

Titulació:

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Alumne (*nom i cognoms*):

Maria Vives Bauzà

Títol TFG:

Projecte de construcció d'una estructura 3D modular per concursar en iniciativa docent del departament de resistència de materials.

Director/a del TFG:

Montserrat Sánchez Romero

Codirector/a del TFG:

Rafael Weyler

Convocatòria de lliurament del TFG:

10/06/2019

Contingut d'aquest volum:

DOCUMENT 1 - MEMÒRIA

ESEIAAT
Treball de Final de Grau

PROJECTE DE CONSTRUCCIÓ
D'UNA ESTRUCTURA 3D
MODULAR PER CONCURSAR EN
INICIATIVA DOCENT DEL
DEPARTAMENT DE RESISTÈNCIA
DE MATERIALS

Memòria

Estudis: Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Data d'entrega: 10 de juny de 2019

Estudiant: Maria Vives Bauzà

Directora: Montserrat Sánchez Romero

Codirector: Rafael Weyler

A la meva família i amics que, des de la distància, han respectat els meus temps i espais d'absència amb paraules d'ànim i suport.

A la meva tutora, Montserrat Sánchez, per tots els consells al llarg d'aquest projecte.

A sa "chavalada" per els moments viscuts durant aquests anys.

A na Roser per ser com una germana gran.

A nen Dani, i sobretot als meus pares i germà, pel suport incondicional.

Gràcies.



RESUM

La idea d'aquest projecte sorgeix per la necessitat d'ensenyar a l'alumne/a com s'apliquen els conceptes teòrics a la realitat. Avui en dia, el disseny modular s'està popularitzant en l'àmbit de la construcció, per aquest motiu ha estat interessant centrar el projecte amb la construcció d'una estructura d'aquest tipus.

Durant aquest projecte es pretén realitzar una guia per orientar la construcció d'aquesta estructura mitjançant la qual es podrà visualitzar tot tipus de comportament enfront una càrrega.

Per tal de comprovar la utilitat del projecte s'ha decidit realitzar una prova pilot pas a pas, on s'elaboren diferents casos d'aplicacions de forces a una mateixa estructura mitjançant tres tipus d'anàlisi per verificar el resultat de cada assaig.

ABSTRACT

The idea of this project arises from the need to teach the student how to apply the theoretical concepts to reality. Nowadays, the modular design is becoming popular in the field of construction which is why it has been interesting to focus the project with the construction of a modular structure.

During this project, a guide is planned to guide the construction of a modular structure through which all types of the structure behaviour can be visualized against a load.

In order to verify the utility of the project, it has been decided to carry out a step-by-step pilot test where different cases of force applications are prepared in the same structure through three types of analysis to verify the result of each trial.



Índex

RESUM	6
ABSTRACT	6
Índex Taules	8
Índex Figures	9
1. Introducció.....	12
1.1 Objectiu.....	12
1.2 Abast.....	12
1.3 Requeriments	12
2. Estat de l'art	13
2.1 Disseny modular en construcció	13
2.1.1 Exemples d'estructures modulares.....	15
2.2 Disseny modular en programació	17
2.3 Disseny modular en automoció	17
3. Guia del projecte pràctic.....	18
3.1 Possibles materials	18
3.1.1 Formigó	18
3.1.2 Acer	20
3.1.3 PLA per impressió 3D	22
3.2 Selecció del mòdul	24
3.3 Disseny i selecció de l'estructura modular.....	26
3.4 Conceptes a analitzar	27
3.5 Tipus d'anàlisi	29
3.6 Anàlisi de resultats.....	29
3.7 Cost del projecte	30
3.8 Incidències que s'han tingut	30
3.9 Biblioteca de treballs	30
4. Prova pilot	31
4.1 Selecció del material	31
4.2 Selecció del mòdul	31
4.3 Disseny i selecció de l'estructura modular.....	32
4.4 Conceptes a analitzar	37
4.5 Tipus d'anàlisi i anàlisi dels diferents casos	38



Anàlisi analític	38
Anàlisi numèric. Simulació SolidWorks	51
Anàlisi experimental	56
4.6 Cost del projecte pràctic.....	59
4.7 Incidències que s'han tingut	59
5. Normativa i seguretat	60
5.1 NSH 001 – Normes generals de seguretat i higiene en laboratoris.....	60
Hàbits de treball i higiene personal.....	60
Senyalització de seguretat.....	60
Equips de protecció individual (EPI)	61
Equips de treball.....	61
5.2 NSH 002 – Senyalització de seguretat	61
Senyals d'avertència.....	61
Senyals d'obligació	62
Senyals de prohibició.....	62
Senyals de risc radiològic.....	62
5.3 NSH 003 – Ordre, neteja i manteniment	63
6. Resum del pressupost.....	64
7. Conclusions i línies futures.....	64
8. Bibliografia	66

Índex Taules

Taula 1. Tipus de mòduls. Font pròpia.	24
Taula 2. Classificació de recolzaments. Font pròpia.....	27
Taula 3. Tipus d'esforç. Font pròpia.	28
Taula 4. Exemple de cost de projecte. Font pròpia.....	30
Taula 5. Subjeccions. Font pròpia.	52
Taula 6. Càrrega. Font pròpia.....	53
Taula 7. Forces resultants. Font pròpia.	53
Taula 8. Cost del projecte pràctic. Font pròpia.....	59
Taula 9. Pressupost del projecte. Font pròpia.....	64



Índex Figures

Figura 1. Un dels mòduls de Cove Park. (2)	16
Figura 2. Interior d'un mòdul de Cove Park. (2)	16
Figura 3. Habitat 67. (3)	17
Figura 4. Secció L. (12)	24
Figura 5. Secció T. (13)	24
Figura 6. Secció doble T. (14)	24
Figura 7. Secció U. (15)	25
Figura 8. Secció circular. (16)	25
Figura 9. Secció quadrada. (17)	25
Figura 10. Deformació per tracció. (20)	28
Figura 11. Deformació per compressió. (20)	28
Figura 12. Deformació per flexió. (20)	28
Figura 13. Deformació per torsió. (20)	28
Figura 14. Deformació per tallant. (20)	28
Figura 15. Mòdul seleccionat. Barra de secció rectangular. Font pròpia.	32
Figura 16. Esbós estructura modular. Font pròpia.	33
Figura 17. Càrregues puntuals en els nodes. Font pròpia.	34
Figura 18. Càrrega puntual en el node central. Font pròpia.	34
Figura 19. Dues càrregues descentrades. Font pròpia.	35
Figura 20. Una càrrega repartida. Font pròpia.	36
Figura 21. Dues càrregues repartides. Font pròpia.	36
Figura 22. Càrrega repartida en -k. Font pròpia.	37



Figura 23. Esbós del primer cas. Font pròpia.....	38
Figura 24. Diagrama de forces del node A. Font pròpia.	39
Figura 25. Diagrama de forces del node C. Font pròpia.	40
Figura 26. Diagrama de forces del node D. Font pròpia.	40
Figura 27. Diagrama de forces del node E. Font pròpia.	41
Figura 28. Diagrama de forces del node F. Font pròpia.	41
Figura 29. Diagrama de forces del node G. Font pròpia.....	42
Figura 30. Diagrama de forces del node H. Font pròpia.	42
Figura 31. Diagrama de forces del node I. Font pròpia.	43
Figura 32. Diagrama de forces del node B. Font pròpia.	43
Figura 33. Diagrama d'esforços a axial. Cas a). Font pròpia.....	44
Figura 34. Esbós del segon cas. Font pròpia.	45
Figura 35. Diagrama de forces del node A. Font pròpia.	46
Figura 36. Diagrama de forces del node C. Font pròpia.	46
Figura 37. Diagrama de forces del node D. Font pròpia.	47
Figura 38. Diagrama de forces del node E. Font pròpia.	47
Figura 39. Diagrama de forces del node F. Font pròpia.	48
Figura 40. Diagrama de forces del node G. Font pròpia.....	49
Figura 41. Diagrama de forces del node H. Font pròpia.	49
Figura 42. Diagrama de forces del node I. Font pròpia.	50
Figura 43. Diagrama de forces del node B. Font pròpia.	50
Figura 44. Diagrama d'esforços a axial. Cas b). Font pròpia.....	51
Figura 45. Encavallada mitjançant SolidWorks. Font pròpia.	52
Figura 46. Per on es subjecta l'estructura. Font pròpia.	52
Figura 47. Càrrega repartida per la cara. Font pròpia.....	53



Figura 48. Diagrama de tensions degudes a la càrrega. Font pròpia.	54
Figura 49. Diagrama de desplaçaments degut a la càrrega. Font pròpia.	55
Figura 50. Diagrama de deformacions degudes a la càrrega. Font pròpia.	56
Figura 51. Inici de l'assaig. Font pròpia.	57
Figura 52. Col·locació de la càrrega. Font pròpia.	57
Figura 53. Deformació degut a l'augment de càrrega. Font pròpia.	57
Figura 54. Resultat final. Font pròpia.	58
Figura 55. Senyals de seguretat. (24)	60
Figura 56. Senyal de perill en general. (25)	61
Figura 57. Senyal d'obligació.(25)	62
Figura 58. Senyal de prohibició. (25)	62
Figura 59. Zona vigilada. (25)	62
Figura 60. Zona controlada. (25)	63



1. Introducció

1.1 Objectiu

L'objectiu principal d'aquest projecte és realitzar un projecte pràctic, mitjançant una guia, per l'alumne/a amb el qual serà capaç d'observar la relació entre la predicció numèrica i l'assaig. A més, es realitzarà una prova pilot on es dissenyarà una estructura modular que es construirà mitjançant una impressora 3D amb el fi de visualitzar els diferents comportaments de l'estructura quan és sotmesa a esforços.

1.2 Abast

L'abast és l'apartat on es reflecteixen tots els punts en els que es centrarà el projecte. Tenint en compte l'objectiu principal es desenvoluparan els següents punts:

- Guia del projecte pràctic.
 - Selecció del material.
 - Selecció del mòdul.
 - Disseny i selecció de l'estructura modular.
 - Conceptes a analitzar.
 - Cost del projecte pràctic.
 - Incidències que s'han tingut.
 - Biblioteca de treballs.

- Prova pilot. Es realitzaran tots els punts corresponents a la guia.
- Normativa.
- Resum de Pressupost.

1.3 Requeriments

- Cal seguir la normativa europea corresponent per estructures dependent del material seleccionat.
- L'estructura ha de resistir als esforços tallants, axials i flectors que es generen un cop sigui construïda. Així es podran observar tots els càlculs numèrics durant l'assaig.



- L'alumne/a ha de ser capaç de realitzar la pràctica amb els coneixements assolits a l'assignatura de resistència de materials.
- Des de el punt de vista econòmic és important que no tingui un preu molt elevat, ja que és un projecte per concursar en la iniciativa docent del departament de resistència de materials.

2. Estat de l'art

El disseny modular és un enfocament on es subdivideix un sistema en parts més petites, anomenades mòduls, que es poden crear independentment i després ser utilitzades en diferents sistemes. Aquest tipus de disseny es pot aplicar a la majoria de branques del disseny, especialment en l'arquitectura i al disseny industrial.

2.1 Disseny modular en construcció

Estructuralment parlant, els edificis modulars són generalment més resistents que les construccions tradicionals. Cada mòdul està creat independentment per suportar les càrregues de transport i construcció. Edificar mitjançant mòduls assegura un millor control de la qualitat de la construcció. Els materials amb els que es fabriquen els mòduls són emmagatzemats de manera segura en el magatzem del fabricant per prevenir defectes, deteriorament per la humitat i altres factors. Les plantes de construcció consten d'estrictes programes de qualitat i seguretat amb proves independents i protocols d'inspecció que fomenten una qualitat superior.

Per altre banda, la construcció modular té molts de beneficis. Principalment, es redueix un 80% l'activitat de construcció en el lloc de l'obra, per tant, redueix de manera significativa les diferents molèsties que suposa una obra, el tràfic dels camions que transporten material, i el temps de finalització de l'obra és més breu. D'aquesta manera, per la construcció d'hospitals, escoles, centres esportius, i altres és una gran avantatge reduir l'activitat *in situ* i eliminar una part de riscos que suposa una obra.

Un altre benefici que aporta aquest tipus de construcció és la sostenibilitat. Cada vegada més, s'aposta per dissenys sostenibles, és a dir, per la reducció de l'impacte mediambiental; la construcció modular és per definició ideal en aquest aspecte.



Construir a un lloc controlat redueix la quantitat de residus que es generen, juntament amb la millora de qualitat a través del procés de construcció i la reducció de l'activitat *in situ*.

És a dir, podem dir que és més ecològica, més ràpida, i més intel·ligent.

1. Ecològica.

Tenir un procés de producció controlat genera menys residus, menys rebombori en el lloc de l'obra i permet una construcció més ajustada. Els edificis modulars és poden desmuntar, recol·locar i/o renovar els mòduls per un nou ús, és a dir es poden reciclar. D'aquesta manera, es redueix la demanda de matèria prima i es minimitza la quantitat d'energia que es necessita per la creació d'un edifici per conèixer les noves necessitats. Al construir a la fàbrica els residus són eliminats reciclant els materials, es controla l'inventari i es protegeix el material de construcció. Finalment, la qualitat de l'aire és millor degut a que l'estructura modular és construïda a una fàbrica controlada que utilitza materials secs i que no estan afectats per la humitat.

2. Ràpida.

Degut a que la construcció dels edificis modulars es produeixen simultàniament en el mateix lloc de treball, els projectes són finalitzats entre un 30% i un 50% menys de temps que les construccions tradicionals, per tant, és redueix el calendari de construcció. Al tenir que entre un 60% i un 90% de la construcció es fa a la fàbrica minimitza el risc de retards per contratemps.

3. Intel·ligent.

Els edificis modulars són construïts amb els mateixos materials i amb la mateixa normativa i especificacions arquitectòniques que la construcció tradicional. La seva construcció és més segura degut a que la construcció interior redueix els riscos d'accidents i la responsabilitat relacionada amb els treballadors de l'obra.

