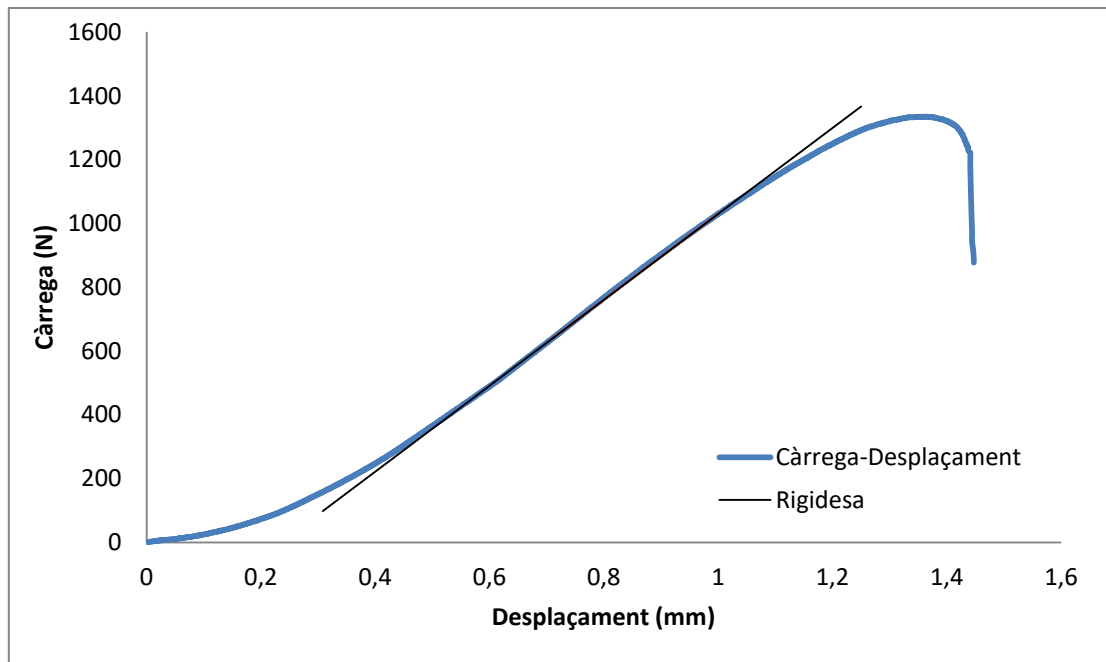


Figura 61: Gràfica càrrega - desplaçament d'una de les provetes

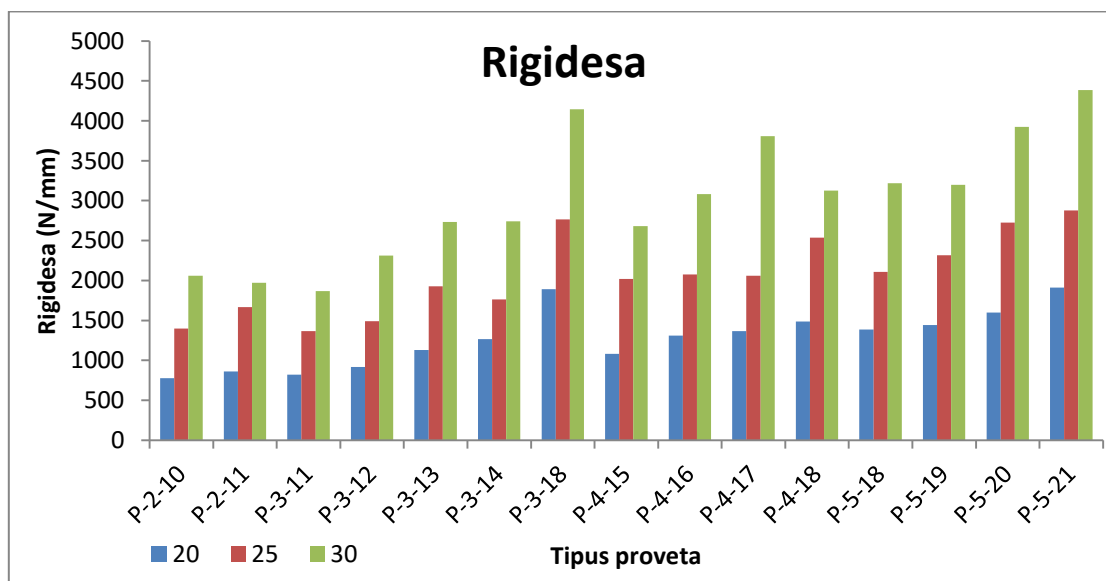


Figura 62: Rigidesa experimental

Al gràfic anterior podem veure que la silueta pels diferents gruixos de barres, segueix una silueta semblant a la vista en el gràfic referent a la càrrega màxima. Al augmentar el nombre de barres també ho fa la rigidesa. Les provetes on s'augmenta el nombre de pisos, a diferència del que s'esperava, en general es veu la rigidesa disminuïda.

L'estructura assajada amb valor de rigidesa més alta ha estat la P-5-21-30 (estructura de 5 pisos i 21 barres de gruix 3mm cada una). A l'hora d'escollir tipus d'estructura, cal buscar la que per un mateix nombre de pisos tingui el màxim nombre de barres. Al augmentar el nombre de barres també ho fa l'angle que formen aquestes amb la base. L'augment d'aquests dos factors implica augmentar la rigidesa.

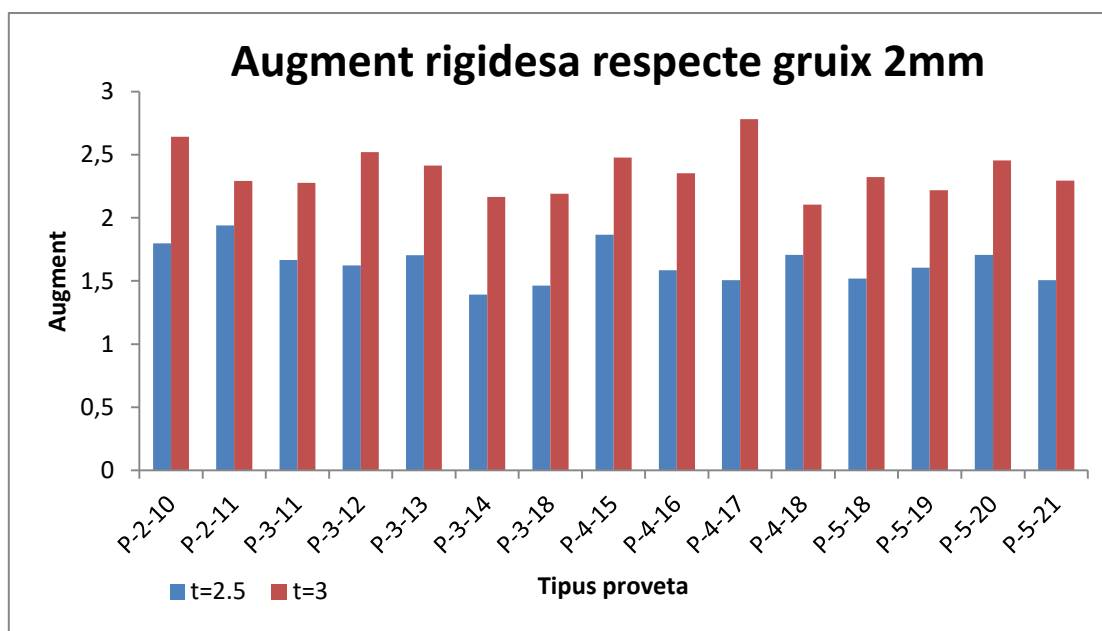


Figura 63: Augment rigidesa respecte provetes amb gruix de barra de 2mm

La mitjana d'augment, pel que fa a la rigidesa de les diferents provetes al augmentar el gruix de barra de 2 a 2,5mm és de 1.64 vegades més. Si passem de 2 a 3 mm l'augment és d'unes 2.37 vegades [63].

9.3.4 Ràtio (Rigidesa/Pes)

Per tal de poder analitzar quin efecte té el pes en la rigidesa de les diferents provetes, s'ha dividit la rigidesa de cada una d'elles pel pes experimental de cada una d'elles.

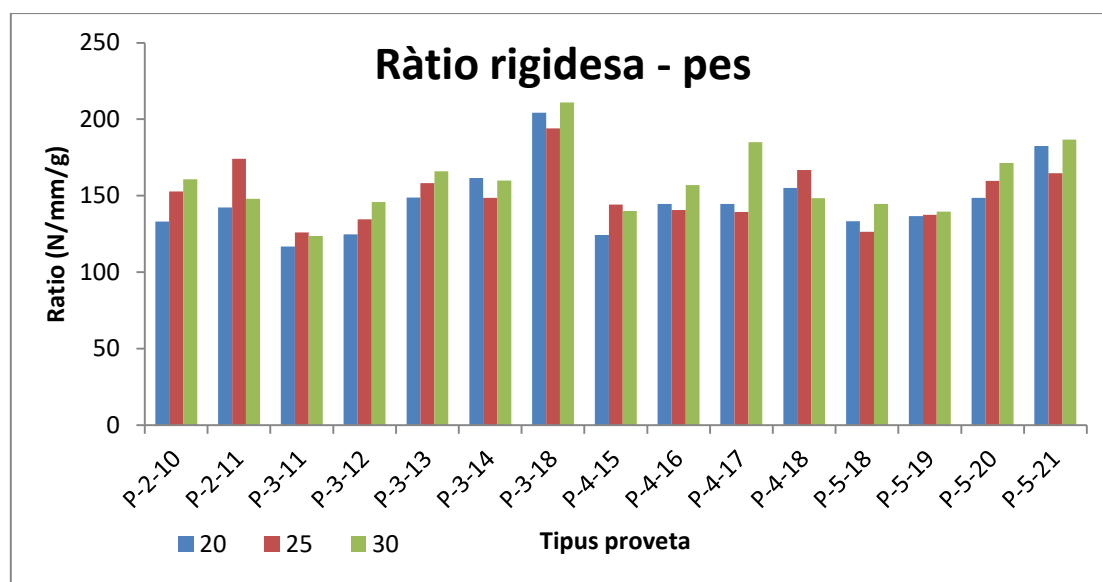


Figura 64: Ràtio experimental, rigidesa – pes

En el gràfic anterior podem veure com el ràtio rigidesa – pes no segueix un patró constant [64]. Algunes provetes (tot hi ser molt semblant per als tres casos) al augmentar el gruix de barra també ho fa el ràtio i en d'altres aquest disminueix. En general es pot veure que aquest augmenta al augmentar el numero de barres i disminueix al augmentar el número de pisos tal hi com em anat veient fins ara. Això com ja s'ha anat comentant és degut a que al augmentar el número de barres també ho fa l'angle que formen aquestes amb la base. L'augment d'aquests dos factors implica augmentar la rigidesa i al ser aquest més important a l'augment del pes també ho fa el ràtio.

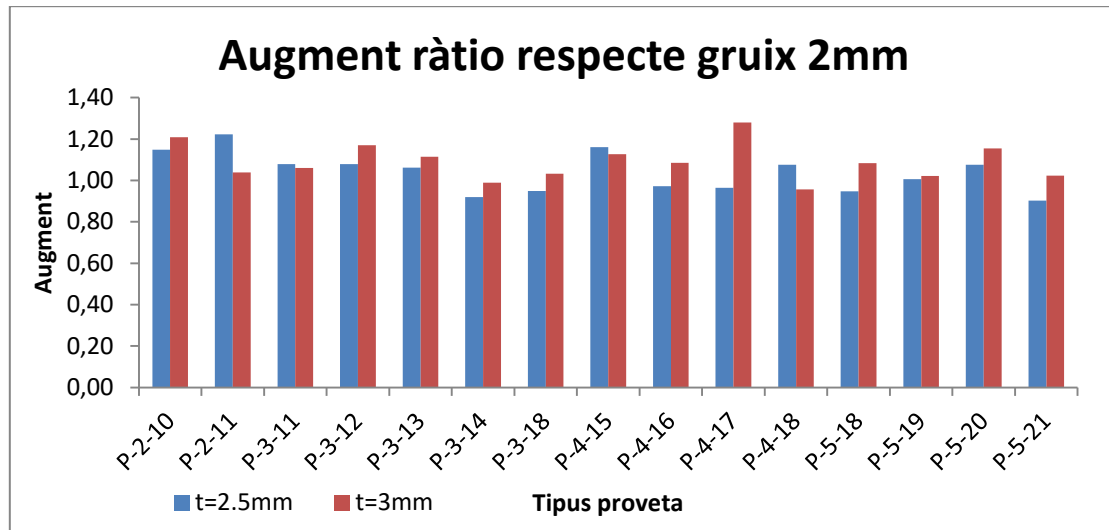


Figura 65: Augment ràtio respecte provetes amb gruix de barra 2mm

Com ja s'ha vist en el gràfic "Ràtio rigidesa – pes", al augmentar el gruix de les barres el valor del ràtio quasi no es veu afectat [65]. Si dividim el ràtio per la longitud de barra, tal com s'ha fet per els valors obtinguts numèricament, es veuria una mica més de diferència en l'augment d'aquest al incrementar el gruix.

9.4 Comparació dels resultats entre l'assaig experimental i la simulació per elements finits

9.4.1 Comparació Rigideses

Seguidament es mostra un gràfic general on es poden veure la rigidesa de les provetes per cada gruix de barra i segons si són resultats teòrics o experimentals [66].

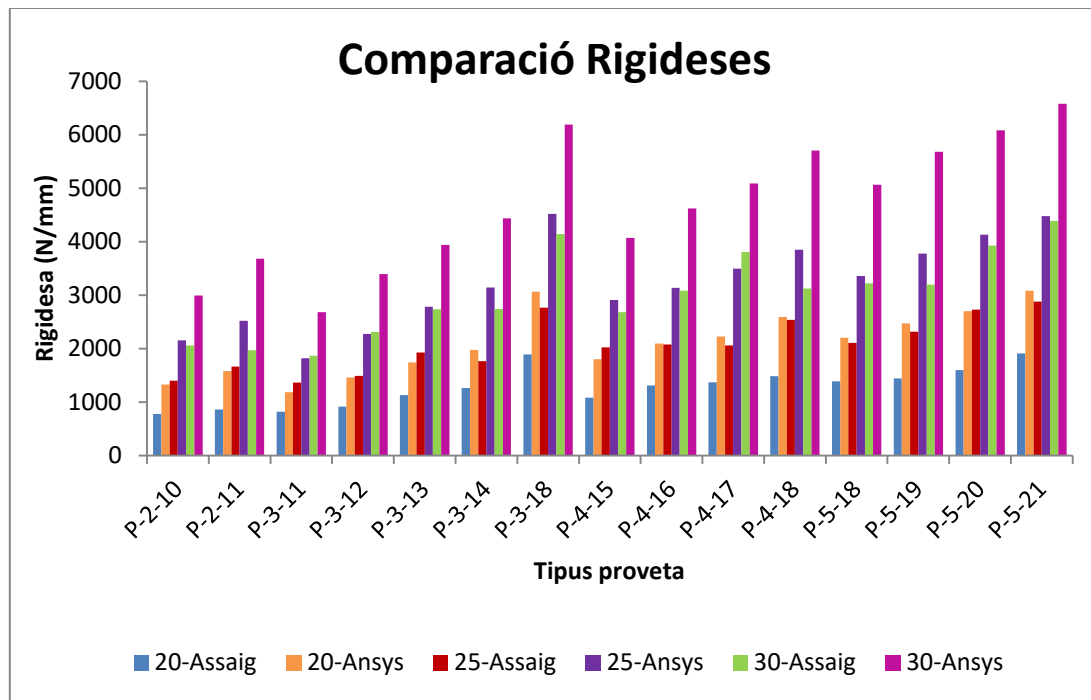


Figura 66: Comparació entre rigidesa teòrica i rigidesa experimental

Per tal d'apreciar les diferències amb més claredat es separen les provetes segons el gruix de barra. Per cada gruix de barra (2, 2,5 i 3 mm) es mostra un gràfic on es comparen els resultats experimentals amb els obtinguts a partir de l'Ansys [67 - 69].

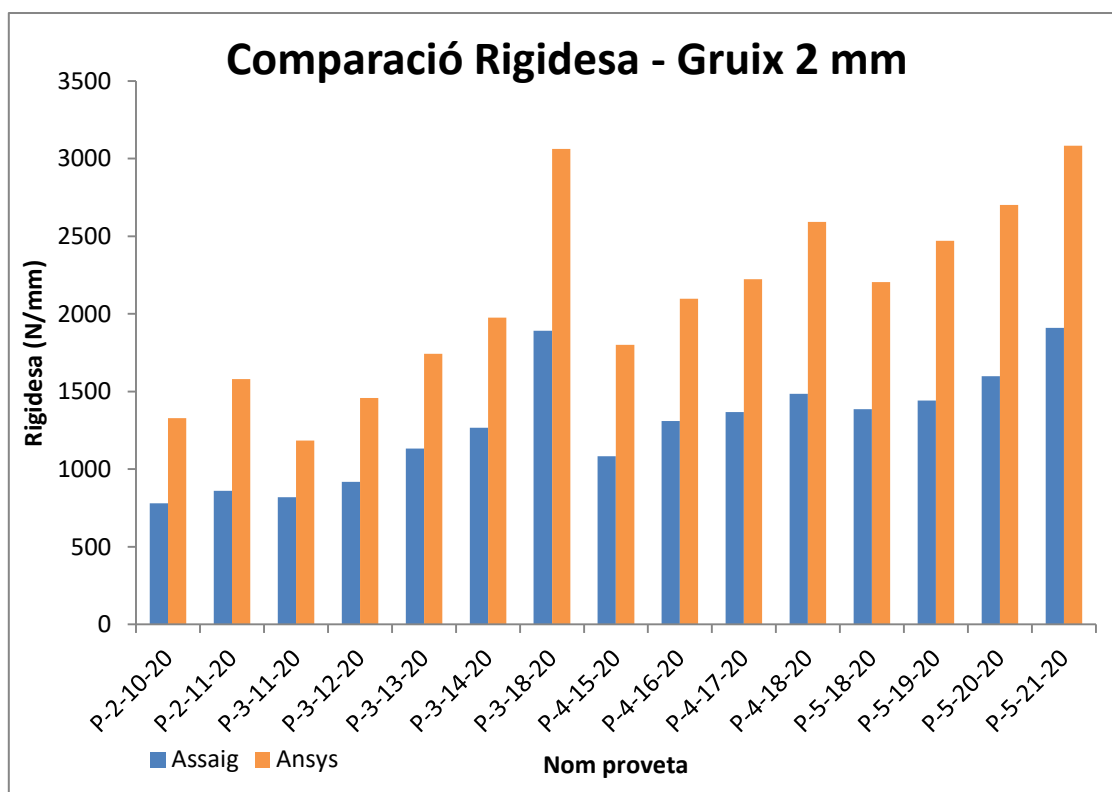


Figura 67: Comparació rigideses per provetes amb gruix de barra de 2mm

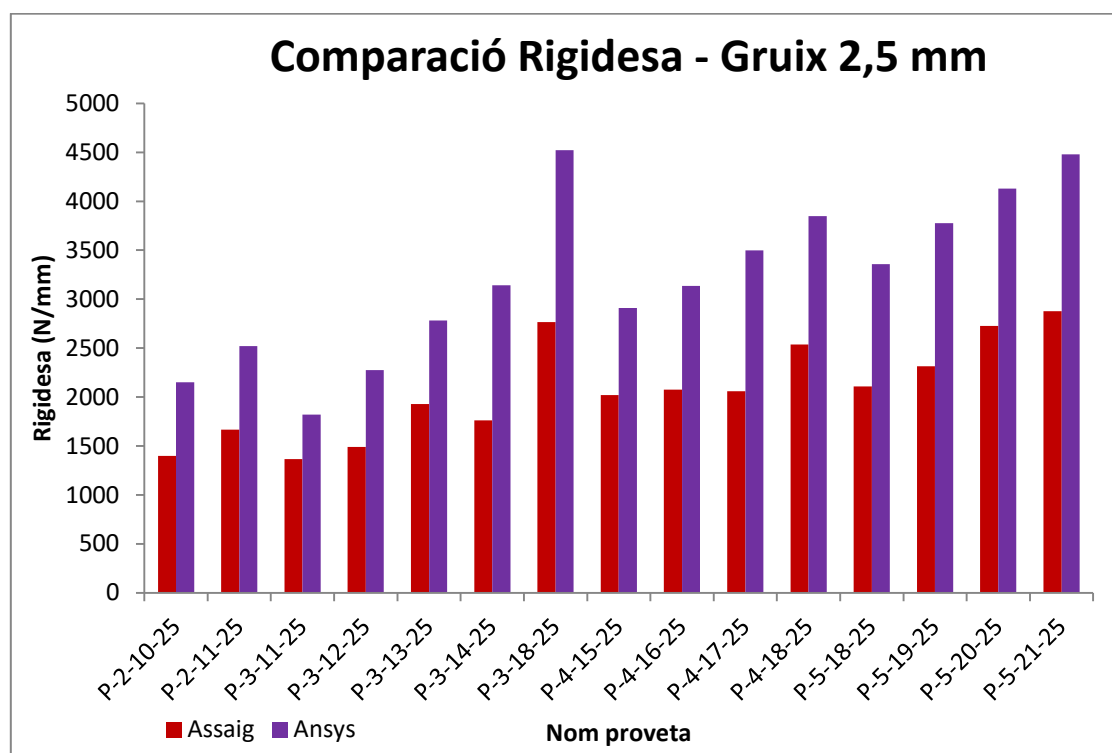


Figura 68: Comparació rigideses per provetes amb gruix de barra de 2,5mm

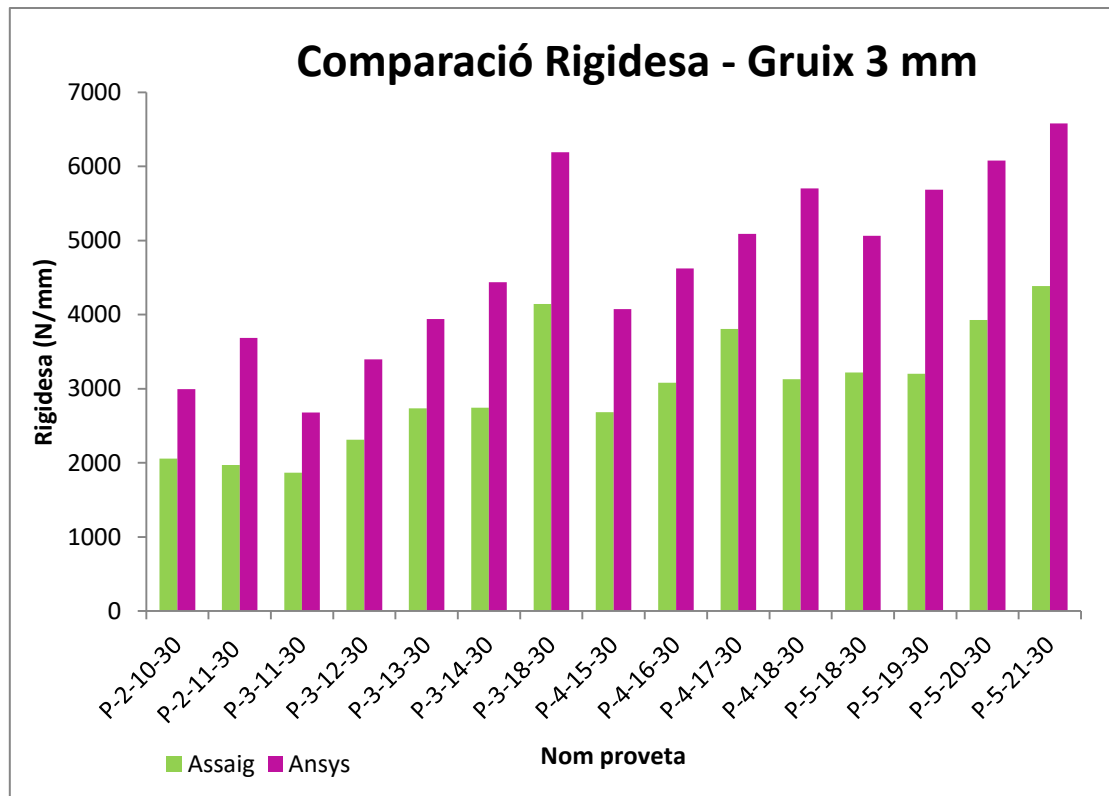


Figura 69: Comparació rigideses per provetes amb gruix de barra de 3mm

En els tres casos podem veure que els resultats experimentals, en general, segueixen la mateixa tendència que els teòrics però aquests primers tenen un valor més baix.

Una de les causes que provoquen aquesta diferència és que a l'hora d'imprimir les capes de les barres, tal i com es mostra a la imatge següent [70], la impressora deixa espais buits. Aquest fenomen no es té en compte a l'Ansys i provoca que els valors teòrics siguin més elevats.



Figura 70: Espais buits que deixa la impressora a l'hora d'imprimir les barres

9.4.2 Comparació del ràtio rigidesa - pes

A continuació es procedeix a comparar els valors teòrics i experimentals del ràtio rigidesa – pes.

En aquest cas es mostren directament els gràfics on s'han separat les provetes segons el gruix de barra [71 - 73].

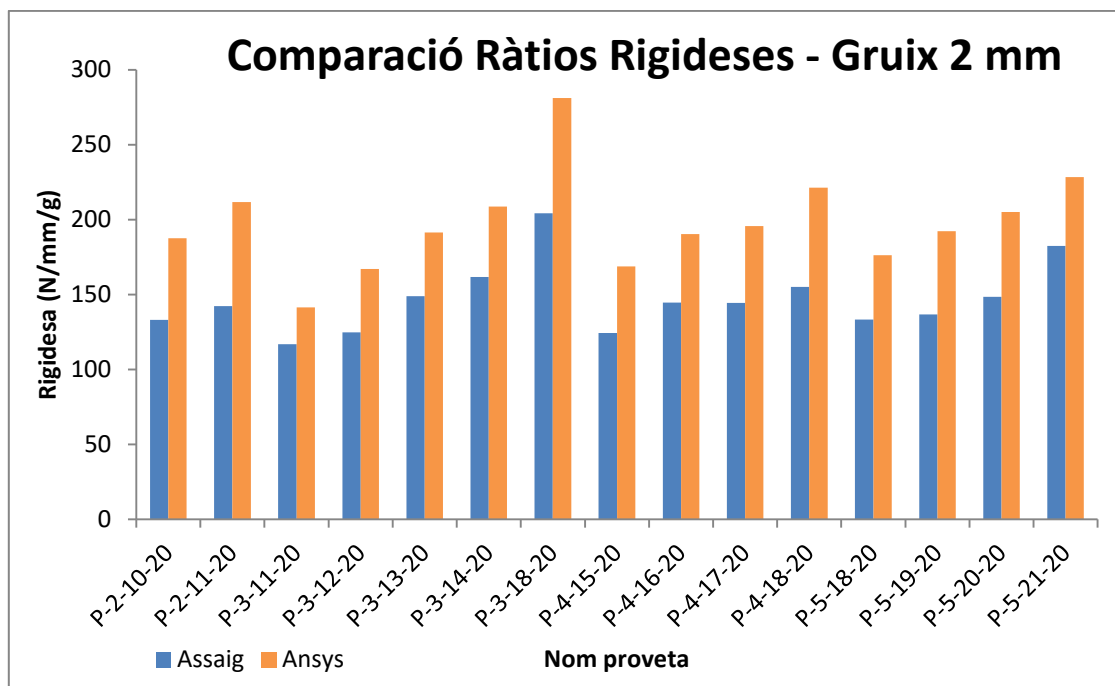


Figura 71: Comparació del ràtio per provetes amb gruix de barra de 2mm

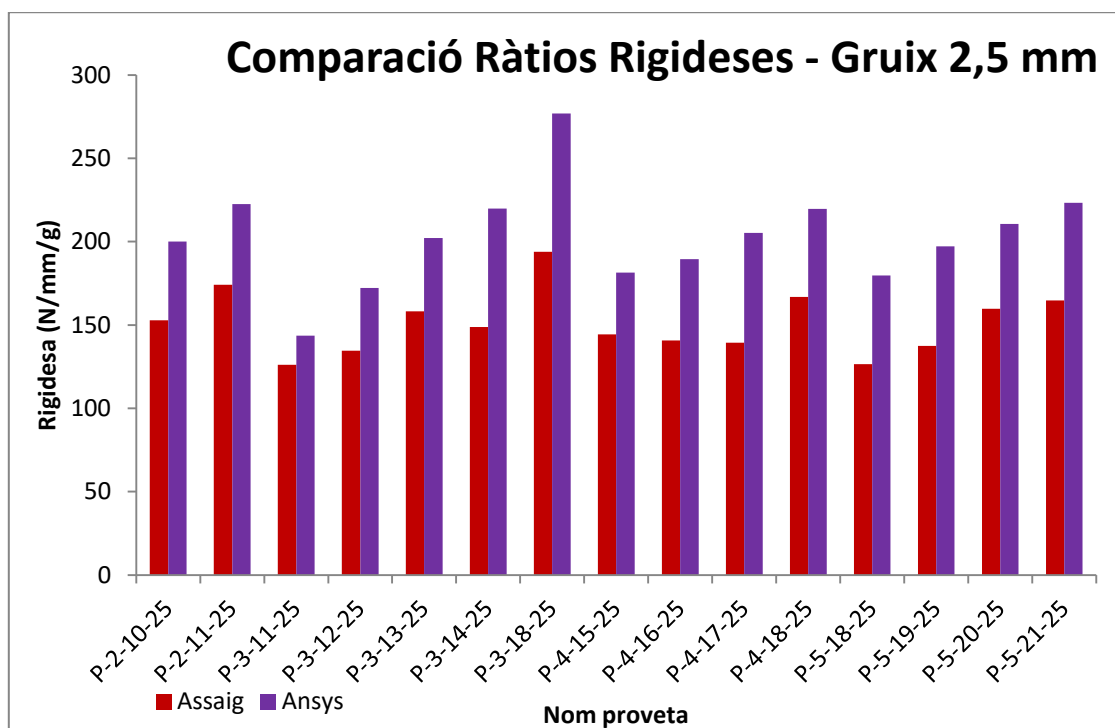


Figura 72: Comparació del ràtio per provetes amb gruix de barra de 2,5mm

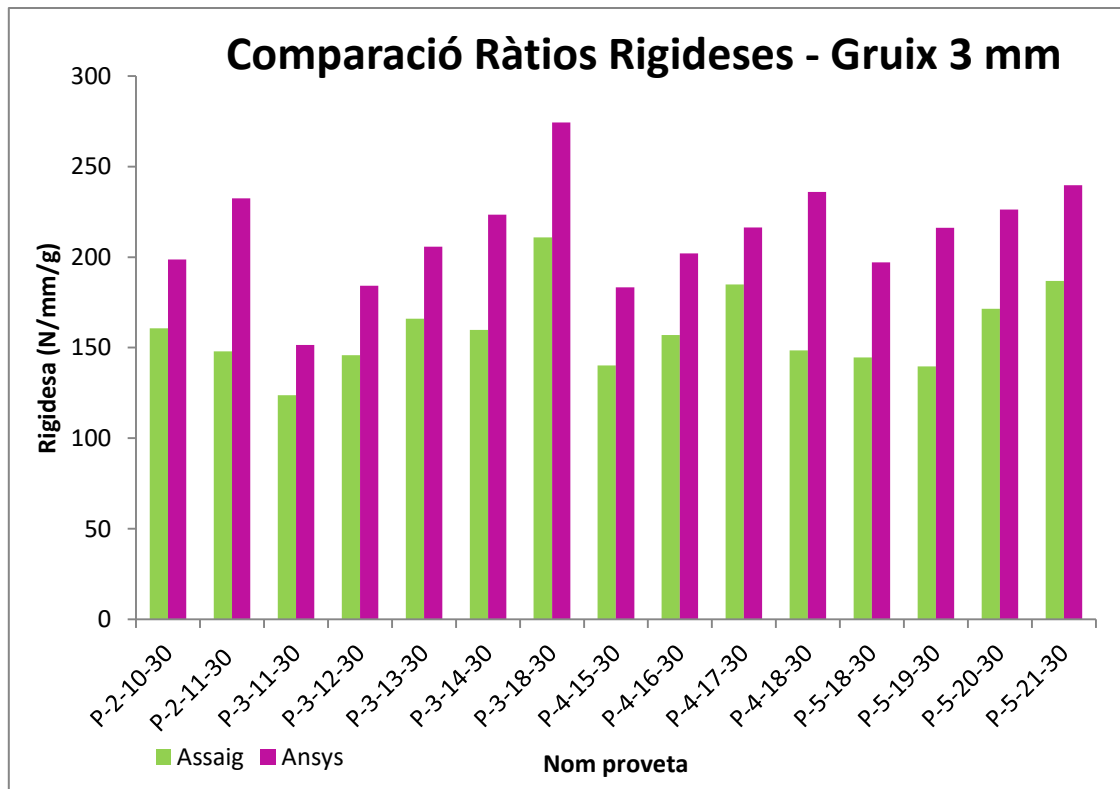


Figura 73: Comparació del ràtio per provetes amb gruix de barra de 3mm

Els valors experimentals del ràtio, tot i la desviació en algunes provetes, també segueixen la mateixa tendència dels valors teòrics però sempre amb un valor més baix. El motiu d'aquesta desviació pot ser que les provetes on aquest apareix, tot i pesar més, tenen més defectes a les anteriors i això provoca una disminució en la rigidesa. El fet de que els valors obtinguts numèricament siguin més elevats que els experimentals, igual que abans, en part és degut al mètode de fabricació.

10. Conclusions

Amb la configuració adequada dels paràmetres de la impressora és possible imprimir estructures reticulades en 3D.

No és possible imprimir barres de gruix inferior als 2 mm.

L'estructura, a diferència del que s'esperava, col·lapsa en el moment que trenquen les barres en comptes de per la part dels nusos.

El 75,5% de les provetes assajades han trencat per la part de les barres del pis superior. El pis superior és la part de la impressió on hi ha més diferència tèrmica ja que els pisos inferiors estan més a prop del llit i aquest està calent per garantir l'adhesió de les peces.

L'estructura assajada amb valors de càrrega màxima, de rigidesa i de ràtio més alts ha estat la P-5-21-30 (estructura de 5 pisos i 21 barres de gruix 3mm cada una).

Per un mateix tipus d'estructura, augmentar el gruix de barra 0.5 mm implica un augment de la rigidesa de 1,5 vegades, un augment de 2 vegades pel que fa a la càrrega màxima i un augment de 1.3 vegades del ràtio càrrega – pes.

El ràtio rigidesa – pes no varia gaire al augmentar el gruix de barra per un mateix tipus d'estructura. Això significa que per augmentar la rigidesa a la vegada que s'està aprofitant el material utilitzat és millor buscar diferents tipus d'estructura. Generalment cal augmentar el número de barres tot mantenint el número de pisos.

Al augmentar el número de barres també ho fa l'angle que aquestes formen amb la base, per tant, la llargada de les barres disminueixen.

A l'hora d'escollir tipus d'estructura, cal buscar la que per un mateix numero de pisos tingui el màxim número de barres. A mesura que s'augmenta el número de barres també ho fa l'angle que formen les barres amb la base. L'augment d'aquests dos factors implica augmentar la càrrega màxima, la rigidesa i el ràtio càrrega – pes de l'estructura. Ara bé, arriba un punt que per seguir augmentant el número de barres i mantenir la forma triangular, cal augmentar el número de pisos. Això implica una disminució notable de l'angle i conseqüentment disminueix la càrrega màxima, la rigidesa i el ràtio de l'estructura.

Sempre que es tingui en compte el comentat en el paràgraf anterior és favorable augmentar el número de pisos.

Fer els càlculs teòrics és útil per conèixer les tendències de les estructures, és a dir, saber que un tipus aguantarà més o menys que un altre però no per obtenir valors acurats. Això és degut a que el mètode de fabricació utilitzat genera factors molt complicats de tenir en compte a l'hora de realitzar aquests càlculs.

11. Relació de documents

Memòria i Annexos

Pressupost

ANNEX A

A.1 Resultats de l'assaig

A continuació es mostren els informes del resultats dels assaigs de cada una de les provetes.

Aquests es mostren en un seguit de taules on:

- $\delta_{\text{màx}}$ (mm) = Desplaçament de la proveta des del principi de l'assaig fins arribar a la càrrega màxima [74].
- $\delta^*_{\text{màx}}$ (mm) = Desplaçament corregit a partir del pendent de la gràfica [74].

