

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol: Estudi del comportament a flexió d'elements amb rigidesa gradual fabricats amb impressió 3D

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Pau Caballero Gayolà

Tutor: Norbert Blanco Villaverde

Departament: Enginyeria Mecànica i Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria Mecànica

Convocatòria (mes/any): Setembre 2019

ÍNDEX

MEMÒRIA

1.	INTRODUCCIÓ	4
1.1	Antecedents.....	4
1.2	Objecte del projecte.....	4
1.3	Requeriments i abast.....	4
2.	ANÀLISI IMPRESSIÓ 3D	5
2.1	Història	5
2.2	Impressores 3D	5
2.3	Software	6
2.4	Entorn.....	6
3.	METODOLOGIA.....	7
4.	DISSENY DE LES PROVETES.....	8
4.1	Elecció de la mida i forma.....	8
4.2	Mètode utilitzat.....	9
4.3	Nomenclatura de les provetes	10
4.4	Tipus de provetes	11
5.	IMPRESSIÓ DE LES PROVETES.....	13
5.1	Metodologia a imprimir.....	13
5.2	Ajustament paràmetres Cura	14
6.	SIMULACIÓ PER ELEMENTS FINITS	15
6.1	Propietats del material	15
6.2	Preparació del model.....	16
6.3	Resultats.....	19
7.	ASSAIG EXPERIMENTAL A FLEXIÓ	21
7.1	Realització de l'assaig	21
7.2	Resultats.....	23
8.	ANÀLISI DELS RESULTATS.....	28
8.1	Introducció	28
8.2	Anàlisi dels resultats de la simulació per elements finits	28
8.2.1	Rigidesa	28
8.2.2	Ràtio (Rigidesa/Pes).....	29
8.3	Anàlisi dels resultats de l'assaig	30
8.3.1	Rigidesa	30
8.3.2	Ràtio (Rigidesa/Pes).....	31

8.4	Comparació dels resultats entre l'assaig experimental i la simulació	32
8.4.1	Comparació pesos.....	32
8.4.2	Comparació rigideses	33
8.4.3	Comparació ràtios.....	33
8.5	Càrrega màxima	35
8.5.1	Ràtio (Càrrega/Pes).....	36
9.	CONCLUSIONS	37

ANNEX

1.	RESULTATS DE L'ASSAIG.....	39
1.1	Informes resultats provetes.....	39 a 78

MEMÒRIA

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

A l'hora de dissenyar una peça estructural és molt important aconseguir unes bones propietats mecàniques però sempre buscant el mínim pes possible. Una bona opció per aconseguir-ho és la impressió 3D, una tecnologia que ens permet aconseguir figures geomètriques complexes les quals serien molt difícils o impossibles d'obtenir a partir d'altres processos de fabricació. Al aconseguir optimitzar les geometries també aconseguiríem reduir el pes consegüentment.

1.2 Objecte del projecte

L'objectiu principal d'aquest treball final de grau és aprofitar la capacitat de l' impressió 3D per variar el disseny de l' entramat interior de diferents elements amb unes mides exteriors concretes, per així aconseguir elements sotmesos a flexió més rígids sense variar substancialment el seu pes. Posteriorment ens interessarà identificar quin d' aquests entramats té la relació mòdul de rigidesa/pes i càrrega/pes més gran, sempre tenint en compte que el que ens interessa comparar és la rigidesa dels elements i no pas la resistència.

S'establiran les capacitats de fabricació d'aquests tipus d'elements a partir d'una impressora 3D utilitzant material termoplàstic. A partir d'aquestes capacitats s'empararan simulacions d'elements finits per optimitzar diferents configuracions i obtenir resultats teòrics. Finalment aquestes configuracions òptimes s'imprimiran i assajaran per tal d'analitzar els resultats i validar les simulacions numèriques.

1.3 Requeriments i abast

Tots els elements han de tenir unes mides exteriors concretes, han d'estar fabricats amb impressió 3D i formats per material termoplàstic (PLA).

S'han de dissenyar i fabricar provetes amb distribucions de rigideses diferents les quals puguin ser assajades a flexió i obtenir resultats. Donar els resultats obtinguts i analitzar-los per obtenir la relació mòdul de rigidesa/pes i càrrega/pes més gran possible. Per últim comparar els resultats de l'assaig amb els obtinguts en la simulació d' elements finits.

2. ANÀLISI IMPRESSIÓ 3D

2.1 Història

Una impressora 3D és una màquina que serveix per produir representacions 3D físiques de models creats per ordinador, mitjançant una tècnica anomenada fabricació additiva. Sorgeixen amb la necessitat de crear prototips d'una manera més ràpida i econòmica del que es feia fins aleshores, a partir d'arxius de disseny assistit per computador (CAD). Un dels principals avantatges que té la impressió 3D respecte a altres mètodes de fabricació, és que elimina moltes de les restriccions de disseny que aquestes altres tenen.

Tot i que en un primer moment la tecnologia s'utilitzava bàsicament per a la fabricació de prototips per sectors com el disseny industrial, actualment, gràcies a la reducció dels costos i l'increment dels materials i tecnologies disponibles, la impressió 3D està incrementant la seva presència en l'àmbit industrial, ja no només per prototips sinó per peces finals.

2.2 Impressores 3D

Per fabricar les diferents provetes hem utilitzat dos impressores 3D de la marca Ultimaker.

La primera és una Ultimaker S5, mostrada en la Figura 1, amb les característiques principals següents:

- Volum de construcció de 330 x 240 x 300 mm
- Resolució de capa fins a 20 micras amb la boquilla de 0,4 mm i 0,8mm
- Temperatura d'impressió fins a 280 ° C
- Doble extrusió amb material de suport soluble
- Boquilles d'impressió fàcilment intercanviables
- Llit d'impressió calefactable i autonivellable

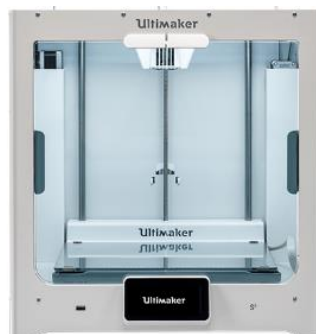


Figura 1: Ultimaker S5 Font: <https://ultimaker.tr3sdland.com>

I una altre de dimensions una mica més petites anomenada Ultimaker 3, mostrada en la Figura 2 :

- Volum de construcció de 215 x 215 x 200 mm
- Resolució de capa fins a 20 micras amb la boquilla de 0,4 mm
- Temperatura d'impressió fins a 280 ° C
- Boquilles d'impressió fàcilment intercanviables
- Doble extrusió amb material de suport soluble
- Llit d'impressió calefactable i autonivellable



Figura 2: Ultimaker 3 Font: <https://ultimaker.tr3sdland.com>

2.3 Software

Per controlar i calibrar les impressores 3D hem utilitzat el programa Ultimaker Cura, el qual ens permet ajustar els paràmetres d'impressió segons les nostres necessitats, per exemple, ens permet modificar l'altura de capa, la densitat, la temperatura i la velocitat entre molts d'altres, per així aconseguir el tipus d'impressió desitjat.

Aquest programa funciona tallant l' arxiu del model .stl en capes i generant un "gcode" específic per l'impressora. Un cop acabat, el "gcode" és enviat a la impressora via network per a la fabricació de l'element físic.

2.4 Entorn

Durant la realització del treball disposàvem d'un conjunt d'impressores 3D situades en un laboratori del PII de l' Escola Politècnica de la UdG, de les quals ens vam decantar per dos Ultimaker degut a la seva gran precisió i facilitat per treballar-hi.

3. METODOLOGIA

El procediment que durem a terme durant el treball serà el següent:

Primer de tot s' establiran les capacitats de fabricació d'aquests elements a partir d' una impressora 3D utilitzant material termoplàstic, seguidament a partir d'aquestes capacitats es definiran els diferents tipus d'estructures que volem estudiar. Definirem un conjunt de peces amb mides exteriors iguals però amb la rigidesa interior repartida gradualment. Aquestes seran dibuixades amb un programa de dibuix 3D anomenat SolidWorks, el qual ens permet crear peces parametritzades que facilitaran molt la tasca.

A partir d'aquí, imprimirem tot aquest conjunt de peces anomenades provetes per posteriorment ser assajades a flexió. D' aquest assaig obtindrem dades de esforç-deformació de cada proveta, les quals compararem i analitzarem amb els resultats extrets d'un programa d'elements finits anomenat ANSYS Workbench.

4. DISSENY DE LES PROVETES

4.1 Elecció de la mida i forma

Inicialment hem triat les mides exteriors de les nostres provetes, per fer-ho ens hem basat en altres estudis similars com "TIAN TIAN LI , LIFENG WANG. Bending behavior of sandwich composite structures with tunable 3D-printed core materials. Composite Structures. NY 2017" i sobretot en les mides que ens marca la norma "UNE- EN ISO 178" per dur a terme un assaig a flexió en la màquina que disposem. Hem acordat que les provetes han de tenir forma de polígon rectangular i unes mesures exteriors de 110mm x 24,5mm x 10mm , les quals són les més apropiades per als nostres utilitatges.

Un cop tenim clares les mides exteriors hem de triar la geometria del nostre entramat interior, per fer-ho primer hem de descobrir fins a on són capaces d'imprimir amb precisió el nostre conjunt d'impressores. Inicialment contemplàvem l'idea d'utilitzar figures geomètriques com "truss", "honey comb" o "re-entrant honeycomb" tal com es mostra a la Figura 3, però després d'un seguit de proves d'impressió hem descobert que la figura geomètrica més fàcil d'imprimir i més precisa és el triangle.

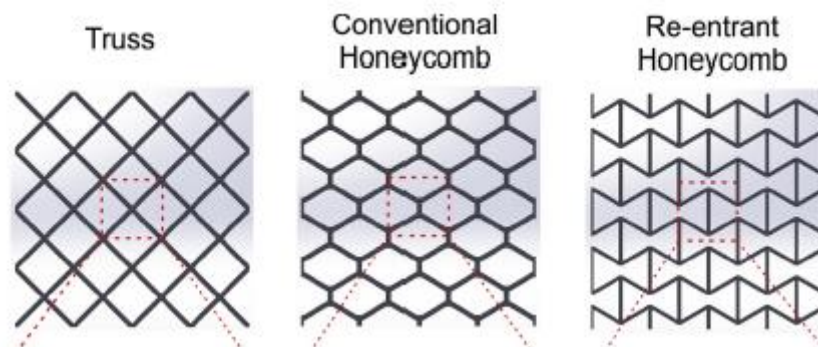


Figura 3: Diferents entramats geomètics Font: TIAN TIAN LI , LIFENG WANG. Bending behavior of sandwich composite structures with tunable 3D-printed core materials. Composite Structures. NY 2017.

Un cop escollit el triangle equilàter com a figura geomètrica a utilitzar, ens plantegem la manera de com repartir la rigidesa gradualment en aquest entramat geomètric. Per fer-ho decidim repartir l'interior de cada proveta amb pisos de diferents altures i diferent nombre de triangles consegüentment, però sempre mantenint el mateix gruix de paret.

A partir de més proves amb la impressora 3D descobrim que l'altura de pis més petita que podem reproduir amb precisió és 2,5 mm, i que el gruix mínim de paret ha de ser de 0,5mm. A partir d'aquí, ja podem procedir a dissenyar les nostres provetes.

4.2 Mètode utilitzat

Durant el període de disseny i elecció de les provetes hem utilitzat el programa de dibuix 3D anomenat SolidWorks, aquests ens ha permès escollir i crear les provetes que volem d'una manera més visual i senzilla.

Per fer-ho hem creat una peça parametritzada a partir de la qual obtenim les diferents provetes que desitgem, només variant certs valors en una taula. Això ens facilita molt la feina ja que ens permet crear diferents models, sense la necessitat de dibuixar-los un per un.

A continuació podem veure la Figura 4, la qual ens mostra un exemple d'una proveta i les seves cotes principals:

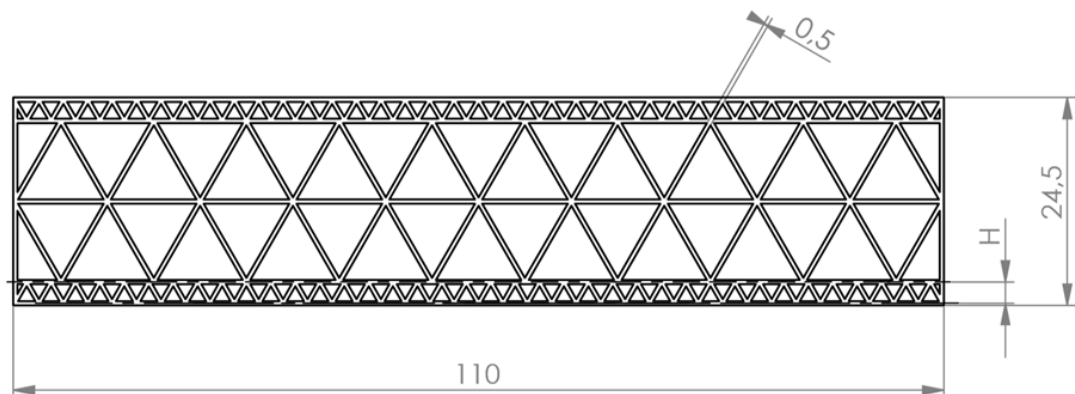


Figura 4: Proвета i cotes principals

El gruix de paret de 0,5 mm i les cotes exteriors 110 mm de llargada, 24,5 mm d'altura i 10 mm de gruix es mantindran sempre igual en totes les provetes. El que ens interessa, és anar variant el nombre de pisos i l'altura d'aquests per així aconseguir el canvi gradual de rigideses que volem.

Per fer-ho anem variant la cota H per aconseguir canviar l'altura d'aquest pis i dels altres conseqüentment. Els pisos sempre aniran simètrics com es pot veure en la Figura 4, per tal d'aconseguir repartir el mateix pes tant per un costat com per l'altre de l'eix central.

Per obtenir la peça parametritzada, primerament hem d'assignar un nom a cada cota del croquis inicial de SolidWorks, després crear una taula amb l'opció "tablas de diseño", tal i com s'observa en la Figura 5, la qual ens permet canviar les cotes que ens interessin i mantenir iguals les que no. Al anar variant els valors de la taula se'ns crearan automàticament els models que desitgem a la columna de l'esquerra.

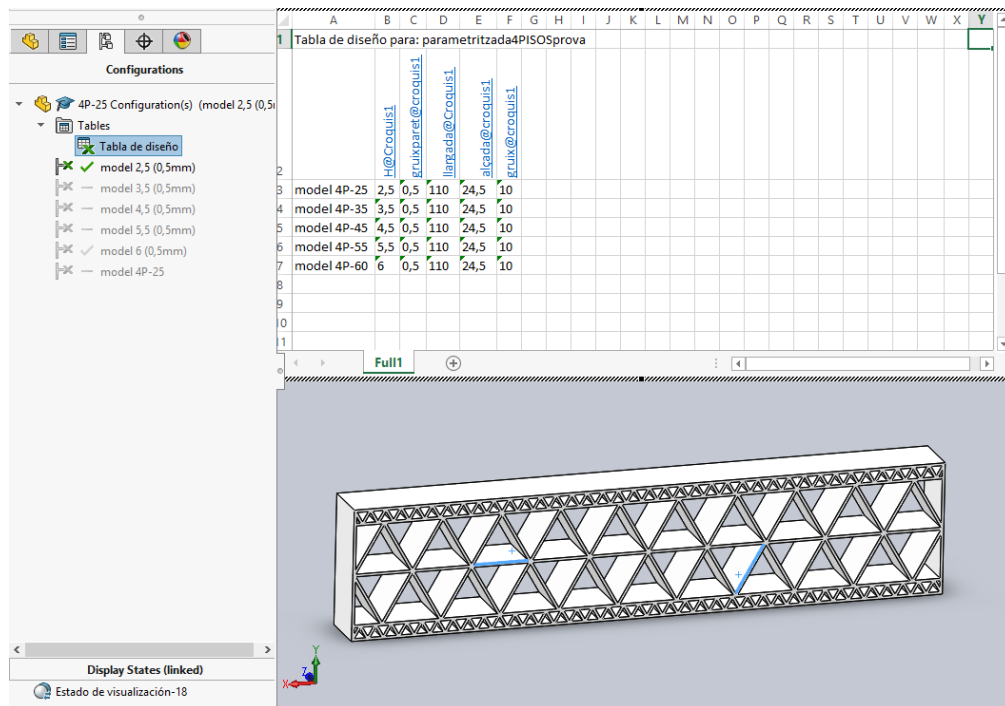


Figura 5: Probeta dissenyada amb SolidWorks

Pel que fa al nombre de pisos ens és impossible crear una peça parametrizada que ens els permeti canviar, per tant ens hem decantat per crear 3 tipus diferents de peces parametrizadas; una de quatre pisos com la de la Figura 5, una de sis pisos i una de vuit, de les quals en cada una d'elles podrem crear les diferents configuracions que ens interessin.

4.3 Nomenclatura de les provetes

El fet de treballar amb diferents tipus de provetes ens crea la necessitat de buscar una manera que ens permeti distingir unes de les altres.

Per fer-ho utilitzarem un codi per cada una d'elles el qual s'escriu de la següent manera:

XP - YY - ZQ

On:

X = Número de pisos

YY = Altura del pis més exterior, la resta de pisos aniran relacionats a aquest (unitats en mm i no apareix la coma ja que per crear diferents arxius no et permet ficar-la).

Z = La forma de la qual ha sigut impresa, H si ha sigut horitzontalment i V si ha sigut verticalment.

Q = La versió de la proveta, 1 o 2, ja que hem creat dos versions de cada tipus concret.

Al finalitzar la impressió de cada una de les provetes se'ls hi marcarà amb retolador permanent el codi establert.

4.4 Tipus de provetes

Si ens referim únicament a la geometria, hem estudiat 10 tipus diferents de provetes però al tenir en compte també la forma de ser impresa i la versió de la qual es tracta, ens surt un total de 40 provetes. Això es deu a que cada una d'elles haurà estat impresa vertical i horitzontalment i tindrà dos versions corresponents a cada una. Fem dos còpies iguals de cada peça per així poder obtenir uns resultats més fiables, ja que utilitzarem la mitjana dels dos resultats.

A continuació podem veure la Taula 1 que ens mostra les característiques principals de cada una de les provetes de 4 pisos:

TIPUS DE PROVETES					
Nom Proveta	Nº Pisos	Altura 1er pis	Altura 2on pis	Forma impressió	Versió
4P-25-H1	4	2,5	9,5	Horitzontal	1
4P-25-H2	4	2,5	9,5	Horitzontal	2
4P-25-V1	4	2,5	9,5	Vertical	1
4P-25-V2	4	2,5	9,5	Vertical	2
4P-35-H1	4	3,5	8,5	Horitzontal	1
4P-35-H2	4	3,5	8,5	Horitzontal	2
4P-35-V1	4	3,5	8,5	Vertical	1
4P-35-V2	4	3,5	8,5	Vertical	2
4P-45-H1	4	4,5	7,5	Horitzontal	1
4P-45-H2	4	4,5	7,5	Horitzontal	2
4P-45-V1	4	4,5	7,5	Vertical	1
4P-45-V2	4	4,5	7,5	Vertical	2
4P-55-H1	4	5,5	6,5	Horitzontal	1
4P-55-H2	4	5,5	6,5	Horitzontal	2
4P-55-V1	4	5,5	6,5	Vertical	1
4P-55-V2	4	5,5	6,5	Vertical	2
4P-60-H1	4	6	6	Horitzontal	1
4P-60-H2	4	6	6	Horitzontal	2
4P-60-V1	4	6	6	Vertical	1
4P-60-V2	4	6	6	Vertical	2

Taula 1: Provetes de 4 pisos

Com es pot veure, hem variat l'altura del primer pis gradualment des de 2,5 , que era l'altura mínima de pis, fins a 6, amb l'excepció de la transició de 5,5 a 6 que és la configuració en la qual l'altura és màxima i no ens permet fer un salt de 1 mm com la resta.

Seguidament mostrarem les configuracions de 6P en la Taula 2:

TIPUS DE PROVETES						
Nom Proveta	Nº Pisos	Altura 1er pis	Altura 2on pis	Altura 3er pis	Forma impressió	Versió
6P-25-H1	6	2,5	3	6,5	Horitzontal	1
6P-25-H2	6	2,5	3	6,5	Horitzontal	2
6P-25-V1	6	2,5	3	6,5	Vertical	1
6P-25-V2	6	2,5	3	6,5	Vertical	2
6P-30-H1	6	3	3,5	5,5	Horitzontal	1
6P-30-H2	6	3	3,5	5,5	Horitzontal	2
6P-30-V1	6	3	3,5	5,5	Vertical	1
6P-30-V2	6	3	3,5	5,5	Vertical	2
6P-35-H1	6	3,5	4	4,5	Horitzontal	1
6P-35-H2	6	3,5	4	4,5	Horitzontal	2
6P-35-V1	6	3,5	4	4,5	Vertical	1
6P-35-V2	6	3,5	4	4,5	Vertical	2
6P-40-H1	6	4	4	4	Horitzontal	1
6P-40-H2	6	4	4	4	Horitzontal	2
6P-40-V1	6	4	4	4	Vertical	1
6P-40-V2	6	4	4	4	Vertical	2

Taula 2: Provetes de 6 pisos

Com podeu veure, aquesta configuració va fent transicions de 0,5 mm en el pis exterior o també anomenat primer pis. Aquí la transició és més petita que en el cas de 4 pisos perquè hem de seguir conservant les mides exteriors i al tenir més pisos ens limita més les altures de cada pis.

Per últim, en la Taula 3, podem veure les de 8 pisos, en la qual tots els pisos tenen les mateixes mesures:

TIPUS DE PROVETES				
Nom Proveta	Nº Pisos	Altura pisos	Forma impressió	Versió
8P-30-H1	8	3	Horitzontal	1
8P-30-H2	8	3	Horitzontal	2
8P-30-V1	8	3	Vertical	1
8P-30-V2	8	3	Vertical	2

Taula 3: Provetes de 8 pisos

5. IMPRESSIÓ DE LES PROVETES

5.1 Metodologia a imprimir

Com hem dit anteriorment si ens referim únicament a la geometria de la peça tenim un conjunt de 10 provetes diferents, però haurem d'imprimir 4 versions de cada una d'elles, dues de forma vertical i dues de forma horitzontal.