Aquest tipus de construcció permanent depèn de la metodologia **BIM**¹ (Building Information Modeling), avançant la visualització per avaluar el rendiment energètic i identificar les mesures potencial amb major eficiència en el cost. La construcció modular permanent és ideal per l'ús d'aquesta tecnologia on el procés de construcció és una col·laboració de sistemes, materials i gent similar al propi software.

Amb aquest tipus de construcció hi ha il·limitades oportunitats de disseny, ja que poden ser dissenyats per adaptar-se a l'estètica de qualsevol edifici ja existent. Un cop es munten, aquestes unitats són visualment indistingibles de les construïdes *in situ*.

A part de la construcció permanent també hi ha els edificis reubicables. Aquests edificis són dissenyats per ser reutilitzats o recomposts diferents cops i transportats a diferents ubicacions. Exemples d'aquests tipus de construcció són les escoles, oficines, clíniques, centres de venda o bé, qualsevol aplicació on un edifici reubicable pugui cobrir una necessitat d'espai. Aquests edificis són essencials en casos on la velocitat, l'espai temporal i l'habilitat de reubicació són necessaris. (1)

2.1.1 Exemples d'estructures modulares

Cove Park (2)

Cove Park és un centre per a artistes situat a la costa oest d'Escòcia en 50 acres de paisatges espectaculars. Al 2002, Container City ² va crear tres mòduls d'allotjament, coneguts com a cubs, perquè actuessin com a retirs per a artistes. Per evitar un gran impacte visual i combinar els mòduls amb l'entorn rural s'instal·laren portes corredisses de vidre que condueixen a un balcó cobert que s'estén sobre un llac amb precioses vistes de Loch Long. Degut a l'èxit, al 2006 es van construir 6 mòduls més.

¹ **BIM** és un mètode de treball col·laboratiu per la creació i gestió d'un projecte de construcció. El seu objectiu és centrar tota la informació del projecte en un model d'informació digital creat pels seus agents. El seu ús va més enllà de les fases de disseny, també abastant l'execució del projecte estenent-se al llarg de vida de l'edifici. (27)

² Empresa que es dedica a la construcció modular.



Figura 1. Un dels mòduls de Cove Park. (2)



Figura 2. Interior d'un mòdul de Cove Park. (2)

Habitat 67 (3)

L'edifici Habitat 67 de Montreal constitueix la tesi doctoral de l'arquitecte Moshe Safdie fent-la realitat a l'Expo 67 sobre el Marc-Drouin Quay (en el riu San Lorenzo). Aquesta construcció és un gran exemple de la construcció modular. Es va muntar una fàbrica a peu d'obra on s'assemblaven els mòduls prèviament: es fonia el mòdul, es realitzava la connexió elèctrica, després es col·locava la cuina, serveis i finestres i, per finalitzar, una grua posava els mòduls al seu lloc. Així fins a sumar 158 habitatges amb varietat de dimensions i capacitats (mòduls de 1 a 4 habitacions de 60m² fins a 460m²) per habitatge. Aquesta idea prové per poder solucionar la necessitat d'habitatges sense haver de destruir tan de terreny de la ciutat i de les afores.



Figura 3. Habitat 67. (3)

2.2 Disseny modular en programació

La programació modular és un prototip de la programació, el mètode es basa en partir d'un problema i dividir-lo en problemes més petits, anomenats subprogrames. És una tècnica molt utilitzada en el sector de la programació ja que l'objectiu de programar és resoldre problemes, i acostuma a tenir el nom de disseny descendent o programació top-down.

Al aplicar aquest tipus de programació, un problema complex passa a ser dividit en diferents subprogrames més simples, i aquests en altres subprogrames encara més simples. Cal subdividir els programes fins a obtenir subprogrames lo suficient senzills com per ser capaços de resoldre el problema fàcilment amb algun dels llenguatges de la programació.

Un mòdul és cada una de les parts d'un programa que resol un dels subprogrames en que es divideix el problema original. Cada un d'ells té una feina definida i alguns necessiten altres subprogrames per poder fer la seva funció. En aquest cas, si un mòdul necessita a un altre mòdul, es comuniquen mitjançant una interfase de comunicació que també ha d'estar definida. (4)

2.3 Disseny modular en automoció

Entrant en el món de l'automoció el disseny modular també és una novetat. Un vehicle modular és aquell on els components importants són intercanviables. Aquest tipus de disseny està pensat per fer les reparacions i el manteniments amb facilitat permetent així la reconfiguració del vehicle segons les diferents funcions. També és molt útil per l'intercanvi de bateries en el cas dels vehicles elèctrics. Parlant dels vehicles elèctrics, el sistema elèctric, les rodes i la suspensió es poden incloure en un sol mòdul (o bé



xassís). Quan les bateries necessiten carregar-se el propi cos del vehicle s'eleva i es col·loca en un nou mòdul de potència. Amb aquest sistema, no cal retirar ni tornar a instal·lar les bateries del vehicle i les connexions perduren intactes.

3. Guia del projecte pràctic

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials. Assignatura de Medis Continus i Resistència de Materials. Quadrimestre 4 (2n B).

3.1 Possibles materials

Les estructures es poden fabricar a partir de diferents materials. En aquest punt cal seleccionar un dels materials que es troben a continuació per la fabricació de l'estructura.

3.1.1 Formigó

El formigó és un material de construcció format per una mescla de ciment, àrids (sorra i grava) i aigua. També pot portar additius depenent de l'ús millorant així les seves característiques. Es tracta d'un material de gran consistència, de baix cost i gran capacitat per adaptar-se. (5) (6)

Un cop feta la mescla que dona nom al formigó, s'experimenta un procés progressiu d'enduriment que passa d'un material plàstic a un sòlid, mitjançant el procés fisicoquímic de llarga duració.

En aquesta etapa les propietats del formigó evolucionen en el temps, depenent de les característiques i proporcions dels materials que el componen i de les condicions ambientals a les que es trobarà al llarg de la seva vida útil.

Propietats:

- Densitat. Pels formigons convencionals, formats per materials granulars provinents de roques el seu valor es troba entre 2350 i 2550 kg/m³. Habitualment, la densitat experimenta alguna variació amb el temps degut a l'evaporació de l'aigua. Pot variar fins a un 7% de la densitat inicial.

- Resistència a compressió. És la característica més important del formigó, es determina mitjançant un assaig de provetes que presenten forma cúbica o cilíndrica. De les cúbiques s'utilitzen provetes de 15 i 20 cm, de les cilíndriques de 25 cm de diàmetre i 30 cm d'altura.

A l'hora de realitzar un assaig d'aquest tipus les condicions més importants a tenir en compte són:

- La velocitat d'aplicació de la càrrega.
- L'estat de les superfícies d'aplicació de la càrrega d'assaig.
- El centrat de la càrrega.

La resistència a compressió varia entre 15 i 50 MPa. Llavors, existeixen formigons especials on la seva resistència arriba a 200 MPa.

- Resistència a tracció. El formigó té molt poca resistència a tracció per això no és habitual realitzar un assaig a tracció amb aquest material. Si fos el cas de voler fer un assaig de tracció del formigó existeixen tres formes diferents de realitzar-lo:
 - Assaig de tracció directa. Consisteix en l'aplicació de dues càrregues oposades col·lineals amb l'eix de la proveta de l'assaig. L'assaig es realitza adherint una proveta prismàtica a les plaques de la premsa que aplica les càrregues de tracció.
 - Assaig de tracció per flexió. S'apliquen una o dues càrregues concentrades a la vareta de formigó a un assaig de flexió.
 - Assaig de tracció indirecta. S'aplica una càrrega lineal concentrada segons els dos eixos longitudinals oposats a la proveta cilíndrica o

bé, cúbica. A mesura que s'augmenta la càrrega el trencament es produeix per tracció segons el pla format pels eixos de càrrega.

Tot i així es millor fer un assaig de compressió al tractar-se de formigó. La resistència a tracció és de l'ordre d'un dècim de la resistència a compressió, per tant, és poc significativa.

- Propietats elàstiques. El mòdul elàstic del formigó és de 27.000 MPa.
- Temps d'enduriment. És un procés progressiu, depenent de la temperatura i la humitat que hi ha a l'ambient. Entre les 24 i 48 hores obté la meitat de resistència màxima. En una setmana $\frac{3}{4}$ parts i en 28 dies s'obté la resistència total.

3.1.2 Acer

L'acer és un aliatge format de ferro i carboni (de 0,05% a 2,00%) en massa i altres elements en menor proporció com poden ser el silici, manganès i crom. És més resistent, elàstic i dur que el ferro pur.

Els mètodes de fabricació d'acer es basen en el procés de Bessemer. Aquest procés converteix el ferro colat, ja processat, és a dir, fundació, en acer o ferro. El funcionament d'aquest procés és el següent:

Una caldera folrada d'acer en el seu interior és revestida d'un material refractari, és a dir, té una gran resistència al foc i a la calor. La part superior està oberta i la de sota és rodona i es mou mitjançant un eix horitzontal. Consta de dos forats mitjançant els quals s'introdueix aire. Es col·loca sobre dos suports perquè la caldera es pugui moure i girar per introduir la fundació i posteriorment colar l'acer. (7) (8)

La siderúrgia d'avui en dia es divideix en 5 passos:

1. Fabricació del ferro.

Les matèries primes de ferro, coc i cals es sotmeten a l'alt forn i es fonen. El metall calent (ferro fos) conté un 4% de carboni i altres impureses.

2. Siderúrgia primària.

L'oxigen es bufa mitjançant el metall a altes temperatures per reduir el contingut de carboni entre 0 i 1,5%.

3. Producció secundària.

Es tracta l'acer fos obtingut per ajustar la composició química de l'acer. S'afegeixen o s'eliminen elements manipulant la temperatura i el lloc de producció. Depenent del tipus d'acer que es vol obtenir es poden fer els següents processos:

- Agitació.
- Forn de cullera.
- Injecció de cullera.
- Eliminació de gas.
- CAS-OB. Ajustar la composició mitjançant bombolles d'argó segellat amb oxigen bufat.

4. Formació primària.

Es dona forma a l'acer fos en diversos perfils. Habitualment es fa per laminació en calent, un procés que elimina els defectes del motlle i arriba a donar la forma requerida i bona qualitat superficial. Els productes laminats en calent es divideixen en productes: plans, llargs, tubs sense costura i productes especials.

5. Formació secundària.

Les tècniques d'aquest punt donen la forma i propietats finals a l'acer. Aquestes tècniques poden ser: conformat, mecanitzat, unió, recobriments, tractament tèrmic o bé, tractament superficial.

Propietats:



- Ductilitat. És la capacitat que té l'acer a deformar-se al suportar esforços a tracció sense trencar-se.
- Duresa. És la capacitat d'oposar-se a la penetració d'un altre material.
- Resistència. És la capacitat de resistir esforços a tracció, compressió, torsió i flexió sense deformar-se ni trencar-se.
- Mal-leabilitat. És la capacitat al suportar deformació enfront a esforços a compressió sense trencar. Per això es pot laminar mitjançant rodets de compressió.
- Tenacitat. Té bona ductilitat i resistència al mateix temps.
- Mòdul elàstic. El mòdul elàstic és de 210.000 MPa.
- Densitat. La seva densitat mitja és de 7850 kg/m³.

3.1.3 PLA per impressió 3D

El PLA (Àcid Polilàctic) és un polímer biodegradable derivat de l'àcid làctic, és un material que s'obté mitjançant recursos renovables. Aquest àcid té moltes característiques equivalents a molts de plàstics que deriven del petroli, el que fa que sigui eficaç per molts usos. El PLA és un polímer incolor, resistent a la humitat i al greix. Té característiques de barrera del sabor i olor similars a les del politereftalat d'etilè, conegut com el PET, que s'utilitza com a envàs per a begudes no alcohòliques i altres productes. (9) (10) (11)

Aquest material és el més utilitzat per la impressió 3D degut a la seva gran varietat d'avantatges. Algunes característiques a tenir en compte del PLA són:

- És el material amb el que resulta més senzill imprimir, per tant, és molt fàcil d'utilitzar. Permet un alt marge d'error i tolerància.



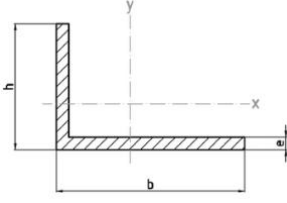
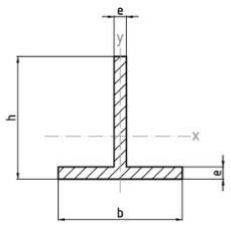
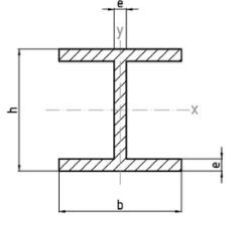
- Es pot formular perquè sigui rígid o flexible.
- Té un acabat molt fi i no és comú trobar defectes a l'aspecte final de les peces.
- Acostuma a ser més resistent que altres materials d'impressió 3D.
- No produeix gasos tòxics durant la impressió.
- La temperatura d'impressió del PLA és més baixa que la majoria d'altres filaments. La seva temperatura de fusió és aproximadament de 170°C. El rang òptim d'impressió és de 185°C a 205°C, tenint en compte que per les bobines de PLA de 1,75 la temperatura òptima serà inferior i per les bobines de 2,85 o 3mm serà més alta.
- El mòdul elàstic és de 3,5GPa.
- L'elongació de trencament és d'un 6%.
- La resistència a flexió és de 80MPa.
- Té una capacitat calorífica de 1800J/kgK.
- La relació pes-força és de 40kNm/kg.
- La resistència a tracció és de 50MPa.
- La conductivitat tèrmica és de 0,13 W/mK.