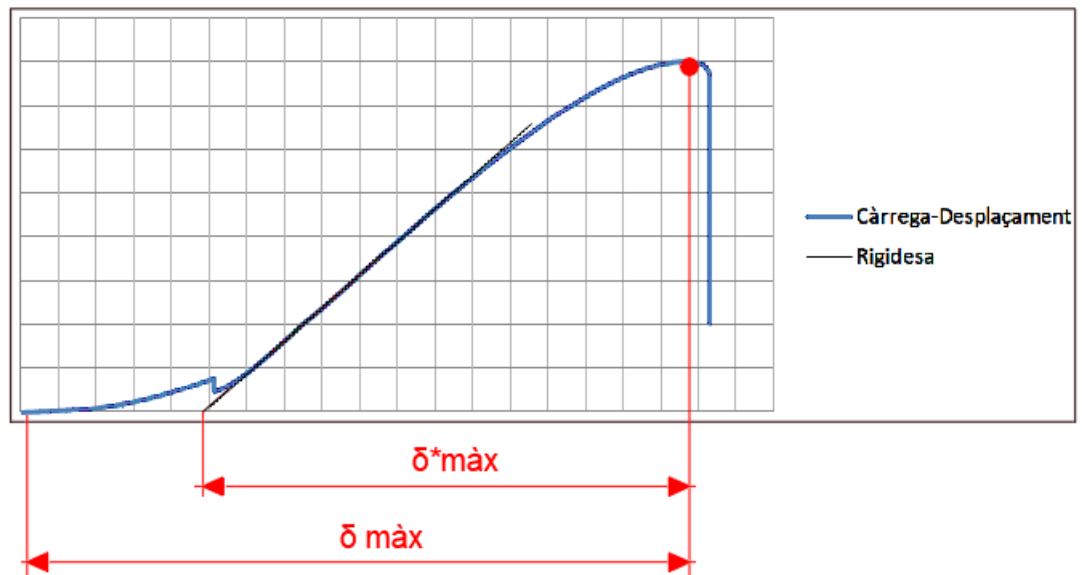
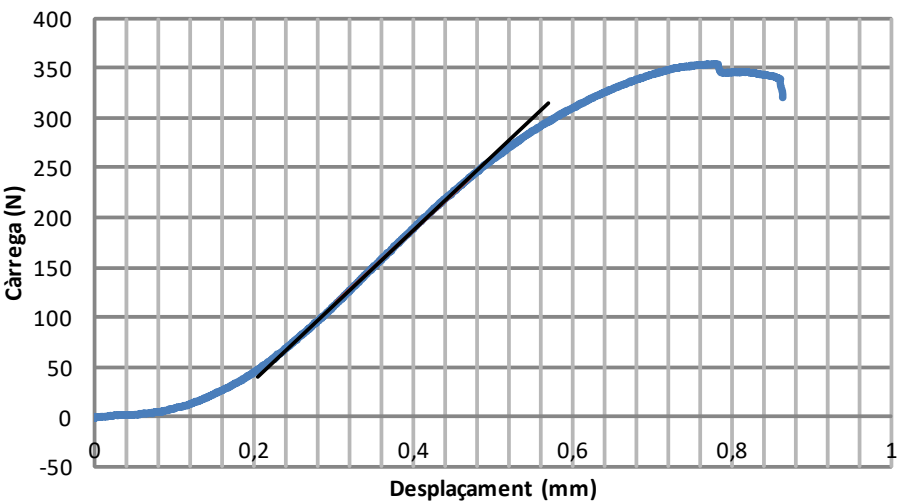
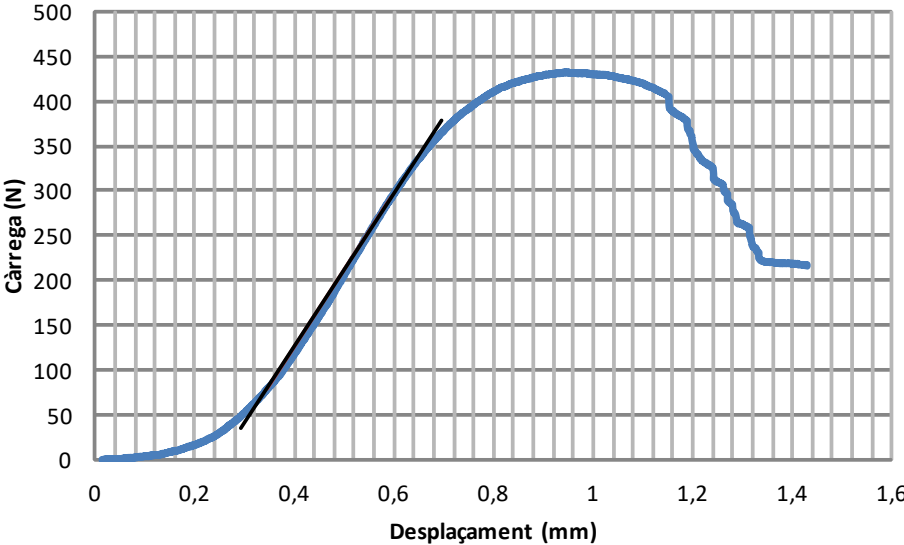


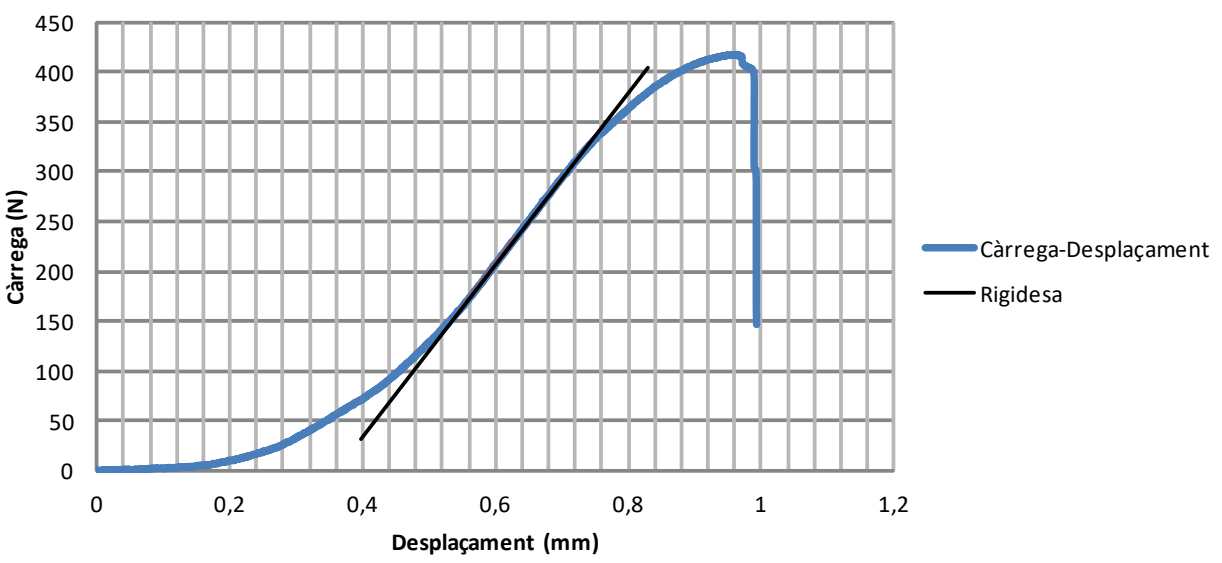
Figura 74: Representació de $\delta_{\text{màx}}$ i $\delta^*_{\text{màx}}$

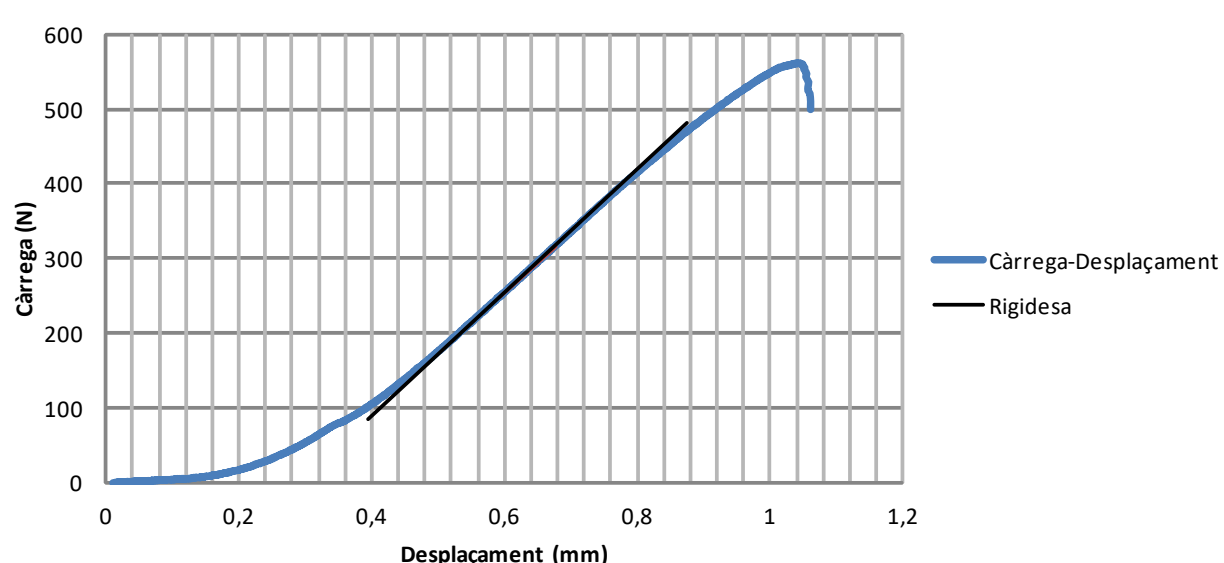
A.1.1 Informes resultats provetes de gruix 2mm

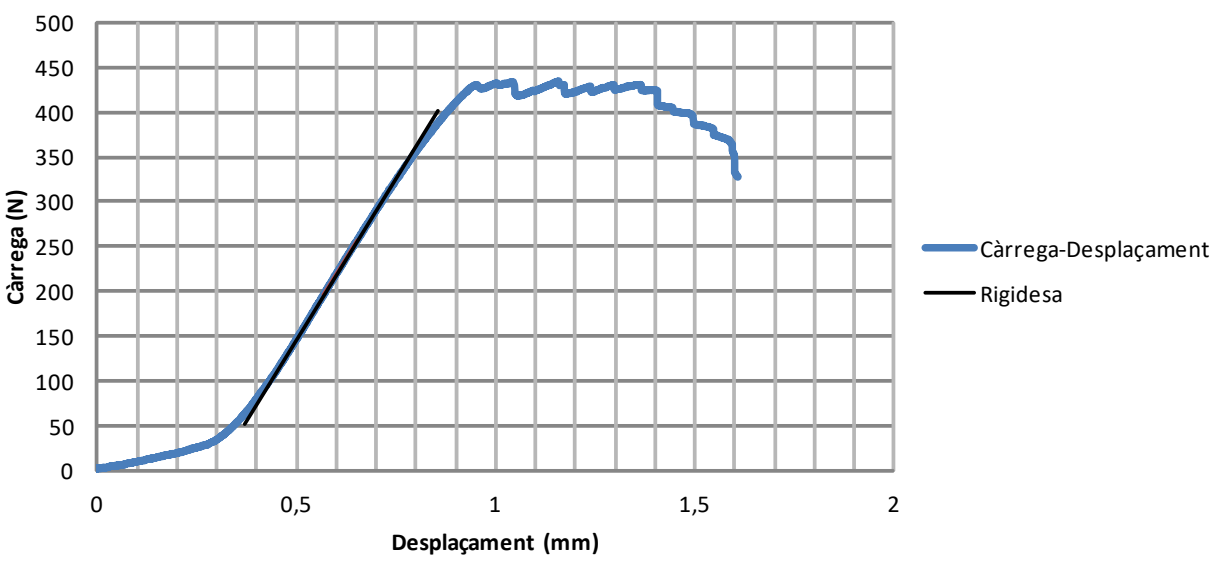
NOM PROVETA							
P-2-10-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	24/05/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	5,84
nº Pisos:	2	nº Barres:	10	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	396,29	δ màx (mm):	0,82	δ*màx (mm):	0,68	Rigidesa (N/mm):	806,75
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament resultant. La corba blava representa la càrrega-desplaçament, i la línia negra representa la rigidesa. La càrrega màxima registrada és de 396,29 N a un desplaçament de 0,82 mm.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

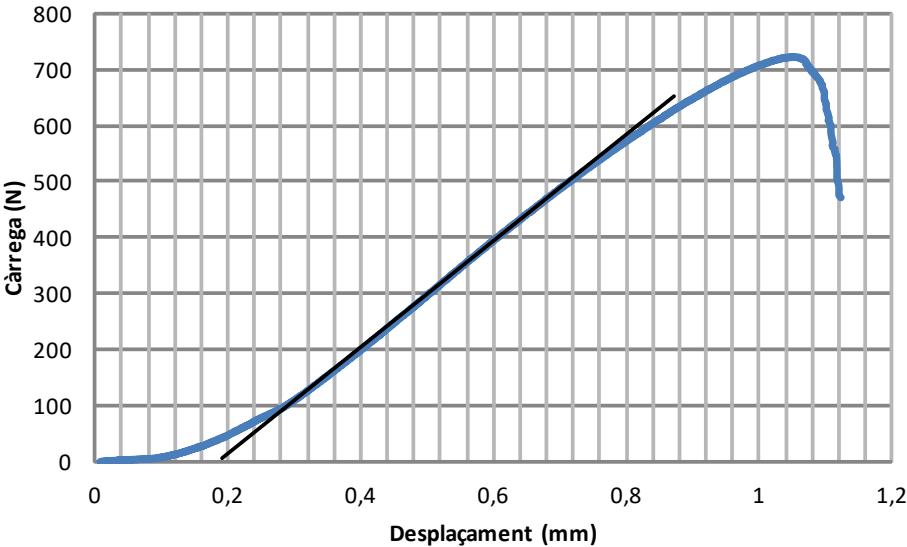
NOM PROVETA							
P-2-10-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	25/05/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	5,87
nº Pisos:	2	nº Barres:	10	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	353,71	δ màx (mm):	0,77	δ*màx (mm):	0,62	Rigidesa (N/mm):	751,68
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

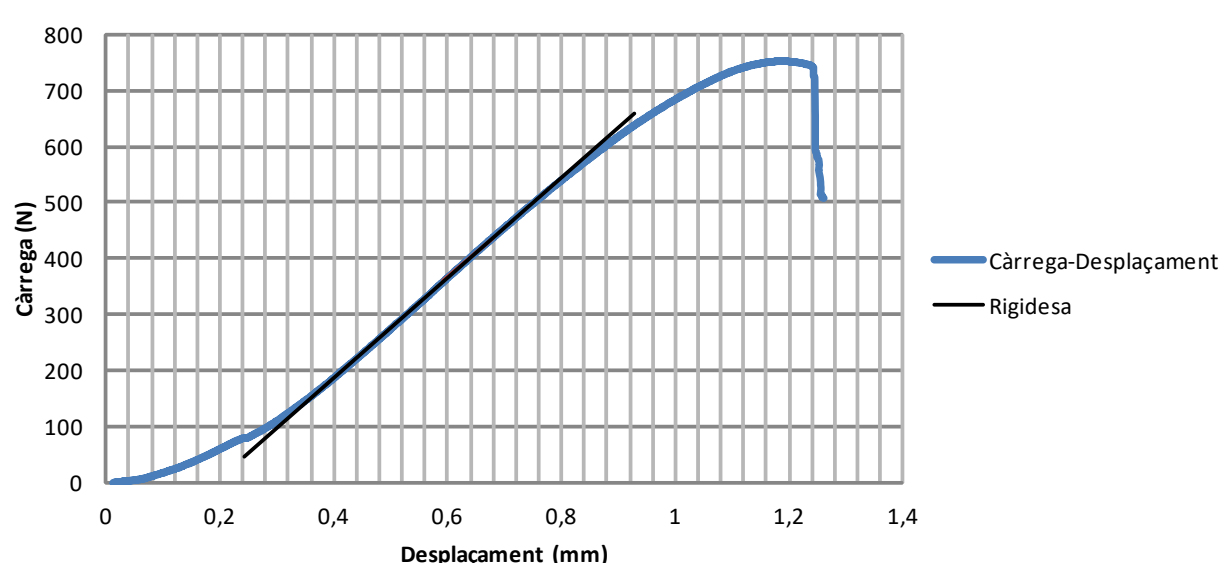
NOM PROVETA							
P-2-11-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	25/05/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	6,06
nº Pisos:	2	nº Barres:	11	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	433,49	δ màx (mm):	0,95	δ*màx (mm):	0,70	Rigidesa (N/mm):	858,08
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament resultant. La corba blava representa la càrrega-desplaçament, i la línia negra representa la rigidesa. La rigidesa es calcula com la pendent inicial de la corba de càrrega-desplaçament.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

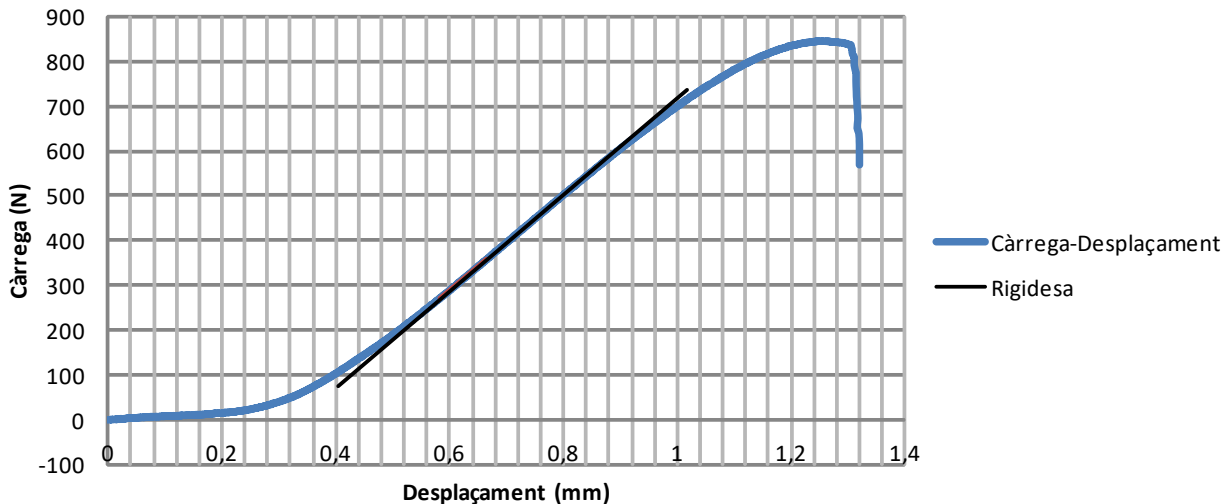
NOM PROVETA							
P-2-11-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	26/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	6,02
nº Pisos:	2	nº Barres:	11	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	417,94	δ màx (mm):	0,96	δ*màx (mm):	0,60	Rigidesa (N/mm):	861,26
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament resultant. La corba blava representa la càrrega-desplaçament, i la línia negra representa la rigidesa. La rigidesa es calcula com la pendent inicial de la corba.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

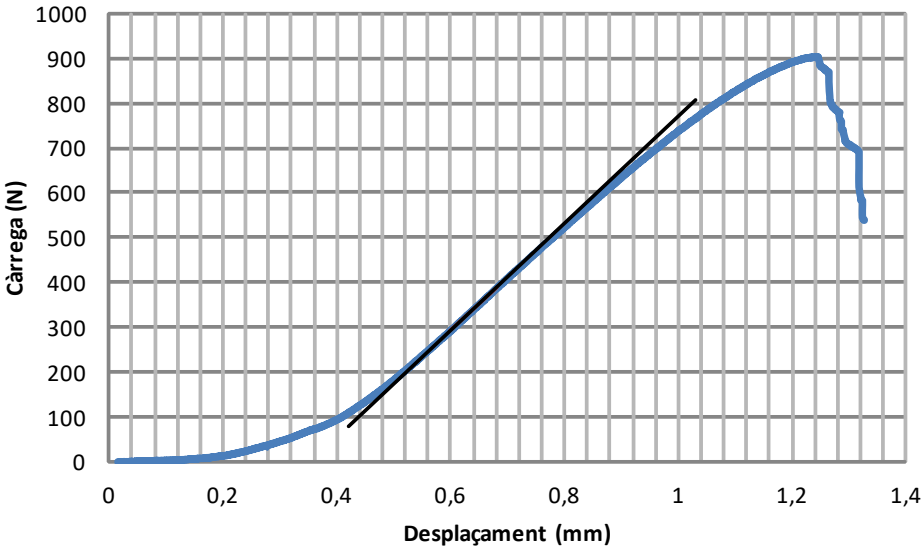
NOM PROVETA							
P-3-11-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	28/05/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	7,02
nº Pisos:	3	nº Barres:	11	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	562,34	δ màx (mm):	1,04	δ*màx (mm):	0,75	Rigidesa (N/mm):	820,05
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

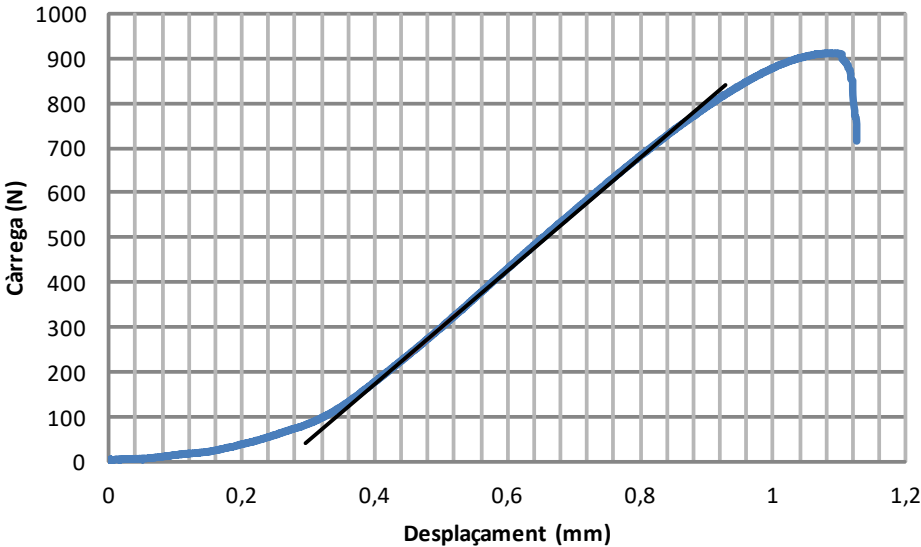
NOM PROVETA							
P-3-11-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	22/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	6,88
nº Pisos:	3	nº Barres:	11	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	434,61	δ màx (mm):	1,16	δ*màx (mm):	0,86	Rigidesa (N/mm):	720,89
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

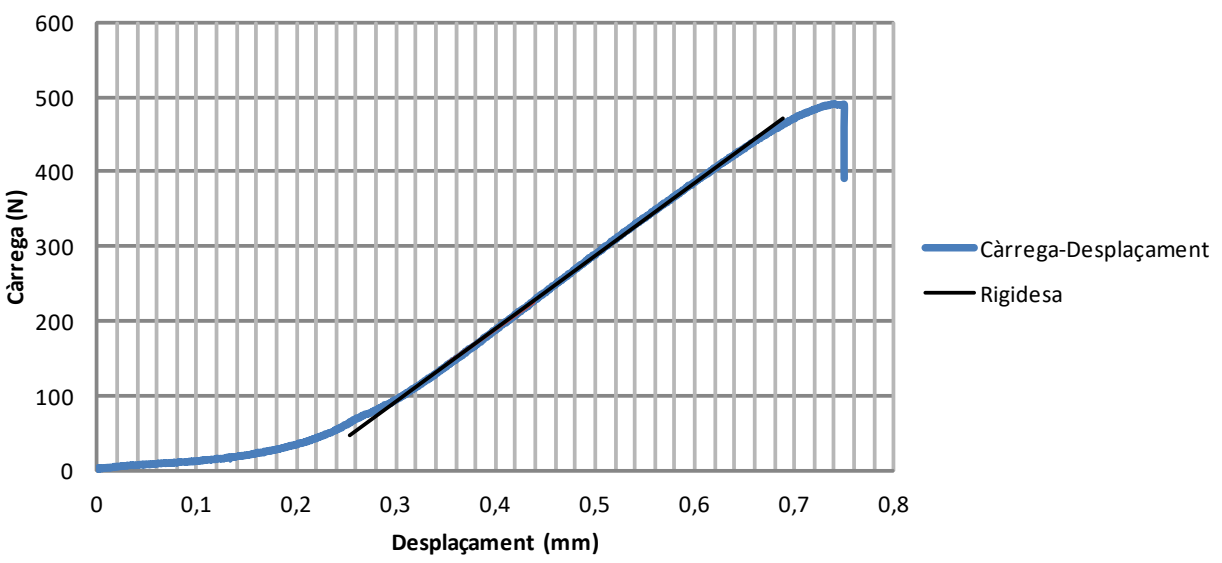
NOM PROVETA							
P-3-12-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	28/05/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	7,25
nº Pisos:	3	nº Barres:	12	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	721,95	δ màx (mm):	1,05	δ*màx (mm):	0,87	Rigidesa (N/mm):	943,63
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

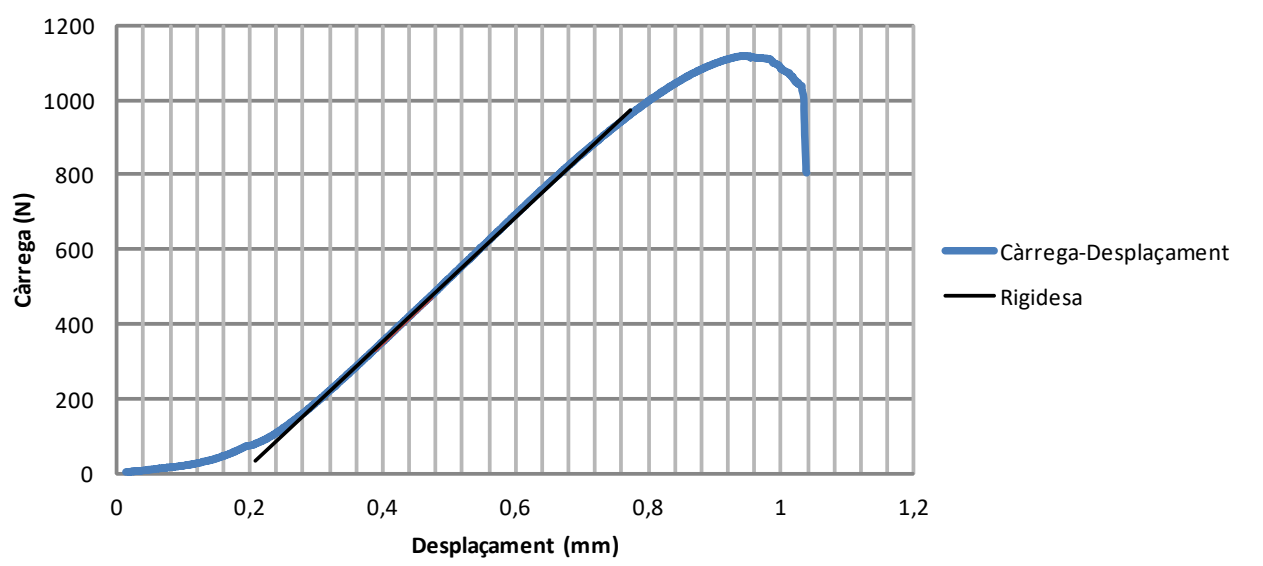
NOM PROVETA							
P-3-12-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	20/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	7,47
nº Pisos:	3	nº Barres:	12	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	752,19	δ màx (mm):	1,19	δ*màx (mm):	1,00	Rigidesa (N/mm):	892,55
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

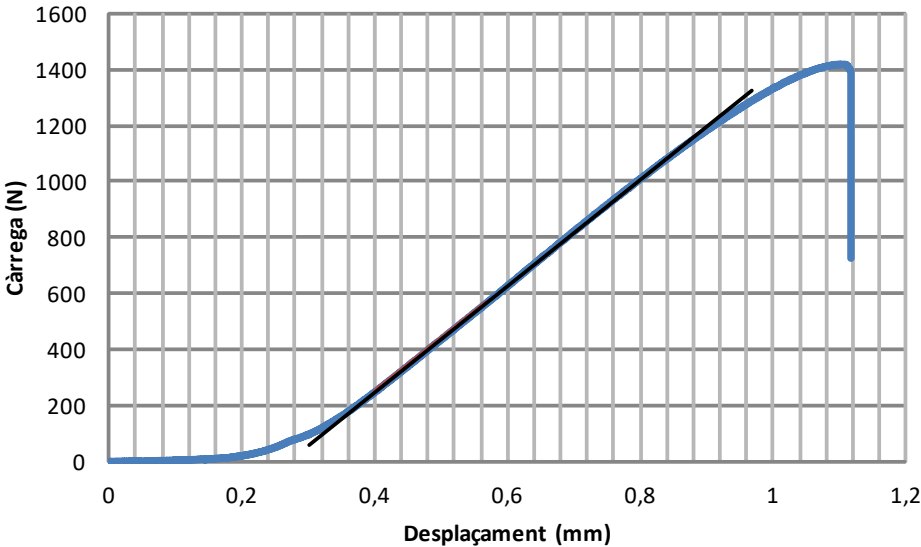
NOM PROVETA							
P-3-13-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	28/05/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	7,5
nº Pisos:	3	nº Barres:	13	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	844,3	δ màx (mm):	1,25	δ*màx (mm):	0,92	Rigidesa (N/mm):	1075,49
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la prova. L'eix vertical representa la càrrega en Newtons (N), amb una escala de -100 a 900. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 1,4. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', comença a l'origen, manté una càrrega baixa fins a uns 0,2 mm, després augmenta progressivament fins a assolir un màxim de 844,3 N a un desplaçament de 1,25 mm. A partir d'aquí, la càrrega cau bruscament. La línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', és una línia recta que representa la rigidesa de la prova, començant a uns 0,4 mm de desplaçament i 100 N de càrrega, i seguint la pendent de la corba blava fins a 1,0 mm de desplaçament i 700 N de càrrega.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

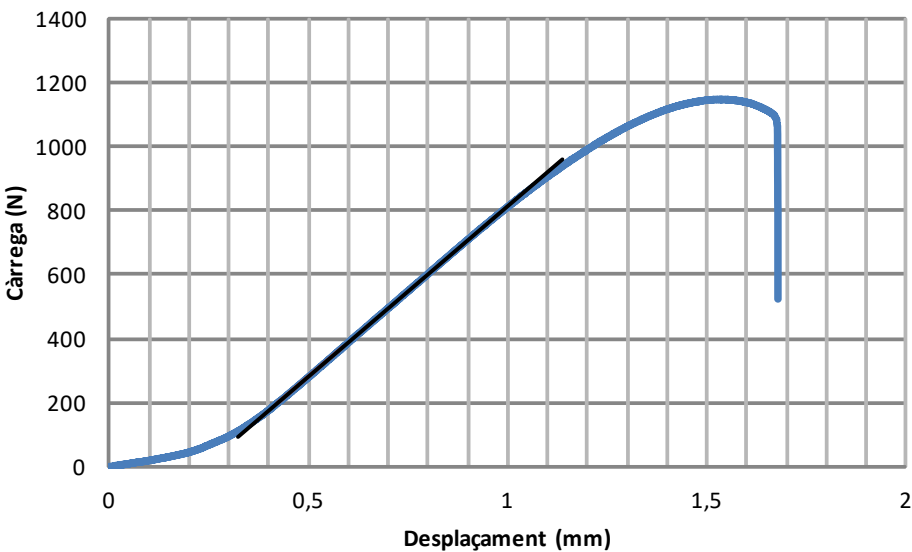
NOM PROVETA							
P-3-13-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	22/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	7,7
nº Pisos:	3	nº Barres:	13	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80		H _T (mm):		56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	904,37	δ màx (mm):	1,24	δ*màx (mm):	0,89	Rigidesa (N/mm):	1188,06
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega (N)</div><div>Desplaçament (mm)</div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

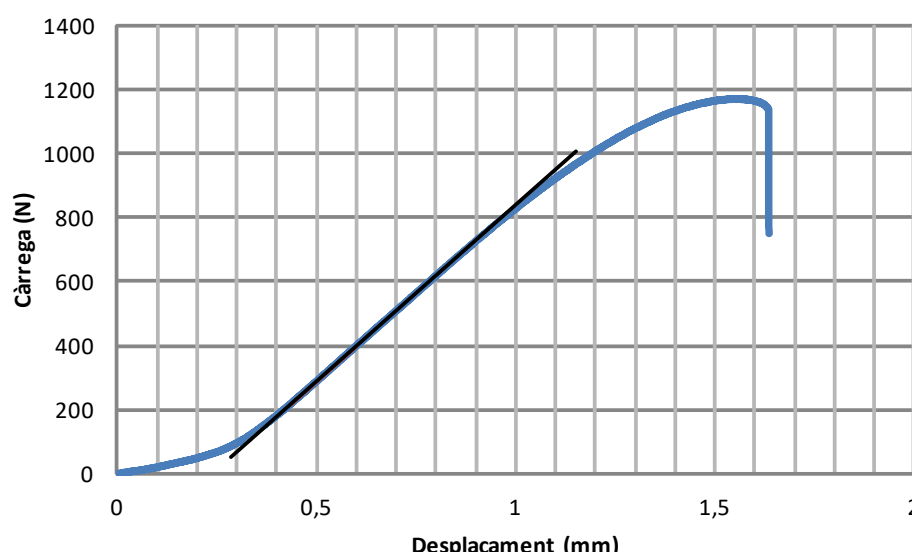
NOM PROVETA							
P-3-14-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	28/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	7,83
nº Pisos:	3	nº Barres:	14	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80		H _T (mm):		56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	910,48	δ màx (mm):	1,09	δ*màx (mm):	0,82	Rigidesa (N/mm):	1265,82
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega (N)</div><div>Desplaçament (mm)</div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

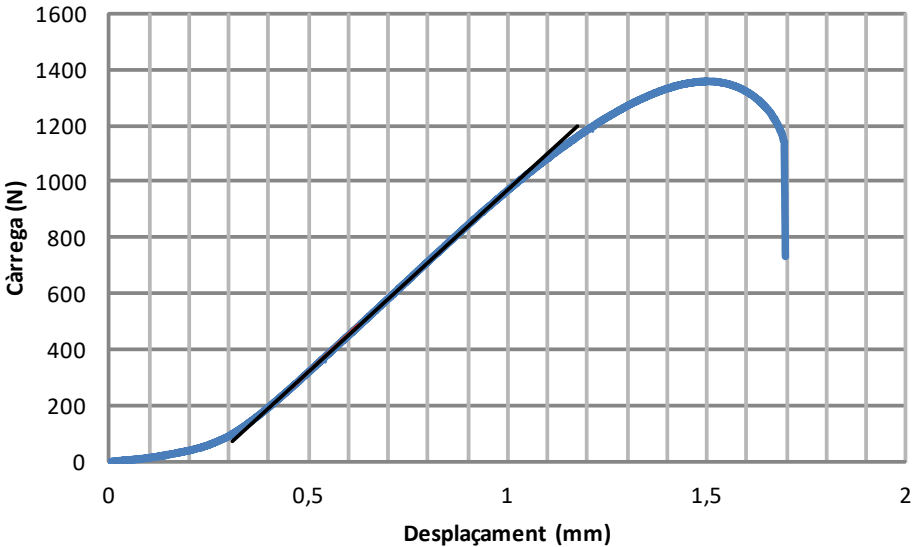
NOM PROVETA							
P-3-14-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	21/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	7,45
nº Pisos:	3	nº Barres:	14	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	490,59	δ màx (mm):	0,74	δ*màx (mm):	0,53	Rigidesa (N/mm):	978,41
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior. Proveta defectuosa, aguanta molt poc.							