Cada tanda d'impressió hem ficat a imprimir dos provetes horitzontals a l'hora en una impressora i dos de verticals en l'altre, com es pot veure en les imatges a continuació:

La Figura 6, ens mostra les provetes horitzontals impreses amb la Ultimaker S5 :

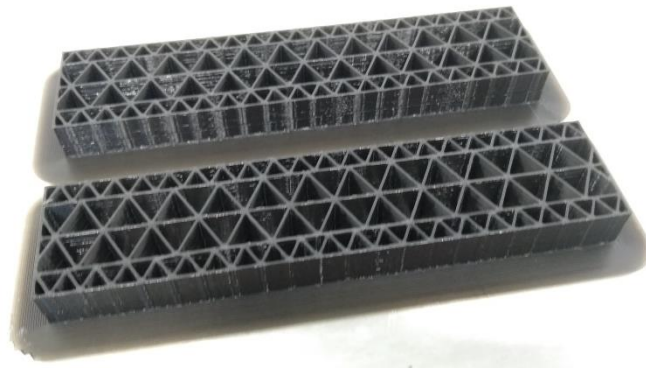


Figura 6: Provetes impreses Horitzontalment

La Figura 7, ens mostra les provetes verticals impreses amb l'Ultimaker 3 :

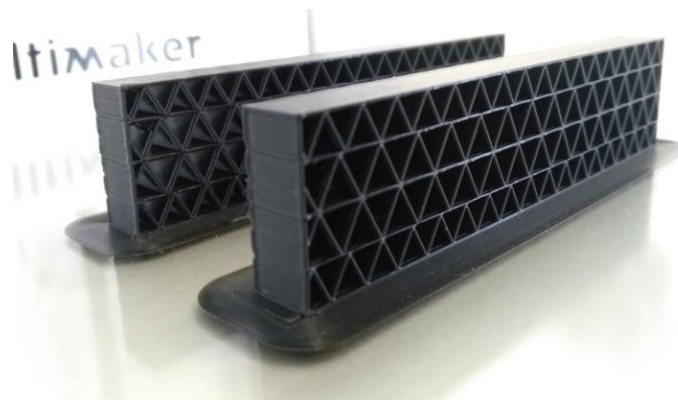


Figura 7: Provetes impreses Verticalment

Malgrat haver-se imprès en dues impressores diferents, la configuració de les impressores, els paràmetres d'impressió i el material són els mateixos per tant no hi hauria d'haver diferències atribuïdes a la impressora utilitzada.

S'ha creat una Taula 4 per prendre constància del temps d'impressió de cada una i per marcar el seguiment de les provetes que han estat impreses.

TEMPS IMPRESSIÓ			
Grup provetes	Temps impressió	Grup proveta	Temps impressió
4P-25-H1 i H2	4' 17"	6P-25-H1 i H2	6' 22"
4P-25-V1 i V2	3' 37"	6P-25-V1 i V2	4' 58"
4P-35-H1 i H2	4' 04"	6P-30-H1 i V2	6' 02"
4P-35-V1 i V2	3' 42"	6P-30-V1 i V2	5' 09"
4P-45-H1 i H2	4' 03"	6P-35-H1 i H2	6' 12"
4P-45-V1 i V2	3' 44"	6P-35-V1 i V2	5' 04"
4P-55-H1 i H2	3' 59"	6P-40-H1 i H2	6' 14"
4P-55-V1 i V2	3' 46"	6P-40-V1 i V2	5' 18"
4P-60-H1 i H2	4' 01"	8P-30-H1 i H2	8' 17"
4P-60-V1 i V2	3' 52"	8P-30-V1 i V2	6' 36"
			Total: 91' 28"

Taula 4: Temps impressió provetes

Com podem veure el total de temps que les màquines han estat imprimint ha sigut de 91 hores i 28 minuts.

5.2 Ajustament paràmetres Cura

A diferència d'altres tipus d'impressores més senzilles, la Ultimaker ens permet crear peces molt fiables amb la seva pròpia configuració de fabrica. Per tant, alguns paràmetres com altura de capa, temperatura, etc. no han sigut modificats en aquest cas. El que sí que hem fet, és definir les direccions d'impressió de cada una de les capes i intentar que imprimeixin longitudinalment en totes les parts que ens sigui possible segons la geometria.

També l'hi hem afegit "brim" per tal de que la peça no es desenganxi en els seus extrems.

6. SIMULACIÓ PER ELEMENTS FINITS

6.1 Propietats del material

Hem creat dos materials diferents, un per als rodets anomenat "Steel" amb les propietats característiques de l' acer i un per la proveta anomenat "Thought PLA".

El PLA és un material isotròpic, però degut al procés d'impressió les propietats de les peces resultants són ortotròpiques, és a dir, les propietats mecàniques d'aquest són diferents depenent dels seus eixos.

Ja que el fabricant no proporciona les propietats del material necessàries per realitzar l'estudi, utilitzarem les del treball final de grau de l' Alex Fernández titulat "Estudi de les propietats elàstiques de materials polimèrics d'impressió 3D en funció de la seva mesoestructura".

$$\begin{array}{lll}
 E_{xx} = 2750 \text{ MPa} & \nu_{xy} = 0,408 & G_{xy} = 945 \text{ MPa} \\
 E_{yy} = 2598 \text{ MPa} & \nu_{xz} = 0,408 & G_{xz} = 957 \text{ MPa} \\
 E_{zz} = 2660 \text{ MPa} & \nu_{yz} = 0,39 & G_{yz} = 947 \text{ MPa}
 \end{array}$$

On:

E = Mòdul de Young

ν = Coeficient de Poisson

G = Mòdul de Rigidesa

Tal com es pot veure en la Figura 8, les propietats referents a l'eix Z són les donades per la capacitat d'aguantar esforços entre passada i passada d'una mateixa capa. Les que fan referència a l'eix X són les referents a la capacitat d'aguantar esforços del fil i les de l'eix Y, les d'aguantar esforços entre capes.

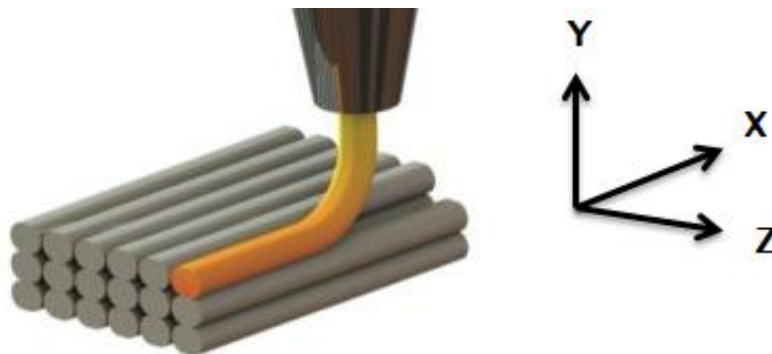


Figura 8: Eixos utilitzats per representar les propietats d'una peça impresa en 3D Font: <https://itfabricacion.com/las-tecnologias-de-impresion-3d/>

6.2 Preparació del model

El primer pas és exportar la geometria d' un programa de dibuix 3D com és Solidworks al nostre programa de simulació d'elements finits Ansys Workbench.

Seguidament, tal i com s'observa a la Figura 9, en l'SpaceClaim del Ansys hi afegirem els elements corresponents a l'entorn de l'assaig, com serien els rodets, peces que entren en contacte amb la superfície de la proveta.

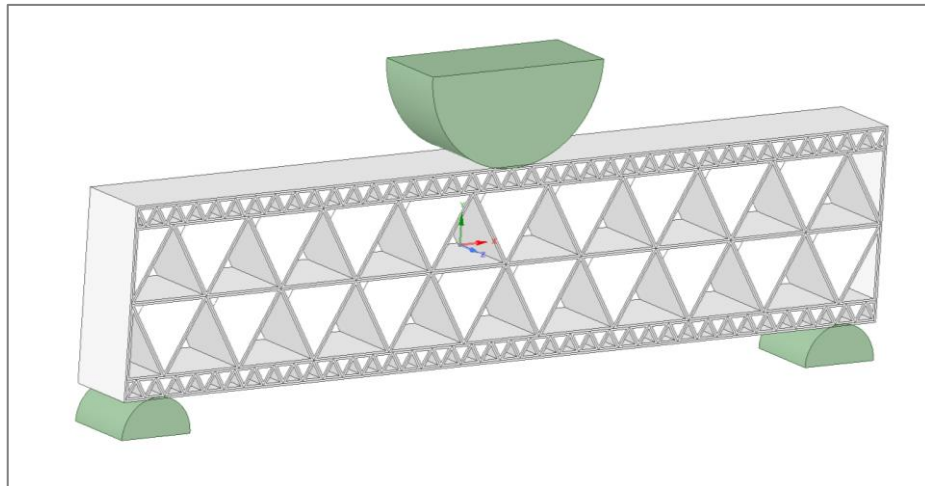


Figura 9: Entorn d'assaig en SpaceClaim

Com es pot veure en la Figura 10, per simplificar el model hem optat per substituir tots els cossos que formen la proveta en plaques o "Shell", ja que ens estalviem un gran nombre d'elements del mallat i així reduïm el temps de càlcul i optimitzem els resultats. Pel que fa al rodet el mantenim com un element tipus sòlid.

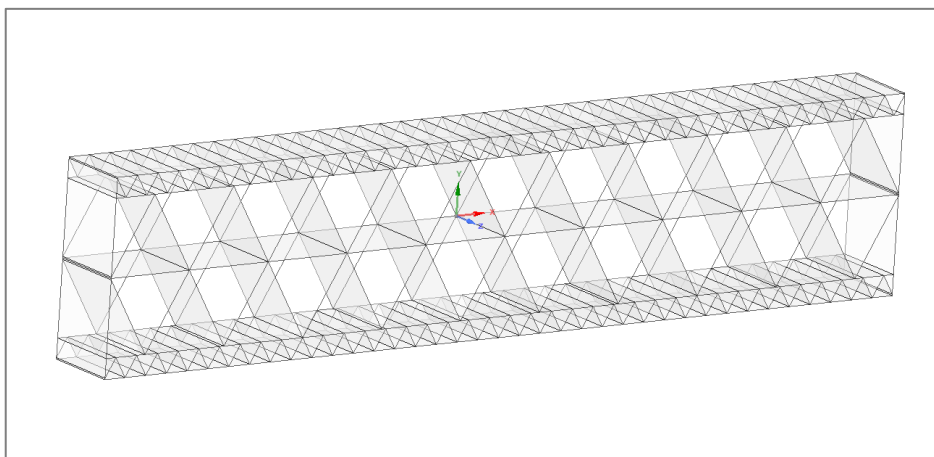


Figura 10: Proveta formada per superfícies

Algunes d'aquestes superfícies entraran en contacte amb els rodets per això hem de definir el tipus de contacte més adequat per aquest cas. Hem obstat per un contacte de tipus "no separation" en les superfícies que es veuen en la Figura 11:

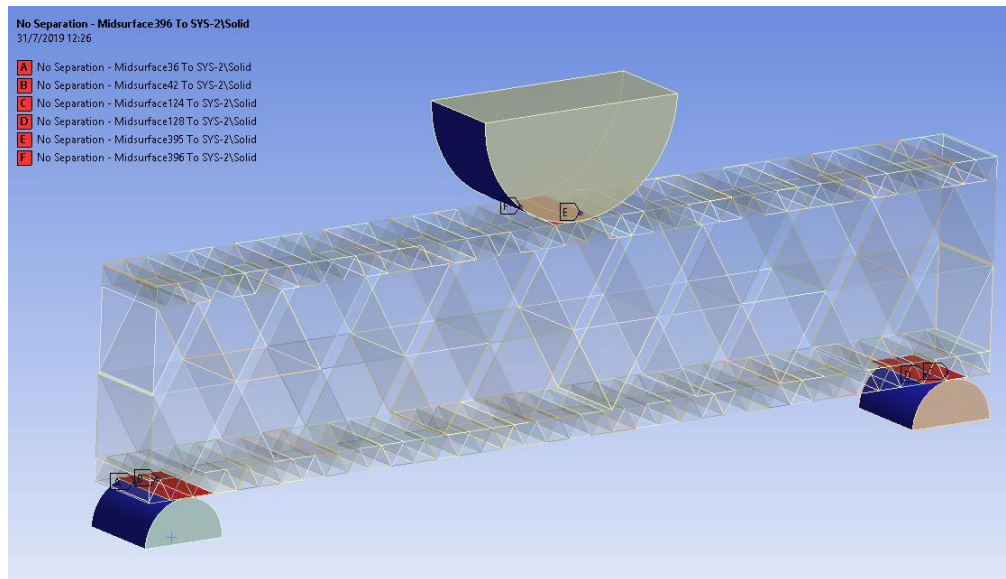


Figura 11: Tipus de contacte

A partir d'aquí, hem creat dos models diferents, un per les provetes impreses verticalment i un per les impreses horitzontalment. Com que el material PLA actua diferent depenent de l'eix, hem hagut d'assignar a cada superfície en concret, la direcció d'impressió en la qual va ser impresa.

Per fer-ho hem hagut de crear nous sistemes de coordenades i assignar manualment a cada superfície quin sistema li correspon. A continuació podem veure la Figura 12, la qual ens mostra la direcció d'impressió que han seguit cada agrupació de superfícies del model de provetes impreses verticalment. L'eix X (vermell) ens marca la direcció que segueix el fil d'impressió.

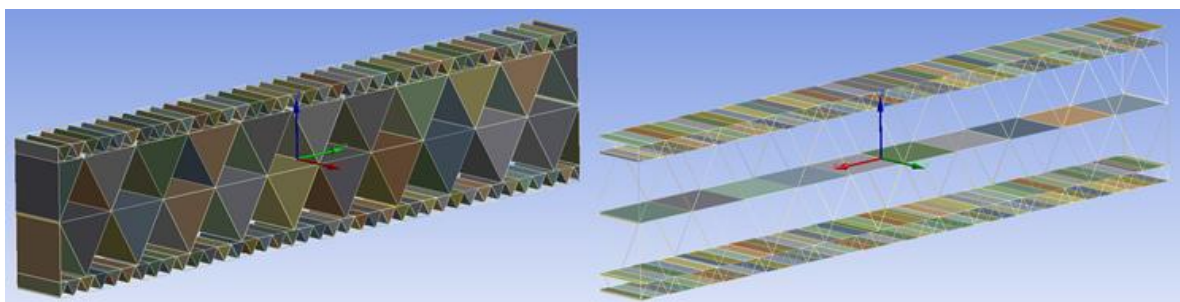


Figura 12: direcció impressió provetes impreses verticalment

En la Figura 13 podem veure la direcció d'impressió de les provetes impreses horitzontalment, marcant també amb l'eix X (vermell) la direcció d'impressió del fil.

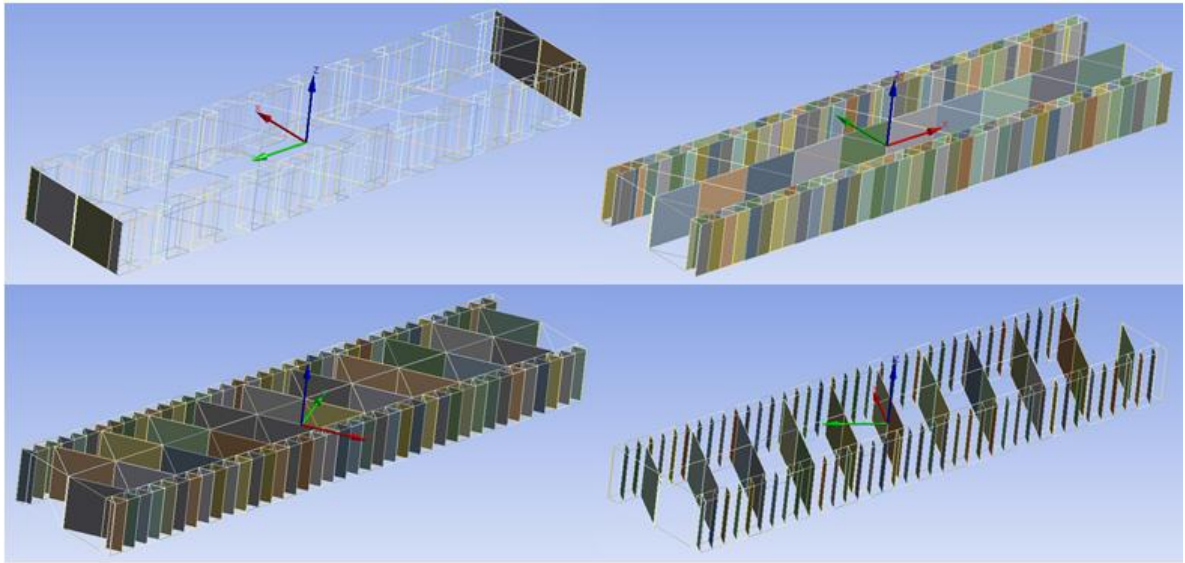


Figura 13: direcció impressió provetes impreses horitzontalment

Seguidament, tal i com mostra la Figura 14, definim el tipus de mallat. Hem utilitzat el tipus "Program Controlled" de mida 2mm i amb elements en forma de quadrilàters. Per obtenir un mallat homogeni, hem utilitzat la opció "face meshing" en totes les superfícies de la proveta.

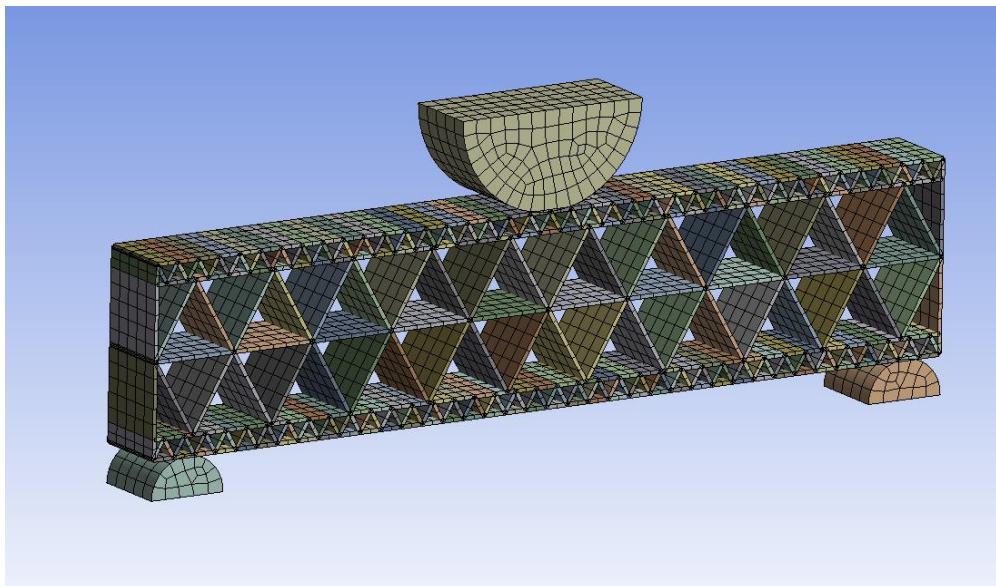


Figura 14: Tipus de mallat

A continuació, en la Figura 15, s'ha fixat la peça. Per fixar la proveta en l'eix de les Y hem utilitzat l'opció "Displacement" en les superfícies B (les dues superfícies planes dels rodets inferiors) concretant que el desplaçament en aquest eix el valor sigui 0.

També hem fet el mateix tant en l'eix X com el Z però en aquest cas en les línies A i C corresponentment.

Paral·lelament tots els rodets han sigut fixats en totes les direccions, menys en el superior, en el qual en l'eix de les Y s'ha de simular el moviment vertical de la màquina, per tant se l'hi aplicat un desplaçament de -1 mm en aquest sentit.

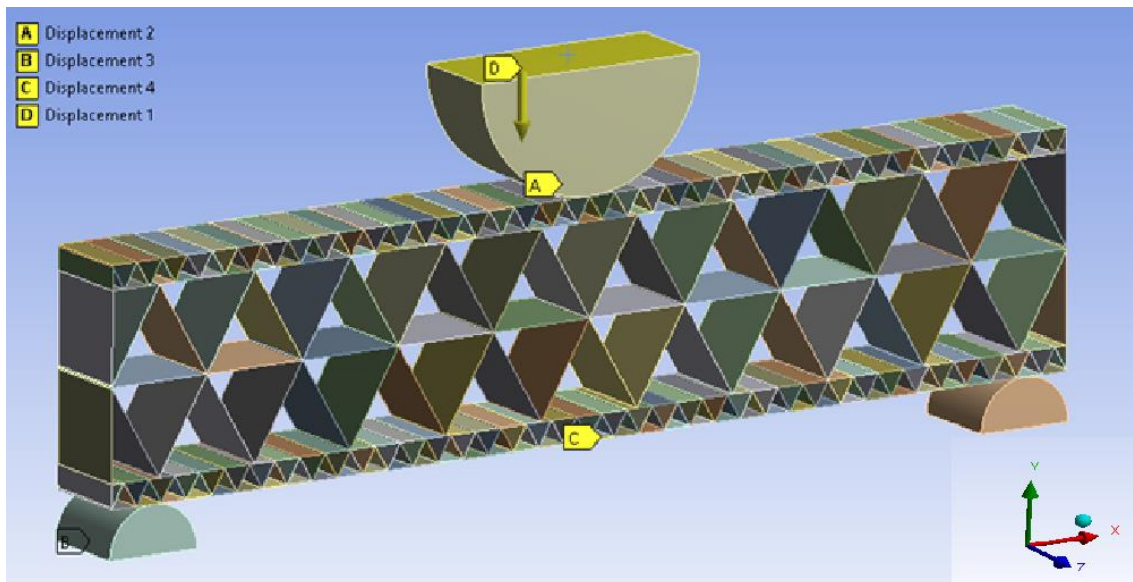


Figura 15: Condicions de contorn

6.3 Resultats

Prioritàriament el resultat que hem volgut obtenir ha sigut el mòdul de rigidesa corresponent a cada proveta, el qual s'ha extret a partir de observar la reacció del rodet superior si aquest es desplaça 1 mm en l'eix de les Y.

Aquest valor serà comparat amb els extrets en el assaig experimental. També ens hem fixat en la deformació que presenta la proveta i quines són les zones on pateix més.

A continuació, en la Taula 5, podem veure el mòdul de rigidesa de cada peça extret a partir d'elements finits:

RESULTATS ANSYS			
Nom proveta	K (N/mm)	Nom proveta	K (N/mm)
4P-25-H	194,84	6P-25-H	260,73
4P-25-V	194,84	6P-25-V	260,73
4P-35-H	176,95	6P-30-H	249,54
4P-35-V	176,95	6P-30-V	249,54
4P-45-H	164,09	6P-35-H	242,62
4P-45-V	164,09	6P-35-V	242,62
4P-55-H	186,22	6P-40-H	263,17
4P-55-V	186,22	6P-40-V	263,17
4P-60-H	191,4	8P-30-H	337,45
4P-60-V	191,4	8P-30-V	337,45

Taula 5: Resultats elements finits

També hem obtingut els valors de la massa teòrica de cada un d'ells en la Taula 6:

MASSA TEORICA			
Nom proveta	massa (g)	Nom proveta	massa (g)
4P-25	7,975	6P-25	11,294
4P-35	8,109	6P-30	11,412
4P-45	8,186	6P-35	11,484
4P-55	8,207	6P-40	11,495
4P-60	8,223	8P-30	14,521

Taula 6: Massa teòrica provetes

Tant el mòdul de rigidesa a flexió del conjunt de provetes com la seva massa teòrica seran analitzats amb més profunditat posteriorment, de tota manera podem veure a simple vista que per un mateix nombre de pisos la variació de rigideses canvia notòriament, però la variació de la massa és molt petita.

7. ASSAIG EXPERIMENTAL A FLEXIÓ

7.1 Realització de l'assaig

L'Assaig experimental s'ha dut a terme al Parc Científic i Tecnològic de la UdG ja que disposa de la tecnologia necessària per obtenir resultats vàlids segons la norma.

Concretament hem utilitzat una MTS Insight (Electromechanical 50 KN – Extended Length) com la de la Figura 16, equipada amb el seu utilatge corresponent per l'assaig a flexió a 3 punts. Hem optat per utilitzar els rodets més grans que disposàvem per així poder repartir homogèniament la força en l'estructura. A dalt un de diàmetre 25mm i a sota dos de 10mm.