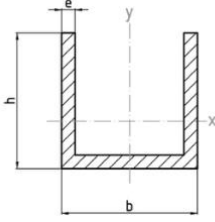
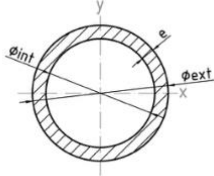
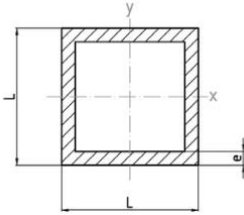
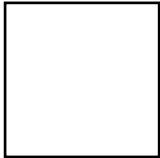
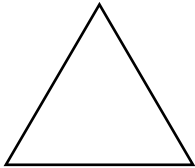
3.2 Selecció del mòdul

Un mòdul en el món de la construcció és una peça o conjunt unitari de peces que es repeteixen amb el fi d'obtenir una estructura més senzilla, regular i econòmica.

Pel disseny de l'estructura és necessari escollir quin serà el mòdul, ja que, l'estructura ha de ser modular. A continuació es troben els diferents mòduls amb els que es pot treballar:

Taula 1. Tipus de mòduls. Font pròpia.

<p>Barra de secció L</p>	 <p><i>Figura 4. Secció L. (12)</i></p>
<p>Barra de secció T</p>	 <p><i>Figura 5. Secció T. (13)</i></p>
<p>Barra de secció doble T</p>	 <p><i>Figura 6. Secció doble T. (14)</i></p>

<p>Barra de secció U</p>	 <p><i>Figura 7. Secció U. (15)</i></p>
<p>Barra de secció circular</p>	 <p><i>Figura 8. Secció circular. (16)</i></p>
<p>Barra de secció quadrada</p>	 <p><i>Figura 9. Secció quadrada. (17)</i></p>
<p>Quadrat</p>	
<p>Triangle equilàter</p>	
<p>A dissenyar (gust propi)</p>	

3.3 Disseny i selecció de l'estructura modular

En aquest apartat s'ha de dissenyar l'estructura del projecte. Per això, cal tenir en compte el tipus d'estructura que és i els tipus de recolzaments que tindrà.

Les estructures es classifiquen en sistemes hipostàtics, isostàtics o bé, hiperestàtics. Les estructures hipostàtiques són aquelles estructures on el grau d'indeterminació d'estàtica es inferior a 0. És a dir, el nombre d'equacions d'equilibri es excessiu, ja que, supera el nombre d'incògnites. Aquestes, són estructures inestables que no oposen resistència a moviments externs. Les estructures isostàtiques són aquelles on les seves reaccions poden ser calculades amb els principis d'estàtica. És a dir, el sumatori de les forces en els eixos x, y, z és igual a zero i el sumatori de moments en x, y, z és també zero. També, pot ser anomenada estructura estàticament determinada. Les estructures hiperestàtiques en canvi, són aquelles on les equacions d'estàtica no són suficients per saber les forces externes i les reaccions que obté.

Per determinar si una estructura és hipostàtica, isostàtica o hiperestàtica es calcula el grau d'indeterminació estàtica. Aquest grau ve definit per la següent equació:

$$g = i - e - r$$

On:

- g = grau d'indeterminació estàtica.
- i = nombre d'incògnites.
- e = nombre d'equacions.
- r = nombre de ròtules.

Com s'ha esmentat abans si:

- $g < 0$ es tracta d'un sistema hipostàtic.
- $g = 0$ es tracta d'un sistema isostàtic.
- $g > 0$ es tracta d'un sistema hiperestàtic.

En el cas de les barres biarticulades l'equació del grau d'indeterminació estàtica passa a ser la següent:

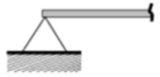
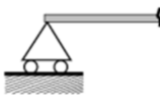

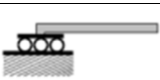
$$g = (R + b) - 2N$$

On:

- R = nombre de reaccions.
- b = nombre de barres.
- N = nombre de nodes.

Classificació de recolzaments:

Taula 2. Classificació de recolzaments. Font pròpia.

Tipus		Reaccions	Graus de llibertat
Simple		2	1
Lliscant		1	2
Encastament		3	0
Encastament lliscant		2	1

Com a mínim, l'estructura ha de tenir 2 restriccions i com a màxim 7. Un cop escollida o dissenyada l'estructura a estudiar cal especificar el tipus de sistema estructural que és i si es una estructura reticular o articular. (18) (19)



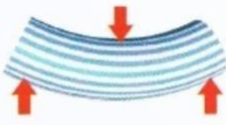

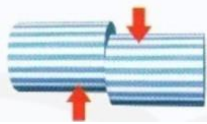
3.4 Conceptes a analitzar

Un cop dissenyada l'estructura cal analitzar-la i saber quins esforços pateix. En el moment que actua una força sobre un element d'una estructura, les partícules es veuen més o menys afectades. El resultat d'aquesta acció és intentar desfer l'equilibri que existeix a l'estructura abans de que aparegui aquesta força. Per mantenir l'equilibri, la unió i la cohesió del cos, les partícules reaccionen amb un conjunt de

forces internes que lluiten per mantenir unit el cos. Aquestes forces són els anomenats esforços o tensions. És a dir, els esforços són el conjunt de forces internes a les que està sotmès un cos a conseqüència de les forces que actuen sobre ell.

Depenent del tipus de força i de les característiques que componen l'estructura es troben 5 tipus d'esforços:

Taula 3. Tipus d'esforç. Font pròpia.

Tipus d'esforç	Deformació
Tracció	 <p data-bbox="804 913 1219 947"><i>Figura 10. Deformació per tracció. (20)</i></p>
Compressió	 <p data-bbox="826 1144 1294 1178"><i>Figura 11. Deformació per compressió. (20)</i></p>
Flexió	 <p data-bbox="860 1397 1262 1431"><i>Figura 12. Deformació per flexió. (20)</i></p>
Torsió	 <p data-bbox="860 1637 1262 1671"><i>Figura 13. Deformació per torsió. (20)</i></p>
Tallant	 <p data-bbox="852 1883 1270 1917"><i>Figura 14. Deformació per tallant. (20).</i></p>



Els conceptes a analitzar en aquest projecte són les reaccions de l'estructura, les lleis amb els diagrames corresponents i finalment, depenent del tipus d'esforç en el que està sotmesa l'estructura es farà un anàlisi d'esforç tallant o de moment torsor. En el cas de que es tracti d'una estructura hiperestàtica caldrà l'aplicació dels teoremes energètics per l'anàlisi complet. (20)

3.5 Tipus d'anàlisi

Per analitzar l'estructura es pot fer mitjançant 3 mètodes:

- **Analític.** Analitzar l'estructura amb els conceptes assolits a classe.
- **Numèric.** Realitzar un anàlisi mitjançant la simulació estructural a un software com podria ser el SolidWorks, MEFI o bé, Cype.
- **Experimental.** Realitzar un assaig en el laboratori de Resistència de Materials.

Per fer un anàlisi més precís i poder veure les diferències que hi ha entre els mètodes es farà l'anàlisi mitjançant, almenys, 2 dels mètodes citats, a lliure elecció.

3.6 Anàlisi de resultats

En aquest apartat s'han de comparar i comentar els resultats obtinguts entre els 2 mètodes escollits.



3.7 Cost del projecte

A l'hora de fer un projecte és important saber el seu cost. Per això cal fer un pressupost amb tot el que ha costat aquest projecte.

Taula 4. Exemple de cost de projecte. Font pròpia.

1. Cost d'enginyeria					
	Cost unitari	€/unitat	Amidament	Unitats	Subtotal (€)
1.1 Selecció del material		€/h		Hores	
1.2 Selecció del mòdul		€/h		Hores	
1.3 Disseny i selecció de l'estructura modular		€/h		Hores	
1.4 Conceptes a analitzar		€/h		Hores	
1.5 Tipus d'anàlisi i anàlisi dels diferents casos		€/h		Hores	
1.6 Cost del projecte pràctic		€/h		Hores	
1.7 Incidències que s'han tingut		€/h		Hores	
TOTAL PRESSUPOST (€)					

3.8 Incidències que s'han tingut

En aquest apartat s'han d'especificar tots els problemes que han sorgit durant la realització del projecte pràctic i explicar que s'ha fet per avançar amb el projecte i com s'han corregit els errors.

3.9 Biblioteca de treballs

Des de que es posi en pràctica la realització d'aquest projecte a l'assignatura de Resistència de Materials seria útil crear una plataforma on hi hagi guardats tots els projectes perquè els futurs alumnes tinguin una referència de com realitzar-lo i innovar a partir dels projectes antics.

4. Prova pilot

4.1 Selecció del material

El material que s'utilitza per la realització de la prova pilot d'aquest projecte pràctic és el PLA per impressió en 3D.

Avui en dia s'està avançant molt en el món de les impressions 3D. En l'àmbit de l'enginyeria, la construcció i la indústria cada cop es fabriquen més productes mitjançant les impressores 3D. Per aquest motiu s'ha decidit l'opció d'aquest material, per posar en pràctica el disseny i la fabricació mitjançant aquest mètode innovador.

Com comenta el guió del projecte el PLA és tipus de material biodegradable que s'obté de recursos renovables. La base de matèria prima és el blat de moro, d'origen ecològic. Habitualment, s'utilitza aquest material per impressió 3D a l'hora de crear o fabricar objectes decoratius, maquetes (com és el cas) i peces de gran envergadura. Com bé es comenta en el punt 3.1.3, és un filament conegut per la facilitat que aporta a l'hora d'imprimir, el que fa que sigui un material útil pel consumidor que no té experiència en el sector.

És important tenir en compte que per la seva naturalesa el PLA té una estructura isotròpica, és a dir, que les propietats mecàniques i tèrmiques són les mateixes en totes les direccions. Però en el moment de la impressió, el material perd aquesta característica i passa a tenir una estructura anisòtropa, les propietats mecàniques ja no són les mateixes en totes les direccions. Aquesta anisotropia és deguda a que la peça s'imprimeix capa a capa, per tant, la major resistència es troba en la direcció de les fibres i la menor en el sentit perpendicular d'aquestes. (21)

4.2 Selecció del mòdul

El mòdul seleccionat per la creació de l'estructura modular és la barra de secció rectangular. És a dir, s'ha escollit l'opció de dissenyar el mòdul. Mitjançant aquest mòdul es formaran triangles equilàters per donar forma a una estructura triangular la qual serà dissenyada en el següent punt.

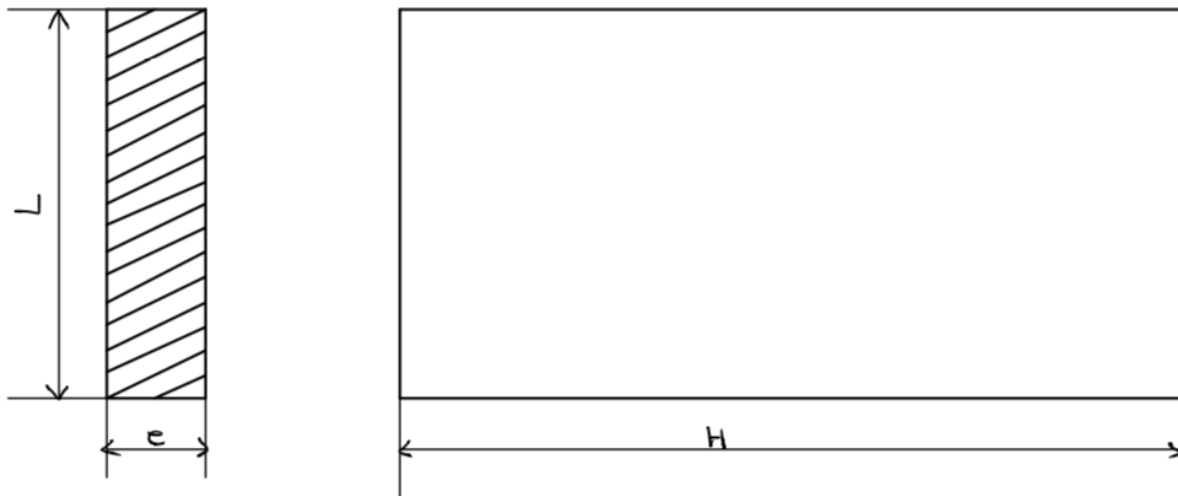


Figura 15. Mòdul seleccionat. Barra de secció rectangular. Font pròpia.

Les dimensions de la barra són les següents:

$$L = 12 \text{ mm.}$$

$$e = 2 \text{ mm.}$$

$$H = 50 \text{ mm.}$$

On la L és el lateral de la secció, la e el gruix i la H la llargada de la barra.

4.3 Disseny i selecció de l'estructura modular

L'estructura escollida es coneix com a una encavallada, també coneguda com a gelosia. Està formada per triangles mitjançant barres de secció rectangular. L'avantatge d'aquest tipus d'estructures és que les barres treballen a compressió i tracció presentant petites flexions. Els nodes, les unions de les barres, poden ser articulats o rígids. Les gelosies formades per nodes articulats presenten una flexió menyspreable si les càrregues són aplicades en els nodes de l'estructura. En aquest cas s'ha optat per les unions rígides. (22)

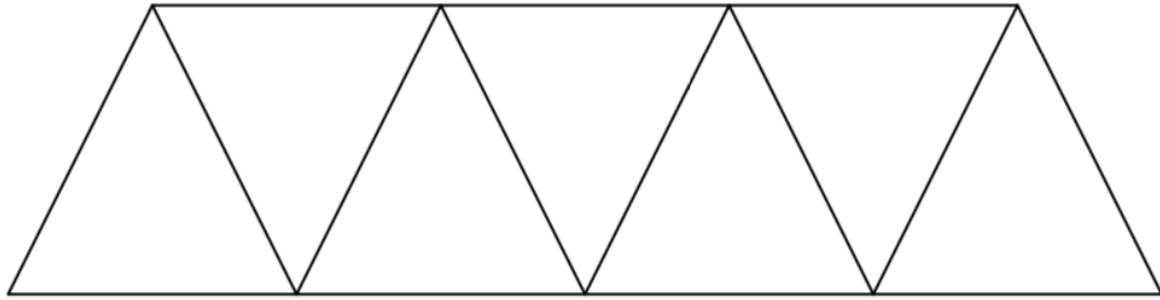


Figura 16. Esbós estructura modular. Font pròpia.