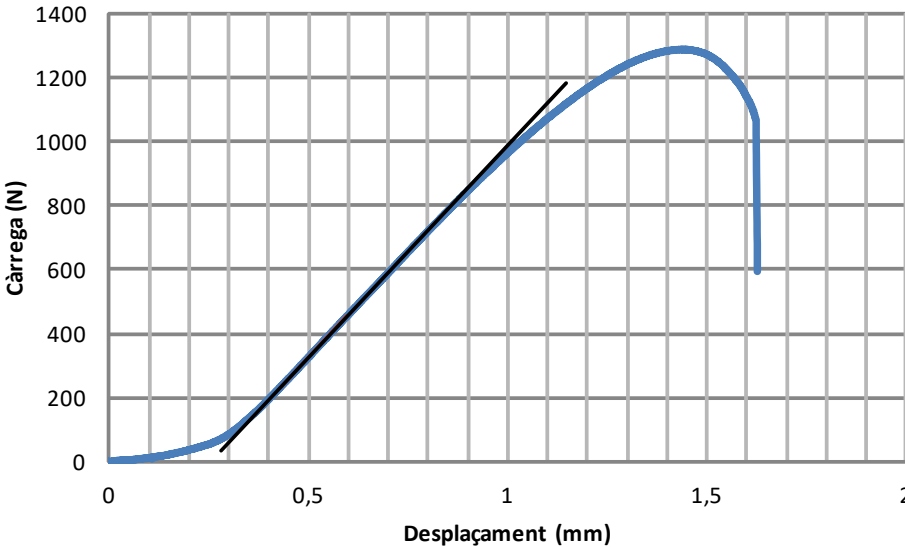
NOM PROVETA							
P-3-18-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	28/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	8,92
nº Pisos:	3	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1118,5	δ màx (mm):	0,94	δ*màx (mm):	0,75	Rigidesa (N/mm):	1665,33
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la prova. L'eix vertical representa la càrrega en Newtons (N), amb una escala de 0 a 1200. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 1,2. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', comença a l'origen, augmenta progressivament fins a assolir un màxim de 1118,5 N a un desplaçament de 0,94 mm, i després es trenca bruscament a 800 N a 1,0 mm. La línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', representa la rigidesa de la prova i és una línia recta que coincideix amb la part inicial de la corba blava.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

NOM PROVETA							
P-3-18-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	21/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	9,25
nº Pisos:	3	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1415,5	δ màx (mm):	1,10	δ*màx (mm):	0,83	Rigidesa (N/mm):	1890,26
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la prova. L'eix vertical representa la càrrega en Newtons (N), amb una escala de 0 a 1600. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 1,2. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', comença a zero, manté una càrrega baixa fins a uns 0,2 mm, després augmenta de manera no lineal fins a assolir un màxim de 1415,5 N a un desplaçament de 1,10 mm. A partir d'aquí, la càrrega cau bruscament. La línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', és una línia recta que representa la rigidesa de la prova, començant a uns 0,25 mm de desplaçament i 100 N de càrrega, i seguint la pendent de la corba blava fins a aproximadament 0,83 mm de desplaçament i 1415,5 N de càrrega.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

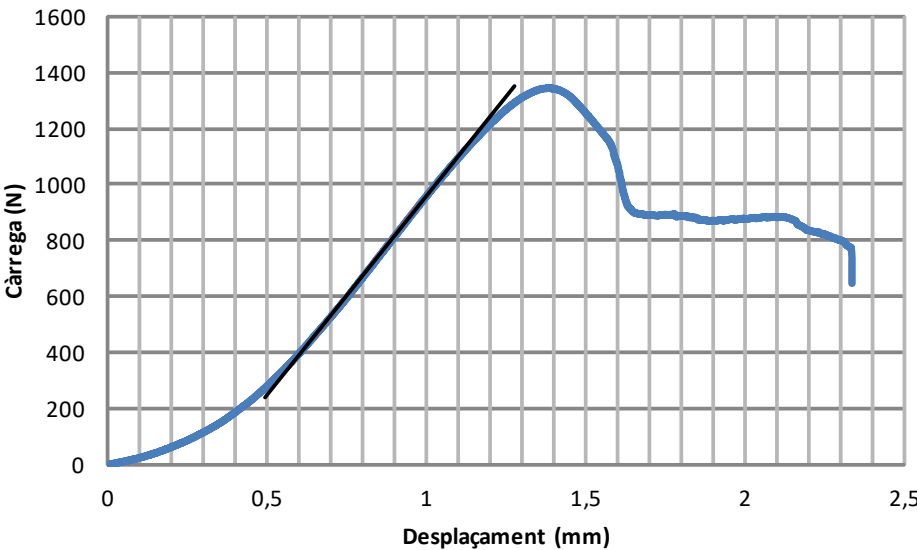
NOM PROVETA							
P-4-15-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	29/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	8,67
nº Pisos:	4	nº Barres:	15	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1145,3	δ màx (mm):	1,54	δ*màx (mm):	1,30	Rigidesa (N/mm):	1062,79
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

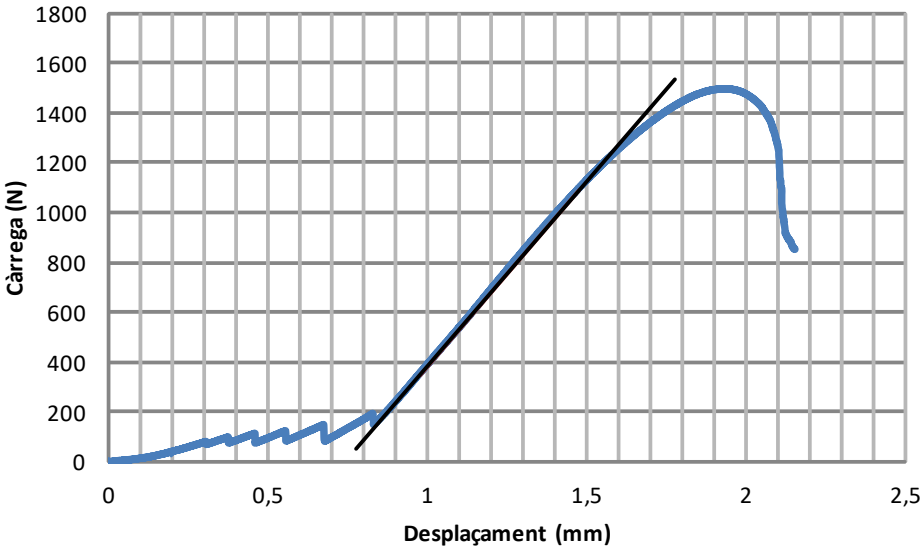
NOM PROVETA							
P-4-15-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	22/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	8,75
nº Pisos:	4	nº Barres:	15	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1168,3	δ màx (mm):	1,56	δ*màx (mm):	1,32	Rigidesa (N/mm):	1104,05
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

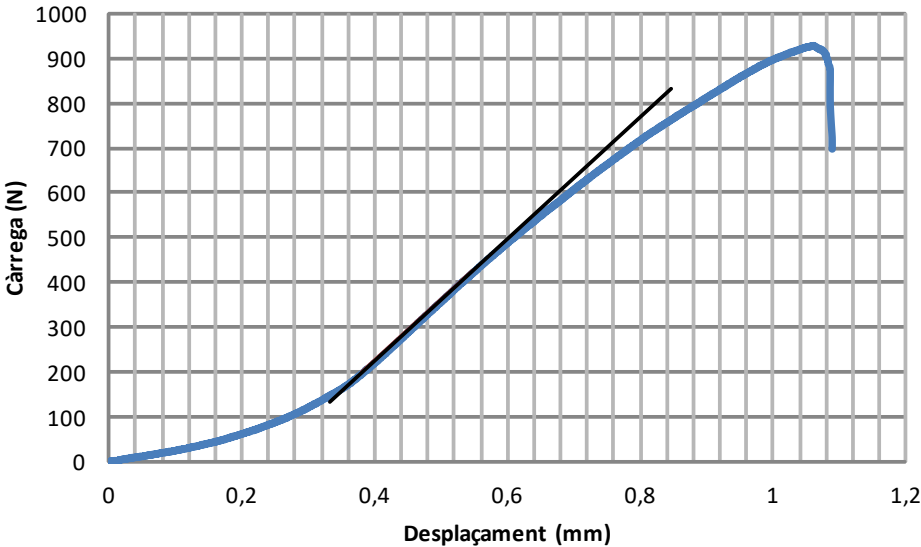
NOM PROVETA							
P-4-16-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	29/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	8,99
nº Pisos:	4	nº Barres:	16	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1359,9	δ màx (mm):	1,50	δ*màx (mm):	1,25	Rigidesa (N/mm):	1296,65
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

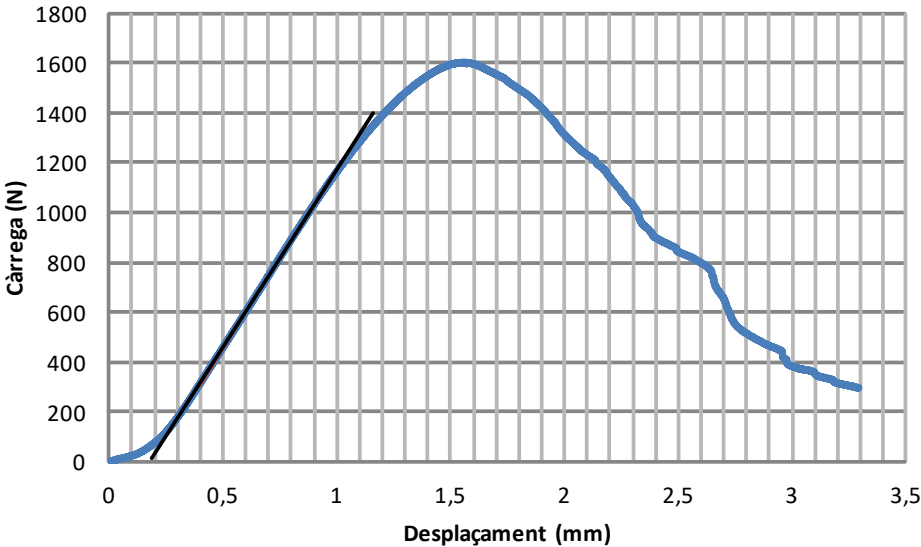
NOM PROVETA							
P-4-16-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	21/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	9,1
nº Pisos:	4	nº Barres:	16	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1286,6	δ màx (mm):	1,44	δ*màx (mm):	1,19	Rigidesa (N/mm):	1321,27
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega (N)</div><div>Desplaçament (mm)</div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

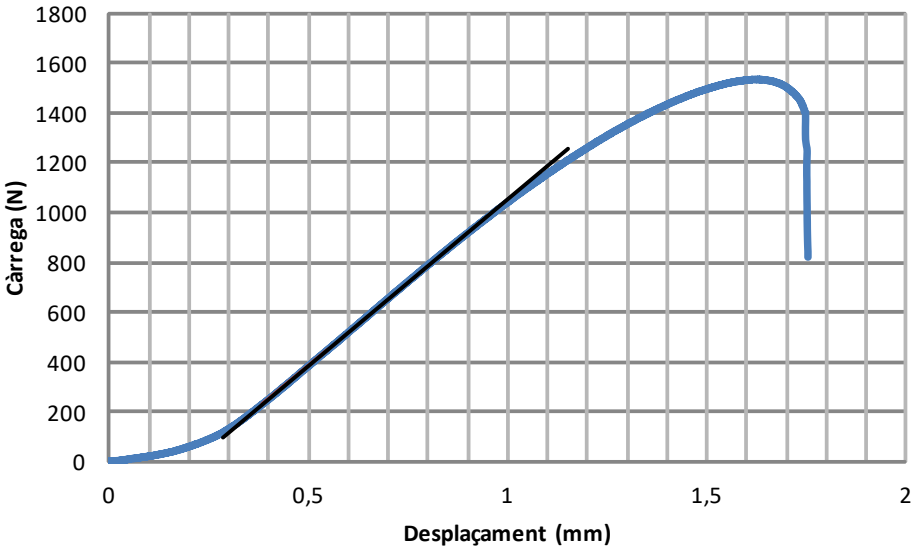
NOM PROVETA							
P-4-17-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	29/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	9,25
nº Pisos:	4	nº Barres:	17	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1292,8	δ màx (mm):	1,46	δ*màx (mm):	1,11	Rigidesa (N/mm):	1315,53
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

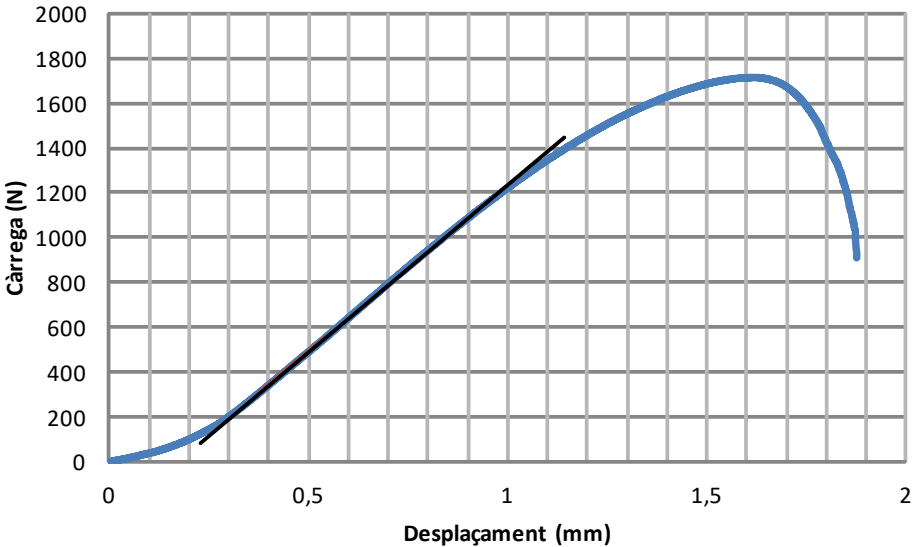
NOM PROVETA							
P-4-17-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	21/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	9,68
nº Pisos:	4	nº Barres:	17	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1342,8	δ màx (mm):	1,38	δ*màx (mm):	1,06	Rigidesa (N/mm):	1420,67
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega (N)</div><div>Desplaçament (mm)</div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres 3r pis començant per dalt.							

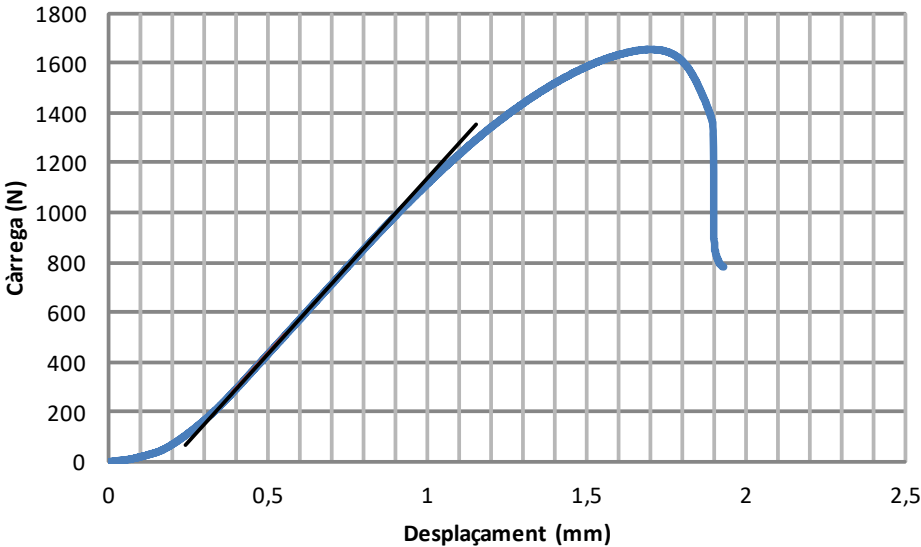
NOM PROVETA							
P-4-18-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	30/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	9,58
nº Pisos:	4	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1496,3	δ màx (mm):	1,93	δ*màx (mm):	1,19	Rigidesa (N/mm):	1485,54
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres del pis superior.							

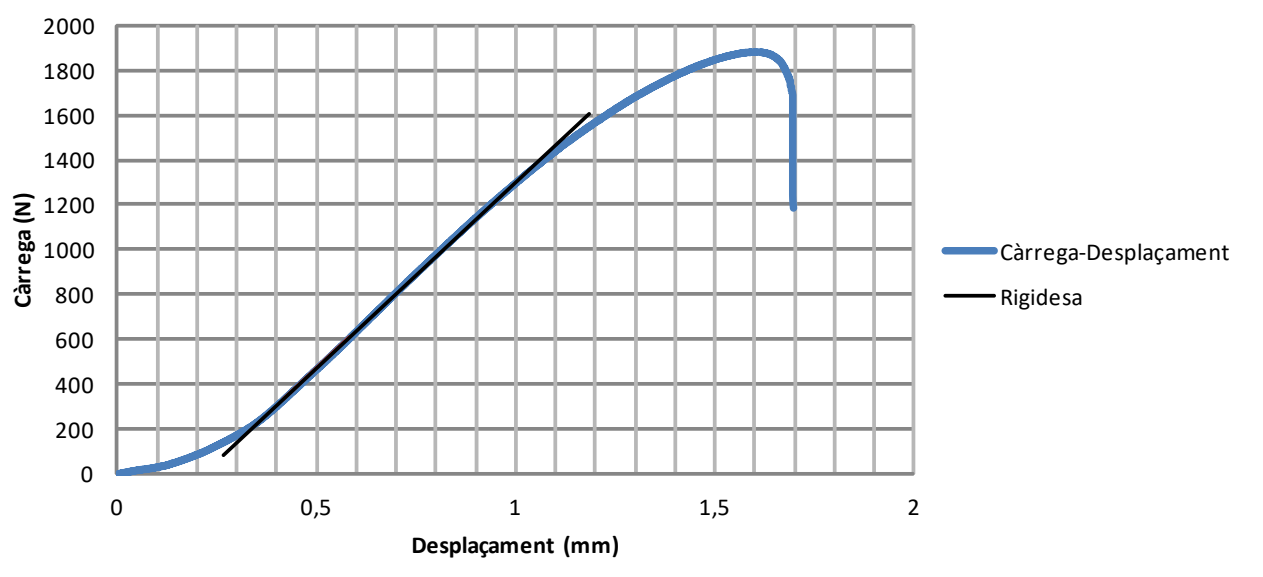
NOM PROVETA							
P-4-18-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	21/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	9,43
nº Pisos:	4	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	929,78	δ màx (mm):	1,06	δ*màx (mm):	0,83	Rigidesa (N/mm):	1356,03
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega (N)</div><div>Desplaçament (mm)</div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres del 2n pis començant per dalt.							

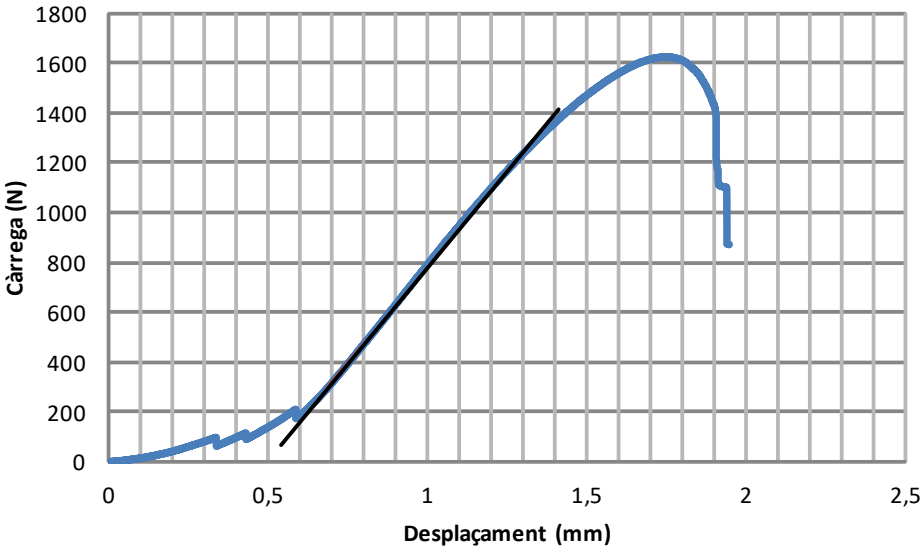
NOM PROVETA							
P-5-18-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	30/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,37
nº Pisos:	5	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1599,3	δ màx (mm):	1,55	δ*màx (mm):	1,37	Rigidesa (N/mm):	1435,14
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres del 4t pis començant per dalt.							

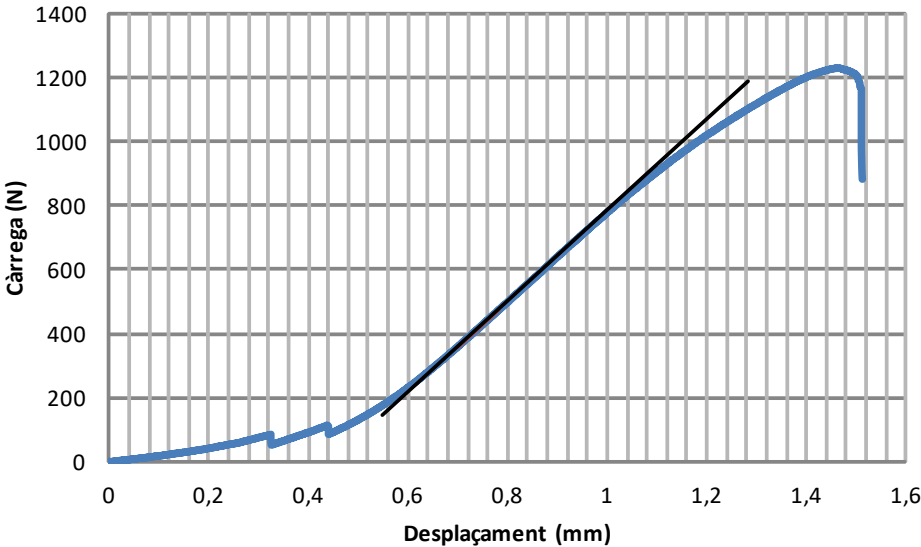
NOM PROVETA							
P-5-18-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	18/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,42
nº Pisos:	5	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1538,2	δ màx (mm):	1,63	δ*màx (mm):	1,42	Rigidesa (N/mm):	1338,93
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres del pis superior.							

NOM PROVETA							
P-5-19-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	30/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,58
nº Pisos:	5	nº Barres:	19	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1714,7	δ màx (mm):	1,61	δ*màx (mm):	1,44	Rigidesa (N/mm):	1479,86
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres del pis inferior.							

NOM PROVETA							
P-5-19-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	30/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,52
nº Pisos:	5	nº Barres:	19	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1653,6	δ màx (mm):	1,69	δ*màx (mm):	1,50	Rigidesa (N/mm):	1404,05
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres del pis superior.							

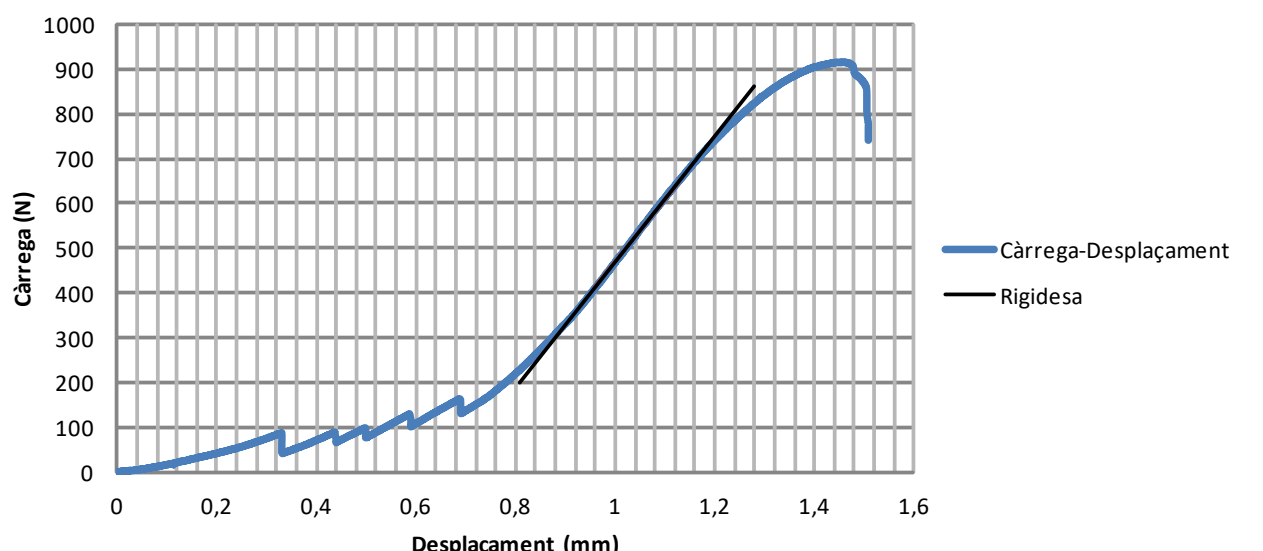
NOM PROVETA							
P-5-20-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	31/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,84
nº Pisos:	5	nº Barres:	20	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1882,2	δ màx (mm):	1,59	δ*màx (mm):	1,38	Rigidesa (N/mm):	1663,19
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres del pis superior.							

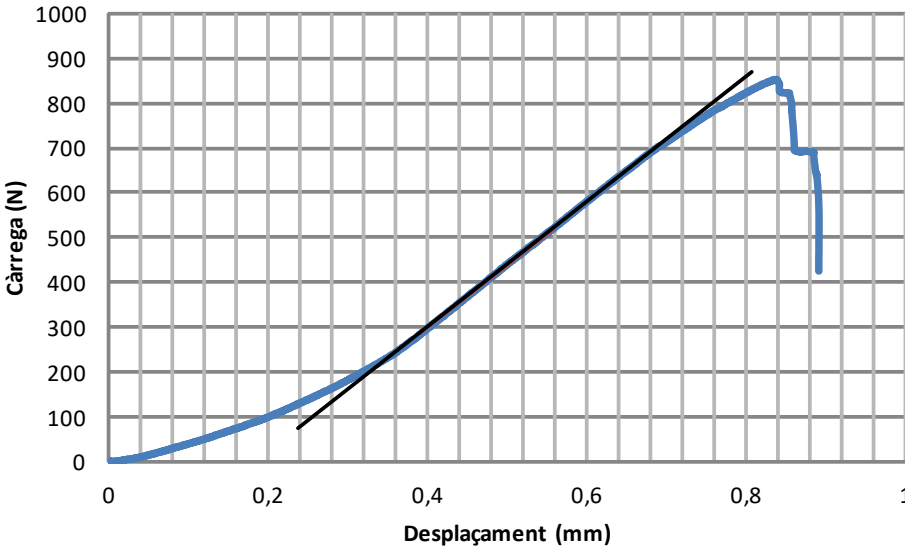
NOM PROVETA							
P-5-20-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	31/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,69
nº Pisos:	5	nº Barres:	20	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1621,7	δ màx (mm):	1,75	δ*màx (mm):	1,25	Rigidesa (N/mm):	1534,91
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres del pis superior.							

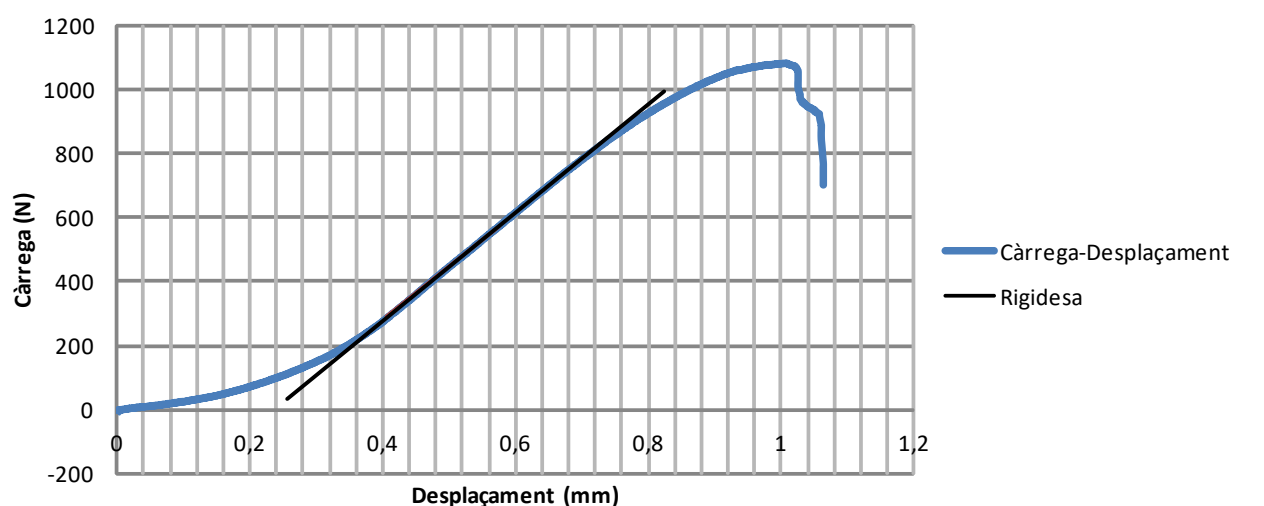
NOM PROVETA							
P-5-21-20-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	06/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,57
nº Pisos:	5	nº Barres:	21	Gruix (mm):	2	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1226	δ màx (mm):	1,46	δ*màx (mm):	1,01	Rigidesa (N/mm):	1423,49
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega (N)</div><div>Desplaçament (mm)</div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres del pis superior.							

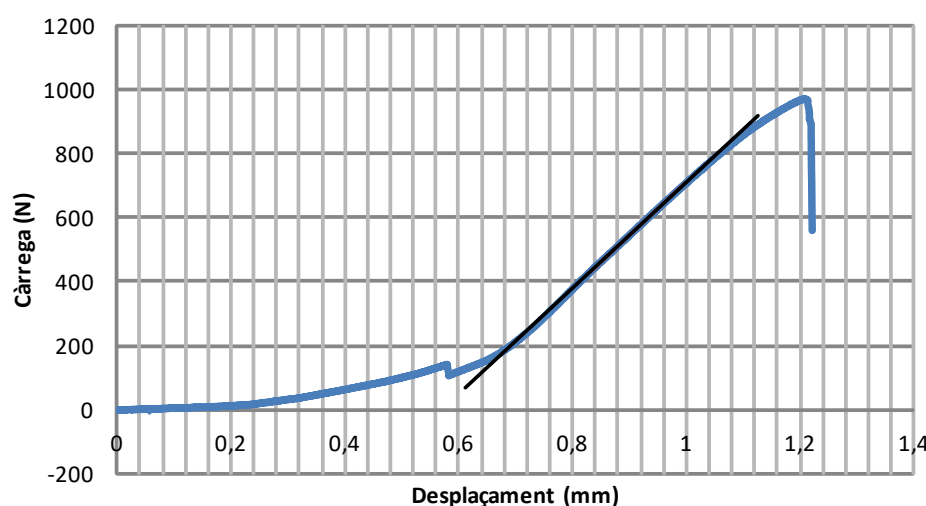
NOM PROVETA							
P-5-21-20-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	06/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,47
nº Pisos:	5	nº Barres:	21	Gruix (mm):	2	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2124,5	δ màx (mm):	1,88	δ*màx (mm):	1,55	Rigidesa (N/mm):	1910,71
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres del 4t pis començant per dalt.							

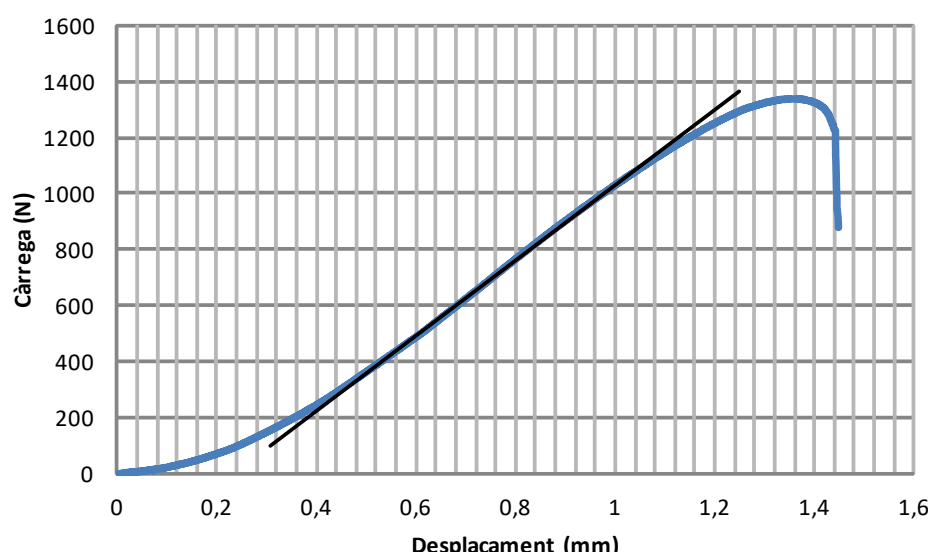
A.1.2 Informes resultats provetes de gruix 2.5 mm

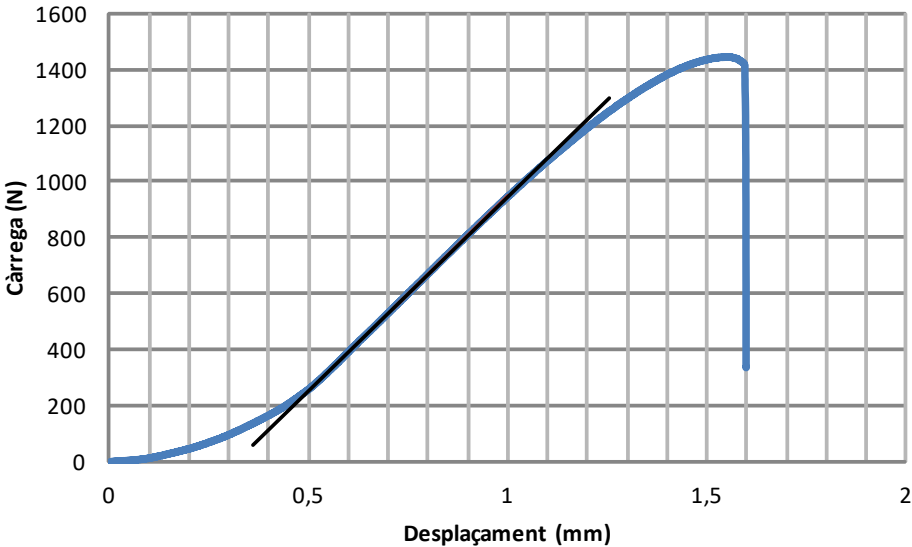
NOM PROVETA							
P-2-10-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	31/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	9,21
nº Pisos:	2	nº Barres:	10	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	915,97	δ màx (mm):	1,46	δ*màx (mm):	0,79	Rigidesa (N/mm):	1409,38
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la prova. L'eix vertical representa la càrrega en Newtons (N), amb una escala de 0 a 1000. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 1,6. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', mostra una progressió no lineal que arriba a un màxim de 915,97 N a un desplaçament de 1,46 mm, després de la qual es produeix una caiguda brusca. La línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', representa la rigidesa de la prova, que és constant fins a un desplaçament de 0,79 mm.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

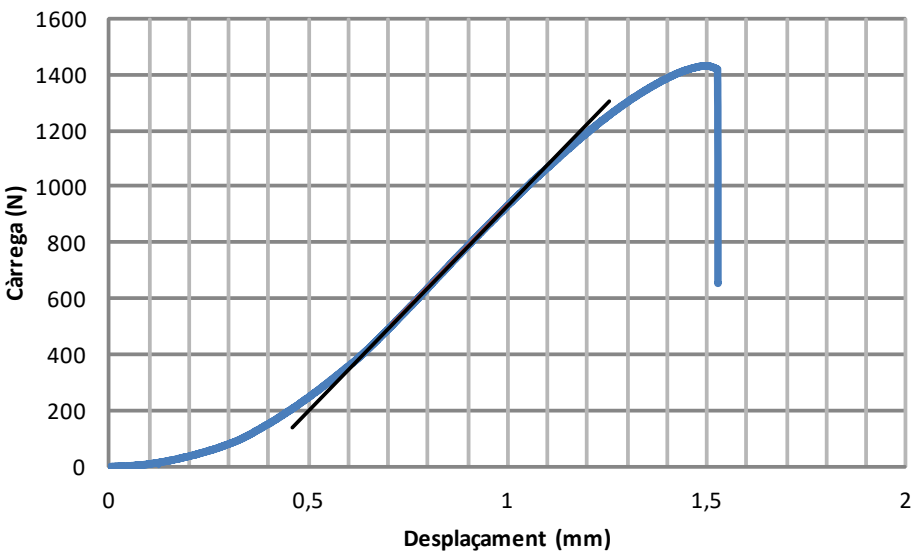
NOM PROVETA							
P-2-10-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	27/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	9,12
nº Pisos:	2	nº Barres:	10	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	852,42	δ màx (mm):	0,84	δ*màx (mm):	0,65	Rigidesa (N/mm):	1391,42
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

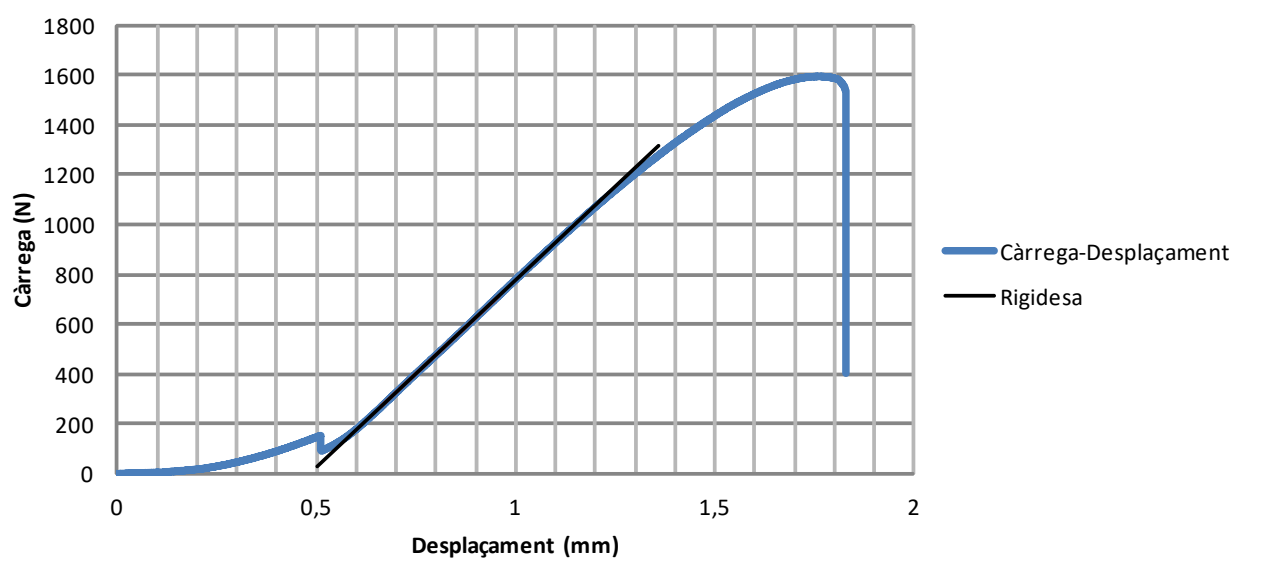
NOM PROVETA							
P-2-11-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	31/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	9,65
nº Pisos:	2	nº Barres:	11	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80		H _T (mm):		56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1080,3	δ màx (mm):	1,00	δ*màx (mm):	0,77	Rigidesa (N/mm):	1683,90
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

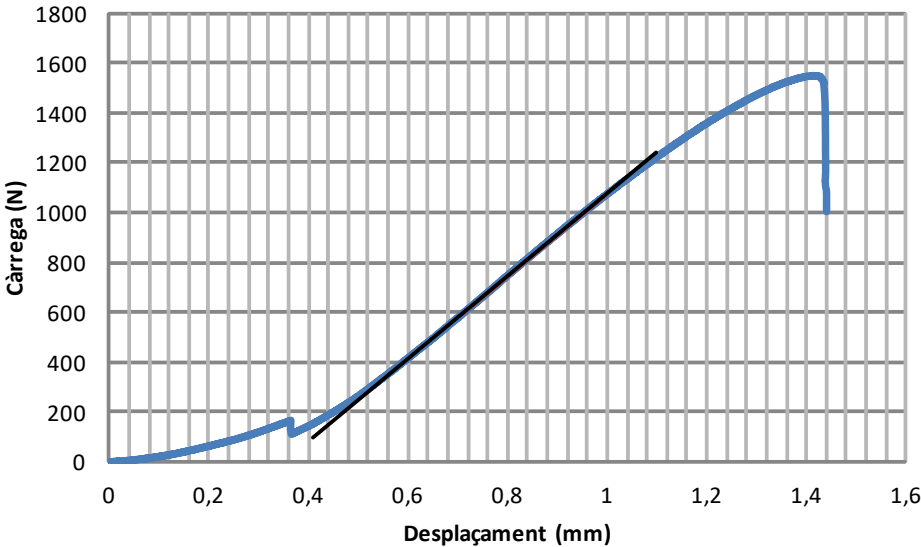
NOM PROVETA							
P-2-11-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	27/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	9,5
nº Pisos:	2	nº Barres:	11	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	970,78	δ màx (mm):	1,21	δ*màx (mm):	0,64	Rigidesa (N/mm):	1649,22
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