Figura 16: MTS Insight

Un problema que hem trobat al iniciar els assajos és a l'hora de centrar les provetes, ja que el sistema no està equipat per centrar provetes d'aquesta mida en concret. Per solucionar-ho hem dissenyat i fabricat amb impressió 3D, un alineador com el que es pot veure a la Figura 17:



Figura 17: Alineador de provetes

Aquest s'adapta a les mides del suport del rodet i facilita molt la tasca de centratge ja que només has de recolzar la proveta sobre d'ell.

Per l'adquisició de dades s'ha fet servir un software informàtic al qual se li han entrat les següents dades:

- Punt final de deformació: 0,1 mm/mm
- Sensibilitat de ruptura: 20 %
- SetPlatenSeparationLoad: 0 N
- SetPlatenSeparationPreLoad: 1 mm/min
- Umbral de ruptura: 3000 N
- Velocitat d'adquisició: 10 Hz
- Velocitat inicial: 2 mm/min

Les més importants són, la velocitat d'assaig que és de 2mm/min i la velocitat d'adquisició que capta 10 mostres per cada segon.

Tal i com s' observa a la Figura 18, el software ha captat dades de la deformació obtinguda (mm) i la força necessària per arribar-hi (N), creant una gràfica força-deformació com la següent, en la qual podem extreure el mòdul de rigidesa.



Figura 18: Software captant dades

7.2 Resultats

Una dada important a tenir en compte a l'hora d'analitzar els resultats, és el pes de cada una de les provetes, per això s'han pesat totes abans de dur a terme l'assaig. A continuació podem veure els valors en la Taula 7:

MASSA PROVETES					
Nom Proveta	massa (grams)	massa mitjana	Nom Proveta	massa (grams)	massa mitjana
4P-25-H1	8,664	8,67	6P-25-H1	12,253	12,25
4P-25-H2	8,670		6P-25-H2	12,248	
4P-25-V1	8,290	8,24	6P-25-V1	11,596	11,55
4P-25-V2	8,186		6P-25-V2	11,510	
4P-35-H1	8,590	8,59	6P-30-H1	12,262	12,26
4P-35-H2	8,592		6P-30-H2	12,264	
4P-35-V1	8,344	8,31	6P-30-V1	12,060	12,02
4P-35-V2	8,273		6P-30-V2	11,971	
4P-45-H1	8,677	8,69	6P-35-H1	12,348	12,35
4P-45-H2	8,700		6P-35-H2	12,354	
4P-45-V1	8,447	8,39	6P-35-V1	11,736	11,69
4P-45-V2	8,337		6P-35-V2	11,652	
4P-55-H1	8,717	8,72	6P-40-H1	12,341	12,35
4P-55-H2	8,721		6P-40-H2	12,353	
4P-55-V1	8,450	8,41	6P-40-V1	12,610	12,56
4P-55-V2	8,372		6P-40-V2	12,509	
4P-60-H1	8,780	8,78	8P-30-H1	15,768	15,76
4P-60-H2	8,775		8P-30-H2	15,759	
4P-60-V1	8,961	8,92	8P-30-V1	15,854	15,80
4P-60-V2	8,876		8P-30-V2	15,755	

Taula 7: Massa real de les provetes

La variació de la massa en les provetes iguals és molt petita. On es presenta un gran canvi és en la diferència de les impreses horitzontalment i verticalment, això és degut a un canvi de gruix a l'hora d'imprimir.

Com era d'esperar, les provetes solien seguir el mateix patró a l'hora de trencar-se, començaven col·lapsant les barres inclinades dels pisos superiors i acabaven trencant per tracció les barres horitzontals del pisos inferiors.

Per veure-ho d'una manera més il·lustrativa, a continuació es mostren les imatges de com van trencar les provetes més significatives, és a dir, de cada tipus diferent (tenint en compte el nombre de pisos), veurem el cas en que la massa està més situada als extrems de la proveta i en el que està repartit homogèniament.

La Figura 19 ens mostra la proveta de 4 pisos i massa concentrada a l'extrem:

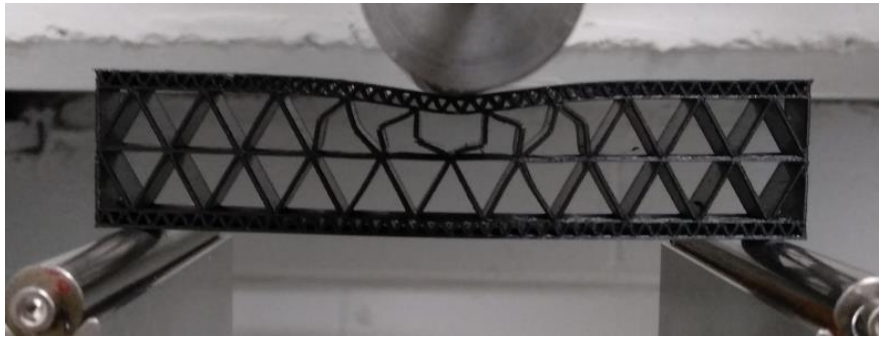


Figura 19: Trencament proveta 4P-25

La Figura 20 ens mostra la proveta de 4 pisos i massa repartida homogèniament:

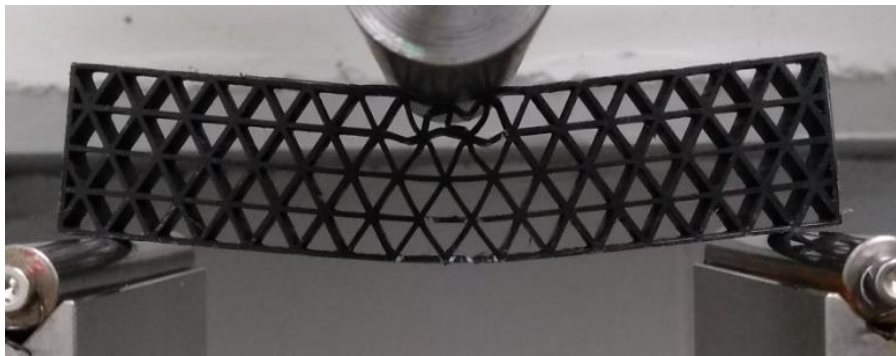


Figura 20: Trencament proveta 4P-60

La Figura 21 ens mostra la proveta de 6 pisos i massa concentrada a l'extrem:



Figura 21: Trencament proveta 6P-25

La Figura 22 ens mostra la proveta de 6 pisos i massa repartida homogèniament:

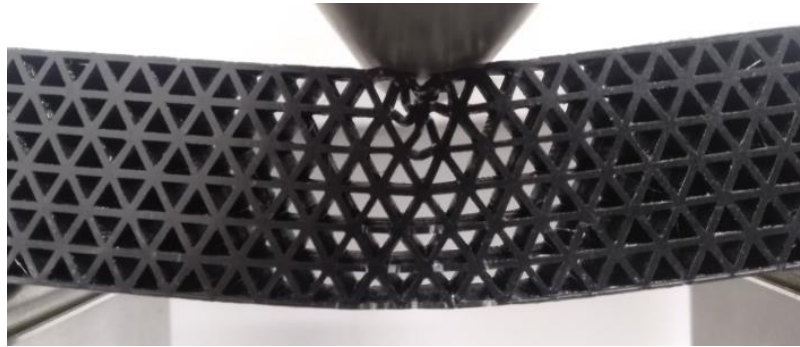


Figura 22: Trencament proveta 6P-40

Per últim, la Figura 23 ens mostra la proveta de 8 pisos la qual només té aquesta configuració, amb tots els pisos iguals.

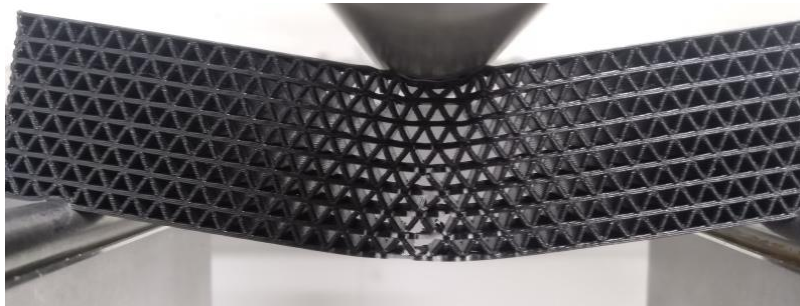


Figura 23: Trencament proveta 8P-30

Pel que fa als resultats numèrics ens hem centrat en el mòdul de rigidesa a flexió (K), el qual s'ha extret a partir de buscar el pendent de la recta de la zona elàstica del material, com podem veure en la Figura 24:

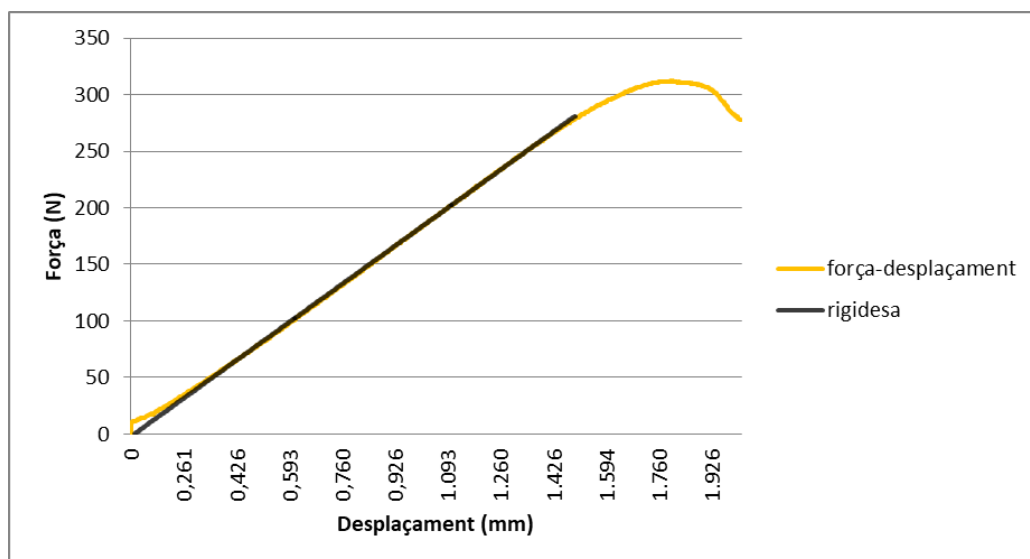


Figura 24: Exemple gràfica Força-desplaçament

Es pot observar que els valors no parteixen ben bé des de 0. Això és degut a la calibració del zero de la màquina cada cop que canviem de proveta i de les interferències inicials de l'adquisició, les quals provoquen que aquests valors esdevinguin erronis.

A continuació podem veure la Taula 8 amb l'estimació de la rigidesa per cada configuració de proveta diferent:

RESULTATS ASSAIG FLEXIÓ					
Nom Proveta	K (N/mm)	K mitjana	Nom Proveta	K (N/mm)	K mitjana
4P-25-H1	202,94	209,18	6P-25-H1	286,9	284,75
4P-25-H2	215,42		6P-25-H2	282,6	
4P-25-V1	153,04	149,81	6P-25-V1	220,75	218,14
4P-25-V2	146,57		6P-25-V2	215,52	
4P-35-H1	174,25	178,37	6P-30-H1	269	268,42
4P-35-H2	182,48		6P-30-H2	267,83	
4P-35-V1	146,44	146,57	6P-30-V1	240,27	237,33
4P-35-V2	146,70		6P-30-V2	234,39	
4P-45-H1	160,29	159,83	6P-35-H1	249,24	250,27
4P-45-H2	159,36		6P-35-H2	251,29	
4P-45-V1	133,12	130,77	6P-35-V1	200	206,15
4P-45-V2	128,42		6P-35-V2	212,29	
4P-55-H1	180,23	179,06	6P-40-H1	238,78	241,79
4P-55-H2	177,89		6P-40-H2	244,8	
4P-55-V1	157,80	156,06	6P-40-V1	241,4	239,88
4P-55-V2	154,31		6P-40-V2	238,35	
4P-60-H1	187,34	185,84	8P-30-H1	345,61	345,86
4P-60-H2	184,34		8P-30-H2	346,1	
4P-60-V1	186,70	183,20	8P-30-V1	318,84	315,52
4P-60-V2	179,70		8P-30-V2	312,2	

Taula 8: Resultats assaig a flexió

La variació de la rigidesa a flexió (K) en les provetes iguals és molt petita, on es presenta un gran canvi és en la diferència de les impreses horitzontalment i verticalment, al igual que podríem veure en les masses.

Seguidament podem veure la Taula 9 amb la càrrega màxima de cada una de les provetes, a l'hora d'extreure els valors hem pogut observar que en la majoria dels casos la proveta tenia un trencament més aviat plàstic, però hi ha certes provetes que no és així i pateixen un trencament fràgil, les quals hem marcat en groc per diferenciar-les.

CÀRREGA MÀXIMA					
Nom Proveta	Càrrega Màxima	mitjana	Nom Proveta	Càrrega Màxima	mitjana
4P-25-H1	310,42	302,28	6P-25-H1	684,16	695,03
4P-25-H2	294,13		6P-25-H2	705,9	
4P-25-V1	173,52	168,85	6P-25-V1	438,55	442,01
4P-25-V2	164,17		6P-25-V2	445,47	
4P-35-H1	364,04	365,60	6P-30-H1	643,47	647,32
4P-35-H2	367,16		6P-30-H2	651,17	
4P-35-V1	226,87	232,40	6P-30-V1	520,06	516,98
4P-35-V2	237,92		6P-30-V2	513,89	
4P-45-H1	324,92	325,28	6P-35-H1	587,47	591,28
4P-45-H2	325,64		6P-35-H2	595,08	
4P-45-V1	208,17	208,11	6P-35-V1	482,07	467,51
4P-45-V2	208,04		6P-35-V2	452,95	
4P-55-H1	333,82	331,38	6P-40-H1	577,82	576,62
4P-55-H2	328,93		6P-40-H2	575,41	
4P-55-V1	207,72	206,29	6P-40-V1	364,17	365,32
4P-55-V2	204,86		6P-40-V2	366,46	
4P-60-H1	351,36	325,14	8P-30-H1	733,46	754,45
4P-60-H2	298,92		8P-30-H2	775,43	
4P-60-V1	217,54	210,04	8P-30-V1	879,35	862,92
4P-60-V2	202,53		8P-30-V2	846,48	

Taula 9: Càrrega màxima provetes

8. ANÀLISI DELS RESULTATS

8.1 Introducció

Una manera d'extreure conclusions més fàcil i visual és representant els diferents resultats en gràfics, en aquest cas en concret, el tipus de gràfic que ens ajudarà més a fer-ho, és el de barres.

A continuació analitzarem tant els resultats extrets amb l'ANSYS, com els de l'assaig a flexió, per posteriorment analitzar-los conjuntament. També observarem la càrrega màxima que pot suportar cada una de les provetes.

8.2 Anàlisi dels resultats de la simulació per elements finits

Amb el programa d'elements finits ANSYS Workbench hem trobat els diferents mòduls de rigidesa de cada una de les configuracions, aquests s'han extret a partir de mirar la força que ha d'exercir el rodet superior perquè aquest aconsegueixi desplaçar-se 1 mm en l'eix vertical.

8.2.1 Rigidesa

A continuació podem veure la Figura 25, un gràfic que compara la rigidesa de les diferents provetes segons si han sigut impreses verticalment o horitzontalment, fet que vam tenir en compte a l'hora de fer els models amb ANSYS.

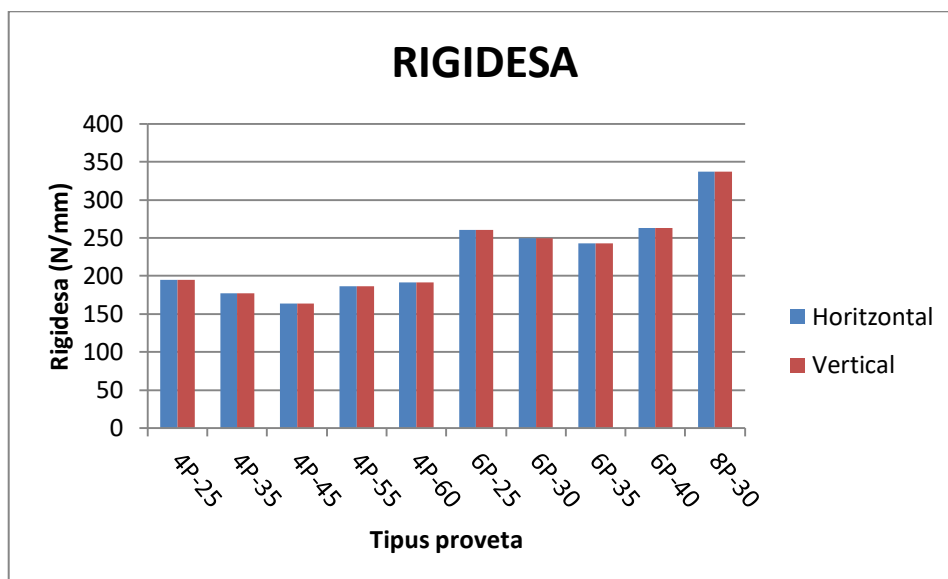


Figura 25: Rigidesa Ansys

Com es pot observar si comparem les rigideses segons la forma en la qual van ser impreses les provetes, podem veure que el seu valor no varia o que varia mínimament, fet que a priori no era d'esperar. Deduïm que aquest fet és degut a que els valors del Mòdul de Young, Coeficient de Poisson i Mòdul de Rigidesa dels diferents eixos del PLA són molt semblants entre ells.

Més endavant veurem que a la pràctica no va ser així ja que els gruixos d'impressió i els pesos varen variar segons la forma en que es varen imprimir les provetes.

8.2.2 Ràtio (Rigidesa/Pes)

El factor que realment ens importa és com afecta el pes en les diferents provetes. Perquè com és d'esperar al variar les configuracions d' altura i nombre de pisos de les provetes, el pes de cada una també variarà consegüentment. Per tant, hem dividit la rigidesa pel pes teòric de cada proveta per així obtenir el ràtio rigidesa/pes, dada molt important a l'hora de valorar quina és la millor configuració de proveta. Aquest ràtio es pot veure de forma gràfica en la Figura 26.

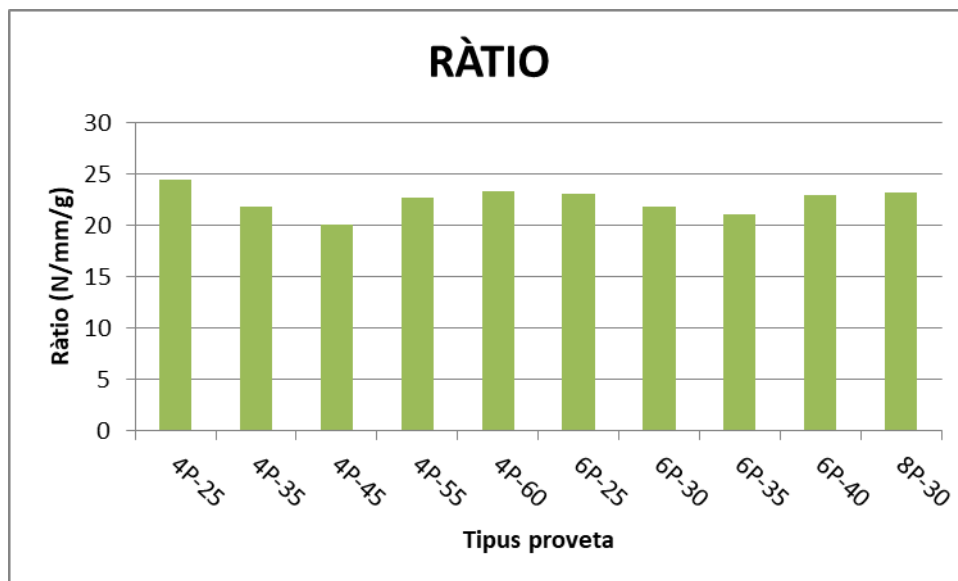


Figura 26: Ràtio Ansys

Si comparem les provetes de 4, 6 i 8 pisos per separat, es pot veure que a diferència de la nostra hipòtesi inicial, la ràtio no va disminuint a mesura que anem augmentant l'altura de pis, sinó que ho fa fins la tercera proveta i després torna a augmentar gradualment fins a la última.

Col·lectivament es pot apreciar que la proveta que teòricament té el ràtio més gran és la de 4P-25 i la del ràtio més petit la de 4P-45.

8.3 Anàlisi dels resultats de l'assaig

A partir de l'assaig a flexió de cada una de les provetes hem obtingut diferents valors de força – deformació, dels quals hem extret els resultats de rigidesa de cada tipus concret de proveta.

Com que de cada tipus de proveta tenim dos versions diferents, hem optat per fer la mitjana d'aquests dos valors a l'hora de comparar els resultats, per així obtenir uns resultats més fiables.

8.3.1 Rigidesa

El pendent de cada una de les gràfiques de força-desplaçament obtingudes durant l'assaig s'ha considerat com el valor de la rigidesa.

Seguidament es pot veure la Figura 27, la qual ens mostra un gràfic de barres amb la rigidesa de cada una de les provetes segons si han sigut impreses vertical o horitzontalment.

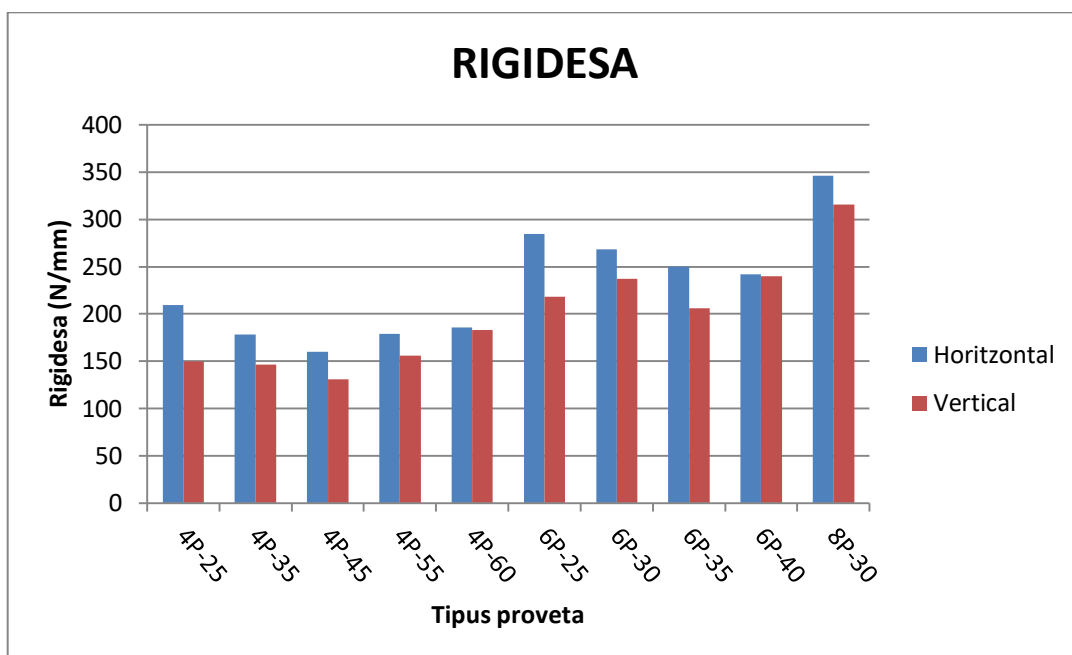


Figura 27: Rigidesa assaig

Com hem dit abans, a diferència dels resultats teòrics, aquí sí que ha canviat molt el valor de la rigidesa segons la forma en la qual ha estat impresa cada proveta. Això és degut a que el gruix d'impressió ha estat major en les horitzontals que no pas en les verticals.