A l'hora de seleccionar els recolzaments s'ha vist que hi ha una àmplia varietat de possibles opcions. Els recolzaments es poden col·locar a diferents llocs, com per exemple ambdós es poden situar en els extrems inferiors de l'estructura, un pot estar a un extrem i l'altre entre dos triangles, ambdós poden situar-se entre dos triangles, i com aquests, altres opcions.

Així com hi ha una àmplia varietat per la posició dels recolzaments, també hi és a l'hora de col·locar les càrregues (tant puntuals com repartides). Per tal de veure uns quants exemples de les diferents opcions que hi ha per escollir s'exposen els següents casos:

- a) Un recolzament simple i un recolzament lliscant amb una càrrega puntual a cada node.

En aquest cas s'hi troba una estructura isostàtica. Es tracta de barres biarticulades per tant, el grau d'indeterminació estàtica s'obté mitjançant la següent equació:

$$g = (R + b) - 2N$$

Si es substitueixen els valors, s'obté:

$$g = (3 + 15) - 2 \cdot 9 = 0 = 0 \rightarrow \text{ sistema isostàtic }$$

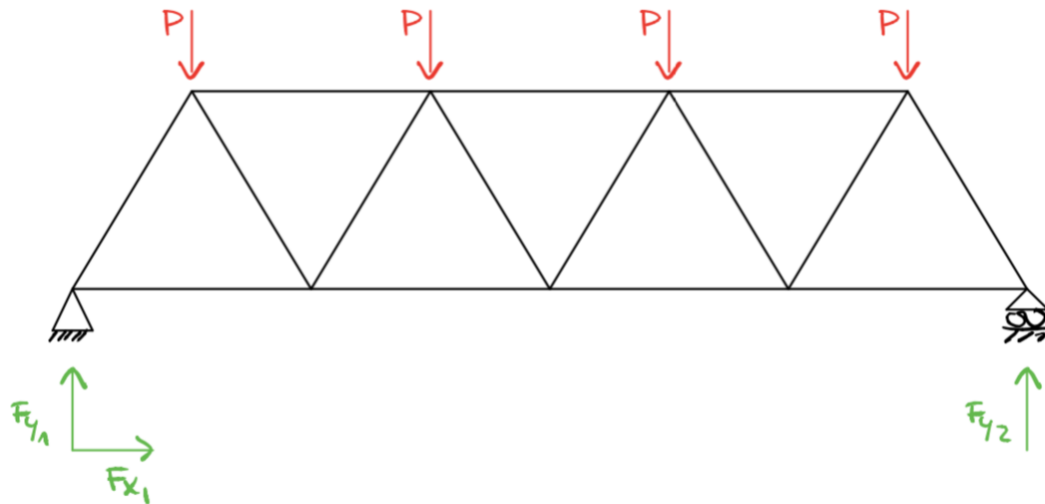


Figura 17. Càrregues puntuals en els nodes. Font pròpia.

- b) Un recolzament simple i un recolzament lliscant amb una càrrega puntual al node central.

Com en el cas anterior es tracta d'una estructura isostàtica, ja que és la mateixa estructura i té el mateix tipus de recolzament:

$$g = (3 + 15) - 2 \cdot 9 = 0 = 0 \rightarrow \text{ sistema isostàtic }$$

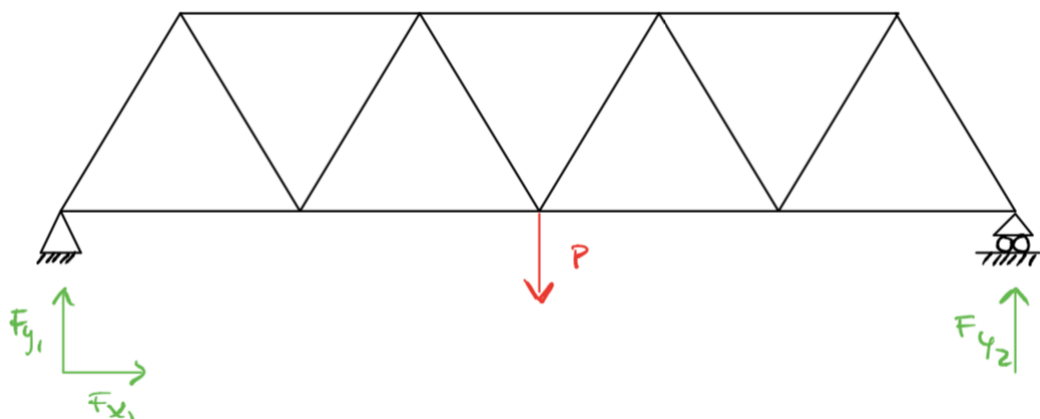


Figura 18. Càrrega puntual en el node central. Font pròpia.

- c) Un recolzament simple i un recolzament lliscant amb dues càrregues puntuals descentrades.

Igual que els dos primers casos es tracta d'una estructura isostàtica:

$$g = (3 + 15) - 2 \cdot 9 = 0 = 0 \rightarrow \text{ sistema isostàtic }$$

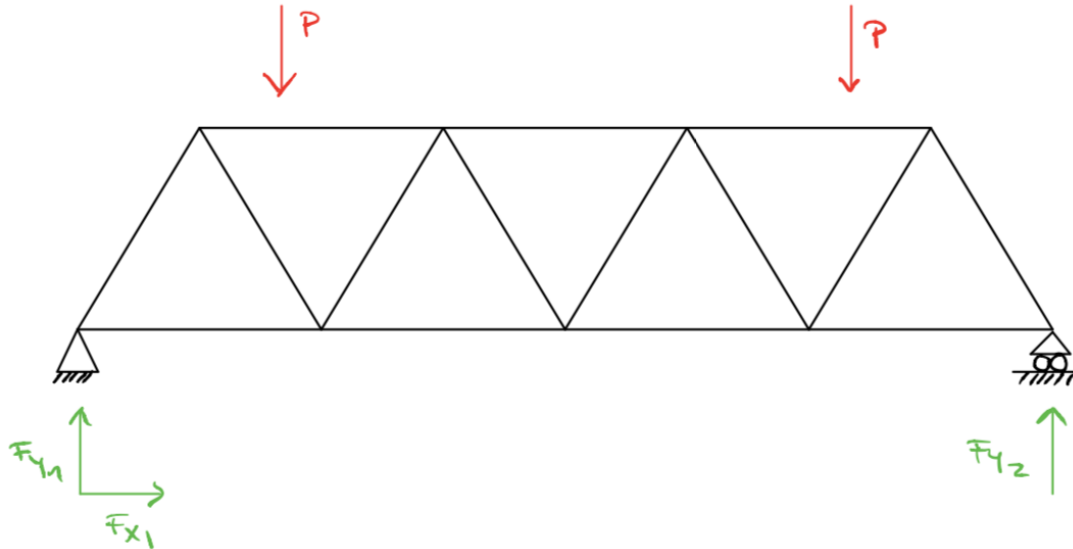


Figura 19. Dues càrregues descentrades. Font pròpia.

- d) Dos recolzaments simples amb una càrrega repartida.

Es tracta d'una estructura hiperestàtica pel fet de que els dos recolzaments siguin simples:

$$g = (4 + 15) - 2 \cdot 9 = 1 > 0 \rightarrow \text{ sistema hiperestàtic }$$

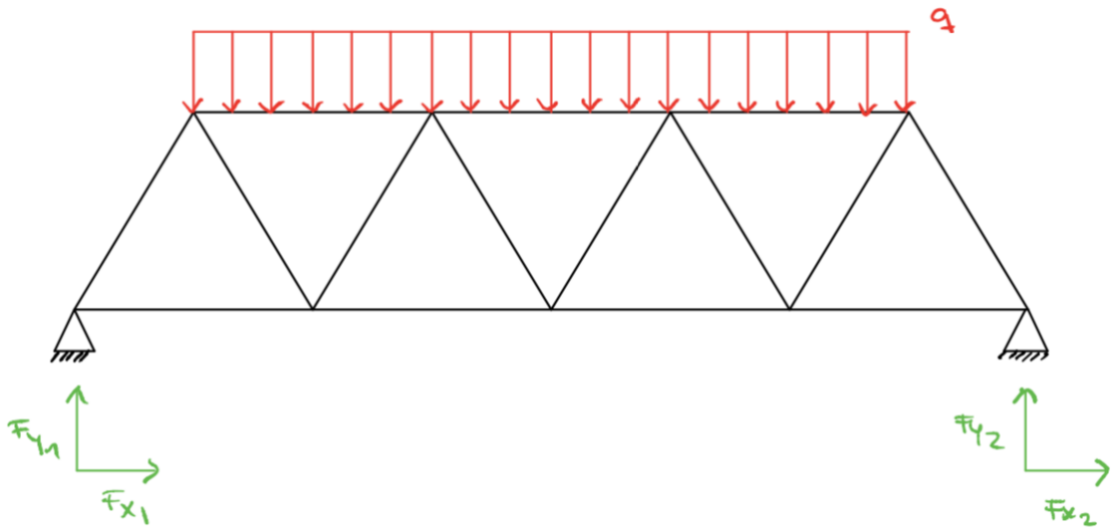


Figura 20. Una càrrega repartida. Font pròpia.

- e) Un recolzament simple i un recolzament lliscant amb dues càrregues repartides.

Estructura isostàtica:

$$g = (3 + 15) - 2 \cdot 9 = 0 = 0 \rightarrow \text{ sistema isostàtic }$$

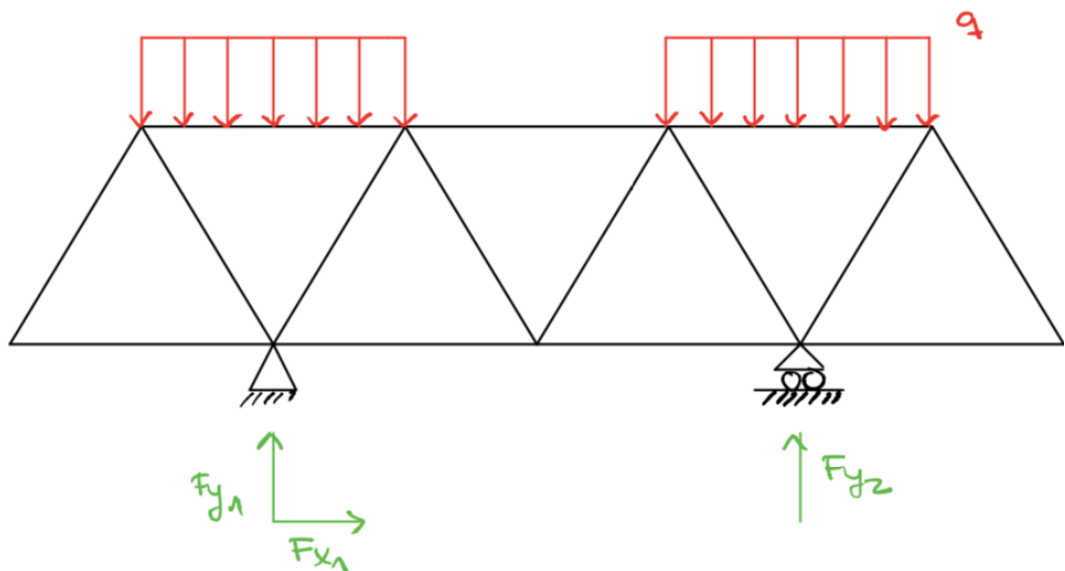


Figura 21. Dues càrregues repartides. Font pròpia.

- f) Un encastament amb una càrrega repartida en -k.

Al tractar-se d'un sol recolzament però encastat, també s'obté una estructura isostàtica:

$$g = (3 + 17) - 2 \cdot 10 = 0 = 0 \rightarrow \text{ sistema isostàtic }$$

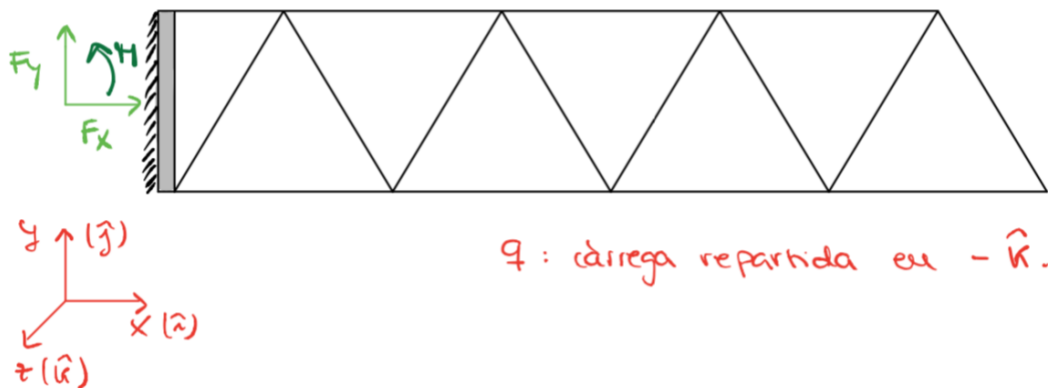


Figura 22. Càrrega repartida en $-k$. Font pròpia.

4.4 Conceptes a analitzar

Com s'ha esmentat en el punt anterior, els triangles estan sotmesos a esforços a tracció i a compressió. Per visualitzar aquest comportament s'analitzaran dos dels casos que es troben en el punt anterior de manera analítica i un d'ells, també de forma experimental. A més a més, es realitzarà una simulació mitjançant SolidWorks d'un cas diferent als que s'analitzaran de forma analítica. D'aquesta manera es veurà la utilitat de cada tipus d'anàlisi, ja que per sistemes més complexos és molt més útil un anàlisi numèric mitjançant simulació.

Per poder visualitzar els comportaments de tracció i compressió de les barres s'analitzarà l'estructura amb el mètode dels nodes. En els casos a analitzar, es tracta d'una estructura totalment estàtica, a conseqüència d'això les barres només estan sotmeses a axial, per tant, només es representarà l'axial.