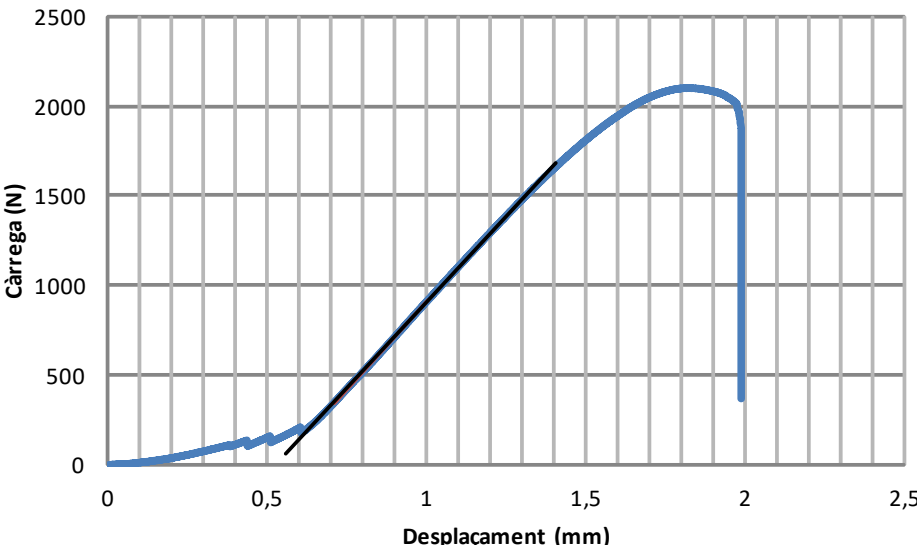
NOM PROVETA							
P-3-11-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	31/05/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,71
nº Pisos:	3	nº Barres:	11	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1334,9	δ màx (mm):	1,37	δ*màx (mm):	1,13	Rigidesa (N/mm):	1346,95
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

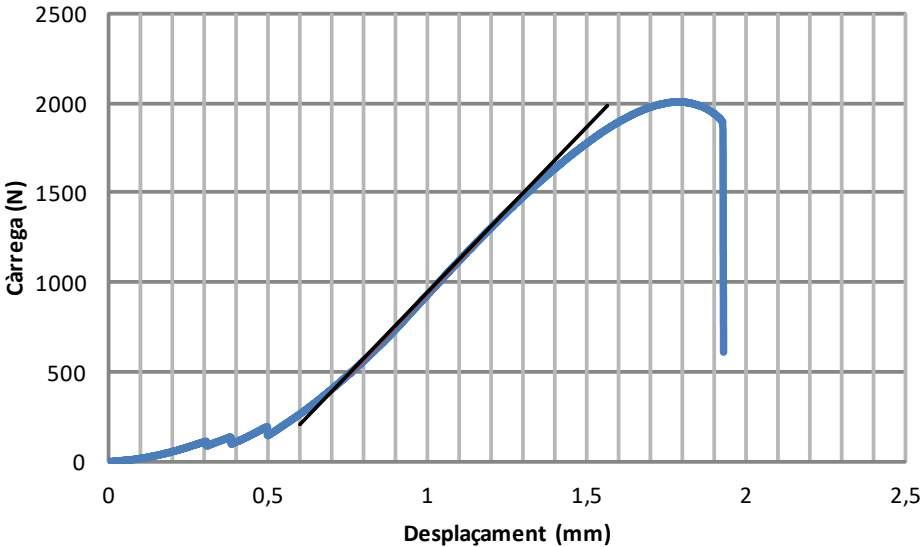
NOM PROVETA							
P-3-11-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	26/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,98
nº Pisos:	3	nº Barres:	11	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1444	δ màx (mm):	1,55	δ*màx (mm):	1,23	Rigidesa (N/mm):	1387,22
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

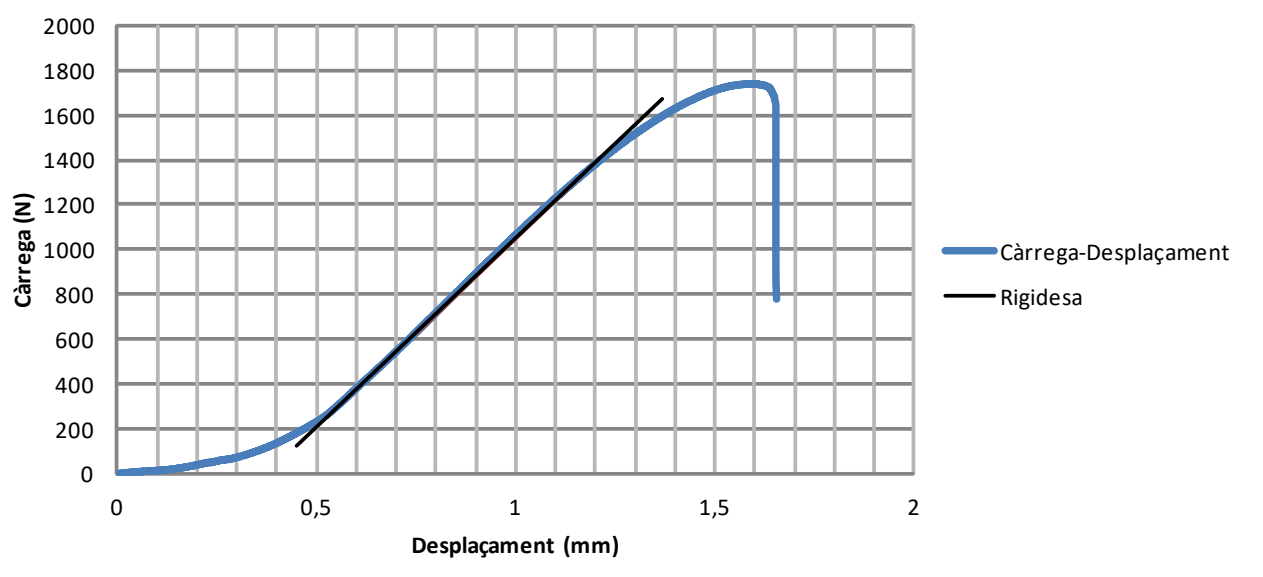
NOM PROVETA							
P-3-12-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	04/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	11,14
nº Pisos:	3	nº Barres:	12	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1433,1	δ màx (mm):	1,50	δ*màx (mm):	1,13	Rigidesa (N/mm):	1469,60
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

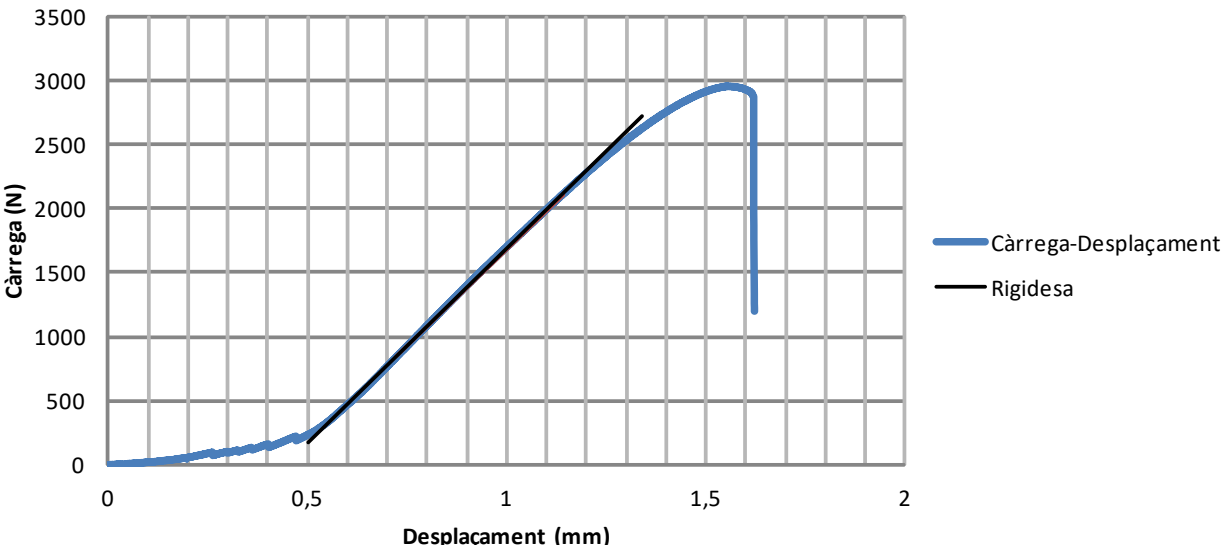
NOM PROVETA							
P-3-12-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	26/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	10,99
nº Pisos:	3	nº Barres:	12	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1597,4	δ màx (mm):	1,76	δ*màx (mm):	1,28	Rigidesa (N/mm):	1509,86
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

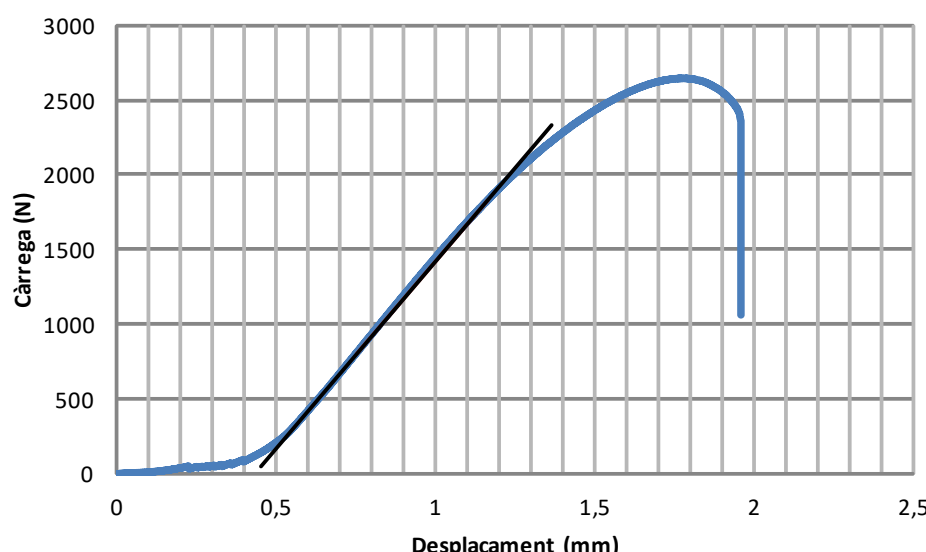
NOM PROVETA							
P-3-13-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	04/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	11,5
nº Pisos:	3	nº Barres:	13	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1551,9	δ màx (mm):	1,41	δ*màx (mm):	1,06	Rigidesa (N/mm):	1658,53
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

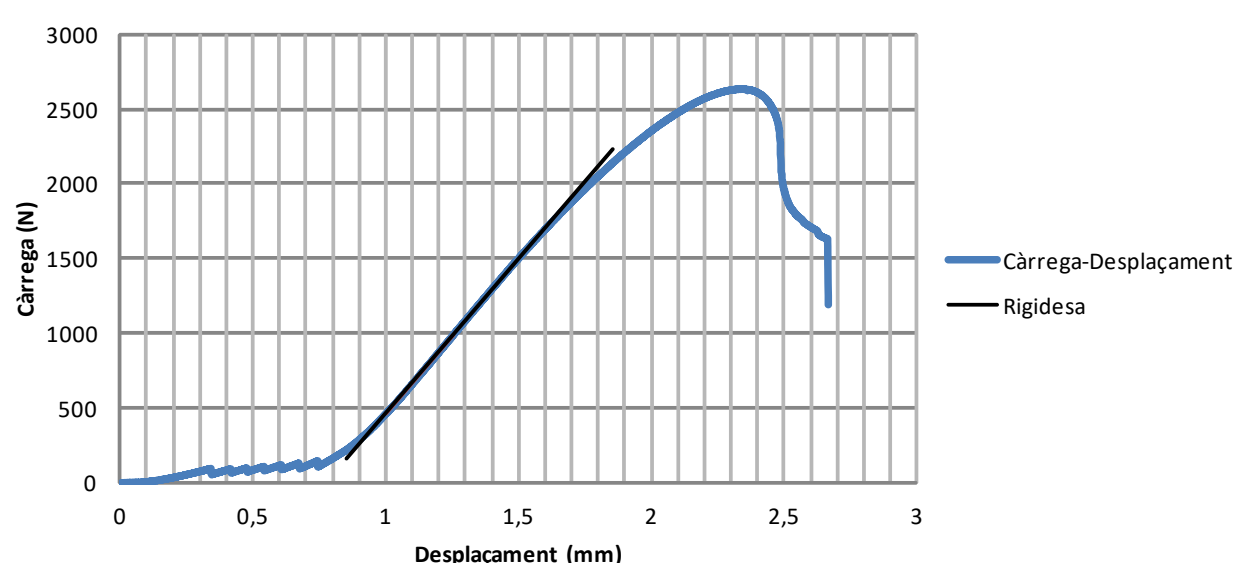
NOM PROVETA							
P-3-13-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	25/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	12,19
nº Pisos:	3	nº Barres:	13	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2096,6	δ màx (mm):	1,83	δ*màx (mm):	1,30	Rigidesa (N/mm):	1928,04
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

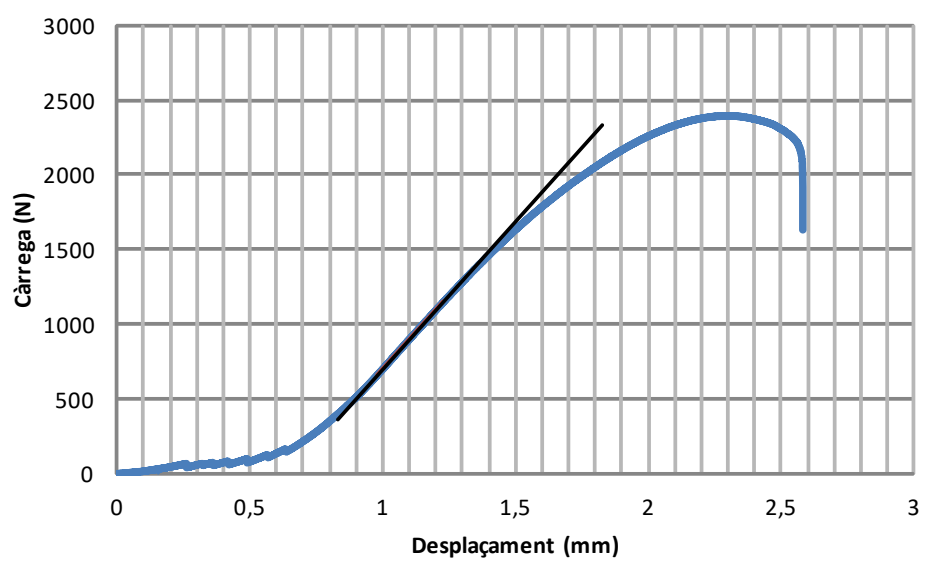
NOM PROVETA							
P-3-14-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	04/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	11,97
nº Pisos:	3	nº Barres:	14	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2001,8	δ màx (mm):	1,78	δ*màx (mm):	1,29	Rigidesa (N/mm):	1835,19
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

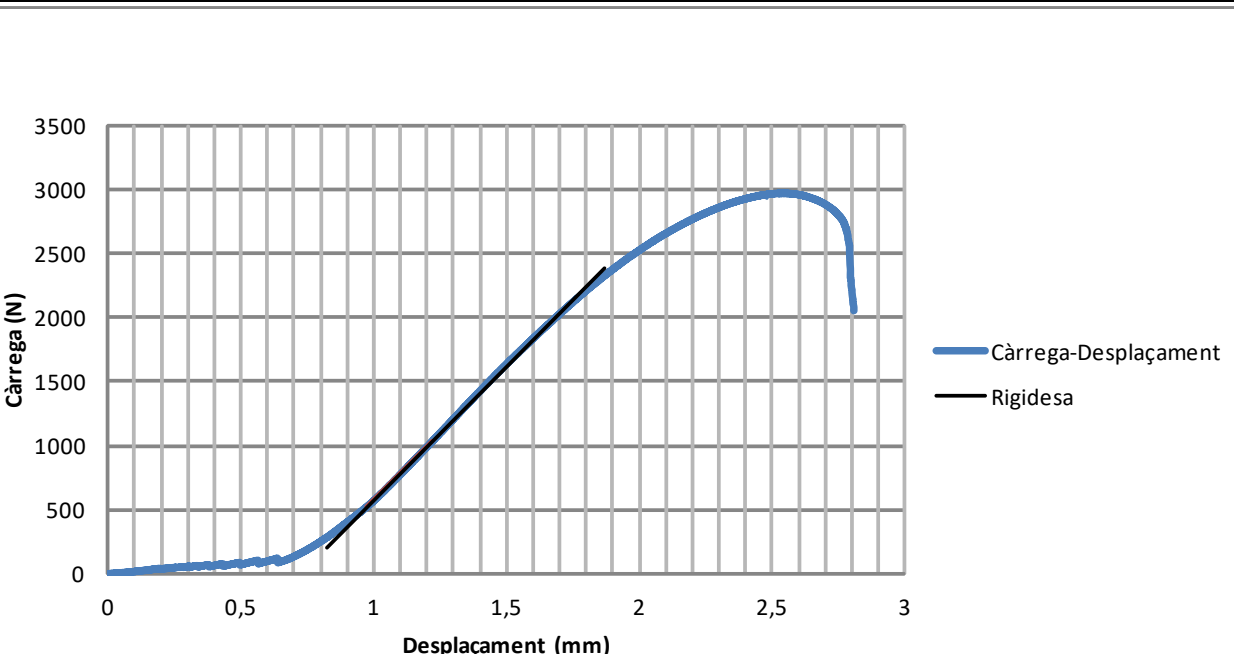
NOM PROVETA							
P-3-14-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	25/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	11,74
nº Pisos:	3	nº Barres:	14	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1742	δ màx (mm):	1,59	δ*màx (mm):	1,21	Rigidesa (N/mm):	1690,54
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

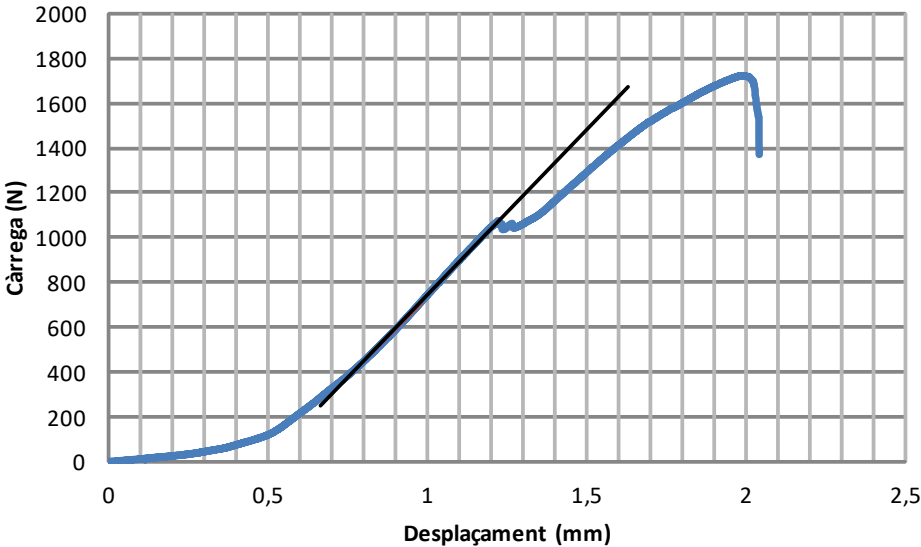
NOM PROVETA							
P-3-18-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	05/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	14,3
nº Pisos:	3	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2949,2	δ màx (mm):	1,56	δ*màx (mm):	1,11	Rigidesa (N/mm):	3042,44
GRÀFIC							
							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

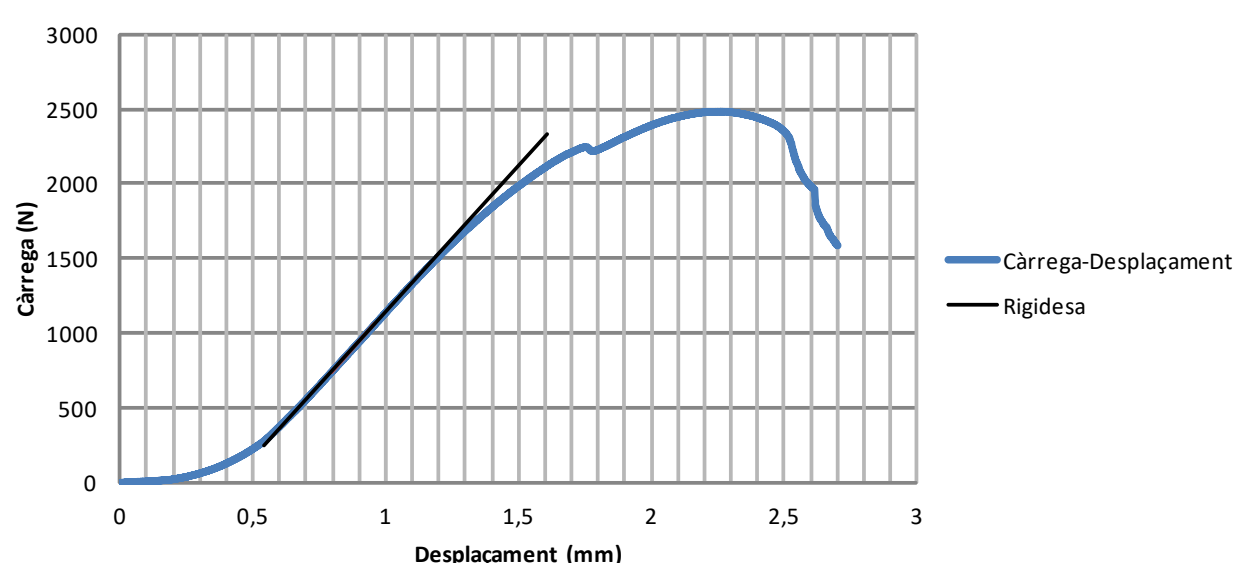
NOM PROVETA							
P-3-18-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	05/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	14,23
nº Pisos:	3	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2649,2	δ màx (mm):	1,78	δ*màx (mm):	1,35	Rigidesa (N/mm):	2492,22
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la proveta. L'eix vertical representa la càrrega en Newtons (N), amb una escala de 0 a 3000. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 2,5. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', comença a l'origen, té una petita zona de no linealitat inicial, i després segueix una línia recta fins a arribar al punt màxim de càrrega de 2649,2 N a un desplaçament de 1,78 mm. Després d'aquest punt, la càrrega disminueix bruscament fins a aproximadament 1000 N a un desplaçament de 2,0 mm. La línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', és una línia recta que representa la rigidesa de la proveta, coincidint amb la part inicial lineal de la corba blava.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

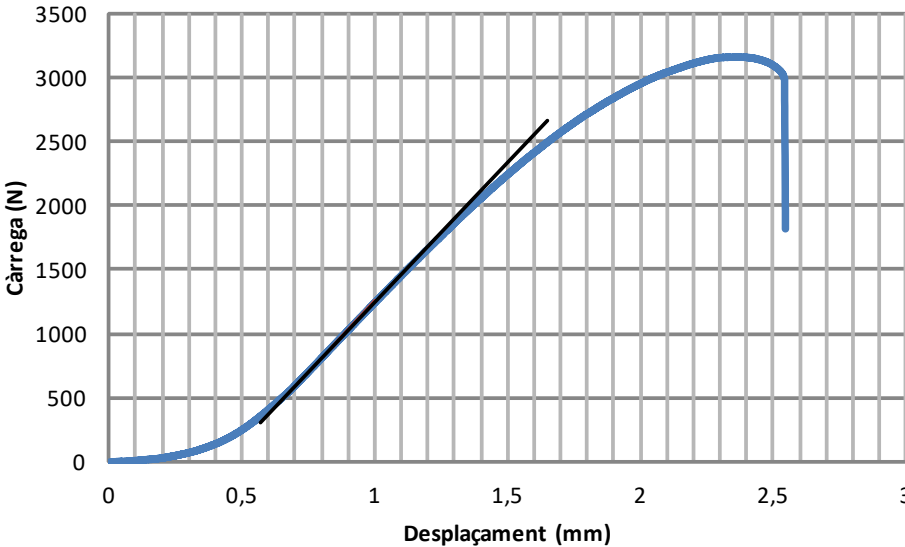
NOM PROVETA							
P-4-15-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	07/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	14,09
nº Pisos:	4	nº Barres:	15	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2487,6	δ màx (mm):	2,11	δ*màx (mm):	1,33	Rigidesa (N/mm):	2074,72
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres 1r i 2n pis començant per dalt.							

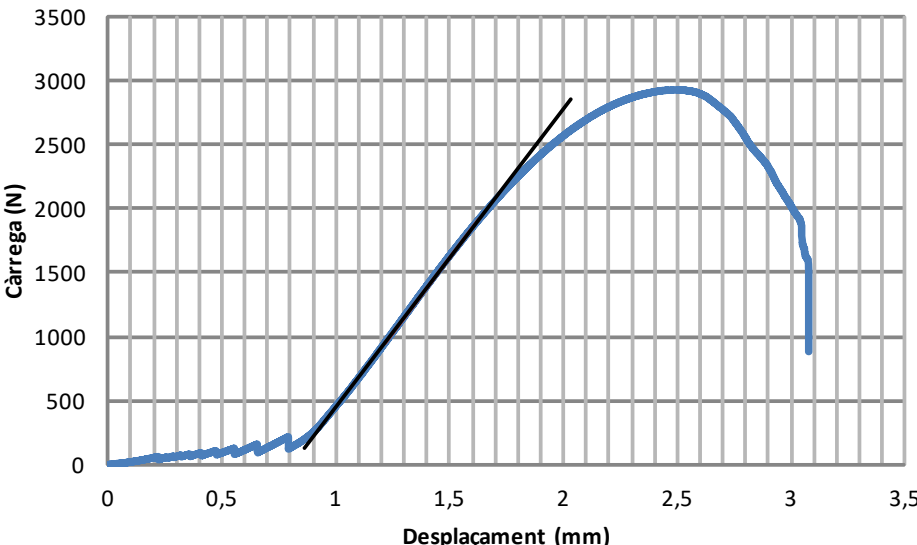
NOM PROVETA							
P-4-15-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	15/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	13,92
nº Pisos:	4	nº Barres:	15	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2328,5	δ màx (mm):	2,08	δ*màx (mm):	1,44	Rigidesa (N/mm):	1967,11
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres 1r i 2n pis començant per dalt.							

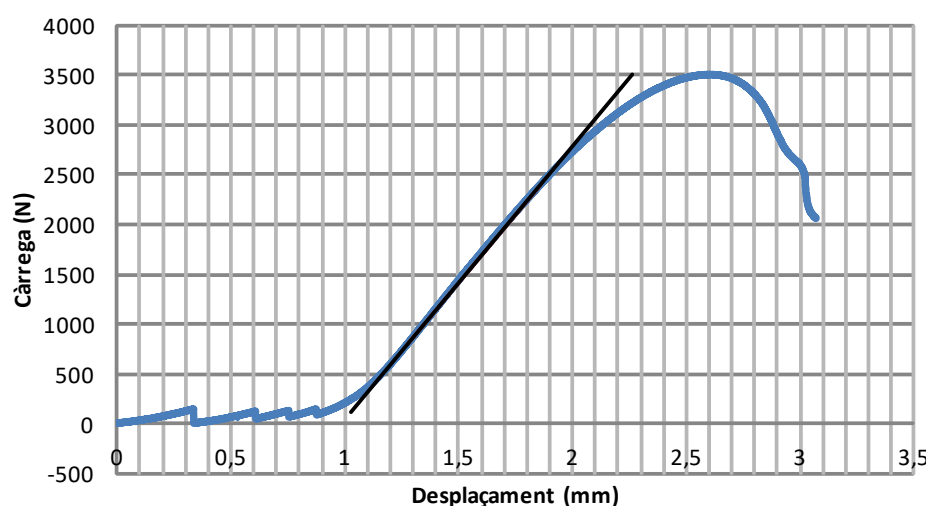
NOM PROVETA							
P-4-16-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	07/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	14,75
nº Pisos:	4	nº Barres:	16	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2632,2	δ màx (mm):	2,08	δ*màx (mm):	1,36	Rigidesa (N/mm):	2075,58
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

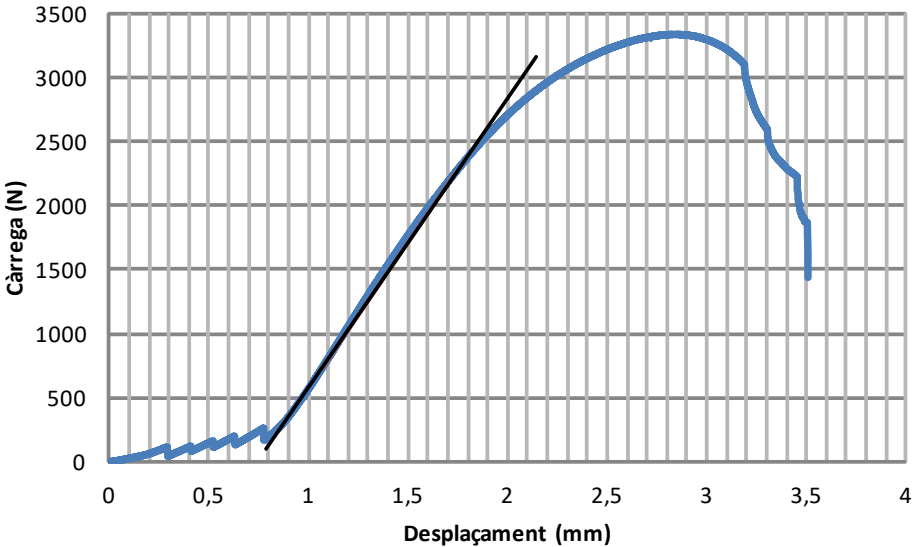
NOM PROVETA							
P-4-16-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	07/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	13,95
nº Pisos:	4	nº Barres:	16	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1726,1	δ màx (mm):	1,99	δ*màx (mm):	1,49	Rigidesa (N/mm):	1470,85
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega (N)</div><div>Desplaçament (mm)</div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres 2n pis començant per dalt.							

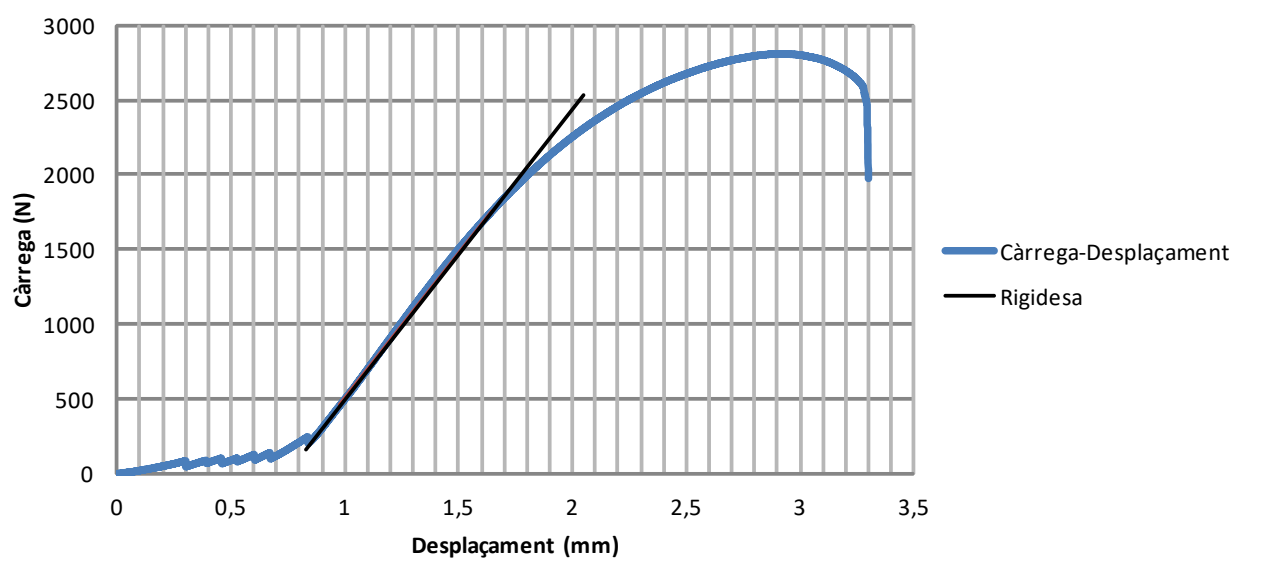
NOM PROVETA							
P-4-17-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	08/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	14,39
nº Pisos:	4	nº Barres:	17	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2437,6	δ màx (mm):	2,07	δ*màx (mm):	1,65	Rigidesa (N/mm):	1954,88
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

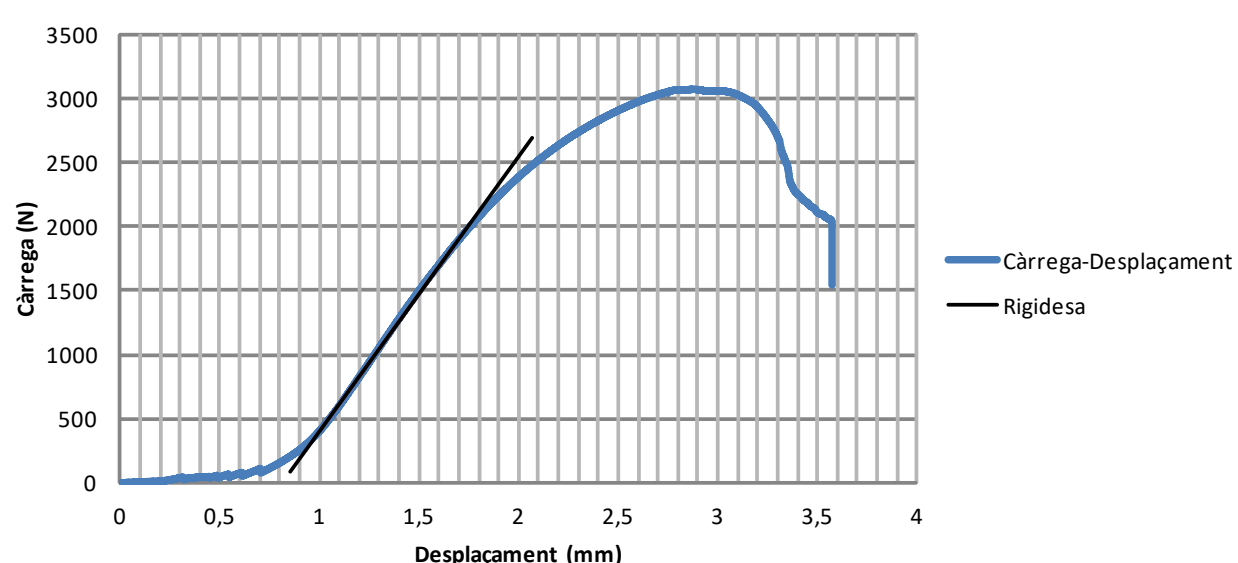
NOM PROVETA							
P-4-17-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	08/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	15,17
nº Pisos:	4	nº Barres:	17	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	3046,5	δ màx (mm):	2,11	δ*màx (mm):	1,69	Rigidesa (N/mm):	2164,11
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres 2n pis començant per dalt.							