8.3.2 Ràtio (Rigidesa/Pes)

Tal com hem fet amb els resultats teòrics, la informació que més ens interessa és com afectarà el pes en els resultats de l'assaig. Per fer-ho hem dividit els valors de rigidesa obtinguts pel seu pes real, trobant així la ràtio de rigidesa/pes mostrada gràficament en la Figura 28.

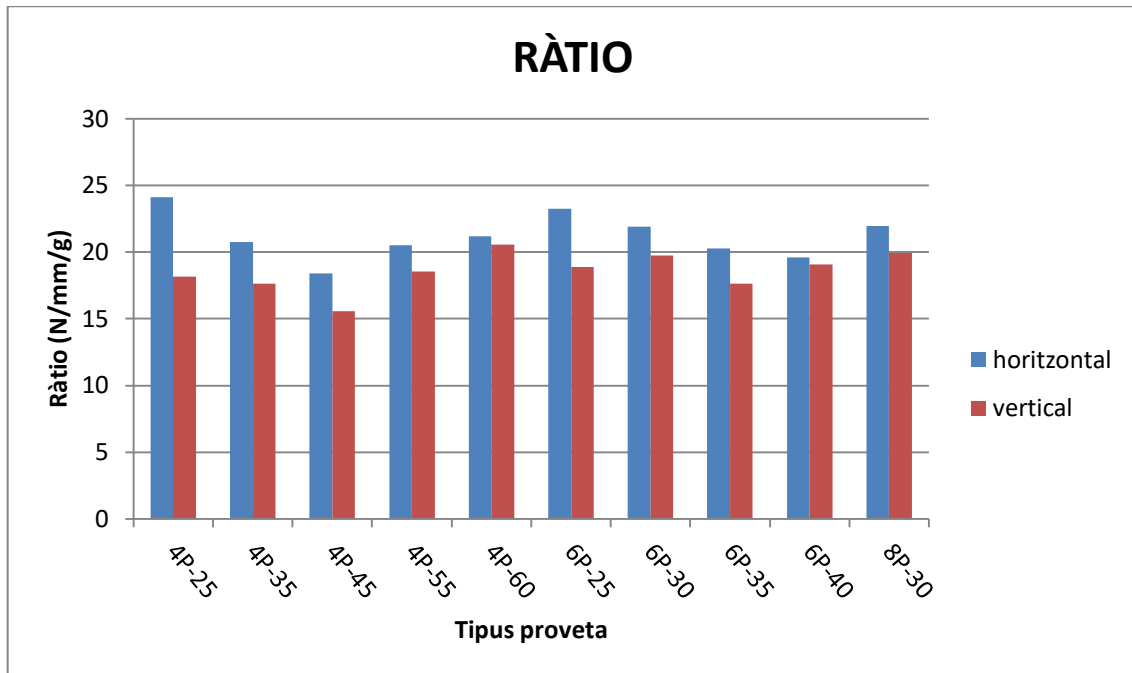


Figura 28: Ràtio rigidesa assaig

Si comparem les provetes de 4, 6 i 8 pisos per separat, es pot veure que a diferència de la nostra hipòtesi inicial, la ràtio no va disminuint a mesura que anem augmentant l'altura de pis. Observem que només ho fa en les provetes de 6 pisos quan aquestes han estat impreses horitzontalment. La resta segueix un patró similar al que hem pogut veure en els resultats teòrics, en el qual baixa per tornar a pujar seguidament, creant així com una forma de vall.

Col·lectivament podem veure que la proveta amb el ràtio més gran varia segons la forma que ha sigut impresa. Si ens fixem en les impreses horitzontalment, serà la 4P-25 i si ens fixem en les verticals, serà la de 4P-60. La proveta amb el ràtio més petit és la 4P-45 en tots dos casos.

8.4 Comparació dels resultats entre l'assaig experimental i la simulació

En aquest apartat hem comparat els resultats teòrics i experimentals, per tal de poder validar les respostes i treure conclusions finals.

8.4.1 Comparació pesos

Tant en els resultats teòrics com en els experimentats veiem que els resultats segueixen un mateix patró, però que el valor d'aquests varia. Això es degut a que el gruix i consegüentment el pes de les provetes no es ben bé el mateix.

Per comparar gradualment els diferents pesos hem creat un gràfic com el de la Figura 29:

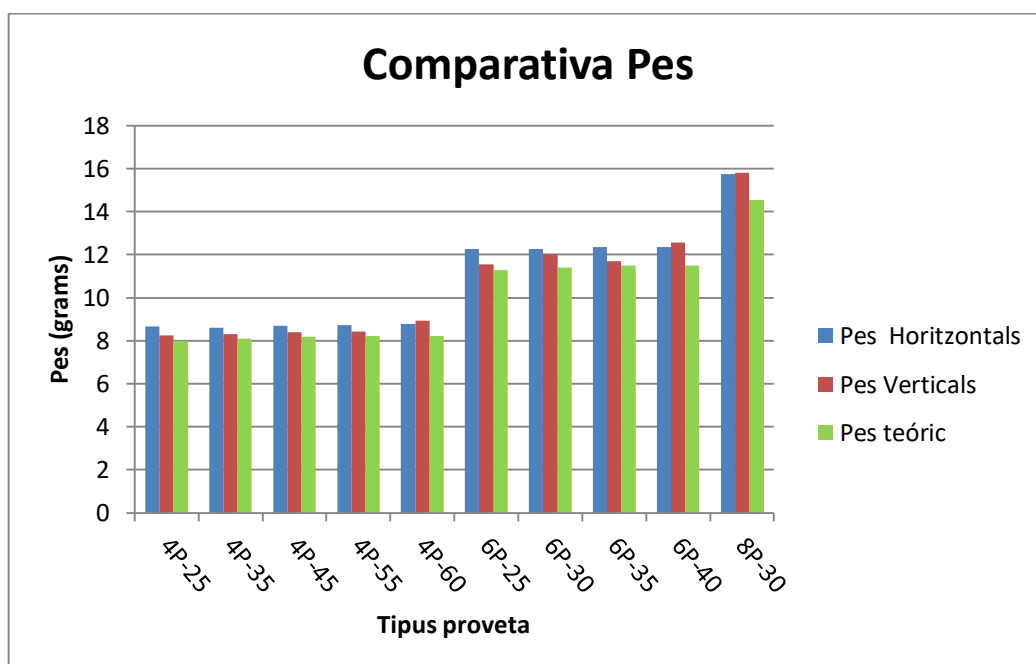


Figura 29: Comparativa pes provetes

En el qual veiem, que en la majoria dels casos el pes horitzontal, és més gran que el vertical i aquest més gran que el teòric. Fet que no en tots els casos és així ja que al parlar de valors tan petits, al haver-hi qualsevol imprecisió tan a l'hora de imprimir com a l'hora de prendre mesures fa que els valors canviïn notòriament.

8.4.2 Comparació rigideses

A continuació, en la Figura 30, es mostra un gràfic de barres el qual compara els diferents valors de rigidesa obtinguts durant el treball. De color verd es pot veure els resultats extrets amb l'Ansys, que recordem que sortien iguals els horitzontals que els verticals i per això no cal diferenciar uns dels altres. En blau tenim les provetes horitzontals assajades a flexió i en vermell les verticals assajades a flexió.

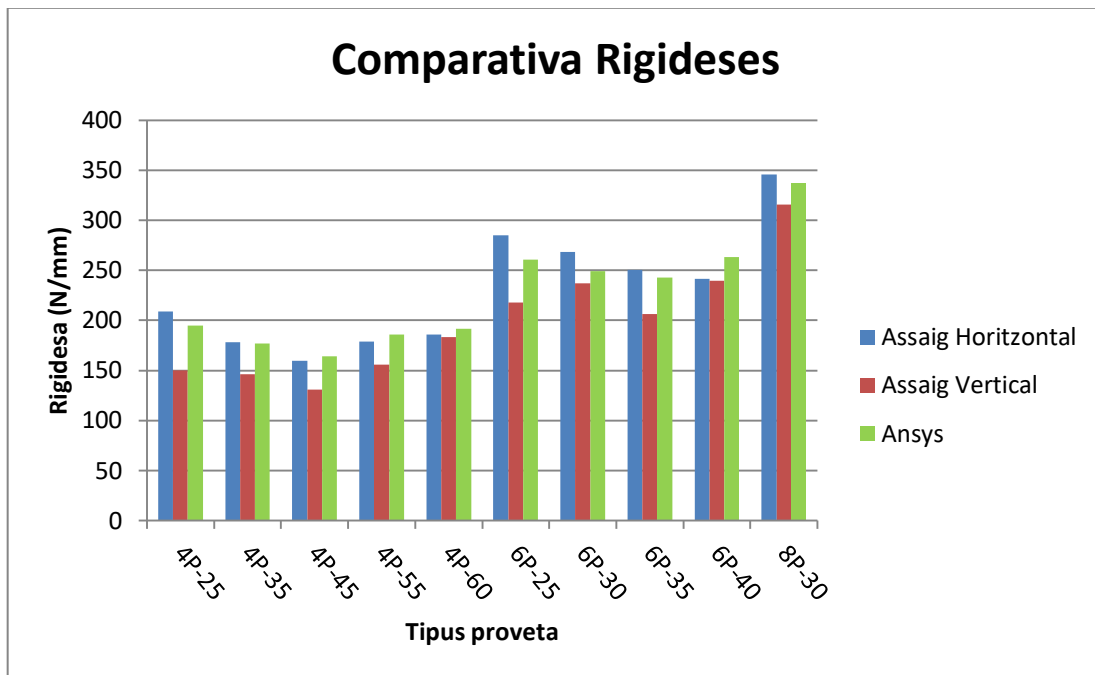


Figura 30: Comparativa Rigideses

Com podem veure els valors de l'Ansys en la majoria de casos queden entremig dels valors horitzontals i dels verticals. Sent sempre els horitzontals més grans que els verticals per culpa de la diferencia de pes.

8.4.3 Comparació ràtios

Com hem dit abans, el factor que realment ens importa és com afecta el pes en les diferents provetes. Per tant hem agafat els diferents ràtios estudiats durant l'assaig i els hem col·locat en un mateix gràfic per així poder-los comparar entre ells més fàcilment. Aquest valors es troben en la Figura 31:

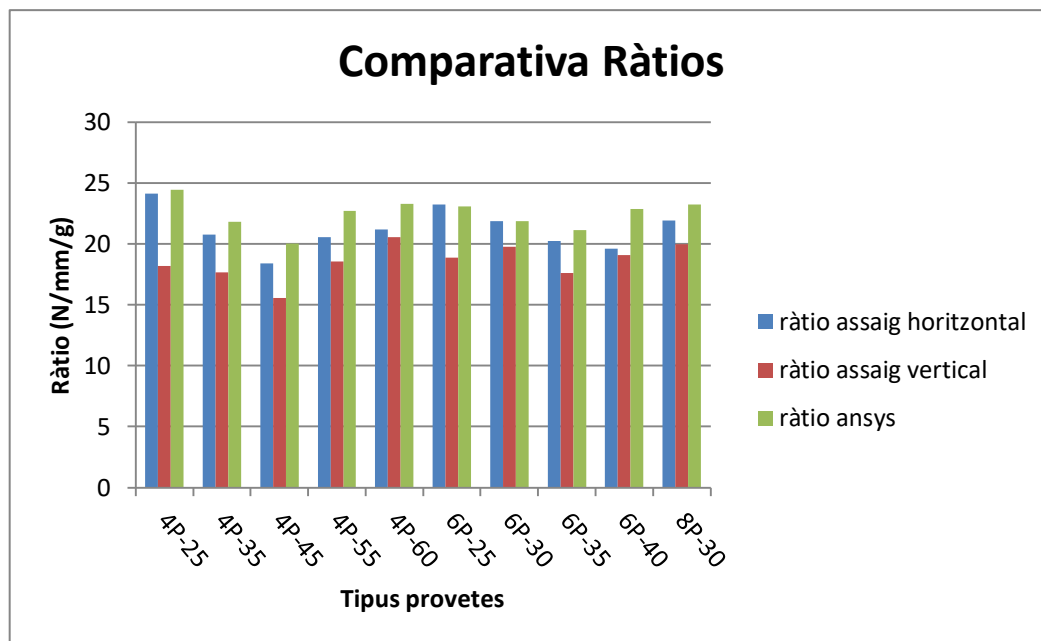


Figura 31: Comparativa ràtios

Podem veure que els valors horitzontals, al igual que es complia en les rigideses, sempre són superiors que els verticals. Fet que no tindria perquè ser així, per tant deduirem que és millor imprimir les peces horitzontalment que verticalment, ja que així obtindrem un ràtio més gran. Pel que fa als valors teòrics, tot i seguir sempre el mateix patró que els experimentals, han estat sempre superiors a aquests.

Per veure amb més claredat les provetes amb els ràtios màxims i mínims, hem creat la següent Figura 32 la qual ens les mostra en una taula :

Ansys	Ràtio màxim	4P-25
	Ràtio mínim	4P-45
Assaig	Ràtio màxim	4P-25 (horitzontalment) 4P-60 (verticalment)
	Ràtio mínim	4P-45

Figura 32: ràtios màxims i mínims

Podem concloure que el valor màxim estarà entre les provetes 4P-25 i 4P-60. Ja que la primera ens apareix tant en els resultats de l' Ansys com en els de l' assaig horitzontal i la segona tot i només aparèixer en els de l'assaig vertical, és el següent valor més gran pel que fa als resultats teòrics de l' Ansys.

Això ens deixa veure que els valors més grans estaran en els extrems de les nostres seqüències i que els valors més petits es trobaran en el centre. Creant així una successió de valors amb forma de vall com hem citat anteriorment. Disminuint al principi per acabar augmentant altre cop en el final.

8.5 Càrrega màxima

També ens hem volgut fixar en el valor de càrrega màxima, el qual s'ha extret a partir de mirar el punt màxim de la gràfica força - desplaçament abans que aquesta comenci a disminuir. Si aquest valor torna a pujar després d'aquest primer pic, ens quedarem igualment amb el primer valor, ja que la proveta ja haurà cedit inicialment. En la Figura 33 podem veure un exemple gràfic.

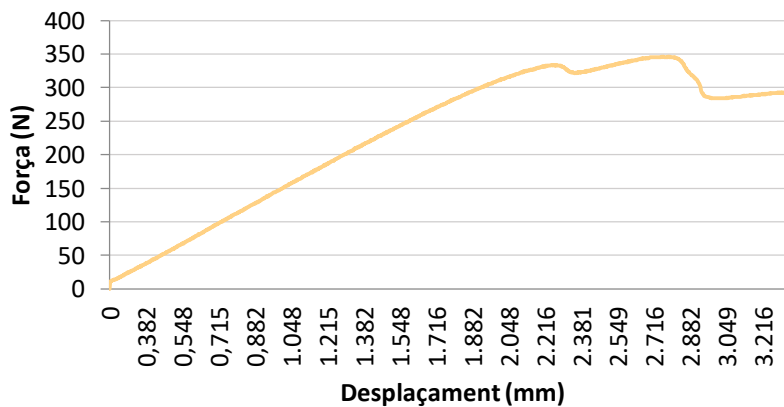


Figura 33: Exemple de punt màxim

A continuació, en la Figura 34, podem veure un gràfic de la càrrega màxima de les diferents provetes:

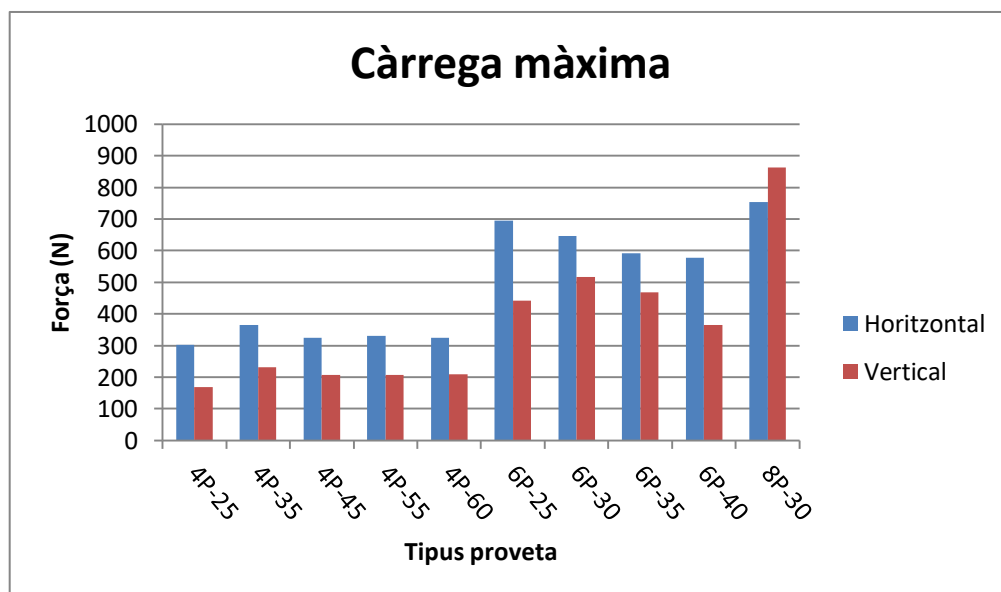


Figura 34: Càrrega màxima

Podem observar que la gràfica no segueix cap tendència en concret i que les configuracions de 6 i 8 pisos tenen una càrrega màxima molt superior a les de 4.

8.5.1 Ràtio (Càrrega/Pes)

També mirarem la ràtio de la càrrega màxima en funció del pes en la Figura 35 següent, en la qual hem dividit cada una de les càrregues màximes pel seu pes real.

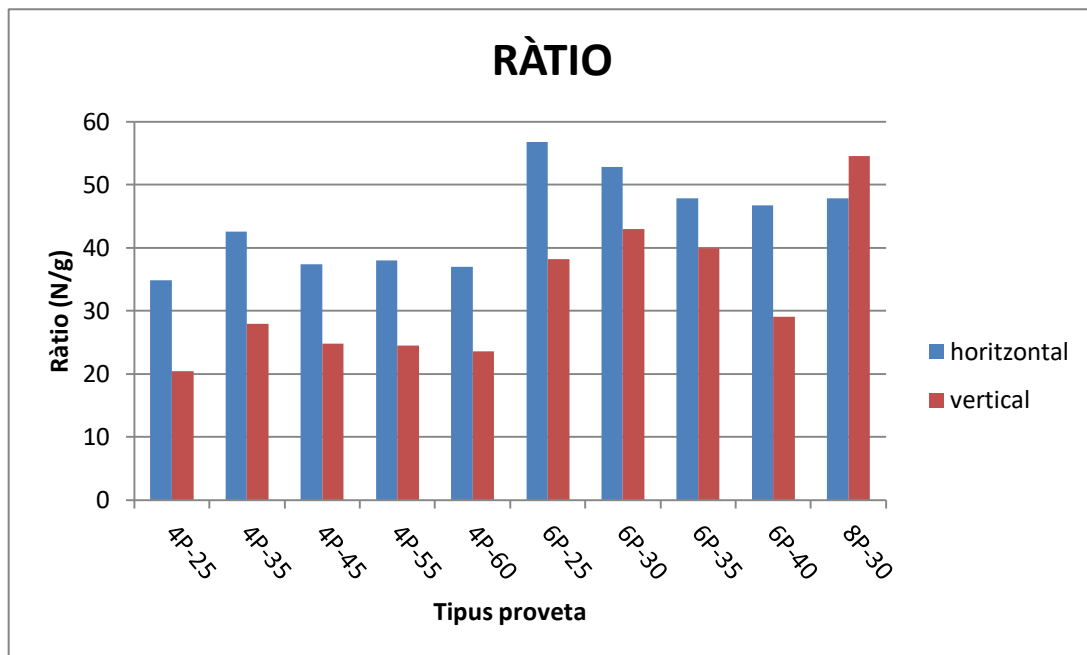


Figura 35: Ràtio càrrega màxima assaig

Una conclusió important que podem extreure és que les que es varen imprimir horitzontalment tenen un ràtio major (exceptuant la proveta de 8P) i que les provetes de 6P i 8P també tenen un ràtio major que les de 4P.

Pel que fa a la proveta amb el ràtio més gran, vèiem que no coincideix la vertical i la horitzontal, ja que horitzontalment és la de 6P-25 i verticalment la de 8P-30.

9. CONCLUSIONS

És possible imprimir elements amb rigidesa gradual a partir de màquines d'impressió 3D.

En les impressores que disposem no és possible reproduir amb precisió altures de pis més petites de 2,5 mm i gruixos de 0,5 mm.

La figura geomètrica més fàcil d'imprimir i més precisa és el triangle equilàter.

Les estructures impreses horitzontalment pesen més i adquireixen gruixos de paret més grans que les impreses verticalment.

Al treballar amb mides i unitats de pes de dimensions tan petites qualsevol variació en els assajos o en la impressió farà que els valors variïn notòriament.

Les provetes segueixen el mateix patró a l'hora de trencar-se, comencen col·lapsant les barres inclinades dels pisos superiors i acaben trencant per tracció les barres horitzontals del pisos inferiors.

A diferència de la nostra hipòtesi inicial, les diferents provetes no disminueixen la relació rigidesa/pes gradualment a mesura que anem desplaçant la massa de l'extrem cap al centre, sinó que es crea una successió de valors amb forma de vall la qual va disminuint al principi, per tornar a augmentar finalment. Aquest patró es repeteix tant en les estructures de 4 pisos com en les de 6.

Podem validar que tant els resultats teòrics com els experimentals són certs ja que tot i no tenir el mateix valor exacte, degut als canvis de pes, els resultats solen seguir el mateix patró.

L'estructura assajada amb el valor de la relació rigidesa/pes més gran es troba entre les provetes 4P-25 i 4P-60, ja que la primera ens apareix tant en els resultats màxims de l'Ansys com en els de l'assaig considerant únicament les impreses horitzontalment. La segona tot i només aparèixer en els de l'assaig (considerant únicament les impreses verticalment), és el següent valor més gran pel que fa als resultats teòrics de l' Ansys. La que té la relació rigidesa/pes més petita en tots els casos és la 4P-45.

Les provetes impreses horitzontalment tenen un ràtio més gran que no les verticals.

L'estructura assajada amb el valor de la relació càrrega màxima/pes més gran és la 6P-25 pel que fa a les impreses horitzontalment i la 8P-30 pel que fa a les impreses verticalment.