4.5 Tipus d'anàlisi i anàlisi dels diferents casos

L'estructura dissenyada s'analitza mitjançant dos anàlisis analítics, un anàlisi numèric i un anàlisi experimental. A continuació es troben els casos estudiats separats pel tipus d'anàlisi que s'ha fet. (23)

Anàlisi analític

- a) Un recolzament simple i un recolzament lliscant amb una càrrega puntual a cada node.

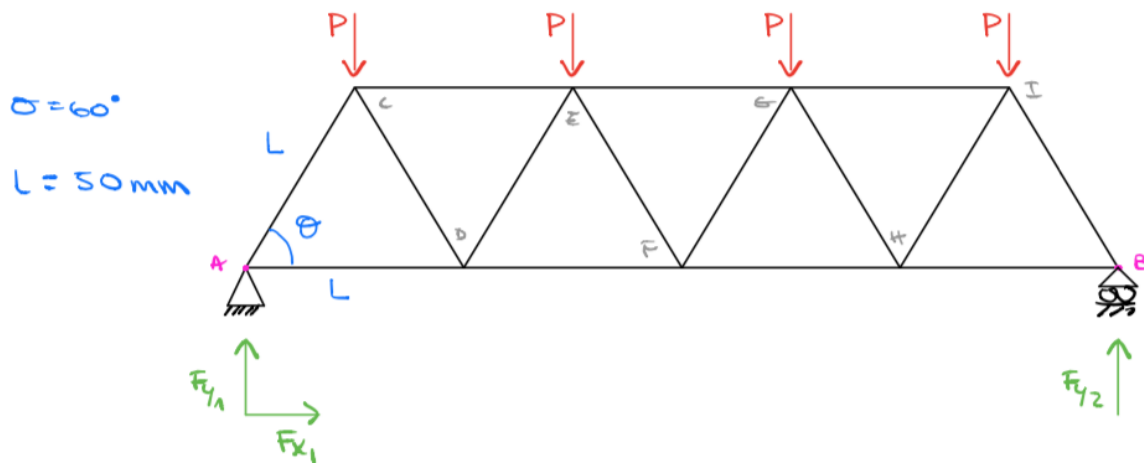


Figura 23. Esbós del primer cas. Font pròpia.

Estudi de les reaccions:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{x1} = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{y1} + F_{y2} - 4P = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow -P \cdot \frac{L}{2} - P \cdot \frac{3L}{2} - P \cdot \frac{5L}{2} - P \cdot \frac{7L}{2} + 4L \cdot F_{y2} = 0 \quad (3)$$

De l'equació (3) s'obté que:

$$F_{y2} = 2P$$

Si es substitueix el valor de F_{y2} a l'equació (2) s'obté que el valor de F_{y1} és:

$$F_{y1} = 2P$$

Un cop conegudes les forces de reacció es passa a l'estudi de les barres node per node.

Estudi dels nodes:

Node A:

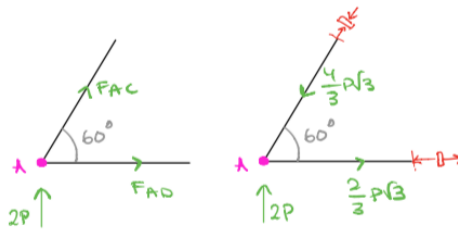


Figura 24. Diagrama de forces del node A. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow 2P + F_{AC} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{AC} = -\frac{4\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{AD} + F_{AC} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{AD} = \frac{2\sqrt{3}}{3}P$$

Node C:

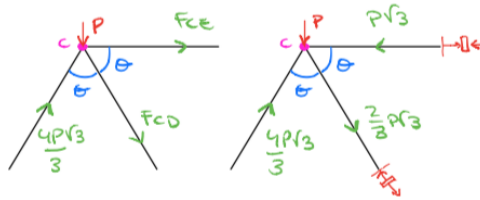


Figura 25. Diagrama de forces del node C. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \frac{4\sqrt{3}}{3}P - P - F_{CD} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{CD} = \frac{2\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{CE} + \frac{4\sqrt{3}}{3}P \cdot \cos\theta + F_{CD} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{CE} = -\sqrt{3}P$$

Node D:

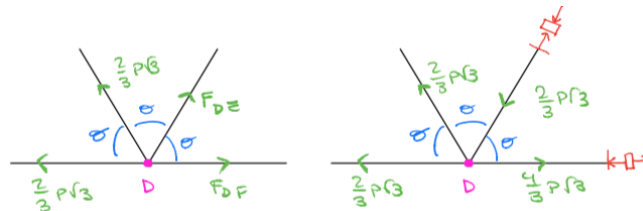


Figura 26. Diagrama de forces del node D. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot \sin\theta + F_{DE} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{DE} = -\frac{2\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{DF} - \frac{2\sqrt{3}}{3}P - \frac{2\sqrt{3}}{3}P \cdot \cos\theta + F_{DE} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{DF} = -\sqrt{3}P$$

Node E:

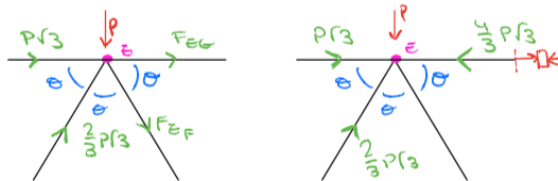


Figura 27. Diagrama de forces del node E. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -P + \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot \sin\theta - F_{EF} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{EF} = 0$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{EG} + P\sqrt{3} + \frac{2\sqrt{3}}{3} P \cdot \cos\theta + F_{EF} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{EG} = -\frac{4\sqrt{3}}{3}P$$

Node F:

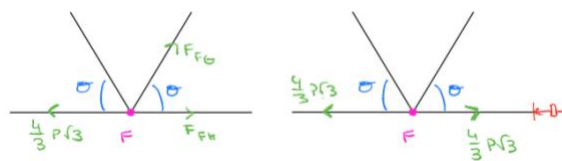


Figura 28. Diagrama de forces del node F. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{FG} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{FG} = 0$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{FH} - \frac{4\sqrt{3}}{3}P + F_{FG} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{FH} = \frac{4\sqrt{3}}{3}P$$

Node G:

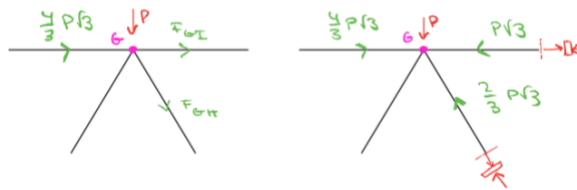


Figura 29. Diagrama de forces del node G. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -P - F_{GH} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{GH} = -\frac{2\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{GI} + \frac{4\sqrt{3}}{3}P + F_{GH} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{GI} = -\sqrt{3}P$$

Node H:

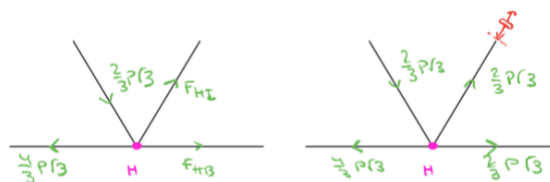


Figura 30. Diagrama de forces del node H. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -\frac{2\sqrt{3}}{3}P \cdot \sin\theta + F_{HI} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{HI} = \frac{2\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{HB} - \frac{4\sqrt{3}}{3}P + \frac{2\sqrt{3}}{3}P \cdot \cos\theta + F_{HI} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{HB} = \frac{2\sqrt{3}}{3}P$$

Node I:

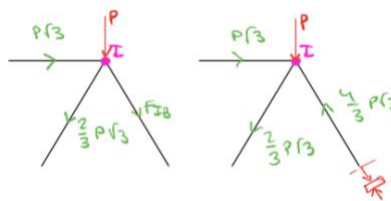


Figura 31. Diagrama de forces del node I. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -P - \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot \sin\theta - F_{IB} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{IB} = -\frac{4\sqrt{3}}{3}P$$

Node B:

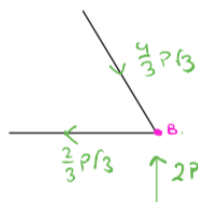


Figura 32. Diagrama de forces del node B. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow 2P - \frac{4\sqrt{3}}{3} \cdot \sin\theta = 0$$

$$-2P + 2P = 0$$

$$0 = 0$$

Es comprova l'estàtica.

Finalment s'obté el diagrama d'esforços a axial de tota l'estructura:

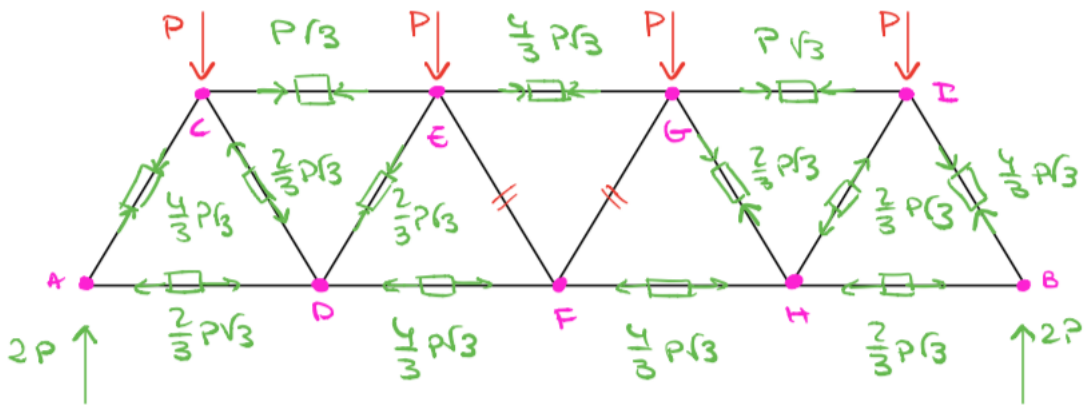


Figura 33. Diagrama d'esforços a axial. Cas a). Font pròpia.

Com es pot observar les barres que actuen a compressió són: AC, DE, GH, IB, CE, EG i GI. Per altre banda, les barres que actuen a tracció són: CD, HI, AD, DF, FH i HB.

- b) Un recolzament simple i un recolzament lliscant amb una càrrega puntual al node central.

$\theta = 60$
 $L = 50\text{mm}$

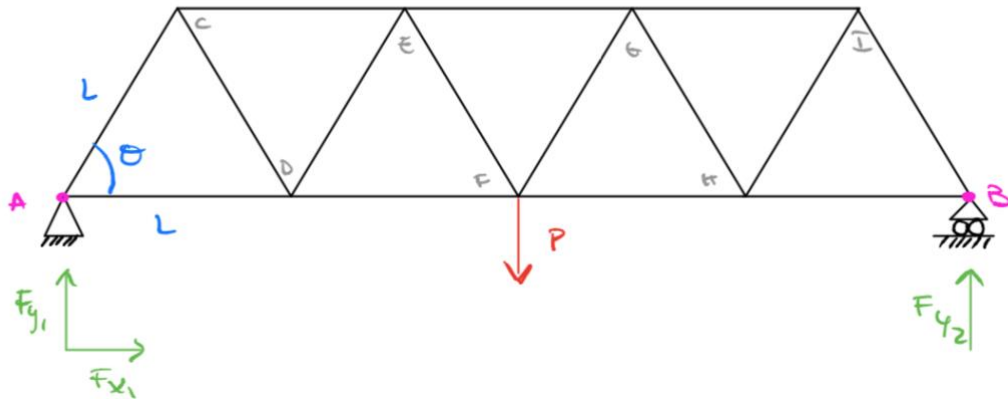


Figura 34. Esbós del segon cas. Font pròpia.

Estudi de les reaccions:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{x1} = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{y1} + F_{y2} - P = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow -2PL + 4L \cdot F_{y2} = 0 \quad (3)$$

De l'equació (3) s'obté que:

$$F_{y2} = \frac{1}{2}P$$

Si es substitueix el valor de F_{y2} a l'equació (2) s'obté que el valor de F_{y1} és:

$$F_{y1} = \frac{1}{2}P$$

Estudi dels nodes:

Node A:

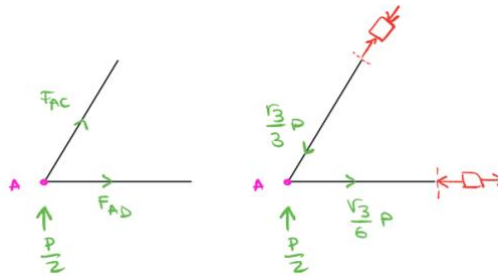


Figura 35. Diagrama de forces del node A. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \frac{1}{2}P + F_{AC} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{AC} = -\frac{\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{AD} + F_{AC} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{AD} = \frac{\sqrt{3}}{6}P$$

Node C:

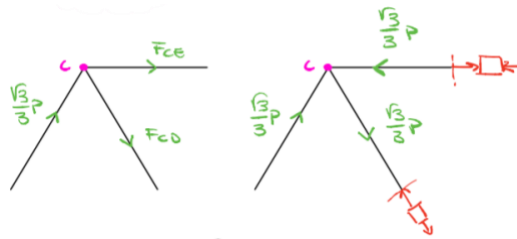


Figura 36. Diagrama de forces del node C. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{3}P - F_{CD} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{CD} = \frac{\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{CE} + \frac{\sqrt{3}}{3}P \cdot \cos\theta + F_{CD} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{CE} = -\frac{\sqrt{3}}{3}P$$

Node D:

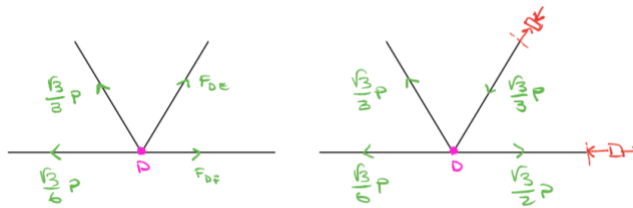


Figura 37. Diagrama de forces del node D. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \sin\theta + F_{DE} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{DE} = -\frac{\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{DF} - \frac{\sqrt{3}}{6}P - \frac{\sqrt{3}}{3}P \cdot \cos\theta + F_{DE} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{DF} = \frac{\sqrt{3}}{2}P$$