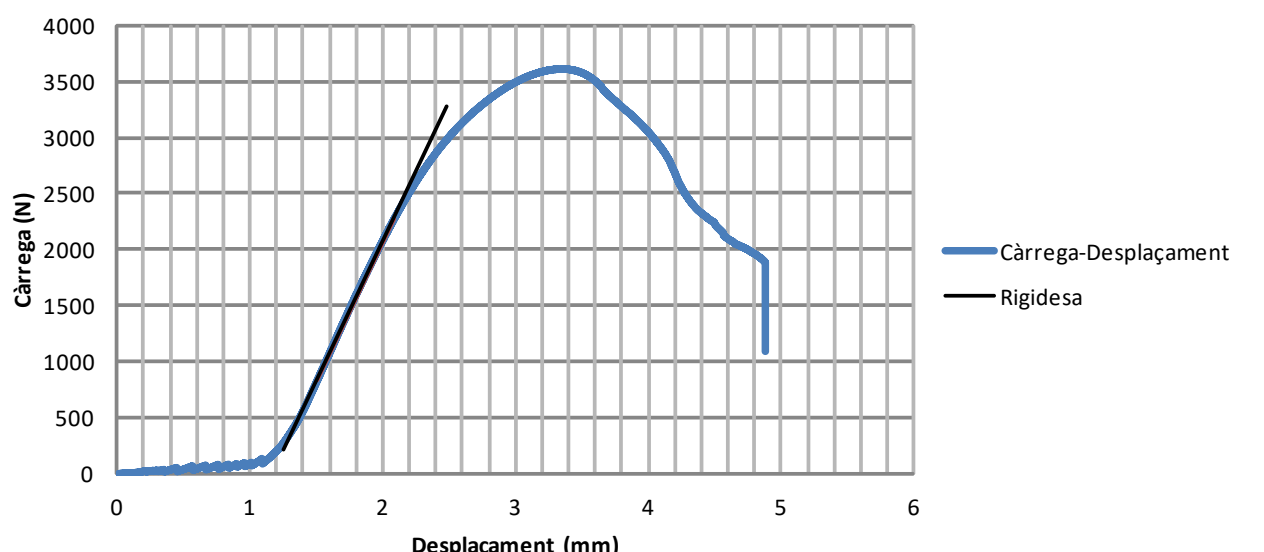
NOM PROVETA							
P-4-18-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	11/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	14,75
nº Pisos:	4	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2657,6	δ màx (mm):	2,07	δ*màx (mm):	1,26	Rigidesa (N/mm):	2335,48
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

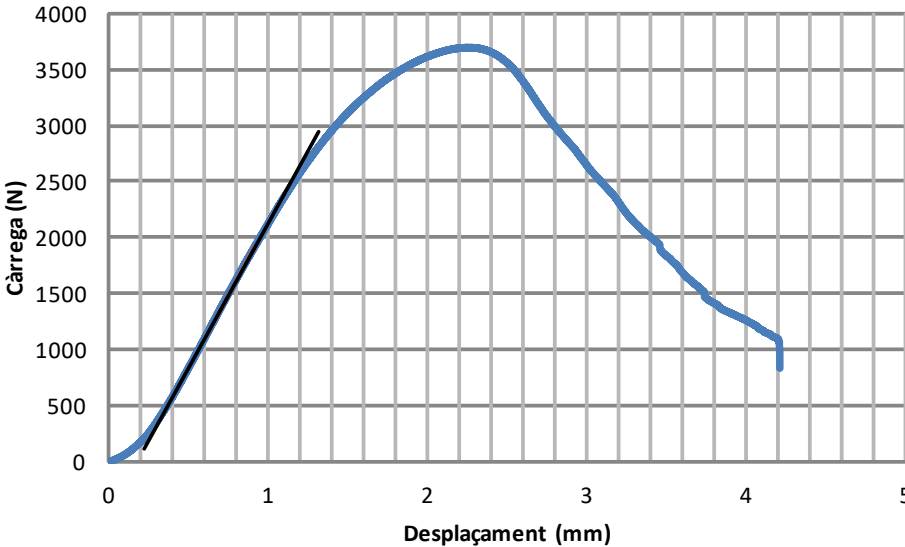
NOM PROVETA							
P-4-18-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	11/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	15,64
nº Pisos:	4	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2462,9	δ màx (mm):	1,89	δ*màx (mm):	0,90	Rigidesa (N/mm):	2735,49
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

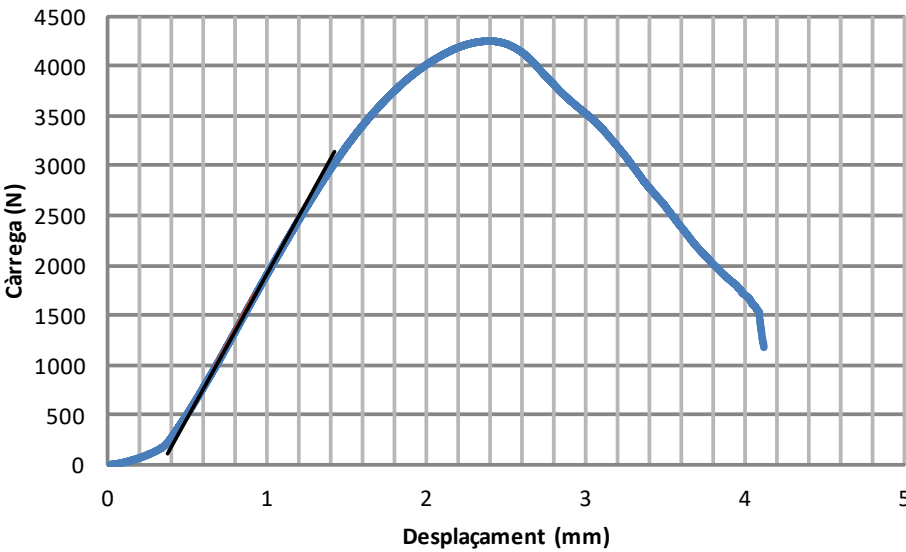
NOM PROVETA							
P-5-18-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	11/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	17,03
nº Pisos:	5	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2720	δ màx (mm):	2,01	δ*màx (mm):	1,26	Rigidesa (N/mm):	2269,40
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament resultant. La corba blava ('Càrrega-Desplaçament') comença a l'origen i segueix una trajectòria que s'aplanava a mesura que augmentava la càrrega, assolint el seu punt de màxima càrrega de 2720 N a un desplaçament de 2,01 mm. Després d'aquest punt, la càrrega comença a disminuir, indicant una ruptura o una gran deformació. La línia negra ('Rigidesa') és una línia recta que s'extreu de l'inici de la corba, representant la rigidesa inicial de la prova.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

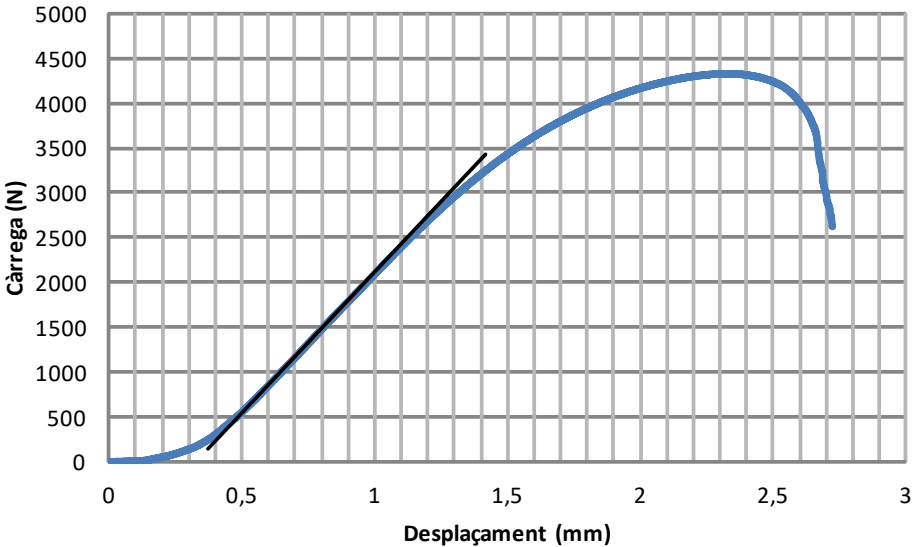
NOM PROVETA							
P-5-18-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	11/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	16,32
nº Pisos:	5	nº Barres:	18	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2354,3	δ màx (mm):	2,09	δ*màx (mm):	1,34	Rigidesa (N/mm):	1946,94
GRÀFIC							
							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

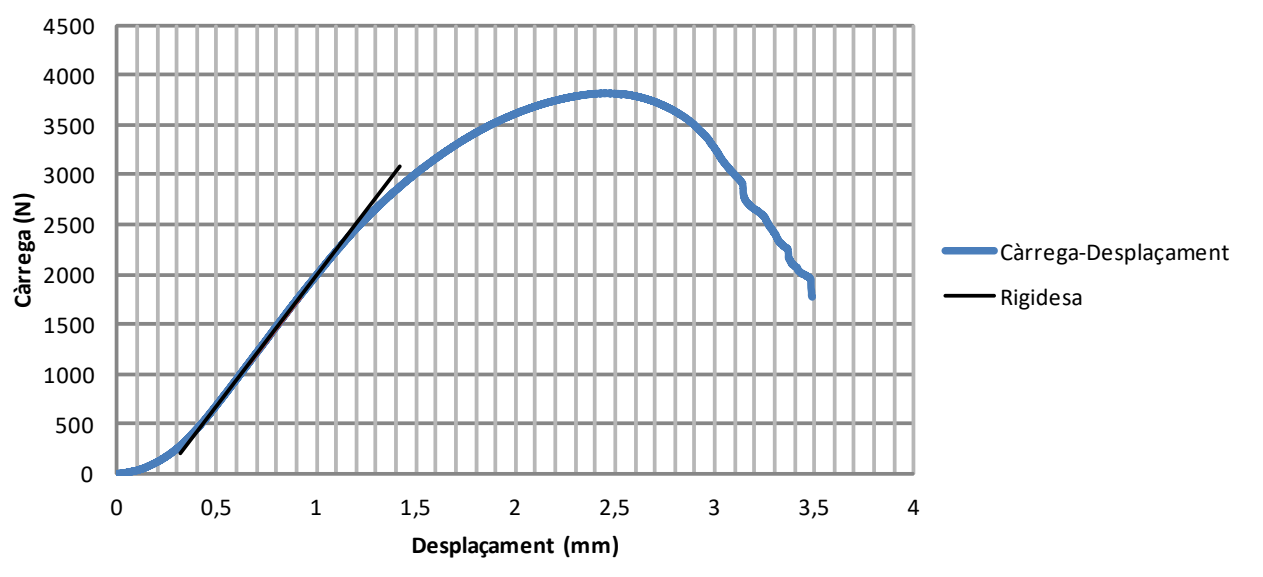
NOM PROVETA							
P-5-19-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	12/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	16,5
nº Pisos:	5	nº Barres:	19	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2531,9	δ màx (mm):	2,11	δ*màx (mm):	1,30	Rigidesa (N/mm):	2141,35
GRÀFIC							
							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

NOM PROVETA							
P-5-19-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	12/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	17,18
nº Pisos:	5	nº Barres:	19	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2331	δ màx (mm):	2,11	δ*màx (mm):	0,94	Rigidesa (N/mm):	2489,23
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres 1r i 2n pis començant per dalt.							

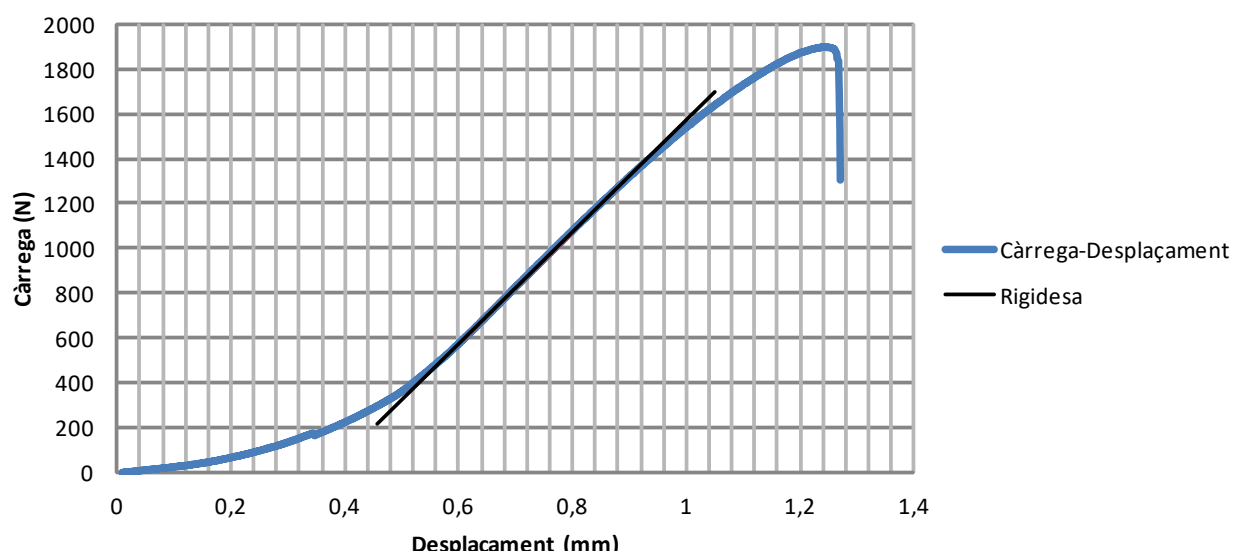
NOM PROVETA							
P-5-20-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	14/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	16,8
nº Pisos:	5	nº Barres:	20	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	3658	δ màx (mm):	2,11	δ*màx (mm):	1,93	Rigidesa (N/mm):	2574,05
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la estructura. L'eix vertical representa la càrrega en Newtons (N), amb una escala de 0 a 4000. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 5. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', comença a l'origen, augmenta ràpidament fins a assolir un màxim de 3658 N a un desplaçament de 2,11 mm, i després comença a disminuir, arribant a 1000 N a un desplaçament de 4,2 mm. Una línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', representa la rigidesa inicial de la estructura, mostrant una línia recta que coincideix amb la part inicial de la corba blava.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres 3r i 4t pis començant per dalt.							

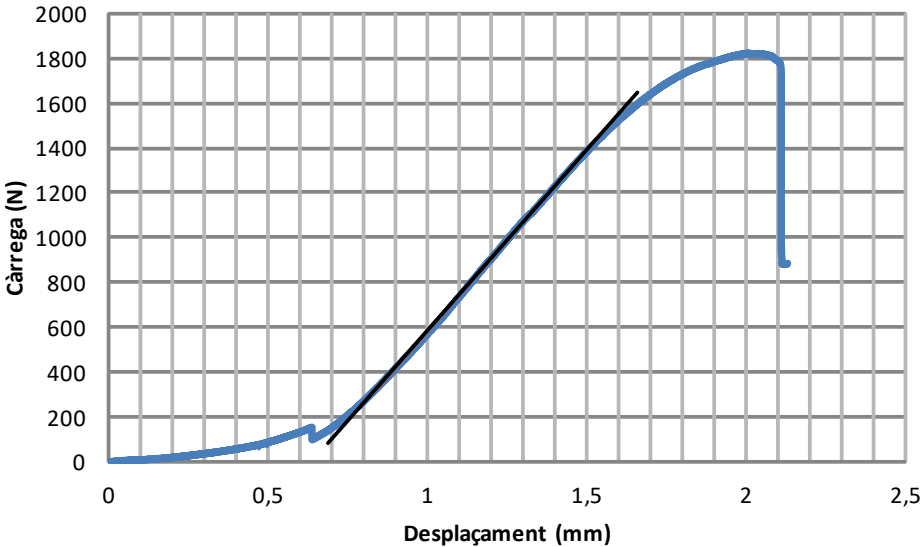
NOM PROVETA							
P-5-20-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	14/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	17,36
nº Pisos:	5	nº Barres:	20	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	4129	δ màx (mm):	2,11	δ*màx (mm):	1,78	Rigidesa (N/mm):	2880,46
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament resultant, així com la rigidesa inicial. La corba blava representa la càrrega-desplaçament, i la línia negra representa la rigidesa.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres 2n i 3r pis començant per dalt.							

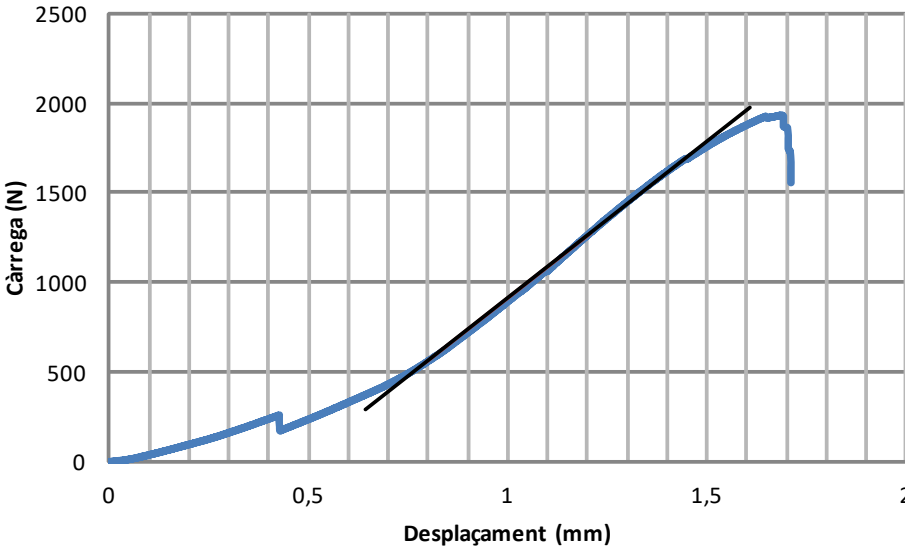
NOM PROVETA							
P-5-21-25-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	08/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	17,6
nº Pisos:	5	nº Barres:	21	Gruix (mm):	2,5	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	4255,7	δ màx (mm):	2,11	δ*màx (mm):	1,79	Rigidesa (N/mm):	3127,66
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega (N)</div><div>Desplaçament (mm)</div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres 1r i 2n pis començant per dalt.							

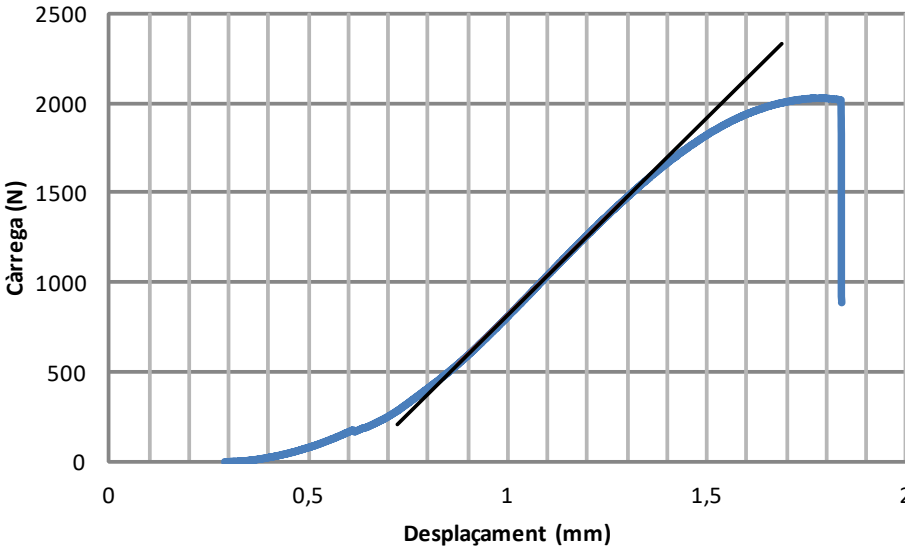
NOM PROVETA							
P-5-21-25-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	08/06/2018	Data assaig:	12/07/2018	Pes (g)	17,33
nº Pisos:	5	nº Barres:	21	Gruix (mm):	2,5	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	3685,7	δ màx (mm):	2,11	δ*màx (mm):	1,87	Rigidesa (N/mm):	2626,10
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis inferior.							

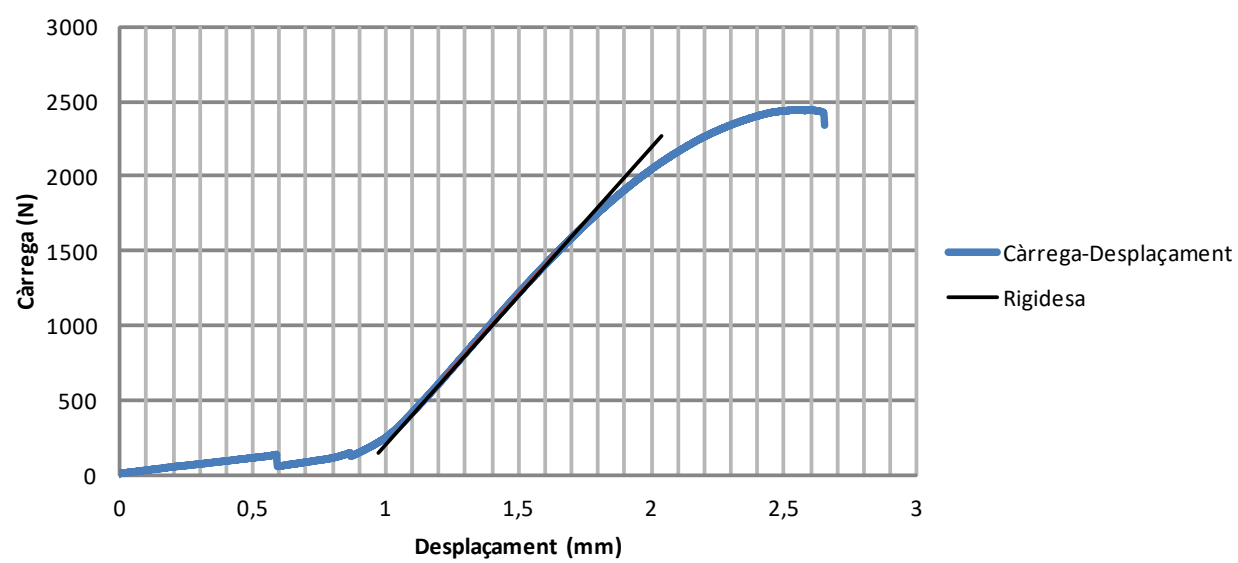
A.1.3 Informes resultats provetes de gruix 3 mm

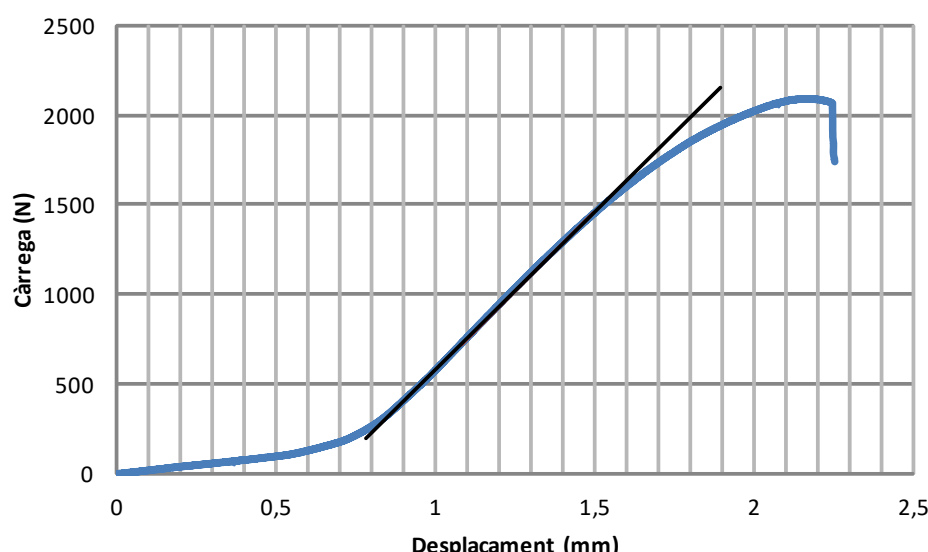
NOM PROVETA							
P-2-10-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	07/06/2018	Data assaig:	10/07/2018	Pes (g)	13
nº Pisos:	2	nº Barres:	10	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80		H _T (mm):		56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1894,2	δ màx (mm):	1,24	δ*màx (mm):	0,87	Rigidesa (N/mm):	2498,50
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la proveta. L'eix vertical representa la càrrega en Newtons (N), amb una escala de 0 a 2000. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 1,4. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', comença a l'origen i segueix una trajectòria que s'aplanja inicialment, després s'endreça i arriba a un punt de màxim a 1894,2 N i 1,24 mm, abans de caure bruscament. La línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', és una línia recta que s'extreu de la part més lineal de la corba, començant a partir d'un desplaçament de 0,4 mm i una càrrega de 200 N.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

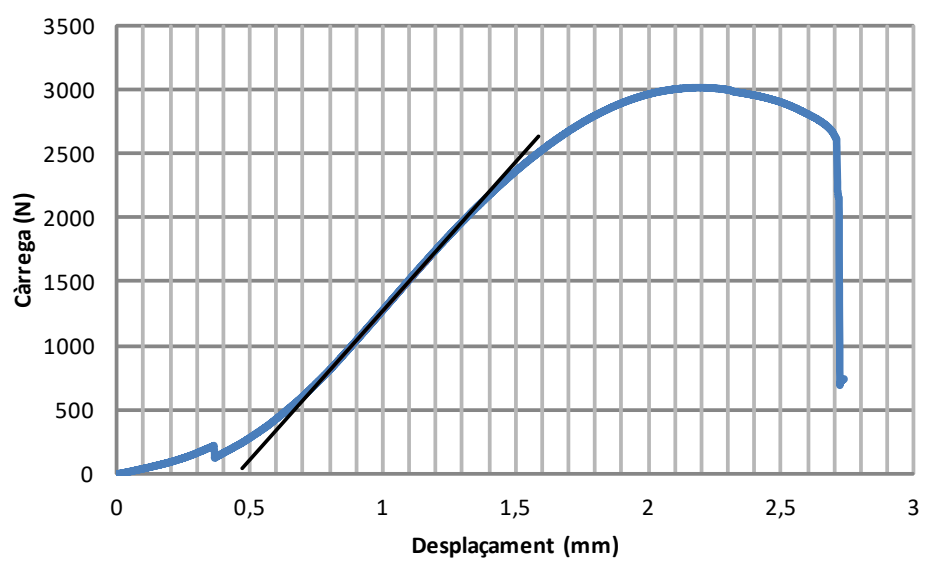
NOM PROVETA							
P-2-10-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	25/06/2018	Data assaig:	10/07/2018	Pes (g)	12,6
nº Pisos:	2	nº Barres:	10	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1826,4	δ màx (mm):	2,01	δ*màx (mm):	1,37	Rigidesa (N/mm):	1617,38
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega (N)</div><div>Desplaçament (mm)</div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

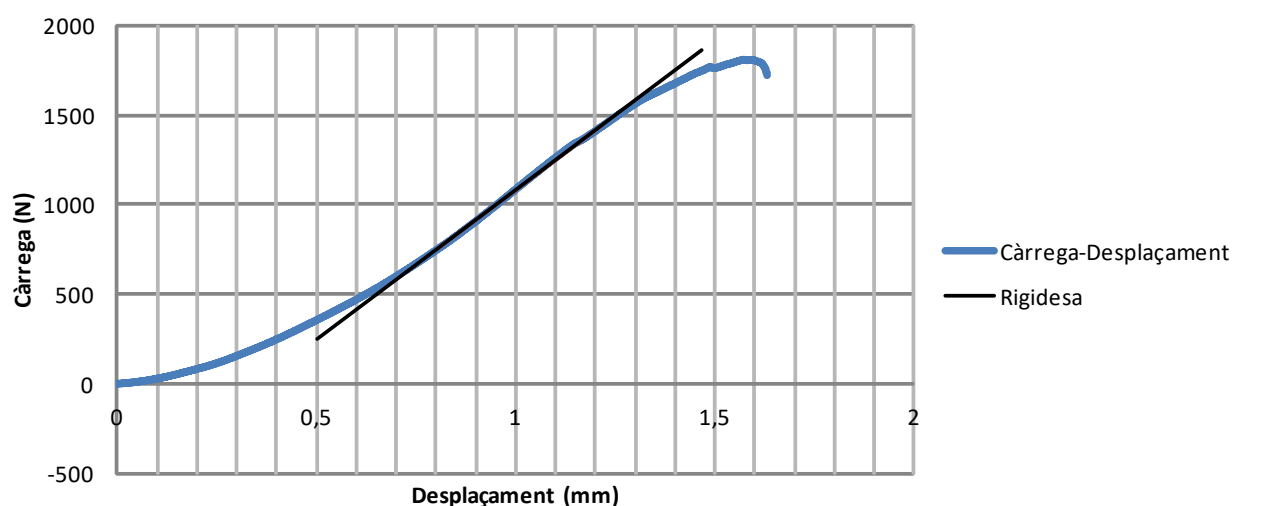
NOM PROVETA							
P-2-11-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	08/06/2018	Data assaig:	10/07/2018	Pes (g)	13,5
nº Pisos:	2	nº Barres:	11	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1928,9	δ màx (mm):	1,69	δ*màx (mm):	1,21	Rigidesa (N/mm):	1748,15
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

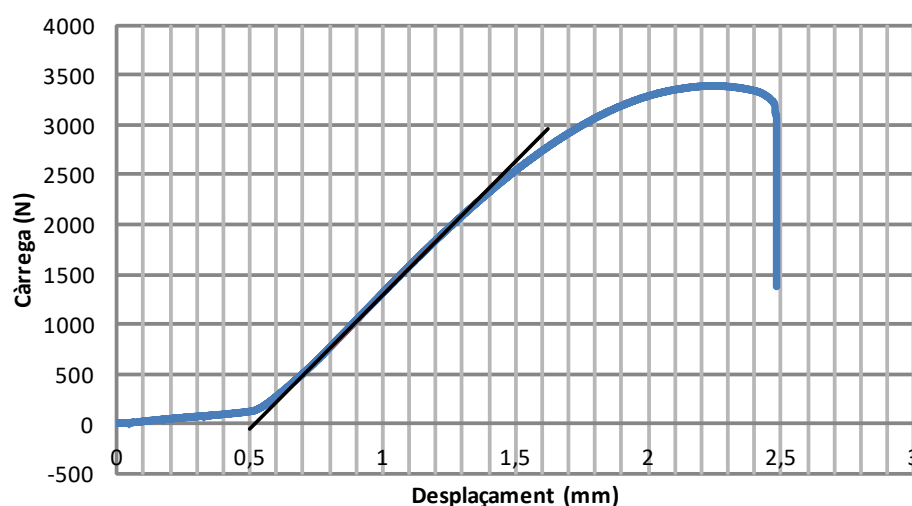
NOM PROVETA							
P-2-11-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	25/06/2018	Data assaig:	10/07/2018	Pes (g)	13,15
nº Pisos:	2	nº Barres:	11	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2027,5	δ màx (mm):	1,77	δ*màx (mm):	1,15	Rigidesa (N/mm):	2193,35
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

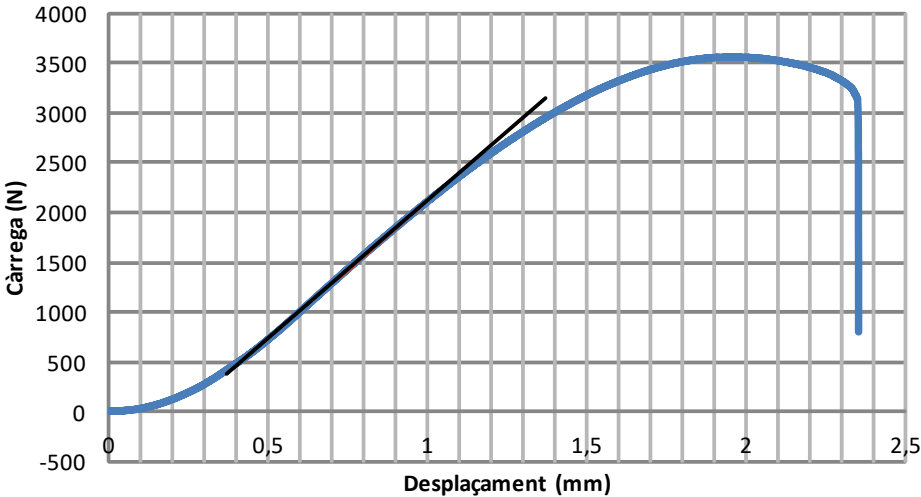
NOM PROVETA							
P-3-11-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	11/06/2018	Data assaig:	10/07/2018	Pes (g)	15,26
nº Pisos:	3	nº Barres:	11	Gruix (mm):	3	Model:	1
Øext (mm):	80			HT (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2447,3	δ màx (mm):	2,56	δ*màx (mm):	1,67	Rigidesa (N/mm):	1987,33
GRÀFIC							
							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

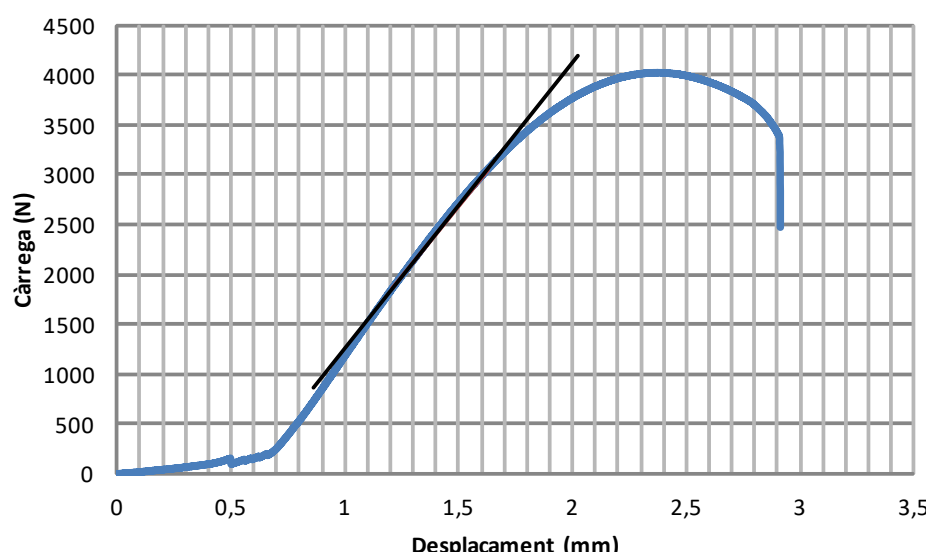
NOM PROVETA							
P-3-11-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	25/06/2018	Data assaig:	10/07/2018	Pes (g)	14,9
nº Pisos:	3	nº Barres:	11	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	2088	δ màx (mm):	2,16	δ*màx (mm):	1,50	Rigidesa (N/mm):	1746,46
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							

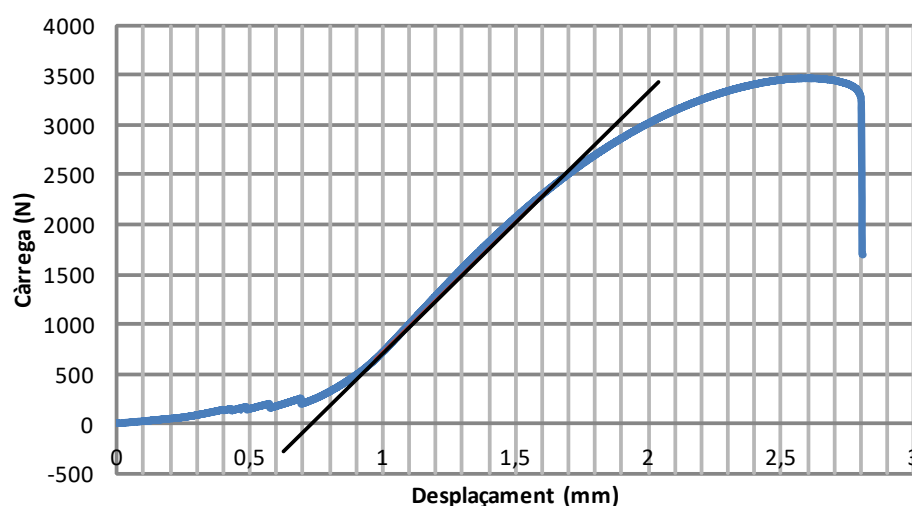
NOM PROVETA							
P-3-12-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	14/06/2018	Data assaig:	10/07/2018	Pes (g)	15,85
nº Pisos:	3	nº Barres:	12	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	3006,5	δ màx (mm):	2,20	δ*màx (mm):	1,75	Rigidesa (N/mm):	2312,79
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament resultant. La corba blava representa la càrrega-desplaçament, i la línia negra representa la rigidesa. La rigidesa es calcula com la derivada de la càrrega respecte al desplaçament a l'origen.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

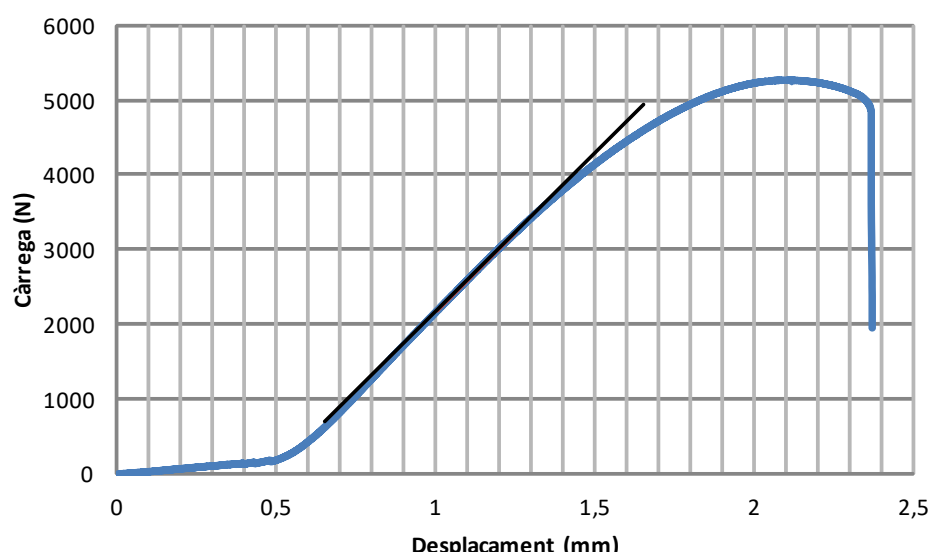
NOM PROVETA							
P-3-12-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	22/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	14,91
nº Pisos:	3	nº Barres:	12	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	1811,9	δ màx (mm):	1,57	δ*màx (mm):	1,22	Rigidesa (N/mm):	1666,58
GRÀFIC							
							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