ANNEX

1. RESULTATS DE L'ASSAIG

1.1 Informes resultats provetes

Nom proveta: 4P -25 - H1		
Massa: 8,66 g	Altura 1er pis: 2,5 mm	Altura 2on pis: 9,5 mm
Resultats:		
Càrrega màxima (N): 310,42	Rigidesa (N/mm): 202,94	
Gràfic:		
Dibuix:		

Nom proveta: 4P -25 - H2																										
Massa: 8,67 g	Altura 1er pis: 2,5 mm	Altura 2on pis: 9,5 mm																								
Resultats:																										
Càrrega màxima (N): 294,13	Rigidesa (N/mm): 215,42																									
Gràfic:																										
<p>Gràfic de força vs desplaçament. L'eix vertical representa la força en Newtons (N) amb una escala de 0 a 350. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm) amb una escala de 0 a 1,934. La corba mostra una relació força-desplaçament que és inicialment lineal i després s'aplanada fins a arribar a un màxim de força de 294,13 N a un desplaçament de 1,766 mm, després disminueix.</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,267</td><td>~40</td></tr> <tr><td>0,433</td><td>~70</td></tr> <tr><td>0,600</td><td>~100</td></tr> <tr><td>0,766</td><td>~130</td></tr> <tr><td>0,933</td><td>~160</td></tr> <tr><td>1,100</td><td>~190</td></tr> <tr><td>1,266</td><td>~220</td></tr> <tr><td>1,433</td><td>~250</td></tr> <tr><td>1,600</td><td>~280</td></tr> <tr><td>1,766</td><td>294,13</td></tr> <tr><td>1,934</td><td>~250</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0,267	~40	0,433	~70	0,600	~100	0,766	~130	0,933	~160	1,100	~190	1,266	~220	1,433	~250	1,600	~280	1,766	294,13	1,934	~250
Desplaçament (mm)	Força (N)																									
0,267	~40																									
0,433	~70																									
0,600	~100																									
0,766	~130																									
0,933	~160																									
1,100	~190																									
1,266	~220																									
1,433	~250																									
1,600	~280																									
1,766	294,13																									
1,934	~250																									
Dibuix:																										
<p>Dibuix d'un element estructural rectangular amb una malla de triangles que formen una estructura de truss.</p>																										

Nom proveta: 4P -25 - V1																										
Massa: 8,29 g	Altura 1er pis: 2,5 mm	Altura 2on pis: 9,5 mm																								
Resultats:																										
Càrrega màxima (N): 173,52	Rigidesa (N/mm): 153,04																									
Gràfic:																										
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament. La força augmenta de manera lineal fins a arribar a un màxim de 173,52 N a un desplaçament de 1.453 N. Després d'aquest punt, la força comença a disminuir, arribant a aproximadament 135 N a un desplaçament de 1.785 N.</p> <table border="1"> <caption>Dades del gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (N)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,286</td><td>~35</td></tr> <tr><td>0,452</td><td>~55</td></tr> <tr><td>0,619</td><td>~75</td></tr> <tr><td>0,785</td><td>~95</td></tr> <tr><td>0,953</td><td>~115</td></tr> <tr><td>1,119</td><td>~135</td></tr> <tr><td>1,285</td><td>~155</td></tr> <tr><td>1,453</td><td>~173,52</td></tr> <tr><td>1,620</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,785</td><td>~135</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (N)	Força (N)	0	0	0,286	~35	0,452	~55	0,619	~75	0,785	~95	0,953	~115	1,119	~135	1,285	~155	1,453	~173,52	1,620	~150	1,785	~135
Desplaçament (N)	Força (N)																									
0	0																									
0,286	~35																									
0,452	~55																									
0,619	~75																									
0,785	~95																									
0,953	~115																									
1,119	~135																									
1,285	~155																									
1,453	~173,52																									
1,620	~150																									
1,785	~135																									
Dibuix:																										
<p>El dibuix mostra una estructura de truss rectangular amb un patró de triangles repetitius. La estructura està formada per una malla de triangles que es repeteixen horitzontalment i verticalment, creant una estructura rígida i estable.</p>																										

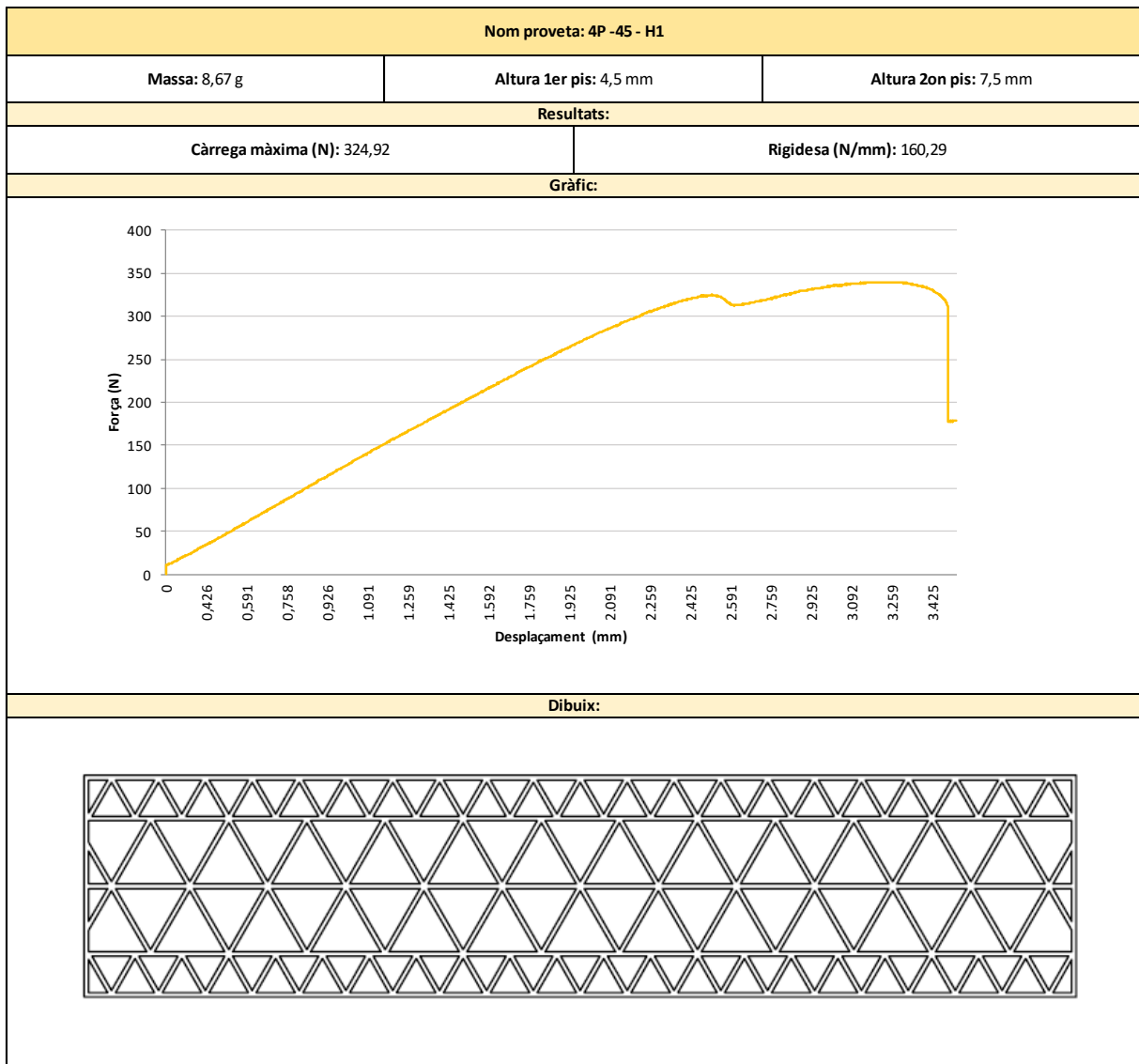
Nom proveta: 4P -25 - V2		
Massa: 8,18 g	Altura 1er pis: 2,5 mm	Altura 2on pis: 9,5 mm
Resultats:		
Càrrega màxima (N): 164,17	Rigidesa (N/mm): 146,57	
Gràfic:		
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament de l'element. La força augmenta de manera lineal fins a aproximadament 120 N, després continua augmentant fins a assolir el màxim de 164,17 N a un desplaçament de 1.248 mm. A partir d'aquí, la força comença a disminuir, indicant una fase de post-elongació.</p>		
Dibuix:		
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla de triangles que representa un element amb rigidesa gradual. La malla està formada per una sèrie de triangles que es connecten entre si, creant una estructura rígida i estable.</p>		

Nom proveta: 4P -35 - H1																																												
Massa: 8,59 g	Altura 1er pis: 3,5 mm	Altura 2on pis: 8,5 mm																																										
Resultats:																																												
Càrrega màxima (N): 364,04		Rigidesa (N/mm): 174,25																																										
Gràfic:																																												
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada (Força (N)) i el desplaçament (Desplaçament (mm)). La força augmenta de manera no lineal fins a arribar a un màxim de 364,04 N a un desplaçament de 3,089 mm. Després d'aquest punt, la força comença a disminuir.</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,256</td><td>~30</td></tr> <tr><td>0,423</td><td>~50</td></tr> <tr><td>0,588</td><td>~70</td></tr> <tr><td>0,756</td><td>~90</td></tr> <tr><td>0,923</td><td>~110</td></tr> <tr><td>1,089</td><td>~130</td></tr> <tr><td>1,256</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,422</td><td>~170</td></tr> <tr><td>1,589</td><td>~190</td></tr> <tr><td>1,757</td><td>~210</td></tr> <tr><td>1,922</td><td>~230</td></tr> <tr><td>2,089</td><td>~250</td></tr> <tr><td>2,256</td><td>~270</td></tr> <tr><td>2,422</td><td>~290</td></tr> <tr><td>2,590</td><td>~310</td></tr> <tr><td>2,756</td><td>~330</td></tr> <tr><td>2,922</td><td>~350</td></tr> <tr><td>3,089</td><td>364,04</td></tr> <tr><td>3,256</td><td>~340</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,256	~30	0,423	~50	0,588	~70	0,756	~90	0,923	~110	1,089	~130	1,256	~150	1,422	~170	1,589	~190	1,757	~210	1,922	~230	2,089	~250	2,256	~270	2,422	~290	2,590	~310	2,756	~330	2,922	~350	3,089	364,04	3,256	~340
Desplaçament (mm)	Força (N)																																											
0	0																																											
0,256	~30																																											
0,423	~50																																											
0,588	~70																																											
0,756	~90																																											
0,923	~110																																											
1,089	~130																																											
1,256	~150																																											
1,422	~170																																											
1,589	~190																																											
1,757	~210																																											
1,922	~230																																											
2,089	~250																																											
2,256	~270																																											
2,422	~290																																											
2,590	~310																																											
2,756	~330																																											
2,922	~350																																											
3,089	364,04																																											
3,256	~340																																											
Dibuix:																																												
<p>El dibuix mostra un element estructural de tipus trencadís, format per una malla de triangles que s'organitzen en tres nivells horitzontals. Aquesta estructura està dissenyada per a l'estudi de flexió.</p>																																												

Nom proveta: 4P -35 - H2																																												
Massa: 8,59 g	Altura 1er pis: 3,5 mm	Altura 2on pis: 8,5 mm																																										
Resultats:																																												
Càrrega màxima (N): 367,16	Rigidesa (N/mm): 182,48																																											
Gràfic:																																												
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament de la proveta. L'eix vertical representa la força en Newtons (N), amb una escala de 0 a 400. L'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm), amb una escala de 0 a 3,307. La corba comença a l'origen i segueix una trajectòria que s'aproxima a una línia recta fins a aproximadament 1,5 mm de desplaçament, després s'inflexiona i arriba a un màxim de força de 367,16 N a un desplaçament de 3,141 mm. Després d'aquest punt, la força comença a disminuir lleugerament fins a 3,307 mm de desplaçament.</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,307</td><td>~20</td></tr> <tr><td>0,472</td><td>~40</td></tr> <tr><td>0,640</td><td>~60</td></tr> <tr><td>0,807</td><td>~80</td></tr> <tr><td>0,973</td><td>~100</td></tr> <tr><td>1,140</td><td>~120</td></tr> <tr><td>1,307</td><td>~140</td></tr> <tr><td>1,472</td><td>~160</td></tr> <tr><td>1,641</td><td>~180</td></tr> <tr><td>1,807</td><td>~200</td></tr> <tr><td>1,973</td><td>~220</td></tr> <tr><td>2,141</td><td>~240</td></tr> <tr><td>2,307</td><td>~260</td></tr> <tr><td>2,473</td><td>~280</td></tr> <tr><td>2,641</td><td>~300</td></tr> <tr><td>2,806</td><td>~320</td></tr> <tr><td>2,973</td><td>~340</td></tr> <tr><td>3,141</td><td>367,16</td></tr> <tr><td>3,307</td><td>~350</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,307	~20	0,472	~40	0,640	~60	0,807	~80	0,973	~100	1,140	~120	1,307	~140	1,472	~160	1,641	~180	1,807	~200	1,973	~220	2,141	~240	2,307	~260	2,473	~280	2,641	~300	2,806	~320	2,973	~340	3,141	367,16	3,307	~350
Desplaçament (mm)	Força (N)																																											
0	0																																											
0,307	~20																																											
0,472	~40																																											
0,640	~60																																											
0,807	~80																																											
0,973	~100																																											
1,140	~120																																											
1,307	~140																																											
1,472	~160																																											
1,641	~180																																											
1,807	~200																																											
1,973	~220																																											
2,141	~240																																											
2,307	~260																																											
2,473	~280																																											
2,641	~300																																											
2,806	~320																																											
2,973	~340																																											
3,141	367,16																																											
3,307	~350																																											
Dibuix:																																												
<p>El dibuix mostra un element estructural de tipus trencadís, format per una malla de triangles que connecta dos nivells horitzontals. L'estructura és simètrica i està dissenyada per a la flexió, amb els triangles orientats de manera que permeten la redistribució de la càrrega.</p>																																												

Nom proveta: 4P -35 - V1																														
Massa: 8,34 g	Altura 1er pis: 3,5 mm	Altura 2on pis: 8,5 mm																												
Resultats:																														
Càrrega màxima (N): 226,87	Rigidesa (N/mm): 146,44																													
Gràfic:																														
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament de la proveta. La força augmenta de manera lineal fins a uns 180 N, després continua augmentant a un ritme més baix fins a arribar al màxim de 226,87 N a un desplaçament de 2.137 mm. A partir d'aquí, la força cau bruscament.</p> <table border="1"> <caption>Dades del gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,304</td><td>~40</td></tr> <tr><td>0,470</td><td>~60</td></tr> <tr><td>0,636</td><td>~80</td></tr> <tr><td>0,804</td><td>~100</td></tr> <tr><td>0,969</td><td>~120</td></tr> <tr><td>1,136</td><td>~140</td></tr> <tr><td>1,303</td><td>~160</td></tr> <tr><td>1,469</td><td>~180</td></tr> <tr><td>1,637</td><td>~200</td></tr> <tr><td>1,804</td><td>~210</td></tr> <tr><td>1,969</td><td>~220</td></tr> <tr><td>2,137</td><td>226,87</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,304	~40	0,470	~60	0,636	~80	0,804	~100	0,969	~120	1,136	~140	1,303	~160	1,469	~180	1,637	~200	1,804	~210	1,969	~220	2,137	226,87
Desplaçament (mm)	Força (N)																													
0	0																													
0,304	~40																													
0,470	~60																													
0,636	~80																													
0,804	~100																													
0,969	~120																													
1,136	~140																													
1,303	~160																													
1,469	~180																													
1,637	~200																													
1,804	~210																													
1,969	~220																													
2,137	226,87																													
Dibuix:																														
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla de triangles que representa la seva estructura interna. Aquesta malla està formada per múltiples triangles que es connecten entre si, creant una estructura rígida i estable.</p>																														

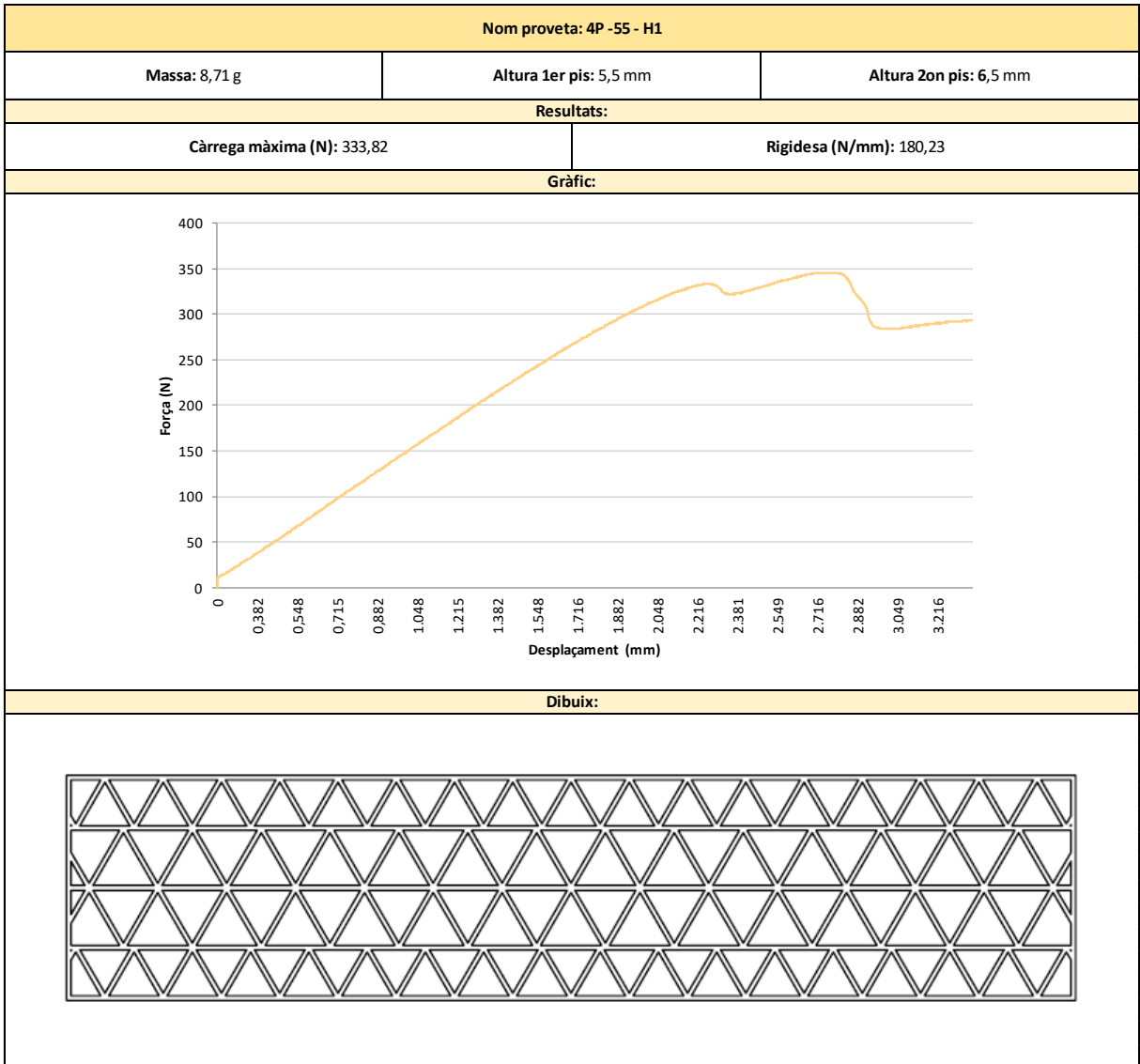
Nom proveta: 4P -35 - V2																																						
Massa: 8,27 g	Altura 1er pis: 3,5 mm	Altura 2on pis: 8,5 mm																																				
Resultats:																																						
Càrrega màxima (N): 237,92		Rigidesa (N/mm): 146,70																																				
Gràfic:																																						
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament de la proveta. La força augmenta de manera no lineal amb el desplaçament fins a arribar a un màxim de 237,92 N a un desplaçament de 2.428 mm. Després d'aquest punt, la força comença a disminuir, indicant un comportament post-elàstic.</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,261</td><td>~25</td></tr> <tr><td>0,427</td><td>~50</td></tr> <tr><td>0,594</td><td>~75</td></tr> <tr><td>0,760</td><td>~100</td></tr> <tr><td>0,926</td><td>~125</td></tr> <tr><td>1,094</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,260</td><td>~175</td></tr> <tr><td>1,426</td><td>~195</td></tr> <tr><td>1,594</td><td>~210</td></tr> <tr><td>1,760</td><td>~215</td></tr> <tr><td>1,927</td><td>~220</td></tr> <tr><td>2,094</td><td>~225</td></tr> <tr><td>2,260</td><td>~230</td></tr> <tr><td>2,428</td><td>237,92</td></tr> <tr><td>2,594</td><td>~210</td></tr> <tr><td>2,760</td><td>~190</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,261	~25	0,427	~50	0,594	~75	0,760	~100	0,926	~125	1,094	~150	1,260	~175	1,426	~195	1,594	~210	1,760	~215	1,927	~220	2,094	~225	2,260	~230	2,428	237,92	2,594	~210	2,760	~190
Desplaçament (mm)	Força (N)																																					
0	0																																					
0,261	~25																																					
0,427	~50																																					
0,594	~75																																					
0,760	~100																																					
0,926	~125																																					
1,094	~150																																					
1,260	~175																																					
1,426	~195																																					
1,594	~210																																					
1,760	~215																																					
1,927	~220																																					
2,094	~225																																					
2,260	~230																																					
2,428	237,92																																					
2,594	~210																																					
2,760	~190																																					
Dibuix:																																						
<p>El dibuix mostra un element estructural de tipus trencadís, format per una malla de triangles que s'organitzen en tres nivells horitzontals. Aquesta estructura està dissenyada per proporcionar rigidesa i resistència a la flexió.</p>																																						



Nom proveta: 4P -45 - H2																																										
Massa: 8,67 g	Altura 1er pis: 4,5 mm	Altura 2on pis: 7,5 mm																																								
Resultats:																																										
Càrrega màxima (N): 325,64	Rigidesa (N/mm): 159,36																																									
Gràfic:																																										
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament. La força augmenta linealment amb el desplaçament fins a arribar a un màxim de 325,64 N a un desplaçament de 3.228 mm. Després d'aquest punt, la força disminueix bruscament.</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,394</td><td>~30</td></tr> <tr><td>0,561</td><td>~45</td></tr> <tr><td>0,727</td><td>~60</td></tr> <tr><td>0,894</td><td>~75</td></tr> <tr><td>1,060</td><td>~90</td></tr> <tr><td>1,227</td><td>~105</td></tr> <tr><td>1,394</td><td>~120</td></tr> <tr><td>1,560</td><td>~135</td></tr> <tr><td>1,728</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,894</td><td>~165</td></tr> <tr><td>2,060</td><td>~180</td></tr> <tr><td>2,228</td><td>~195</td></tr> <tr><td>2,394</td><td>~210</td></tr> <tr><td>2,560</td><td>~225</td></tr> <tr><td>2,727</td><td>~235</td></tr> <tr><td>2,893</td><td>~240</td></tr> <tr><td>3,060</td><td>~245</td></tr> <tr><td>3,228</td><td>~240</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,394	~30	0,561	~45	0,727	~60	0,894	~75	1,060	~90	1,227	~105	1,394	~120	1,560	~135	1,728	~150	1,894	~165	2,060	~180	2,228	~195	2,394	~210	2,560	~225	2,727	~235	2,893	~240	3,060	~245	3,228	~240
Desplaçament (mm)	Força (N)																																									
0	0																																									
0,394	~30																																									
0,561	~45																																									
0,727	~60																																									
0,894	~75																																									
1,060	~90																																									
1,227	~105																																									
1,394	~120																																									
1,560	~135																																									
1,728	~150																																									
1,894	~165																																									
2,060	~180																																									
2,228	~195																																									
2,394	~210																																									
2,560	~225																																									
2,727	~235																																									
2,893	~240																																									
3,060	~245																																									
3,228	~240																																									
Dibuix:																																										
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla de triangles de ferro. La malla està formada per quatre files horitzontals i onze columnes verticals, creant una estructura de triangles que proporciona rigidesa i resistència a la flexió.</p>																																										