Node E:

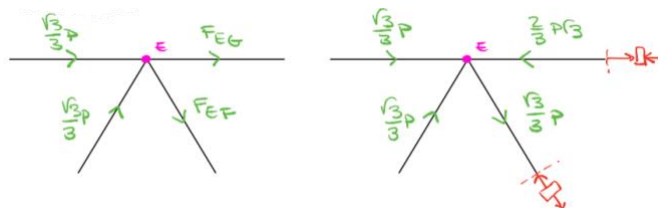


Figura 38. Diagrama de forces del node E. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{3}P \cdot \sin\theta - F_{EF} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{EF} = \frac{\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{EG} + \frac{\sqrt{3}}{3}P + \frac{\sqrt{3}}{3}P \cdot \cos\theta + F_{EF} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{EG} = -\frac{2\sqrt{3}}{3}P$$

Node F:

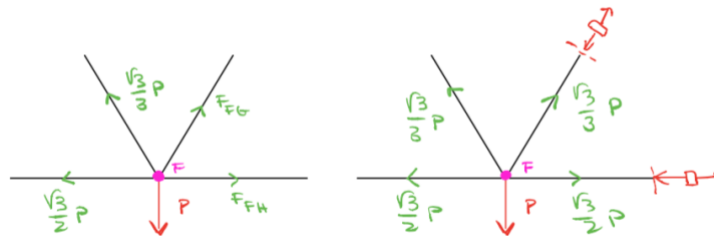


Figura 39. Diagrama de forces del node F. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -P + \frac{\sqrt{3}}{3}P \cdot \sin\theta + F_{FG} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{FG} = \frac{\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{FH} - \frac{\sqrt{3}}{3}P \cdot \cos\theta - \frac{\sqrt{3}}{2}P + F_{FG} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{FH} = \frac{\sqrt{3}}{2}P$$

Node G:

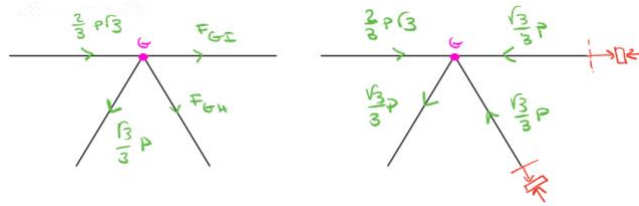


Figura 40. Diagrama de forces del node G. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -\frac{\sqrt{3}}{3}P \cdot \sin\theta - F_{GH} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{GH} = -\frac{\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{GI} + \frac{2\sqrt{3}}{3}P - \frac{\sqrt{3}}{3}P \cdot \cos\theta + F_{GH} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{GI} = -\frac{\sqrt{3}}{3}P$$

Node H:

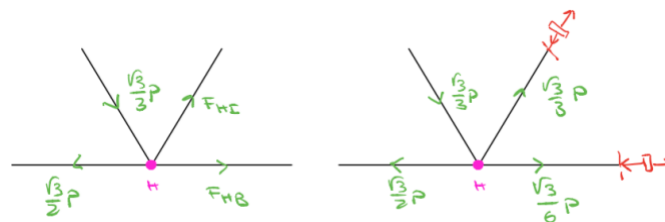


Figura 41. Diagrama de forces del node H. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -\frac{\sqrt{3}}{3}P \cdot \sin\theta + F_{HI} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{HI} = \frac{\sqrt{3}}{3}P$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{HB} - \frac{\sqrt{3}}{2}P + \frac{\sqrt{3}}{3}P \cdot \cos\theta + F_{HI} \cdot \cos\theta = 0$$

$$F_{HB} = \frac{\sqrt{3}}{6}P$$

Node I:

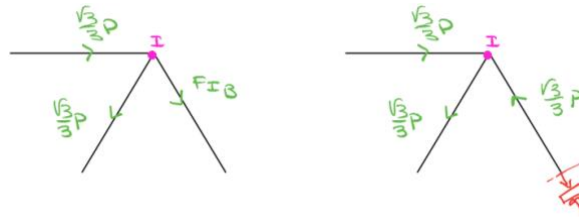


Figura 42. Diagrama de forces del node I. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -\frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \sin\theta - F_{IB} \cdot \sin\theta = 0$$

$$F_{IB} = -\frac{\sqrt{3}}{3}P$$

Node B:

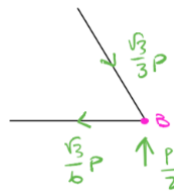


Figura 43. Diagrama de forces del node B. Font pròpia.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \frac{P}{2} - \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \sin\theta = 0$$

$$\frac{P}{2} - \frac{P}{2} = 0$$

$$0 = 0$$

Es comprova l'estàtica.

Finalment s'obté el diagrama d'esforços a axial de tota l'estructura:

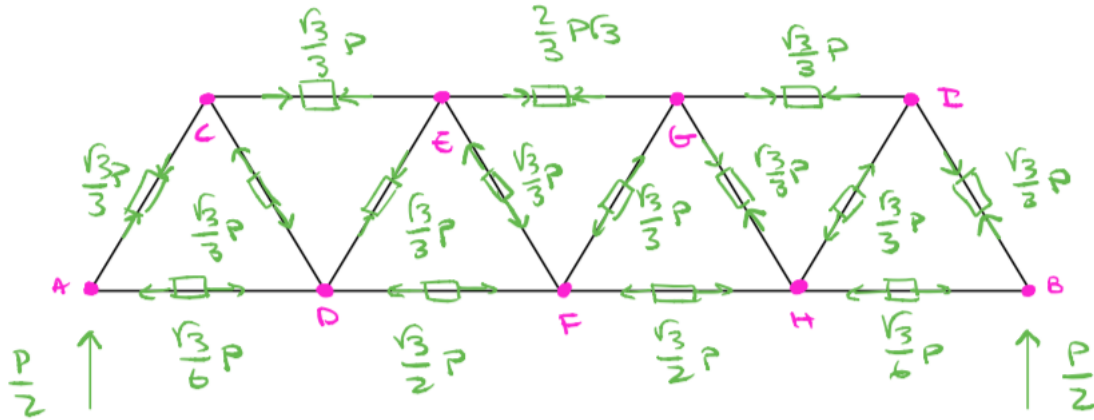


Figura 44. Diagrama d'esforços a axial. Cas b). Font pròpia.

Com es pot observar les barres actuen com en el cas anterior. Les que actuen a compressió són: AC, DE, GH, IB, CE, EG i GI. I, les barres que actues a tracció són: CD, HI, AD, DF, FH i HB.

Anàlisi numèric. Simulació SolidWorks

Per realitzar la simulació mitjançant SolidWorks s'ha escollit l'últim cas on l'estructura està totalment encastada pel costat esquerre i està sotmesa a una força lateral totalment repartida. S'ha escollit aquest cas per la simulació degut a la complexitat dels seus càlculs analítics. La força escollida per la realització d'aquest estudi ha estat de 20N pel fet de que es tracta d'una peça de petites dimensions. El pes total del conjunt és de $25,80e^{-2}$ N

Cal comentar que el programa utilitzat no té l'opció del material PLA, el qual s'ha escollit per tot el projecte pràctic, per tant, el que s'ha fet ha estat escollir el material PET (era el material més semblant dintre de les opcions del programa). Tal com indica el programa, el PET és un material isotròpic elàstic lineal on el seu límit de tracció és de $5,73e^{+07}$ N/m², el límit de compressió és de $9,29e^{+09}$ N/m², el mòdul elàstic és $2,96e^{+09}$ N/m², el coeficient de Poisson és 0,37 i, finalment, la seva densitat es de 1420 kg/m³.

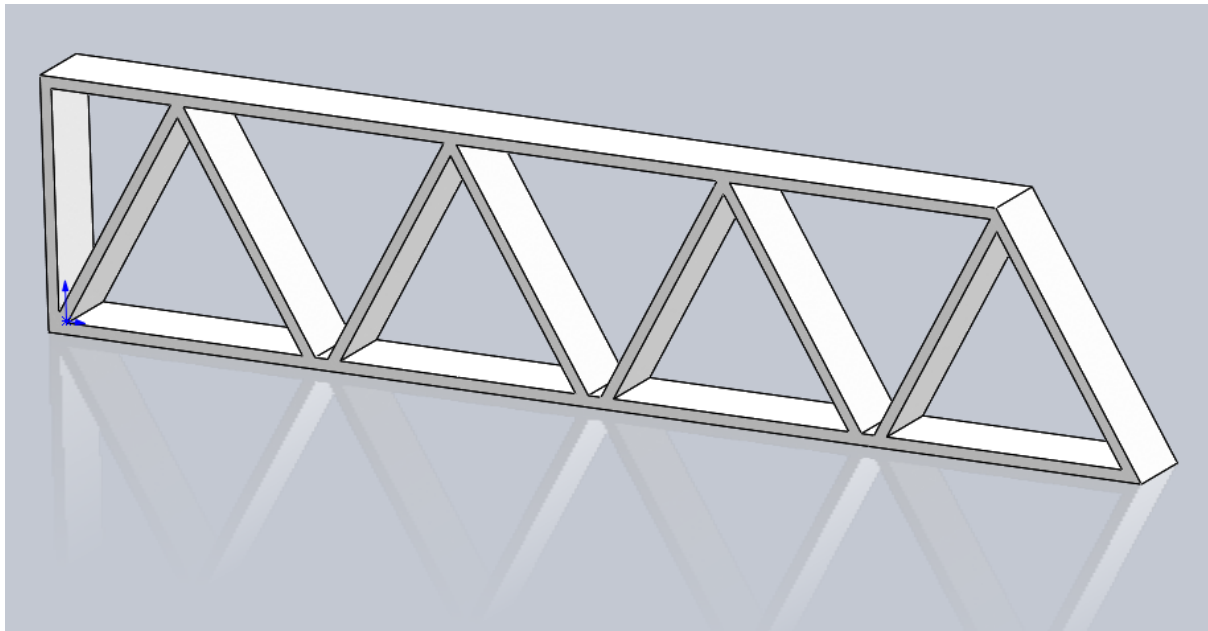
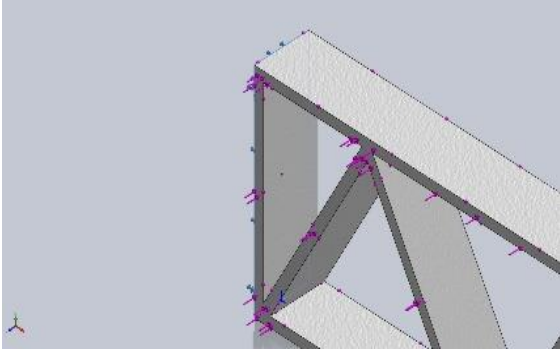


Figura 45. Encavallada mitjançant SolidWorks. Font pròpia.

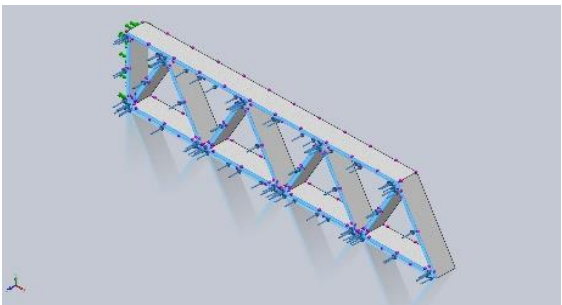
A continuació es mostren els resultats obtinguts de la simulació:

Càrregues i subjeccions:

Taula 5. Subjeccions. Font pròpia.

Subjecció	Imatge de subjecció	Detalls de subjecció
Fixe - 1	 <p data-bbox="459 1697 1021 1758">Figura 46. Per on es subjecta l'estructura. Font pròpia.</p>	Geometria fixe

Taula 6. Càrrega. Font pròpia.

Càrrega	Imatge	Detalls de la càrrega
Força - 1	 <p>Figura 47. Càrrega repartida per la cara. Font pròpia.</p>	Entitats: 1 cara. Tipus: Força Normal. Valor: 20N

Forces resultants:

Taula 7. Forces resultants. Font pròpia.

Components	X	Y	Z	Resultant
Força de reacció (N)	-0,000562191	-0,00310826	20	20
Moment de reacció (N·m)	0	0	0	0

Tensions:

En aquest cas, com es pot observar, la zona més afectada són els nodes de la part encastada que obtenen un color vermell. Aquest fet és degut a que és la zona que ha de fer el major esforç per aguantar la càrrega a la que està sotmesa. El valor d'aquesta força màxima és de $2,139e^{+07}$ N/m². Per altre banda, es pot veure que la zona menys afectada és la punta de la gelosia amb una esforç mínim de $7,311e^{+01}$ N/m².