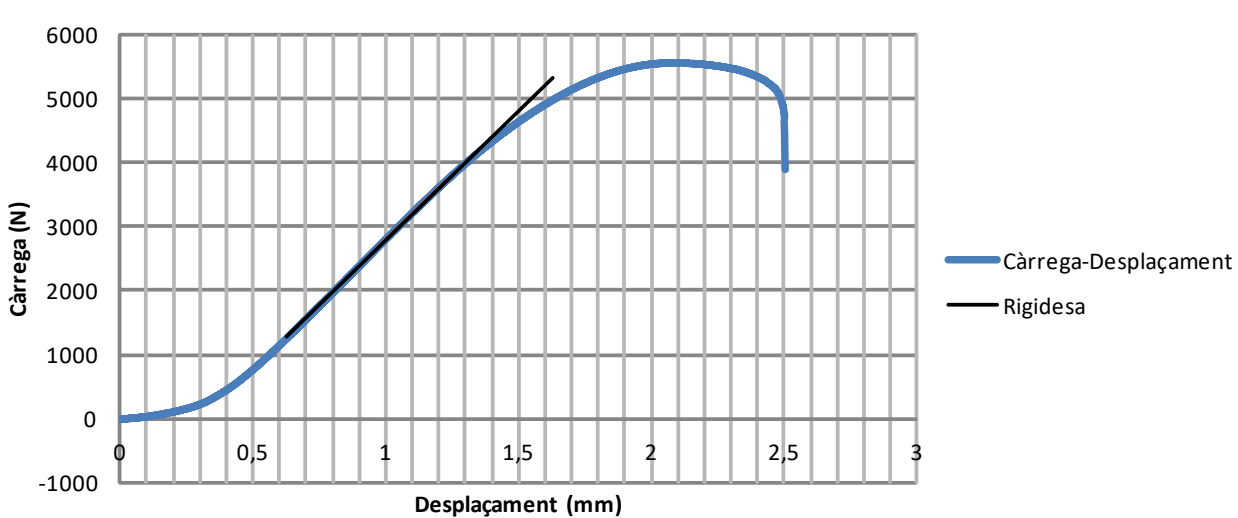
NOM PROVETA							
P-3-13-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	13/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	16,46
nº Pisos:	3	nº Barres:	13	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	3395,3	δ màx (mm):	2,24	δ*màx (mm):	1,72	Rigidesa (N/mm):	2699,04
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

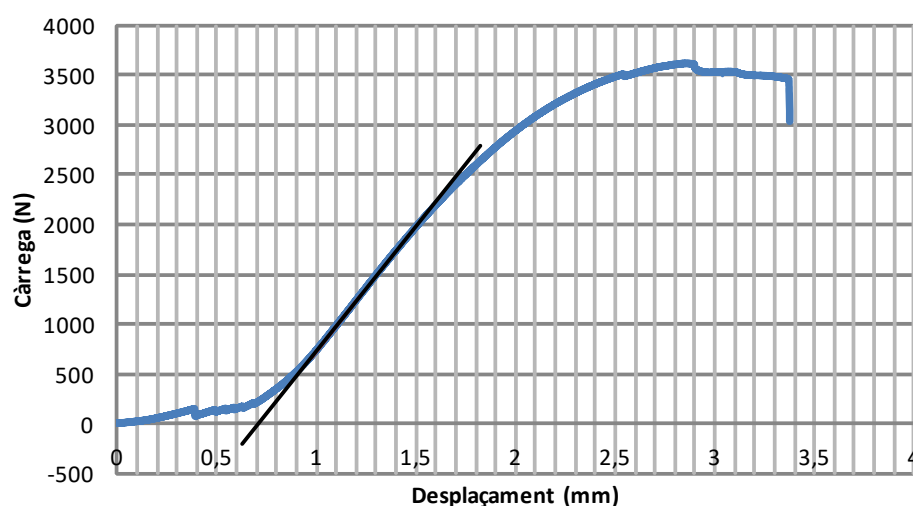
NOM PROVETA							
P-3-13-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	22/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	16,46
nº Pisos:	3	nº Barres:	13	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	3570,2	δ màx (mm):	1,95	δ*màx (mm):	1,72	Rigidesa (N/mm):	2767,13
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

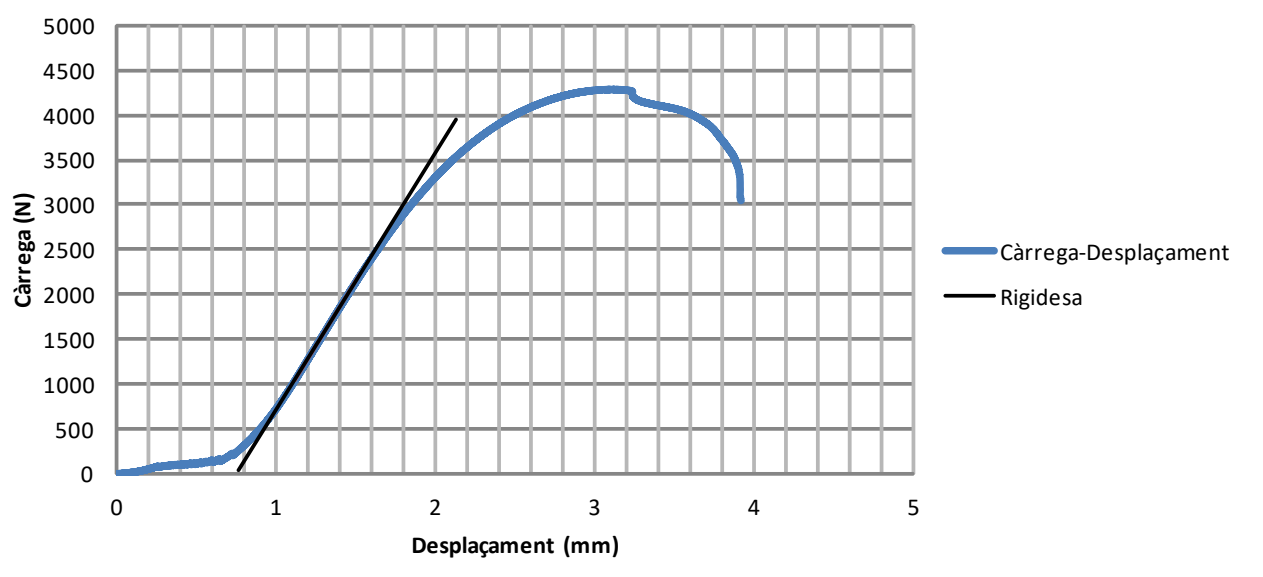
NOM PROVETA							
P-3-14-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	12/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	17,58
nº Pisos:	3	nº Barres:	14	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	4030,1	δ màx (mm):	2,37	δ*màx (mm):	1,81	Rigidesa (N/mm):	2865,14
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

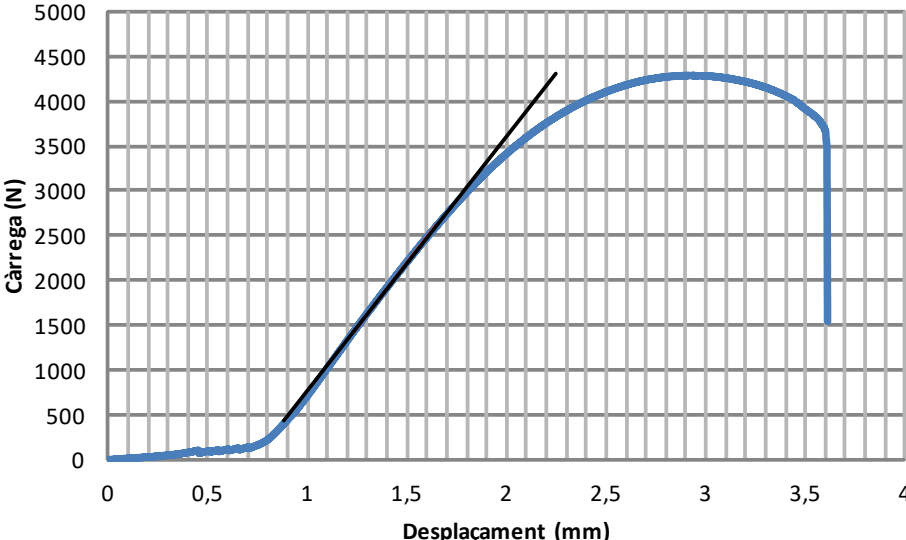
NOM PROVETA							
P-3-14-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	12/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	16,73
nº Pisos:	3	nº Barres:	14	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80		H _T (mm):		56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	3478,2	δ màx (mm):	2,60	δ*màx (mm):	1,87	Rigidesa (N/mm):	2618,27
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

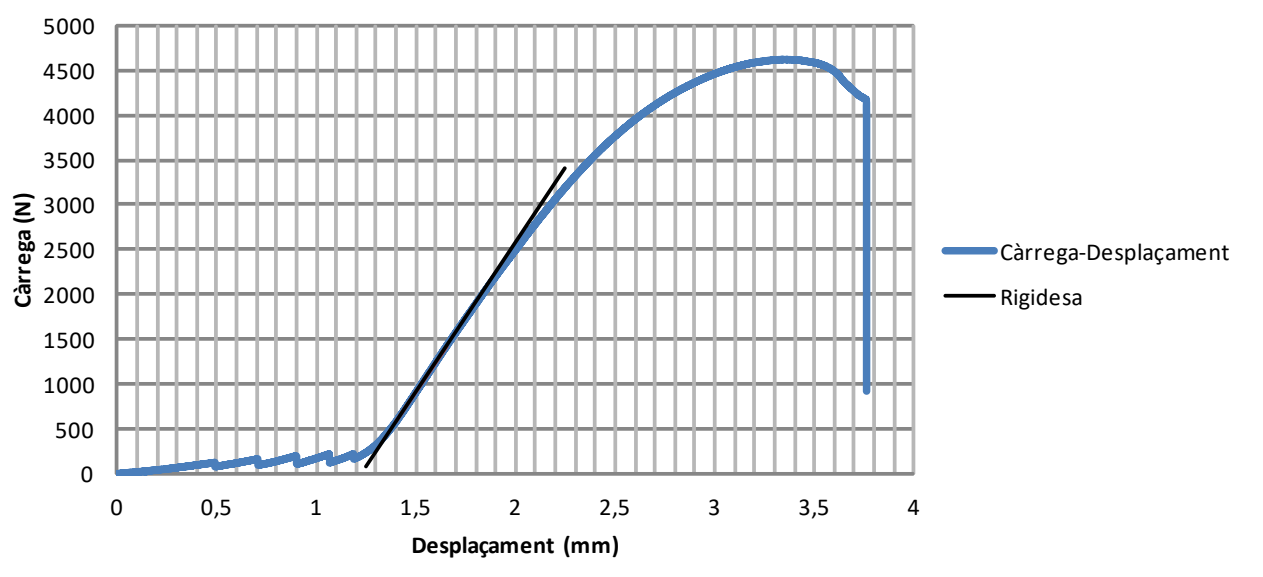
NOM PROVETA							
P-3-18-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	12/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	19,39
nº Pisos:	3	nº Barres:	18	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80		H _T (mm):		56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	5270,6	δ màx (mm):	2,11	δ*màx (mm):	1,61	Rigidesa (N/mm):	4253,60
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la prova. L'eix vertical representa la càrrega en Newtons (N), amb una escala de 0 a 6000. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 2,5. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', comença a l'origen, té una petita zona no lineal inicial, i després segueix una línia recta fins a arribar al punt de màxima càrrega de 5270,6 N a un desplaçament de 2,11 mm. Després d'aquest punt, la càrrega cau bruscament fins a zero a un desplaçament d'aproximadament 2,4 mm. La línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', és una línia recta que representa la rigidesa de la prova, coincidint amb la part lineal inicial de la corba blava.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

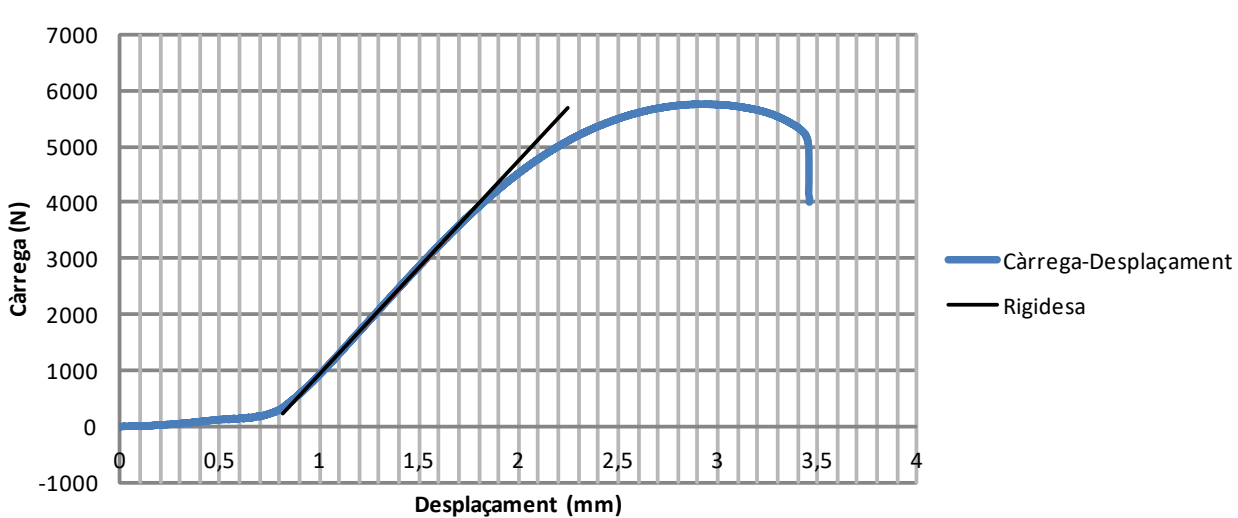
NOM PROVETA							
P-3-18-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	19/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	19,9
nº Pisos:	3	nº Barres:	18	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	5556,8	δ màx (mm):	2,07	δ*màx (mm):	1,76	Rigidesa (N/mm):	4032,44
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la prova. La corba blava (Càrrega-Desplaçament) comença a l'origen, augmenta progressivament fins a assolir un màxim de 5556,8 N a un desplaçament de 2,07 mm, i després disminueix fins a 4032,44 N a un desplaçament de 1,76 mm. La línia negra (Rigidesa) representa la rigidesa de la prova, que és una línia recta fins a 1,76 mm de desplaçament.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

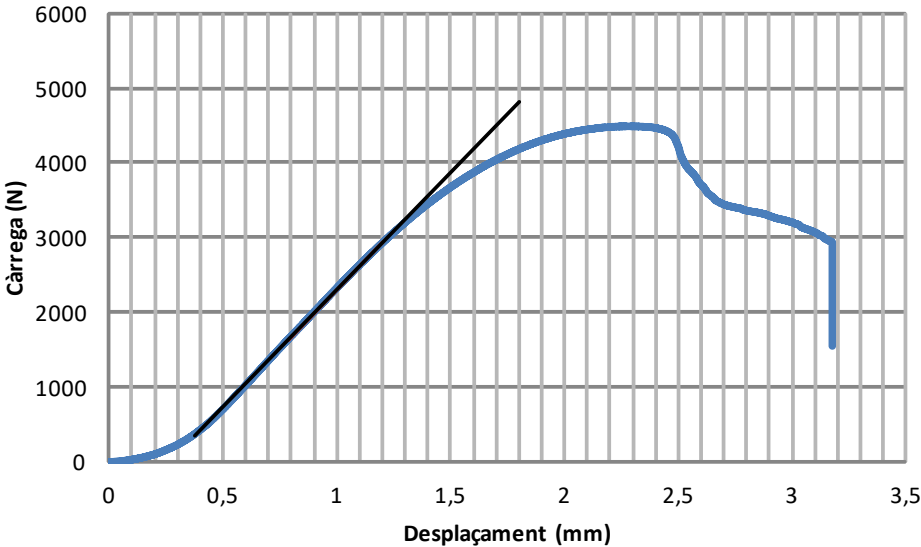
NOM PROVETA							
P-4-15-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	13/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	18,75
nº Pisos:	4	nº Barres:	15	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	3611,8	δ màx (mm):	2,86	δ*màx (mm):	2,16	Rigidesa (N/mm):	2492,99
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la prova. L'eix vertical representa la càrrega en Newtons (N), amb una escala de -500 a 4000. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 4. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', mostra una progressió no lineal que comença a augmentar significativament a partir de 0,5 mm de desplaçament, assolint un màxim de 3611,8 N a 2,86 mm. La línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', és una línia recta que representa la rigidesa de la prova, començant a 0,7 mm de desplaçament i 0 N, i acabant a 2,16 mm de desplaçament i 3611,8 N.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

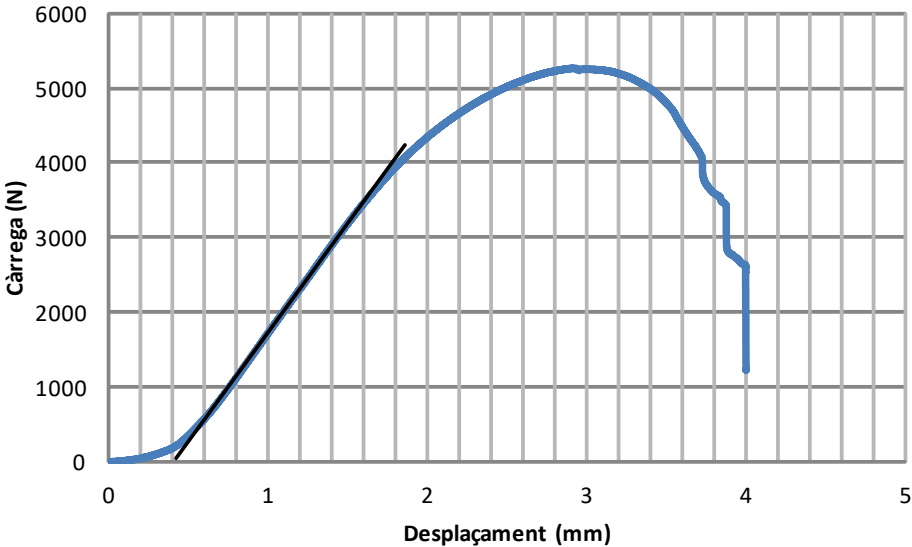
NOM PROVETA							
P-4-15-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	13/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	19,55
nº Pisos:	4	nº Barres:	15	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	4287,2	δ màx (mm):	3,11	δ*màx (mm):	2,35	Rigidesa (N/mm):	2873,25
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres pis superior.							

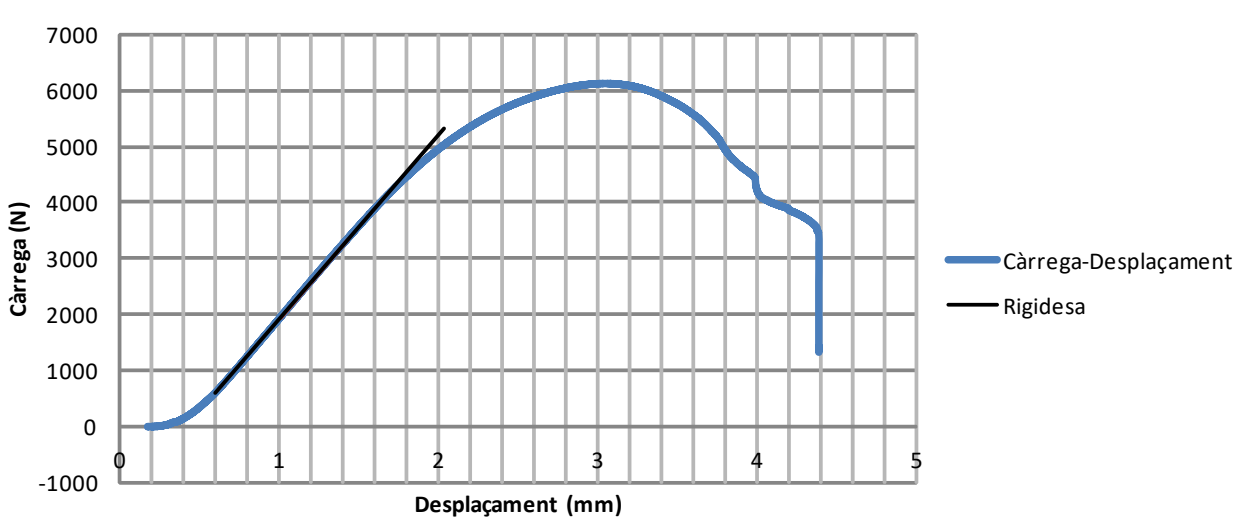
NOM PROVETA							
P-4-16-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	15/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	19,17
nº Pisos:	4	nº Barres:	16	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	4288,5	δ màx (mm):	2,93	δ*màx (mm):	2,20	Rigidesa (N/mm):	2831,10
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega (N)</div><div>Desplaçament (mm)</div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres dels 2 pisos superiors.							

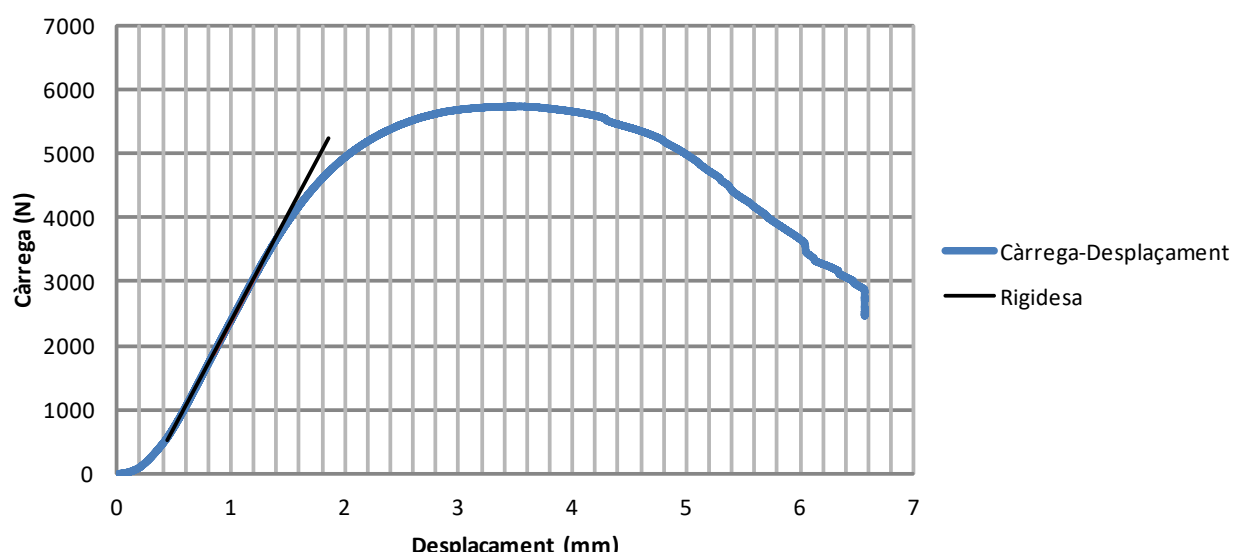
NOM PROVETA							
P-4-16-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	15/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	20,08
nº Pisos:	4	nº Barres:	16	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	4624,4	δ màx (mm):	3,34	δ*màx (mm):	2,12	Rigidesa (N/mm):	3331,84
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barres dels 2 pisos superiors.							

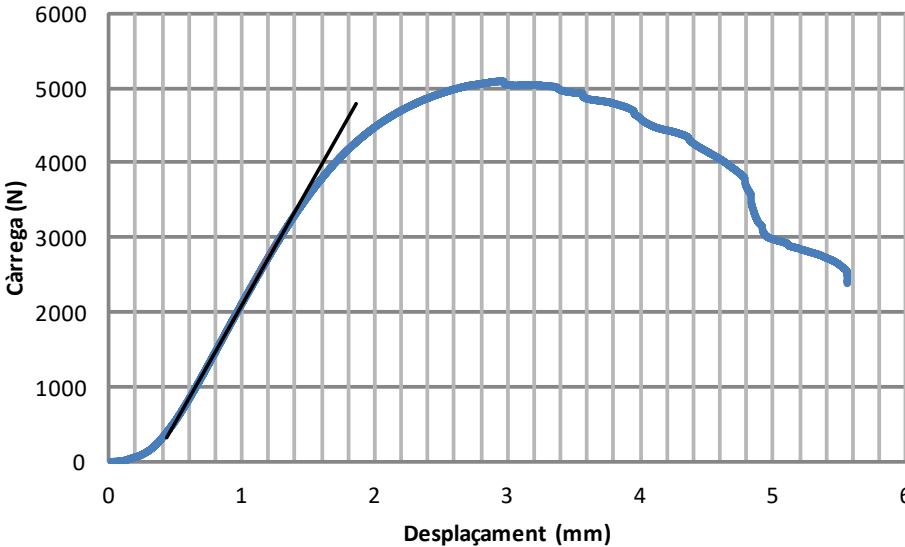
NOM PROVETA							
P-4-17-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	18/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	20,58
nº Pisos:	4	nº Barres:	17	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	5747,5	δ màx (mm):	2,94	δ*màx (mm):	2,18	Rigidesa (N/mm):	3806,24
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la prova. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', comença a l'origen i segueix una trajectòria que augmenta la càrrega amb el desplaçament fins a assolir un màxim de 5747,5 N a 2,94 mm. Després d'aquest punt, la càrrega comença a disminuir, arribant a 4000 N a 3,5 mm de desplaçament. La línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', representa la rigidesa de la prova i és una línia recta que coincideix amb la part inicial de la corba de càrrega-desplaçament.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra pis superior.							

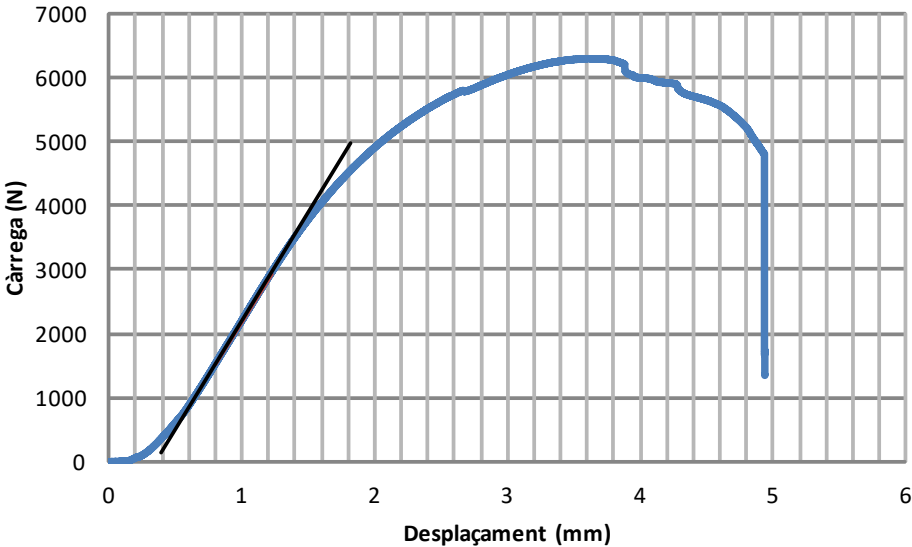
NOM PROVETA							
P-4-17-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	18/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	19,41
nº Pisos:	4	nº Barres:	17	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80		H _T (mm):		56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	4497,9	δ màx (mm):	2,28	δ*màx (mm):	2,01	Rigidesa (N/mm):	3132,92
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra pis superior i anell obert.							

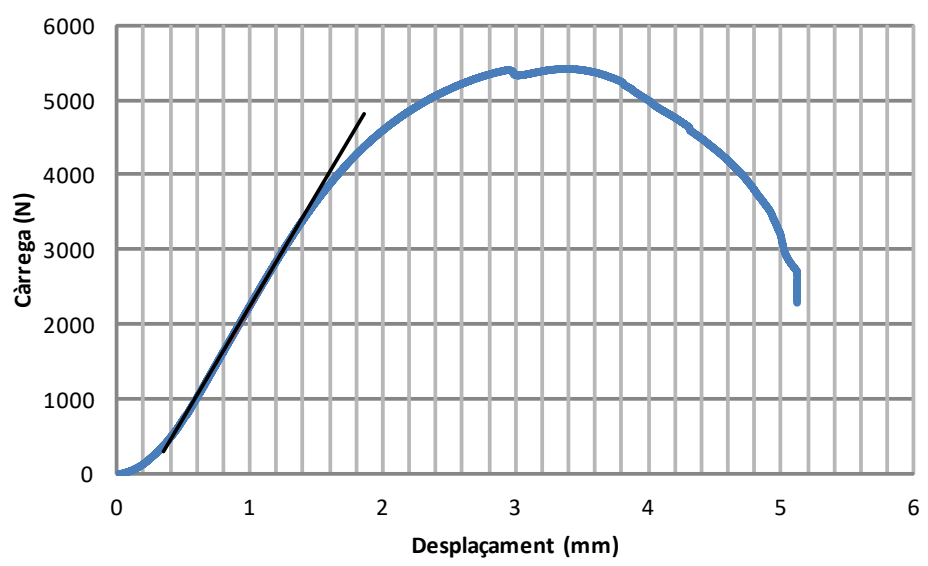
NOM PROVETA							
P-4-18-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	20/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	20,54
nº Pisos:	4	nº Barres:	18	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	5265,1	δ màx (mm):	2,92	δ*màx (mm):	2,51	Rigidesa (N/mm):	2946,99
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament de la prova. L'eix vertical representa la càrrega en Newtons (N), amb una escala de 0 a 6000. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 5. La corba blava, etiquetada com 'Càrrega-Desplaçament', comença a l'origen, augmenta progressivament fins a assolir un màxim de 5265,1 N a un desplaçament de 2,92 mm, i després es desdibuixa fins a 2650 N a 4 mm. Una línia negra, etiquetada com 'Rigidesa', indica la pendent inicial de la corba, representant la rigidesa de la prova.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra pis superior.							

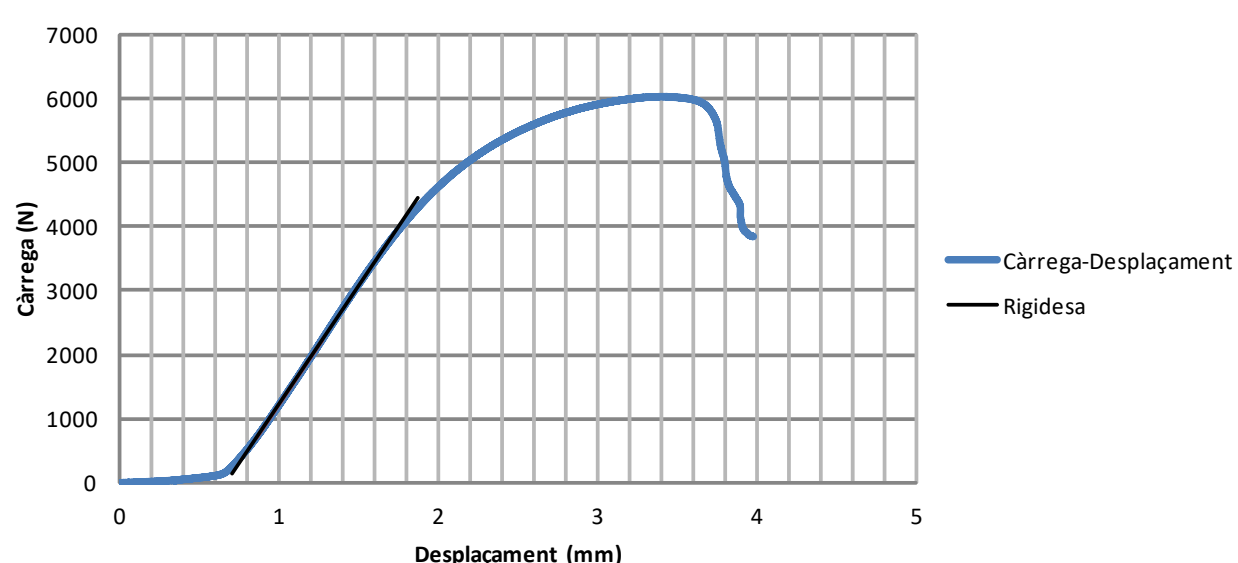
NOM PROVETA							
P-4-18-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	20/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	21,59
nº Pisos:	4	nº Barres:	18	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	6112,3	δ màx (mm):	3,03	δ*màx (mm):	2,61	Rigidesa (N/mm):	3306,44
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra pis superior.							

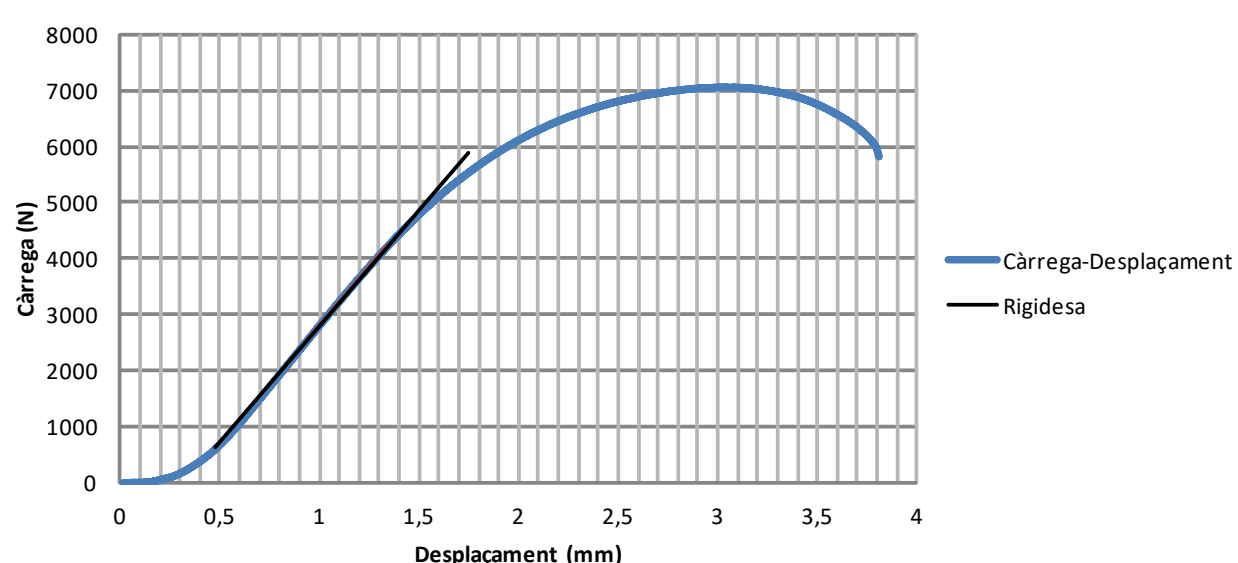
NOM PROVETA							
P-5-18-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	20/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	22,71
nº Pisos:	5	nº Barres:	18	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):	80			H _T (mm):	56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	5720,7	δ màx (mm):	3,52	δ*màx (mm):	3,24	Rigidesa (N/mm):	3307,56
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra pis superior.							

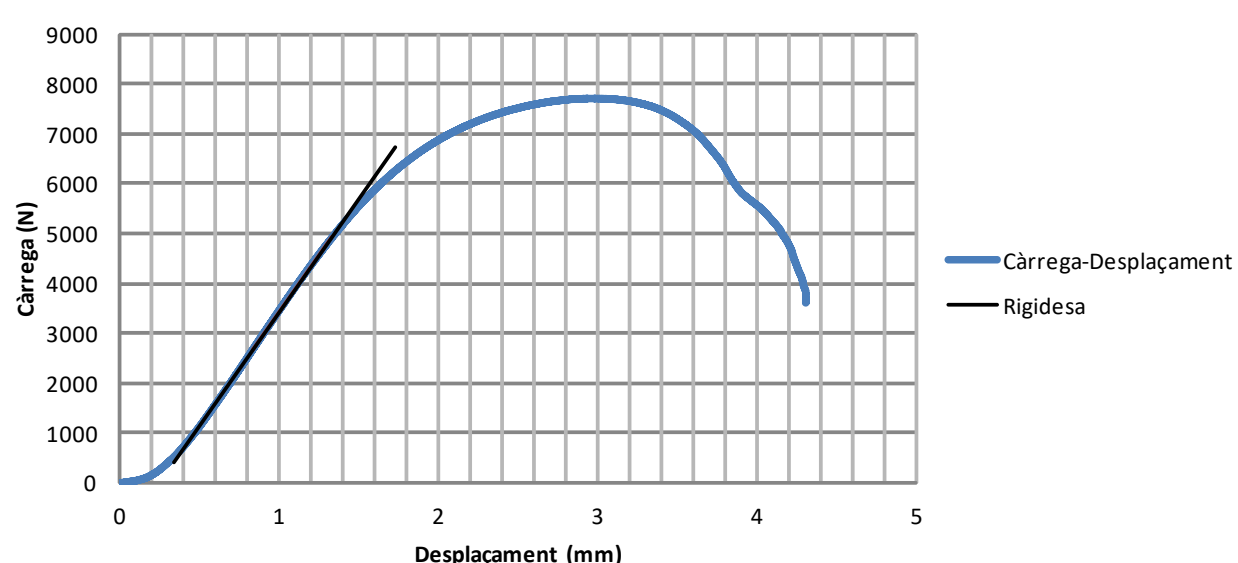
NOM PROVETA							
P-5-18-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	20/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	21,83
nº Pisos:	5	nº Barres:	18	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):	80		H _T (mm):		56		
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	5081,8	δ màx (mm):	2,95	δ*màx (mm):	2,62	Rigidesa (N/mm):	3132,23
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament resultant. La corba blava ('Càrrega-Desplaçament') comença a l'origen i segueix una trajectòria que s'aproxima a una línia recta inicialment, però després es corba cap a baix fins a arribar al punt de màxima càrrega. La línia negra ('Rigidesa') és una línia recta que s'utilitza per determinar la rigidesa inicial de la prova.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra pis superior.							