Nom proveta: 4P -45 - V1																												
Massa: 8,44 g	Altura 1er pis: 4,5 mm	Altura 2on pis: 7,5 mm																										
Resultats:																												
Càrrega màxima (N): 208,17	Rigidesa (N/mm): 133,12																											
Gràfic:																												
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament. La força augmenta linealment amb el desplaçament fins a arribar a un màxim de 208,17 N a un desplaçament de 1.890 mm. Després d'aquest punt, la força comença a disminuir, indicant un comportament post-elàstic.</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.389</td><td>~50</td></tr> <tr><td>0.557</td><td>~75</td></tr> <tr><td>0.723</td><td>~100</td></tr> <tr><td>0.889</td><td>~125</td></tr> <tr><td>1.057</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1.222</td><td>~175</td></tr> <tr><td>1.389</td><td>~200</td></tr> <tr><td>1.556</td><td>~210</td></tr> <tr><td>1.723</td><td>~215</td></tr> <tr><td>1.890</td><td>208,17</td></tr> <tr><td>2.057</td><td>~175</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0.389	~50	0.557	~75	0.723	~100	0.889	~125	1.057	~150	1.222	~175	1.389	~200	1.556	~210	1.723	~215	1.890	208,17	2.057	~175
Desplaçament (mm)	Força (N)																											
0	0																											
0.389	~50																											
0.557	~75																											
0.723	~100																											
0.889	~125																											
1.057	~150																											
1.222	~175																											
1.389	~200																											
1.556	~210																											
1.723	~215																											
1.890	208,17																											
2.057	~175																											
Dibuix:																												
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla de triangles que representa la seva estructura interna. La malla està formada per múltiples triangles que es connecten entre si, creant una estructura de tipus trencadís.</p>																												

Nom proveta: 4P -45 - V2																												
Massa: 8,33 g	Altura 1er pis: 4,5 mm	Altura 2on pis: 7,5 mm																										
Resultats:																												
Càrrega màxima (N): 208,04	Rigidesa (N/mm): 128,42																											
Gràfic:																												
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament de la proveta. La força augmenta de manera lineal fins a arribar a un màxim de 208,04 N a un desplaçament de 2.025 mm. Després d'aquest punt, la força cau bruscament a uns 175 N.</p> <table border="1"> <caption>Dades del gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,357</td><td>~45</td></tr> <tr><td>0,524</td><td>~75</td></tr> <tr><td>0,691</td><td>~105</td></tr> <tr><td>0,857</td><td>~135</td></tr> <tr><td>1,024</td><td>~165</td></tr> <tr><td>1,191</td><td>~195</td></tr> <tr><td>1,357</td><td>~205</td></tr> <tr><td>1,525</td><td>~208</td></tr> <tr><td>1,692</td><td>~205</td></tr> <tr><td>1,858</td><td>~200</td></tr> <tr><td>2,025</td><td>~175</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,357	~45	0,524	~75	0,691	~105	0,857	~135	1,024	~165	1,191	~195	1,357	~205	1,525	~208	1,692	~205	1,858	~200	2,025	~175
Desplaçament (mm)	Força (N)																											
0	0																											
0,357	~45																											
0,524	~75																											
0,691	~105																											
0,857	~135																											
1,024	~165																											
1,191	~195																											
1,357	~205																											
1,525	~208																											
1,692	~205																											
1,858	~200																											
2,025	~175																											
Dibuix:																												
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla de triangles que representa la seva estructura interna. La malla està formada per quatre files horitzontals i múltiples columnes verticals, creant una estructura de triangles que permet la flexió controlada.</p>																												



Nom proveta: 4P - 55 - H2																																						
Massa: 8,72 g	Altura 1er pis: 5,5 mm	Altura 2on pis: 6,5 mm																																				
Resultats:																																						
Càrrega màxima (N): 328,93	Rigidesa (N/mm): 177,89																																					
Gràfic:																																						
<p>Dades del gràfic:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,364</td><td>~65</td></tr> <tr><td>0,532</td><td>~95</td></tr> <tr><td>0,698</td><td>~125</td></tr> <tr><td>0,864</td><td>~155</td></tr> <tr><td>1,032</td><td>~185</td></tr> <tr><td>1,197</td><td>~215</td></tr> <tr><td>1,365</td><td>~245</td></tr> <tr><td>1,532</td><td>~275</td></tr> <tr><td>1,698</td><td>~305</td></tr> <tr><td>1,865</td><td>~320</td></tr> <tr><td>2,032</td><td>~325</td></tr> <tr><td>2,198</td><td>~325</td></tr> <tr><td>2,366</td><td>~320</td></tr> <tr><td>2,531</td><td>~330</td></tr> <tr><td>2,698</td><td>~340</td></tr> <tr><td>2,865</td><td>~280</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,364	~65	0,532	~95	0,698	~125	0,864	~155	1,032	~185	1,197	~215	1,365	~245	1,532	~275	1,698	~305	1,865	~320	2,032	~325	2,198	~325	2,366	~320	2,531	~330	2,698	~340	2,865	~280
Desplaçament (mm)	Força (N)																																					
0	0																																					
0,364	~65																																					
0,532	~95																																					
0,698	~125																																					
0,864	~155																																					
1,032	~185																																					
1,197	~215																																					
1,365	~245																																					
1,532	~275																																					
1,698	~305																																					
1,865	~320																																					
2,032	~325																																					
2,198	~325																																					
2,366	~320																																					
2,531	~330																																					
2,698	~340																																					
2,865	~280																																					
Dibuix:																																						

Nom proveta: 4P - 55 - V1																										
Massa: 8,45 g	Altura 1er pis: 5,5 mm	Altura 2on pis: 6,5 mm																								
Resultats:																										
Càrrega màxima (N): 207,72	Rigidesa (N/mm): 157,8																									
Gràfic:																										
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament de l'element. La força augmenta de manera lineal amb el desplaçament fins a arribar a un màxim de 207,72 N a un desplaçament de 1,548 mm. Després d'aquest punt, la força cau bruscament a uns 60 N.</p> <table border="1"><caption>Dades del gràfic</caption><thead><tr><th>Desplaçament (mm)</th><th>Força (N)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0,383</td><td>~30</td></tr><tr><td>0,548</td><td>~50</td></tr><tr><td>0,716</td><td>~70</td></tr><tr><td>0,882</td><td>~90</td></tr><tr><td>1,048</td><td>~110</td></tr><tr><td>1,216</td><td>~130</td></tr><tr><td>1,382</td><td>~150</td></tr><tr><td>1,548</td><td>~170</td></tr><tr><td>~1,6</td><td>~207,72</td></tr><tr><td>~1,6</td><td>~60</td></tr></tbody></table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,383	~30	0,548	~50	0,716	~70	0,882	~90	1,048	~110	1,216	~130	1,382	~150	1,548	~170	~1,6	~207,72	~1,6	~60
Desplaçament (mm)	Força (N)																									
0	0																									
0,383	~30																									
0,548	~50																									
0,716	~70																									
0,882	~90																									
1,048	~110																									
1,216	~130																									
1,382	~150																									
1,548	~170																									
~1,6	~207,72																									
~1,6	~60																									
Dibuix:																										
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla triangular interna formada per tres files horitzontals i onze columnes verticals. Cada cel·la triangular està formada per dues línies paral·leles i una diagonal que creua al centre.</p>																										

Nom proveta: 4P - 55 - V2		
Massa: 8,37 g	Altura 1er pis: 5,5 mm	Altura 2on pis: 6,5 mm
Resultats:		
Càrrega màxima (N): 204,86	Rigidesa (N/mm): 154,31	
Gràfic:		
Dibuix:		

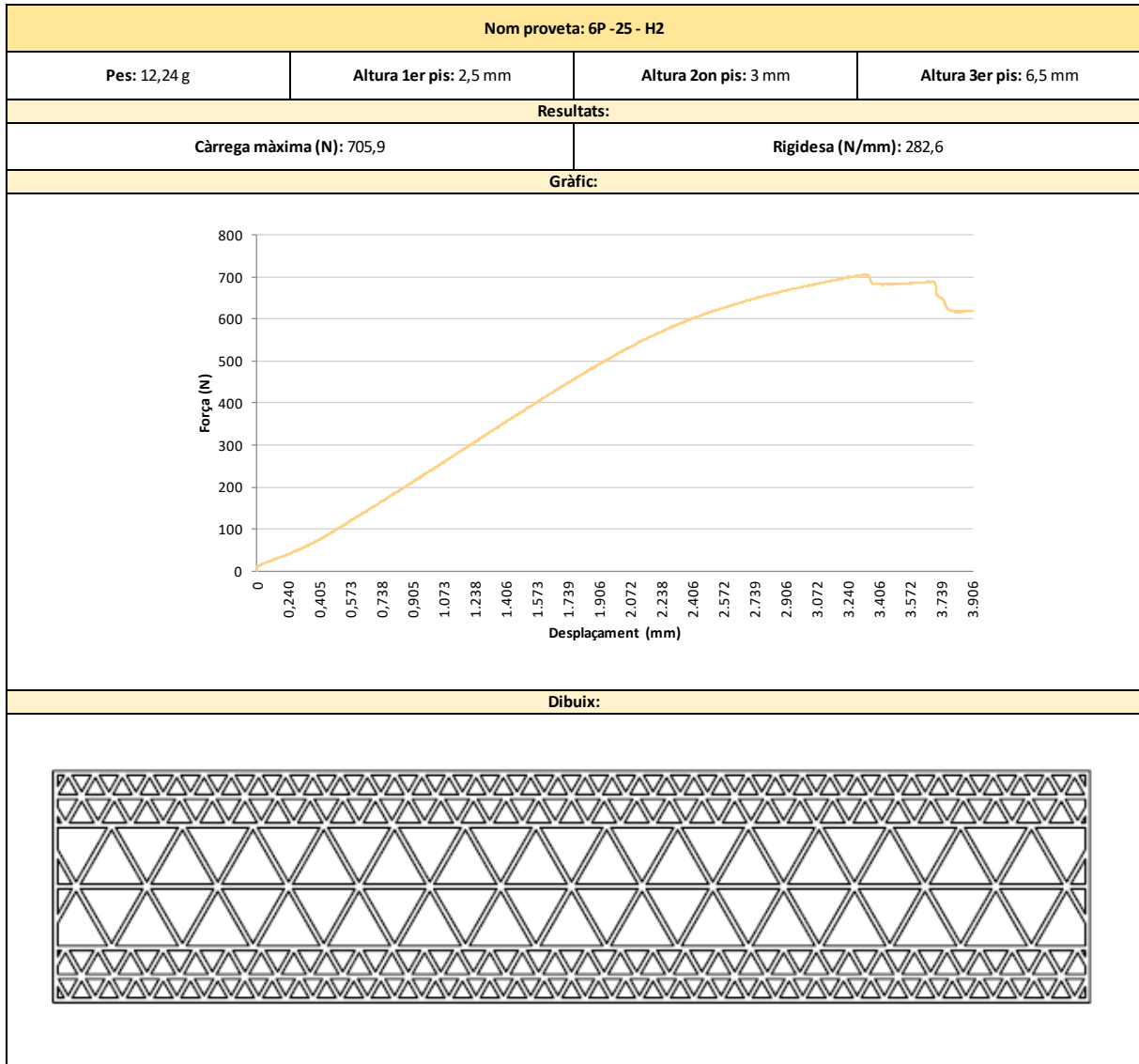
Nom proveta: 4P - 60 - H1																																		
Massa: 8,78 g	Altura 1er pis: 6 mm	Altura 2on pis: 6 mm																																
Resultats:																																		
Càrrega màxima (N): 351,36	Rigidesa (N/mm): 187,34																																	
Gràfic:																																		
<p>Força (N)</p> <p>Desplaçament (mm)</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,308</td><td>~30</td></tr> <tr><td>0,475</td><td>~45</td></tr> <tr><td>0,642</td><td>~60</td></tr> <tr><td>0,809</td><td>~75</td></tr> <tr><td>0,976</td><td>~90</td></tr> <tr><td>1,142</td><td>~105</td></tr> <tr><td>1,309</td><td>~120</td></tr> <tr><td>1,475</td><td>~135</td></tr> <tr><td>1,642</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,809</td><td>~165</td></tr> <tr><td>1,975</td><td>187,34 (Rigidesa)</td></tr> <tr><td>2,142</td><td>~320</td></tr> <tr><td>2,309</td><td>~280</td></tr> <tr><td>2,475</td><td>~230</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,308	~30	0,475	~45	0,642	~60	0,809	~75	0,976	~90	1,142	~105	1,309	~120	1,475	~135	1,642	~150	1,809	~165	1,975	187,34 (Rigidesa)	2,142	~320	2,309	~280	2,475	~230
Desplaçament (mm)	Força (N)																																	
0	0																																	
0,308	~30																																	
0,475	~45																																	
0,642	~60																																	
0,809	~75																																	
0,976	~90																																	
1,142	~105																																	
1,309	~120																																	
1,475	~135																																	
1,642	~150																																	
1,809	~165																																	
1,975	187,34 (Rigidesa)																																	
2,142	~320																																	
2,309	~280																																	
2,475	~230																																	
Dibuix:																																		

Nom proveta: 4P - 60 - H2																														
Massa: 8,77 g	Altura 1er pis: 6 mm	Altura 2on pis: 6 mm																												
Resultats:																														
Càrrega màxima (N): 298,92	Rigidesa (N/mm): 184,34																													
Gràfic:																														
<p>Força (N)</p> <p>Desplaçament (mm)</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,321</td><td>~30</td></tr> <tr><td>0,488</td><td>~50</td></tr> <tr><td>0,654</td><td>~70</td></tr> <tr><td>0,821</td><td>~90</td></tr> <tr><td>0,988</td><td>~110</td></tr> <tr><td>1,154</td><td>~130</td></tr> <tr><td>1,322</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,488</td><td>~170</td></tr> <tr><td>1,654</td><td>~190</td></tr> <tr><td>1,821</td><td>~210</td></tr> <tr><td>1,988</td><td>~200</td></tr> <tr><td>2,154</td><td>~180</td></tr> </tbody> </table>			Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,321	~30	0,488	~50	0,654	~70	0,821	~90	0,988	~110	1,154	~130	1,322	~150	1,488	~170	1,654	~190	1,821	~210	1,988	~200	2,154	~180
Desplaçament (mm)	Força (N)																													
0	0																													
0,321	~30																													
0,488	~50																													
0,654	~70																													
0,821	~90																													
0,988	~110																													
1,154	~130																													
1,322	~150																													
1,488	~170																													
1,654	~190																													
1,821	~210																													
1,988	~200																													
2,154	~180																													
Dibuix:																														

Nom proveta: 4P - 60 - V1		
Massa: 8,96 g	Altura 1er pis: 6 mm	Altura 2on pis: 6 mm
Resultats:		
Càrrega màxima (N): 217,54	Rigidesa (N/mm): 186,7	
Gràfic:		
Dibuix:		

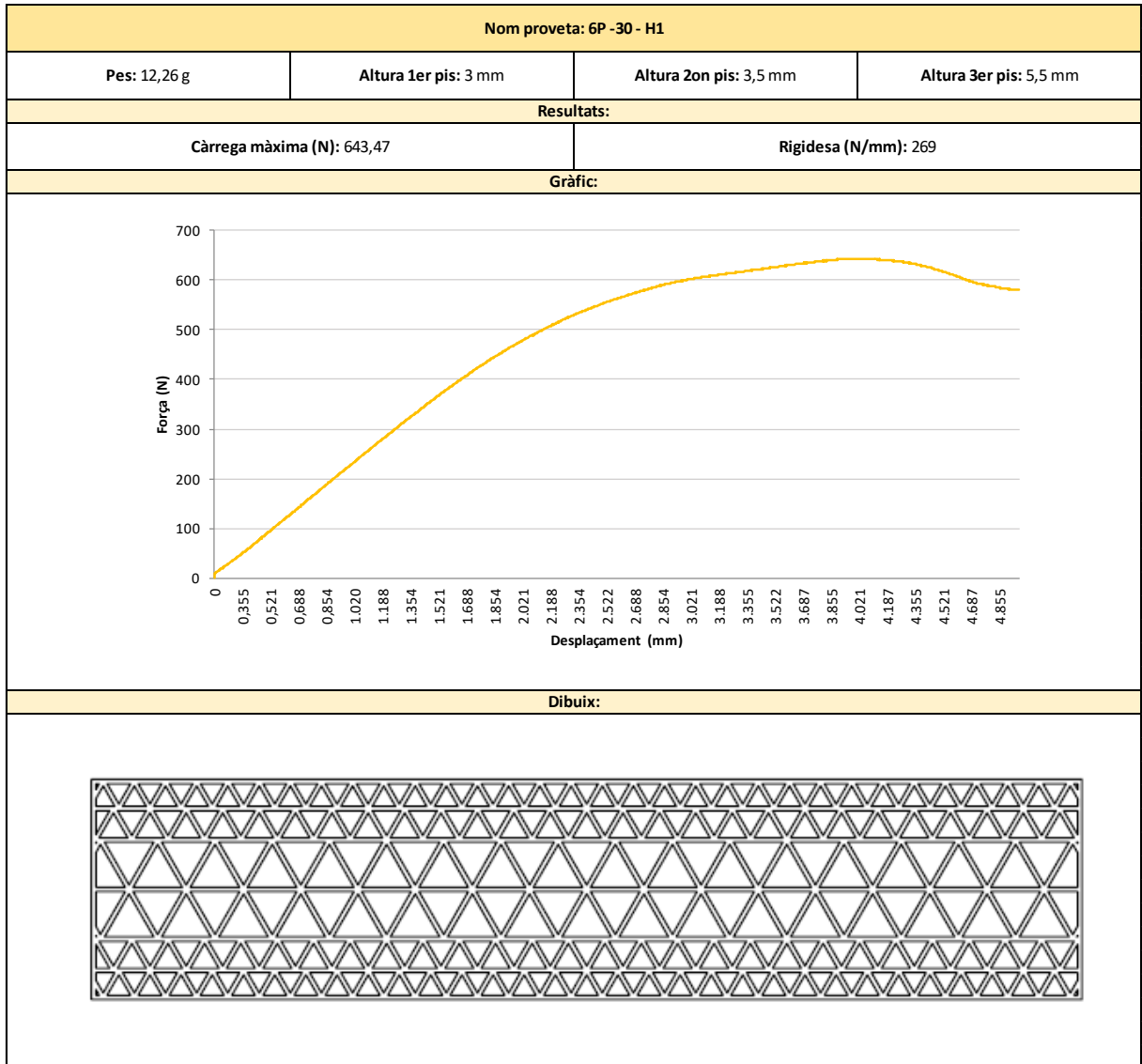
Nom proveta: 4P - 60 - V2		
Massa: 8,87 g	Altura 1er pis: 6 mm	Altura 2on pis: 6 mm
Resultats:		
Càrrega màxima (N): 202,53	Rigidesa (N/mm): 179,70	
Gràfic:		
Dibuix:		

Nom proveta: 6P - 25 - H1			
Pes: 12,25 g	Altura 1er pis: 2,5 mm	Altura 2on pis: 3 mm	Altura 3er pis: 6,5 mm
Resultats:			
Càrrega màxima (N): 684,16		Rigidesa (N/mm): 286,9	
Gràfic:			
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament de la proveta. L'eix vertical (Força (N)) varia de 0 a 800 amb increments de 100. L'eix horitzontal (Desplaçament (mm)) varia de 0 a 3,669 amb increments de 0,336. La corba comença a l'origen i segueix una línia recta fins a aproximadament 300 N i 1,5 mm. Després, la corba s'aplanada i arriba a un màxim de força de 684,16 N a un desplaçament de 3,503 mm. A partir d'aquí, la força comença a disminuir lleugerament.</p>			
Dibuix:			
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla de triangles que representa la geometria de la proveta. La malla està formada per una sèrie de triangles que es connecten entre si per formar una estructura rígida.</p>			