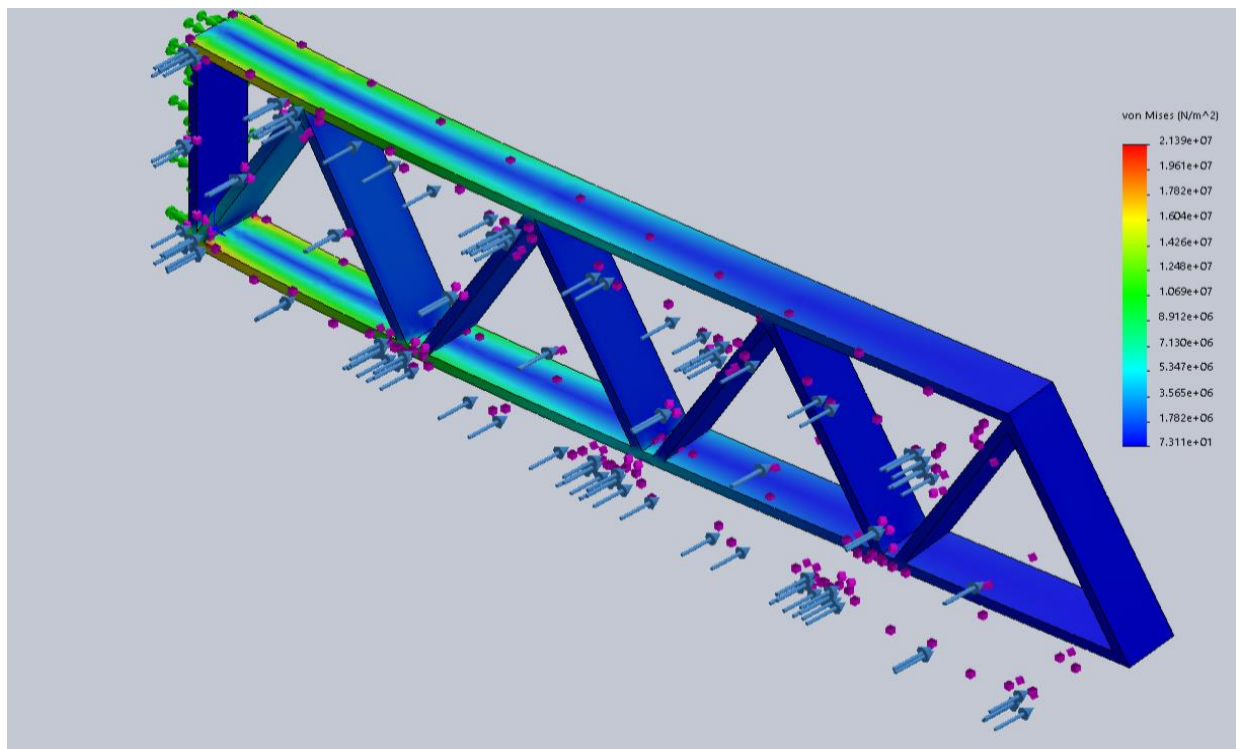


Figura 48. Diagrama de tensions degudes a la càrrega. Font pròpia.

Desplaçaments:

Com era d'esperar, la zona més afectada a l'hora de parlar de desplaçaments és la zona més allunyada de l'encastament. Observant la imatge, aquesta, és la zona més vermella de l'estructura. Al tractar-se d'una força de 20N el desplaçament ha de ser petit, per tant el resultat obtingut és correcte, ja que és de 10,14 mm. També, es pot comprovar que la zona encastada és la menys afectada pel desplaçament, no es desplaça.

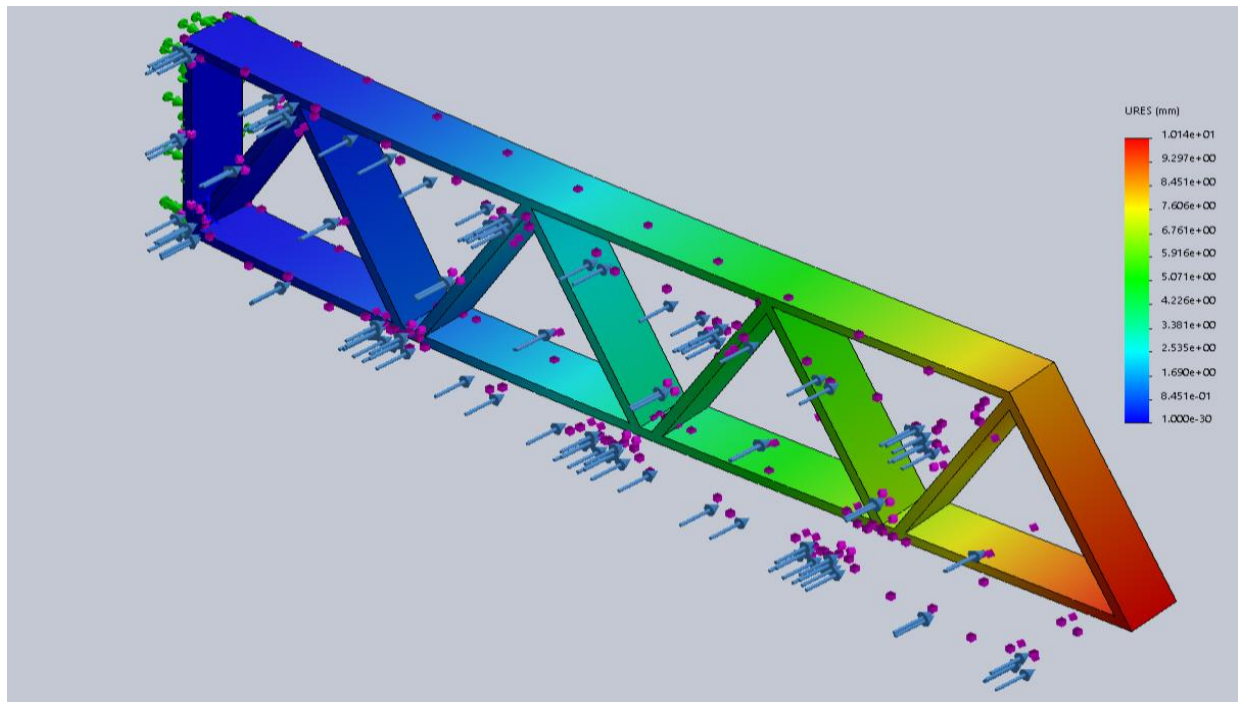


Figura 49. Diagrama de desplaçaments degut a la càrrega. Font pròpia.

Deformacions unitàries:

Mirant el diagrama de les deformacions es pot veure que és molt semblant al diagrama de tensions. La zona més afectada és la part de l'encastament, el fet de que sigui la zona que ha suportar més tensió fa que també sigui la zona que pateixi més deformació. El valor més elevat que s'ha obtingut és de $5,574e^{-03}$, valor que ens permet saber que la deformació que pateix el material és mínima, ja que, és molt petita.

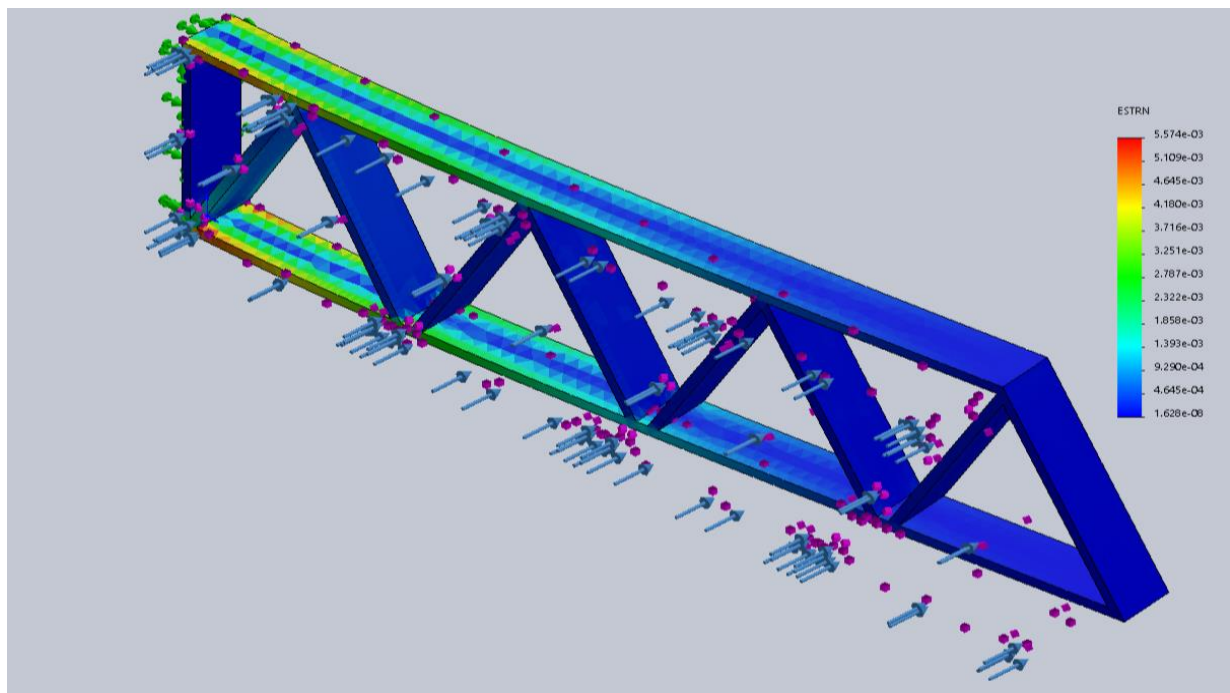


Figura 50. Diagrama de deformacions degudes a la càrrega. Font pròpia.

La realització d'aquest anàlisi numèric serveix per veure com reacciona l'estructura enfront a una càrrega repartida. Portant aquest cas a la realitat, la barra (amb dimensions més grans) podria ser el suport d'un cartell publicitari i la força (també més gran) representaria el vent que impacta sobre l'estructura.

Anàlisi experimental

Com s'ha esmentat en el punt 4.4 un dels casos analitzats analíticament també s'analitza de forma experimental. El cas assajat és el d'una càrrega puntual en el node central.

A continuació es mostra el procediment que s'ha fet per realitzar l'assaig.

La gelosia es col·loca entre dues cadires que fan la funció de suport, a continuació es situa una ampolla lligada amb un fil en el node central de la part inferior de la gelosia la qual farà la funció de càrrega. Aquesta es va omplint d'aigua per observar que a mesura que hi ha més aigua, és a dir, més pes, es va deformant fins a trencar.



Figura 51. Inici de l'assaig. Font pròpia.



Figura 52. Col·locació de la càrrega. Font pròpia.



Figura 53. Deformació degut a l'augment de càrrega. Font pròpia.

Finalment, l'estructura trenca per la zona on pateix més deformació. El pes que aguanta és aproximadament 1 litre. Aquesta aproximació s'ha fet amb l'aigua restant del gerro perquè al trencar, tota l'estructura juntament amb la càrrega, ha caigut a terra i ja no era precís agafar el volum de l'ampolla.

Es pot observar que el trencament es pràcticament simètric, això és degut a que els dos recolzaments fan la mateixa força, ja que la càrrega puntual està totalment centrada entre els dos extrems.

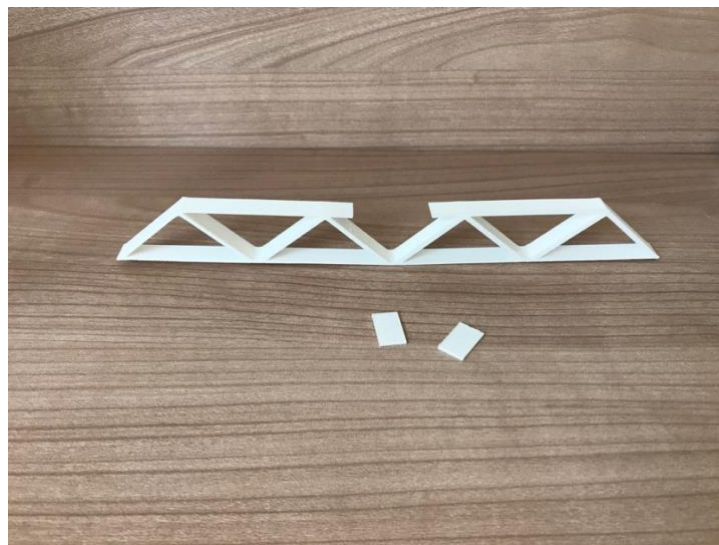


Figura 54. Resultat final. Font pròpia.

Mirant els resultat de l'anàlisi analític, la barra que pateix més és la barra EG, que és la situada en el centre de la part superior. Si s'observen les imatges que mostren el procés de deformació de la gelosia es comprova que la barra que pateix més es la central de la part superior. Així doncs, es verifica que l'anàlisi analític es correspon correctament amb l'assaig realitzat.

Cal esmentar que l'assaig que s'ha fet no té les mateixes mesures que en el cas teòric. Aquestes, es van reduir per poder visualitzar millor la deformació de les barres, ja que les mesures de l'estructura dissenyada fan que sigui molt rígida i directament trencaria i no s'apreciaria la deformació abans de trencar.



4.6 Cost del projecte pràctic

En aquest apartat només es tindrà en compte el cost de la realització de la prova pilot. A l'apartat de resum del pressupost es tindrà en compte el cost de tot el projecte.

Taula 8. Cost del projecte pràctic. Font pròpia.

1. Cost d'enginyeria					
	Cost unitari	€/unitat	Amidament	Unitats	Subtotal (€)
1.1 Selecció del material	18	€/h	2	Hores	36
1.2 Selecció del mòdul	18	€/h	10	Hores	180
1.3 Disseny i selecció de l'estructura modular	18	€/h	15	Hores	270
1.4 Conceptes a analitzar	18	€/h	5	Hores	90
1.5 Tipus d'anàlisi i anàlisi dels diferents casos	18	€/h	40	Hores	720
1.6 Cost del projecte pràctic	18	€/h	1	Hores	18
1.7 Incidències que s'han tingut	18	€/h	2	Hores	36
TOTAL PRESSUPOST (€)					1350

4.7 Incidències que s'han tingut

El disseny de l'estructura ha estat el punt més difícil de decidir. En primer lloc, es va decidir fer l'estructura d'una torre d'alta tensió i es va dissenyar en SolidWorks. Un cop dissenyada es va veure que els càlculs d'aquesta estructura eren molt complexos i si es volia continuar amb l'estudi de la torre d'alta tensió només es podia estudiar el comportament d'una zona i no de tota l'estructura. Finalment es va optar per l'estudi d'una altra estructura com la gelosia.