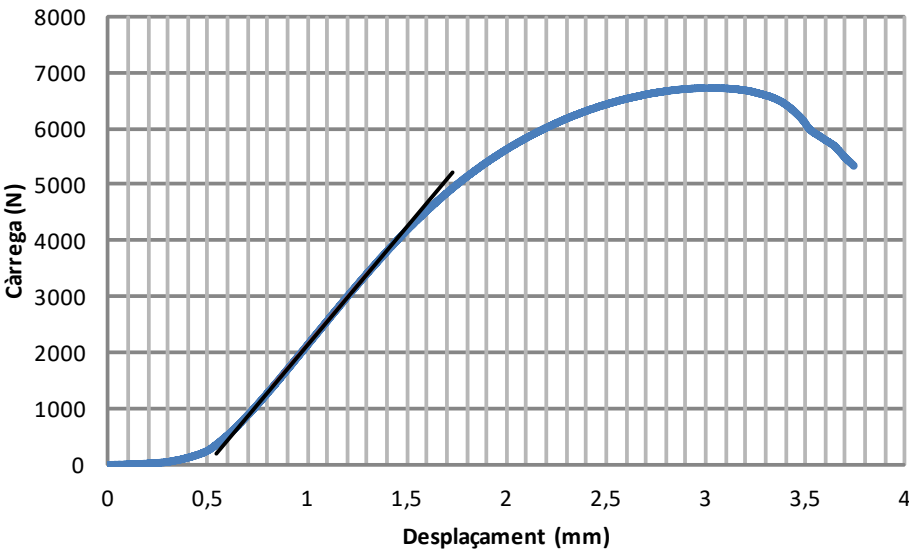
NOM PROVETA							
P-5-19-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	19/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	23,46
nº Pisos:	5	nº Barres:	19	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	6289,2	δ màx (mm):	3,60	δ*màx (mm):	3,25	Rigidesa (N/mm):	3388,86
GRÀFIC							
<div><p>El gràfic mostra la relació entre la càrrega aplicada i el desplaçament resultant. La corba blava ('Càrrega-Desplaçament') indica que la prova suporta càrregues creixents fins a un punt de màxima càrrega de 6289,2 N a un desplaçament de 3,60 mm. Després d'aquest punt, la càrrega disminueix fins a un valor de 1300 N a un desplaçament de 5 mm. La línia negra ('Rigidesa') representa la rigidesa inicial de la prova, amb un valor de 3388,86 N/mm.</p></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra pis superior.							

NOM PROVETA							
P-5-19-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	19/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	22,38
nº Pisos:	5	nº Barres:	19	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	5419,1	δ màx (mm):	3,38	δ*màx (mm):	3,12	Rigidesa (N/mm):	3009,63
GRÀFIC							
<div><div><div>Càrrega-Desplaçament</div><div>Rigidesa</div></div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra 2n pis començant per dalt.							

NOM PROVETA							
P-5-20-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	15/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	22,16
nº Pisos:	5	nº Barres:	20	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	6024,4	δ màx (mm):	3,41	δ*màx (mm):	2,75	Rigidesa (N/mm):	3682,95
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra 2 pisos superiors.							

NOM PROVETA							
P-5-20-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	15/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	23,61
nº Pisos:	5	nº Barres:	20	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	7041,5	δ màx (mm):	3,02	δ*màx (mm):	2,69	Rigidesa (N/mm):	4167,43
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra pis 4 començant per dalt i anell obert.							

NOM PROVETA							
P-5-21-30-1							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	14/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	24,06
nº Pisos:	5	nº Barres:	21	Gruix (mm):	3	Model:	1
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	7718,3	δ màx (mm):	2,99	δ*màx (mm):	2,74	Rigidesa (N/mm):	4525,09
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra 2n pis començant per dalt.							

NOM PROVETA							
P-5-21-30-2							
ESPECIFICACIONS PROVETA							
Material:	ABS	Data fabricació:	14/06/2018	Data assaig:	11/07/2018	Pes (g)	22,91
nº Pisos:	5	nº Barres:	21	Gruix (mm):	3	Model:	2
Ø _{ext} (mm):		80		H _T (mm):		56	
RESULTATS							
Càrrega màx (N):	6706	δ màx (mm):	3,02	δ*màx (mm):	2,52	Rigidesa (N/mm):	4247,70
GRÀFIC							
<div></div>							
COMENTARIS							
Ruptura barra 2n pis començant per dalt i anell obert.							

ANNEX B

B.1 Manual Slic3r

En el següent manual es dona una explicació de cada paràmetre per poder entendre que fa variar cada un d'ells.

Aquests paràmetres poden variar segons les condicions d'entorn on es troba instal·lada la impressora.

PRINT SETTINGS (AJUSTAMENTS D'IMPRESSIÓ)

Layer and perimeters (Capes i perímetres)

Paràmetres per configurar capes i perímetres [75].

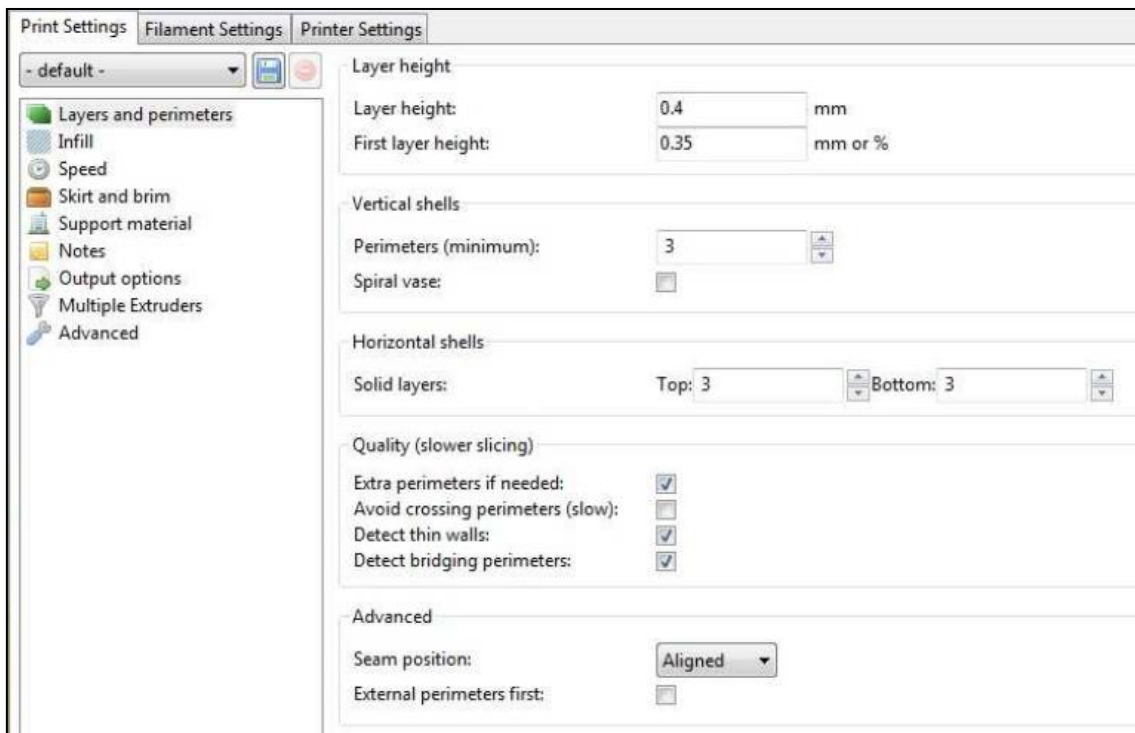


Figura 75: Print Settings, Layer and perimeters

- Layer height (Altuera de capa): Aquí es defineix l'altura que tindran les capes de la nostra peça. A més altura de capa menys qualitat. Cal que aquest paràmetre estigui relacionat amb el diàmetre de la sortida de l'extrusor.
- First layer height (Altuera de la primera capa): Defineix l'altura de la primera capa. Normalment una mica inferior a la resta de capes per garantir adhesió amb el llit.
- Vertical shells (Capes verticals): Defineix el gruix de la paret externa de la peça (perímetres de paret abans de començar "infill").
- Perimeters [minimum] (Perímetres [mínim]): Defineix el número de perímetres mínims que es volen fer a l'hora de construir la peça.

- Horizontal shells (Capes horitzontals): Aquest paràmetre controla el número de capes sòlides en la part inferior i superior de la peça.
- Solid layers (Capes sòlides): Es seleccionen quantes capes solides volem que tingui la nostra peça tant a la part superior (Top) com inferior (Bottom).
- Extra perimeters if needed (Generar perímetres addicionals quan sigui necessari): Es generaran capes sòlides on sigui millor que fer "infill".
- Avoid crossing perimeters (Evitar creuar els perímetres): Aquesta casella fa que durant els moviments, l'extrusor faci creuaments en els perímetres el mínim possible.
- Detect thin walls (Detectar parets primes): Detectar extrusions que no encaixen i necessiten unir-se a una sola part.
- Detect bridging perimeters (Detectar perímetres caiguts): Opció experimental per ajustar el flux de voladissos.
- External perimeters first (Primer perímetres externs): Imprimeix primer el perímetre visible de la peça cap a l'interior de l'objecte.

Infill (reompliment)

Paràmetres per controlar el reompliment de les peces [76].

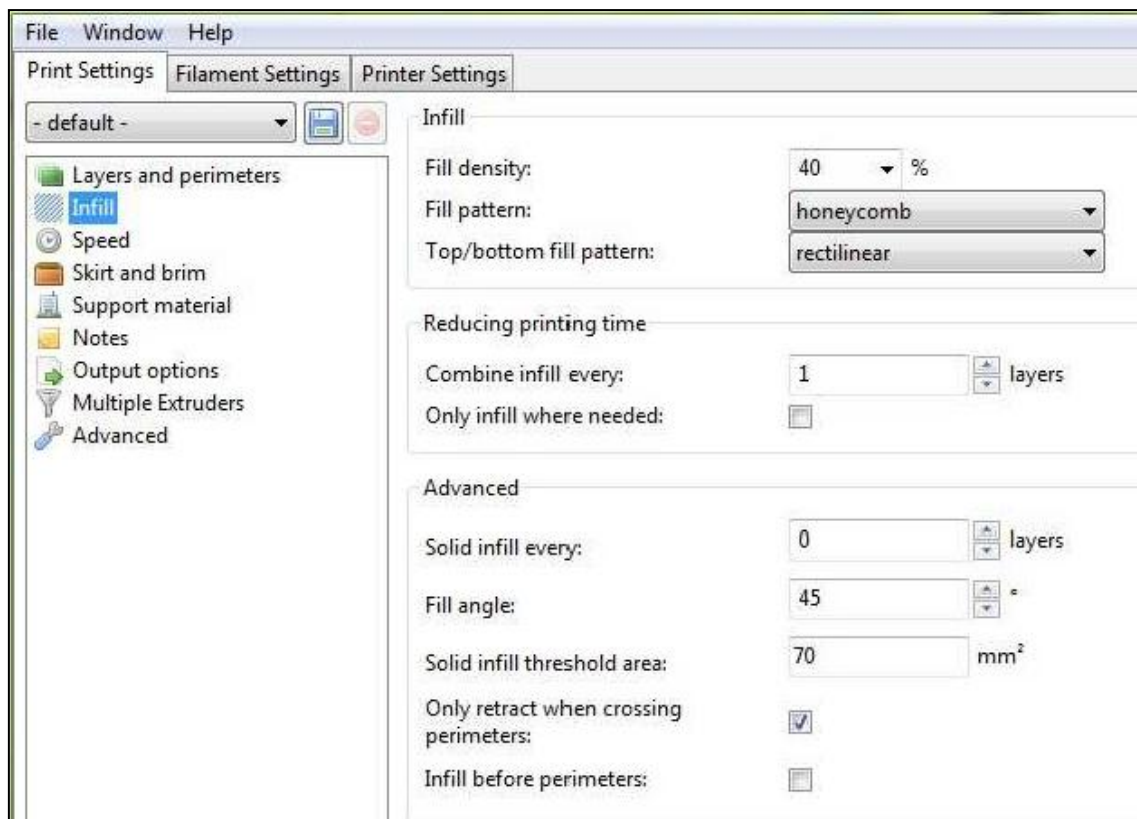
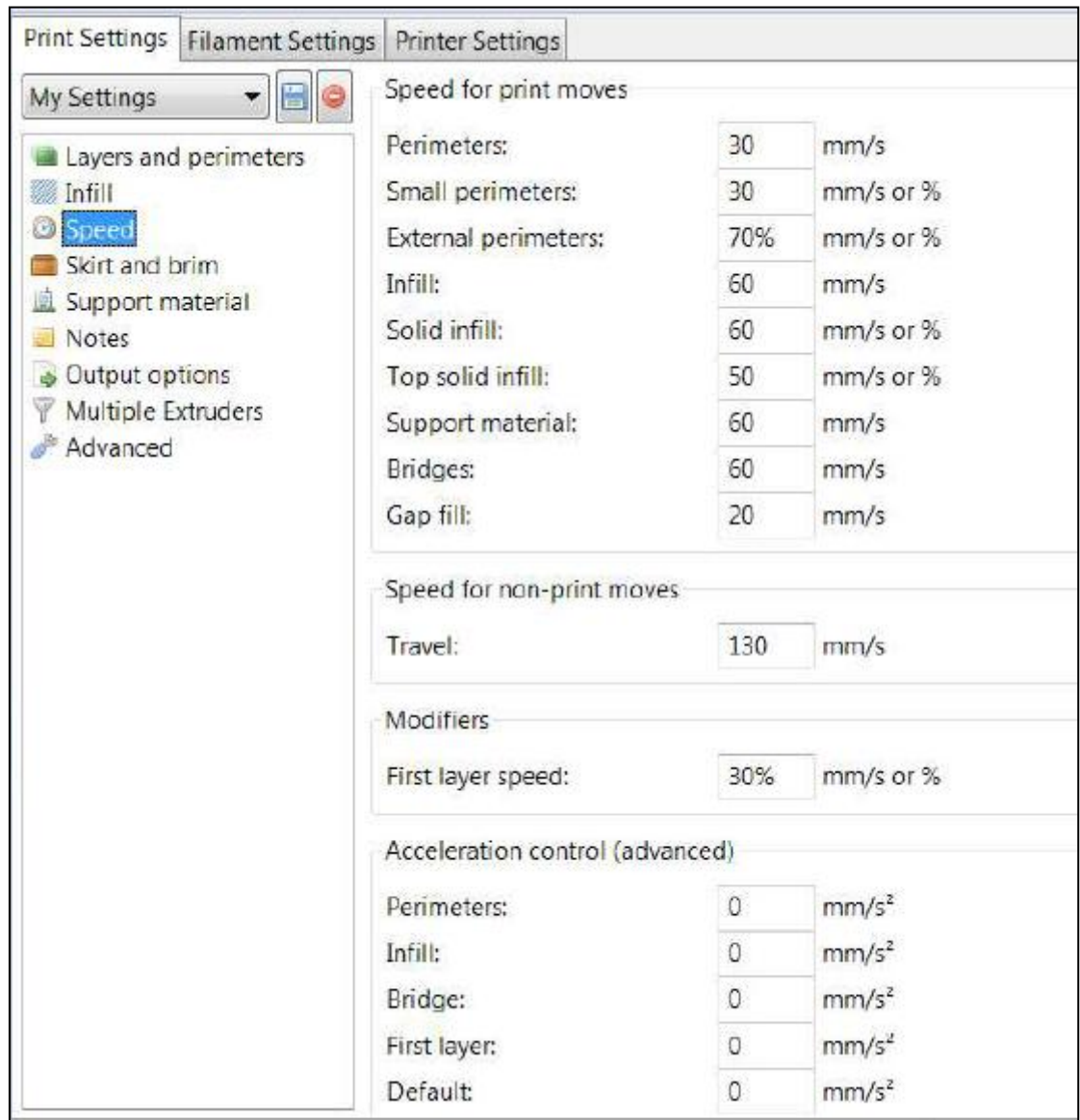


Figura 76: Print Settings, Infill

- Fill density (Densitat de l'emplenament): Definim aquí si l'emplenament és més o menys dens a partir d'un tant per cent.
- Fill pattern (Patró d'emplenament): Definim el tipus d'emplenament (forma).
- Combine infill every: Permet utilitzar diferents altures de capa per els perímetres i per l'emplenament.
- Solid infill every (Capa sòlida cada emplenament): Permet imprimir una capa sòlida cada X capes d'emplenament.
- Fill angle (angle d'emplenament): Definim l'angle amb el que es realitzarà l'emplenament.
- Solid infill threshold area: Defineix la mida mínima en mm² on s'ha d'imprimir amb "infill" o millor amb capa sòlida per garantir la rigidesa.
- Only retract when crossing perimeters (Només retraure al creuar perímetres): Permet que només es retracti material quan es creuen perímetres.
- Infill before perimeters (Emplenament abans de perímetres): S'imprimeixen primer l'emplenament i després els perímetres.

Speed (Velocitat)

Paràmetres per controlar les velocitats [77].



The screenshot shows the 'Speed' settings tab in a 3D printing software interface. The left sidebar contains a list of settings categories: Layers and perimeters, Infill, Speed (selected), Skirt and brim, Support material, Notes, Output options, Multiple Extruders, and Advanced. The main area displays the following settings:

Speed for print moves		
Perimeters:	30	mm/s
Small perimeters:	30	mm/s or %
External perimeters:	70%	mm/s or %
Infill:	60	mm/s
Solid infill:	60	mm/s or %
Top solid infill:	50	mm/s or %
Support material:	60	mm/s
Bridges:	60	mm/s
Gap fill:	20	mm/s

Speed for non-print moves		
Travel:	130	mm/s

Modifiers		
First layer speed:	30%	mm/s or %

Acceleration control (advanced)		
Perimeters:	0	mm/s ²
Infill:	0	mm/s ²
Bridge:	0	mm/s ²
First layer:	0	mm/s ²
Default:	0	mm/s ²

Figura 77: Print Settings, Speed

- Perimeters (Perímetres): Configurem la velocitat correcta per imprimir.
- Small perimeters (Perímetres petits): Velocitat d'impressió per perímetres amb radis inferiors de 6,5 mm.
- External perimeters (Perímetres externs): Marquem la velocitat únicament dels perímetres exteriors de la peça.

- Infill (Emplenament): Defineix la velocitat d'impressió de l'emplenament.
- Solid infill (Emplenament sòlid): Defineix la velocitat de les capes d'emplenament sòlides.
- Top solid infill (Emplenament sòlid superior): És la velocitat amb la que s'imprimiran les capes sòlides superiors.
- Support material (Material de suport): Velocitat d'impressió del material de suport.
- Bridges (Ponts): Velocitat que s'imprimirà al detectar un pont.
- Gap fill (Emplenament gap): Velocitat d'emplenament en àrees petites.
- Travell (viatge): Velocitat de l'extrusor quan es mou sense extrudir material.
- First layer speed (Velocitat de la primera capa): Velocitat de la primera capa. Normalment més baixa per garantir adhesió.
- Acceleration control (Control d'acceleració): Opció avançada que permet configurar l'acceleració de perímetres, emplenament i ponts.

Skirt and Brim (Faldilles i ales)

- Loops (Perímetres de contorn): Definim el número de perímetres externs extra que volem fer per garantir l'adhesió de la peça.
- Distance from object (Distància de l'objecte): Defineix la distància de la peça a la que es faran els perímetres de contorn.
- Skirt height (Altura de la faldilla): Podem definir quantes capes volem que durin els perímetres externs.
- Minimum extrusion length (Longitud d'extrusió mínima): Podem definir els mil·límetres mínims que volem extrudir durant el procés "Skirt" i Slic3r calcula quants "loops" són necessaris.
- Brim width (Amplada brim): Definim quina volem que sigui l'amplada extra de la nostra peça.

Support material (material de suport)

Paràmetres que permeten configurar la impressió del material de suport (no utilitzat en la impressió de les provetes)

Notes (Notes)

Permet fer anotacions sobre les diferents configuracions utilitzades per identificar-les millor.

Output options (Opcions de sortida)

Opcions noves encara en fase experimental. Per impressores convencionals en moltes ocasions no s'apliquen.

Multiple Extruders (Extrusors múltiples)

Per impressores amb més d'un extrusor, permet configurar quina part de la impressió ha de realitzar cada un.

FILAMENT SETTINGS (AJUSTAMENTS DE FILAMENT)

En aquesta pestanya tenim els ajustaments relacionats amb el material que utilitzarem.

Filament (Filament):

Paràmetres destinats al material a imprimir [78].

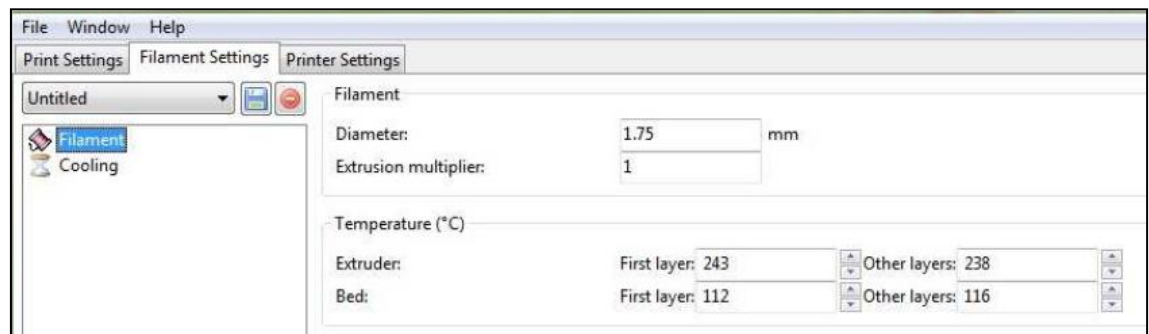


Figura 78: Filament settings, Filament

- Diameter (Diàmetre): Es defineix el diàmetre del filament de material que s'utilitzarà.
- Extrusion multiple (Multiplicador d'extrusió): Relació de radis entre l'engranatge petit i l'engranatge gran de l'extrusor. Al augmentar aquest paràmetre s'extrudeix més material.

- Extruder temperature (Temperatura extrusor): Defineix la temperatura de l'extrusor. Aquesta és diferent per cada material.
- Bed temperature (Temperatura llit): Defineix la temperatura del llit.

Cooling (Ventilació)

En aquesta secció controlem el ventilador [79]. Aquest ajuda a solidificar la peça en determinades ocasions.

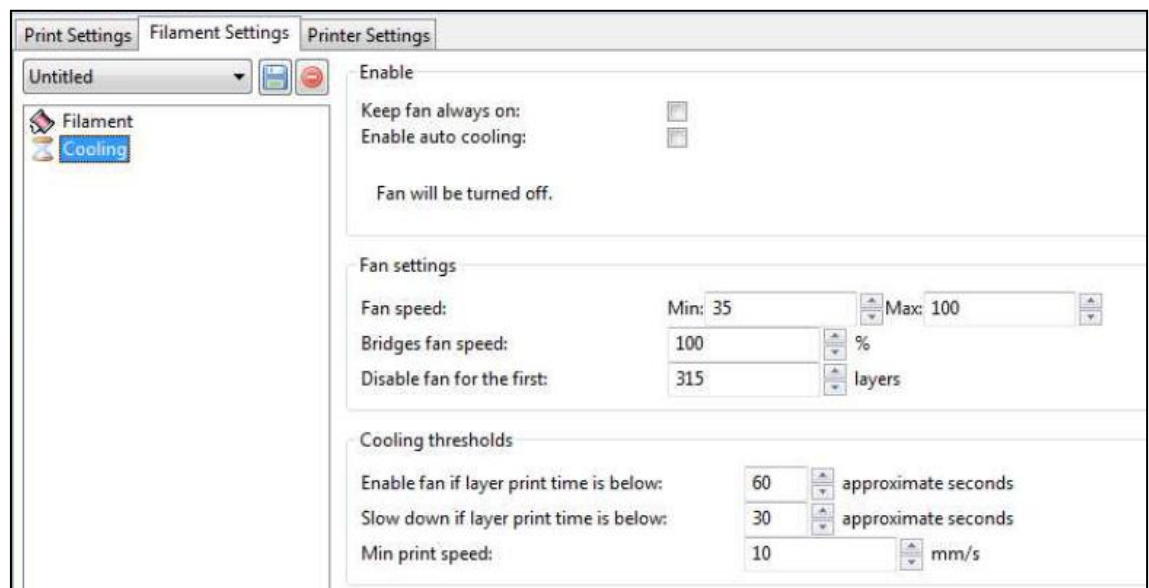


Figura 79: Filament settings, Cooling

- Keep fan always on (Manté el ventilador sempre activat): Si activem aquesta casella el ventilador mai deixa de funcionar.
- Enable auto cooling (Habilitar refrigeració automàtica): Activant aquesta casella, activem el ventilador de forma automàtica. S'ajusta la velocitat del ventilador en funció del temps d'impressió de cada capa.
- Fan speed (Velocitat del ventilador): Definim el màxim i el mínim PWM que el ventilador necessita per funcionar.
- Bridges fan speed (Velocitat del ventilador durant els ponts): Velocitat que funcionarà el ventilador quan es detecti la impressió d'un pont.
- Disable fan for the first (Desactivar el ventilador al principi): Es defineixen quantes capes del principi es vol que el ventilador estigui parat.

PRINTER SETTINGS (AJUSTAMENTS DE LA IMPRESSORA)

Definim les característiques principals de la nostra impressora.

General (General)

Configuració de la base i el firmware de la màquina [80].

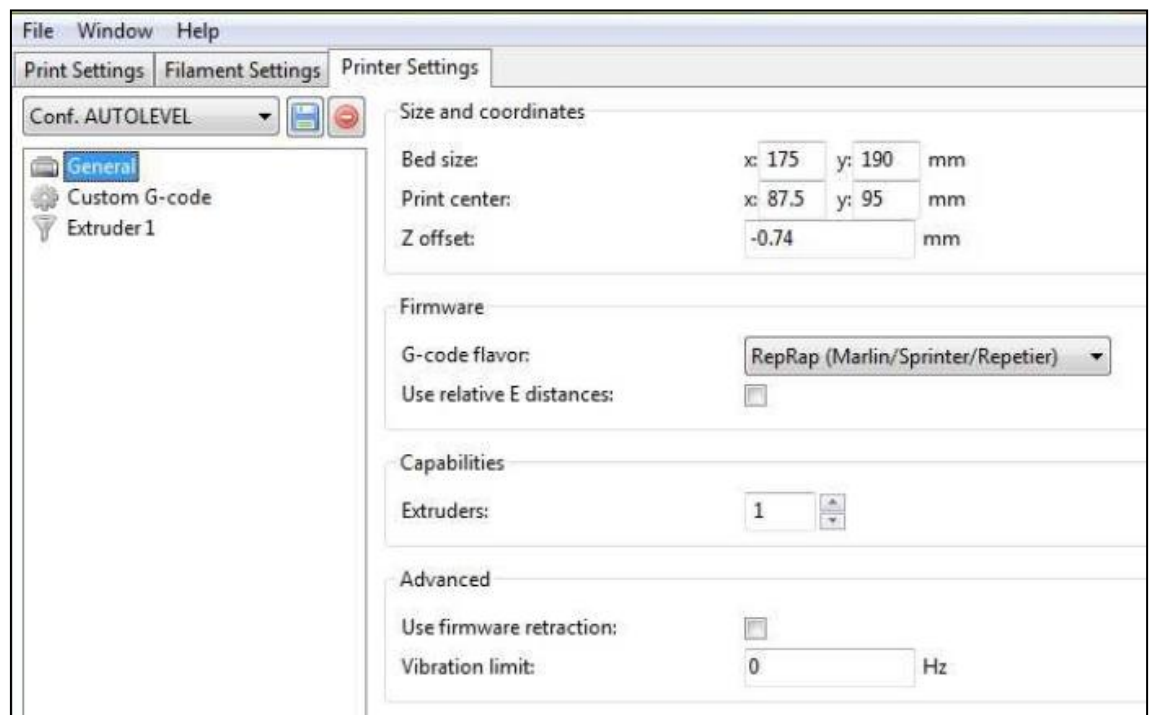


Figura 80: Printer Settings, General

- Bed size (Mida del llit): Definim la mida de la superfície d'impressió de la nostra màquina.
- Print center (Centre d'impressió): Configurem on volem que es centri la impressió.
- Z offset (Z compensació): Mitjançant aquest paràmetre podem calibrar l'eix Z.

Custom G-code (Ordres G-code)

Ens permet introduir G-code's personalitzats al principi final de la impressió.

Extruder 1 (Extrusor 1)

En aquesta secció, podem definir els paràmetres referents als extrusors [81].

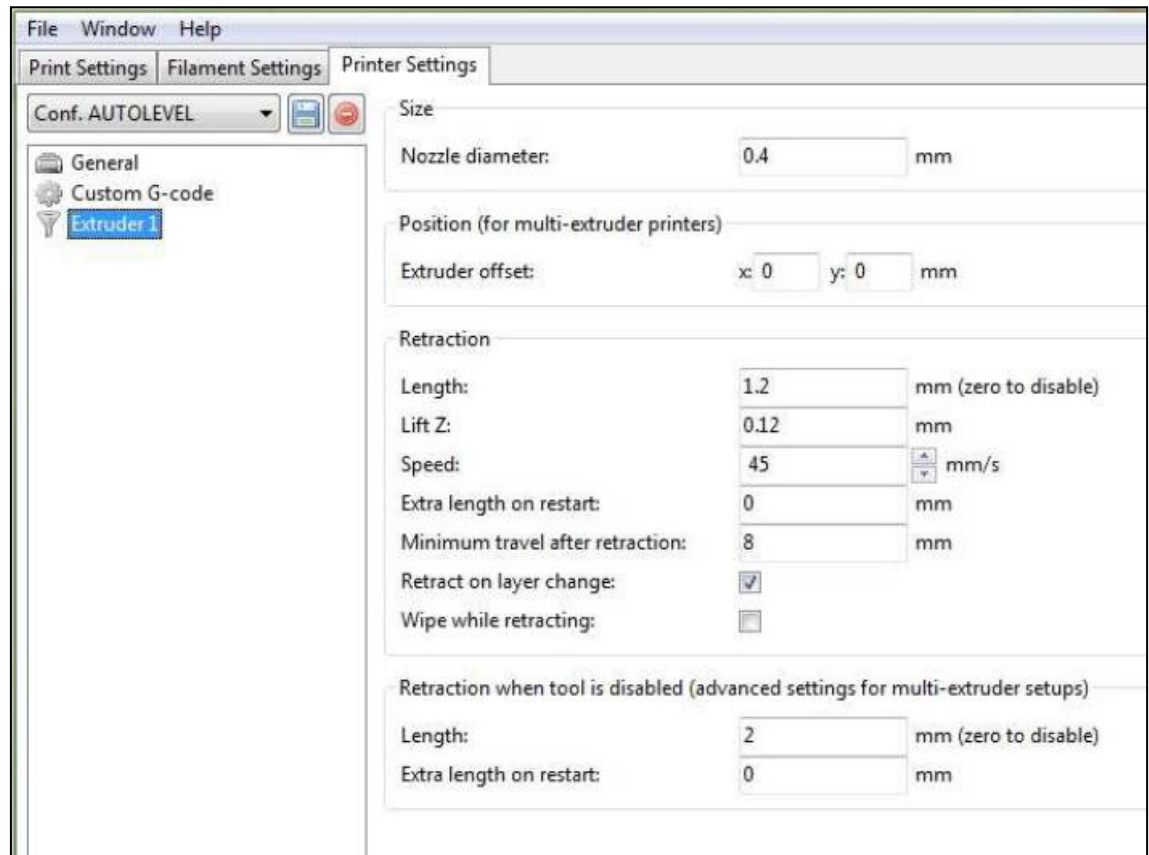


Figura 81: Printer Settings, Extruder 1

- Nozzle diameter (Diàmetre sortida extrusor): Cal introduir el diàmetre del forat de sortida del nostre extrusor.
- Extruder offset (Compensar extrusor): Opció per calibrar la distància entre els dos extrusors. (En el nostre cas només en tenim un).
- Length (Llargada): En aquesta casella em d'introduir la distància de retracció de material que ens sigui més favorable.
- Lift Z (Ascensor Z): Podem dir-li a Slic3r que quan realitza desplaçaments en el buit pugui una mica l'extrusor per evitar que pugui xocar amb altres parts ja impreses.
- Speed (Velocitat): Paràmetre que permet definir la velocitat en que l'extrusor realitza la retracció.

- Extra length on restart (Longitud adicional després de retracció): Definim la quantitat de material extra que s'ha d'extrudir després d'una retracció.
- Minimum travel after retraction (Viatge mínim per fer retracció): Definim la distància mínima per la qual s'aplicarà retracció, si en un viatge, aquesta es supera.
- Retract on layer change (Retracció al canviar de capa): Al activar aquesta opció, forcem que es faci retracció cada cop que es canvia de capa.

B.2 Paràmetres utilitzats per imprimir les provetes

Seguidament es mostren captures de pantalla on es poden veure tots els paràmetres utilitzats per imprimir les provetes.

Print Settings (Ajustaments d'impressió)

Paràmetres d'impressió [82 - 89].