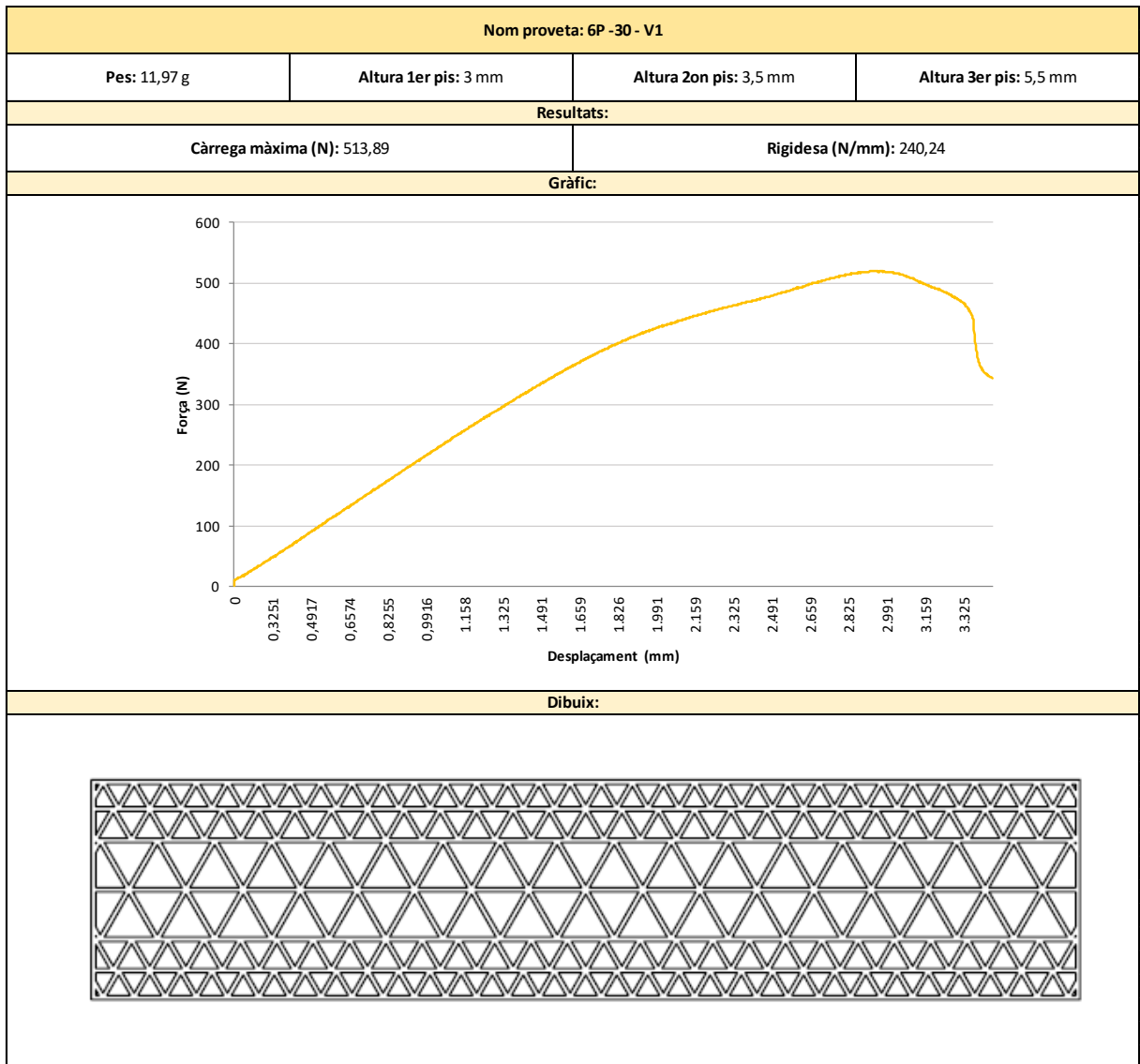


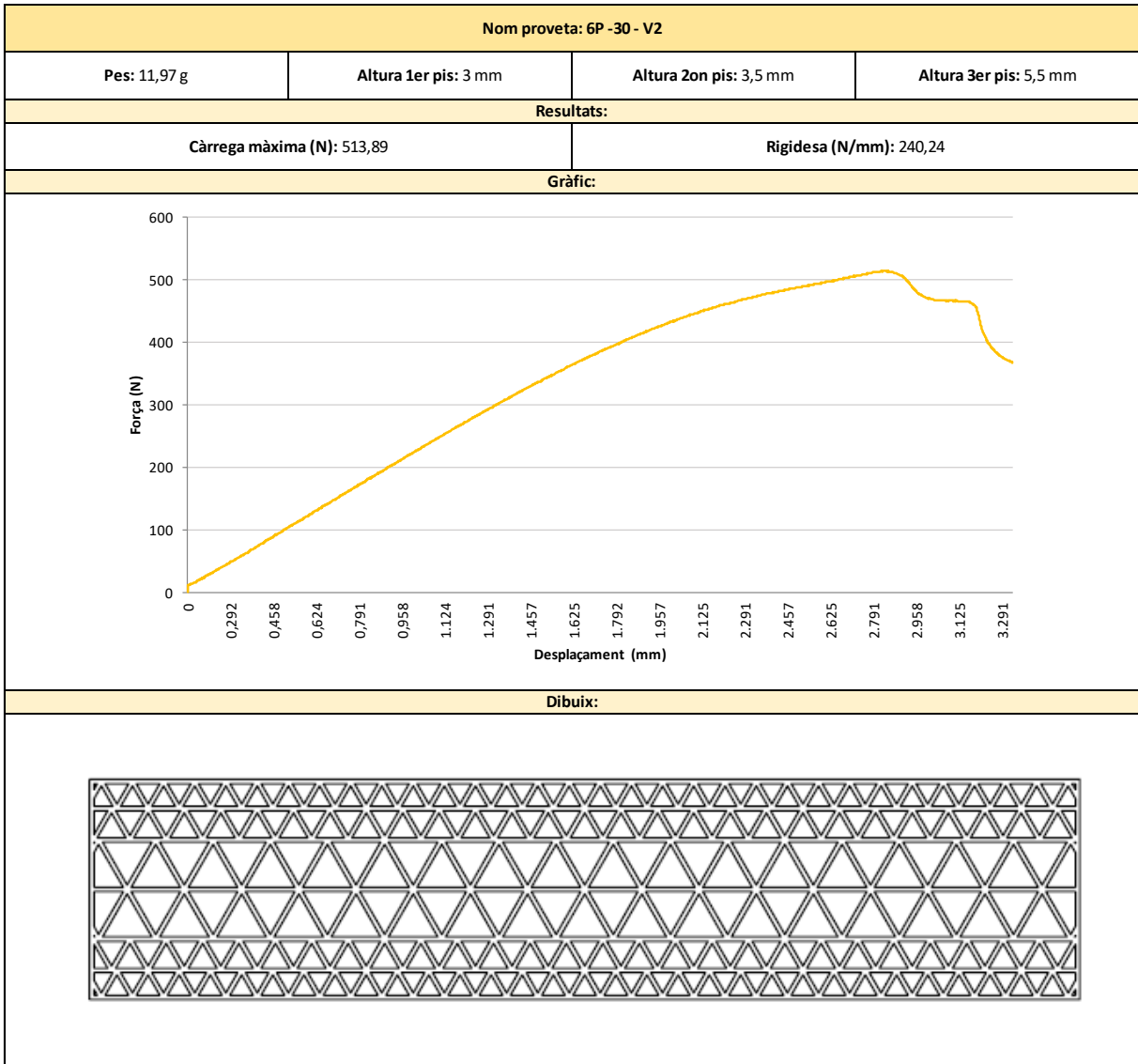
Nom proveta: 6P - 25 - V1																																											
Pes: 11,59 g	Altura 1er pis: 2,5 mm	Altura 2on pis: 3 mm	Altura 3er pis: 6,5 mm																																								
Resultats:																																											
Càrrega màxima (N): 438,55		Rigidesa (N/mm): 220,75																																									
Gràfic:																																											
<p>Força (N)</p> <p>Desplaçament (mm)</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,314</td><td>~40</td></tr> <tr><td>0,480</td><td>~60</td></tr> <tr><td>0,648</td><td>~80</td></tr> <tr><td>0,814</td><td>~100</td></tr> <tr><td>0,980</td><td>~120</td></tr> <tr><td>1,147</td><td>~140</td></tr> <tr><td>1,313</td><td>~160</td></tr> <tr><td>1,480</td><td>~180</td></tr> <tr><td>1,648</td><td>~200</td></tr> <tr><td>1,813</td><td>~220</td></tr> <tr><td>1,981</td><td>~240</td></tr> <tr><td>2,148</td><td>~260</td></tr> <tr><td>2,313</td><td>~280</td></tr> <tr><td>2,481</td><td>~300</td></tr> <tr><td>2,647</td><td>~320</td></tr> <tr><td>2,813</td><td>~340</td></tr> <tr><td>2,981</td><td>~360</td></tr> <tr><td>3,147</td><td>~380</td></tr> </tbody> </table>				Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,314	~40	0,480	~60	0,648	~80	0,814	~100	0,980	~120	1,147	~140	1,313	~160	1,480	~180	1,648	~200	1,813	~220	1,981	~240	2,148	~260	2,313	~280	2,481	~300	2,647	~320	2,813	~340	2,981	~360	3,147	~380
Desplaçament (mm)	Força (N)																																										
0	0																																										
0,314	~40																																										
0,480	~60																																										
0,648	~80																																										
0,814	~100																																										
0,980	~120																																										
1,147	~140																																										
1,313	~160																																										
1,480	~180																																										
1,648	~200																																										
1,813	~220																																										
1,981	~240																																										
2,148	~260																																										
2,313	~280																																										
2,481	~300																																										
2,647	~320																																										
2,813	~340																																										
2,981	~360																																										
3,147	~380																																										
Dibuix:																																											

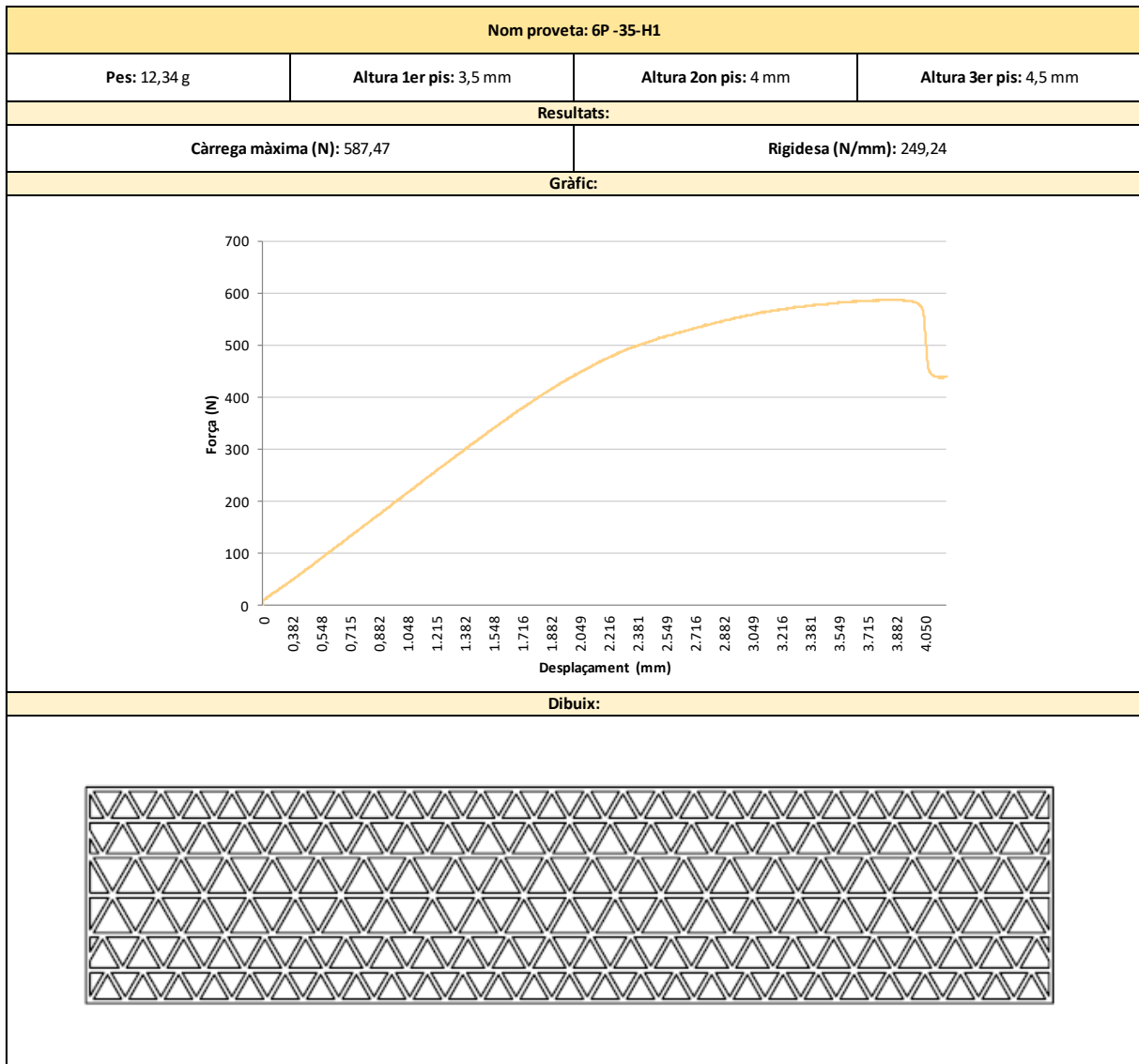
Nom proveta: 6P - 25 - V2																																					
Pes: 11,51 g	Altura 1er pis: 2,5 mm	Altura 2on pis: 3 mm	Altura 3er pis: 6,5 mm																																		
Resultats:																																					
Càrrega màxima (N): 445,47		Rigidesa (N/mm): 215,52																																			
Gràfic:																																					
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament. L'eix vertical representa la força en Newtons (N) i l'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm). La corba comença a l'origen i segueix una trajectòria que s'aproxima a una línia recta inicialment, però després es corba i arriba a un màxim de força de 445,47 N a un desplaçament de 2,438 mm. Després d'aquest punt, la força comença a disminuir lleugerament.</p> <table border="1"> <caption>Dades del gràfic de força vs desplaçament</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,272</td><td>~50</td></tr> <tr><td>0,439</td><td>~75</td></tr> <tr><td>0,604</td><td>~100</td></tr> <tr><td>0,771</td><td>~125</td></tr> <tr><td>0,939</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,104</td><td>~175</td></tr> <tr><td>1,272</td><td>~200</td></tr> <tr><td>1,438</td><td>~225</td></tr> <tr><td>1,605</td><td>~250</td></tr> <tr><td>1,772</td><td>~275</td></tr> <tr><td>1,938</td><td>~300</td></tr> <tr><td>2,105</td><td>~325</td></tr> <tr><td>2,272</td><td>~350</td></tr> <tr><td>2,438</td><td>445,47</td></tr> <tr><td>2,605</td><td>~430</td></tr> </tbody> </table>				Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,272	~50	0,439	~75	0,604	~100	0,771	~125	0,939	~150	1,104	~175	1,272	~200	1,438	~225	1,605	~250	1,772	~275	1,938	~300	2,105	~325	2,272	~350	2,438	445,47	2,605	~430
Desplaçament (mm)	Força (N)																																				
0	0																																				
0,272	~50																																				
0,439	~75																																				
0,604	~100																																				
0,771	~125																																				
0,939	~150																																				
1,104	~175																																				
1,272	~200																																				
1,438	~225																																				
1,605	~250																																				
1,772	~275																																				
1,938	~300																																				
2,105	~325																																				
2,272	~350																																				
2,438	445,47																																				
2,605	~430																																				
Dibuix:																																					
<p>El dibuix mostra la geometria de la proveta, que consisteix en un rectangle amb una estructura interna de truss formada per múltiples triangles interconnectats, creant una malla de triangles que donen rigidesa a l'element.</p>																																					

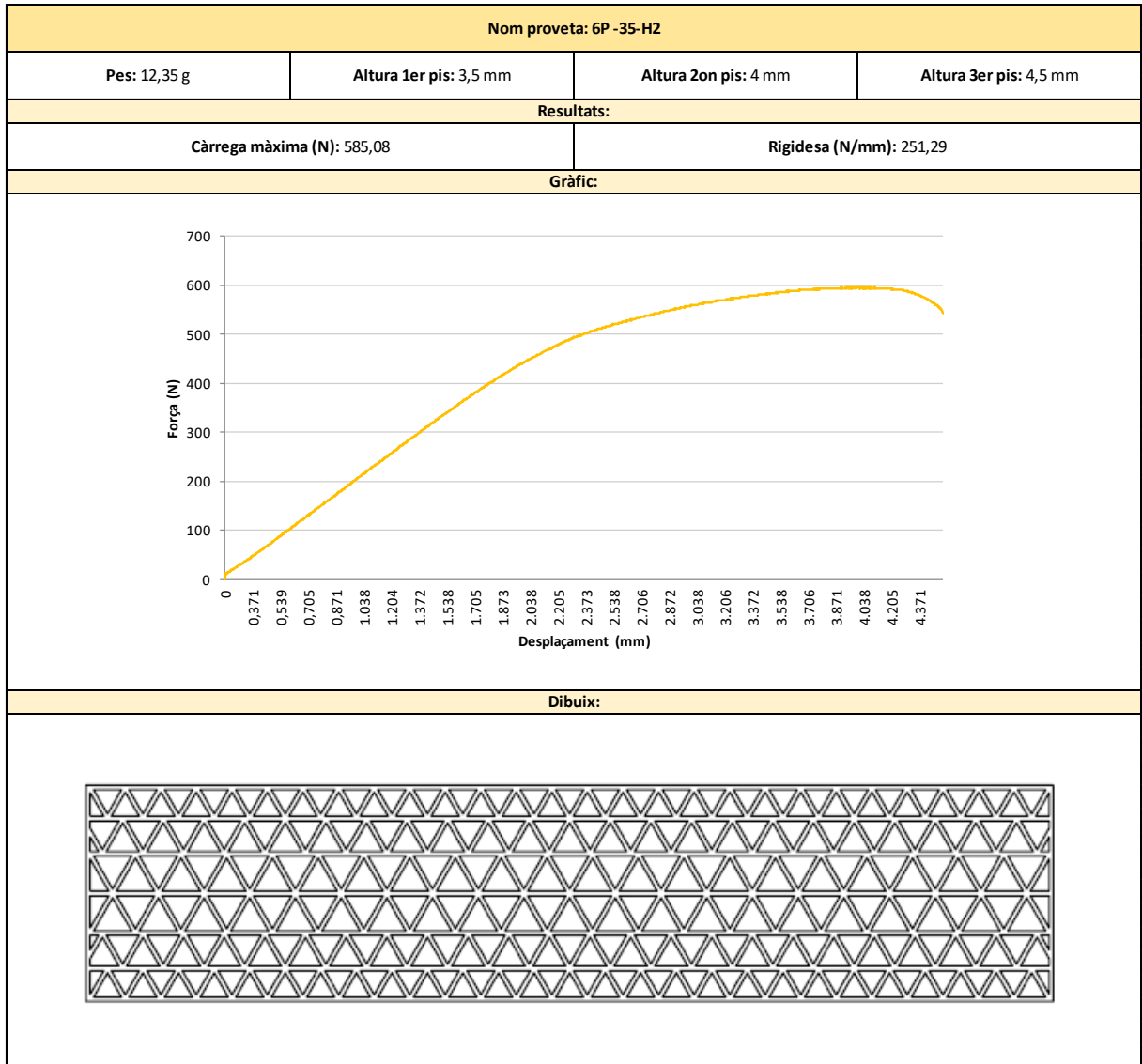


Nom proveta: 6P - 30 - H2																																																																					
Pes: 12,26 g	Altura 1er pis: 3 mm	Altura 2on pis: 3,5 mm	Altura 3er pis: 5,5 mm																																																																		
Resultats:																																																																					
Càrrega màxima (N): 651,17		Rigidesa (N/mm): 267,83																																																																			
Gràfic:																																																																					
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament de l'element. La força augmenta de manera no lineal amb el desplaçament, assolint un màxim de 651,17 N a un desplaçament de 5.093 mm. Després d'aquest punt, la força comença a disminuir lleugerament.</p> <table border="1"> <caption>Dades del gràfic de força vs desplaçament</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.260</td><td>~10</td></tr> <tr><td>0.426</td><td>~30</td></tr> <tr><td>0.592</td><td>~60</td></tr> <tr><td>0.760</td><td>~100</td></tr> <tr><td>0.926</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1.092</td><td>~200</td></tr> <tr><td>1.259</td><td>~260</td></tr> <tr><td>1.426</td><td>~320</td></tr> <tr><td>1.592</td><td>~380</td></tr> <tr><td>1.760</td><td>~440</td></tr> <tr><td>1.926</td><td>~500</td></tr> <tr><td>2.093</td><td>~550</td></tr> <tr><td>2.260</td><td>~590</td></tr> <tr><td>2.426</td><td>~620</td></tr> <tr><td>2.593</td><td>~640</td></tr> <tr><td>2.759</td><td>~650</td></tr> <tr><td>2.925</td><td>~655</td></tr> <tr><td>3.093</td><td>~658</td></tr> <tr><td>3.259</td><td>~660</td></tr> <tr><td>3.426</td><td>~662</td></tr> <tr><td>3.594</td><td>~664</td></tr> <tr><td>3.760</td><td>~665</td></tr> <tr><td>3.926</td><td>~666</td></tr> <tr><td>4.093</td><td>~667</td></tr> <tr><td>4.259</td><td>~668</td></tr> <tr><td>4.426</td><td>~669</td></tr> <tr><td>4.593</td><td>~670</td></tr> <tr><td>4.759</td><td>~670</td></tr> <tr><td>4.927</td><td>~670</td></tr> <tr><td>5.093</td><td>651,17</td></tr> <tr><td>5.260</td><td>~630</td></tr> </tbody> </table>				Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0.260	~10	0.426	~30	0.592	~60	0.760	~100	0.926	~150	1.092	~200	1.259	~260	1.426	~320	1.592	~380	1.760	~440	1.926	~500	2.093	~550	2.260	~590	2.426	~620	2.593	~640	2.759	~650	2.925	~655	3.093	~658	3.259	~660	3.426	~662	3.594	~664	3.760	~665	3.926	~666	4.093	~667	4.259	~668	4.426	~669	4.593	~670	4.759	~670	4.927	~670	5.093	651,17	5.260	~630
Desplaçament (mm)	Força (N)																																																																				
0	0																																																																				
0.260	~10																																																																				
0.426	~30																																																																				
0.592	~60																																																																				
0.760	~100																																																																				
0.926	~150																																																																				
1.092	~200																																																																				
1.259	~260																																																																				
1.426	~320																																																																				
1.592	~380																																																																				
1.760	~440																																																																				
1.926	~500																																																																				
2.093	~550																																																																				
2.260	~590																																																																				
2.426	~620																																																																				
2.593	~640																																																																				
2.759	~650																																																																				
2.925	~655																																																																				
3.093	~658																																																																				
3.259	~660																																																																				
3.426	~662																																																																				
3.594	~664																																																																				
3.760	~665																																																																				
3.926	~666																																																																				
4.093	~667																																																																				
4.259	~668																																																																				
4.426	~669																																																																				
4.593	~670																																																																				
4.759	~670																																																																				
4.927	~670																																																																				
5.093	651,17																																																																				
5.260	~630																																																																				
Dibuix:																																																																					
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla de triangles que representa la seva rigidesa gradual. La malla està formada per una sèrie de triangles que es connecten entre si, creant una estructura rígida i estable.</p>																																																																					