5. Normativa i seguretat

Per la realització d'aquest projecte la normativa que cal tenir en compte és l'aplicada als riscos laborals a un laboratori d'estructures i materials. Aquestes normes venen definides pel Servei de prevenció de la UPC. (24) (25) (26)

5.1 NSH 001 – Normes generals de seguretat i higiene en laboratoris

Hàbits de treball i higiene personal

- Mantenir net i lliure d'objectes el lloc de treball. No deixar objectes personals en les superfícies de treball.
- Familiaritzar-se amb les sortides i vies d'evacuació, i els elements a utilitzar en cas d'actuar en front un primer auxili.
- Informar-se de les consignes d'actuació en cas d'emergència. Mantenir els passadissos lliures.
- No treballar sol al laboratori. Informar al centre de la presència.
- No portar lentilles, ja que, pot provocar lesions oculars.
- Portar el cabell recollit. No es poden portar penjolls, polseres, etc. Pot provocar lesions en cas d'atrapades, contactes elèctrics, ...
- No portar roba que deixi zones de la pell descobertes per evitar lesions.
- No menjar ni beure.
- Rentar-se les mans abans de sortir del laboratori.

Senyalització de seguretat

- Respectar la senyalització.



Figura 55. Senyals de seguretat. (24)

- Mantenir sempre la senyalització al mateix lloc i que estigui visible.

Equips de protecció individual (EPI)

- Informar-se sobre quins són els EPI que s'han d'utilitzar.
- Utilitzar l'EPI que tingui CE.
- Llegir atentament el full d'informació de l'EPI abans d'utilitzar-les.
- Revisar l'estat de l'EPI.
- Mantenir en bon estat els EPI.

Equips de treball

- No utilitzar equips de treball sense conèixer el seu funcionament.
- Realitzar inspeccions visualment sobre l'estat de l'equip de treball.
- Utilitzar bases d'endolls independents per connectar cada equip, no utilitzar lladres.
- Desconnectar de forma segura els equips un cop acabada l'activitat.
- No utilitzar equips connectats al corrent elèctric si estan mullats.
- Si s'observa alguna anomalia, desconnectar l'equip del corrent elèctric i retirar-lo per evitar el seu ús.

5.2 NSH 002 – Senyalització de seguretat

Senyals d'advertència



Figura 56. Senyal de perill en general. (25)

Les senyals d'advertència venen definides mitjançant un triangle de color groc i a sota un requadre amb el tipus de perill especificat.

Senyals d'obligació



Figura 57. Senyal d'obligació. (25)

Les senyals d'obligació venen definides mitjançant un cercle de color blau i a sota un requadre amb el tipus d'obligació a la que fa referència.

Senyals de prohibició



Figura 58. Senyal de prohibició. (25)

Les senyals de prohibició tenen el símbol de prohibit de color vermell juntament amb un requadre amb la prohibició especificada.

Senyals de risc radiològic

Zona vigilada. Zona sotmesa a una vigilància adequada dels efectes de protecció contra les radiacions de ionització.



Figura 59. Zona vigilada. (25)

Zona controlada. Zona sotmesa a una regulació especial dels efectes de protecció contra radiacions de ionització.



Figura 60. Zona controlada. (25)

Dintre de la zona controlada es diferencien tres tipus de zona: la zona de permanència limitada, la zona de permanència reglamentada i la zona d'accés prohibit. La primera d'elles és aquella on hi ha risc de rebre una dosi superior al límit de dosi anual; aquesta es senyalitza amb el color groc. La segona és la zona on hi ha risc de rebre una dosi superior als límits de dosi anual però en períodes de temps curts; aquesta es senyalitza amb el color taronja. Per acabar, la última es la zona on hi ha risc de rebre una exposició única de dosi superior als límits de dosi anual; aquesta obté el color vermell.

5.3 NSH 003 – Ordre, neteja i manteniment

Aquesta norma de seguretat i higiene ve definida segons l'Annex II del Reial Decret 486/1997, on s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut en els llocs de treball. A continuació s'exposa el que recomana la llei:

- És necessari que les zones de pas, sortides i vies de circulació estiguin lliures d'obstacles de manera que res dificulti el seu us.
- Els llocs de treball s'han de netejar periòdicament i mantenir-los en condicions higièniques adequades en tot moment.
- S'eliminaran les deixalles, taques de greix, residus de substàncies perilloses i altres productes residuals que puguin originar accidents o contaminar el lloc de treball.
- Les activitats de neteja no han de ser una font de risc pels treballadors que realitzen la neteja. Així doncs, es realitzaran en el moment i mitjans adequats.
- Els llocs de treball són objecte d'un manteniment periòdic. Les seves condicions de funcionament han de satisfer les especificacions del projecte i solucionar ràpidament els defectes que puguin afectar a la seguretat i salut dels treballadors.

- Al utilitzar una instal·lació amb ventilació, cal mantenir en bon estat el seu funcionament i ha de constar d'un sistema de control que indiqui tota avaria sempre que afecti a la salut dels treballadors.

6. Resum del pressupost

Taula 9. Pressupost del projecte. Font pròpia.

1. Cost d'enginyeria					
	Cost unitari	€/unitat	Amidament	Unitats	Subtotal (€)
1.1 Estat de l'art	18	€/h	20	Hores	360
1.2 Selecció dels elements a estudiar	18	€/h	30	Hores	540
1.3 Estudi de les mesures	18	€/h	50	Hores	900
1.4 Implementació dels conceptes estudiats	18	€/h	20	Hores	360
1.5 Prova pilot	18	€/h	75	Hores	1350
1.6 Anàlisi de resultats	18	€/h	20	Hores	360
1.7 Anotacions	18	€/h	2	Hores	36
1.8 Estudi de la viabilitat econòmica	18	€/h	25	Hores	450
1.9 Documentació	18	€/h	60	Hores	1080
1.10 Presentació oral	18	€/h	1	Hores	18
TOTAL PRESSUPOST (€)					5454

7. Conclusions i línies futures

L'objectiu principal d'aquest projecte era la realització d'un projecte pràctic per l'assignatura de *Medis Continus i Resistència de Materials* amb la finalitat de que l'alumne/a sigui capaç d'observar la relació que hi ha entre els continguts teòrics que es treballen i la seva aplicació a la realitat.



Per portar a terme aquest projecte s'ha dissenyat una guia amb la qual l'alumne/a sigui capaç de realitzar el projecte sense cap tipus de dificultat. Aquesta guia, consta de tots els punts que cal seguir per dissenyar una estructura modular, observar el comportament d'aquesta enfront d'una càrrega aplicada i profunditzar els coneixements del contingut de la matèria estudiada.

Per obtenir una guia ben estructurada i que l'alumne/a no es trobi amb imprevistos degut a l'absència d'algun punt s'ha realitzat una prova pilot seguint pas a pas la guia. Gràcies a això, s'ha completat algun punt de manera que no manqui cap tipus d'informació.

A l'hora de fer la prova pilot es va escollir el material PLA per impressió 3D, ja que es tracta d'un mètode innovador a l'hora de crear maquetes. El mòdul seleccionat es va dissenyar a gust propi degut a que és una barra de secció rectangular amb la qual es van crear mòduls triangulars per formar l'estructura final, una encavallada.

L'elecció de l'encavallada com a estructura per la prova pilot fou degut a que és un element aplicable a moltes estructures, com per exemple una grua de construcció, un suport per un cartell publicitari, ponts, i un llarg etcètera. L'amplia aplicació de l'encavallada és gràcies a que els triangles, com bé s'ha demostrat al llarg del projecte, tenen una gran resistència ja que es combinen actuant a tracció i a compressió.

Mitjançant l'anàlisi analític s'han aplicat els conceptes teòrics que s'estudien al llarg de l'assignatura de *Resistència de Materials* i, un cop fet l'assaig pràctic, s'ha pogut comprovar que corresponen amb el comportament real de l'estructura. L'anàlisi numèric, és a dir, la simulació mitjançant SolidWorks, és útil quan es tracta de casos més complexos on l'anàlisi analític es complica i és molt més precís realitzar una simulació. Amb aquest tipus d'anàlisi s'han pogut observar les tensions que pateix l'estructura, el desplaçament, és a dir, com es mou l'estructura deguda a la força que s'aplica, i les deformacions que pateix.

Concloent, es pot dir que el projecte és útil per els/les alumnes i és una manera per motivar-los a assolir els conceptes de l'assignatura, ja que és pràctic i no tan teòric.

Com a línies futures aquest projecte pràctic es podria adaptar per l'assignatura de *Teoria d'Estructures i Construccions Industrials* canviant algunes coses, com podrien ser el tipus de materials a utilitzar (es podrien combinar: formigó armat) i, el tipus d'estructura, ja que no caldria que es tractes d'una estructura modular, per exemple fer el disseny d'una coberta.

Finalment, comentar que aquest treball ha estat totalment educatiu el qual ha aportat una gran quantitat de coneixements que seran útils per un futur no tan llunyà i també s'han refrescat molts de conceptes assolits al llarg del grau cursat.

8. Bibliografia

1. **modular, ABC.** *abcmodular*. [En línia] [Citado el: 27 de Febrer de 2019.] <https://abcmodular.com/construccion-modular>.
2. **City, Container.** *Container City*. [En línia] [Data: 03 / Març / 2019.] <http://www.containercity.com/cove-park>.
3. **67, Habitat.** *Habitat67*. [En línia] [Citado el: 03 de Març de 2019.] <http://www.habitat67.com/hommage/>.
4. **ecured.** *ecured*. [En línia] [Citado el: 03 de Març de 2019.] https://www.ecured.cu/Programación_Modular.
5. **Construmatica.** *Construmatica*. [En línia] [Citado el: 30 de Abril de 2019.] https://www.construmatica.com/construpedia/Hormigón:_Propiedades.
6. **Zabaleta, Hernán.** *El hormigon y sus propiedades*. [En línia] [Citado el: 30 de Abril de 2019.] <http://elhormigonysuspropiedades.blogspot.com/p/propiedades-del-hormigon-endurecido.html>.
7. **Mipsa.** *Mipsa*. [En línia] [Citado el: 30 de Abril de 2019.] <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Que-es-el-acero>.
8. **3M.** *3mvet*. [En línia] [Citado el: 02 de Maig de 2019.] <https://www.3mvet.eu/es/news/6-pasos-del-proceso-de-fabricación-de-acero-moderno>.
9. **impresoras3D.** *impresoras3D*. [En línia] [Citado el: 24 de Abril de 2019.] <https://www.impresoras3d.com/filamento-pla/>.
10. **MakeltFrom.** *makeitfrom*. [En línia] [Citado el: 24 de Abril de 2019.] <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide/>.



11. **Ultimaker.** *Ultimaker*. [En línia] [Citado el: 25 de Abril de 2019.] <https://ultimaker.com/download/67583/TDS%20PLA%20v3.011-spa-ES.pdf>.
12. **ALU-STOCK.** *alu-stock*. [En línia] [Citado el: 06 de Maig de 2019.] <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/angulos-desiguales/>.
13. —. *alu-stock*. [En línia] [Citado el: 06 de Maig de 2019.] <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/perfiles-en-t-aluminio/>.
14. —. *alu-stock*. [En línia] [Citado el: 06 de Maig de 2019.] <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/perfiles-doble-t-aluminio/>.
15. —. *alu-stock*. [En línia] [Citado el: 06 de Maig de 2019.] <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/perfiles-en-u-aluminio/>.
16. —. *alu-stock*. [En línia] [Citado el: 06 de Maig de 2019.] <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/tubos-redondos/>.
17. —. *alu-stock*. [En línia] [Citado el: 06 de Maig de 2019.] <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/tubos-cuadrados/>.
18. **Luiza, Angelica.** *angelixaluiza*. [En línia] [Citado el: 24 de Abril de 2019.] <http://angelicaluizagab.blogspot.com/2017/06/conceptos-hiperestatica-e-isostatica.html>.
19. **Salom, Luisa Basset.** *upv*. [En línia] [Citado el: 24 de Abril de 2019.] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16447/Clasificación%20estática%20de%20las%20estructuras.pdf?sequence=1>.
20. **Xunta, Edu.** *EduXunta*. [En línia] [Citado el: 06 de Maig de 2019.] https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/4_esfuerzos.html.
21. **EDDM.** *Ingenius Blog*. [En línia] [Citado el: 06 de Maig de 2019.] <https://eddm.es/blog-ingenius/design-for-additive-manufacturing-anisotropia-en-impresion-3d/>.
22. **Xunta, Edu.** *EduXunta*. [En línia] [Citado el: 16 de Maig de 2019.] https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/75_cerchas.html.
23. **Vives Bauza, Maria.** *Apunts de Resistència de Materials*.



24. **Politecnica de Catalunya, Universitat.** *upc.edu*. [En línia] [Citado el: 31 de Maig de 2019.] <https://www.upc.edu/prevencio/ca/seguretat-higiene/arxiu/normes-de-seguretat-i-higiene/NSH-001.pdf>.
25. —. *upc.edu*. [En línia] [Citado el: 31 de Maig de 2019.] <https://www.upc.edu/prevencio/ca/seguretat-higiene/arxiu/normes-de-seguretat-i-higiene/NSH-002.pdf>.
26. —. *upc.edu*. [En línia] [Citado el: 31 de Maig de 2019.] <https://www.upc.edu/prevencio/ca/seguretat-higiene/arxiu/normes-de-seguretat-i-higiene/NSH-003.pdf>.
27. **Smart, Building.** *buildingsmart*. [En línia] [Citado el: 27 de Febrer de 2019.] <https://www.buildingsmart.es/bim/>.
28. **UOC.** *upc.edu*. [En línia] [Citado el: 31 de Maig de 2019.] <https://www.upc.edu/prevencio/ca/seguretat-higiene/arxiu/laboratoris-i-tallers/campus-terrassa/innovacio-tecnologica-per-a-estructures-i-materials-litem-rmee-esp452.pdf>.
29. **Catalunya, Universitat Politcnica de.** *upc.edu*. [En línia] [Citado el: 31 de Maig de 2019.] <https://www.upc.edu/prevencio/ca/seguretat-higiene/arxiu/normes-de-seguretat-i-higiene/NSH-001.pdf>.
30. **Mipsa.** *MIPSA*. [En línia] [Citado el: 30 de Abril de 2019.] <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Que-es-el-acero>.