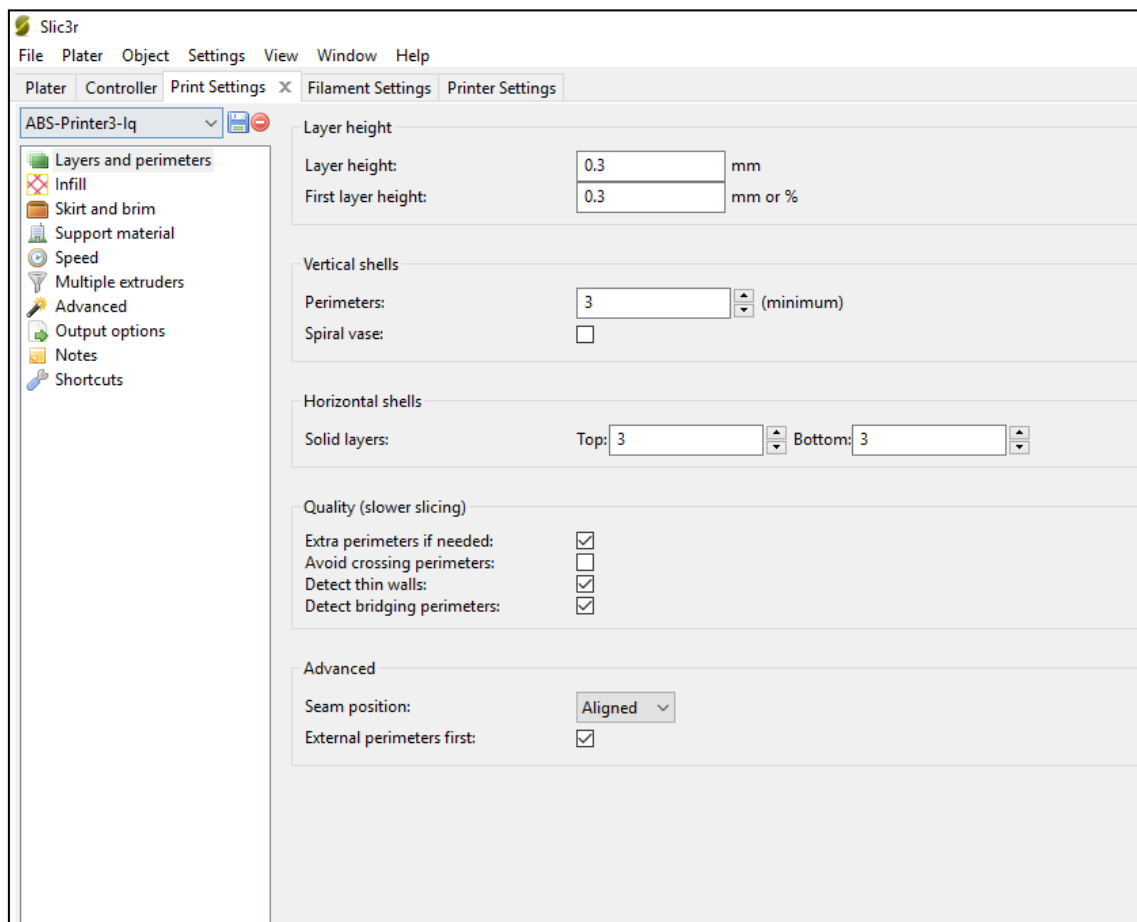


Figura 82: Print Settings, Layers and perimeters

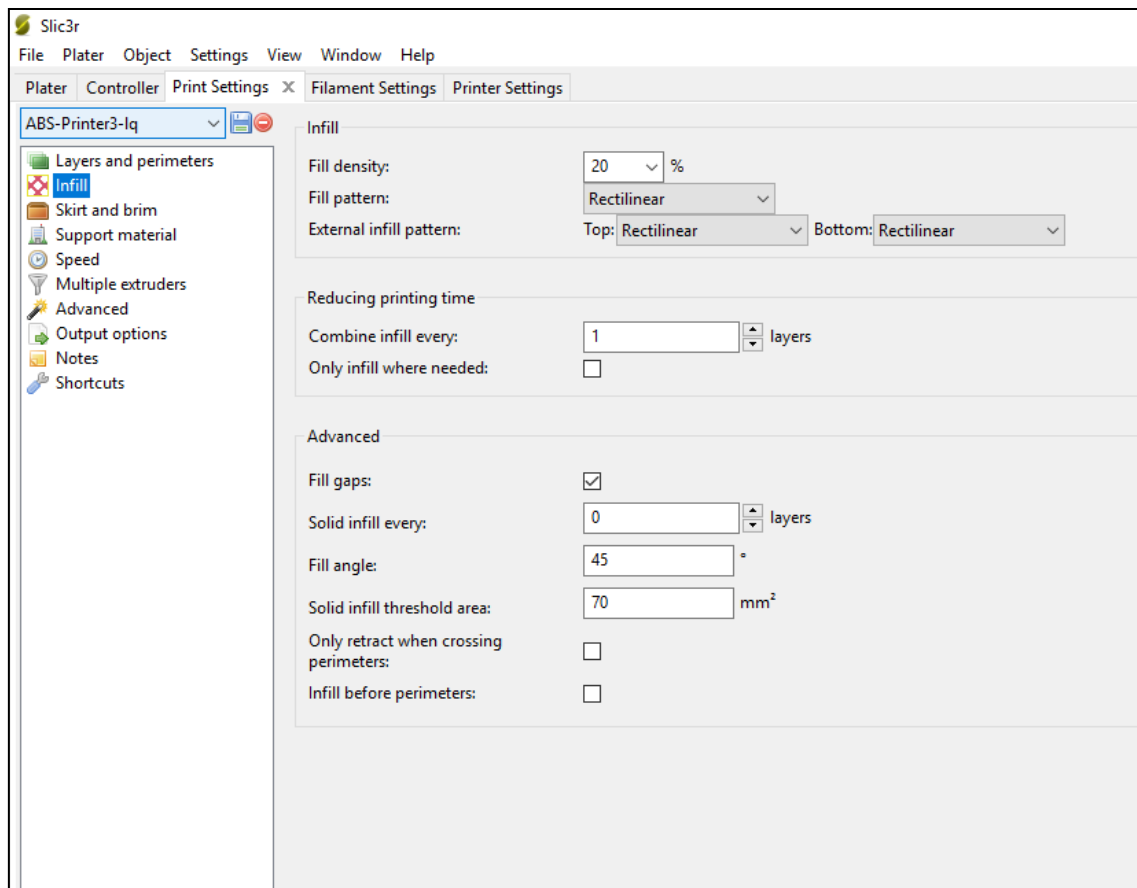


Figura 83: Print Settings, Infill

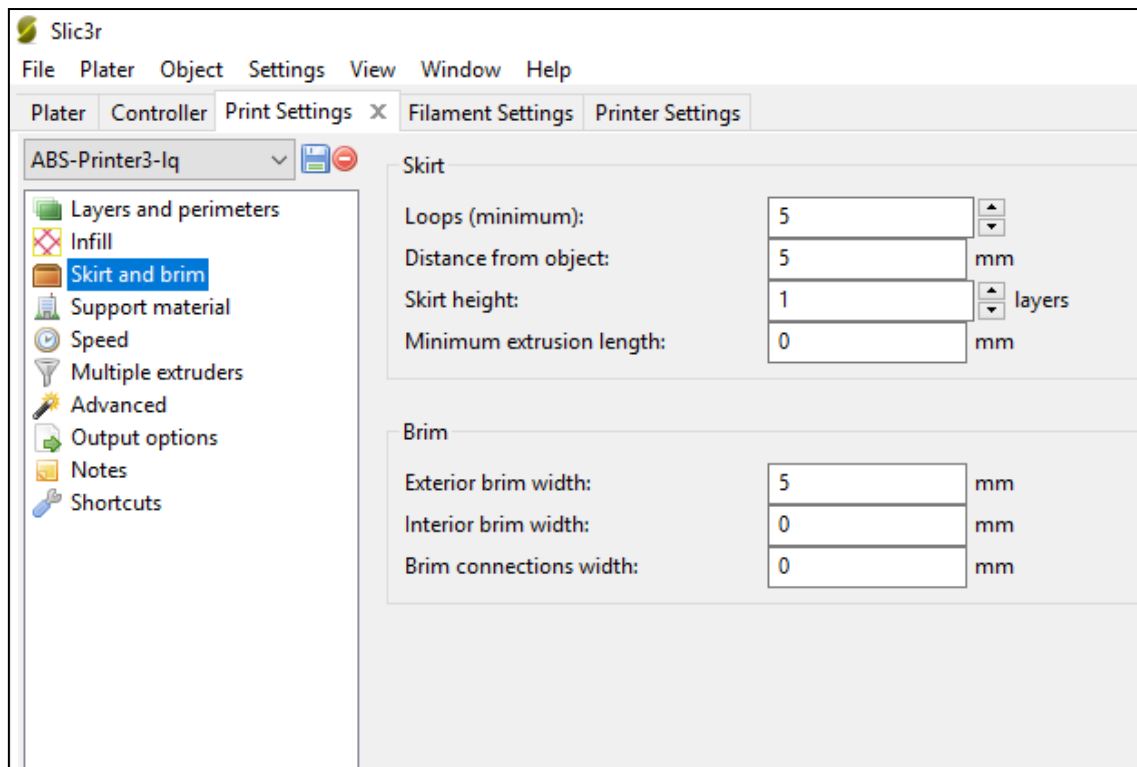


Figura 84: Print Settings, Skirt and brim

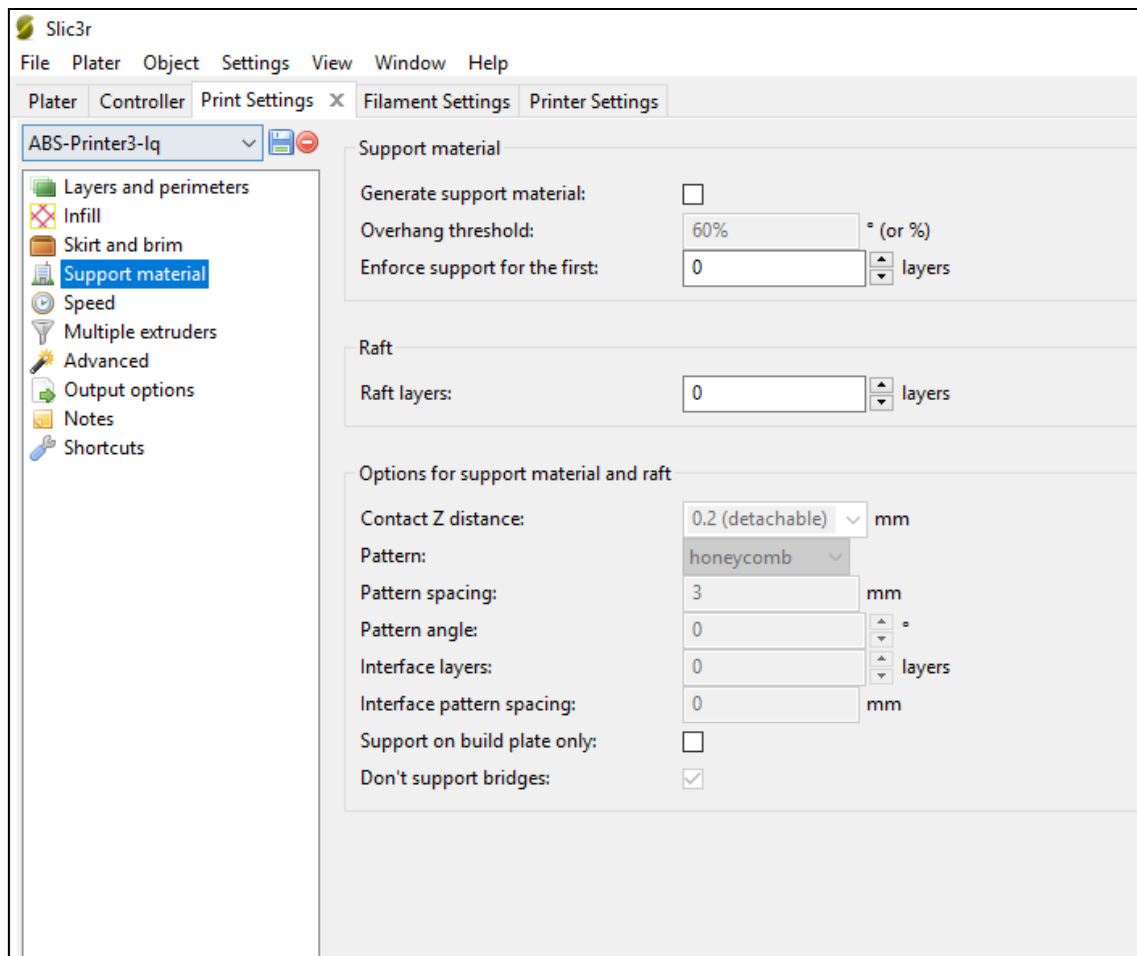


Figura 85: Print Settings, Support material

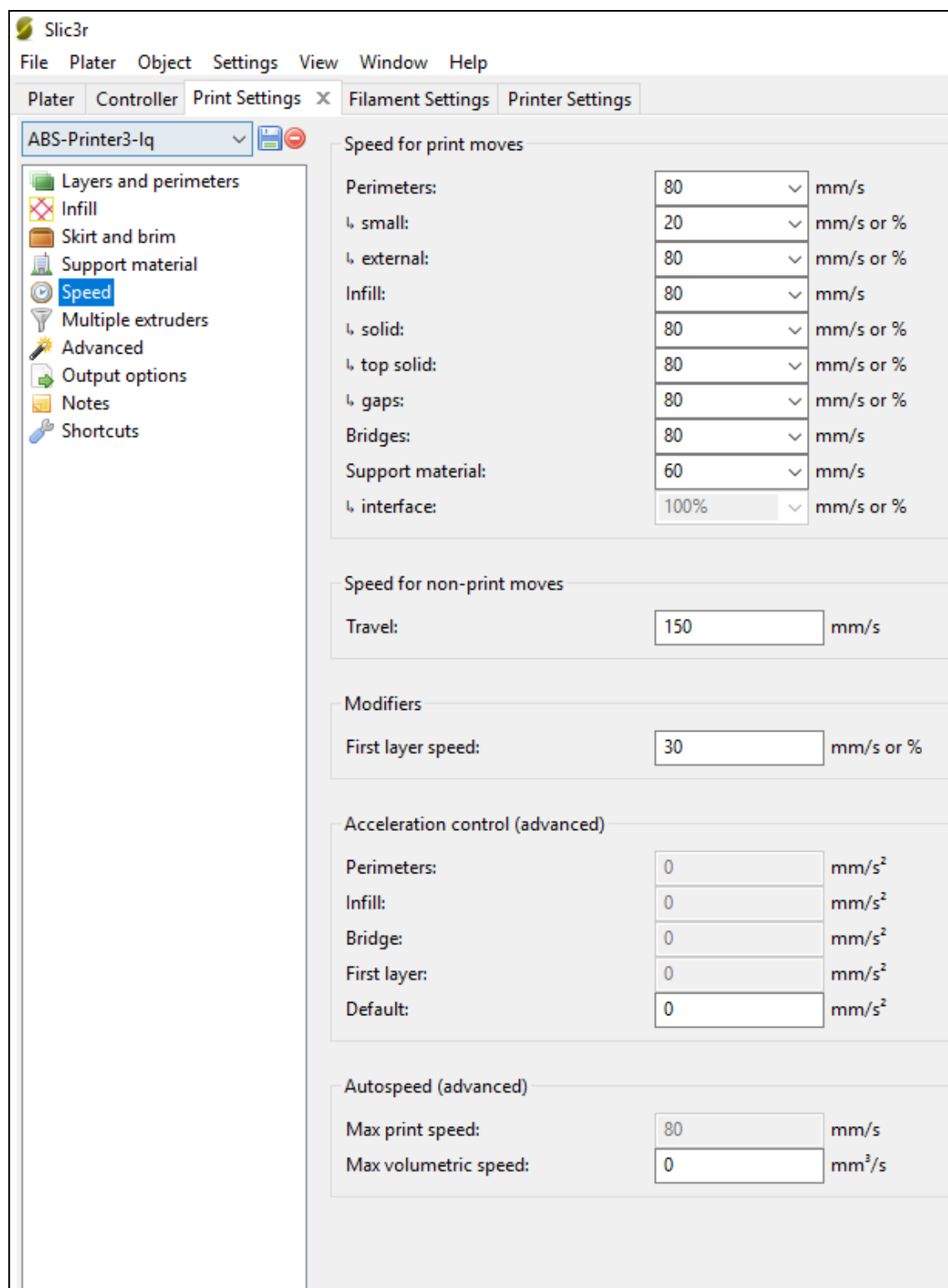
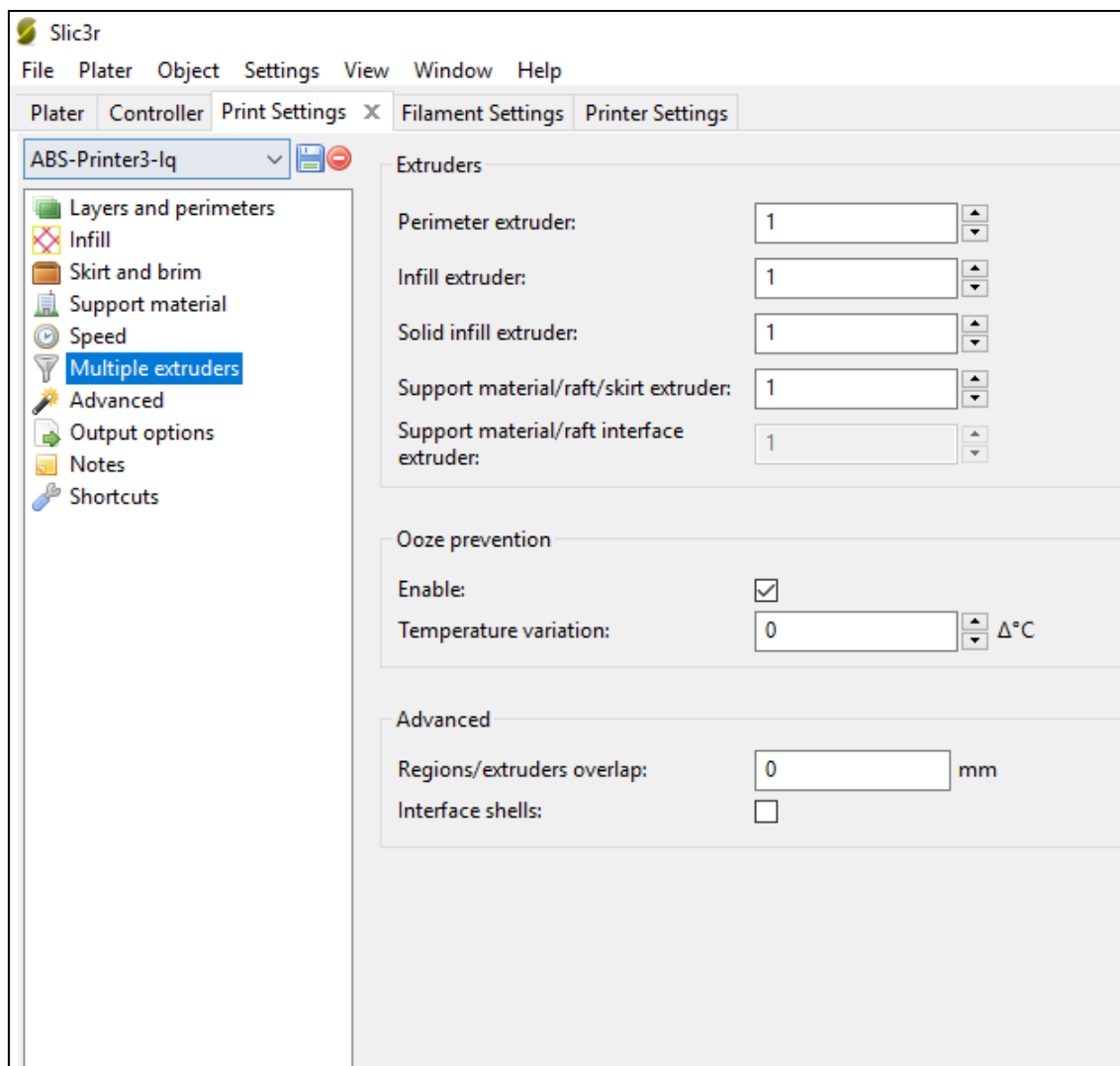


Figura 86: Print Settings, Speed

*Figura 87: Print Settings, Multiple extruders*

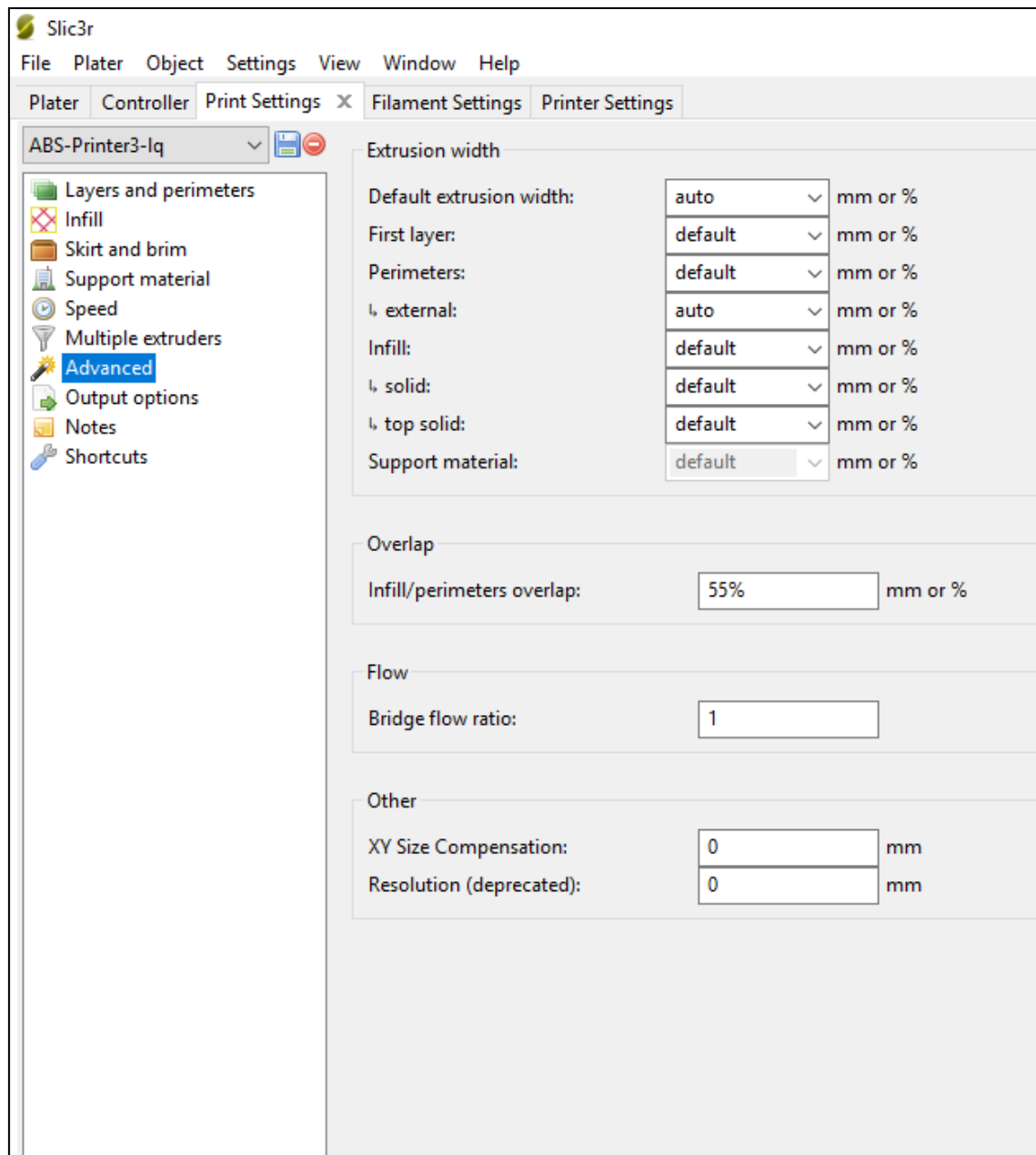


Figura 88: Print Settings, Advanced

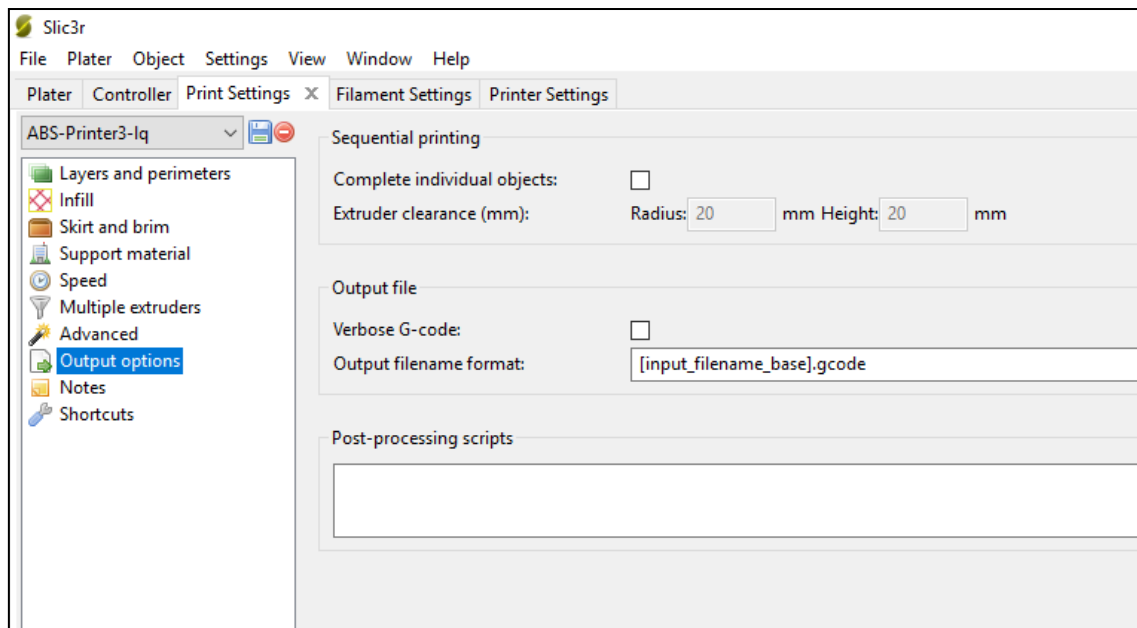


Figura 89: Print Settings, Output options

Filament Settings (Ajustaments del filament)

Paràmetres del material a imprimir [90 - 92].

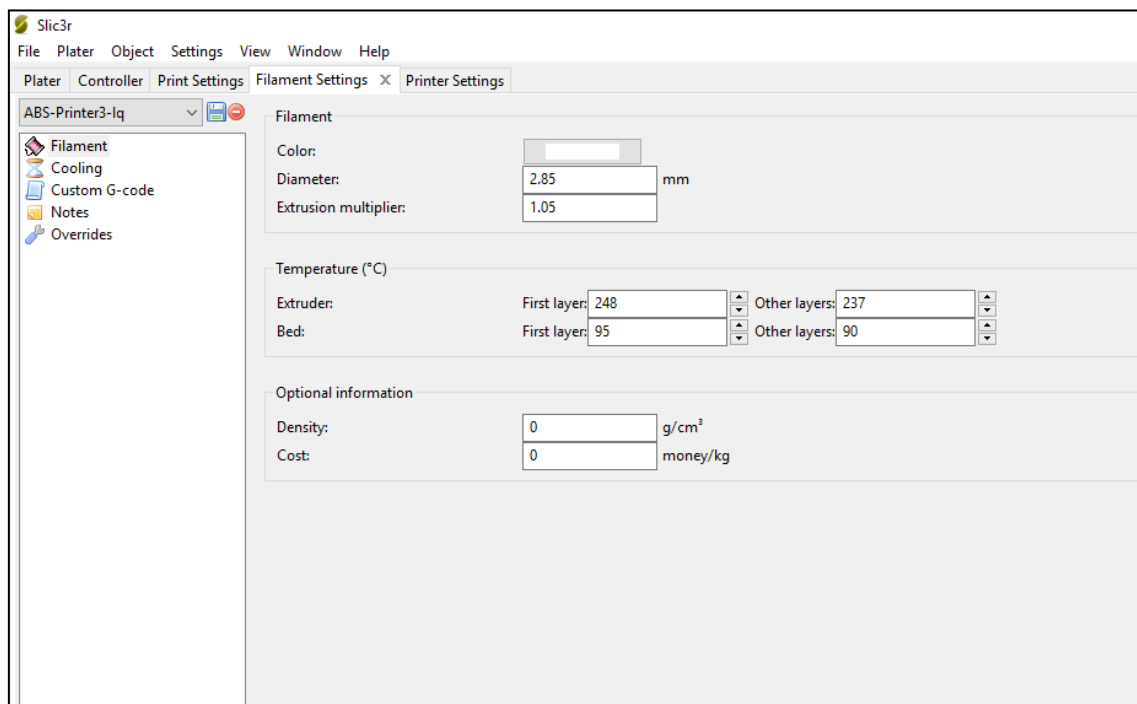


Figura 90: Filament Settings, Filament

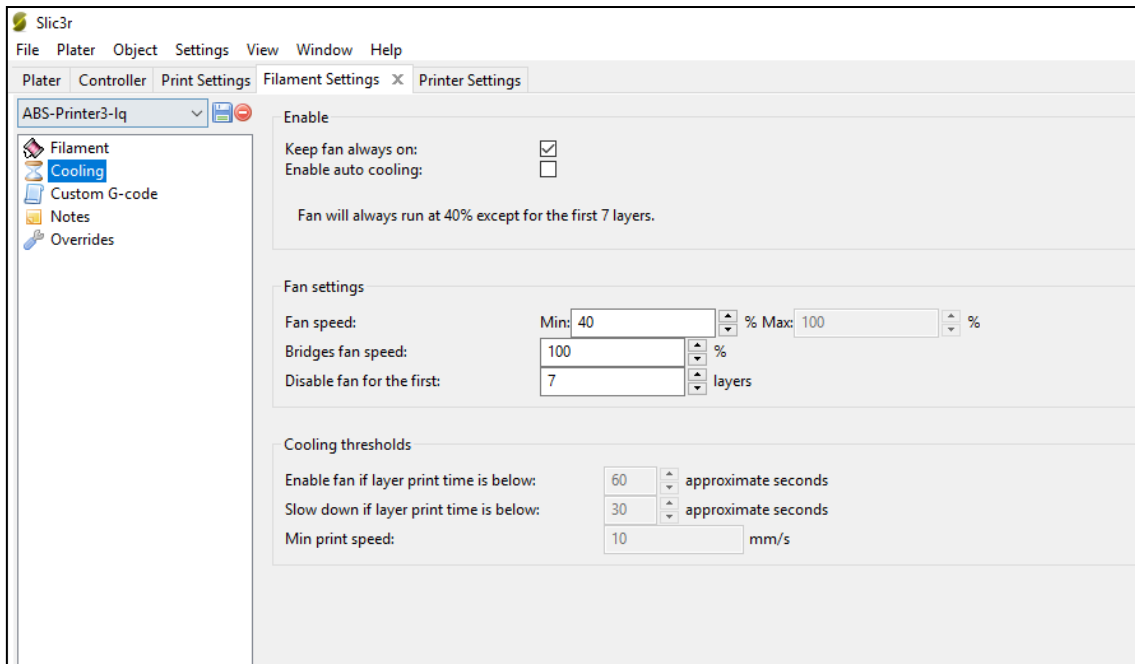


Figura 91: Print Settings, Cooling

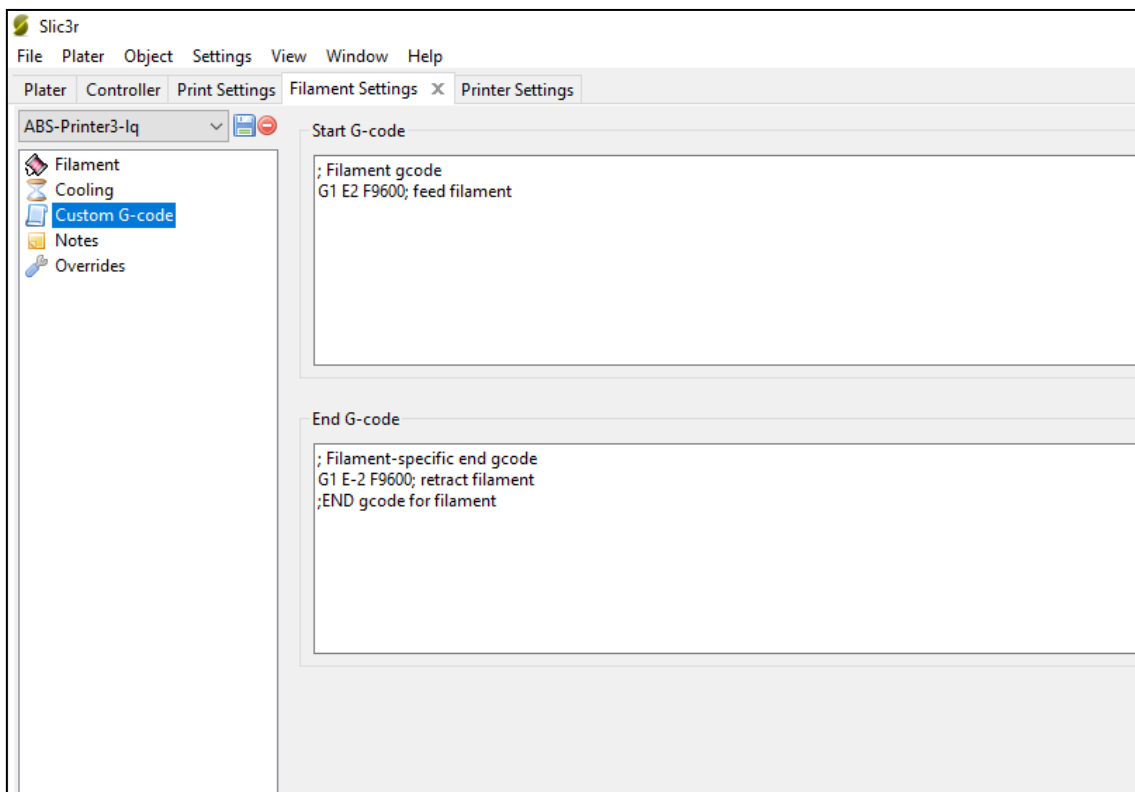


Figura 92: Print Settings, Custom G-code

Printer settings (Ajustaments de la impressora)

Paràmetres per ajustar la impressora [93 - 95]

The image shows the Slic3r software interface with the 'Printer Settings' window open. The 'General' tab is selected, showing various configuration options for the printer. The left sidebar lists 'General', 'Custom G-code', 'Notes', and 'Extruder 1'. The main panel is divided into several sections: 'Size and coordinates', 'Capabilities', 'USB/Serial connection', 'Print server upload', 'Firmware', and 'Advanced'.

Size and coordinates

- Bed shape: Set...
- Z offset: -0.1 mm

Capabilities

- Extruders: 1
- Has heated bed: ☒

USB/Serial connection

- Serial port: [Dropdown menu]
- Speed: 250000 [Dropdown menu] [Test]

Print server upload

- Host type: Octoprint [Dropdown menu]
- Host or IP: [Text field] [Browse...] [Test]
- API Key: [Text field]

Firmware

- G-code flavor: RepRap (Marlin/Sprinter) [Dropdown menu]

Advanced

- Use relative E distances: ☐
- Use firmware retraction: ☐
- Use volumetric E: ☐
- Pressure advance: 0 [Text field]
- Vibration limit (deprecated): 0 Hz [Text field]
- Z full steps/mm: 0 [Text field]

Figura 93: Printer Settings, General

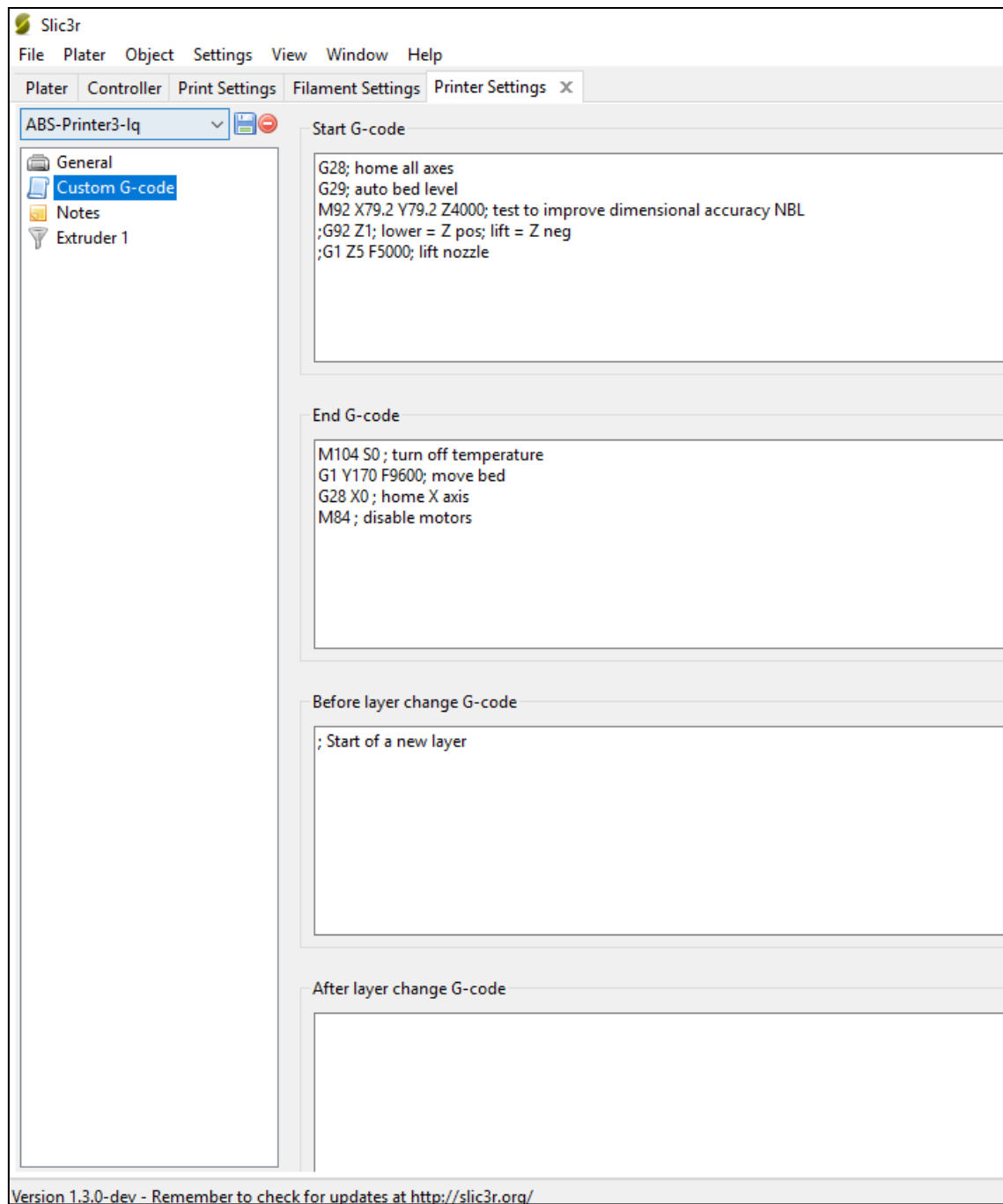


Figura 94: Print Settings, Custom G-code

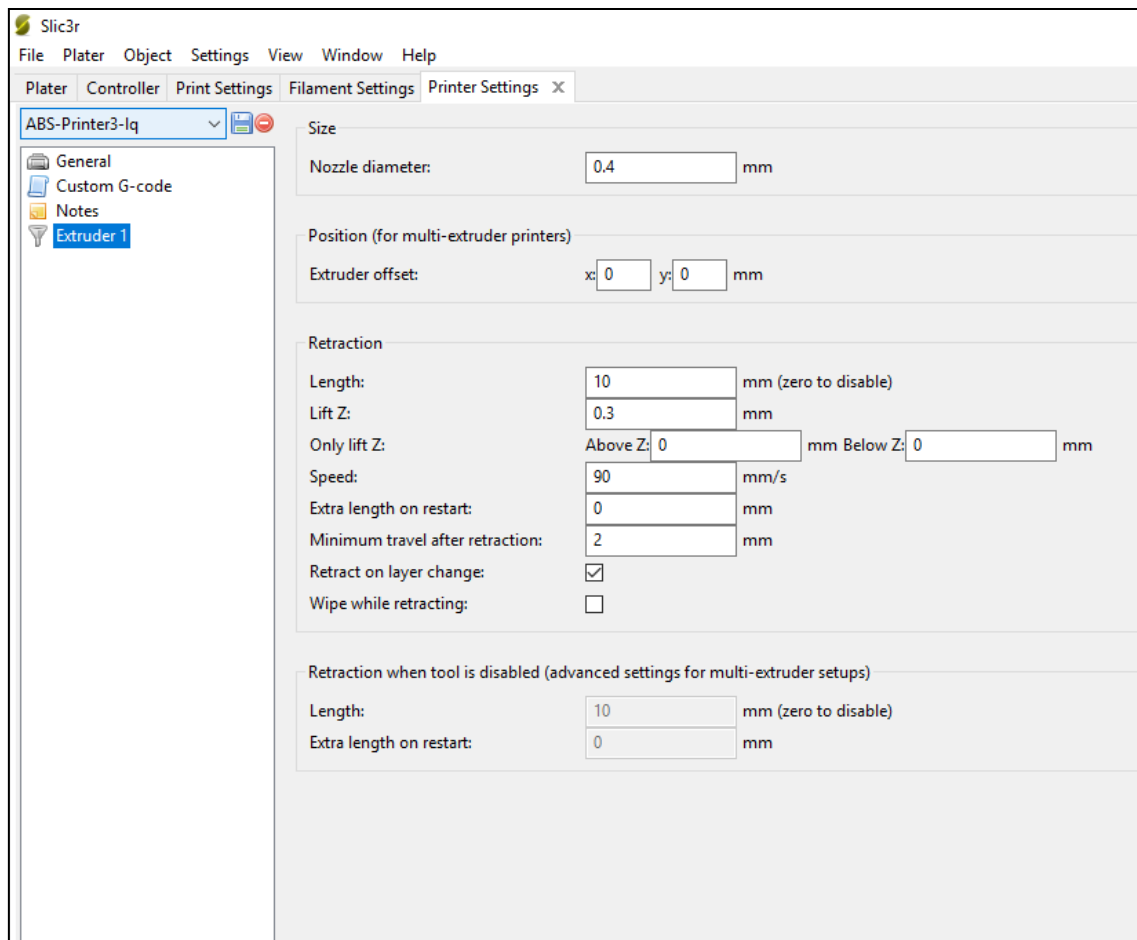


Figura 95: Print Settings, Extruder 1