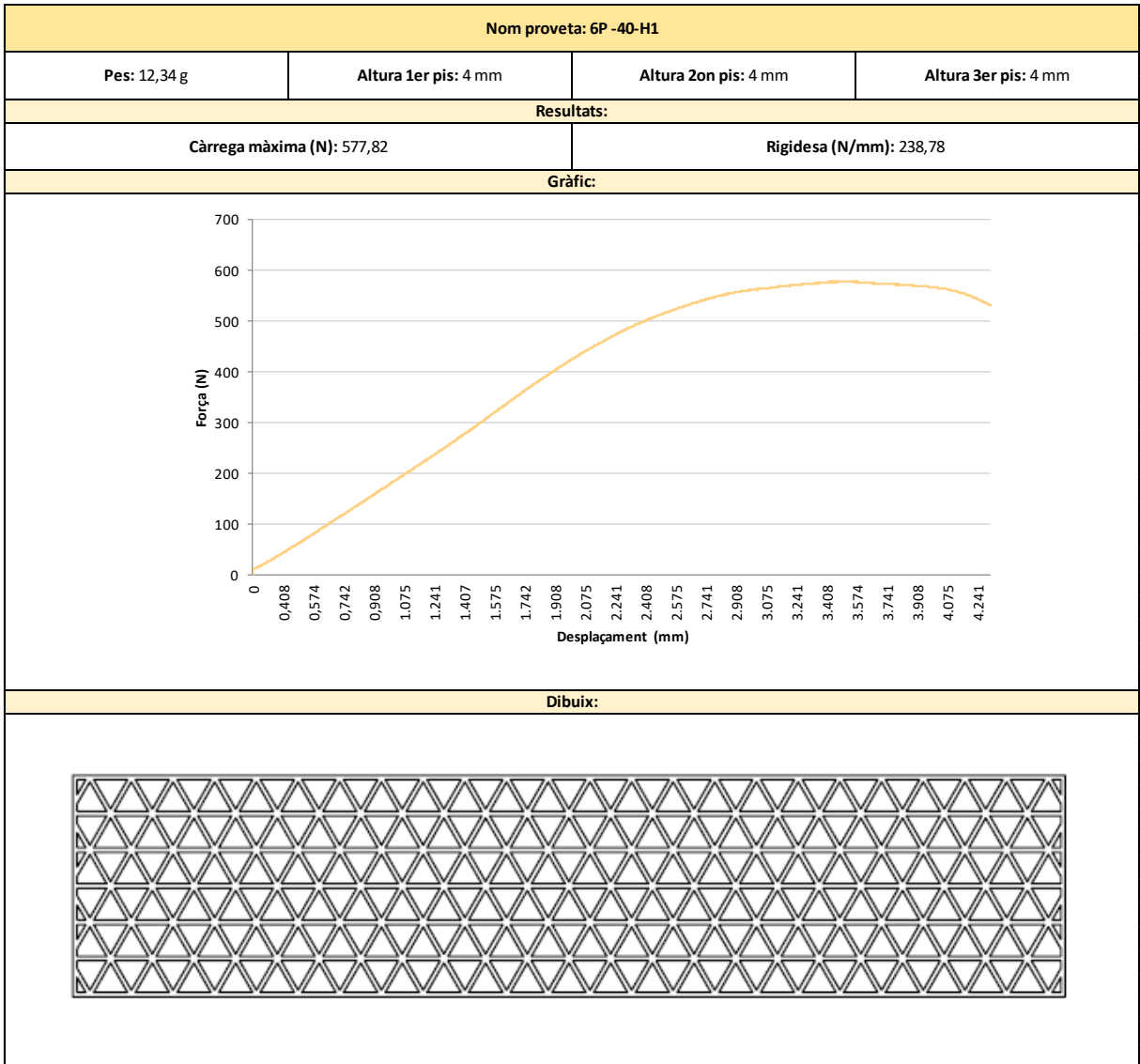


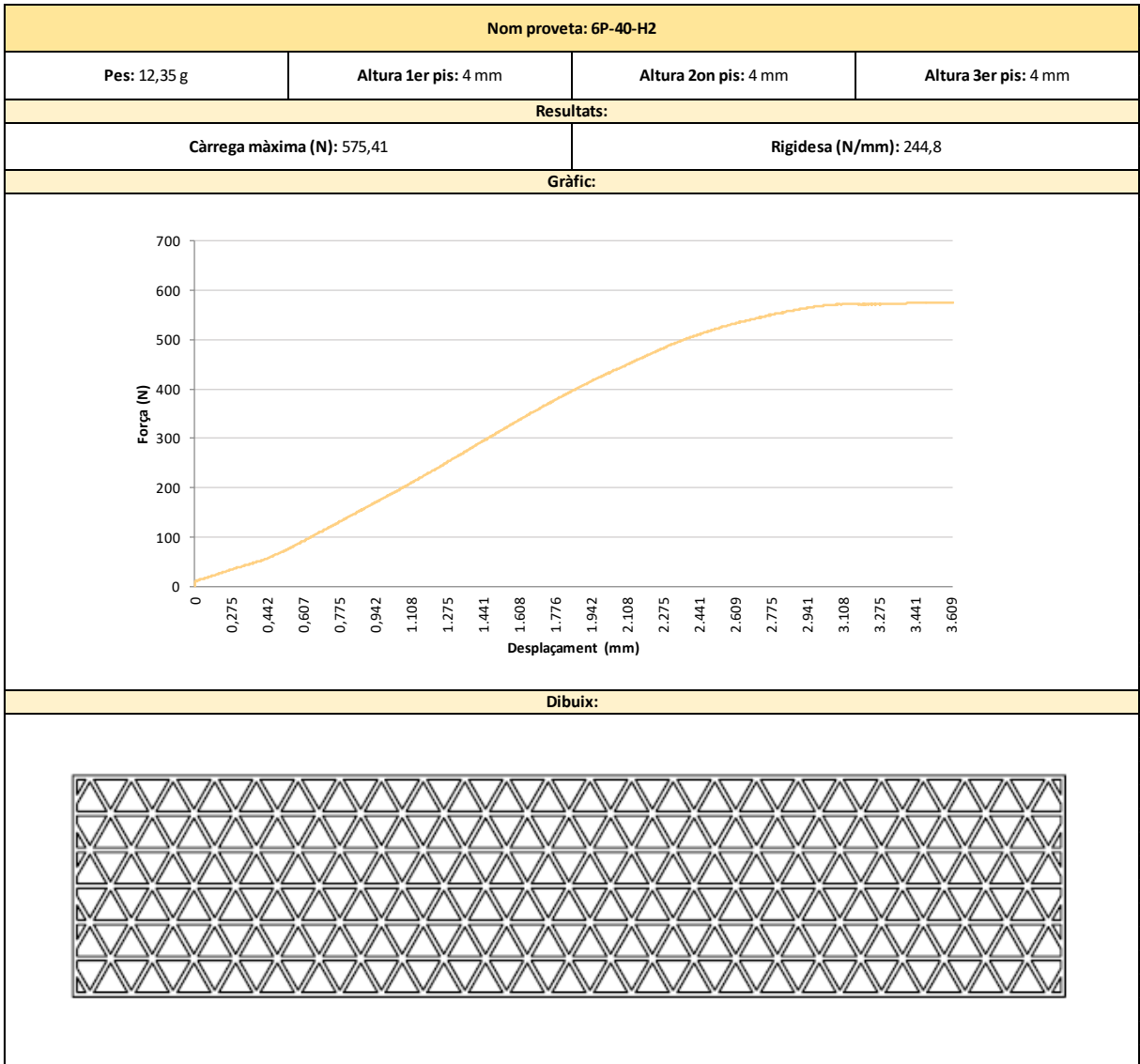


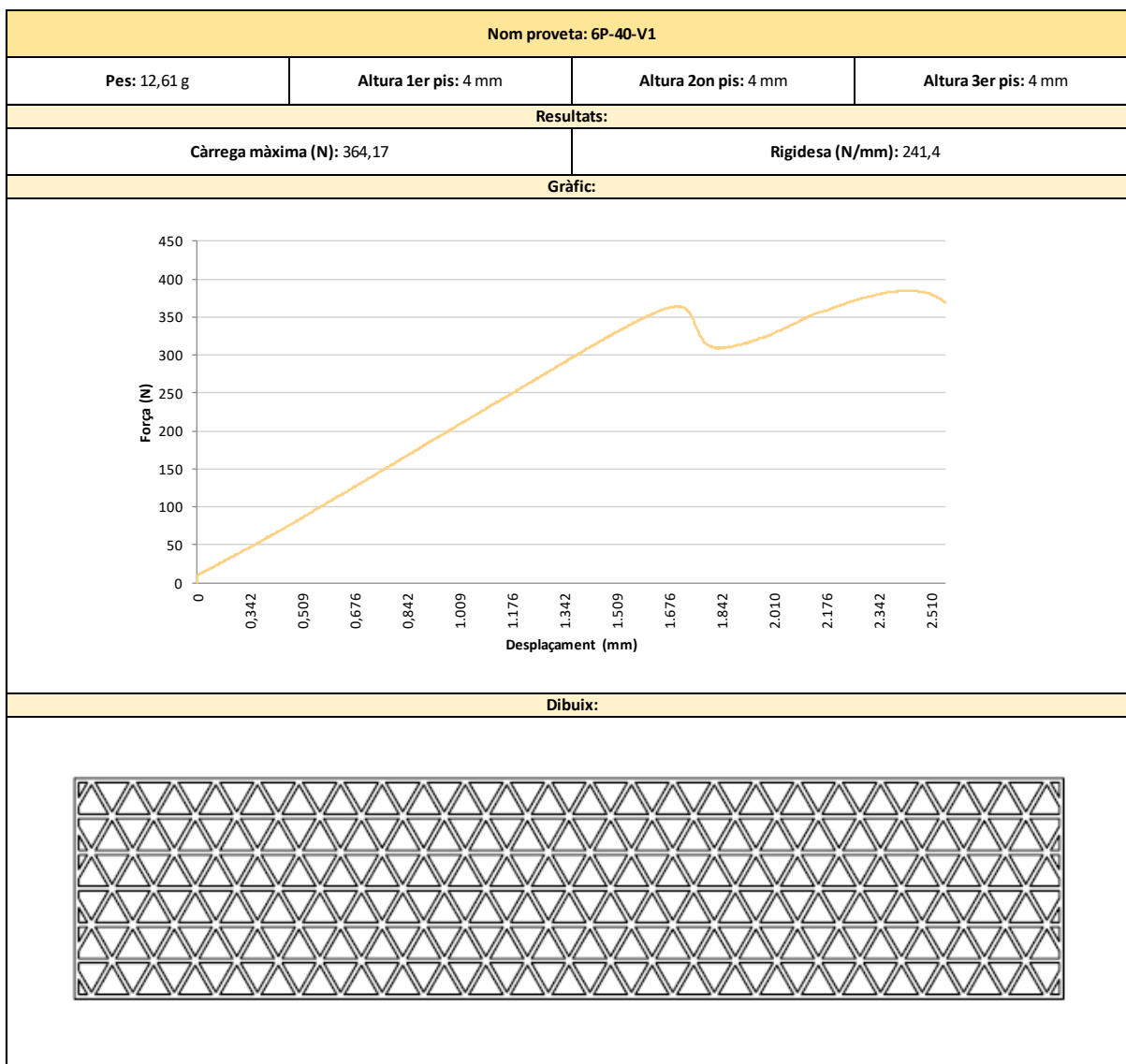


Nom proveta: 6P -35-V1																																													
Pes: 11,73 g	Altura 1er pis: 3,5 mm	Altura 2on pis: 4 mm	Altura 3er pis: 4,5 mm																																										
Resultats:																																													
Càrrega màxima (N): 482,07		Rigidesa (N/mm): 200																																											
Gràfic:																																													
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada (Força (N)) i el desplaçament (Desplaçament (mm)). La força augmenta de manera no lineal fins a arribar a un màxim de 482,07 N a un desplaçament de 3,153 mm, després comença a disminuir.</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,319</td><td>~30</td></tr> <tr><td>0,486</td><td>~60</td></tr> <tr><td>0,651</td><td>~90</td></tr> <tr><td>0,819</td><td>~120</td></tr> <tr><td>0,985</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,152</td><td>~180</td></tr> <tr><td>1,319</td><td>~210</td></tr> <tr><td>1,485</td><td>~240</td></tr> <tr><td>1,652</td><td>~270</td></tr> <tr><td>1,820</td><td>~300</td></tr> <tr><td>1,985</td><td>~330</td></tr> <tr><td>2,152</td><td>~360</td></tr> <tr><td>2,319</td><td>~390</td></tr> <tr><td>2,485</td><td>~420</td></tr> <tr><td>2,652</td><td>~450</td></tr> <tr><td>2,819</td><td>~470</td></tr> <tr><td>2,985</td><td>~480</td></tr> <tr><td>3,153</td><td>482,07</td></tr> <tr><td>3,319</td><td>~450</td></tr> </tbody> </table>				Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,319	~30	0,486	~60	0,651	~90	0,819	~120	0,985	~150	1,152	~180	1,319	~210	1,485	~240	1,652	~270	1,820	~300	1,985	~330	2,152	~360	2,319	~390	2,485	~420	2,652	~450	2,819	~470	2,985	~480	3,153	482,07	3,319	~450
Desplaçament (mm)	Força (N)																																												
0	0																																												
0,319	~30																																												
0,486	~60																																												
0,651	~90																																												
0,819	~120																																												
0,985	~150																																												
1,152	~180																																												
1,319	~210																																												
1,485	~240																																												
1,652	~270																																												
1,820	~300																																												
1,985	~330																																												
2,152	~360																																												
2,319	~390																																												
2,485	~420																																												
2,652	~450																																												
2,819	~470																																												
2,985	~480																																												
3,153	482,07																																												
3,319	~450																																												
Dibuix:																																													
<p>El dibuix mostra la geometria de la proveta, caracteritzada per una malla regular de triangles que formen una estructura de truss.</p>																																													

Nom proveta: 6P -35-V2																																							
Pes: 11,65 g	Altura 1er pis: 3,5 mm	Altura 2on pis: 4 mm	Altura 3er pis: 4,5 mm																																				
Resultats:																																							
Càrrega màxima (N): 452,95		Rigidesa (N/mm): 212,29																																					
Gràfic:																																							
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament de la proveta. L'eix vertical representa la força en Newtons (N) i l'eix horitzontal representa el desplaçament en mil·límetres (mm). La corba comença a l'origen (0,0) i segueix una trajectòria que s'aproxima a una línia recta inicialment, però després es corba cap a baix, indicant un comportament no lineal i el desenvolupament d'una zona de plastificació. El punt de màxima força es troba a un desplaçament de 2,428 mm i una força de 238 N.</p> <table border="1"> <caption>Dades del gràfic de força vs desplaçament</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,261</td><td>~30</td></tr> <tr><td>0,427</td><td>~50</td></tr> <tr><td>0,594</td><td>~70</td></tr> <tr><td>0,760</td><td>~90</td></tr> <tr><td>0,926</td><td>~110</td></tr> <tr><td>1,094</td><td>~130</td></tr> <tr><td>1,260</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,426</td><td>~170</td></tr> <tr><td>1,594</td><td>~190</td></tr> <tr><td>1,760</td><td>~210</td></tr> <tr><td>1,927</td><td>~220</td></tr> <tr><td>2,094</td><td>~230</td></tr> <tr><td>2,260</td><td>~235</td></tr> <tr><td>2,428</td><td>~238</td></tr> <tr><td>2,594</td><td>~210</td></tr> <tr><td>2,760</td><td>~190</td></tr> </tbody> </table>				Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,261	~30	0,427	~50	0,594	~70	0,760	~90	0,926	~110	1,094	~130	1,260	~150	1,426	~170	1,594	~190	1,760	~210	1,927	~220	2,094	~230	2,260	~235	2,428	~238	2,594	~210	2,760	~190
Desplaçament (mm)	Força (N)																																						
0	0																																						
0,261	~30																																						
0,427	~50																																						
0,594	~70																																						
0,760	~90																																						
0,926	~110																																						
1,094	~130																																						
1,260	~150																																						
1,426	~170																																						
1,594	~190																																						
1,760	~210																																						
1,927	~220																																						
2,094	~230																																						
2,260	~235																																						
2,428	~238																																						
2,594	~210																																						
2,760	~190																																						
Dibuix:																																							
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla de triangles que representa la seva geometria i disposició dels pisos. La malla està formada per una sèrie de triangles que es connecten entre si, creant una estructura rígida i estable.</p>																																							







Nom proveta: 6P-40-V2																																			
Pes: 12,50 g	Altura 1er pis: 4 mm	Altura 2on pis: 4 mm	Altura 3er pis: 4 mm																																
Resultats:																																			
Càrrega màxima (N): 366,46		Rigidesa (N/mm): 238,35																																	
Gràfic:																																			
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada i el desplaçament de la proveta. La força augmenta de manera aproximadament lineal fins a arribar a un màxim de 366,46 N a un desplaçament de 2,466 mm. Després d'aquest punt, la força comença a disminuir, indicant un comportament post-elàstic.</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,300</td><td>~30</td></tr> <tr><td>0,467</td><td>~45</td></tr> <tr><td>0,633</td><td>~60</td></tr> <tr><td>0,800</td><td>~75</td></tr> <tr><td>0,967</td><td>~90</td></tr> <tr><td>1,132</td><td>~105</td></tr> <tr><td>1,300</td><td>~120</td></tr> <tr><td>1,467</td><td>~135</td></tr> <tr><td>1,633</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,800</td><td>~165</td></tr> <tr><td>1,967</td><td>~180</td></tr> <tr><td>2,133</td><td>~195</td></tr> <tr><td>2,301</td><td>~210</td></tr> <tr><td>2,466</td><td>~225</td></tr> </tbody> </table>				Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,300	~30	0,467	~45	0,633	~60	0,800	~75	0,967	~90	1,132	~105	1,300	~120	1,467	~135	1,633	~150	1,800	~165	1,967	~180	2,133	~195	2,301	~210	2,466	~225
Desplaçament (mm)	Força (N)																																		
0	0																																		
0,300	~30																																		
0,467	~45																																		
0,633	~60																																		
0,800	~75																																		
0,967	~90																																		
1,132	~105																																		
1,300	~120																																		
1,467	~135																																		
1,633	~150																																		
1,800	~165																																		
1,967	~180																																		
2,133	~195																																		
2,301	~210																																		
2,466	~225																																		
Dibuix:																																			
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla de triangles que representa la seva rigidesa gradual.</p>																																			

Nom proveta: 8P-30-H1																																																											
Pes: 15,76 g	Altura pisos: 3 mm																																																										
Resultats:																																																											
Càrrega màxima (N): 733,46	Rigidesa (N/mm): 345,61																																																										
Gràfic:																																																											
<p>El gràfic mostra la relació entre la força aplicada (Força (N)) i el desplaçament (Desplaçament (mm)). La força augmenta de manera no lineal fins a arribar a un màxim de 733,46 N a un desplaçament de 3,015 mm. Després d'aquest punt, la força comença a disminuir lleugerament, indicant un comportament post-elàstic.</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,348</td><td>~10</td></tr> <tr><td>0,514</td><td>~30</td></tr> <tr><td>0,681</td><td>~60</td></tr> <tr><td>0,848</td><td>~100</td></tr> <tr><td>1,014</td><td>~150</td></tr> <tr><td>1,181</td><td>~210</td></tr> <tr><td>1,348</td><td>~280</td></tr> <tr><td>1,514</td><td>~360</td></tr> <tr><td>1,682</td><td>~450</td></tr> <tr><td>1,847</td><td>~550</td></tr> <tr><td>2,014</td><td>~650</td></tr> <tr><td>2,181</td><td>~700</td></tr> <tr><td>2,347</td><td>~730</td></tr> <tr><td>2,515</td><td>~750</td></tr> <tr><td>2,682</td><td>~760</td></tr> <tr><td>2,847</td><td>~765</td></tr> <tr><td>3,015</td><td>733,46</td></tr> <tr><td>3,182</td><td>~730</td></tr> <tr><td>3,349</td><td>~725</td></tr> <tr><td>3,516</td><td>~720</td></tr> <tr><td>3,681</td><td>~715</td></tr> <tr><td>3,849</td><td>~710</td></tr> <tr><td>4,016</td><td>~705</td></tr> <tr><td>4,181</td><td>~700</td></tr> <tr><td>4,349</td><td>~695</td></tr> <tr><td>4,515</td><td>~690</td></tr> <tr><td>4,681</td><td>~685</td></tr> </tbody> </table>		Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,348	~10	0,514	~30	0,681	~60	0,848	~100	1,014	~150	1,181	~210	1,348	~280	1,514	~360	1,682	~450	1,847	~550	2,014	~650	2,181	~700	2,347	~730	2,515	~750	2,682	~760	2,847	~765	3,015	733,46	3,182	~730	3,349	~725	3,516	~720	3,681	~715	3,849	~710	4,016	~705	4,181	~700	4,349	~695	4,515	~690	4,681	~685
Desplaçament (mm)	Força (N)																																																										
0	0																																																										
0,348	~10																																																										
0,514	~30																																																										
0,681	~60																																																										
0,848	~100																																																										
1,014	~150																																																										
1,181	~210																																																										
1,348	~280																																																										
1,514	~360																																																										
1,682	~450																																																										
1,847	~550																																																										
2,014	~650																																																										
2,181	~700																																																										
2,347	~730																																																										
2,515	~750																																																										
2,682	~760																																																										
2,847	~765																																																										
3,015	733,46																																																										
3,182	~730																																																										
3,349	~725																																																										
3,516	~720																																																										
3,681	~715																																																										
3,849	~710																																																										
4,016	~705																																																										
4,181	~700																																																										
4,349	~695																																																										
4,515	~690																																																										
4,681	~685																																																										
Dibuix:																																																											
<p>El dibuix mostra un element estructural rectangular amb una malla de triangles que representa la seva geometria i disposició dels pisos. Els pisos són disposats en una malla regular, i els triangles indiquen la direcció de la força aplicada i la resposta estructural.</p>																																																											

Nom proveta: 8P-30-H2																																																																	
Pes: 15,75 g	Altura pisos: 3 mm																																																																
Resultats:																																																																	
Càrrega màxima (N): 775,43	Rigidesa (N/mm): 346,1																																																																
Gràfic:																																																																	
<p>Força (N)</p> <p>Desplaçament (mm)</p> <table border="1"> <caption>Dades del Gràfic</caption> <thead> <tr> <th>Desplaçament (mm)</th> <th>Força (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,259</td><td>~50</td></tr> <tr><td>0,426</td><td>~100</td></tr> <tr><td>0,592</td><td>~150</td></tr> <tr><td>0,760</td><td>~200</td></tr> <tr><td>0,926</td><td>~250</td></tr> <tr><td>1,092</td><td>~300</td></tr> <tr><td>1,259</td><td>~350</td></tr> <tr><td>1,426</td><td>~400</td></tr> <tr><td>1,592</td><td>~450</td></tr> <tr><td>1,760</td><td>~500</td></tr> <tr><td>1,926</td><td>~550</td></tr> <tr><td>2,092</td><td>~600</td></tr> <tr><td>2,260</td><td>~650</td></tr> <tr><td>2,425</td><td>~680</td></tr> <tr><td>2,593</td><td>~700</td></tr> <tr><td>2,759</td><td>~720</td></tr> <tr><td>2,925</td><td>~740</td></tr> <tr><td>3,093</td><td>~750</td></tr> <tr><td>3,260</td><td>~760</td></tr> <tr><td>3,426</td><td>~770</td></tr> <tr><td>3,594</td><td>775,43</td></tr> <tr><td>3,759</td><td>~760</td></tr> <tr><td>3,925</td><td>~750</td></tr> <tr><td>4,093</td><td>~740</td></tr> <tr><td>4,259</td><td>~730</td></tr> <tr><td>4,426</td><td>~720</td></tr> <tr><td>4,593</td><td>~710</td></tr> <tr><td>4,759</td><td>~700</td></tr> <tr><td>4,927</td><td>~690</td></tr> <tr><td>5,093</td><td>~680</td></tr> </tbody> </table>		Desplaçament (mm)	Força (N)	0	0	0,259	~50	0,426	~100	0,592	~150	0,760	~200	0,926	~250	1,092	~300	1,259	~350	1,426	~400	1,592	~450	1,760	~500	1,926	~550	2,092	~600	2,260	~650	2,425	~680	2,593	~700	2,759	~720	2,925	~740	3,093	~750	3,260	~760	3,426	~770	3,594	775,43	3,759	~760	3,925	~750	4,093	~740	4,259	~730	4,426	~720	4,593	~710	4,759	~700	4,927	~690	5,093	~680
Desplaçament (mm)	Força (N)																																																																
0	0																																																																
0,259	~50																																																																
0,426	~100																																																																
0,592	~150																																																																
0,760	~200																																																																
0,926	~250																																																																
1,092	~300																																																																
1,259	~350																																																																
1,426	~400																																																																
1,592	~450																																																																
1,760	~500																																																																
1,926	~550																																																																
2,092	~600																																																																
2,260	~650																																																																
2,425	~680																																																																
2,593	~700																																																																
2,759	~720																																																																
2,925	~740																																																																
3,093	~750																																																																
3,260	~760																																																																
3,426	~770																																																																
3,594	775,43																																																																
3,759	~760																																																																
3,925	~750																																																																
4,093	~740																																																																
4,259	~730																																																																
4,426	~720																																																																
4,593	~710																																																																
4,759	~700																																																																
4,927	~690																																																																
5,093	~680																																																																
Dibuix:																																																																	

